



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## **Μετρήσεις Καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ισχύος σε Εγκαταστάσεις του Τριτογενούς Τομέα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βλάχος Σπυρίδων

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2017





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Μετρήσεις καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος σε εγκαταστάσεις του τριτογενούς τομέα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βλάχος Σπυρίδων

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....Μαρτίου 2017

.....  
Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Χάρης Δούκας

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2017



.....

Βλάχος Σπυρίδων

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

Copyright © ΒΛΑΧΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Απόφασης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Υπεύθυνοι κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Επ. Καθηγητής κ. Χάρης Δούκας και η επιβλέπουσα της διπλωματικής, διδάκτορας Ε.Μ.Π. Αλεξάνδρα Παπαδοπούλου, τους οποίους ευχαριστώ για την ανάθεση αυτής και τη δυνατότητα που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Επιστημονικό Συνεργάτη του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης Δρ. Γεώργιο Παπαδάκο, για την καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε. Οι υποδείξεις και οι συμβουλές του υπήρξαν απαραίτητες για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να εκφράσω στην εταιρεία Olympic Catering ABEE του Ομίλου Vivartia, στην έδρα της οποίας πραγματοποιήθηκε η συλλογή του υλικού της εργασίας καθώς και το προσωπικό της Τεχνικής Υπηρεσίας της εταιρείας και ιδιαιτέρως τον Υπεύθυνο της Τεχνικής Υπηρεσίας κ. Μιχάλη Κατεινά, για τη θερμή υποδοχή, συμπαράσταση, καθοδήγηση και έμπρακτη βοήθεια και συνεισφορά με το σύνολο των χρήσιμων συμβουλών και πολύτιμων πληροφοριών που μου παρείχε σχετικά με τη λειτουργία του κτιρίου.

Σπύρος Π. Βλάχος  
Μάρτιος 2017





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Τις τελευταίες δεκαετίες οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν κληθεί να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο της ραγδαίας αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας, παγκοσμίως, και τον αντίκτυπο αυτής στο περιβάλλον.

Ένας τομέας που εκτιμάται ότι συμβάλει ιδιαίτερα στην επιδείνωση του ως άνω φαινομένου, είναι ο κτιριακός τομέας, λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας για τη λειτουργία των πάσης φύσεως ηλεκτρικών συσκευών και μηχανημάτων, τον φωτισμό και τον έλεγχο εσωτερικής θερμοκρασίας.

Στο πλαίσιο αυτό και δεδομένου ότι ο κτιριακός τομέας εκτιμάται πως είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, η ενεργειακή επιθεώρηση και αξιολόγηση των κτιρίων για την αποτύπωση της ενεργειακής κατάστασής τους με σκοπό την εξεύρεση λύσεων για την όσο το δυνατόν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας κρίνεται απαραίτητη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στη διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης και στην αξιολόγηση της ενεργειακής επίδοσης διαφόρων εγκαταστάσεων της εταιρείας Olympic Catering ABEE του Ομίλου Vivartia, στα κεντρικά γραφεία της εταιρείας στην περιοχή του Αεροδρομίου Αττικής στα Σπάτα. Στην υλοποίησή της δίνεται έμφαση στη συλλογή αξιόπιστων πραγματικών δεδομένων και γίνεται αποτίμηση των αντίστοιχων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων με τη χρήση αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά τη μελέτη των στοιχείων που σχετίζονται με το ενεργειακό προφίλ των εγκαταστάσεων, γίνονται προτάσεις βελτίωσης της ενεργειακής επίδοσης και εξετάζεται η εφαρμογή δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας με κύριο άξονα της λογικής αποφάσεων τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και, κατ' επέκταση, της μείωσης του λειτουργικού κόστους.

### **Λέξεις Κλειδιά:**

Ενεργειακή επιθεώρηση, Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας, Δράσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας, Βελτίωση Ποιότητας Ισχύος.

## **ABSTRACT**

---

In recent decades modern societies have been invited to address the phenomenon of the rapid growth in energy consumption worldwide and the environmental impact thereof.

One area that is estimated to greatly contribute to the worsening of that phenomenon, is the building sector, due to the high energy consumption for the operation of all kinds of electrical appliances and machinery, lighting and temperature control.

In this context and given the fact that it is estimated that the building sector is responsible for approximately 40% of total energy consumption, energy audit and assessment of buildings to capture the energy situation of a building, with a view to finding solutions for the lowest possible energy consumption is essential.

This thesis concerns the energy audit and the assessment of the energy performance of various facilities of the company Olympic Catering S.A. of Vivartia Group, at the company headquarters in the Airport at Spata, Attica. In its implementation, emphasis is given on the collection of reliable facts and assessment of the respective electric energy consumption, including measurements with a power quality analyzer. After analyzing data related to the energy profile of the facilities, recommendations are made to improve energy performance and subsequently, examination of the implementation of energy saving measures by focusing on the decision logic to reduce energy consumption and thus the reduction of operating costs.

