



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Επεξεργασία χρονοσειρών ρεύματος και τάσης  
από δημόσια διαθέσιμες βάσεις δεδομένων με  
σκοπό την δημιουργία καινοτόμων  
χαρακτηριστικών για μοντέλα αναγνώρισης  
φορτίου μέσω Μη Παρεμβατικής προσέγγισης.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

του

**ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ**

**Επιβλέπων:** Άγγελος Μπουχουράς

Επίκουρος Καθηγητής

ΚΟΖΑΝΗ/ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ/2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



HELLENIC DEMOCRACY  
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL  
& COMPUTER ENGINEERING

# Publicly available current and voltage time series utilization for innovative features' extraction and introduction into Non Intrusive Load Monitoring models.

THESIS

---

**STERGIOU KONSTANTINOS**

**SUPERVISOR:** Bouhouras Aggelos

Assistant Professor

KOZANI/SEPTEMBER/2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

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 “ Επεξεργασία χρονοσειρών ρεύματος και τάσης από δημόσια διαθέσιμες βάσεις δεδομένων με σκοπό την δημιουργία καινοτόμων χαρακτηριστικών για μοντέλα αναγνώρισης φορτίου μέσω Μη Παρεμβατικής προσέγγισης” 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 και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή του Τμήματος κ. Άγγελου Μπουχουρά 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) Κωνσταντίνος Στεργίου, Άγγελος Μπουχουράς, 2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: Κωνσταντίνος Στεργίου

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

# Περίληψη

---

Η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας λόγω πληθυσμιακής αύξησης, τεχνολογικής προόδου και μεταβαλλόμενων συνηθειών καταναλωτών οδηγεί σε αυξημένη επιβάρυνση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και υψηλότερο κόστος ενέργειας. Νέες τεχνολογίες όπως τα έξυπνα δίκτυα, η αποθήκευση μπαταριών και η απόκριση στη ζήτηση προσφέρουν λύσεις για την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας. Η παρακολούθηση του φορτίου επικεντρώνεται στον εντοπισμό των κατάλληλων χρόνων λειτουργίας συσκευών, τη βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας τους και τη μείωση της περιττής κατανάλωσης ενέργειας. Στην περίπτωση του NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) δεν απαιτείται διείσδυση στις μεμονωμένες συσκευές αλλά χρησιμοποιείται ένας μετρητής ανά σπίτι ή κτίριο. Αναλύονται οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος για να προκύψουν υπογραφές φορτίου, που παρέχουν πληροφορίες για τη φύση και την κατάσταση λειτουργίας των επιμέρους συσκευών. Στην παρακάτω διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η δυνατότητα εξαγωγής αρμονικού περιεχομένου και αποτύπωσης του σε εικόνες. Για τον σκοπό αυτό αρχικά επιλέχθηκε ένα δημόσιο σύνολο δεδομένων υψηλής δειγματοληψίας (PLAID3) στο οποίο περιέχονται χρονοσειρές ρεύματος και τάσης από την μεμονωμένη ή ταυτόχρονη λειτουργία οικιακών συσκευών. Στη συνέχεια επιλέχθηκαν οι στιγμιαίες συγκεντρωτικές τιμές ρεύματος των συσκευών και εφαρμόστηκε ο μετασχηματισμός Fast Fourier , μετατρέποντας τις από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας. Με αυτό τον τρόπο εξήχθησαν οι συνιστώσες της αρμονικής συχνότητας τρίτης και πέμπτης τάξης σε σχέση με τη θεμελιώδη. Ακόμα οι αρμονικές συνιστώσες συχνότητας χρησιμοποιήθηκαν με τον αντίστροφο γρήγορο μετασχηματισμό Fourier για την ανακατασκευή τους πίσω στον χώρο του χρόνου. Στο επόμενο βήμα οι ανακατασκευασμένες συγκεντρωτικές θεμελιώδεις, τρίτης και πέμπτης τάξης αρμονικές κυματομορφές ρεύματος χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ρίζας. Έπειτα υπολογίστηκαν οι ποσοστιαίες αρμονικές παραμορφώσεις τρίτης και πέμπτης τάξης για την δημιουργία των εικόνων ορίζοντας ως  $x$  τις τιμές της πέμπτης τάξης και  $y$  τις τιμές της τρίτης τάξης ανά 60 τιμές. Τέλος έγινε η επισήμανση των εικόνων προκυμμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους αλγόριθμους NILM ή σε μοντέλα βαθιάς μάθησης.

## Λέξεις Κλειδιά

Μη παρεμβατικός τρόπος παρακολούθησης φορτίου, Σύνολα δεδομένων, χρονοσειρές ρεύματος, αρμονική παραμόρφωση, χαρακτηριστικά συσκευών, αναγνώριση φορτίου

# Abstract

---

Increasing energy demand due to population growth, technological advances and changing consumer habits leads to increased strain on the electricity grid and higher energy costs. New technologies such as smart grids, battery storage and demand response offer solutions for efficient energy management. Load monitoring focuses on identifying appropriate operating times for appliances, optimizing their operation and reducing unnecessary energy consumption. In the case of NILM (Non-Intrusive Load Monitoring), no penetration of individual appliances is required but one meter per house or building is used. Voltage and current waveforms are analysed to obtain load signatures, which provide information on the nature and operating status of individual appliances. In the following thesis, the possibility of extracting harmonic content and capturing it in images was investigated. For this purpose, a public high-sampling dataset (PLAID3) was initially selected which contains current and voltage time series from the individual or simultaneous operation of domestic appliances. Then the instantaneous aggregated current values of the appliances were selected and the Fast Fourier transform was applied, converting them from the time domain to the frequency domain. In this way, the third and fifth order harmonic frequency components were extracted with respect to the fundamental. Still the harmonic frequency components were used with the inverse fast Fourier transform to reconstruct them back to the time domain. In the next step the reconstructed aggregated fundamental, third and fifth order harmonic current waveforms were used to calculate the root mean square. Then the third and fifth-order percentage harmonic distortions were calculated to generate the images by defining  $x$  as the fifth-order values and  $y$  as the third-order values per 60 values. Finally, the resulting images were labeled to be able to be used in various NILM algorithms or deep learning models.

## Keywords

Non-intrusive load monitoring (NILM), Data sets, Current time series, Harmonic distortion, Device characteristics, Load identification



# Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινές μου ευχαριστίες για την ανεκτίμητη βοήθεια και υποστήριξη κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Χωρίς την πολύτιμη συμβουλή, καθοδήγηση και γνώση, του επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Μπουχουρά Αγγελο και του υποψήφιου διδάκτορα Παπαγεωργίου Πέτρο, δεν θα είχα επιτύχει αυτό το σημαντικό ορόσημο στην εκπαίδευσή μου.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις βαθιές μου ευχαριστίες για όλη την αγάπη, τη στήριξη και την ανιδιοτέλεια που μου παρείχε η οικογένεια μου όλα αυτά τα χρόνια.

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

# Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	8
Ευχαριστίες	9
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος Εικόνων	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>15</b>
1.1 Εισαγωγή στο NILM	15
1.1.1 ILM και NILM	15
1.2 Εφαρμογές τεχνικών NILM	17
1.2.1 Εφαρμογές για τον καταναλωτή	17
1.2.2 Εφαρμογές NILM για τη διαχείριση της ζήτησης (DSM)	18
1.2.3 Βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές NILM	19
1.3 Στάδια υλοποίησης NILM	20
1.3.1 Συλλογή δεδομένων	21
1.3.2 Ανίχνευση συμβάντων	22
1.3.3 Εξαγωγή χαρακτηριστικών	24
1.3.4 Αναγνώριση φορτίου	24
1.3.5 Αξιολόγηση επιδόσεων	26
1.4 Σύνολα δεδομένων	28
1.4.1 Εισαγωγή στα σύνολα δεδομένων	28
1.4.2 Περιορισμοί στα σύνολα δεδομένων	29
1.4.3 Κατηγορίες συνόλων δεδομένων	29
1.4.4 Δημόσια σύνολα δεδομένων	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>34</b>
2.1 Στάδια Υλοποίησης Μοντέλου	34
2.1.1 Επιλογή συνόλου δεδομένων Plaid3	35

2.1.2 Επεξεργασία μεταδεδομένων	36
2.1.3 Δημιουργία ποσοστών αρμονικής παραμόρφωσης	37
2.1.4 Δημιουργία εικόνων αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος	39
2.1.5 Επισήμανση εικόνων	41
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>43</b>
3.1 Εικόνες μεμονωμένων συσκευών	43
3.2 Ταυτόχρονη λειτουργία	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>75</b>
Παράρτημα	76
Βιβλιογραφία	81
Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια	85

# Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Παράδειγμα συσκευών παρακολούθησης ενέργειας [3].	16
Εικόνα 2: Διάγραμμα οικιακής εξοικονόμησης λόγω πληροφόρησης σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας [4].	18
Εικόνα 3: Διάγραμμα κατηγοριοποίησης εφαρμογών NILM [6].	19
Εικόνα 4: Πλατφόρμα ανταλλαγής έξυπνων ενεργειακών δεδομένων [11].	20
Εικόνα 5: Συστήματα συλλογής δεδομένων για εφαρμογές NILM σε σχέση με τη συχνότητα δειγματοληψίας [15].	22
Εικόνα 6: Παράδειγμα ανίχνευσης συμβάντος ψυγείου [16].	23
Εικόνα 7: Παράδειγμα πίνακα με μετρήσεις ακρίβειας [22].	28
Εικόνα 8: Παράδειγμα σήματος ηλεκτρικής ενέργειας (υπογραφές) τηλεόρασης, πλυντηρίου και κουζίνας ρυζιού για δειγματοληψία 10, 1 και 0,1 Hz [26].	31
Εικόνα 9: Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας εξαγωγής εικόνας αρμονικής παραμόρφωσης [44].	34
Εικόνα 10: Διάταξη μέτρησης για την καταγραφή των δεδομένων [36].	36
Εικόνα 11: Παράδειγμα αποτελεσμάτων του κώδικα.	37
Εικόνα 12: Περιοδικό σήμα που αναλύεται με περιττές αρμονικές συχνότητες [38].	38
Εικόνα 13: Κανονικοποιημένη εικόνα %HD3-%HD5 σε κλίμακα του γκρι από σίδηρο των μαλλιών.	40
Εικόνα 14: Κανονικοποιημένη εικόνα %HD3-%HD5 σε κλίμακα του γκρι απο λαπτοπ.	41
Εικόνα 15: Κανονικοποιημένη εικόνα %HD3-%HD5 σε κλίμακα του γκρι από το συνδυασμό των συσκευών λαπτοπ και σίδηρο μαλλιών.	41
Εικόνα 16: Ηλεκτρική σκούπα σε κανονική λειτουργία.	43
Εικόνα 17: Ηλεκτρική σκούπα σε κανονική λειτουργία.	44
Εικόνα 18: Ηλεκτρική σκούπα σε διάφορες λειτουργίες.	44
Εικόνα 19: Ηλεκτρική σκούπα σε διάφορες λειτουργίες.	45
Εικόνα 20: Φορητός υπολογιστής σε κανονική λειτουργία.	45
Εικόνα 21: Φορητός υπολογιστής σε κανονική λειτουργία.	46
Εικόνα 22: Φορητός υπολογιστής σε διάφορες λειτουργίες.	46
Εικόνα 23: Φορητός υπολογιστής σε διάφορες λειτουργίες.	47
Εικόνα 24: Βραστήρας σε κανονική λειτουργία.	47
Εικόνα 25: Βραστήρας σε κανονική λειτουργία.	48
Εικόνα 26: Βραστήρας σε διάφορες λειτουργίες.	48
Εικόνα 27: Βραστήρας σε διάφορες λειτουργίες.	49
Εικόνα 28: Λαμπτήρας πυρακτώσεως σε κανονική λειτουργία.	49
Εικόνα 29: Λαμπτήρας πυρακτώσεως σε κανονική λειτουργία.	50
Εικόνα 30: Λαμπτήρες πυρακτώσεως σε διάφορες λειτουργίες.	50
Εικόνα 31: Λαμπτήρες πυρακτώσεως σε διάφορες λειτουργίες.	51
Εικόνα 32: Σίδηρο μαλλιών σε κανονική λειτουργία.	51
Εικόνα 33: Σίδηρο μαλλιών σε κανονική λειτουργία.	52
Εικόνα 34: Σίδηρο μαλλιών σε διάφορες λειτουργίες.	53
Εικόνα 35: Σίδηρο μαλλιών σε διάφορες λειτουργίες.	53
Εικόνα 36: Ψυγείο σε κανονική λειτουργία.	53
Εικόνα 37: Ψυγείο σε κανονική λειτουργία.	54
Εικόνα 38: Ψυγείο σε διάφορες λειτουργίες.	54
Εικόνα 39: Ψυγείο σε διάφορες λειτουργίες.	55

Εικόνα 40: Ανεμιστήρας σε κανονική λειτουργία.....	55
Εικόνα 41: Ανεμιστήρας σε κανονική λειτουργία.....	56
Εικόνα 42: Ανεμιστήρας σε διάφορες λειτουργίες.....	56
Εικόνα 43: Ανεμιστήρας σε διάφορες λειτουργίες.....	57
Εικόνα 44: Συσκευή απόψυξης σε κανονική λειτουργία.....	57
Εικόνα 45: Συσκευή απόψυξης σε κανονική λειτουργία.....	58
Εικόνα 46: Συσκευή απόψυξης σε διάφορες λειτουργίες.....	58
Εικόνα 47: Συσκευή απόψυξης σε διάφορες λειτουργίες.....	59
Εικόνα 48: Λαμπτήρας φθορισμού σε κανονική λειτουργία.....	59
Εικόνα 49: Λαμπτήρας φθορισμού σε κανονική λειτουργία.....	60
Εικόνα 50: Λαμπτήρας φθορισμού σε διάφορες λειτουργίες.....	61
Εικόνα 51: Λαμπτήρας φθορισμού σε διάφορες λειτουργίες.....	61
Εικόνα 52: Καφετιέρα σε κανονική λειτουργία.....	61
Εικόνα 53: Καφετιέρα σε κανονική λειτουργία.....	62
Εικόνα 54: Καφετιέρα σε διάφορες λειτουργίες.....	63
Εικόνα 55: Καφετιέρα σε διάφορες λειτουργίες.....	63
Εικόνα 56: Κλιματιστικό σε κανονική λειτουργία.....	63
Εικόνα 57: Κλιματιστικό σε κανονική λειτουργία.....	64
Εικόνα 59: Κλιματιστικό σε διάφορες λειτουργίες.....	65
Εικόνα 58: Κλιματιστικό σε διάφορες λειτουργίες.....	65
Εικόνα 60: Συγκολλητικό σίδηρο κανονική λειτουργία 1.....	65
Εικόνα 61: Συγκολλητικό σίδηρο σε κανονική λειτουργία 2.....	66
Εικόνα 62: Συγκολλητικό σίδηρο σε διάφορες λειτουργίες 1.....	66
Εικόνα 63: Συγκολλητικό σίδηρο σε διάφορες λειτουργίες 2.....	67
Εικόνα 64: Ταυτόχρονη λειτουργία κλιματιστικού και ψυγείου.....	67
Εικόνα 65: Ταυτόχρονη λειτουργία καφετιέρας και σίδηρου μαλλιών.....	68
Εικόνα 66: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή και ηλεκτρικής σκούπας.....	68
Εικόνα 67: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή και ηλεκτρικής σκούπας.....	69
Εικόνα 68: Ταυτόχρονη λειτουργία βραστήρα και λαμπτήρα φθορισμού.....	69
Εικόνα 69: Ταυτόχρονη λειτουργία ανεμιστήρα και σίδηρου μαλλιών.....	70
Εικόνα 70: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή , ηλεκτρικής σκούπας και βραστήρα.....	71
Εικόνα 71: Ταυτόχρονη λειτουργία κλιματιστικού , ανεμιστήρα και ηλεκτρικής σκούπας.....	71
Εικόνα 72: Ταυτόχρονη λειτουργία λαμπτήρα φθορισμού , λαμπτήρα πυρακτώσεως και κλιματιστικού.....	71
Εικόνα 73: Ταυτόχρονη λειτουργία καφετιέρας , σίδηρου μαλλιών και ηλεκτρικής σκούπας.....	72
Εικόνα 74: Ταυτόχρονη λειτουργία ψυγείου , σίδηρου μαλλιών και καφετιέρας.....	72
Εικόνα 75: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή , σίδηρου μαλλιών , λαμπτήρα φθορισμού και συγκολλητικού σίδηρου.....	73
Εικόνα 76: Ταυτόχρονη λειτουργία καφετιέρας , κλιματιστικού , συσκευής απόψυξης και συγκολλητικού σίδηρου.....	73
Εικόνα 77: Ταυτόχρονη λειτουργία ηλεκτρικής σκούπας , κλιματιστικού , ανεμιστήρα και μπλέντερ.....	74

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

---

Τα τελευταία χρόνια, η ανάγκη για βιώσιμες και αξιόπιστες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, η τεχνολογική πρόοδος και οι μεταβαλλόμενες καταναλωτικές συνήθειες έχουν συμβάλει στην αύξηση της ζήτησης ενέργειας, οδηγώντας σε επιβάρυνση του παραδοσιακού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και σε αύξηση του ενεργειακού κόστους. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, όπως τα έξυπνα δίκτυα, η αποθήκευση μπαταριών και η απόκριση στη ζήτηση, έχουν δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας και τη μείωση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

## 1.1 Εισαγωγή στο NILM

### 1.1.1 ILM και NILM

Ο κύριος σκοπός των τεχνικών παρακολούθησης φορτίου είναι να βοηθήσουν στη διατήρηση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω διαφόρων προσεγγίσεων. Αυτές περιλαμβάνουν την εύρεση των σωστών χρονικών στιγμών για τη χρήση των συσκευών, τη βελτιστοποίηση του τρόπου που λειτουργούν και την αποφυγή περιττής κατανάλωσης ενέργειας. Κατά γενική έννοια, η παρακολούθηση του φορτίου αναφέρεται στη διαδικασία εντοπισμού και καταγραφής των μετρήσεων φορτίου σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η παρακολούθηση φορτίου θα προσδιορίσει την κατανάλωση και την κατάσταση των συσκευών, προκειμένου να κατανοηθεί η συμπεριφορά των μεμονωμένων φορτίων στο σύνολο του συστήματος. Ανάλογα με την προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της παρακολούθησης των συσκευών μπορεί να είναι η παρεμβατική παρακολούθηση φορτίου (ILM) ή η μη παρεμβατική παρακολούθηση φορτίου (NILM) [1].

Η παρεμβατική παρακολούθηση φορτίου – ILM αποτελεί τη διαδικασία μέτρησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης ενός ή λίγων συγκεκριμένων συσκευών, χρησιμοποιώντας μια συσκευή μέτρησης χαμηλού επιπέδου. Ο όρος "παρεμβατικός" υποδηλώνει ότι ο μετρητής είναι τοποθετημένος στην κατοικία, συνήθως κοντά στη συσκευή που παρακολουθείται [2]. Το επίπεδο της παρεμβατικότητας του ILM μπορεί να προσδιοριστεί από την ομάδα των συσκευών που συνδέονται με ένα ενιαίο σύνολο αισθητήρων. Το ILM μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις υποτομείς: το σύστημα υπομέτρησης στο οποίο ένας μετρητής θα ανατεθεί σε μια ζώνη συσκευών, το έξυπνο βύσμα στο οποίο στις συσκευές που συνδέονται σε ένα συγκεκριμένο βύσμα ανατίθεται ένας μετρητής για παρακολούθηση και τις έξυπνες συσκευές στις οποίες κάθε συσκευή διαθέτει έναν μόνο μετρητή ή ενσωματωμένους μετρητές στις συσκευές. Το πλαίσιο εργασίας ILM χωρίζεται σε τρία στάδια ή επίπεδα [3]:

Α) Ανίχνευση μεμονωμένων συσκευών: Σε αυτό το στάδιο, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες αισθητήρων, για παράδειγμα έξυπνα βύσματα όπως φαίνεται και στην εικόνα (1), για να ανιχνεύσουν πότε ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται οι συσκευές, καθώς επίσης και την θέση τους.

Β) Φάση ενδιάμεσου λογισμικού: Το ενδιάμεσο λογισμικό ερμηνεύει την κατάσταση των συσκευών με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται από την ανίχνευση.

Γ) Φάση κατάστασης συσκευής: Στο τελικό στάδιο του ILM, παρουσιάζεται η πραγματική κατάσταση των συσκευών για επεμβάσεις, έλεγχο και παρακολούθηση.



Εικόνα 1: Παράδειγμα συσκευών παρακολούθησης ενέργειας [3].

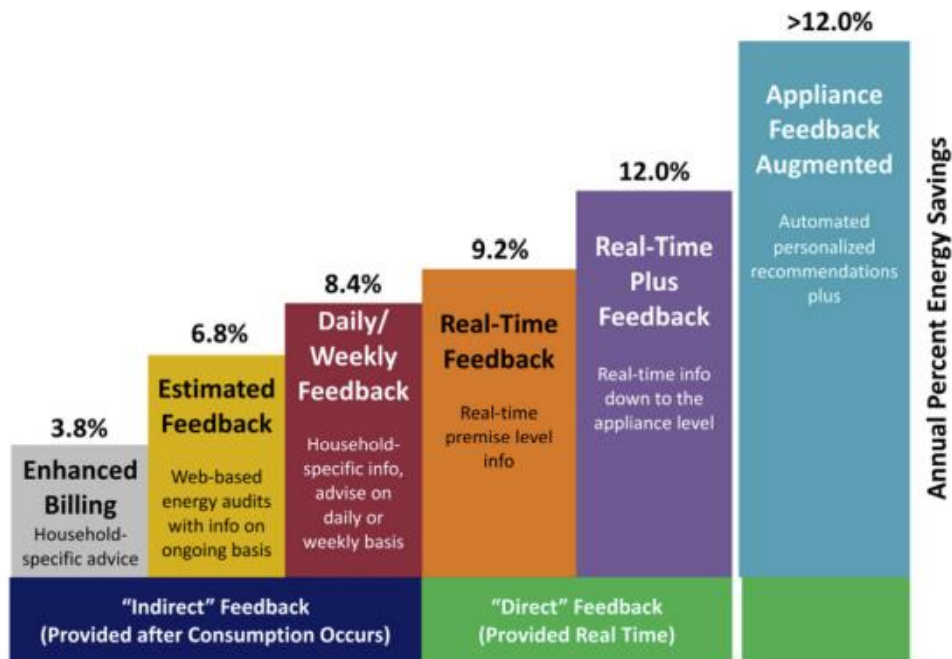
Αντίθετα στην περίπτωση του NILM δεν απαιτείται διείσδυση στις μεμονωμένες συσκευές κατά την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά μόνο ένας μετρητής ανά σπίτι ή κτίριο. Γενικά πρόκειται για τη διαδικασία απόκτησης και διαχωρισμού της συνολικής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, στην είσοδο του κτηρίου από τον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας, σε επιμέρους συσκευές, η οποία παρέχει μια απλή και οικονομικά αποδοτική μέθοδο παρακολούθησης της λειτουργίας των συσκευών και της κατανάλωσης ενέργειας. Ο προσδιορισμός φορτίων βασίζεται στην ανάλυση των κυματομορφών τάσης και ρεύματος που μετρούνται στην είσοδο παροχής ηλεκτρικής υπηρεσίας, από την οποία μπορούν να γίνουν γνωστές οι συνθήκες λειτουργίας και η κατανάλωση ενέργειας κάθε φορτίου. Οι κυματομορφές αναλύονται συνήθως για να προκύψουν οι υπογραφές φορτίου (ή χαρακτηριστικά φορτίου), οι οποίες είναι οι μετρήσιμες παράμετροι του συνολικού φορτίου που δίνουν πληροφορίες για τη φύση και την κατάσταση λειτουργίας των επιμέρους συσκευών [3].



## 1.2 Εφαρμογές τεχνικών NILM

### 1.2.1 Εφαρμογές για τον καταναλωτή

Μία από τις ευρέως συζητούμενες εφαρμογές NILM είναι η άμεση πληροφόρηση των καταναλωτών. Ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο οι πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές διευκολύνουν τη μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι ότι επιτρέπουν αυτοματοποιημένες εξατομικευμένες συστάσεις εντοπίζουν ποια συγκεκριμένα συστήματα, συσκευές ή ηλεκτρονικές συσκευές από τις δεκάδες που υπάρχουν θα μπορούσαν να μειώσουν αποτελεσματικότερα τη χρήση ενέργειας για ένα δεδομένο νοικοκυριό και στη συνέχεια επιτρέπουν την αυτοματοποιημένη παροχή πρόσθετων πληροφοριών για να ξεπεραστούν τα εμπόδια και να προωθηθεί η ανάληψη δράσης. Μόλις εντοπιστούν οι δράσεις με τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση, τα νοικοκυριά μπορούν να αντιστοιχιστούν με τα κατάλληλα προγράμματα, εκπτώσεις. Ακόμα μπορούν να πραγματοποιηθούν διαγνωστικές τεχνικές για ανίχνευση βλαβών και ειδοποίηση εάν μια συσκευή πρέπει να επισκευαστεί αλλιώς θα μπορούσε να παρέχεται ειδοποίηση εάν μια συσκευή πρέπει να αντικατασταθεί επειδή η κατανάλωση ενέργειας στο κύκλο ζωής μιας νέας συσκευής θα είναι μικρότερη από την τρέχουσα ενεργοβόρα συσκευή. Επιπλέον όταν η συσκευή είναι σε δυσπρόσβατο χώρο, τα δεδομένα της συσκευής θα μπορούσαν να επιτρέψουν την εξ αποστάσεως ή εικονική επισκευή από ειδικούς. Οι πληροφορίες που θα λαμβάνονται με την τεχνική του NILM για τις συσκευές είναι επίσης πιθανό να δημιουργήσουν ζήτηση για συστήματα ελέγχου, έξυπνες συσκευές μόλις οι άνθρωποι καταλάβουν πού σπαταλούν ενέργεια. Μέσα από την ζήτηση που θα δημιουργηθεί από τους καταναλωτές, οι τιμές όλων των προϊόντων, που είναι απαραίτητες για αυτές τις τεχνικές και τώρα είναι ψηλές, είναι πιθανό να μειωθούν [4] [5].



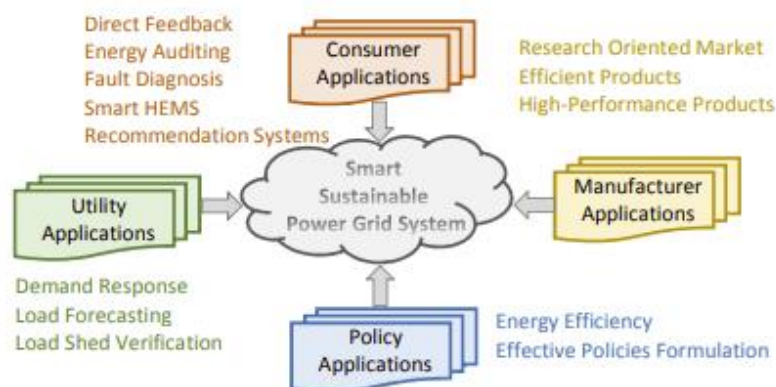
Εικόνα 2: Διάγραμμα οικιακής εξοικονόμησης λόγω πληροφόρησης σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας [4].

### 1.2.2 Εφαρμογές NILM για τη διαχείριση της ζήτησης (DSM)

Το NILM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη διαχείριση της ζήτησης το οποίο δίνει τη δυνατότητα τόσο στους καταναλωτές όσο και στις κυβερνήσεις να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση της ενέργειας, να μειώνουν το κόστος και να συμβάλλουν σε ένα πιο βιώσιμο και αξιόπιστο ενεργειακό δίκτυο. Η διαχείριση της ζήτησης (DSM) είναι ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο που χρησιμοποιείται από διάφορες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για να παρακινήσει τους πελάτες τους να αλλάξουν τη χρήση της ενέργειάς τους προς την κατεύθυνση της ενεργειακής απόδοσης.

Η διαχείριση της ζήτησης DSM περιλαμβάνει κυρίως έξι στρατηγικές: εξοικονόμηση ενέργειας, αποκοπή αιχμής, μετατόπιση φορτίου, στρατηγική αύξηση φορτίου, πλήρωση κοιλάδας και ευέλικτη αξιοπιστία, αλλά εκτελείται κυρίως μέσω της στρατηγικής μετατόπισης φορτίου. οι πάροχοι υπηρεσιών κοινής ωφέλειας μπορούν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα NILM για να εντοπίσουν τα φορτία υψηλής κατανάλωσης (ιδιαίτερα τα μετατοπίσιμα φορτία) και τα πρότυπα χρήσης τους, τα οποία μπορούν να διερευνηθούν περαιτέρω για να προκύψουν αποτελεσματικές στρατηγικές μετατόπισης φορτίου. Η πρόταση στρατηγικών μετατόπισης φορτίου με βάση το NILM μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μικρής κλίμακας στο μελλοντικό σύστημα δικτύου [6]. Παράδειγμα αποτελεί ένας αλγόριθμος μη παρεμβατικής παρακολούθησης φορτίου (NILM) που εφαρμόζεται σε δεδομένα μετρητών προηγμένης υποδομής μέτρησης (AMI) για τη διάσπαση του σήματος του ηλεκτρικού δικτύου σε φορτία συσκευών που

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό της οικιακής ευελιξίας των ελεγχόμενων συσκευών [7]. Επιπλέον σε ένα έξυπνο σπίτι εξοπλισμένο με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το προηγμένο βασισμένο σε NILM τεχνική- HEMS θα πρέπει να είναι σε θέση να μπορεί να ενσωματωθεί με ένα σύστημα πρόβλεψης που προβλέπει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με βάση τις τάσεις του παρελθόντος. Με την ενσωμάτωση ενός τέτοιου συστήματος πρόβλεψης με το προηγμένο HEMS, αναμένεται ότι, ο προηγμένος μηχανισμός προγραμματισμού φορτίου στο σπίτι που βασίζεται στο HEMS είναι σε θέση να βελτιστοποιήσει την ηλεκτρική ενέργεια με τις τοπικά παραγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [8]. Ακόμα η επαλήθευση της αποβολής φορτίου είναι μια άλλη πολλά υποσχόμενη εφαρμογή NILM καθώς διαδραματίζει βασικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των στρατηγικών άμεσου ελέγχου [6].



Εικόνα 3: Διάγραμμα κατηγοριοποίησης εφαρμογών NILM [6].

### 1.2.3 Βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές NILM

Είναι γνωστό ότι οι τεχνικές NILM είναι πιο διαδεδομένες στις οικιακές εφαρμογές παρόλα αυτά αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για τις βιομηχανίες και το εμπόριο. Τα βιομηχανικά δεδομένα διαφέρουν από τα οικιακά δεδομένα, λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς των μηχανημάτων και των συσκευών που μετρούνται, και, κατά συνέπεια, οι αλγόριθμοι NILM που λειτουργούν καλά στα οικιακά δεδομένα δεν είναι απαραίτητο ότι θα λειτουργούν και στα βιομηχανικά σύνολα δεδομένων. Ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι ότι οι εταιρείες προτιμούν να μην μοιράζονται τα δεδομένα τους, καθιστώντας τα δεδομένα αυτά δυσεύρετα για επεξεργασία [9]. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της χρήσης NILM σε αυτούς τους χώρους είναι η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας, η μείωση του κόστους, η βιωσιμότητα και η συμμόρφωση με τους ενεργειακούς κανονισμούς. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την ενεργειακή τους κατανάλωση και να συμβάλλουν σε μια πιο οικονομικά βιώσιμη λειτουργία.

Υπάρχουν τρεις βασικές ηλεκτρικές συσκευές σε όλες τις βιομηχανικές και εμπορικές μηχανές: κινητήρες ή ανεμιστήρες, συσκευές φωτισμού και συσκευές θέρμανσης. Στη συνέχεια, όταν όλες οι βασικές ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι γνωστές, μπορούν να αναγνωριστούν οι μηχανές που λειτουργούν και η κατανάλωση μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τη συνολική ισχύ κατανάλωσης των βασικών ηλεκτρικών συσκευών τους. Η αναγνώριση μπορεί να γίνει μέσω των διαφορετικών καταναλώσεων ισχύος  $dP$ ,  $dQ$ ,  $dS$  [10]. Οι καλύτερες πληροφορίες για την ενεργειακή κατανάλωση, σε επίπεδο συσκευής, μπορούν να οδηγήσουν τους κατασκευαστές να ερευνήσουν και να τροποποιήσουν τα προϊόντα τους για καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Το NILM μπορεί όχι μόνο να διευκολύνει τις βιομηχανίες στη βελτίωση των προτύπων τους, αλλά και να υποστηρίξει την αγορά ενεργειακά αποδοτικών συσκευών. Επιπλέον για την ταχύτερη εξέλιξη μπορεί να δημιουργηθεί μια πλατφόρμα ανταλλαγής ενεργειακών δεδομένων από τα χαρακτηριστικά του φορτίου και τις πληροφορίες διαχωρισμού που λαμβάνονται από το σύστημα NILM όπως φαίνεται και στην εικόνα (4) [11].



Εικόνα 4: Πλατφόρμα ανταλλαγής έξυπνων ενεργειακών δεδομένων [11].

### 1.3 Στάδια υλοποίησης NILM

Η μη παρεμβατική παρακολούθηση φορτίου (NILM), επίσης γνωστή ως διαχωρισμός ενέργειας ή διαχωρισμός φορτίου, αντιπροσωπεύει ένα παραδειγματικό τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε και βελτιστοποιούμε την κατανάλωση ενέργειας. Το NILM λειτουργεί με βάση την παραδοχή ότι κάθε ηλεκτρικό φορτίο, είτε πρόκειται για ψυγείο, πλυντήριο ρούχων ή υπολογιστή κλπ, αφήνει ένα μοναδικό "δακτυλικό αποτύπωμα" στο συνολικό σήμα ισχύος. Αποκωδικοποιώντας αυτά τα ξεχωριστά μοτίβα, η τεχνολογία NILM μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε και να ποσοτικοποιήσουμε τη χρήση ενέργειας από μεμονωμένες συσκευές χωρίς την ανάγκη για πρόσθετους αισθητήρες ή τροποποιήσεις υλικού. Στην συνέχεια γίνεται μια επισκόπηση των διαφόρων σταδίων που συνθέτουν τη διαδικασία NILM. Από την απόκτηση δεδομένων και την προ επεξεργασία έως την εξαγωγή χαρακτηριστικών, την ταξινόμηση και, τελικά, τις πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση, κάθε στάδιο διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην αξιοποίηση του δυναμικού της NILM για τη διαχείριση, τη διατήρηση και τη βελτίωση της απόδοσης της ενέργειας.

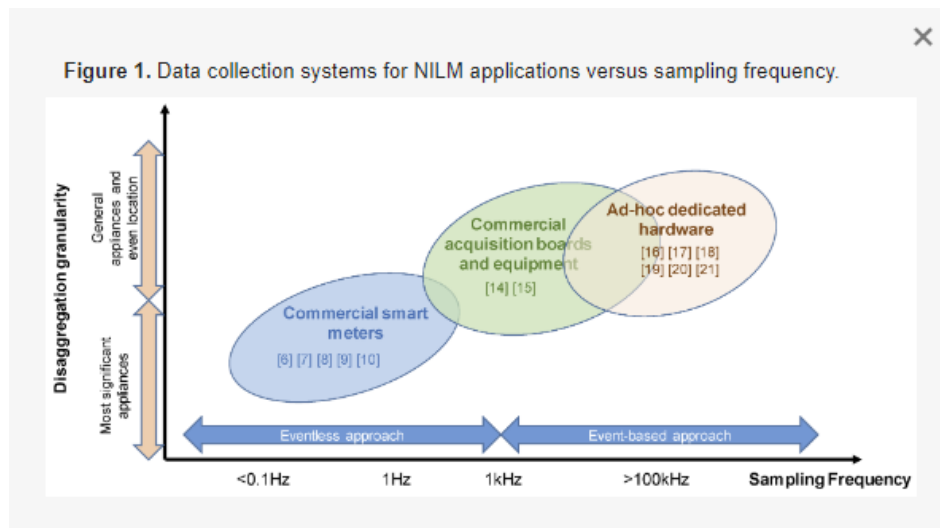
### 1.3.1 Συλλογή δεδομένων

Το πρώτο βήμα για οποιονδήποτε αλγόριθμο NILM είναι η απόκτηση συγκεντρωτικών μετρήσεων φορτίου με επαρκή ρυθμό, ώστε να μπορούν να εντοπιστούν διακριτά μοτίβα φορτίου. Πρόκειται για μια πτυχή που συχνά θεωρείται λιγότερο σημαντική, αλλά έχει σημαντικές συνέπειες όσον αφορά τους τύπους εφαρμογών που μπορούν αργότερα να αντιμετωπιστούν από τους αλγορίθμους NILM, καθώς και την απόδοση, την ογκομετρία κ.λπ. Αυτή η συλλογή δεδομένων συνήθως σχετίζεται με μια συσκευή ή ένα σύστημα, πολύ κοντά στις υπάρχουσες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όπου μπορούν να αναπτυχθούν διαφορετικές προσεγγίσεις για τη μέτρηση ορισμένων παραμέτρων, όπως ρεύματα ή τάσεις, σε ένα συγκεκριμένο νοικοκυριό ή κτίριο. Μερικές φορές μπορούν να προσδιοριστούν και άλλες παράμετροι, που προέρχονται από αυτά τα σήματα τάσης και ρεύματος, όπως η πραγματική ισχύς, η φαινόμενη ισχύς, ο συντελεστής ισχύος ή η τροχιά I-V, και να χρησιμοποιηθούν ως χαρακτηριστικά [12]. Όχι μόνο αυτές οι παράμετροι, αλλά και η διακύμανσή τους με την πάροδο του χρόνου, αποτελούν ενδείξεις που καθοδηγούν την προσέγγισή σε οποιαδήποτε περαιτέρω ενεργειακή ανάλυση και αναγνώριση συσκευών.

Έχουν σχεδιαστεί διάφοροι μετρητές ισχύος για τη μέτρηση του συγκεντρωτικού φορτίου του κτιρίου. Μια οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για την απόκτηση συγκεντρωτικών δεδομένων ισχύος είναι η χρήση έξυπνων μετρητών που αναπτύσσονται επί του παρόντος ως απαίτηση του έξυπνου δικτύου. Το σήμα συγκεντρωτικής ισχύος από αυτούς τους μετρητές μπορεί να καταγραφεί με διαφορετικό ρυθμό δειγματοληψίας. Η συχνότητα δειγματοληψίας καθορίζεται από τις μετρήσεις και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται από τον αλγόριθμο NILM. Η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να είναι είτε υψηλής είτε χαμηλής συχνότητας [13].

Οι περισσότεροι μετρητές περιορίζονται σε χαμηλούς ρυθμούς δειγματοληψίας, το πολύ 1 Hz περιορίζοντας έτσι την επιτυγχάνομενη απόδοση και την πιθανότητα χρήσης τους σε ορισμένους απαιτητικούς τύπους εφαρμογών. Ακόμη χειρότερα, μερικές φορές αυτή η συχνότητα δειγματοληψίας δεν είναι σταθερή με την πάροδο του χρόνου, προσθέτοντας έτσι μια νέα πρόκληση. Στα πλεονεκτήματα όμως βρίσκεται το χαμηλό κόστος αγοράς τους [12].

Αντίθετα είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα συστήματα που παρέχουν υψηλότερες συχνότητες δειγματοληψίας υποστηρίζουν βαθύτερη ανάλυση των μετρούμενων χαρακτηριστικών προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη ενεργειακή ανάλυση. Για την υλοποίηση πιο εφικτών και αξιόπιστων ταξινομητών συσκευών από αυτούς που έχουν ήδη προταθεί στο πεδίο, οι συχνότητες δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι υψηλότερες από 4 kHz. Στον αντίποδα, η χρήση υψηλών συχνοτήτων δειγματοληψίας είναι δαπανηρή, τόσο όσον αφορά την πολυπλοκότητα του λογισμικού όσο και του υλικού, και απαιτεί επίσης μεγαλύτερο εύρος ζώνης επικοινωνίας για τη μετάδοση δεδομένων σε οποιονδήποτε σταθμό παρακολούθησης ή κεντρικό σταθμό [14].



Εικόνα 5: Συστήματα συλλογής δεδομένων για εφαρμογές NILM σε σχέση με τη συχνότητα δειγματοληψίας [15].

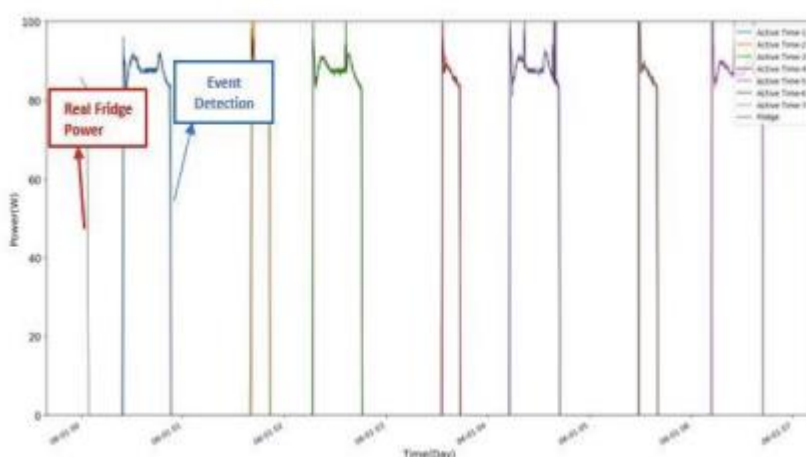
### 1.3.2 Ανίχνευση συμβάντων

Στο NILM, κάθε μεταβολή ενός σήματος από μια ορισμένη σταθερή κατάσταση σε μια νέα θεωρείται ένα γεγονός. Η ανίχνευση γεγονότων γίνεται με την ανίχνευση των χρόνων μεταγωγής κάθε συσκευής που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο. Κυρίως, η ανίχνευση συμβάντων γίνεται με την αξιολόγηση της ενεργού ισχύος όπως στην εικόνα (6). Συχνά συνδέεται με υψηλούς ρυθμούς δειγματοληψίας, καθώς η συνθήκη αυτή είναι απαραίτητη κατά την αντίστοιχη επεξεργασία του σήματος για την επίτευξη κατάλληλης απόδοσης στην ανίχνευση γεγονότων. Επειδή τα γεγονότα είναι πιο εύκολο να ανιχνευθούν στα σήματα ρεύματος σε σύγκριση με αυτά των σημάτων τάσης, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι περισσότεροι ανιχνευτές γεγονότων έχουν επικεντρωθεί σε αυτόν τον τύπο σήματος [16]. Οι ανιχνευτές συμβάντων χρησιμοποιούν συνήθως τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις: Ευρετικές μέθοδοι εμπειρογνομώνων, Πιθανοτικά μοντέλα και Προσαρμοσμένα φίλτρα.

- Οι ευρετικές μέθοδοι εμπειρογνομώνων συνίστανται στη δημιουργία ενός συνόλου κανόνων για κάθε συσκευή. Οι βηματικές αλλαγές που υπάρχουν στο σήμα κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάκριση μεταξύ συσκευών [15]. Η προσέγγισή για την ανίχνευση αυτών των αλλαγών τμηματοποιεί πρώτα τις κανονικοποιημένες τιμές ισχύος σε σταθερές και μεταβατικές περιόδους. Οι σταθερές περίοδοι ορίζονται ως ένα προκαθορισμένο σύνολο συνεχόμενων δειγμάτων σταθερού μεγέθους στο οποίο η "είσοδος δεν μεταβάλλεται περισσότερο από μια καθορισμένη ανοχή". Αυτή η διαδικασία απαιτεί μια αρχικοποίηση για τον προσδιορισμό αυτών των περιοχών για κάθε συσκευή στο σπίτι. Η διακύμανση αυτή μετράται με τη λήψη της τυπικής απόκλισης του συνόλου δειγμάτων σταθερού μεγέθους [17].

- Όσον αφορά τα πιθανοτικά μοντέλα στη λογοτεχνία της στατιστικής, καθώς και σε πολλούς άλλους τομείς, το πρόβλημα της ανίχνευσης απότομων αλλαγών σε δεδομένα χρονοσειρών είναι γνωστό ως ανίχνευση αλλαγών. Επιπλέον, ο προσδιορισμός της συγκεκριμένης χρονικής στιγμής κατά την οποία συμβαίνει αυτή η αλλαγή αναφέρεται μερικές φορές ως ανίχνευση σημείου αλλαγής. Υπήρξαν αρκετές τεχνικές από αυτόν τον τομέα που εφαρμόστηκαν στο πρόβλημα της ανίχνευσης γεγονότων σε σήματα ισχύος. Για παράδειγμα, οι ερευνητές εισάγουν τη χρήση μιας προσέγγισης του γενικευμένου λόγου πιθανοφάνειας, η οποία υπολογίζει μια "στατιστική απόφαση από το φυσικό λογάριθμο ενός λόγου των κατανομών πιθανότητας πριν και μετά από μια πιθανή αλλαγή στη μέση τιμή". Η προσέγγισή τους απαιτεί την εκπαίδευση τεσσάρων παραμέτρων εκτός σύνδεσης, συμπεριλαμβανομένου του μήκους των κινούμενων παραθύρων, της διακύμανσης των δεδομένων ισχύος και ενός κατωφλίου για το στατιστικό ανίχνευσης [17].
- Μια διαφορετική προσέγγιση για την ανίχνευση συμβάντων αποτελεί η χρήση ταιριασμένων φίλτρων που αντιστοιχούν ένα γνωστό σήμα (συνήθως αναφερόμενο ως "μάσκα") με ένα άγνωστο σήμα, προκειμένου να ανιχνεύσουν την παρουσία της μάσκας στο άγνωστο σήμα. Οι μάσκες ενδέχεται να είναι πρότυπα σήματα ισχύος που περιέχουν τα μεταβατικά φαινόμενα εκκίνησης ή απενεργοποίησης διαφόρων συσκευών και το άγνωστο σήμα είναι η συνολική κατανάλωση ισχύος.

Εκτός από τις προσεγγίσεις που βασίζονται σε συμβάντα, έχουν επίσης καταβληθεί ερευνητικές προσπάθειες για την πλήρη αποφυγή του βήματος ανίχνευσης συμβάντων είτε με τη χρήση ακατέργαστων μετρήσεων ρεύματος και τάσης είτε με την ανάλυση των πληροφοριών στο φάσμα συχνοτήτων προκειμένου να ανιχνευθεί η παρουσία ορισμένων συσκευών κατά τη λειτουργία τους [19].



Εικόνα 6: Παράδειγμα ανίχνευσης συμβάντος ψυγείου [16].

### 1.3.3 Εξαγωγή χαρακτηριστικών

Σήμερα λειτουργούν εκατομμύρια ηλεκτρικές συσκευές. Με έναν αυξανόμενο αριθμό από ηλεκτρονικά ελεγχόμενες και αυτοματοποιημένες συσκευές, είναι ανέφικτο να αποκτήσει κανείς μια πλήρη και "εξατομικευμένη" βάση δεδομένων για όλες τις συσκευές. Ως εκ τούτου, εστιάζουμε στην ανάπτυξη ενός συνόλου γενικευμένων και κρίσιμων χαρακτηριστικών που μπορούν να εξαχθούν από συμβατικές μετρήσεις (π.χ. κυματομορφές ρεύματος και τάσης) [18]. Ανάλογα με το πού μπορούν να εξαχθούν αυτά τα χαρακτηριστικά, μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής: Χαρακτηριστικά σταθερής κατάστασης, Χαρακτηριστικά μεταβατικής κατάστασης και Μη παραδοσιακά χαρακτηριστικά.

- Τα χαρακτηριστικά σταθερής κατάστασης προέρχονται από τη λειτουργία σταθερής κατάστασης μιας συσκευής. Οι μεταβολές της πραγματικής ισχύος ( $P$ ) και της άεργου ισχύος ( $Q$ ) χρησιμοποιούνται συνήθως στη σταθερή κατάσταση για την ανίχνευση των γεγονότων αλλαγής κατάστασης λειτουργίας των συσκευών [18]. Ο αριθμός και το είδος των χαρακτηριστικών που μπορούν να εξαχθούν εξαρτώνται από τον τρόπο δειγματοληψίας των δεδομένων. Χαρακτηριστικά που σχετίζονται μόνο με την πραγματική ισχύ μπορούν να εξαχθούν σε χαμηλό ρυθμό δειγματοληψίας και να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση συσκευών με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά κατανάλωσης ισχύος. Ωστόσο, χαρακτηριστικά όπως οι αρμονικές ρεύματος λειτουργούν καλύτερα, αλλά απαιτούν υψηλότερο ρυθμό δειγματοληψίας για να αποκτηθούν [19].
- Τα χαρακτηριστικά μεταβατικής κατάστασης προκύπτουν από τη λειτουργία μιας συσκευής σε μεταβατική κατάσταση. Αυτά τα χαρακτηριστικά εμφανίζουν λιγότερες ομοιότητες μεταξύ διάφορων συσκευών σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά σταθερής κατάστασης. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα είναι ο υψηλός ρυθμός δειγματοληψίας που απαιτείται για την ανάκτηση αυτών των χαρακτηριστικών [19]. Υπάρχουν διάφορα τέτοια χαρακτηριστικά, όπως αιχμές ρεύματος, μεταβατικός χρόνος απόκρισης, επαναλαμβανόμενα μεταβατικά προφίλ ισχύος, φασματικές περιβάλλουσες και άλλα [1].
- Τα μη παραδοσιακά χαρακτηριστικά αναφέρονται σε άλλα νέα χαρακτηριστικά τα οποία είναι αποτέλεσμα των άλλων δύο ειδών χαρακτηριστικών ή άλλων, όπως η ώρα της ημέρας, η κατανομή ενεργοποίησης/απενεργοποίησης, η συχνότητα χρήσης μιας συσκευής και η συσχέτιση της χρήσης πολλαπλών συσκευών [1].

### 1.3.4 Αναγνώριση φορτίου

Ο πυρήνας του NILM είναι το στάδιο διαχωρισμού ή αλλιώς το στάδιο αναγνώρισης, όπου οι αλγόριθμοι αναλύουν τα ηλεκτρικά δεδομένα και προσπαθούν να τα αντιστοιχίσουν με γνωστές



υπογραφές φορτίου στη βάση δεδομένων. Συγκρίνοντας τα παρατηρούμενα δεδομένα με τις υπογραφές αναφοράς, οι αλγόριθμοι NILM προσδιορίζουν ποιες συσκευές είναι σε χρήση ανά πάσα στιγμή. Αυτοί αλγόριθμοι διαχωρισμού αποσκοπούν στην αναγνώριση των συσκευών που έχουν συμβάλει στο συνολικό φορτίο κατανάλωσης. Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί αρκετοί αλγόριθμοι διαχωρισμού και, σε μια κατηγοριοποίηση με βάση την εκπαίδευση του συστήματος, μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες μεθόδων: με επίβλεψη και χωρίς επίβλεψη [20].

- Οι μέθοδοι με επίβλεψη απαιτούν ένα σύνολο δεδομένων που έχει επισημανθεί εκ των προτέρων και περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά διάφορων συσκευών, με σκοπό την εκπαίδευση των ταξινομητών [21]. Η εν λόγω εκπαίδευση του συστήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο μέσω on-line όσο και μέσω off-line προσεγγίσεων. Στην on-line προσέγγιση, τα δεδομένα επισημαίνονται με βάση την ανίχνευση συμβάντων σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιούνται για την ταυτόχρονη εκπαίδευση του συστήματος. Στη μέθοδο off-line εκπαίδευσης, οι συσκευές παρακολουθούνται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον και κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου και οι αντίστοιχες υπογραφές τους επισημαίνονται. Παρόλα αυτά η εγκατάσταση μιας μονάδας μέτρησης για κάθε μεμονωμένη συσκευή, προκειμένου να ληφθούν τα απαιτούμενα επισημασμένα δεδομένα, είναι μια δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία. Σε μια εναλλακτική προσέγγιση, οι συσκευές μπορούν να ενεργοποιούνται διαδοχικά, ώστε να ανιχνεύονται μεμονωμένα από το συνολικό φορτίο [20]. Ακόμα Διάφορα σύνολα δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνουν επισημασμένα δεδομένα που λαμβάνονται μέσω της διερεύνησης των υπογραφών διάφορων οικιακών συσκευών, είναι πλέον δημόσια διαθέσιμα. Αυτά τα ανοικτά σύνολα δεδομένων, επιτρέπουν στους ερευνητές να εκπαιδεύσουν τους αλγορίθμους διαχωρισμού τους χωρίς να διεξάγουν την προαναφερθείσα επαχθή διαδικασία μέτρησης. Κάποιες από τις πιο γνωστές προσεγγίσεις μάθησης με επίβλεψη είναι τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, οι γενετικοί αλγόριθμοι, μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης, τα κρυφά μοντέλα Markov και το δέντρο απόφασης [21]. Οι επιβλεπόμενοι αλγόριθμοι διαχωρισμού μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: τις μεθόδους αναγνώρισης προτύπων και τις μεθόδους βελτιστοποίησης. Η πρώτη βασίζεται στα συμβάντα για τον εντοπισμό των συσκευών, ενώ η δεύτερη δεν εξαρτάται από τα γεγονότα [20]. Τέλος παρόλο που οι τεχνικές με επίβλεψη έχουν αποδείξει την ικανότητά τους στην αναγνώριση συσκευών και την ενεργειακή ανάλυση, έχουν ορισμένους περιορισμούς κατά την εφαρμογή τους σε πραγματικό χρόνο. Ο αλγόριθμος μάθησης με επίβλεψη δεν μπορούσε να προσαρμοστεί στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, οι υπογραφές των συσκευών πρέπει να ενημερώνονται με βάση διάφορους παράγοντες, όπως η γήρανση των συσκευών, η υποβάθμιση της απόδοσης των συσκευών, η αντικατάσταση συσκευών/νέες συσκευές στη γραμμή τροφοδοσίας και οι διαταραχές της γραμμής τροφοδοσίας.
- Οι μέθοδοι διαχωρισμού και αναγνώρισης φορτίου χωρίς επίβλεψη, οι οποίες δεν βασίζονται σε επισημασμένα δεδομένα, έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον των ερευνητών. Σε αυτές τις μεθοδολογίες, δεν χρειάζεται να υπάρχει προηγούμενη γνώση για τις συσκευές ή τα δεδομένα εκπαίδευσης, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του κόστους αρχικής

ρύθμισης και της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τους αλγορίθμους χωρίς επίβλεψη υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις για να υιοθετηθούν σε φθηνά συστήματα διαχωρισμού φορτίου μεγάλης κλίμακας [20]. Οι αλγόριθμοι μάθησης χωρίς επίβλεψη, όπως είναι τα κρυφά μοντέλα Markov (HMM), η ομαδοποίηση kmeans και η μεγιστοποίηση της προσδοκίας (EM) χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιβλιογραφία των NILM [21]. Σε αντίθεση με τους περισσότερους εποπτευόμενους αλγορίθμους διαχωρισμού φορτίου, οι μη εποπτευόμενοι αλγόριθμοι είναι χωρίς γεγονός [19]. Τα χαρακτηριστικά των συσκευών μαθαίνονται αυτόματα από το συγκεντρωτικό φορτίο κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου, όπως αρκετές ώρες, ημέρες ή μήνες και αυτά τα χαρακτηριστικά στη συνέχεια αντιστοιχίζονται σε μια συγκεκριμένη κλάση. Κάθε κλάση απαιτεί την προσθήκη μιας ετικέτας, η οποία μπορεί να ενσωματωθεί είτε με χειροκίνητο τρόπο είτε χρησιμοποιώντας την πρόσφατη προσέγγιση που ονομάζεται πλαίσιο συμπερασμού Bayes [20]. Τέλος εκτός από την επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη μέθοδο διαχωρισμού, μια ενδιαμέση ημι-επιβλεπόμενη τεχνική, η οποία αποτελείται τόσο από επιβλεπόμενες όσο και από μη επιβλεπόμενες ενότητες. Αυτή η τεχνική αποσκοπεί στη μείωση της εξάρτησης από τον χρήστη που παρουσιάζουν οι επιβλεπόμενες μέθοδοι. Η επιβλεπόμενη ενότητα εκπαιδεύει τους ταξινομητές της μέσω off-line μάθησης χρησιμοποιώντας το διαθέσιμο σύνολο δεδομένων με επισημασμένες συσκευές και παρέχει γενικά μοντέλα συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μη επιβλεπόμενη ενότητα.

Αν και οι αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη είναι ανταγωνιστικοί σε σχέση με τις προσεγγίσεις με επίβλεψη, και οι δύο προσεγγίσεις απαιτούν ισχυρά χαρακτηριστικά για να μοντελοποιήσουν αποτελεσματικά το σύστημα NILM. Τα ισχυρά χαρακτηριστικά μπορούν να ληφθούν με την εξαγωγή ανεξάρτητων χαρακτηριστικών από τη συσκευή, μέσω τεχνικών χαρτογράφησης και μετασχηματισμού χαρακτηριστικών. Τα τελευταία χρόνια, οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης έχουν αποδείξει την ικανότητά τους να εξάγουν εγγενή χαρακτηριστικά από τα ακατέργαστα δεδομένα, χωρίς να απαιτείται τεχνογνωσία σε διάφορες εφαρμογές [21].

### 1.3.5 Αξιολόγηση επιδόσεων

Ο καθορισμός σχετικών προτύπων αξιολόγησης, όπως οι μετρικές απόδοσης και το πλαίσιο συγκριτικής αξιολόγησης, είναι ζωτικής σημασίας για να καταστεί δυνατή η εμπειρική αξιολόγηση των αλγορίθμων NILM και η δίκαιη σύγκριση των επιδόσεων μεταξύ αλγορίθμων. Η απόδοση των αλγορίθμων NILM μπορεί να αξιολογηθεί με τη χρήση τριών μετρητών ακρίβειας όπως η ακρίβεια διαχωρισμού, η ακρίβεια ανίχνευσης και η συνολική ακρίβεια. Ορισμένες από τις συνήθεις μετρικές που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία είναι:

- Το ποσοστό αληθούς/ψευδούς θετικού αποτελέσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποδόσεων ενός ανιχνευτή συμβάντων. Τα ποσοστά αληθώς θετικών (TPR) και τα ποσοστά ψευδώς θετικών (FPR) μπορούν να οριστούν ως προς τα

αληθώς θετικά (TP), αληθώς αρνητικά (TN), ψευδώς θετικά (FP) και ψευδώς αρνητικά (FN) δείγματα ως εξής:

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP+TN} \quad (2)$$

- Η ακρίβεια και ανάκληση είναι δυο μετρικές παρόμοιες με το ποσοστό αληθούς/ψευδούς θετικού αποτελέσματος. Όπου ακρίβεια (precision) είναι οι θετικές προγνωστικές τιμές και ανάκληση (recall) είναι το αληθώς θετικό ποσοστό ή η ευαισθησία, TP είναι τα αληθώς θετικά αποτελέσματα (που προβλέπουν σωστά ότι η συσκευή ήταν ενεργοποιημένη), FP είναι τα ψευδώς θετικά (προέβλεψε ότι η συσκευή ήταν ενεργοποιημένη αλλά ήταν απενεργοποιημένη), και FN είναι τα ψευδώς αρνητικά. (η συσκευή ήταν ενεργοποιημένη αλλά προβλέφθηκε απενεργοποιημένη). Αυτά τα μεγέθη (TP, FP, FN) είναι αθροίσεις για μια δεδομένη χρονική περίοδο [22]. Ορίζονται ως εξής:

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4)$$

- Το F-score (γνωστό και ως f-measure ή F1score) είναι ο αρμονικός μέσος όρος της ακρίβειας και της ανάκλησης. Το F-score, χρησιμοποιείται συχνά στην ανάκτηση πληροφοριών και στην ταξινόμηση κειμένων/εγγράφων, αλλά χρησιμοποιείται και αρκετά από ερευνητές του NILM. Ένα μειονέκτημα του f-score είναι ότι μετρά δυαδικά αποτελέσματα ταξινόμησης και τα σήματα ισχύος δεν είναι δυαδικά. Το f-score ορίζεται ως εξής [23]:

$$F1 = 2 * \frac{precision*recall}{precision+recall} \quad (5)$$

- Το τροποποιημένο F-score είναι μια τροποποιημένη έκδοση του F-score για να ληφθούν υπόψη μη δυαδικά αποτελέσματα, όπως ένα σήμα ισχύος. Η μετρική διαχωρίζει το True positive σε accurate true positive (ATP) και incorrect true positive (ITP). Εισάγεται ένα κατώτατο όριο T για να διαιρέσει το αληθές θετικό (TP) σε ATP και ITP. Το κατώφλι T υπολογίζεται διαιρώντας την τυπική απόκλιση με τον μέσο όρο ολόκληρης της βασικής αλήθειας μιας συσκευής [24]. Οπότε ορίζεται ως εξής:

$$gt > 0 \text{ και } pt > 0, \frac{|pt-gt|}{gt} \leq T \text{ τότε η πρόβλεψη είναι ATP.} \quad (6)$$

$$gt > 0 \text{ και } pt > 0, \frac{|pt-gt|}{gt} > T \text{ τότε η πρόβλεψη είναι ITP.} \quad (7)$$

Load	Acc (%)	TP	Inacc	APT	ITP	TN	FP	FN
Overall score	97.28	86,398	78.44	82,280	4111	474,850	9108	6610
Basement	96.34	5590	0.00	4710	879	44,942	947	973
Clothes dryer	99.35	647	0.10	647	0	51,461	43	300
Clothes washer	97.88	76	2.50	19	57	51,265	130	980
Dishwasher	98.80	863	4.52	845	17	50,959	335	294
Kitchen fridge	88.23	17,429	12.97	17,388	41	28,847	4587	1588
HVAC/furnace	99.90	52,376	35.67	50,893	1482	25	36	15
Garage	99.93	0	0.00	0	0	52,413	7	31
Heat pump	99.70	4622	22.27	4395	226	47,672	51	107
Home office	94.68	492	0.00	487	4	49,171	1173	1615
Ent/TV/DVD	95.43	4188	0.00	2782	1405	45,866	1762	636
Wall oven	99.79	115	0.42	114	0	52,229	37	71

Εικόνα 7: Παράδειγμα πίνακα με μετρήσεις ακρίβειας [22].

## 1.4 Σύνολα δεδομένων

### 1.4.1 Εισαγωγή στα σύνολα δεδομένων

Ένα σύνολο δεδομένων ενεργειακής ανάλυσης είναι μια συλλογή μετρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνονται από σενάρια του πραγματικού κόσμου, χωρίς να διαταράσσεται η καθημερινή ρουτίνα στον παρακολουθούμενο χώρο, δηλαδή προσπαθώντας να διατηρηθούν τα δεδομένα όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα [25]. Συνήθως περιέχουν μετρήσεις από το σύνολο του σπιτιού κατανάλωσης (που λαμβάνονται στο δίκτυο) και από τα μεμονωμένα φορτία (δηλ., δεδομένα "ground-truth"). Τα μεμονωμένα φορτία λαμβάνονται είτε με τη μέτρηση κάθε φορτίου στο επίπεδο του βύσματος είτε με τη μέτρηση του μεμονωμένου κυκλώματος στο οποίο είναι συνδεδεμένο το φορτίο [27]. Σε ένα πραγματικό σενάριο, συνήθως πολλαπλά φορτία συνδέονται στο ίδιο κύκλωμα. Επομένως, η μέτρηση σε επίπεδο πρίζας δεν εξασφαλίζει πάντα τη διαθεσιμότητα μεμονωμένων δεδομένων κατανάλωσης για κάθε φορτίο.

Οι περισσότερες τεχνικές απαιτούν την εφαρμογή δύο θεμελιωδών βημάτων για την αξιόπιστη εκπαίδευση και ρύθμιση των αλγορίθμων. Το πρώτο βήμα είναι η ακριβή μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας και των παραμέτρων που σχετίζονται με τις υπογραφές ισχύος και άλλες παραμέτρους που βασίζονται στις εμπλεκόμενες συσκευές και το δεύτερο βήμα η παρακολούθηση για ένα χρονικό διάστημα αρκετά μεγάλο για τη συλλογή επαρκούς όγκου δεδομένων [28]. Μείζονος σημασίας είναι το πρώτο βήμα, καθώς επηρεάζει αυστηρά την ποιότητα και την ποσότητα των συλλεγόμενων πληροφοριών. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν μετρήσεις ενέργειας που χαρακτηρίζονται από χαμηλές αβεβαιότητες και, ταυτόχρονα, να παρέχουν διάφορες ενεργειακές παραμέτρους, όπως η αρμονική και διααρμονική ισχύς, οι τιμές ρεύματος και τάσης, η συνολική αρμονική παραμόρφωση, ο συντελεστής ισχύος κ.λπ. που μπορούν να χαρακτηρίσουν τον τρόπο με τον οποίο μια συσκευή ή μια ομάδα συσκευών καταναλώνει την ηλεκτρική ενέργεια. Όσον αφορά το δεύτερο σημείο, η παρακολούθηση για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα εμφανίζει μεγάλη σημασία, όχι μόνο για την

παροχή μεγάλου όγκου δεδομένων στους αλγορίθμους έξυπνης ενέργειας, αλλά επίσης για τη δυνατότητα λειτουργίας των αλγορίθμων σε λίγες συνθήκες λειτουργίας ικανές να δώσουν αξιόπιστες πληροφορίες για την παρακολουθούμενη διαδικασία ή εξοπλισμό. Δεδομένου των προαναφερθέντων απαιτήσεων είναι επιτακτική η ανάγκη δημιουργίας συνόλων δεδομένων με στόχο τη διευκόλυνση της ανάπτυξης νέων αλγορίθμων [28].

#### 1.4.2 Περιορισμοί στα σύνολα δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων για τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία. Καθώς πρέπει να πραγματοποιηθούν μακροχρόνιοι κύκλοι μετρήσεων, η διαδικασία απαιτεί σημαντικό χρόνο, προσπάθεια και όργανα για τη μέτρηση και την καταγραφή των δεδομένων. Ένας από τους κύριους περιορισμούς των πραγματικών συνόλων δεδομένων στη βιβλιογραφία σήμερα είναι ο μικρός αριθμός των αναφερόμενων ηλεκτρικών παραμέτρων (το πολύ  $P$  ενεργό ισχύς,  $Q$  άεργος ισχύς,  $S$  φαινόμενη ισχύς,  $V$  τάση,  $I$  ρεύμα) [28]. Επιπλέον, τα πραγματικά σύνολα δεδομένων χαρακτηρίζονται συχνά από ελλιπή δεδομένα λόγω διαφόρων προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια των εκστρατειών μέτρησης, χρονική αναντιστοιχία μεταξύ μεμονωμένων δεδομένων φορτίου και συνολικών δεδομένων ή πιθανά σφάλματα λόγω δυσλειτουργίας και ανακρίβειας των υιοθετημένων οργάνων. Η απουσία πληροφοριών σχετικά με τις τρέχουσες καταστάσεις λειτουργίας κάθε συσκευής μπορεί να αποτελέσει περιορισμό για τα σύνολα δεδομένων. Η δυσκολία στην επισήμανση των δεδομένων που αποκτώνται ευθύνεται για αυτό. Από τη μία πλευρά δεν μπορούν να βασιστούν μόνο σε αυτόματες διαδικασίες επισήμανσης, καθώς αυτές μέθοδοι δεν εγγυώνται ακόμη αρκετή ακρίβεια. Από την άλλη, δεν μπορούν να βασιστούν αποκλειστικά σε ανθρώπους για την επισήμανση των δεδομένων, δεδομένου ότι αυτό είναι μια πολύ χρονοβόρα διαδικασία που είναι επίσης πολύ επιρρεπής σε λάθη [27].

Μια λύση στα προαναφερθέντα προβλήματα θα μπορούσε να είναι η προσομοίωση των δεδομένων. Ένα προσομοιωμένο σύνολο δεδομένων δεν απαιτεί μακροχρόνιες εκστρατείες παρακολούθησης, εξοικονομώντας χρόνο, κόστος και όργανα. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα παρέχονται εφόσον η διαδικασία προσομοίωσης υλοποιηθεί σωστά, πράγμα όχι ασήμαντο από την άποψη της κατάλληλης μοντελοποίησης και του υπολογιστικού κόστους [27].

#### 1.4.3 Κατηγορίες συνόλων δεδομένων

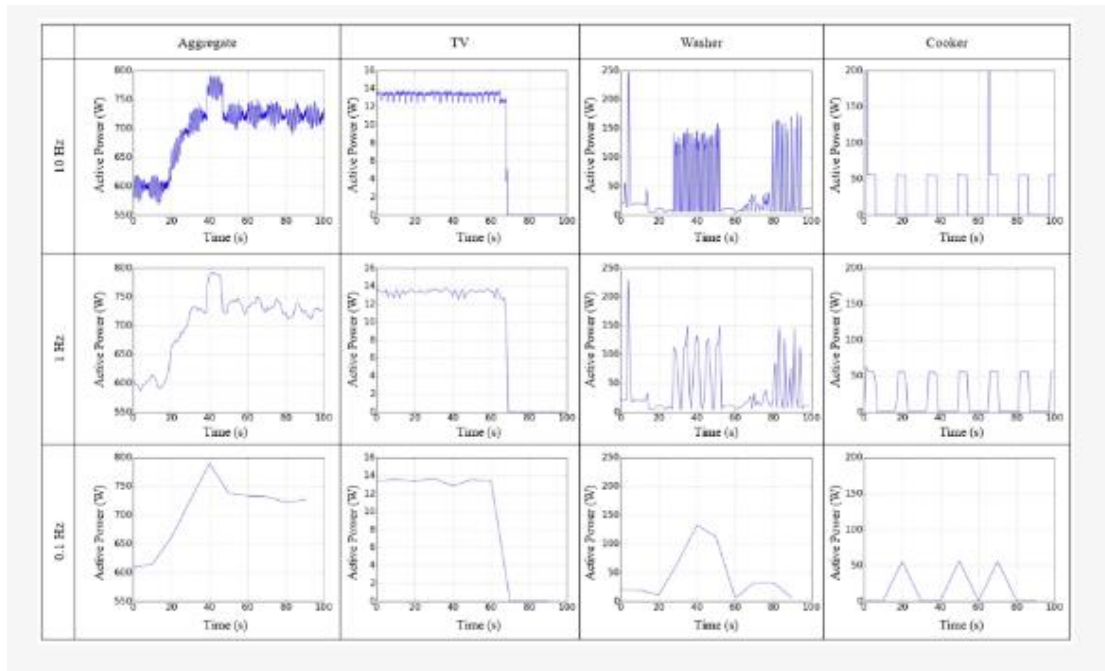
Όπως και οι προσεγγίσεις NILM, τα διαθέσιμα επί του παρόντος σύνολα δεδομένων κατηγοριοποιούνται επίσης σε σύνολα δεδομένων που βασίζονται σε συμβάντα ή χωρίς συμβάντα. Οι προσεγγίσεις βασισμένες σε γεγονότα συνίστανται στην παρακολούθηση κάθε μετάβασης κατάστασης συσκευής (π.χ. ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση τηλεόρασης) μέσω ανίχνευσης και ταξινόμησης γεγονότων, υποθέτοντας ότι το σύστημα έχει προηγουμένως εκπαιδευτεί και προσεγγίσεις χωρίς γεγονότα, όπου δεν υποτίθεται προηγούμενη γνώση των υφιστάμενων συσκευών

και η διαίρεση φορτίου γίνεται μέσω τεχνικών όπως Hidden Markov ή εξόρυξη χρονικών μοτίβων. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών έγκειται στο γεγονός ότι η τελευταία δεν απαιτεί την αναγνώριση των συσκευών που ευθύνονται για τις διάφορες μεταβολές της συνολικής ισχύος (γνωστές και ως συμβάντα ισχύος). Κατά συνέπεια, η συλλογή συνόλων δεδομένων για προσεγγίσεις χωρίς συμβάντα είναι πιο απλή και λιγότερο χρονοβόρα, γεγονός που εξηγεί εν μέρει τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα αυτού του είδους των συνόλων δεδομένων [25].

Μεταξύ των πολλών απαιτήσεων για τα δεδομένα του NILM, ο ρυθμός δειγματοληψίας έχει βρεθεί ότι είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας στις μελέτες. Τα σύνολα δεδομένων με συχνότητα δειγματοληψίας σε Hz θεωρούνται σύνολα δεδομένων χαμηλής συχνότητας και χρησιμοποιούνται γενικά για εργασίες διαχωρισμού ενέργειας. Ενώ, τα σύνολα δεδομένων με συχνότητα δειγματοληψίας της τάξης των kHz και άνω αντιμετωπίζονται ως σύνολα δεδομένων υψηλής συχνότητας [29]. Όσον αφορά το υλικό για την δημιουργία αυτών των συνόλων δεδομένων, συνήθως μπορούν να κατασκευαστούν τρία επίπεδα προϊόντων ανάλογα με την ευελιξία του κόστους και τις απαιτήσεις τύπου δεδομένων/ταχύτητας δειγματοληψίας. Η πρώτη βαθμίδα μπορεί να δειγματοληφτεί κυματομορφές ηλεκτρικής ενέργειας μερικά εκατομμύρια φορές ανά δευτερόλεπτο - επομένως, η "υπογραφή" υψηλής συχνότητας κάθε συσκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ανάλυση. Παρόλα αυτά ο τύπος των υπογραφών μπορεί να είναι εξαιρετικά ακανόνιστος. Για παράδειγμα, οι υπογραφές μπορεί να φαίνονται αρκετά διαφορετικές ακόμη και μεταξύ των τηλεοράσεων με την ίδια τεχνολογία οθόνης και, κατά συνέπεια, μπορεί να χρειαστεί μια χειροκίνητη διαδικασία αντιστοίχισης κάθε "υπογραφής" με μια συσκευή σε ένα συγκεκριμένο σπίτι πριν από τη χρήση της ανάλυσης για το σπίτι. Επιπλέον, το κόστος αυτών των συσκευών είναι αρκετά υψηλό. Τα άλλα δύο επίπεδα προϊόντων συλλέγουν λιγότερα δείγματα ανά δευτερόλεπτο - μερικές χιλιάδες ανά δευτερόλεπτο για το δεύτερο επίπεδο και το πολύ δεκάδες δείγματα ανά δευτερόλεπτο για το τρίτο επίπεδο. Ενώ η ποιότητα των δεδομένων είναι η χειρότερη για την τρίτη βαθμίδα, το κόστος κατασκευής είναι αρκετά φθηνότερο και τα δεδομένα που συλλέγονται παρέχουν ούτως ή άλλως σημαντικό όγκο πληροφοριών για την ανάλυση [26].

Μέσα από μελέτες [30] έχει γίνει φανερό ότι η αναγνωσιμότητα των συσκευών εξαρτάται από τον ρυθμό δειγματοληψίας των συνόλων δεδομένων. Πολλές σύγχρονες συσκευές πρέπει να διαχωρίζονται χρησιμοποιώντας σχήματα ακμών των συμβάντων ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ή επαναλαμβανόμενες υπογραφές κατά τη διάρκεια της κατάστασης ενεργοποίησης. Τα ποσοστά δειγματοληψίας των περισσότερων δημόσιων συνόλων δεδομένων ενδέχεται να μην είναι επαρκώς υψηλά για την καταγραφή των κρίσιμων πληροφοριών. Ενώ η κανονικότητα των επαναλαμβανόμενων σχημάτων κατά τη διάρκεια της κατάστασης λειτουργίας είναι προφανής για δειγματοληψία 10 Hz, τα σχήματα αρχίζουν να γίνονται ασαφή καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας μειώνεται σε 1 Hz και στη συνέχεια σε 0,1 Hz όπως φαίνεται και στην εικόνα (8) [26]. Για παράδειγμα σε μια κουζίνας ρυζιού, η θέρμανση γίνεται από ένα θερμαντικό στοιχείο που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια σε μια ακολουθία παλμικών σχημάτων. Το πλάτος και ο κύκλος λειτουργίας καθορίζουν πόση ενέργεια καταναλώνει η συσκευή. Όταν ο ρυθμός δειγματοληψίας μειώνεται σε 1 Hz, το σχήμα του παλμού αρχίζει να παραμορφώνεται και οι δύο υπογραφές "υπερπήδησης", οι οποίες παρατηρήθηκαν με δειγματοληψία 10 Hz, εξαφανίζονται. Στην συχνότητα

δειγματοληψίας 0,1 Hz είναι αδύνατο να δηλωθεί με βεβαιότητα ότι οι υπογραφές αντιστοιχούν σε μια κουζίνα ρυζιού. Παρόμοιες συμπεριφορές μπορούν να παρατηρηθούν και για άλλες αρκετές συσκευές. Γίνεται ξεκάθαρο ότι όσο χαμηλότερος είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας, τόσο χαμηλότερη είναι επίδοση. Υπάρχουν εξαιρέσεις όπου για συγκεκριμένες συσκευές ένας χαμηλότερος ρυθμός δειγματοληψίας μπορεί να αποφέρει υψηλότερη απόδοση [30].



Εικόνα 8: Παράδειγμα σήματος ηλεκτρικής ενέργειας (υπογραφές) τηλεόρασης, πλυντηρίου και κουζίνας ρυζιού για δειγματοληψία 10, 1 και 0,1 Hz [26].

#### 1.4.4 Δημόσια σύνολα δεδομένων

Υπάρχουν πολλά δημόσια σύνολα δεδομένων που δημοσιεύονται συνεχώς. Το καθένα έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και προδιαγραφές. Ως εκ τούτου, η σωστή επιλογή μιας βάσης δεδομένων για την αντιμετώπιση θεμάτων ενεργειακής απόδοσης αποτελεί πρόκληση. Επί του παρόντος, υπάρχουν περίπου 26 δημόσια διαθέσιμα σύνολα δεδομένων NILM. Από αυτά, η συντριπτική πλειονότητα, 21, είναι κατάλληλα για την αξιολόγηση προσεγγίσεων χωρίς συμβάντα και μόνο 5 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση προσεγγίσεων που βασίζονται σε συμβάντα. Η σύγκριση μεταξύ των δημόσιων συνόλων δεδομένων για κατοικίες γίνεται σε παραμέτρους όπως, περιοχή συλλογής δεδομένων, διάρκεια συλλογής, ρυθμοί δειγματοληψίας με συγκεντρωτικά δεδομένα/δεδομένα σε επίπεδο συσκευής και χαρακτηριστικά μέτρησης κ.λπ. [31]. Κάποια από τα πιο γνωστά και πολύ χρησιμοποιημένα δημόσια σύνολα δεδομένων είναι:

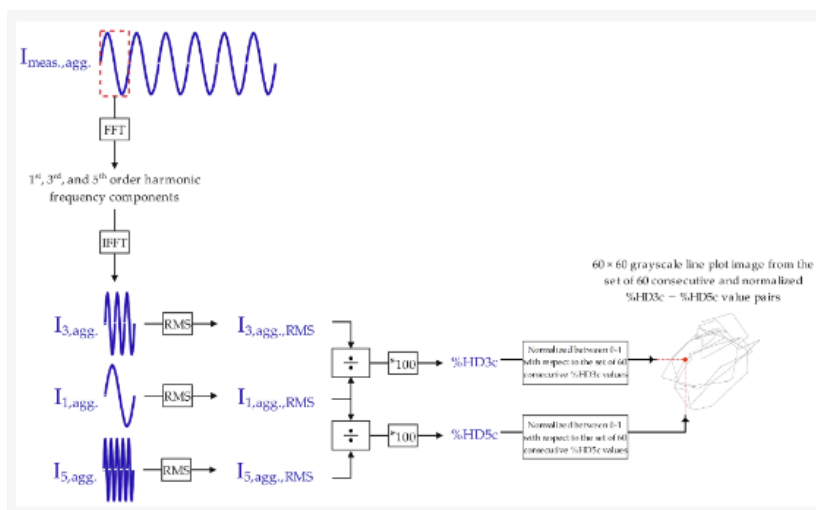
- Το σύνολο δεδομένων αναφοράς ενεργειακής ανάλυσης (REDD) κυκλοφόρησε το 2011 και αποτελεί το πρώτο ευρέως χρησιμοποιούμενο δημόσιο dataset στον τομέα της ενεργειακής ανάλυσης. Τα ζητήματα βιωσιμότητας μπορούν να αντιμετωπιστούν με μεγάλα σύνολα δεδομένων και η δημοσίευση του REDD μαζί με την υποστήριξη διαφόρων πινάκων επιδόσεων αποτέλεσε σημαντική συμβολή. Συγκεκριμένα, στο REDD περιλαμβάνονται συγκεντρωτικά και υποδειγματοληπτικά δεδομένα ενέργειας από έξι διαφορετικά σπίτια. Στο σύνολο δεδομένων καταγράφηκαν δύο τύποι δεδομένων ηλεκτρικής ενέργειας για τα σπίτια. Τα δεδομένα κυματομορφής ρεύματος/τάσης υψηλής συχνότητας των 15 kHz των δύο ηλεκτρικών δικτύων (συμπεριλαμβανομένης της τάσης για μονοφασικό και του ρεύματος και στις δύο φάσεις) και τα δεδομένα ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής συχνότητας των 0,5 Hz που περιλαμβάνουν το δίκτυο και 24 μεμονωμένα επισημασμένα κυκλώματα στο σπίτι. Τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας για ολόκληρο το σπίτι και για συγκεκριμένη συσκευή είναι διαθέσιμα για χρονικό διάστημα ενός μήνα [32].
- Το Smart2 είναι ένα δημόσια διαθέσιμο σύνολο δεδομένων που κυκλοφόρησε το 2012, ενώ η ενημερωμένη έκδοση του συνόλου δεδομένων Smart\* κυκλοφόρησε το 2017 με αυξημένα σπίτια. Το σύνολο δεδομένων Smart περιέχει δεδομένα ηλεκτρικής ενέργειας από 3 σπίτια μεταξύ 3 και 4 μηνών, ενώ το σύνολο δεδομένων Smart\* κατέγραψε μη συνεχή δεδομένα από 7 σπίτια για μια περίοδο 3 ετών. Το Smart βοήθησε στο NILM με τον τρόπο της απόκτησης δεδομένων από μεμονωμένους αισθητήρες και την προώθηση αυτών των δεδομένων προς έναν διακομιστή πύλης. Αυτός ο διακομιστής πύλης χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση του λογισμικού. Τα δεδομένα διαθέτουν χαρακτηριστικά για την οπτικοποίηση (i) της μέσης πραγματικής και φαινόμενης ισχύος κάθε δευτερόλεπτο για το σπίτι και κάθε κύκλωμα στον πίνακα δικτύου (ii) της πραγματικής χρήσης ενέργειας κάθε λίγα δευτερόλεπτα από όλα σχεδόν τα φορτία των πριζών του σπιτιού (iii) των συμβάντων on-off-dim σε όλους σχεδόν τους διακόπτες τοίχου του σπιτιού (iv) της μέσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ηλιακό πίνακα και τις μικροαιολικές ανεμογεννήτριες κάθε 5 δευτερόλεπτα (v) μιας ποικιλίας συμβάντων που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων κίνησης, των αισθητήρων πόρτας/σκανδάλου και των αισθητήρων θερμοστάτη, και (vi) περιβαλλοντικών δεδομένων κάθε λεπτό μέσω αισθητήρων καιρού τόσο εντός όσο και εκτός του σπιτιού [33].
- Το BLUED3,4 αποτελεί ένα δημόσια διαθέσιμο σύνολο δεδομένων που καταγράφει την κατανάλωση ενέργειας από ένα μόνο κτίριο κατοικιών στις Ηνωμένες Πολιτείες. Αυτό το σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει πληροφορίες από 50 συσκευές κατά τη διάρκεια σχεδόν μίας εβδομάδας, με συχνότητα δειγματοληψίας 12 kHz. Κάθε αλλαγή κατάστασης κάθε συσκευής κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου καταγράφηκε και χρονοσημειώθηκε, προσφέροντας βασικές πληροφορίες που απαιτούνται για την αξιολόγηση αλγορίθμων που βασίζονται σε συμβάντα. Το σύνολο δεδομένων BLUED περιέχει συγκεντρωτικά δεδομένα υψηλής συχνότητας (12 kHz) ακατέργαστου ρεύματος και τάσης, καθώς και την αντίστοιχη υπολογισμένη ενεργό ισχύ (60 Hz). Καταγράφονται συνολικά 2335 συμβάντα, με την προσθήκη 2482 επιπλέον συμβάντων από άγνωστες πηγές [34].



- Το iAWE σύνολο δεδομένων δημοσιεύτηκε το 2013 από ερευνητές από την Ινδία και προέρχεται από την καταγραφή τόσο των συνολικών όσο και των υποδειγματοληπτημένων δεδομένων ισχύος από ένα μόνο κτίριο κατοικιών. Περιλαμβάνει πληροφορίες από αισθητήρες περιβάλλοντος, νερού και ηλεκτρικής ενέργειας για σχεδόν 73 ημέρες. Παρέχει πλήρως επισημασμένα δεδομένα από ένα μόνο σπίτι, περιλαμβάνοντας πληροφορίες για 63 ηλεκτρικές συσκευές, 18 εξαρτήματα νερού και τις συνθήκες περιβάλλοντος σε 6 δωμάτια για μια ημέρα. Η συλλογή δεδομένων έγινε σε ένα τριώροφο κτίριο στο Dehli της Ινδίας, χρησιμοποιώντας 33 αισθητήρες για τη συλλογή 400 MB δεδομένων καθημερινά. Αυτό το σύνολο δεδομένων αποτέλεσε μια πραγματική προσπάθεια για την προώθηση των εποπτευόμενων τεχνικών της NILM, παρέχοντας χρονικά επισημασμένα δεδομένα, και αποτέλεσε μια σημαντική συνεισφορά από ινδικούς ερευνητές στον τομέα της ενεργειακής ανάλυσης [35].

## Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία

Στην παρούσα μελέτη, η μεθοδολογία περιλαμβάνει αρχικά την ανάλυση συγκεντρωτικών δεδομένων που περιλαμβάνουν χρονοσειρές ρεύματος και τάσης που λαμβάνονται από το δημόσιο σύνολο δεδομένων Plaid3 (Plug Load Appliance Identification Dataset). Για να εξαχθούν οι κρίσιμες συνιστώσες αρμονικής συχνότητας που σχετίζονται με τη θεμελιώδη, την τρίτη και την πέμπτη τάξη κάθε 500 δειγμάτων (1 κύκλος) των στιγμιαίων συγκεντρωτικών μετρήσεων ρεύματος, υλοποιήθηκε ένας κώδικας στο περιβάλλον της Python με τον μετασχηματισμό Fourier. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν οι συνιστώσες αρμονικής συχνότητας ανά κύκλο, χρησιμοποιώντας την τεχνική του αντίστροφου γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (IFFT) για την ανακατασκευή των συγκεντρωτικών αρμονικών κυματομορφών ρεύματος. Η εστίαση ήταν κυρίως στις θεμελιώδεις, τρίτης και πέμπτης τάξης συνιστώσες των στιγμιαίων συγκεντρωτικών μετρήσεων ρεύματος. Η περαιτέρω ανάλυση περιελάμβανε τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ρίζας (rms) αυτών των κυματομορφών σε διαστήματα 500 δειγμάτων. Προχωρώντας προς τα εμπρός, αυτές οι τιμές rms ανά κύκλο χρησίμευσαν ως βάση για τον υπολογισμό των ανά κύκλο ποσοστών αρμονικής παραμόρφωσης τρίτης και πέμπτης τάξης. Στην τελική φάση, χρησιμοποιήθηκαν 60 διαδοχικές τιμές των ποσοστών αρμονικής παραμόρφωσης τρίτης (%HD3) και πέμπτης τάξης (%HD5), μετά από μια κανονικοποίηση, για να δημιουργηθούν τα γραμμικά διαγράμματα σε κλίμακα του γκρι %HD3-%HD5. Τέλος όλα τα διαγράμματα επισημάνθηκαν ανάλογα με τις συσκευές που παρίσταναν. Παρακάτω απεικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας εξαγωγής εικόνας αρμονικής παραμόρφωσης, η οποία αναλύεται στην παρούσα διπλωματική.



Εικόνα 9: Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας εξαγωγής εικόνας αρμονικής παραμόρφωσης [44].

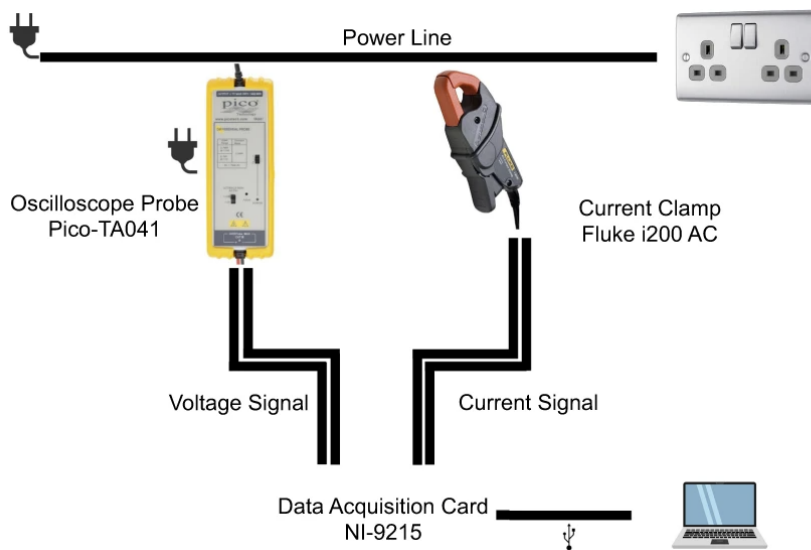
### 2.1 Στάδια Υλοποίησης Μοντέλου

### 2.1.1 Επιλογή συνόλου δεδομένων Plaid3

Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του δημόσιου συνόλου δεδομένων PLAID (Plug Load Appliance Identification Dataset) και συγκεκριμένα η τρίτη έκδοση. Το PLAID είναι ένα δημόσιο σύνολο δεδομένων που αποτελείται από μετρήσεις τάσης και ρεύματος από διάφορες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές με δειγματοληψία στα 30 kHz. Όλες οι συσκευές παρακολουθούνται μεμονωμένα, είναι υπομετρημένες και τα ίχνη δεδομένων που καταγράφονται σε διάστημα λίγων δευτερολέπτων περιλαμβάνουν την ενεργοποίηση των συσκευών. Επιπλέον, ορισμένες από αυτές παρακολουθούνται επίσης όταν είναι ενεργές ταυτόχρονα, μετράται η συνολική κατανάλωσή τους και τα δεδομένα που συλλαμβάνονται σε διάστημα λίγων λεπτών περιέχουν την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ενός υποσυνόλου των συσκευών. Οι ενεργοποιήσεις και απενεργοποιήσεις χαρακτηρίζονται από γεγονότα στα σήματα ρεύματος και τάσης. Συνολικά, παρατηρούμε 17 διαφορετικούς τύπους συσκευών, όπως ψυγεία και φούρνους μικροκυμάτων, σε σύνολο 65 διαφορετικών τοποθεσιών για τα δεδομένα που συλλέγονται από κάθε υπομέτρημα, ενώ για τα συνολικά δεδομένα, μετρούνται 13 διαφορετικοί τύποι συσκευών (ένα υποσύνολο των τύπων συσκευών που χρησιμοποιούνται για τα υπομετρημένα δεδομένα) σε μία μόνο τοποθεσία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν όλοι οι τύποι συσκευών διαθέσιμοι σε όλες τις διάφορες τοποθεσίες. Κατά συνέπεια, το σύνολο των δεδομένων περιλαμβάνει 330 διαφορετικές συσκευές, που αντιστοιχούν σε διάφορα μοντέλα συσκευών για κάθε έναν από τους 17 διάφορους τύπους. Σε ορισμένες από αυτές τις συσκευές (περίπου το 10% του συνόλου), παρακολουθήθηκαν διάφοροι τρόποι λειτουργίας [36]. Η γενική διάταξη μέτρησης για την καταγραφή των δεδομένων φαίνεται στην εικόνα (10).

Ακόμα αξίζει να αναφερθεί ότι το PLAID3 συγκεντρώνει όλες τις προηγούμενες εκδόσεις συνόλων δεδομένων PLAID σε ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων αναφοράς, ενισχύει τα διαθέσιμα υπομετρημένα δεδομένα με επιπλέον 7% δεδομένων, προσθέτει συγκεντρωτικές μετρήσεις δεδομένων, παρέχει όλα τα δεδομένα και τα μεταδιδόμενα σε ενιαία και δομημένη μορφή για πιο εύκολη χρήση. Επιπλέον καταγράφονται τα χαρακτηριστικά του σήματος για τη συνδυασμένη λειτουργία των συσκευών είτε επιλέγοντας δύο διαφορετικές συσκευές της ίδιας ομάδας και συνδυάζονται με όλους τους δυνατούς τρόπους υπό την προϋπόθεση ότι πρώτα πρέπει να ενεργοποιηθούν οι δύο συσκευές πριν απενεργοποιηθεί η μία είτε κάθε μία από διαφορετική ομάδα, συνδυάζοντας όλους τους δυνατούς τρόπους υπό την προϋπόθεση ότι πρώτα πρέπει να ενεργοποιηθούν οι δύο συσκευές πριν απενεργοποιηθεί η μία. Τέλος τρεις διαφορετικές συσκευές, η καθεμία από μία ομάδα, επιλέγονται και συνδυάζονται με τυχαίο τρόπο υπό τους όρους ότι οι τρεις συσκευές πρέπει να ενεργοποιηθούν όλες πριν απενεργοποιηθεί μία και ότι η σειρά ενεργοποίησης είναι η ίδια με τη σειρά απενεργοποίησης [36]. Οι συνολικές μετρήσεις ρεύματος και τάσης είναι χωρισμένες και αποθηκευμένες σε 575 αρχεία CSV. Στα μετα-δεδομένα προσδιορίζονται τα δεδομένα κατασκευής κάθε συσκευής και οι χρονοσφραγίδες ενεργοποίησης και απενεργοποίησης. Οι χρονοσφραγίδες εκφράζονται με τη χρήση δεικτών από τους οποίους μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που πέρασε από την έναρξη του αρχείου με τη γνωστή συχνότητα δειγματοληψίας των 30 kHz. Ο δείκτης αντιπροσωπεύει τη στιγμή ενεργοποίησης της συσκευής και όχι τη στιγμή που η συσκευή φτάνει σε σταθερή κατάσταση.

Οι λόγοι που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων είναι αρχικά οι μετρήσεις υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας που υποστηρίζουν την ανάπτυξη μηχανισμών NILM υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Επίσης παρέχει στους ερευνητές ένα μέσο για την αξιολόγηση και τη σύγκριση των έργων τους. Ακόμα η πρακτική ανάπτυξη του NILM απαιτεί την ταυτόχρονη λειτουργία πολλαπλών συσκευών όπως συμβαίνει σε πραγματικές καταστάσεις και όπως αναφέρθηκε παραπάνω στο σύνολο δεδομένων PLAID υπάρχει καταγραφή δεδομένων από ταυτόχρονη χρήση συσκευών σε διαφορετικά σενάρια. Επιπλέον η έγκυρη επισήμανση των λειτουργιών των συσκευών μέσω γεγονότων με ακριβή χρονοσήμανση, για την αποφυγή σφαλμάτων μεροληψίας τόσο κατά τη φάση της εκπαίδευσης όσο και κατά τη φάση της δοκιμής, αποτέλεσε σημαντικό προτέρημα.



Εικόνα 10: Διάταξη μέτρησης για την καταγραφή των δεδομένων [36].

## 2.1.2 Επεξεργασία μεταδεδομένων

Σαν ένα αρχικό βήμα σχεδιάστηκε ένα κομμάτι κώδικα σε Python το οποίο επεξεργάζεται το αρχείο JSON με τα μεταδεδομένα που περιέχει πληροφορίες σχετικά με ηλεκτρικές συσκευές, μάρκες και τις σχετικές αριθμητικές τιμές τους. Αυτό έγινε προκειμένου να ταξινομηθούν σωστά και με την σειρά τα στοιχεία των συσκευών καθώς επίσης και όλων των συνδυασμών τους. Ο κώδικας ξεκινά με την εισαγωγή της δομής JSON, η οποία παρέχει συναρτήσεις για την εργασία με δεδομένα JSON. Στη συνέχεια, ο κώδικας ανοίγει και διαβάζει το αρχείο JSON με τα μεταδεδομένα. Με μια σειρά εμφωλευμένων βρόχων για να διασχίσει το αρχείο αντιστοιχίζεται κάθε λέξη-κλειδί σε μια αριθμητική τιμή. Οι λέξεις-κλειδιά αντιπροσωπεύουν ηλεκτρικές συσκευές. Για κάθε συνδυασμό ηλεκτρικής συσκευής και μάρκας, δημιουργείται ένα μοναδικό κλειδί συνδυάζοντας την ηλεκτρική συσκευή και τη μάρκα με άνω κάτω τελεία στη μέση (π.χ., "ΌνομαΣυσκευής:ΌνομαΜάρκας"). Αυτό

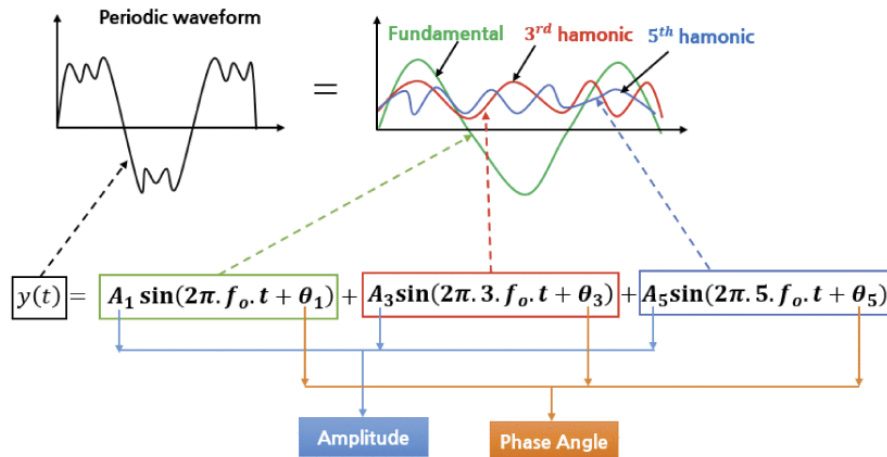
το κλειδί χρησιμοποιείται για να αναγνωρίσει και να αποθηκεύσει πληροφορίες για το συγκεκριμένο συνδυασμό ηλεκτρικής συσκευής και μάρκας. Στην συνέχεια ο κώδικας ελέγχει αν το δημιουργημένο κλειδί υπάρχει ήδη και πόσες φορές ενημερώνοντας κάθε φορά την τιμή. Μετά την επεξεργασία όλων των συνδυασμών ηλεκτρικών συσκευών και μαρκών, ο κώδικας προχωρά στην διαδοχική εκτύπωση των αποτελεσμάτων όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (11).

```
- 476
appliances:{'brand': 'Kenmore', 'current': '7 A', 'load': 'R', 'manufacture_year': '', 'model_number': '',
'notes': '', 'off': '[212964]', 'on': '[55443]', 'type': 'Air Conditioner', 'voltage': '115V', 'wattage': '740W'}
- 476
appliances:{'brand': 'Philips', 'current': '', 'load': 'I', 'manufacture_year': '', 'model_number': '', 'notes':
'', 'off': '[229676]', 'on': '[67626]', 'type': 'Incandescent Light Bulb', 'voltage': '120V', 'wattage': '100W'}
- 477
appliances:{'brand': 'Kenmore', 'current': '7 A', 'load': 'R', 'manufacture_year': '', 'model_number': '',
'notes': '', 'off': '[221782]', 'on': '[52411]', 'type': 'Air Conditioner', 'voltage': '115V', 'wattage': '740W'}
- 477
appliances:{'brand': 'Philips', 'current': '', 'load': 'I', 'manufacture_year': '', 'model_number': '', 'notes':
'', 'off': '[240417]', 'on': '[70133]', 'type': 'Incandescent Light Bulb', 'voltage': '120V', 'wattage': '100W'}
- 478
appliances:{'brand': 'Kenmore', 'current': '7 A', 'load': 'R', 'manufacture_year': '', 'model_number': '',
'notes': '', 'off': '[219341]', 'on': '[54734]', 'type': 'Air Conditioner', 'voltage': '115V', 'wattage': '740W'}
- 478
appliances:{'brand': 'Philips', 'current': '', 'load': 'I', 'manufacture_year': '', 'model_number': '', 'notes':
'', 'off': '[223292]', 'on': '[61175]', 'type': 'Incandescent Light Bulb', 'voltage': '120V', 'wattage': '100W'}
```

Εικόνα 11: Παράδειγμα αποτελεσμάτων του κώδικα.

### 2.1.3 Δημιουργία ποσοστών αρμονικής παραμόρφωσης

Η ιδέα της χρήσης των αρμονικών ρευμάτων για τη δημιουργία μοναδικών και εύκολα διακριτών υπογραφών φορτίου δεν είναι καινούργια. Ωστόσο ακόμα παραμένει ένας από τους πιο έγκυρους και αποδοτικούς τρόπους δημιουργίας υπογραφών φορτίων [37]. Αρχικά η τάση μιας τυπικής παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος παράγεται και παρέχεται με συχνότητα 50 Hz σε ορισμένες χώρες και 60 Hz σε άλλες χώρες. Είναι μια καθαρή ημιτονοειδής κυματομορφή τάσης με οποιαδήποτε από αυτές τις συχνότητες. Σε ένα ηλεκτρικό φορτίο, η προκύπτουσα κυματομορφή ρεύματος μετατρέπεται σε παραμορφωμένα ημιτονοειδή κύματα. Ο λόγος είναι ότι ένα τέτοιο περιοδικό κύμα είναι συνδυασμός πολλαπλών κυμάτων στη θεμελιώδη συχνότητα και σε άλλες συχνότητες. Το πλάτος της τρέχουσας κυματομορφής στη θεμελιώδη συχνότητα παραμένει κυρίαρχο. Οι άλλες συχνότητες των κυμάτων ρεύματος έχουν ποικίλα πλάτη. Αυτές οι συχνότητες της κυματομορφής ρεύματος είναι οι αρμονικές ρεύματος. Ένα παράδειγμα περιοδικού σήματος φαίνεται στην εικόνα (12). Σε μια ανάλυση συστήματος ισχύος, το αρμονικό περιεχόμενο αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την ανάλυση της επεξεργασίας σήματος [38].



Εικόνα 12: Περιοδικό σήμα που αναλύεται με περιττές αρμονικές συχνότητες [38].

Στον αλγόριθμο της παρούσας μελέτης επιλέχθηκε η χρήση αρμονικών χαμηλής περιττής τάξης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις τυπικές οικιακές συσκευές οι αρμονικές χαμηλότερης συχνότητας, όπως η 3<sup>η</sup>, η 5<sup>η</sup>, η 7<sup>η</sup> κ.ο.κ., είναι συχνά πιο έντονες και ευκολότερα ανιχνεύσιμες στην κυματομορφή του ρεύματος. Για παράδειγμα 3<sup>η</sup> και η 5<sup>η</sup> αρμονική συνδέεται συχνά με συσκευές που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ισχύος, όπως οι υπολογιστές ή ο φωτισμός LED κλπ. Οπότε εστιάζοντας σε χαμηλότερες περιττές αρμονικές, μπορούν να αποτυπωθούν πιο σωστά οι χαρακτηριστικές υπογραφές τους. Ακόμα οι αρμονικές ανώτερης τάξης τείνουν να είναι πιο ευαίσθητες στο ηλεκτρικό θόρυβο. Εστιάζοντας στις χαμηλότερες περιττές αρμονικές, μπορεί να μειωθεί η επίδραση του θορύβου στην εξαγωγή χαρακτηριστικών. Τέλος, η εξαγωγή χαρακτηριστικών από αρμονικές χαμηλότερης τάξης απλοποιεί τη όλη διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών και μειώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα. Αυτό μπορεί να καταστήσει τον αλγόριθμο NILM πιο αποδοτικό και πρακτικό για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Προκειμένου να δημιουργηθούν οι τιμές της αρμονικής παραμόρφωσης επιλέχθηκε η στήλη με τις στιγμιαίες συγκεντρωτικές τιμές ρεύματος των συσκευών και ανά 500 δείγματα εφαρμόστηκε ο μετασχηματισμός Fast Fourier. Ο λόγος για τον οποίο οι συγκεντρωτικές τιμές ρεύματος χωρίστηκαν σε τμήματα των 500 δειγμάτων είναι διότι ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 30kHz και η θεμελιώδης συχνότητα της χώρας όπου έγινε η δειγματοληψία είναι 60hz οπότε διαιρώντας τα δυο προηγούμενα έχουμε 500 δείγματα που λαμβάνονται ανά κύκλο της θεμελιώδους συχνότητας. Με την εφαρμογή του μετασχηματισμού Fast Fourier σε κάθε κύκλο της στιγμιαίας συγκεντρωτικής κυματομορφής ρεύματος τα δεδομένα μετατρέπονται από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας εξαγοντας τις συνιστώσες της αρμονικής συχνότητας σε σχέση με τη θεμελιώδη, την τρίτη και την πέμπτη τάξη. Στη συνέχεια, οι αρμονικές συνιστώσες συχνότητας ανά κύκλο χρησιμοποιήθηκαν με τον αντίστροφο γρήγορο μετασχηματισμό Fourier για την ανακατασκευή πίσω στον χώρο του χρόνου των συγκεντρωτικών αρμονικών κυματομορφών ρεύματος της θεμελιώδους, τρίτης και πέμπτης τάξης των στιγμιαίων συγκεντρωτικών μετρήσεων ρεύματος ανά κύκλο. Οι μετασχηματισμοί γρήγορου Fourier και αντίστροφου γρήγορου Fourier ορίζονται ως εξής αντίστοιχα [38]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) * e^{-i*2*\pi*i*n*k/N} \quad (8)$$

$$X(n) = \frac{1}{N} * \sum_{k=0}^{N-1} X(k) * e^{i*2*\pi*i*n*k/N} \quad (9)$$

Όπου  $X(n)$  είναι δειγματα στο πεδίο του χρόνου ,  $X(k)$  είναι δειγματα στο πεδίο της συχνότητας ,  $N$  είναι το μεγεθος του FFT και το  $k$  είναι οι τιμές  $0,1,2,\dots,N-1$ .

Στο επόμενο βήμα οι ανακατασκευασμένες συγκεντρωτικές θεμελιώδεις, τρίτης και πέμπτης τάξης αρμονικές κυματομορφές ρεύματος χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS) αυτών των κυματομορφών για κάθε 500 δείγματα. Οι τιμές RMS είναι πολύτιμες επειδή παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το πλάτος ή την ισχύ μιας κυματομορφής. Σε αυτό το πλαίσιο, ο υπολογισμός των τιμών RMS για τις αρμονικές συνιστώσες βοηθά στην ποσοτικοποίηση του επιπέδου αρμονικής παραμόρφωσης (%HD) στο ηλεκτρικό σήμα. Η συνάρτηση υπολογισμού της μέσης τετραγωνικής ρίζας ορίζεται ως εξής [39]:

$$RMS = \sqrt{\frac{(x_1^2+x_2^2+\dots+x_n^2)}{n}} \quad (10)$$

Όπου  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  αντιπροσωπεύουν τις μεμονωμένες τιμές και  $n$  είναι ο συνολικός αριθμός των τιμών.

Έπειτα υπολογίστηκαν οι ποσοστιαίες αρμονικές παραμορφώσεις τρίτης (%HD3) και πέμπτης (%HD5) τάξης μέσω των rms τιμών ρεύματος ανά κύκλο. Ο υπολογισμός έγινε σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους αντίστοιχα:

$$\%HD3_c = \frac{I_{3c}}{I_{1c}} * 100 \quad (11)$$

$$\%HD5_c = \frac{I_{5c}}{I_{1c}} * 100 \quad (12)$$

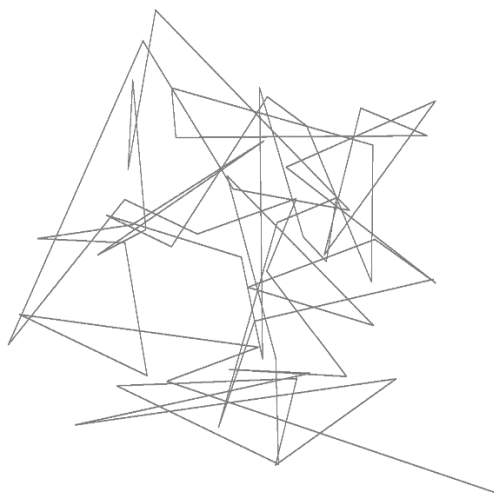
#### 2.1.4 Δημιουργία εικόνων αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος

Μια εικόνα αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος αναφέρεται συνήθως σε μια γραφική αναπαράσταση ή οπτικοποίηση της παραμόρφωσης που προκαλείται από τις αρμονικές σε μια κυματομορφή ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτός ο τύπος εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο οι αρμονικές επηρεάζουν το σχήμα και την ποιότητα της κυματομορφής ρεύματος. Ουσιαστικά παρέχει έναν οπτικό τρόπο κατανόησης της επίδρασης των αρμονικών στα ηλεκτρικά συστήματα. Στην παρούσα μελέτη οι εικόνες αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος δημιουργούνται με σκοπό το διαχωρισμό και την αναγνώριση των φορτίων σε αλγορίθμους NILM.

Για την δημιουργία των εικόνων αρχικά χρησιμοποιούνται κάθε φορά 60 διαδοχικές τιμές των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων ρεύματος τρίτης (%HD3) και πέμπτης (%HD5) τάξης. Ως  $x$  ορίζονται οι τιμές της πέμπτης τάξης και  $y$  οι τιμές της τρίτης τάξης. Στην συνέχεια οι τιμές  $x$  και  $y$  κανονικοποιούνται σε ένα εύρος  $[0,1]$ . Τα γραφήματα που δημιουργούνται από τα  $x$  και  $y$  δεδομένα αποθηκεύονται ως αρχείο PNG με ανάλυση 300 DPI, σφικτό πλαίσιο και διαφανή φόντο. Τέλος το γράφημα είναι σε κλίμακα γκρι με συγκεκριμένο πάχος γραμμής όπως φαίνονται και στα παραδείγματα των εικόνων 13,14 και 15.

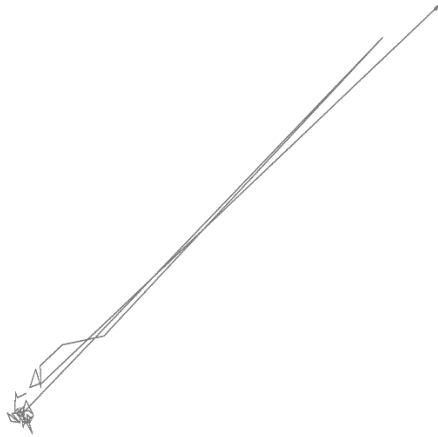
Οι πιο σημαντικοί λόγοι για τους οποίους γίνεται κανονικοποίηση είναι πρώτα η αντιμετώπιση της επίδρασης των ακραίων τιμών. Οι ακραίες τιμές μπορούν να επηρεάσουν υπεραναλογικά την εμφάνιση ενός γραφήματος, καθιστώντας δυσνόητα τα πρότυπα στα περισσότερα δεδομένα. Επιπλέον τα δεδομένα που έχουν κανονικοποιηθεί είναι συχνά απαραίτητα για πολλούς αλγορίθμους μηχανικής μάθησης. Τέλος η κανονικοποίηση καθιστά τα δεδομένα συνεπή, πράγμα που μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν δημιουργούνται οπτικοποιήσεις [40].

Ακόμα η δημιουργία γραφημάτων με γραμμές σε γκρι κλίμακα γίνεται για τους εξής λόγους. Αρχικά τα γραφήματα σε γκρι κλίμακα συχνά είναι απλούστερα και πιο καθαρά στην εμφάνισή τους σε σύγκριση με τα έγχρωμα γραφήματα. Αυτό μπορεί να διευκολύνει την ανίχνευση προτύπων και τάσεων στα δεδομένα. Επιπλέον οι εικόνες σε κλίμακα του γκρι έχουν λιγότερα κανάλια χρώματος (μόνο ένα) σε σύγκριση με τις έγχρωμες εικόνες (συνήθως τρία - κόκκινο, πράσινο και μπλε). Αυτή η μειωμένη πολυπλοκότητα μπορεί να απλοποιήσει τα δεδομένα εισόδου για τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, καθιστώντας τα υπολογιστικά λιγότερο απαιτητικά [41].



Εικόνα 13: Κανονικοποιημένη εικόνα %HD3-%HD5 σε κλίμακα του γκρι από σίδηρο των μαλλιών.





Εικόνα 14: Κανονικοποιημένη εικόνα %HD3-%HD5 σε κλίμακα του γκρι από λαπτοπ.



Εικόνα 15: Κανονικοποιημένη εικόνα %HD3-%HD5 σε κλίμακα του γκρι από το συνδυασμό των συσκευών λαπτοπ και σίδερο μαλλιών.

### 2.1.5 Επισήμανση εικόνων

Η επισήμανση εικόνων, στο πλαίσιο της μηχανικής μάθησης και της υπολογιστικής όρασης, είναι η διαδικασία της αναγνώρισης και κατηγοριοποίησης αντικειμένων, περιοχών ή χαρακτηριστικών εντός και εκτός εικόνων μέσω της αντιστοίχισής τους με ετικέτες. Αυτή η διαδικασία παίζει καίριο ρόλο στην εκπαίδευση και τη βελτίωση της απόδοσης διαφόρων αλγορίθμων, συμπεριλαμβανομένων των αλγορίθμων μη-επεμβατικής παρακολούθησης φορτίου (NILM) και ευρύτερων μοντέλων μηχανικής μάθησης [42]. Η επισήμανση εικόνων περιλαμβάνει το χειροκίνητο ή αυτοματοποιημένο αντιστοιχισμό ετικετών σε συγκεκριμένα στοιχεία μιας εικόνας [43]. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των μεταδεδομένων που δόθηκαν μαζί με τις συγκεντρωτικές χρονοσειρές ρεύματος και τάσης. Όπως είχε αναφερθεί και σε προηγούμενο σημείο της μελέτης μέσα στα μεταδεδομένα υπήρχαν πληροφορίες σχετικά με το άνοιγμα ή κλείσιμο κάθε

συσκευής με την μορφή ακεραίων αριθμών. Για κάθε ένα από τα 575 χωρισμένα τμήματα συγκεντρωτικών στιγμιαίων δεδομένων ρεύματος υπήρχαν χρονοσφραγίδες με την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των συσκευών που συμμετείχαν σε αυτά. Στην συνέχεια γνωρίζοντας ότι ένα δευτερόλεπτο αντιστοιχεί σε 30.000 δείγματα ήταν εφικτό να προσδιοριστεί χρονικά, η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της εκάστοτε συσκευής. Διότι, αν ο ακέραιος αριθμός βρισκόταν ανάμεσα στο 0-30.000 το άνοιγμα ή κλείσιμο της συσκευής έγινε στο πρώτο δευτερόλεπτο, αν βρισκόταν στο 30.001-60.000 έγινε στο δεύτερο δευτερόλεπτο, αν βρισκόταν στο 60.001-90.000 έγινε στο τρίτο δευτερόλεπτο κ.ο.κ. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι φάκελοι κάθε πιθανού συνδυασμού λειτουργίας των συσκευών και γνωρίζοντας το δευτερόλεπτο της ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της εκάστοτε συσκευής έγινε η χειροκίνητη τοποθέτηση των εικόνων που είχαν δημιουργηθεί στον κατάλληλο φάκελο ανάλογα με το δευτερόλεπτο το οποίο παρίσταναν.

## Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα

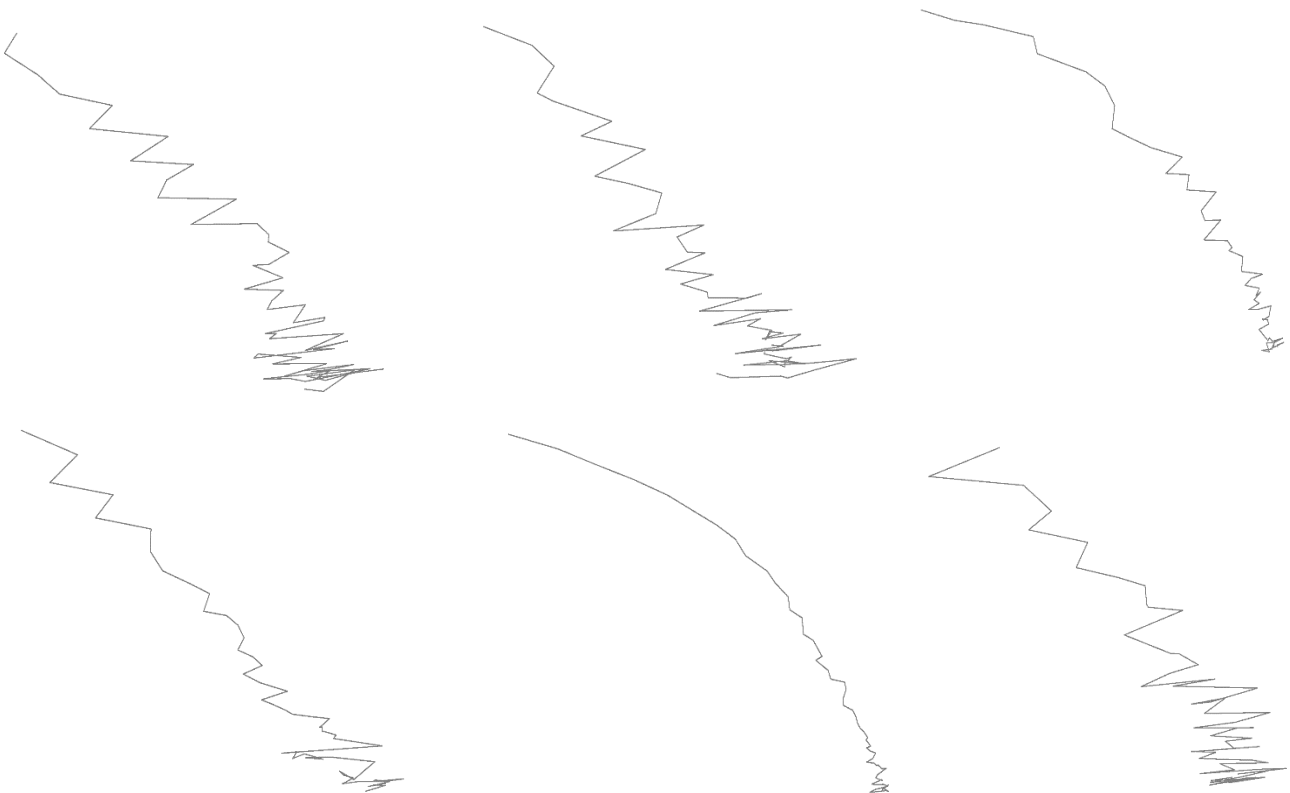
---

Η αρμονική παραμόρφωση, ένα συχνά παραβλεπόμενο κομμάτι της ηλεκτρικής κατανάλωσης, διαδραματίζει έναν κομβικό ρόλο στον κόσμο της Μη Επεμβατικής Παρακολούθησης Φορτίου (NILM). Σε αυτήν τη μελέτη, παρουσιάζεται μια συλλογή από εικόνες αποτελεσμάτων που καταγράφουν τα προφίλ αρμονικής παραμόρφωσης που προέρχονται από διάφορες οικιακές συσκευές. Αυτές οι εικόνες χρησιμεύουν ως κρίσιμα δεδομένα εισόδου για τη φάση εξαγωγής χαρακτηριστικών στο NILM, καθώς και για την εκπαίδευση και δοκιμή αλγορίθμων βαθιάς μάθησης. Μέσω της αποκάλυψης των περίπλοκων αρμονικών υπογραφών των καθημερινών συσκευών, στοχεύεται η ενίσχυση των συστημάτων NILM για την επίτευξη βελτιωμένης ακρίβειας και αποτελεσματικότητας στον διαχωρισμό των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας.

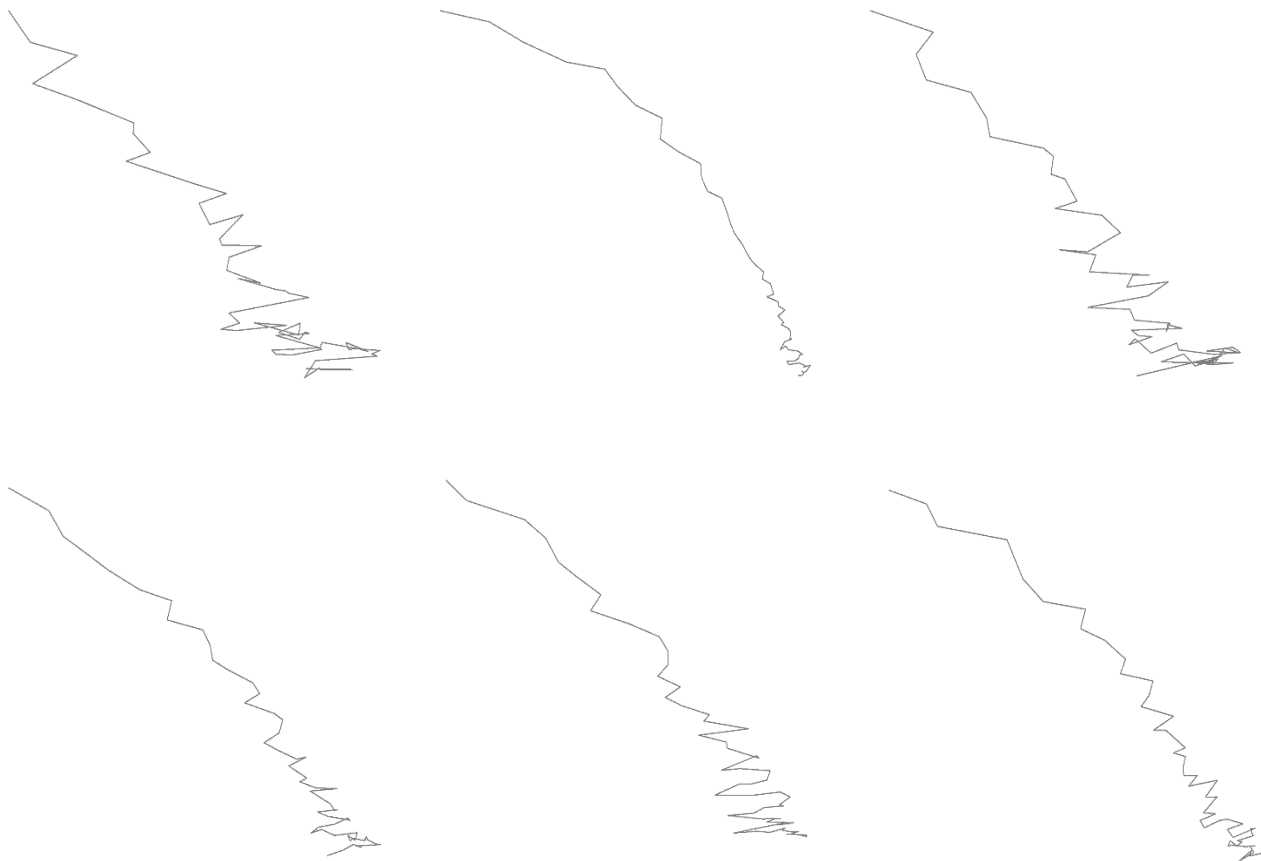
### 3.1 Εικόνες μεμονωμένων συσκευών

Παρακάτω βρίσκονται κάποιες ενδεικτικές εικόνες αρμονικής παραμόρφωσης από την λειτουργία μεμονωμένων συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν από το δημόσιο σύνολο PLAID3.

#### 1. Ηλεκτρική σκούπα

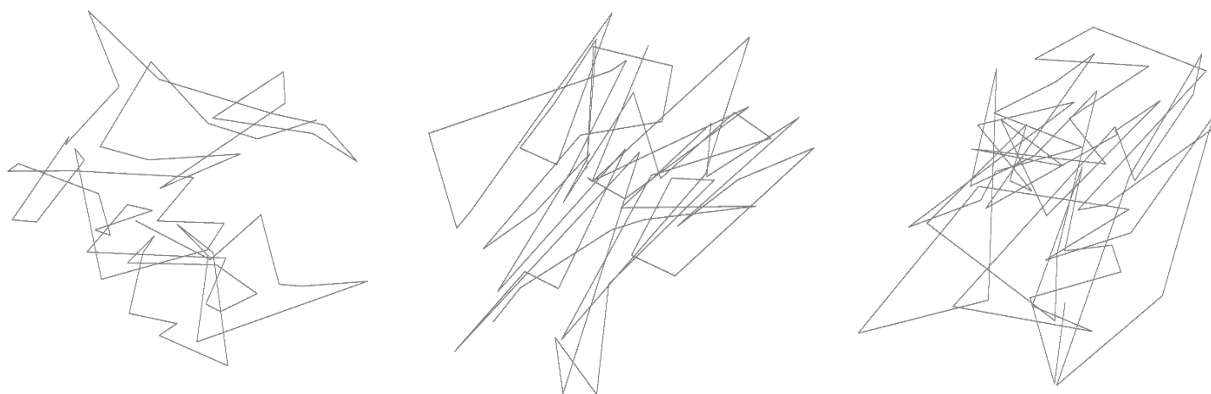


Εικόνα 16: Ηλεκτρική σκούπα σε κανονική λειτουργία.



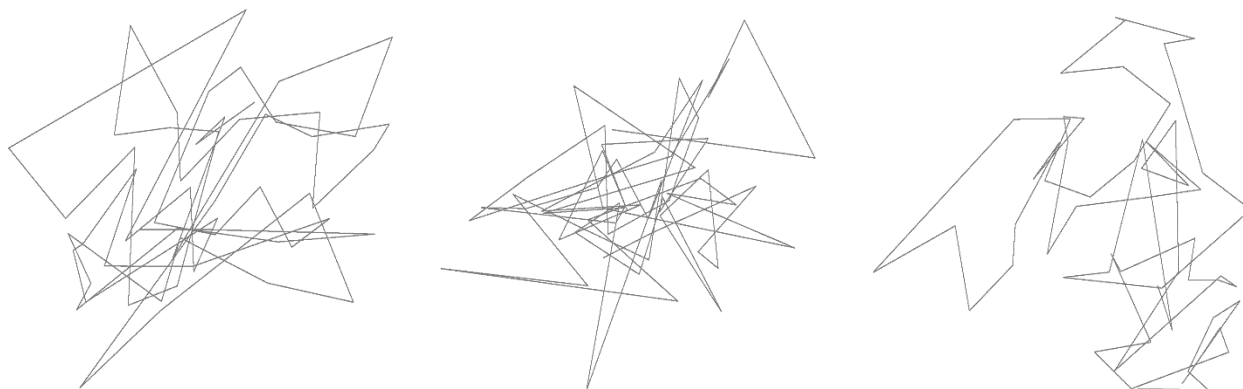
Εικόνα 17: Ηλεκτρική σκούπα σε κανονική λειτουργία.

Είναι φανερό ότι οι περισσότερες εικόνες της ηλεκτρικής σκούπας έχουν την παραπάνω μορφή όπως στις εικόνες (16-17) παρόλα αυτά αρκετές εικόνες παρουσίαζαν κάποιες αλλοιώσεις στην μορφή τους όπως φαίνεται και παρακάτω στις εικόνες (18-19). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική σκούπα έχει διάφορες λειτουργίες και ρυθμίσεις όπως για παράδειγμα η ρύθμιση για το καθάρισμα χαλιών ή το καθάρισμα ξύλου. Αλλάζοντας τις ρυθμίσεις είναι φυσιολογικό να αλλάζει η ισχύς του φορτίου που βρίσκεται εσωτερικά και το ποσοστό της αρμονικής παραμόρφωσης που εμφανίζεται στην εικόνα.



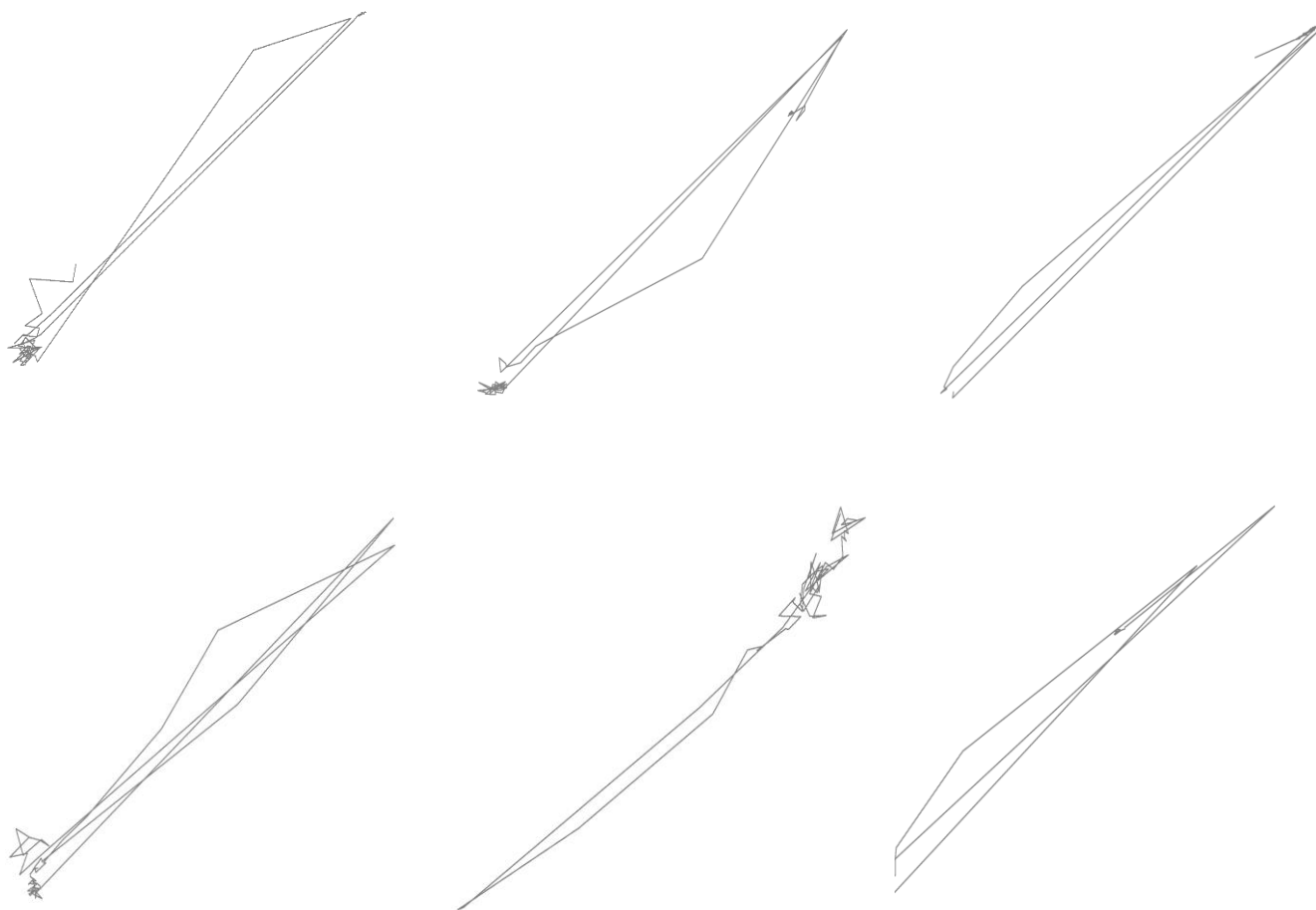
Εικόνα 18: Ηλεκτρική σκούπα σε διάφορες λειτουργίες.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.



Εικόνα 19: Ηλεκτρική σκούπα σε διάφορες λειτουργίες.

## 2. Φορητός υπολογιστής



Εικόνα 20: Φορητός υπολογιστής σε κανονική λειτουργία.



Εικόνα 21: Φορητός υπολογιστής σε κανονική λειτουργία.

Ο φορητός υπολογιστής είναι μια συσκευή η οποία παρουσιάζει μεγάλο αρμονικό περιεχόμενο και για αυτό τον λόγο παρατηρείται μια μικρή διαφορά ανάμεσα στις εικόνες (20-21) ακόμα και σε κανονική λειτουργία. Εκτός από τις εικόνες που έχουν εμφανή ομοιότητα μεταξύ τους υπάρχουν και οι εικόνες (22-23) στις οποίες οι διαφορές είναι μεγάλες, αυτό συμβαίνει διότι ο υπολογιστής δεν λειτουργεί με την ίδια υπολογιστική ισχύ καθόλη την διάρκεια. Για παράδειγμα κάποια δευτερόλεπτα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής και σε κάποια άλλα υλοποιεί δύσκολους αλγορίθμους σε προγραμματιστικά περιβάλλοντα. Όπως είναι αναμενόμενο η ποσοστιαία αρμονική παραμόρφωση σε αυτά τα δευτερόλεπτα αλλάζει.

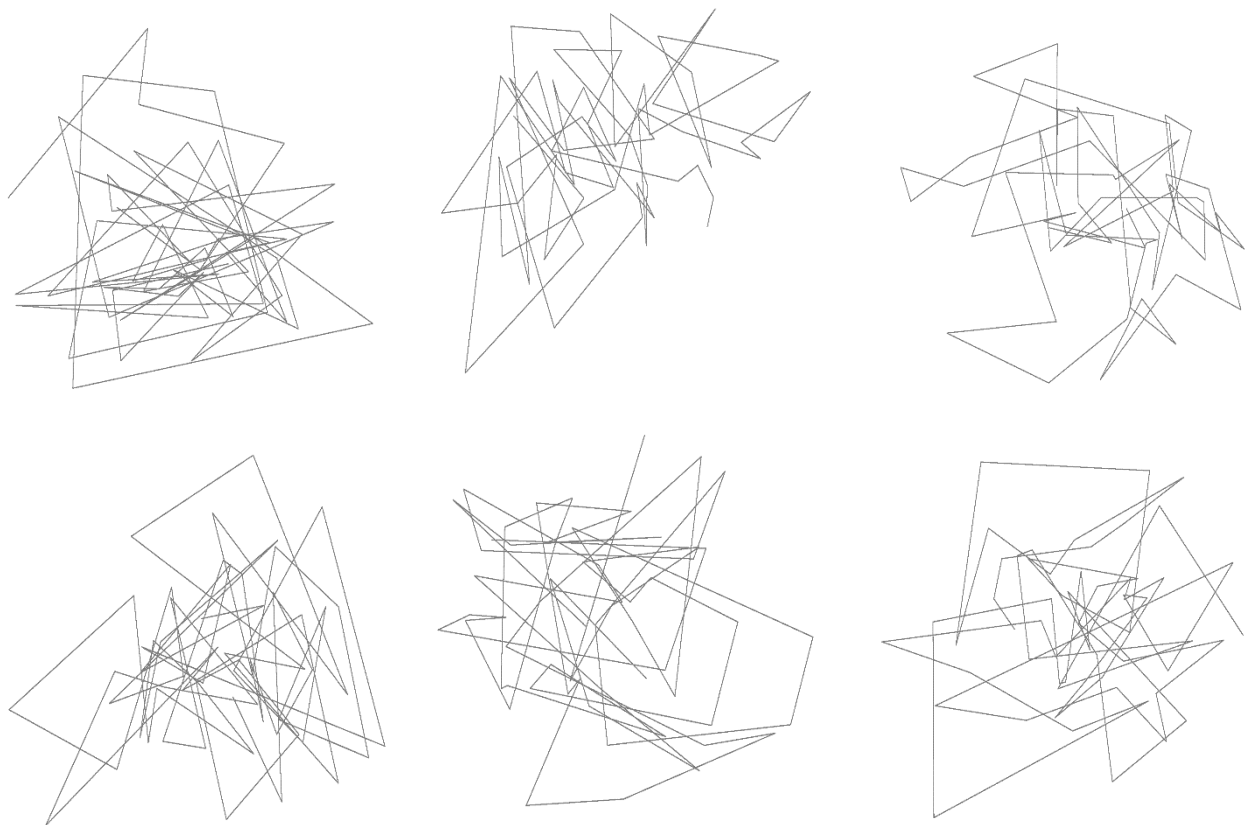


Εικόνα 22: Φορητός υπολογιστής σε διάφορες λειτουργίες.

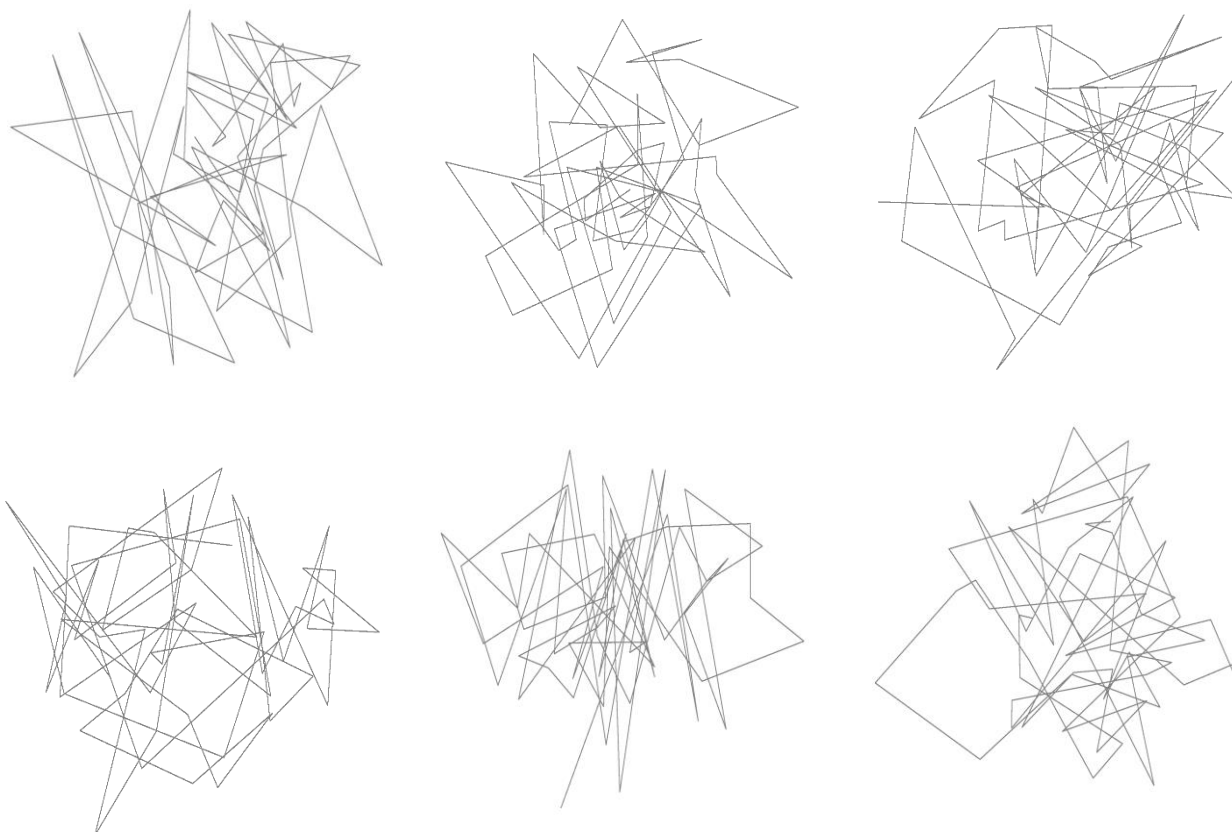


Εικόνα 23: Φορητός υπολογιστής σε διάφορες λειτουργίες.

### 3. Βραστήρας

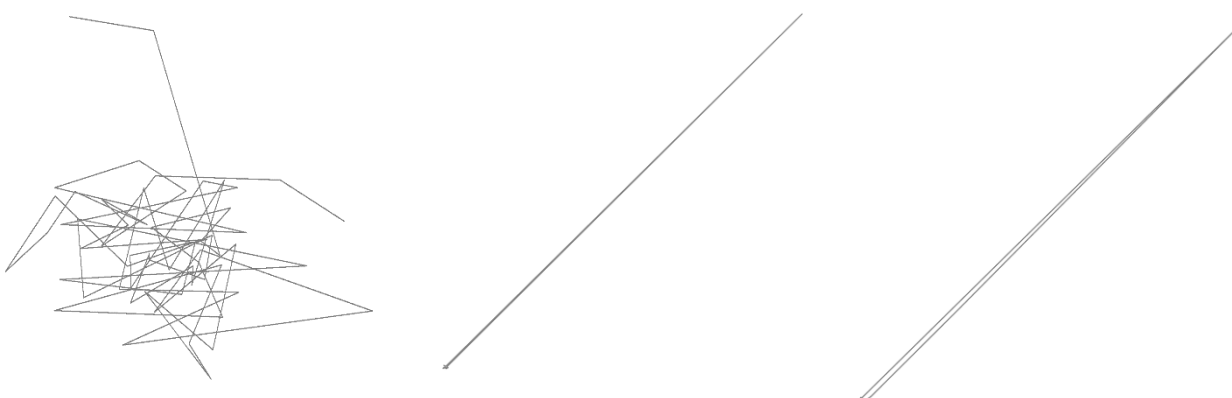


Εικόνα 24: Βραστήρας σε κανονική λειτουργία.



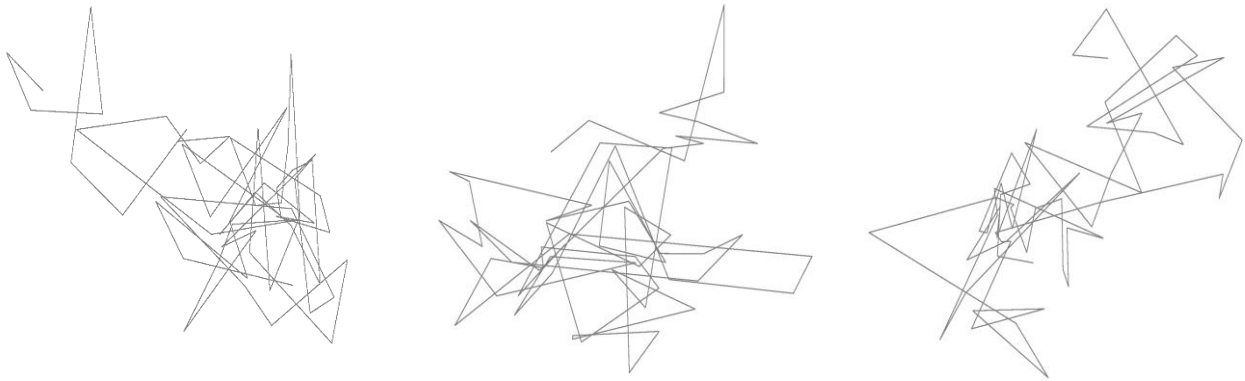
Εικόνα 25: Βραστήρας σε κανονική λειτουργία.

Οι εικόνες (24-25) της συσκευής του βραστήρα δείχνουν αρκετά ομοιόμορφες γεγονός το οποίο οφείλεται στην απλή ωμική συμπεριφορά της συσκευής αλλά και στο γεγονός ότι δεν έχει πολλές διαφορετικές λειτουργίες και ρυθμίσεις. Οι διαφορές στις εικόνες (26-27) είναι αποτέλεσμα της λειτουργίας της αντίστασης του βραστήρα η οποία όταν δημιουργήσει θερμοκρασία βρασμού απενεργοποιείται αυτόματα και ξανά ενεργοποιείται όταν μειωθεί η θερμοκρασία.



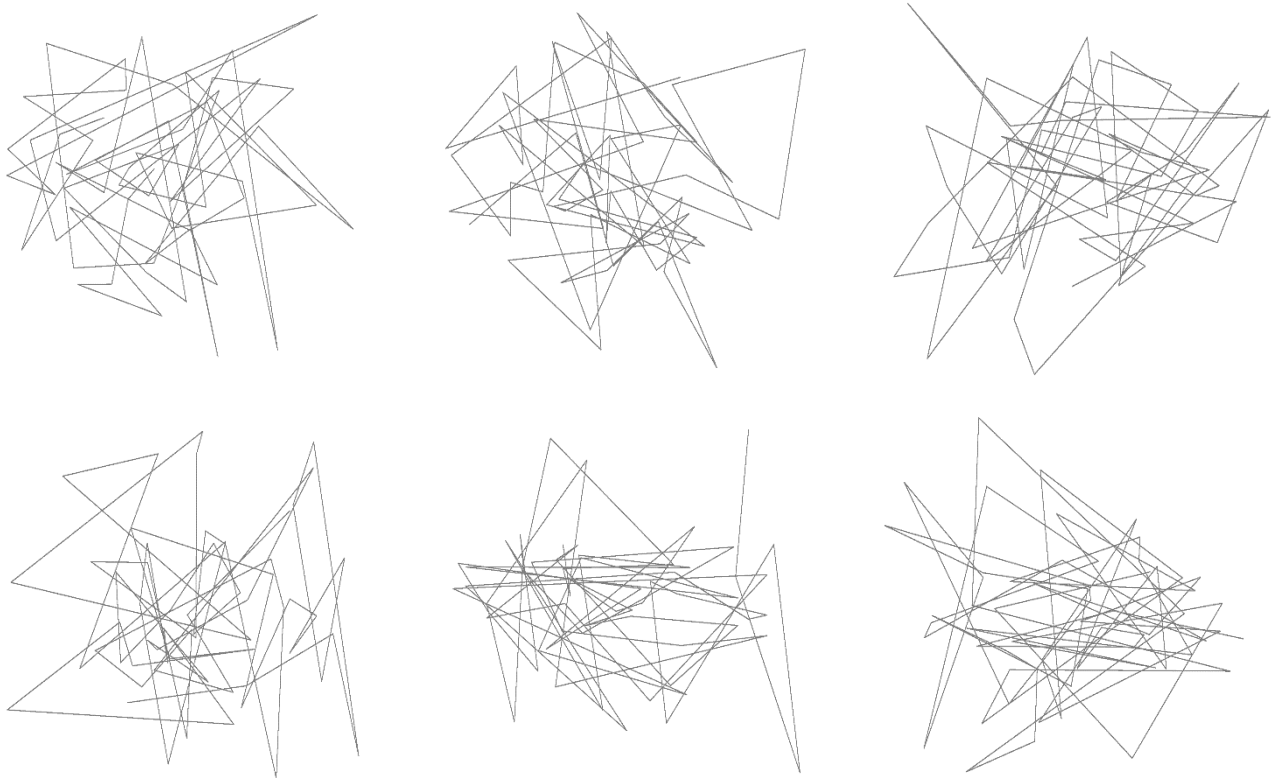
Εικόνα 26: Βραστήρας σε διάφορες λειτουργίες.



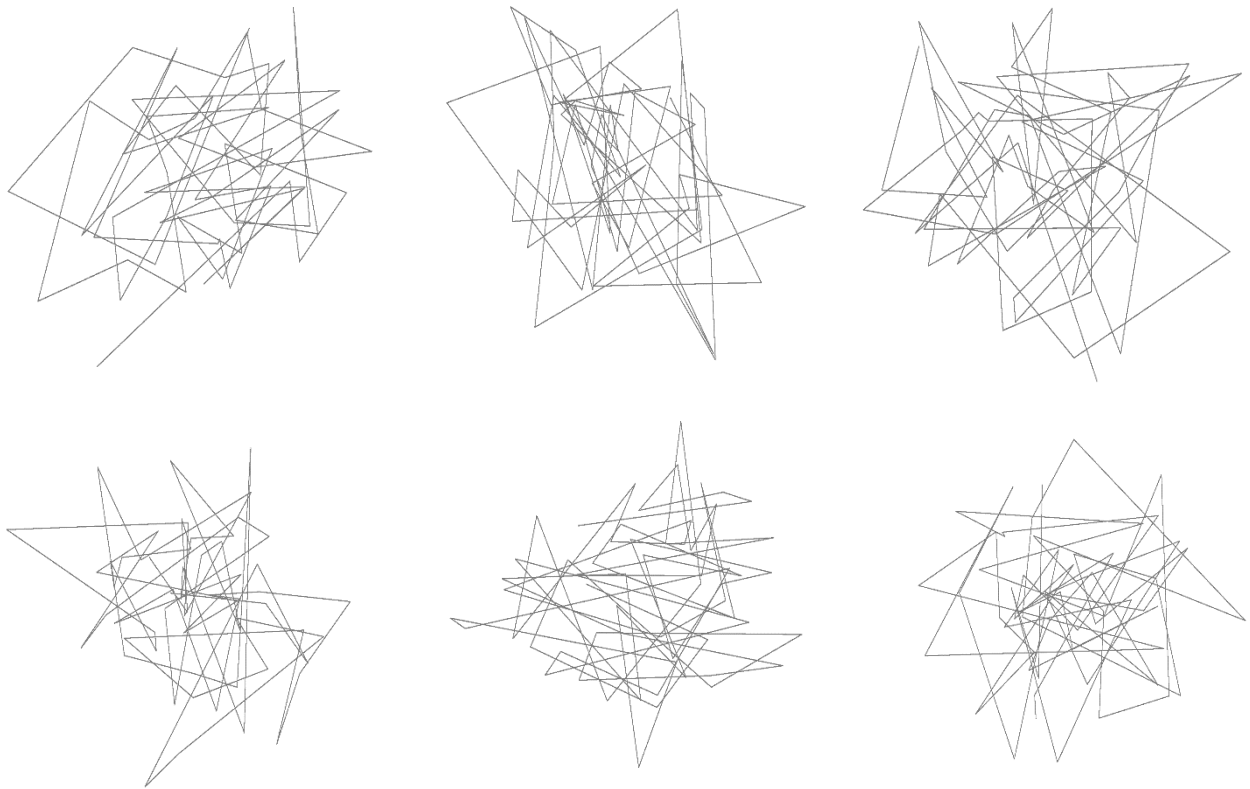


Εικόνα 27: Βραστήρας σε διάφορες λειτουργίες.

#### 4. Λαμπτήρας πυρακτώσεως

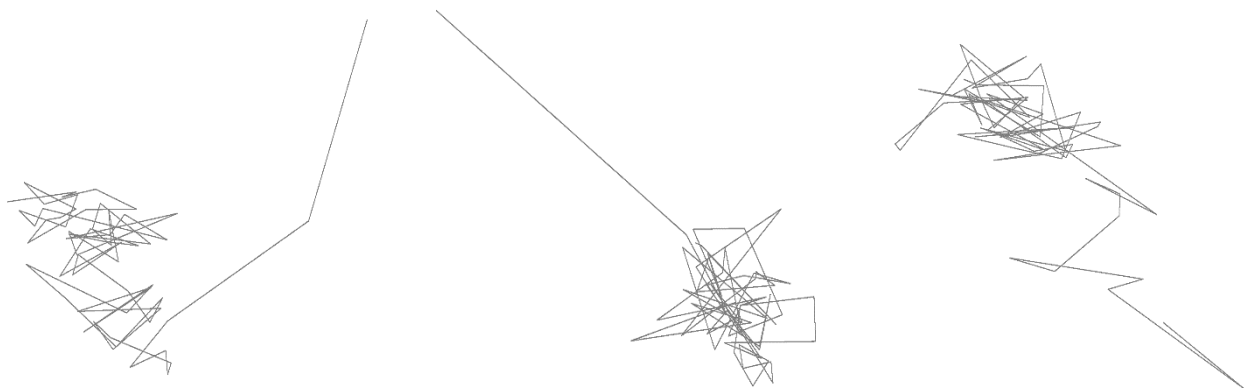


Εικόνα 28: Λαμπτήρας πυρακτώσεως σε κανονική λειτουργία



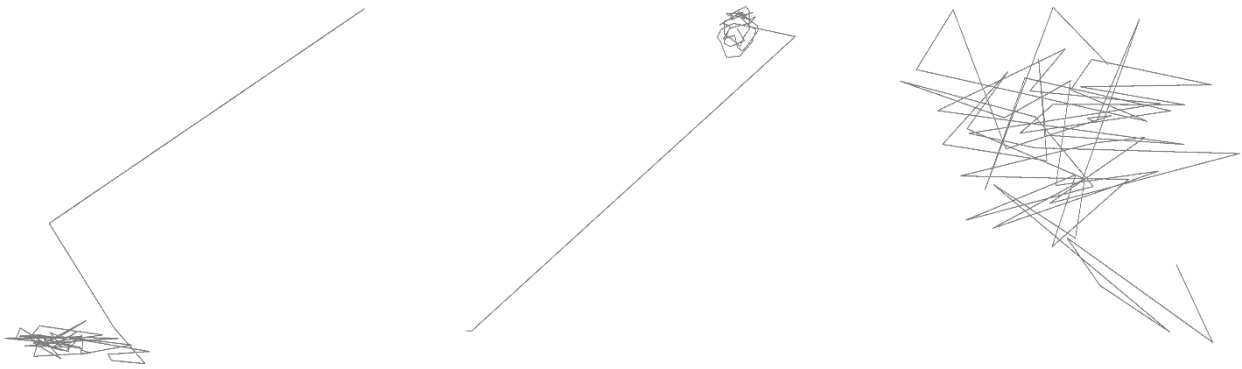
Εικόνα 29: Λαμπτήρας πυρακτώσεως σε κανονική λειτουργία.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως είναι συνήθως ωμικά φορτία, που σημαίνει ότι παρουσιάζουν μια σχετικά γραμμική σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος. Έχουν γενικά χαμηλό αρμονικό περιεχόμενο και θεωρούνται σχετικά αβλαβείς όσον αφορά την εισαγωγή αρμονικής παραμόρφωσης στο ηλεκτρικό σύστημα. Οι τυπικές εικόνες αρμονικής παραμόρφωσης που δημιουργούν φαίνεται στις εικόνες (28-29). Υπάρχουν όμως και εικόνες οι οποίες έχουν εμφανείς διαφορές από την πλειονότητα όπως δείχνουν και οι εικόνες (30-31) , αυτό οφείλεται και στα μεταβατικά στάδια όπως είναι το άνοιγμα και το σβήσιμο του λαμπτήρα.



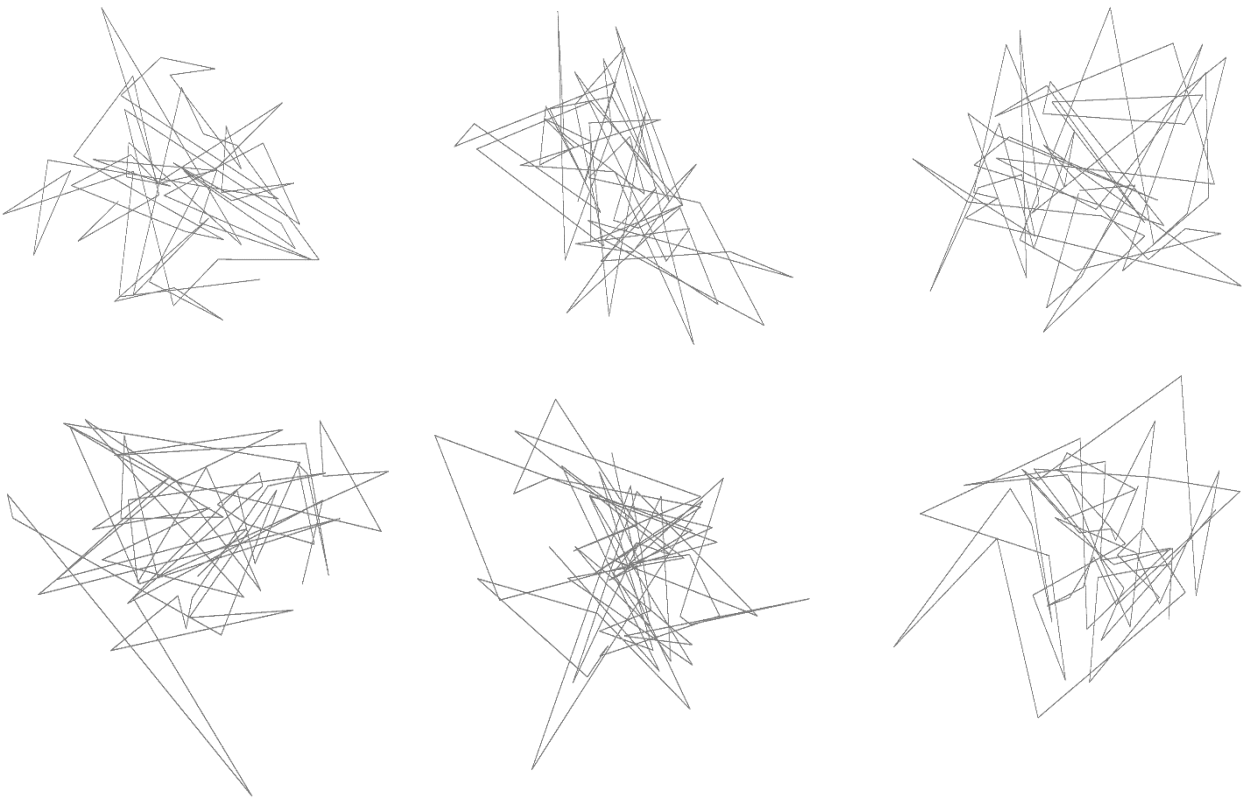
Εικόνα 30: Λαμπτήρες πυρακτώσεως σε διάφορες λειτουργίες.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.

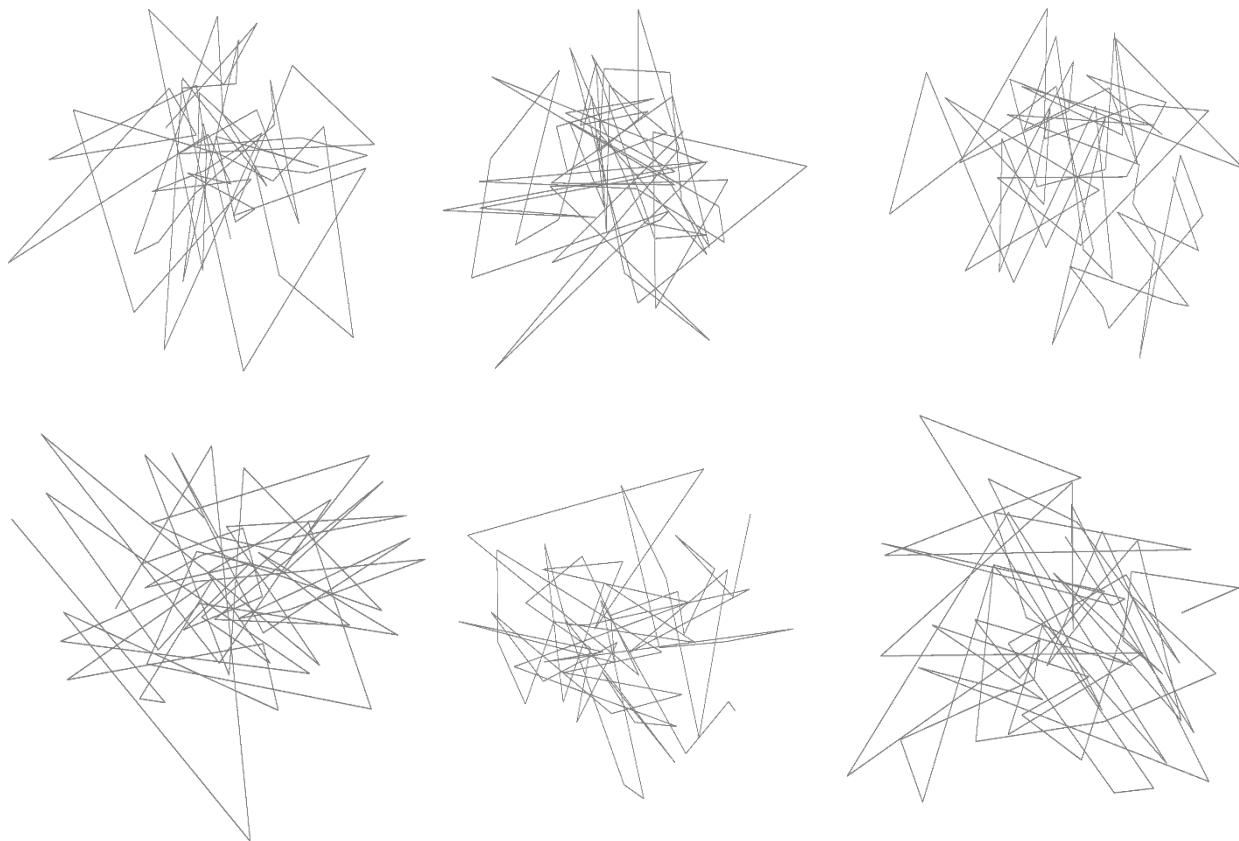


Εικόνα 31: Λαμπτήρες πυρακτώσεως σε διάφορες λειτουργίες.

## 5. Σίδερο μαλλιών

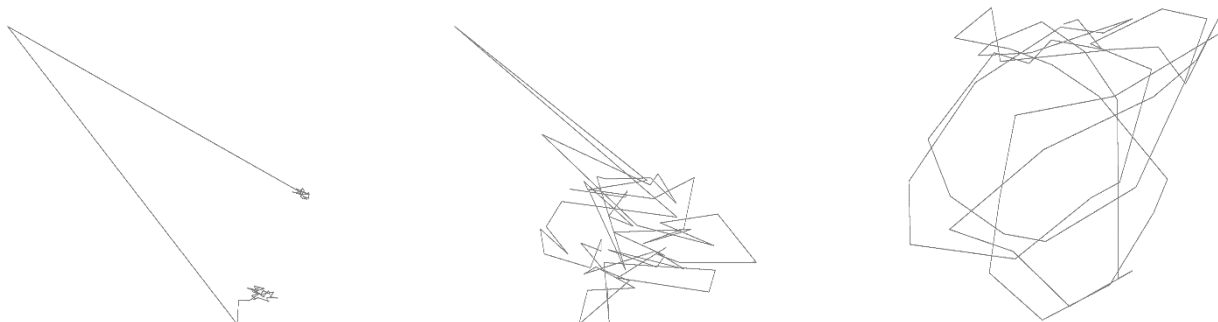


Εικόνα 32: Σίδερο μαλλιών σε κανονική λειτουργία.

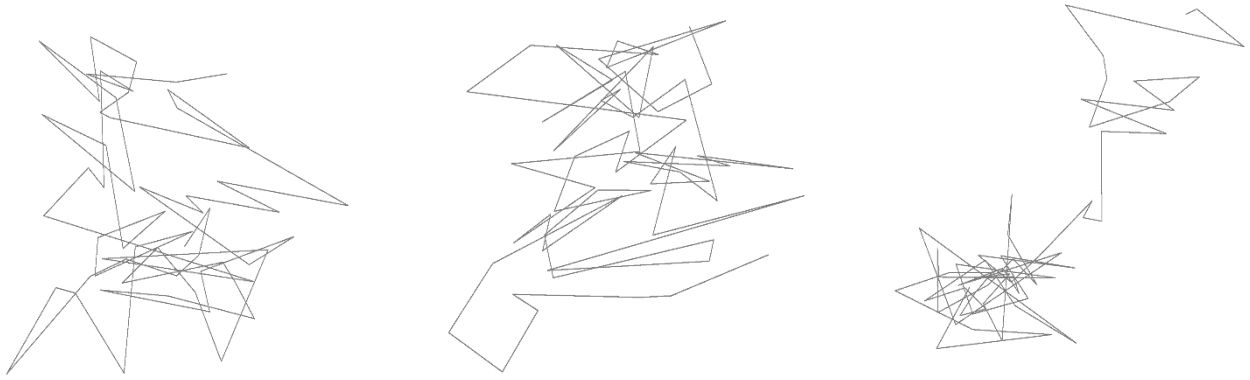


Εικόνα 33: Σίδηρο μαλλιών σε κανονική λειτουργία.

Τα σίδηρα μαλλιών, όπως και άλλες συσκευές θέρμανσης, μπορούν να εισάγουν κάποιο αρμονικό περιεχόμενο στο ηλεκτρικό σύστημα, αλλά το επίπεδο της αρμονικής παραμόρφωσης που παράγουν θεωρείται γενικά σχετικά χαμηλό. Τα σίδηρα μαλλιών αποτελούνται συνήθως από ένα ωμικό θερμαντικό στοιχείο και, όταν λειτουργούν, απορροφούν μια σχετικά σταθερή και προβλέψιμη ποσότητα ρεύματος. Οι εικόνες (32-33) αποτυπώνουν την αρμονική παραμόρφωση του σιδήρου μαλλιών σε ομαλή λειτουργία. Οι διαφορές που παρατηρούνται στις εικόνες (34-35) σχετίζονται κυρίως με τη διακοπτική δράση του θερμοστάτη ή του κυκλώματος ελέγχου της θερμοκρασίας εντός της συσκευής, καθώς ο θερμοστάτης ενεργοποιείται και απενεργοποιείται κυκλικά για να διατηρήσει την επιθυμητή θερμοκρασία.

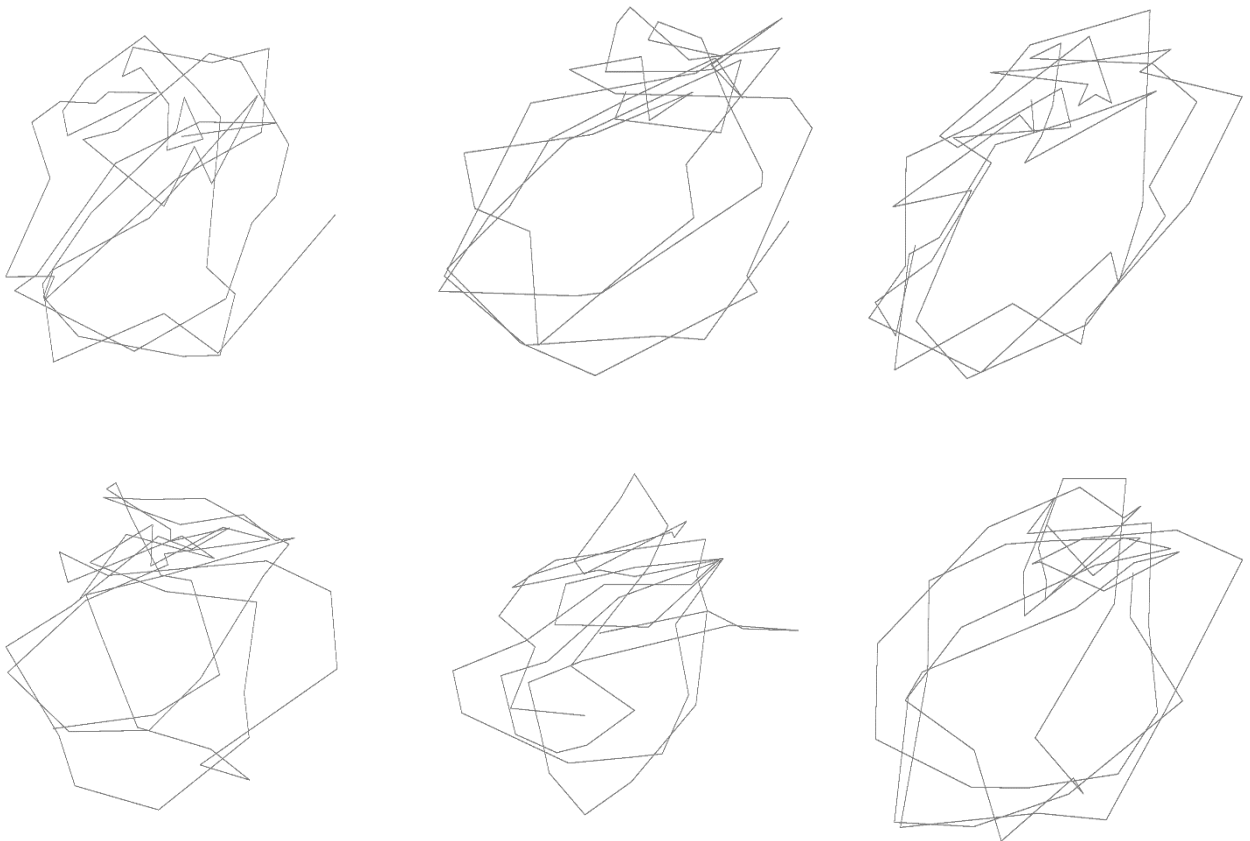


Εικόνα 35: Σίδερο μαλλιών σε διάφορες λειτουργίες.

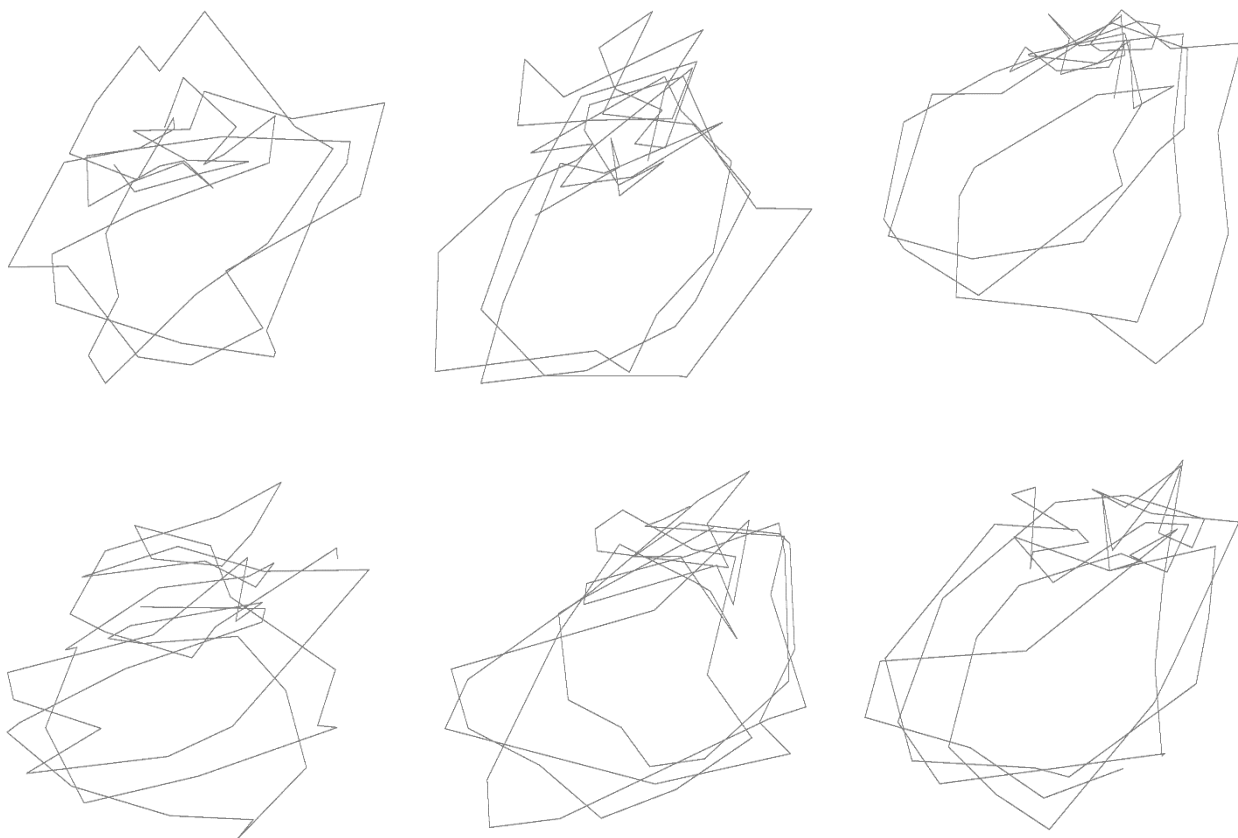


Εικόνα 34: Σίδερο μαλλιών σε διάφορες λειτουργίες.

## 6. Ψυγείο

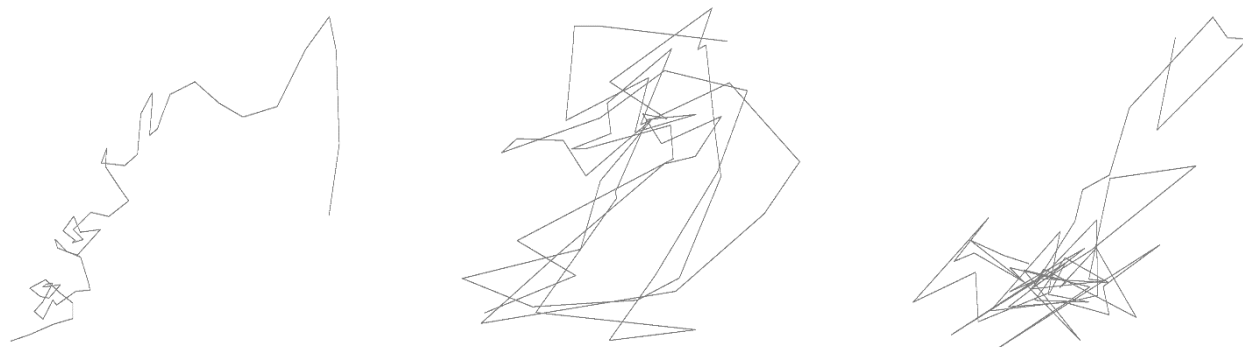


Εικόνα 36: Ψυγείο σε κανονική λειτουργία.



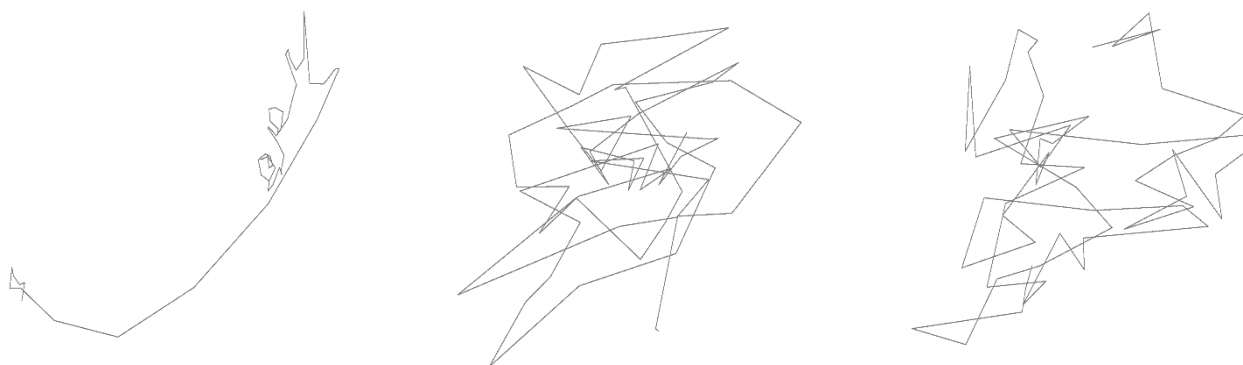
Εικόνα 37: Ψυγείο σε κανονική λειτουργία.

Τα ψυγεία συνήθως δεν έχουν σημαντικό αρμονικό περιεχόμενο. Οι περισσότερες εικόνες αρμονικής παραμόρφωσης ψυγείου έχουν την μορφή των εικόνων (36-37). Ωστόσο, ο συμπιεστής σε ένα ψυγείο, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ψύξη, είναι ένας κινητήρας που μπορεί να εισάγει κάποιο αρμονικό περιεχόμενο, ιδίως κατά την εκκίνηση. Το ψυγείο επιλέγοντας διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης έχει σαν αποτέλεσμα και την διαφορετική λειτουργία του συμπιεστή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται και εικόνες όπως οι (38-39).



Εικόνα 38: Ψυγείο σε διάφορες λειτουργίες.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.

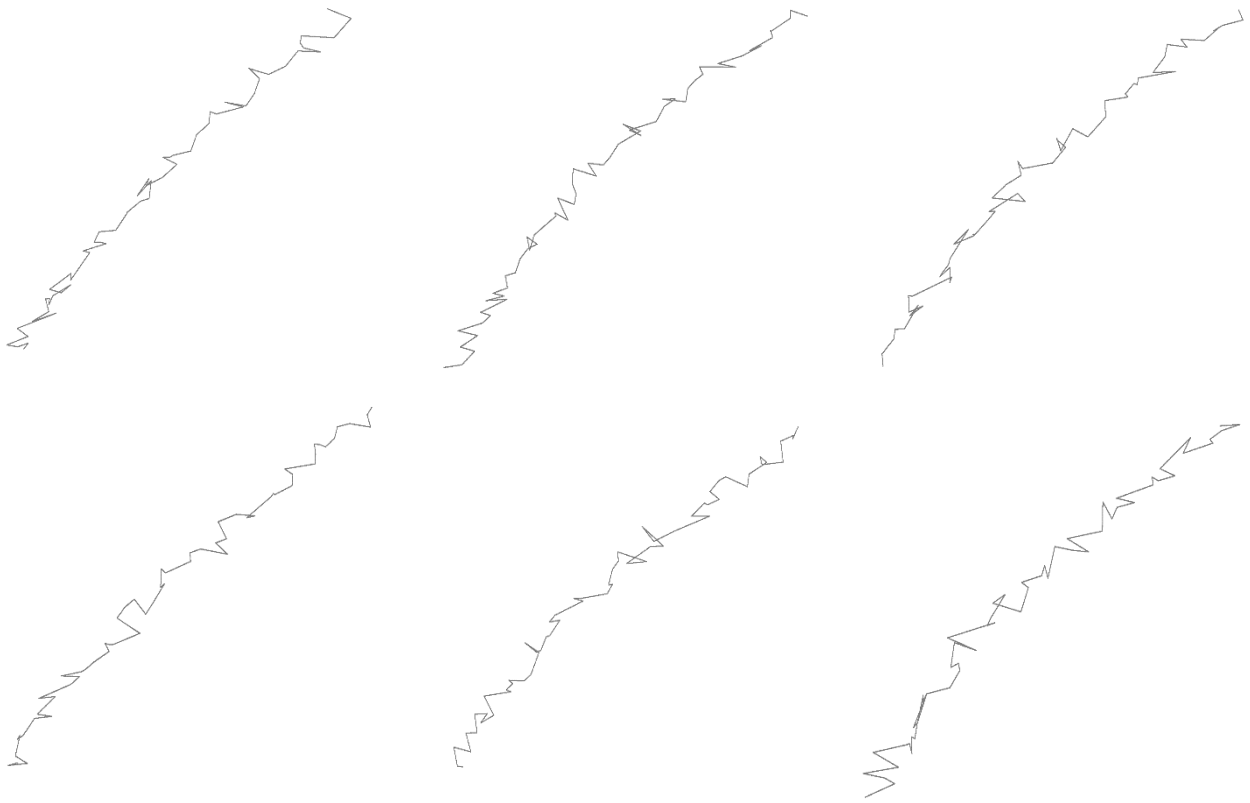


Εικόνα 39: Ψυγείο σε διάφορες λειτουργίες.

## 7. Ανεμιστήρας

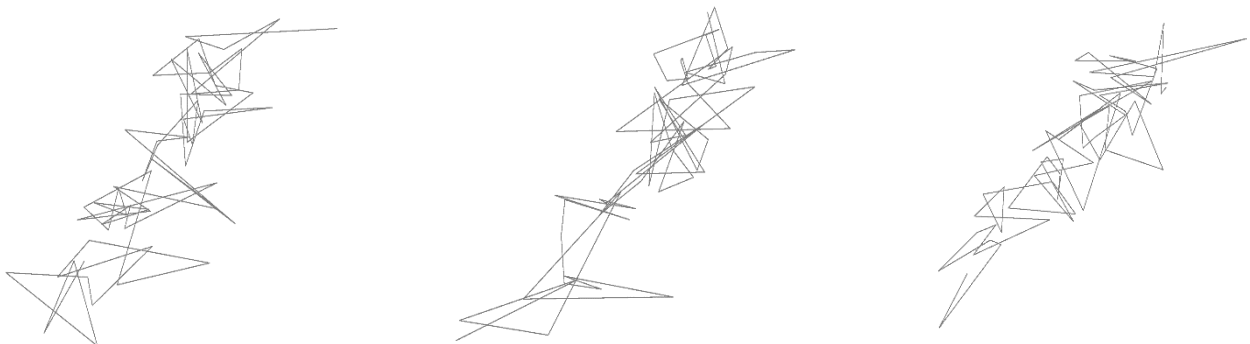


Εικόνα 40: Ανεμιστήρας σε κανονική λειτουργία.



Εικόνα 41: Ανεμιστήρας σε κανονική λειτουργία.

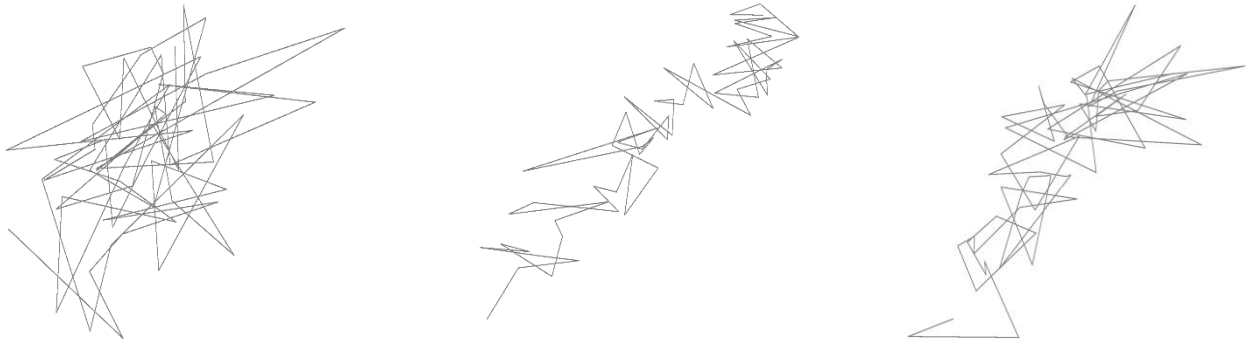
Οι ανεμιστήρες, όπως οι ανεμιστήρες οροφής, θεωρούνται συνήθως ότι έχουν ελάχιστο αρμονικό περιεχόμενο. Τροφοδοτούνται συνήθως από απλούς ηλεκτρικούς κινητήρες και δεν εισάγουν σημαντική αρμονική παραμόρφωση στο ηλεκτρικό σύστημα. Οι εικόνες (40-41) παρουσιάζουν την ποσοστιαία αρμονική παραμόρφωση ενός ανεμιστήρα σε κανονική λειτουργία. Οι κινητήρες των ανεμιστήρων είναι συνήθως σχεδιασμένοι να λειτουργούν αποτελεσματικά και με σχετικά γραμμική σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος. Ενώ μπορεί να υπάρχουν μικρές διακυμάνσεις στις εικόνες (42-43) τις αρμονικής παραμόρφωσης λόγω της συμπεριφοράς εκκίνησης, επιτάχυνσης, επιβράδυνσης και διακοπής του κινητήρα.



Εικόνα 42: Ανεμιστήρας σε διάφορες λειτουργίες.

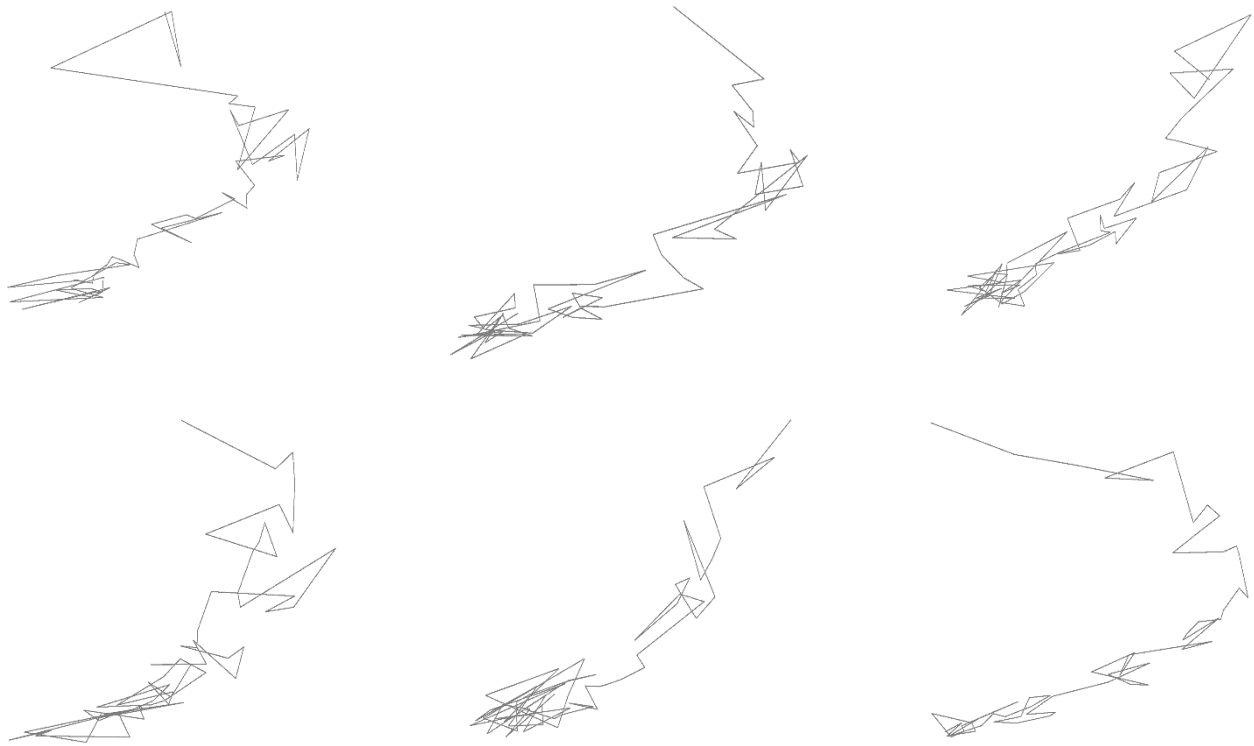
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.



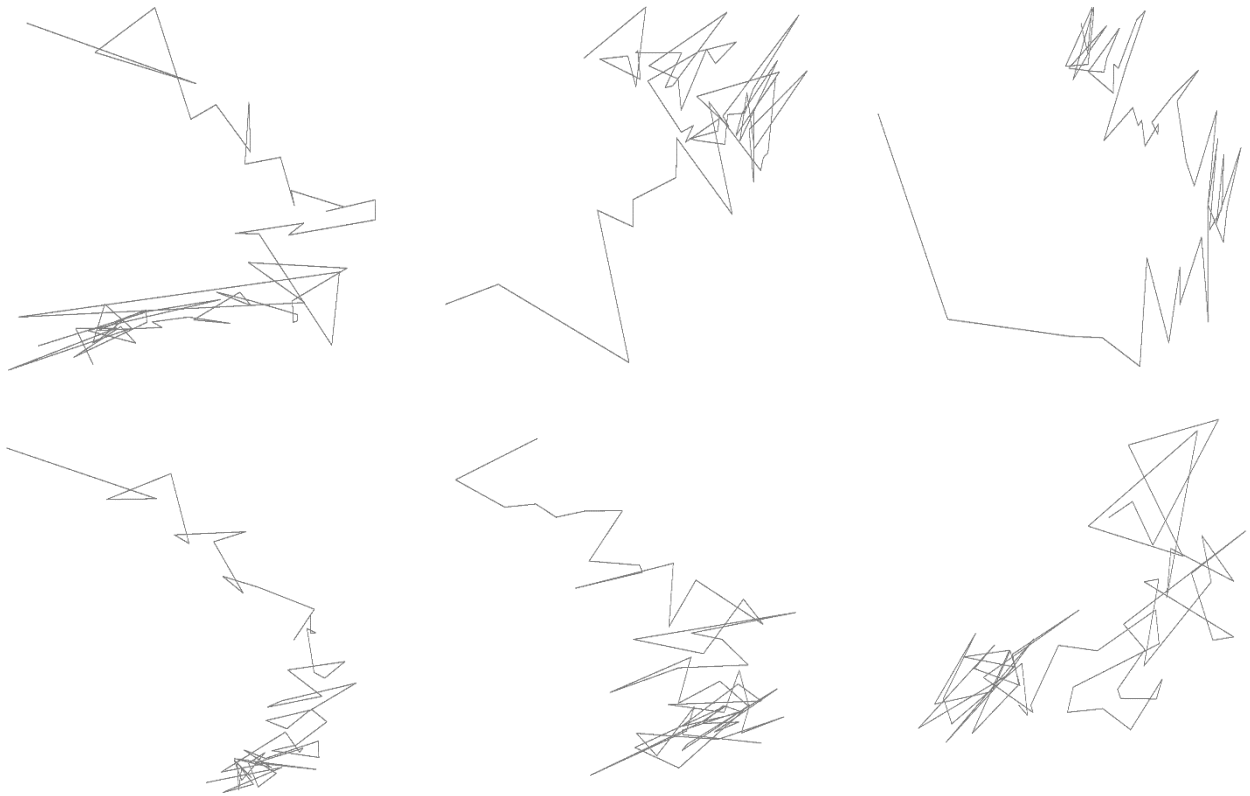


Εικόνα 43: Ανεμοστήρας σε διάφορες λειτουργίες.

## 8. Συσκευή απόψυξης

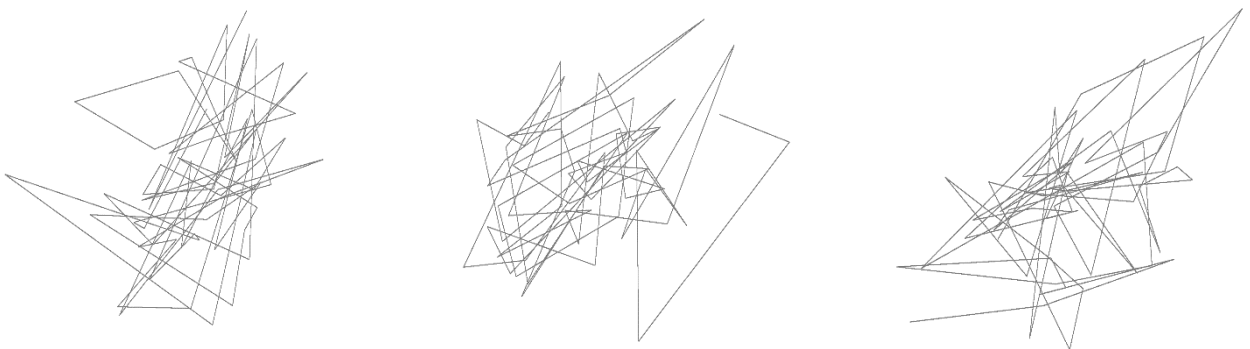


Εικόνα 44: Συσκευή απόψυξης σε κανονική λειτουργία.

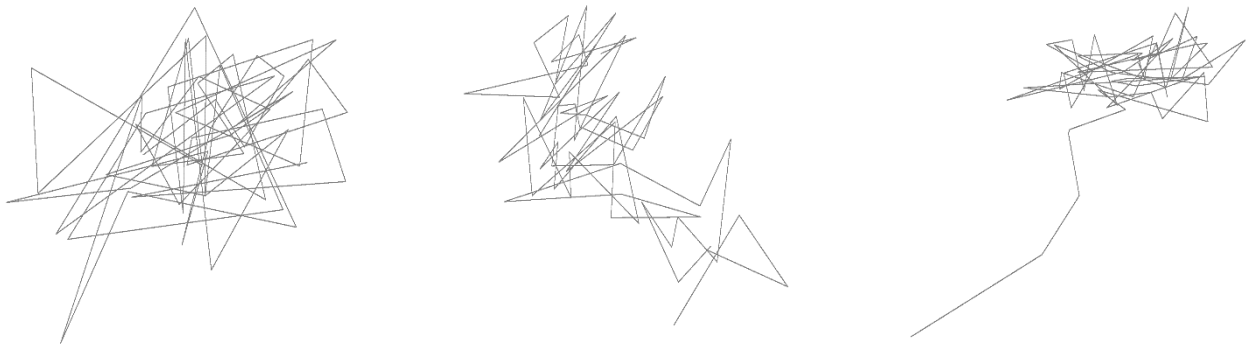


Εικόνα 45: Συσκευή απόψυξης σε κανονική λειτουργία.

Οι συσκευές απόψυξης σε οικιακές περιπτώσεις, όπως τα ψυγεία συνήθως δεν έχουν σημαντικό αρμονικό περιεχόμενο. Οι εν λόγω συσκευές απόψυξης είναι συνήθως σχεδιασμένες ως απλές συσκευές θέρμανσης με αντίσταση. Οι εικόνες (44-45) παρουσιάζουν συσκευή απόψυξης σε κανονική λειτουργία. Ενώ, οι εικόνες (46-47) εμφανίζουν διαφορές λόγω της κυκλικής λειτουργίας του συστήματος απόψυξης για τη διατήρηση του ελέγχου της θερμοκρασίας.

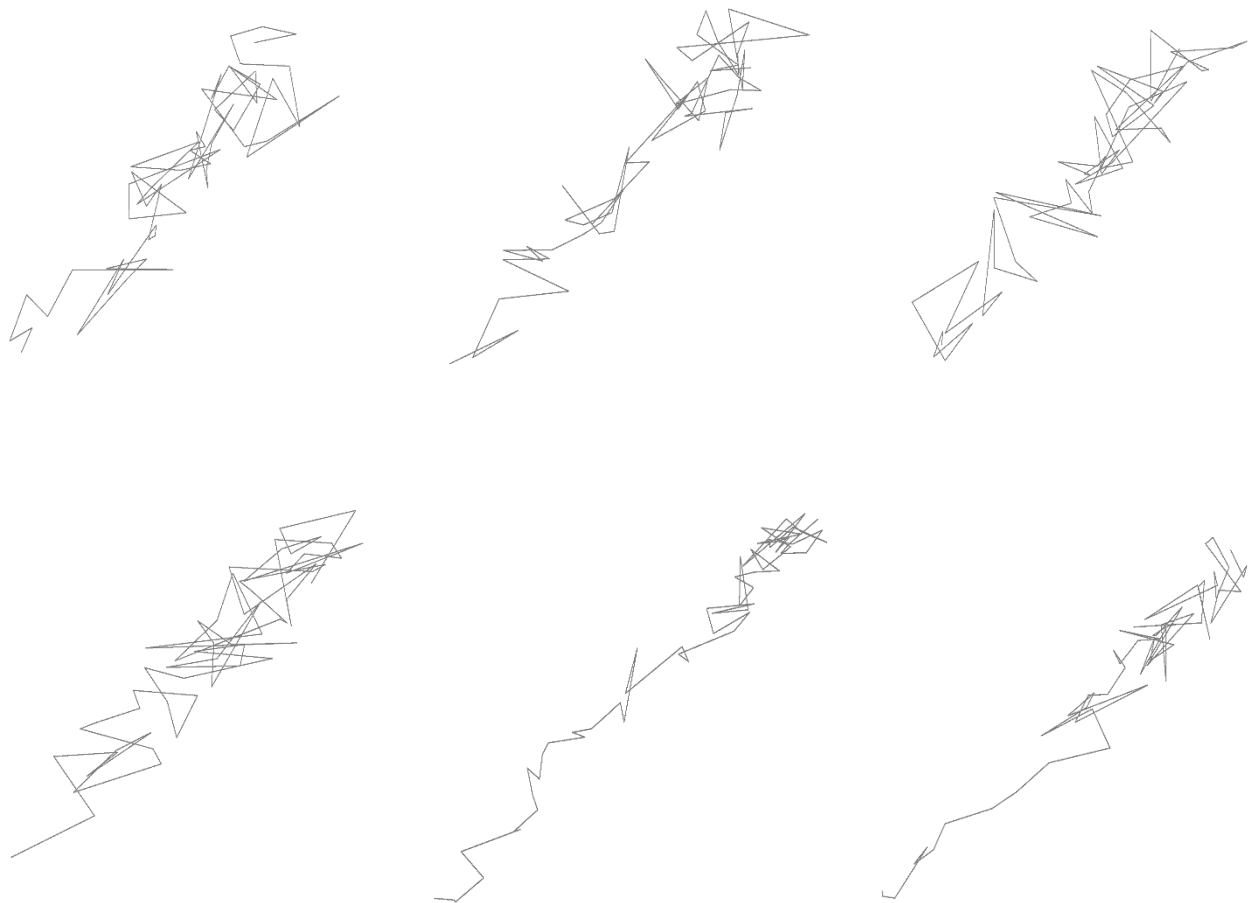


Εικόνα 46: Συσκευή απόψυξης σε διάφορες λειτουργίες.

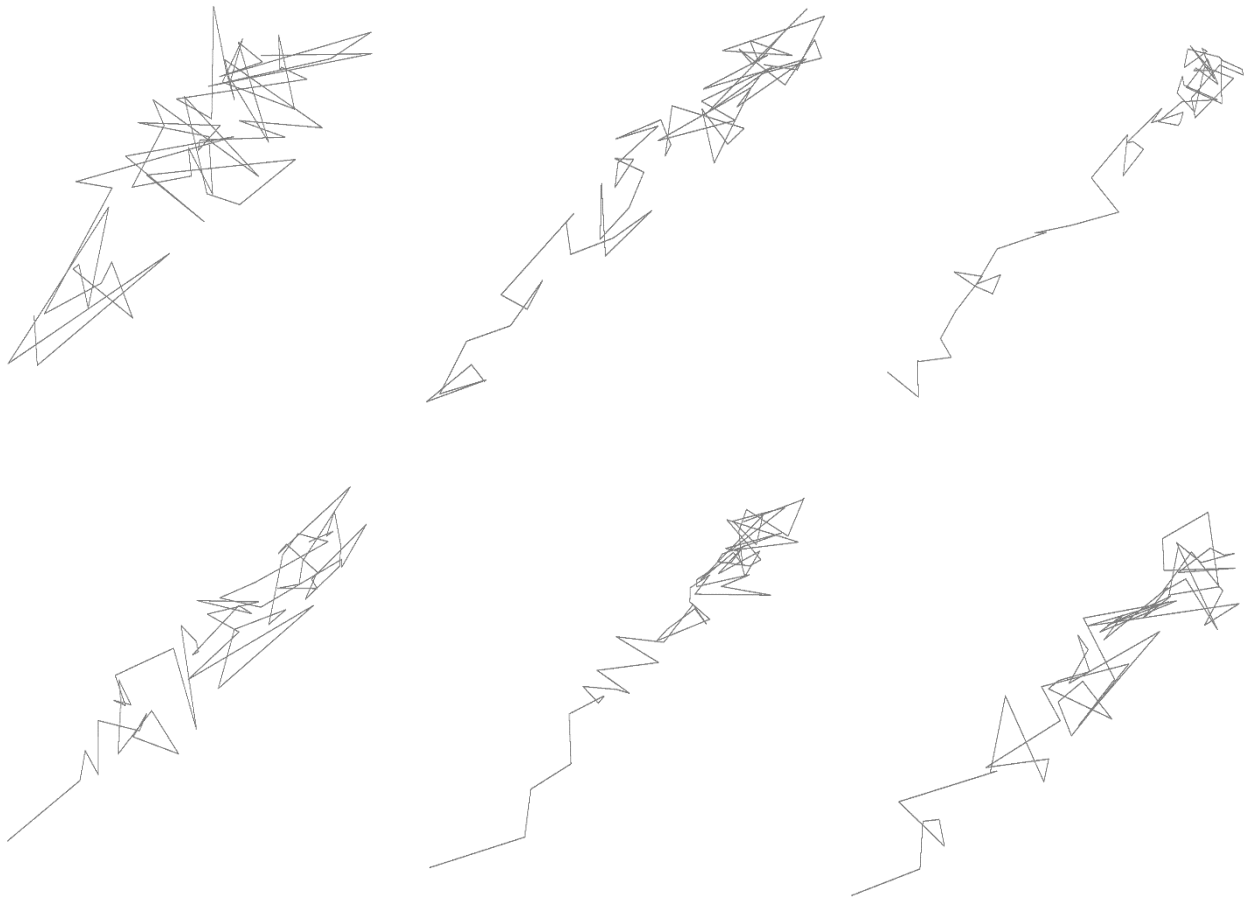


Εικόνα 47: Συσκευή απόψυξης σε διάφορες λειτουργίες.

## 9. Λαμπτήρας φθορισμού

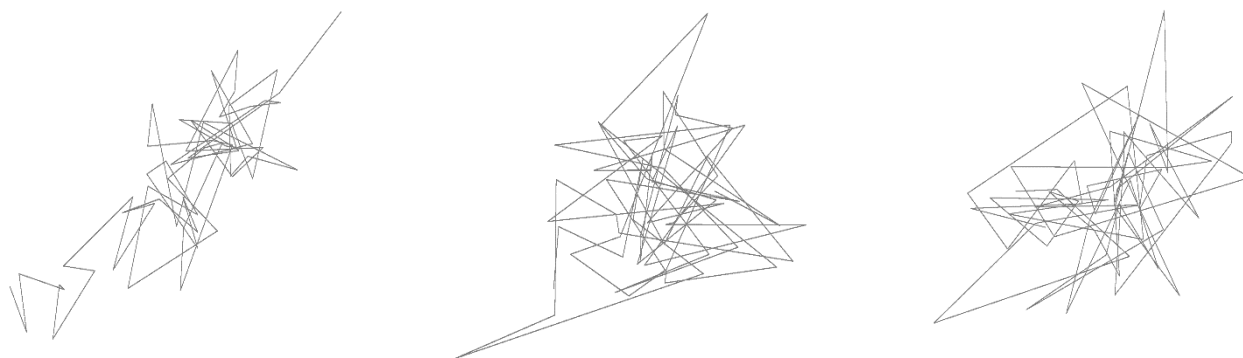


Εικόνα 48: Λαμπτήρας φθορισμού σε κανονική λειτουργία.

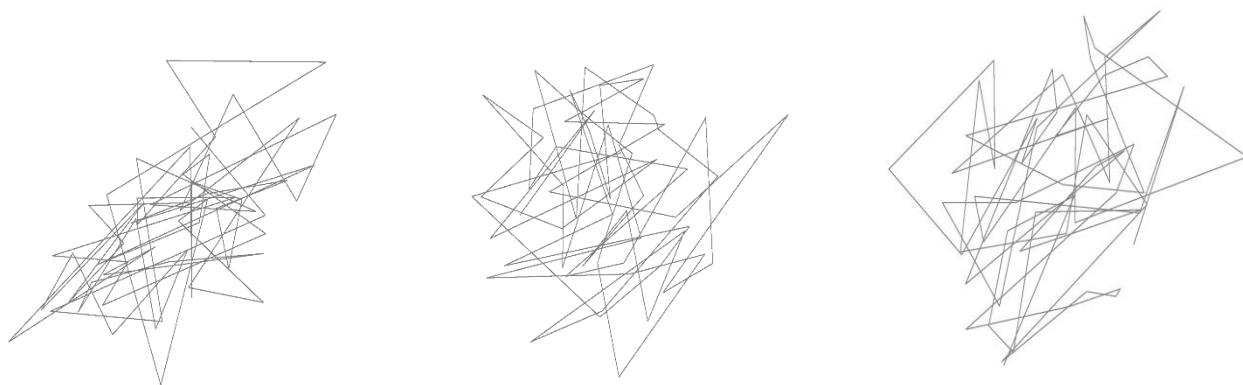


Εικόνα 49: Λαμπτήρας φθορισμού σε κανονική λειτουργία.

Οι λαμπτήρες φθορισμού, όπως και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, εισάγουν λίγες αρμονικές παραμορφώσεις στο ηλεκτρικό σύστημα. Οι λαμπτήρες φθορισμού λειτουργούν με ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία (ballast) που μπορούν να παράγουν αρμονικές. Το ballast μετατρέπει την εισερχόμενη τάση εναλλασσόμενου ρεύματος σε σήμα εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος υψηλής συχνότητας για την οδήγηση της λυχνίας φθορισμού και αυτή η δράση μεταγωγής μπορεί να παράγει αρμονικές στην κυματομορφή του ρεύματος. Οι εικόνες (48-49) παρουσιάζουν την κανονική λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού. Στις εικόνες (50-51) παρατηρούνται κάποιες διαφορές λόγω του ballast.

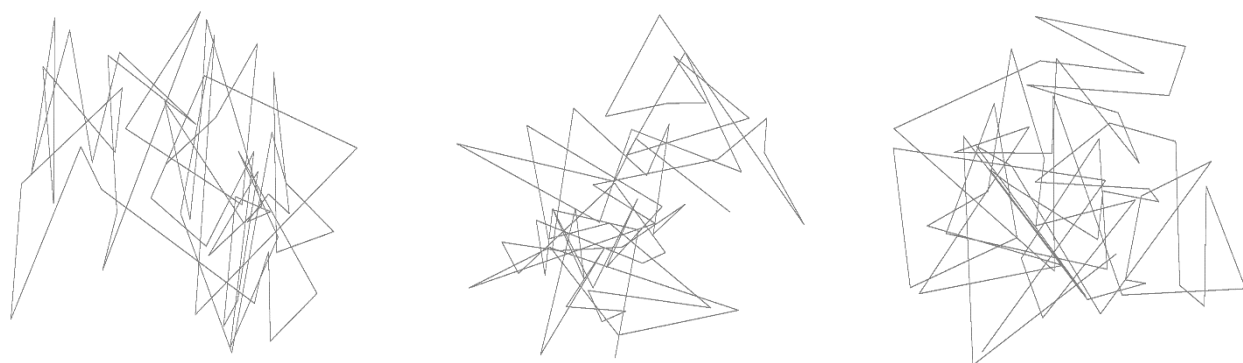


Εικόνα 50: Λαμπτήρας φθορισμού σε διάφορες λειτουργίες.

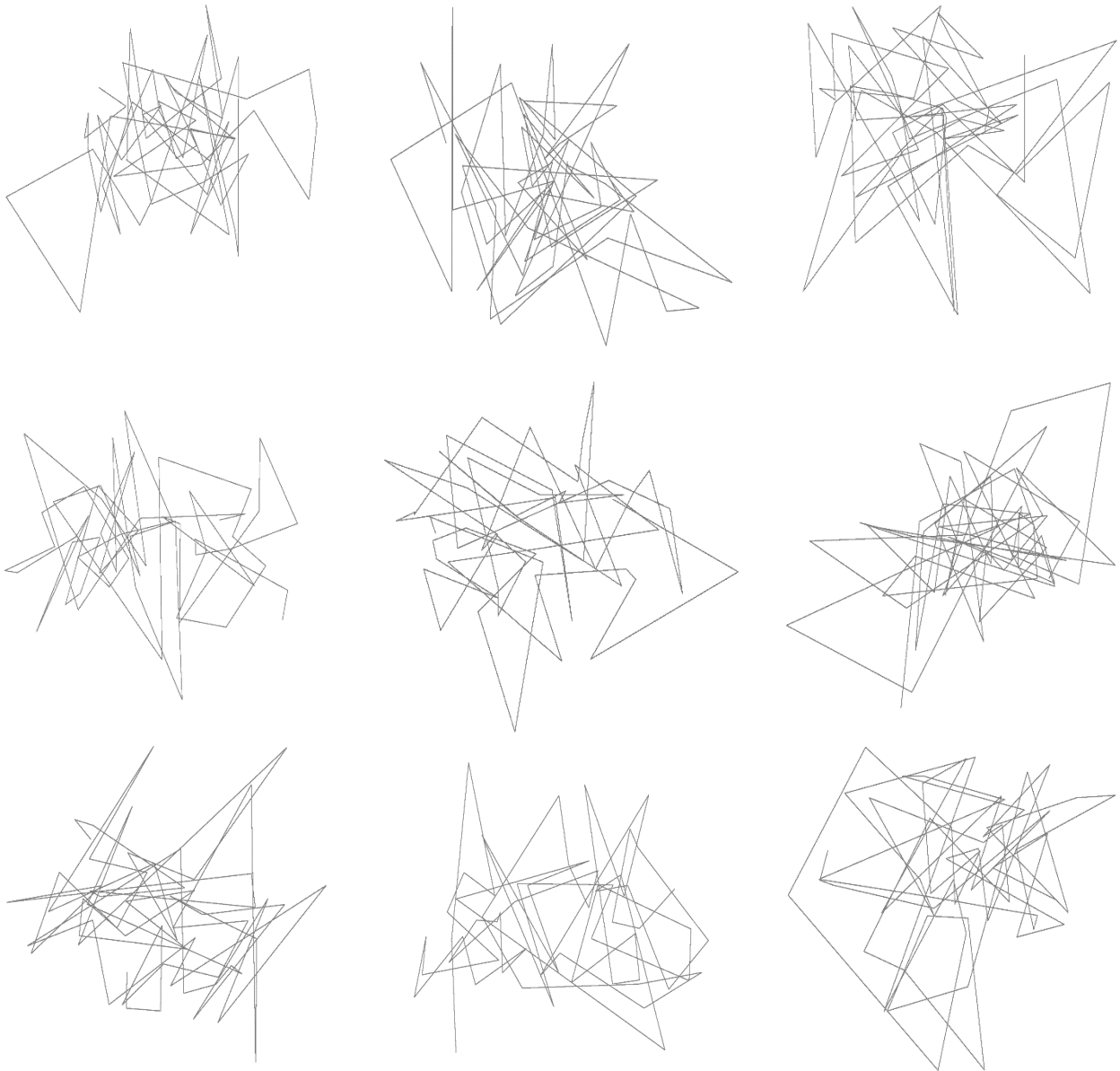


Εικόνα 51: Λαμπτήρας φθορισμού σε διάφορες λειτουργίες.

## 10. Καφετιέρα

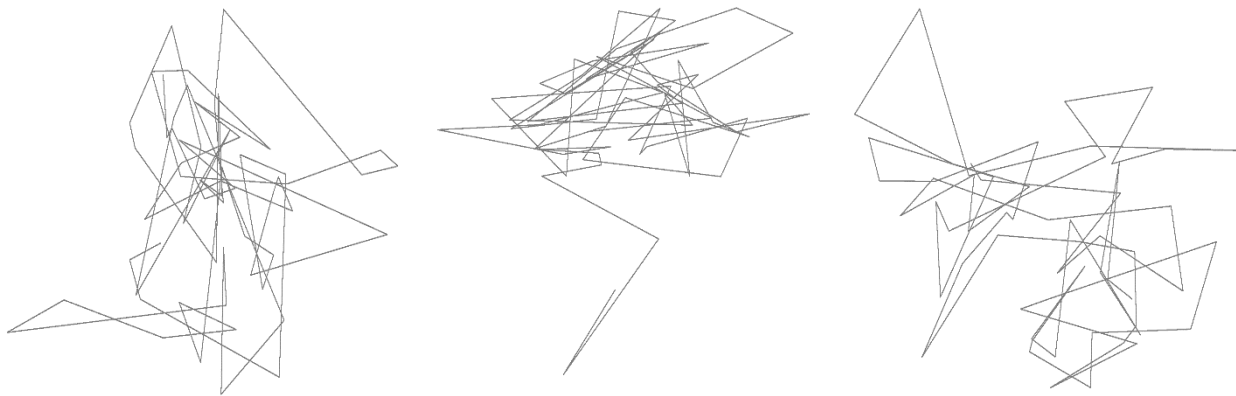


Εικόνα 52: Καφετιέρα σε κανονική λειτουργία.

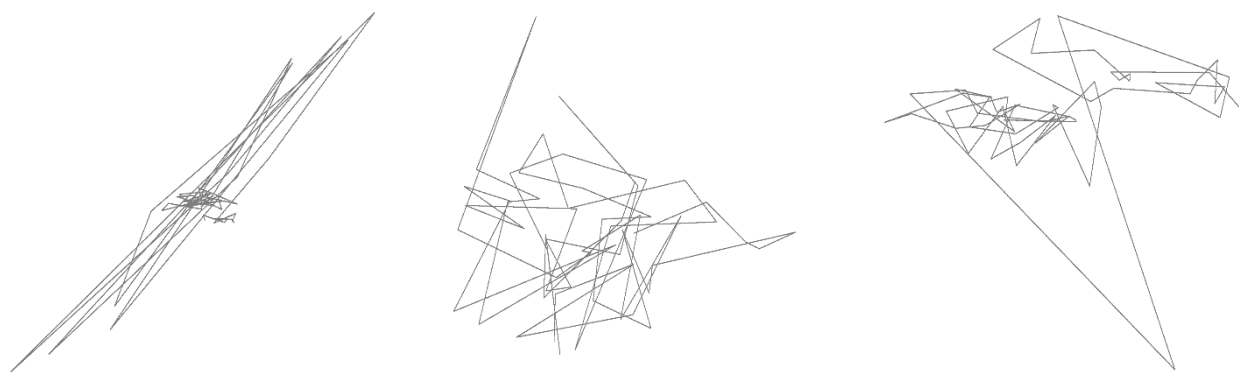


Εικόνα 53: Καφετιέρα σε κανονική λειτουργία.

Οι καφετιέρες, όπως και οι βραστήρες ή τα σίδερα των ρούχων, συνήθως δεν έχουν σημαντικό αρμονικό περιεχόμενο. Είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν ως ωμικά φορτία. Οι εικόνες (52-53) δείχνουν την αρμονική παραμόρφωση της καφετιέρας σε κανονική λειτουργία. Το θερμαντικό στοιχείο σε μια καφετιέρα είναι συνήθως ένα πηνίο που θερμαίνει το νερό. Λόγω της κυκλικής ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του θερμοστάτη για τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας είναι λογικό να παρατηρούνται διαφορές όπως στις εικόνες (54-55).



Εικόνα 54: Καφετιέρα σε διάφορες λειτουργίες.



Εικόνα 55: Καφετιέρα σε διάφορες λειτουργίες.

## 11. Κλιματιστικό



Εικόνα 56: Κλιματιστικό σε κανονική λειτουργία.

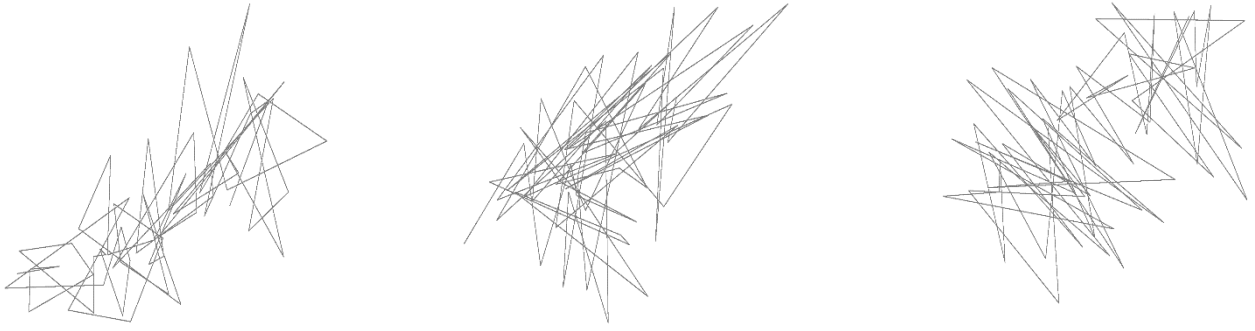
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.



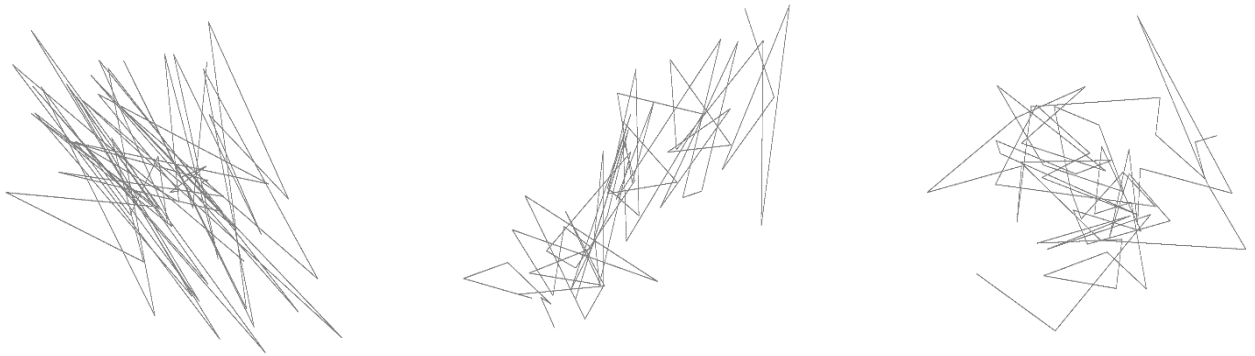
Εικόνα 57: Κλιματιστικό σε κανονική λειτουργία.

Οι μονάδες κλιματισμού, ιδίως εκείνες με συμπιεστές μεταβλητής ταχύτητας ή τεχνολογία με μετατροπέα, μπορούν δυνητικά να εμφανίσουν αρκετό αρμονικό περιεχόμενο στο ηλεκτρικό σύστημα. Η έκταση της αρμονικής παραμόρφωσης που παράγεται από ένα κλιματιστικό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου της τεχνολογίας του συμπιεστή που χρησιμοποιείται. Οι εικόνες (56-57) παρουσιάζουν την ποσοστιαία αρμονική παραμόρφωση κλιματιστικού σε μια τυπική κανονική λειτουργία. Παρόλα αυτά η λειτουργία με μεταβλητή ταχύτητα προκειμένου να εναλλάσσει συνεχώς το φορτίο ψύξης στο χώρο ανάλογα με την θερμοκρασία κάθε χρονική στιγμή έχει σαν αποτέλεσμα τις διαφοροποιήσεις των εικόνων ποσοστιαίας αρμονικής παραμόρφωσης όπως φαίνεται στις εικόνες (58-59).



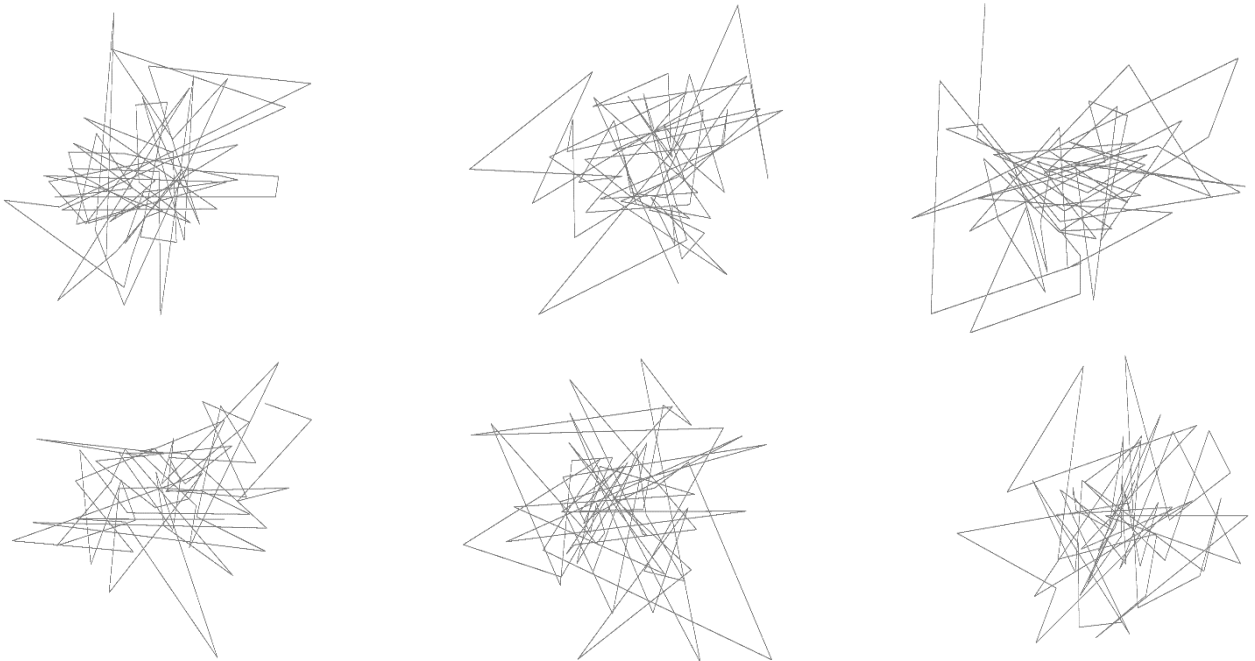


Εικόνα 59: Κλιματιστικό σε διάφορες λειτουργίες.



Εικόνα 58: Κλιματιστικό σε διάφορες λειτουργίες.

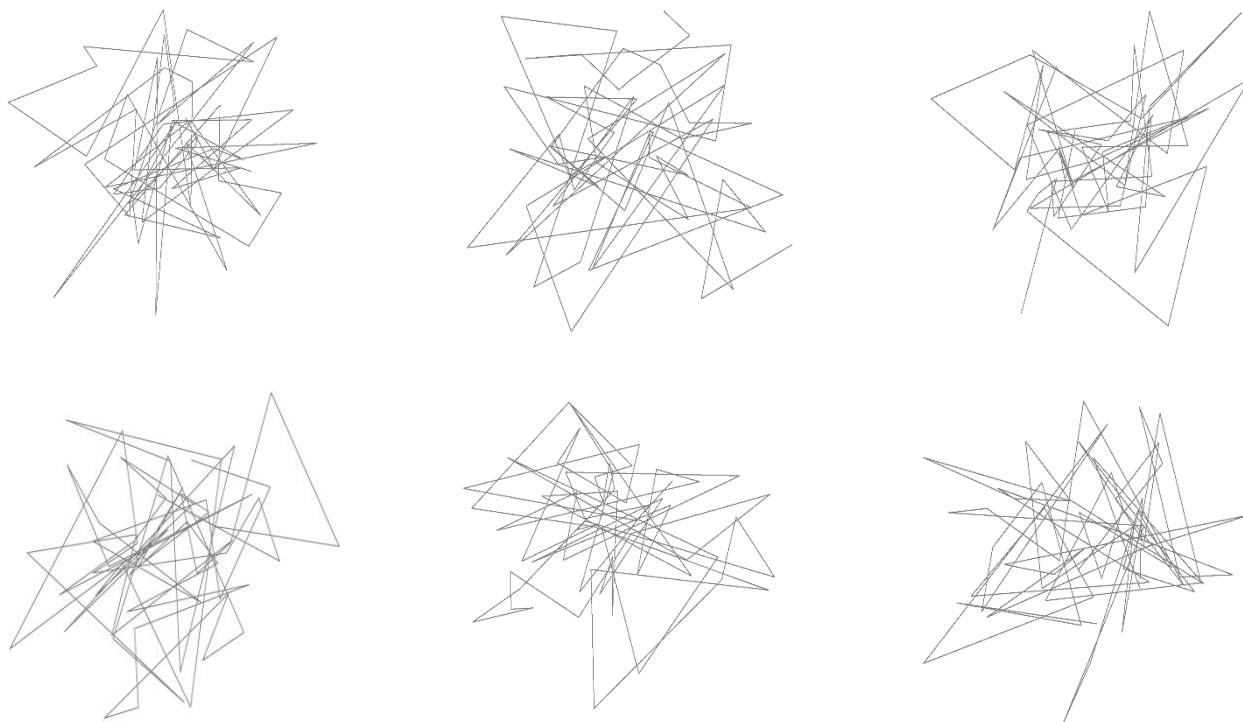
## 12. Συγκολλητικό σίδερο



Εικόνα 60: Συγκολλητικό σίδερο κανονική λειτουργία 1.

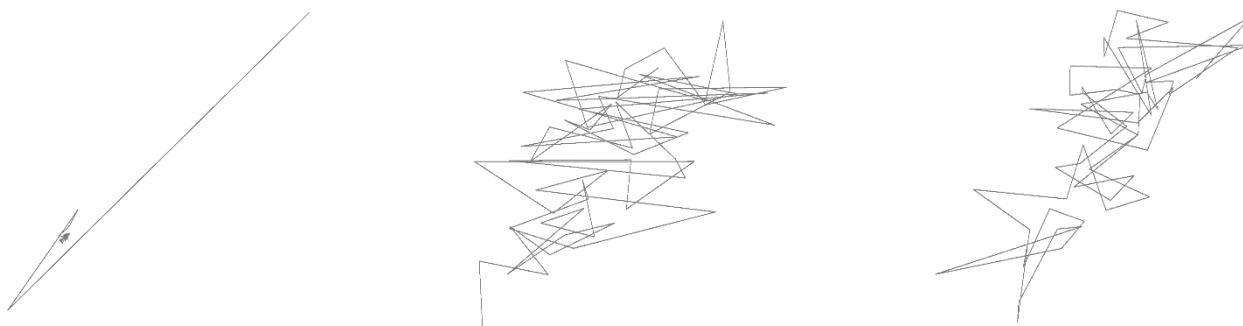
---

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ  
ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙΣ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗ  
ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.



Εικόνα 61: Συγκολλητικό σίδερο σε κανονική λειτουργία 2.

Τα συγκολλητικά σίδερα που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά και στις μεταλλικές κατασκευές για την τήξη σιδήρου για την ένωση εξαρτημάτων, δεν εμφανίζουν σημαντικό αρμονικό περιεχόμενο. Τα συγκολλητικά σίδερα περιέχουν στοιχεία θέρμανσης με αντίσταση με αποτέλεσμα να υπάρχουν διακυμάνσεις στις εικόνες (62-63) της αρμονικής παραμόρφωσης την χρονική περίοδο που το συγκολλητήρι θερμαίνεται και ψύχεται. Οι εικόνες (60-61) αποτυπώνουν αρμονική παραμόρφωση συγκολλητικού σιδήρου σε κανονική λειτουργία 1 και 2 αντίστοιχα.



Εικόνα 62: Συγκολλητικό σίδερο σε διάφορες λειτουργίες 1.

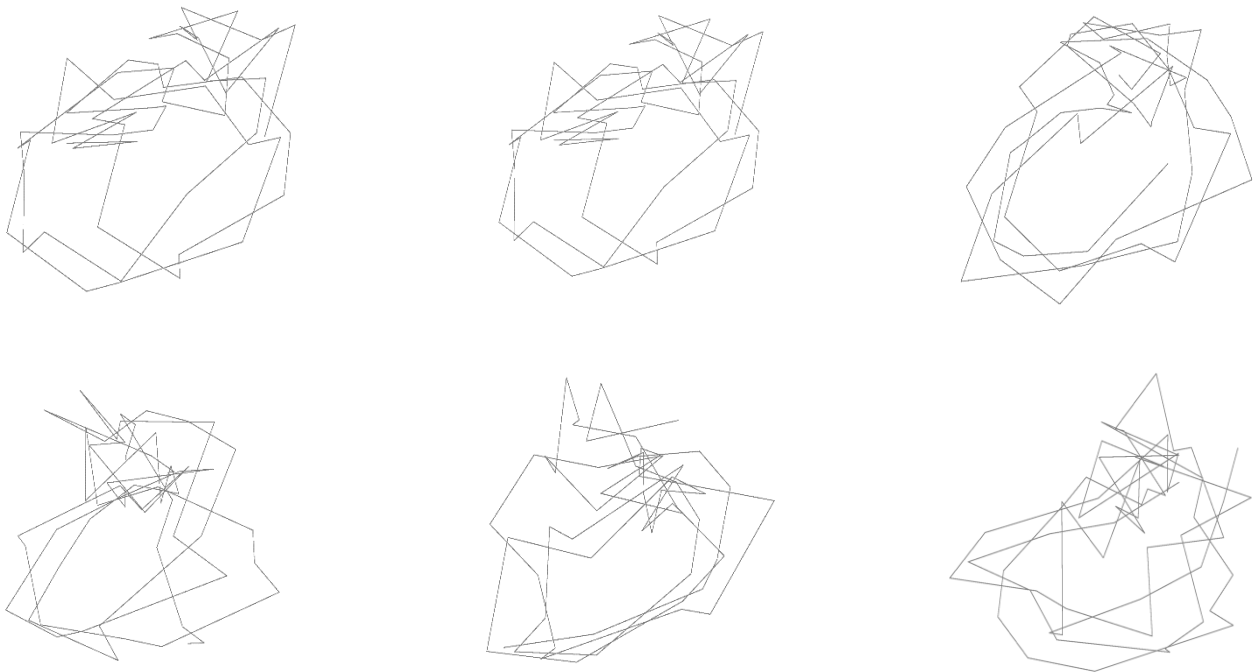


Εικόνα 63: Συγκολλητικό σίδηρο σε διάφορες λειτουργίες 2.

## 3.2 Ταυτόχρονη λειτουργία

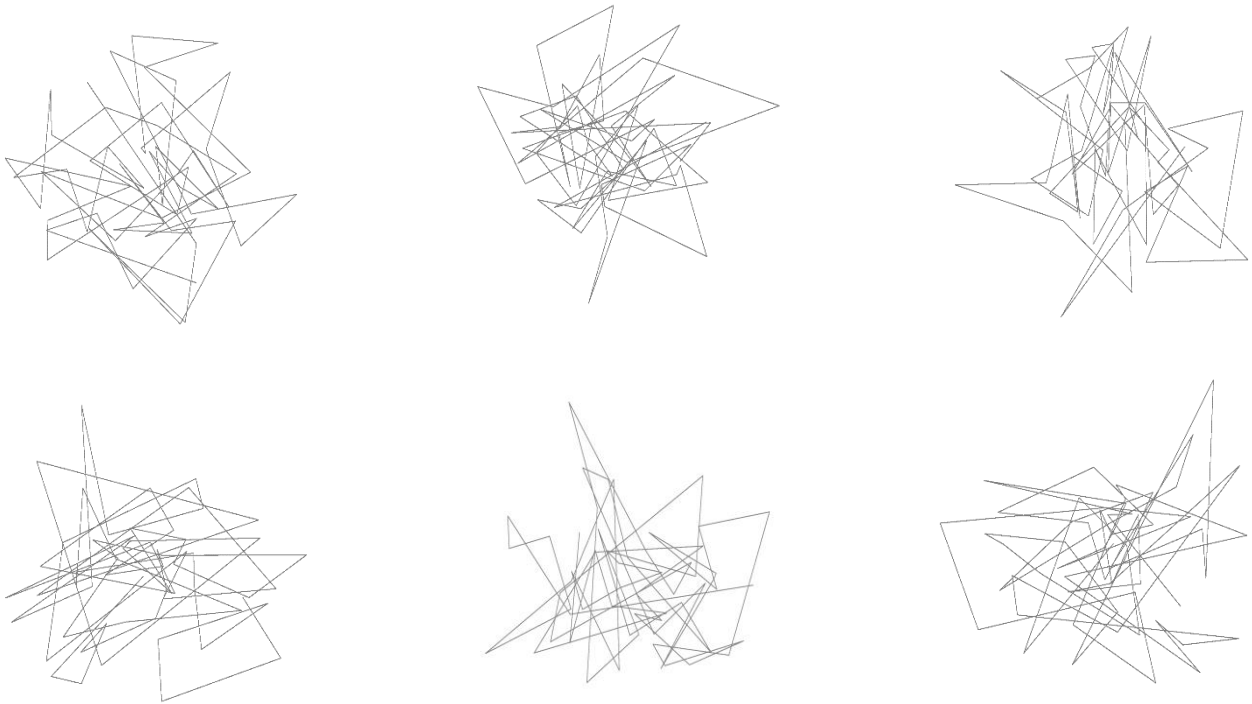
### 1. Ταυτόχρονη λειτουργία δύο συσκευών

Πέντε ενδεικτικά σενάρια ταυτόχρονης λειτουργίας δύο συσκευών παρουσιάζονται παρακάτω. Στο πρώτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας δύο συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (64) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας κλιματιστικού και ψυγείου μαζί. Είναι εμφανής η ομοιότητα με των εικόνων (36-37) μεμονωμένης λειτουργίας του ψυγείου.



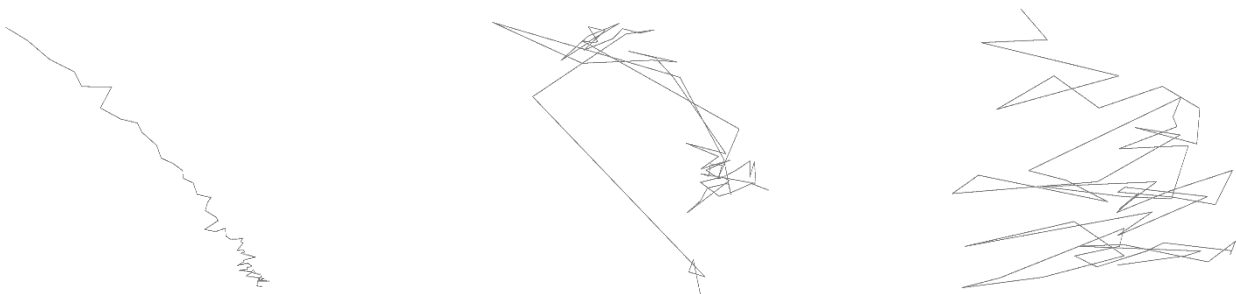
Εικόνα 64: Ταυτόχρονη λειτουργία κλιματιστικού και ψυγείου.

Στο δεύτερο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας δύο συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (65) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας καφετιέρας και σίδηρου μαλλιών μαζί. Υπάρχουν εμφανείς ομοιότητες τόσο με τις εικόνες της μεμονωμένης λειτουργίας της καφετιέρας (52-53) όσο και με του σίδηρου μαλλιών (32-33).



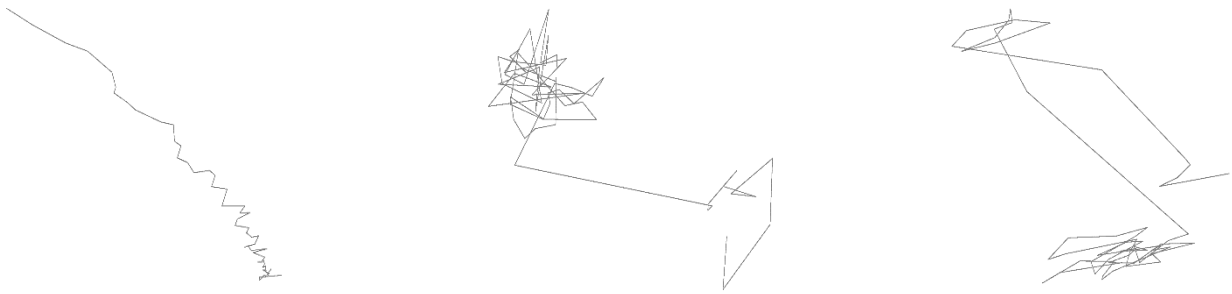
Εικόνα 65: Ταυτόχρονη λειτουργία καφετιέρας και σίδηρου μαλλιών.

Στο τρίτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας δύο συσκευών παρουσιάζονται οι εικόνες (66-67) στις οποίες απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας φορητού υπολογιστή και ηλεκτρικής σκούπας μαζί. Εντοπίζονται αρκετές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα διαγράμματα και αυτό οφείλεται στο φορητό υπολογιστή του οποίου η υπολογιστική ισχύς αλλάζει κάθε χρονική στιγμή ανάλογα με την χρήση του.



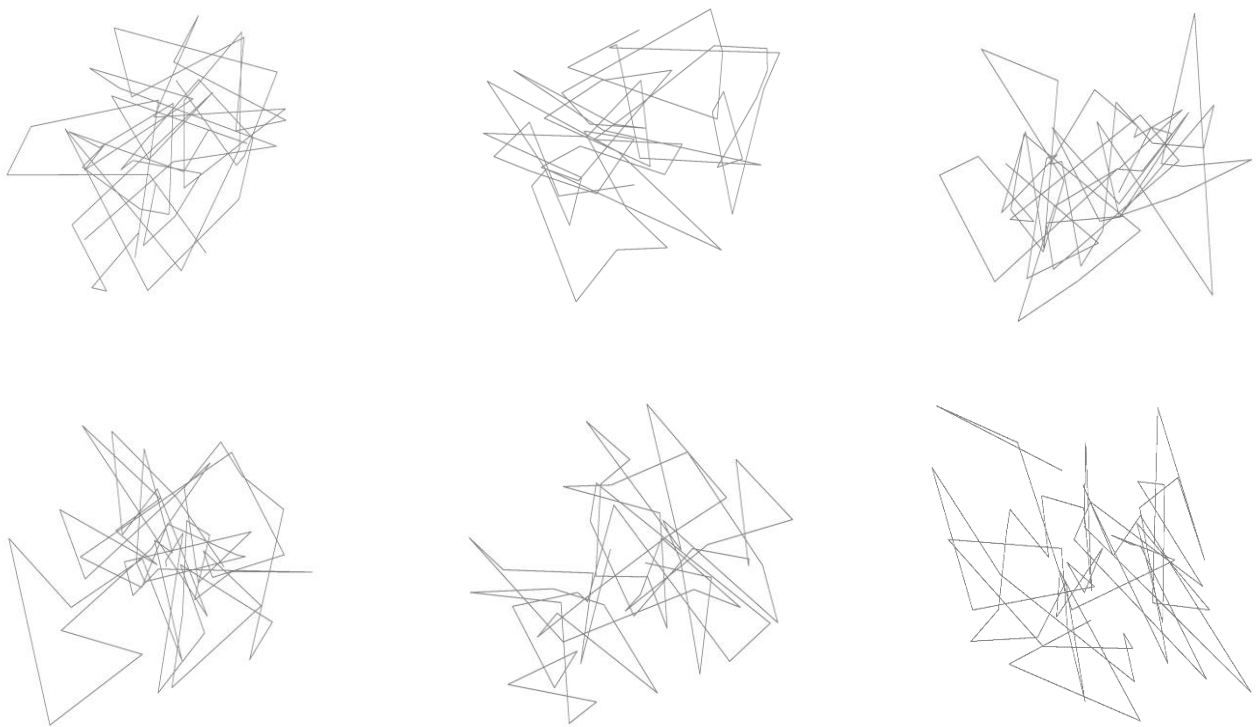
Εικόνα 66: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή και ηλεκτρικής σκούπας.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.



Εικόνα 67: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή και ηλεκτρικής σκούπας.

Στο τέταρτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας δύο συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (68) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας του βραστήρα και λαμπτήρα φθορισμού μαζί. Παρατηρείται μια υπερίσχυση των χαρακτηριστικών του βραστήρα στη μεμονωμένη λειτουργία του, όπως φαίνεται και στις εικόνες (24-25).



Εικόνα 68: Ταυτόχρονη λειτουργία βραστήρα και λαμπτήρα φθορισμού.

Στο πέμπτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας δύο συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (69) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας ανεμιστήρα και σίδερου μαλλιών μαζί. Στα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούνται περισσότερες ομοιότητες με τις εικόνες (40-41) της μεμονωμένης λειτουργίας του ανεμιστήρα από ότι με την λειτουργία του σίδερου μαλλιών.



Εικόνα 69: Ταυτόχρονη λειτουργία ανεμιστήρα και σίδερου μαλλιών.

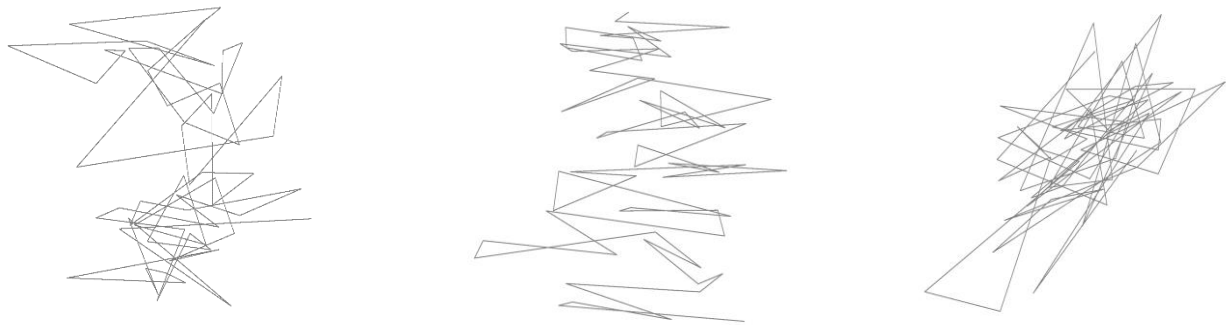
## 2. Ταυτόχρονη λειτουργία τριών συσκευών

Παρακάτω, παρουσιάζονται πέντε ενδεικτικά σενάρια ταυτόχρονης λειτουργίας τριών συσκευών. Στο πρώτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τριών συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (70) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας φορητού υπολογιστή, βραστήρα και ηλεκτρικής σκούπας μαζί. Παρατηρείται μια μεγάλη διαφοροποίηση ανάμεσα στα διαγράμματα γεγονός το οποίο οφείλεται στην πολύπλοκη αλληλεπίδραση των αρμονικών ρευμάτων των συσκευών στο ηλεκτρικό σύστημα.



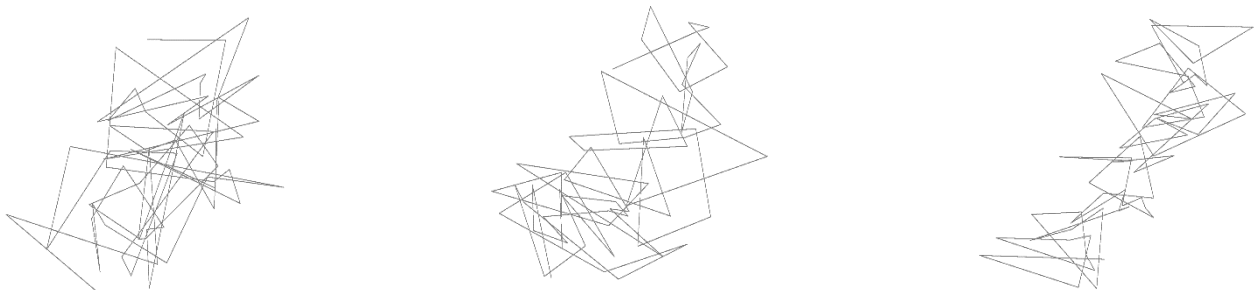
Εικόνα 70: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή , ηλεκτρικής σκούπας και βραστήρα.

Στο δεύτερο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τριών συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (71) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας κλιματιστικού , ανεμιστήρα και ηλεκτρικής σκούπας μαζί.



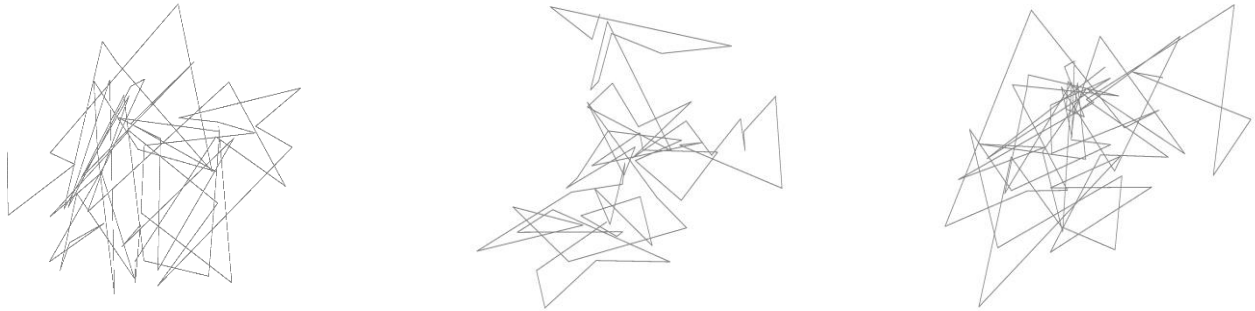
Εικόνα 71: Ταυτόχρονη λειτουργία κλιματιστικού , ανεμιστήρα και ηλεκτρικής σκούπας.

Στο τρίτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τριών συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (72) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας λαμπτήρα φθορισμού , λαμπτήρα πυρακτώσεως και κλιματιστικού.



Εικόνα 72: Ταυτόχρονη λειτουργία λαμπτήρα φθορισμού , λαμπτήρα πυρακτώσεως και κλιματιστικού.

Στο τέταρτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τριών συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (73) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας καφετιέρας , σίδερου μαλλιών και ηλεκτρικής σκούπας μαζί.



Εικόνα 73: Ταυτόχρονη λειτουργία καφετιέρας , σίδερου μαλλιών και ηλεκτρικής σκούπας.

Στο πέμπτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τριών συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (74) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας ψυγείου , καφετιέρας και σίδερου μαλλιών μαζί.



Εικόνα 74: Ταυτόχρονη λειτουργία ψυγείου , σίδερου μαλλιών και καφετιέρας.

### 1. Ταυτόχρονη λειτουργία τεσσάρων συσκευών

Παρακάτω, παρουσιάζονται τρία ενδεικτικά σενάρια ταυτόχρονης λειτουργίας τεσσάρων συσκευών. Στο πρώτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τεσσάρων συσκευών παρουσιάζεται η

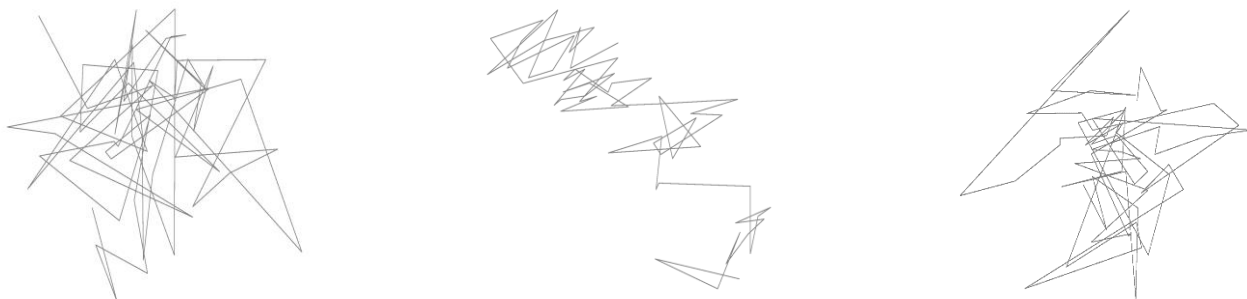


εικόνα (75) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας φορητού υπολογιστή, σίδηρου μαλλιών, λαμπτήρα φθορισμού και συγκολλητικού σίδηρου μαζί.



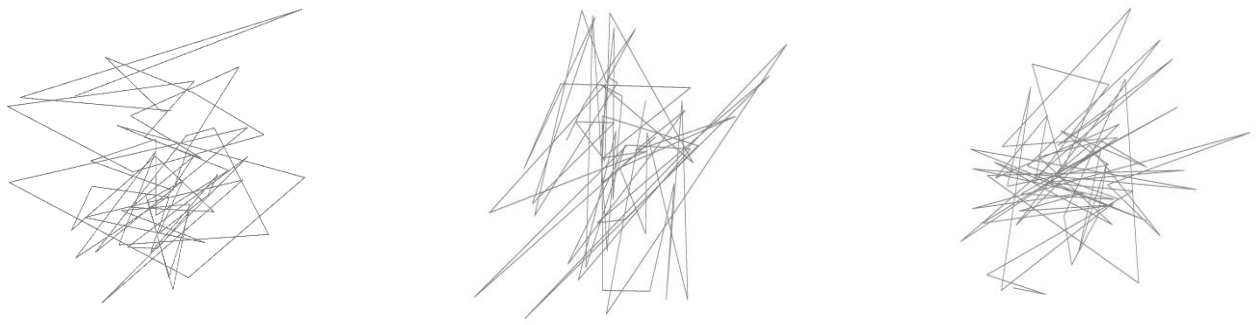
Εικόνα 75: Ταυτόχρονη λειτουργία φορητού υπολογιστή, σίδηρου μαλλιών, λαμπτήρα φθορισμού και συγκολλητικού σίδηρου.

Στο δεύτερο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τεσσάρων συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (76) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας καφετιέρας, κλιματιστικού, συσκευής απόψυξης και συγκολλητικού σίδηρου μαζί.



Εικόνα 76: Ταυτόχρονη λειτουργία καφετιέρας, κλιματιστικού, συσκευής απόψυξης και συγκολλητικού σίδηρου.

Στο τρίτο σενάριο ταυτόχρονης λειτουργίας τεσσάρων συσκευών παρουσιάζεται η εικόνα (77) στην οποία απεικονίζονται τα διαγράμματα των ποσοστιαίων αρμονικών παραμορφώσεων της λειτουργίας ηλεκτρικής σκούπας, κλιματιστικού, ανεμιστήρα και μπλέντερ μαζί.



*Εικόνα 77: Ταυτόχρονη λειτουργία ηλεκτρικής σκούπας , κλιματιστικού , ανεμιστήρα και μπλέντερ.*

## Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύτηκε το πρόβλημα αναγνώρισης οικιακών συσκευών στους αλγορίθμους μη παρεμβατικού τρόπου διαχείρισης φορτιού. Συγκεκριμένα για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ένα δημόσιο σύνολο δεδομένων στο οποίο υπήρχαν στιγμιαίες τιμές ρεύματος και τάσεις από την λειτουργία οικιακών συσκευών. Στην συνέχεια, με την χρήση του μετασχηματισμού Fast Fourier εξήχθησαν οι συνιστώσες ρεύματος αρμονικού περιεχομένου 3<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> τάξης σε σχέση με την θεμελιώδη. Ακόμα, οι ανακατασκευασμένες συγκεντρωτικές θεμελιώδεις, 3<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> τάξης αρμονικές κυματομορφές ρεύματος χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS) αυτών των κυματομορφών. Οι τιμές RMS είναι πολύτιμες επειδή βοηθούν στην ποσοτικοποίηση του επιπέδου αρμονικής παραμόρφωσης (%HD). Στο επόμενο βήμα τα ποσοστά αρμονικής παραμόρφωσης χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία γραφικών αναπαραστάσεων. Τέλος, οι εικόνες αυτές επισημάνθηκαν με γνώμονα το δευτερόλεπτο που αναπαρηστούσαν και την συσκευή που λειτουργούσε σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα χρήσης αυτών των εικόνων σε αλγορίθμους NILM ή σε μοντέλα μηχανικής μάθησης για το στάδιο αναγνώρισης συσκευών.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως ανάλογα με τον τύπο της συσκευής παρατηρείται μια συνέπεια στις εικόνες που δημιουργούνται. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι συσκευές σταθερού τρόπου λειτουργίας οι οποίες λόγω της ομαλής λειτουργίας τους δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στις υπογραφές τους. Αντίθετα, οι συσκευές που έχουν συνεχή λειτουργία με αρκετές διαφορετικές καταστάσεις, όπως για παράδειγμα ένας φορητός υπολογιστής, παρουσιάζουν εικόνες με έντονη ανομοιογένεια. Ακόμα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα σενάρια ταυτόχρονης λειτουργίας των συσκευών στα οποία ανάλογα με τις συσκευές που συμμετέχουν στην λειτουργία αλλά και την κατάσταση τους, παρατηρείται μια επικράτηση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών στην εικόνα. Τέλος, είναι κατανοητό ότι με την χρήση και άλλων συνόλων δεδομένων σε μελλοντικές μελέτες μπορούν να παραχθούν χρήσιμες γραφικές απεικονίσεις από μια πληθώρα οικιακών συσκευών προκειμένου να διευρυνθούν οι ικανότητες των αλγορίθμων NILM.

## Παράρτημα

---

### Υπολογισμός ποσοστών αρμονικής παραμόρφωσης σε περιβάλλον Python

```
import os
import numpy as np
import pandas as pd

input_folder = 'aggregated'
output_folder = 'results'
waveforms_folder = 'current_waveforms'
rms_folder = 'rms_HD'

waveforms_path = os.path.join(output_folder, waveforms_folder)
rms_path = os.path.join(output_folder, rms_folder)
os.makedirs(waveforms_path, exist_ok=True)
os.makedirs(rms_path, exist_ok=True)

sampling_rate = 30000 # Hz
segment_length = 500

input_files = sorted(os.listdir(input_folder), key=lambda x: int(os.path.splitext(x)[0]))
input_files = [file for file in input_files if file.endswith('.csv')]

for file in input_files:

    input_df = pd.read_csv(os.path.join(input_folder, file), header=None, usecols=[0])

    input_df[0] = input_df[0].astype(str).str.split(',').str[0]

    num_samples = len(input_df)
    num_segments = num_samples // segment_length
    num_rms = len(input_df) // 500

    fundamental_signal = np.zeros(num_samples)
    third_harmonic_signal = np.zeros(num_samples)
    fifth_harmonic_signal = np.zeros(num_samples)
```

```

rms_fundamental = np.zeros(num_rms)
rms_third_harmonic = np.zeros(num_rms)
rms_fifth_harmonic = np.zeros(num_rms)

```

```

for i in range(num_segments):

```

```

    segment = input_df.iloc[i * segment_length:(i + 1) * segment_length, 0]

```

```

    fft_segment = np.fft.fft(segment)

```

```

    freq_range = [59, 61] # frequency range of interest for fundamental frequency (Hz)
    fundamental_index = int((freq_range[1] * segment_length) / sampling_rate)
    third_harmonic_index = int((3 * freq_range[1] * segment_length) / sampling_rate)
    fifth_harmonic_index = int((5 * freq_range[1] * segment_length) / sampling_rate)

```

```

    fundamental_fft = np.zeros(len(fft_segment), dtype=complex)
    third_harmonic_fft = np.zeros(len(fft_segment), dtype=complex)
    fifth_harmonic_fft = np.zeros(len(fft_segment), dtype=complex)
    fundamental_fft[fundamental_index] = fft_segment[fundamental_index]
    third_harmonic_fft[third_harmonic_index] = fft_segment[third_harmonic_index]
    fifth_harmonic_fft[fifth_harmonic_index] = fft_segment[fifth_harmonic_index]

```

```

    fundamental_signal[i * segment_length:(i + 1) * segment_length] =
np.fft.ifft(fundamental_fft).real
    third_harmonic_signal[i * segment_length:(i + 1) * segment_length] =
np.fft.ifft(third_harmonic_fft).real
    fifth_harmonic_signal[i * segment_length:(i + 1) * segment_length] =
np.fft.ifft(fifth_harmonic_fft).real

```

```

if i % 1 == 0:

```

```

    rms_fundamental[i // 1] = np.sqrt(
        np.mean(np.square(fundamental_signal[i * segment_length:(i + 1) * segment_length])))
    rms_third_harmonic[i // 1] = np.sqrt(
        np.mean(np.square(third_harmonic_signal[i * segment_length:(i + 1) *
segment_length])))
    rms_fifth_harmonic[i // 1] = np.sqrt(
        np.mean(np.square(fifth_harmonic_signal[i * segment_length:(i + 1) * segment_length])))

```

```

current_waveforms_df = pd.DataFrame(
    {'Fundamental Current (A)': fundamental_signal,
     'Third Harmonic Current (A)': third_harmonic_signal,
     'Fifth Harmonic Current (A)': fifth_harmonic_signal})

```

```

rms_currents_df = pd.DataFrame(
    {'RMS Fundamental Current (A)': rms_fundamental,
     'RMS Third Harmonic Current (A)': rms_third_harmonic,
     'RMS Fifth Harmonic Current (A)': rms_fifth_harmonic,
     '%HD 3rd': (rms_third_harmonic / rms_fundamental)*100,
     '%HD 5th': (rms_fifth_harmonic / rms_fundamental)*100})

output_waveforms_file = os.path.join(waveforms_path, 'current_waveforms_' +
os.path.splitext(file)[0] + '.xlsx')
output_rms_file = os.path.join(rms_path, 'rms_HD_' + os.path.splitext(file)[0] + '.xlsx')

current_waveforms_df.to_excel(output_waveforms_file, index=False)
rms_currents_df.to_excel(output_rms_file, index=False)

print('Processed ' + file + ' successfully.')

```

## Δημιουργία εικόνων αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος σε περιβάλλον Python

```

import pandas as pd
import glob
import matplotlib.pyplot as plt
from PIL import Image
import os
import numpy as np

def save_grayscale_line_plot(x, y, filename):
    plt.plot(x, y, color='gray', linewidth=0.5) #, marker='o', markersize=2)
    plt.axis('off')
    plt.title("")
    plt.savefig(filename, dpi=300, bbox_inches='tight', format='png', transparent=True)
    plt.close()

image = Image.open(filename).convert('L')
image.save(filename, format='png')

xlsx_files = sorted(glob.glob('rms_HD/*.xlsx'), key=lambda x:
int(os.path.splitext(os.path.basename(x))[0].split('_')[-1]))

```

```

output_folder = '0to1_60_HD5x3y_plots_numbered'
os.makedirs(output_folder, exist_ok=True)

for file in xlsx_files:

    filename = os.path.splitext(os.path.basename(file))[0]

    file_number = int("".join(filter(str.isdigit, filename)))

    folder_path = os.path.join(output_folder, f'{filename}_plots_numbered')
    os.makedirs(folder_path, exist_ok=True)

    df = pd.read_excel(file, skiprows=0)

    x_values = df.iloc[:, 4].values
    y_values = df.iloc[:, 3].values

    for i in range(0, len(x_values), 60):
        x_set = x_values[i:i+60]
        y_set = y_values[i:i+60]

        normalized_x_set = np.interp(x_set, (np.min(x_set), np.max(x_set)), (0, 1))
        normalized_y_set = np.interp(y_set, (np.min(y_set), np.max(y_set)), (0, 1))

        plot_filename = os.path.join(folder_path, f'plot_{i//60 + 1}_{file_number}.png')
        save_grayscale_line_plot(normalized_x_set, normalized_y_set, plot_filename)

```

## Επεξεργασία μεταδεδομένων σε περιβάλλον Python

```

import json

with open(r'C:\Users\kosta\OneDrive\Desktop\metadata_aggregated.json', 'r') as f:
    data = Json. Load(f)

results = {}

for keyword in data.keys():

    for appliance, brands in data[keyword].items():

```

*for brand in brands:*

*key = f"{appliance}:{brand}"*

*results[key] = keyword*

*elif int(keyword) < int(results[key]):*

*results[key] = keyword*

*for key, value in results.items():*

*print(f"{key} - {value}")*



## Βιβλιογραφία

---

- [1] Jorge Revuelta Herrero, Alvaro Lozano Murciego, Alberto López Barriuso, Daniel Hernández de la Iglesia, Gabriel Villarrubia González, Juan Manuel Corchado Rodríguez, and Rita Carreira, “Non Intrusive Load Monitoring (NILM): A State of the Art”, Conference Paper in Advances in Intelligent Systems and Computing, June 2018.
- [2] Antonio Ridi, Christophe Gisler, Jean Hennebert, “A Survey on Intrusive Load Monitoring for Appliance Recognition”, 22nd International Conference on Pattern Recognition, August 2014.
- [3] Abubakar, S.N. Khalid, M.W. Mustafa, Hussain Shareef, M. Mustapha, “Application of load monitoring in appliances’ energy management – A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, January 2017.
- [4] K. Carrie Armel, Abhay Gupta, Gireesh Shrimali, Adrian Albert, “Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity”, *Energy Policy* journal, January 2013.
- [5] Krzysztof Dowalla, Piotr Bilski, Robert Łukaszewski, Augustyn Wójcik, Ryszard Kowalik, “NILM Application for Real Time Monitoring of Appliances Energy Consumption Used”, 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), September 2021.
- [6] Attique Ur Rehman, Shafiqur Rahman Tito, Pieter Nieuwoudt, Gulshad Imran, Tek Tjing Lie, Brice Vallès, Waseem Ahmad, “Applications of Non-Intrusive Load Monitoring Towards Smart and Sustainable Power Grids: A System Perspective”, 2019 29th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), November 2019.
- [7] Christy Green, Srinivas Garimella, “Analysis of supervised graph signal processing-based load disaggregation for residential demand-side management”, *Electric Power Systems Research* journal, July 2022.
- [8] Yu-Hsiu Lin, Men-Shen Tsai, “An Advanced Home Energy Management System Facilitated by Nonintrusive Load Monitoring With Automated Multiobjective Power Scheduling”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, January 2015.
- [9] Florian Kalinke, Pawel Bielski, Snigdha Singh, Edouard Fouché, Klemens Böhm, “An Evaluation of NILM Approaches on Industrial Energy-Consumption Data”, e-Energy '21: Proceedings of the Twelfth ACM International Conference on Future Energy Systems, June 2021.
- [10] Kien Nguyen Trung, Olivier Zammit, Eric Dekneuevel, Benjamin Nicolle, Cuong Nguyen Van, Gilles Jacque MoD, “An innovative non-intrusive load monitoring system for commercial and industrial application”, The 2012 International Conference on Advanced Technologies for Communications, October 2012.

- [11] Mengmeng Zhuang, Mohammad Shahidehpour, Zuyi Li, “An Overview of Non-Intrusive Load Monitoring: Approaches, Business Applications, and Challenges”, 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON), November 2018.
- [12] Á. Hernández , A. Ruano, J. Ureña , M.G. Ruano , J.J. Garcia, “Applications of NILM Techniques to Energy Management and Assisted Living”, IFAC-PapersOnLine journal, October 2019.
- [13] Anthony Faustine, Nerey Henry Mvungi, Shubi Kaijage, Kisangiri Michael, “A Survey on Non-Intrusive Load Monitoring Methodies and Techniques for Energy Disaggregation Problem”, ?, March 2017
- [14] Jingkun Gao, Emre Can Kara, Suman Giri, Mario Bergés, “A feasibility study of automated plug-load identification from high-frequency measurements”, 2015 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), December 2015.
- [15] Antonio Ruano, Alvaro Hernandez, Jesus Ureña, Maria Ruano and Juan Garcia, “NILM Techniques for Intelligent Home Energy Management and Ambient Assisted Living: A Review”, Energies journal, June 2019.
- [16] Fethi Batincan Gurbuz, Ramazan Bayindir, Seyfettin Vadi, “Comprehensive Non-Intrusive Load Monitoring Process: Device Event Detection, Device Feature Extraction and Device Identification Using KNN, Random Forest and Decision Tree”, 2021 10th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), September 2021.
- [17] Kyle D. Anderson, Mario E. Bergés, Adrian Ocneanu, Diego Benitez, José M.F. Moura, “Event detection for Non Intrusive load monitoring”, IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, October 2012.
- [18] Jian Liang, Simon K. K. Ng, Gail Kendall, John W. M. Cheng, “Load Signature Study—Part I: Basic Concept, Structure, and Methodology”, IEEE Transactions on Power Delivery, April 2010.
- [19] Ahmed Zoha 1, Alexander Gluhak, Muhammad Ali Imran, Sutharshan Rajasegarar, “Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: a survey” , Sensors journal, December 2012.
- [20] Behzad Najafi, Sadaf Moaveninejad, Fabio Rinaldi, “Chapter 17 - Data Analytics for Energy Disaggregation: Methods and Applications”, Big Data Application in Power Systems book, January 2018.
- [21] R. Gopinath , Mukesh Kumar , C. Prakash Chandra Joshua , Kota Srinivas, “Energy management using non-intrusive load monitoring techniques – State-of-the-art and future research directions”, Sustainable Cities and Society, July 2020.
- [22] Stephen Makonin , Fred Popowich, “Nonintrusive Load Monitoring (NILM) Performance Evaluation”, Energy Efficiency journal, December 2014.
- [23] Stephen Makonin, “Approaches to Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) in the Home”, October 2012.

- [24] Sanket Desai, Rabei Alhadad, Abdun Mahmood, Naveen Chilamkurti, Seungmin Rho, “Multi-State Energy Classifier to Evaluate the Performance of the NILM Algorithm”, Sensors journal, November 2019.
- [25] Lucas Pereira Nuno Nunes, “Performance evaluation in non-intrusive load monitoring: Datasets, metrics, and tools—A review”, Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery , May 2018.
- [26] Shin, C., Rho, S., Lee, H., Rhee, “W. Data Requirements for Applying Machine Learning to Energy Disaggregation”, Energies, May 2019.
- [27] L. Pereira, M. Ribeiro and N. Nunes, "Engineering and deploying a hardware and software platform to collect and label non-intrusive load monitoring datasets," 2017 Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT), Funchal, Portugal, 2017.
- [28] L. Tari, G. Berrettoni, C. Bourelly, G. Cerro, D. Capriglione and L. Ferrigno, "eLAMI—An Innovative Simulated Dataset of Electrical Loads for Advanced Smart Energy Applications," in IEEE Access, 2022.
- [29] Hafiz Khurram Iqbal, Farhan Hassan Malik, Aoun Muhammad, Muhammad Ali Qureshi, Muhammad Nawaz Abbasi, Abdul Rehman Chishti, “A critical review of state-of-the-art non-intrusive load monitoring datasets”, Electric Power Systems Research, 2021.
- [30] B. Huang, M. Knox, K. Bradbury, L. M. Collins and R. G. Newell, "Non-intrusive load monitoring system performance over a range of low frequency sampling rates," 2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2017.
- [31] Deepika R. Chavan, Dagadu S. More, Amruta M. Khot, IEDL: Indian Energy Dataset with Low frequency for NILM, Energy Reports, 2022.
- [32] Kolter, J. Zico and Matthew J. Johnson. “REDD : A Public Data Set for Energy Disaggregation Research.” (2011).
- [33] Sean Barker, Aditya Mishra, David Irwin, Emmanuel Cecchet ,Prashant Shenoy,Jeannie Albrecht, “Smart\*: An Open Data Set and Tools for Enabling Research in Sustainable Homes”, January 2012.
- [34] Anderson, Kyle D., Adrian Ocneanu, Derrick R. Carlson, Anthony G. Rowe and Mario E. Berges. “BLUED : A Fully Labeled Public Dataset for Event-Based Non-Intrusive Load Monitoring Research.” (2012).
- [35] Nipun Batra, Manoj Gulati, Amarjeet Singh, and Mani B. Srivastava. “It's Different: Insights into home energy consumption in India”, In Proceedings of the 5th ACM Workshop on Embedded Systems For Energy-Efficient Buildings (BuildSys'13), 2013.
- [36] Medico, R., De Baets, L., Gao, J. et al. A voltage and current measurement dataset for plug load appliance identification in households. Sci Data 7, 49 (2020).

[37] Aggelos S. Bouhouras, Paschalis A. Gkaidatzis, Evangelos Panagiotou, Nikolaos Poulakis, Georgios C. Christoforidis, A NILM algorithm with enhanced disaggregation scheme under harmonic current vectors, Energy and Buildings, Volume 183,2019.

[38] T.T.H. Le, H. Kang and H. Kim, "Household Appliance Classification Using Lower Odd-Numbered Harmonics and the Bagging Decision Tree," in IEEE Access, vol. 8, pp. 55937-55952, 2020.

[39] <https://tooabstractive.com/science-stuff/why-do-we-use-rms-value-instead-of-average-value/> , Ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης: 30/8/2023.

[40] <https://towardsai.net/p/data-science/how-when-and-why-should-you-normalize-standardize-rescale-your-data-3f083def38ff>, Ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης: 30/8/2023.

[41] <https://www.isahit.com/blog/why-to-use-grayscale-conversion-during-image-processing> , Ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης: 30/8/2023.

[42] <https://toloka.ai/blog/what-is-image-labeling/> , Ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης: 31/8/2023.

[43] <https://datagen.tech/guides/image-annotation/image-labeling/#> , Ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης: 31/8/2023.

[44] Papageorgiou, P.; Mylona, D.; Stergiou, K.; Bouhouras, A.S. A Time-Driven Deep Learning NILM Framework Based on Novel Current Harmonic Distortion Images. Sustainability 2023, 15, 12957.

## Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

---

NILM	Non-intrusive Load Monitoring
κ.λ.π.	και λοιπά
κ.ο.κ	και ούτω καθεξής
ILM	Intrusive Load Monitoring
DSM	Demand Side Management
AMI	Advanced Metering Infrastructure
HEMS	Home Energy Management System