### **Keywords:**

Energy audit, Electric energy saving, Power quality analyzer, Energy saving actions, Energy optimizer.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>7</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>10</b>
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b>	<b>13</b>
1.1 Αντικείμενο	13
1.2 Φάσεις υλοποίησης	14
1.3 Οργάνωση τόμου	15
<i>Το κύριο μέρος της διπλωματικής εργασίας αποτελείται από 5 κεφάλαια ως ακολούθως:</i>	15
<b>Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση</b>	<b>17</b>
2.1 Ποιότητα Ισχύος	17
2.1.1 Βασικές αρχές ποιότητας ισχύος	17
2.1.2 Ενεργειακή επιθεώρηση (energy audit) – Πρωτόκολλο ISO 50002	19
2.1.3 Όργανα μέτρησης	24
2.1.4 Αλγόριθμος χρέωσης βιομηχανικού τιμολογίου ΒΕ της Δ.Ε.Η.	26
2.1.5 Συσκευές διόρθωσης συντελεστή ισχύος	28
2.2 Χρονοσειρές	30
2.2.1 Στασιμότητα χρονοσειράς	31
2.2.2 Αυτοσυσχέτιση	33
2.2.3 Συνιστώσες χρονοσειρών	34
2.2.4 Ανάλυση βασικών χρονοσειρών	35
<b>Κεφάλαιο 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετρητικού και λογισμικού εξοπλισμού</b>	<b>41</b>
3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά μετρητικού εξοπλισμού	41
3.1.1 Αναλυτής Ποιότητας Ηλεκτρικής Ισχύος	41
3.1.2 Θερμόμετρο	44
3.2 Χαρακτηριστικά εργαλείου NumXL του προγράμματος Microsoft Excel	45
3.3 Σχεδιασμός και εκτέλεση πειραμάτων	51
3.3.1 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα φωτισμού	51
3.3.2 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα κλιματισμού	52
3.3.3 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα καταψύξεων	54
<b>Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και επεξεργασία μετρήσεων</b>	<b>57</b>
4.1 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα φωτισμού	57
4.1.1 Παρουσίαση μετρήσεων	57
4.1.2 Διαχωρισμός μετρήσεων σε εργάσιμες και μη εργάσιμες ώρες	62
4.1.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων του πειράματος στο σύστημα φωτισμού	69
4.2 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα κλιματισμού	70
4.2.1 Παρουσίαση μετρήσεων	70
4.2.2 Διαχωρισμός στις καταστάσεις λειτουργίας και μη λειτουργίας	80
4.2.3 Διαχωρισμός μετρήσεων σε εργάσιμες και μη εργάσιμες ώρες	83
4.2.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	87

4.3 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα καταψύξεων	89
4.3.1 Παρουσίαση μετρήσεων	89
4.3.2 Αναγωγή μεγεθών πειράματος στην ίδια διάρκεια	98
4.3.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	100
<b>Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και θέματα προς συζήτηση</b>	<b>101</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>105</b>

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

---

### 1.1 Αντικείμενο

Στην Ελλάδα ο κτιριακός τομέας, οικιστικός και μη, είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) ενώ μάλιστα τα ελληνικά κτίρια θεωρούνται από τα πλέον ενεργοβόρα στην Ευρώπη.

Στο πλαίσιο της ευρύτερης προσπάθειας για αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και μείωση των εκπομπών ρύπων, η διεξαγωγή ενεργειακής επιθεώρησης και μελέτη της ενεργειακής επίδοσης ενός κτιρίου δίνουν τη δυνατότητα να εντοπιστούν τα σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στην κατανάλωση ηλεκτρισμού και άλλων καυσίμων για τη θέρμανση, τον κλιματισμό, τον φωτισμό κλπ αλλά και παράλληλα τον περιορισμό της οικονομικής επιβάρυνσής τους. Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται αυξανόμενο ενδιαφέρον από πλευράς καταναλωτών για τον εξοπλισμό των κτιρίων με τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΕΞΕΝ) αλλά και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) το οποίο πλαισιώνεται από ποικίλα μέτρα οικονομικής ενίσχυσης από το κράτος (επιδοτήσεις επιχορηγήσεις κτλ).

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών αλλά και της χρήσης ηλεκτρικών συσκευών εν γένει. Παρόλα αυτά, με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι η διάγνωση της υφιστάμενης κατάστασης κατανάλωσης ενέργειας, μέσω της διενέργειας ενεργειακής επιθεώρησης (energy audit). Ως ενεργειακή επιθεώρηση ορίζεται μια συστηματική διαδικασία που σκοπό έχει την απόκτηση επαρκούς γνώσης όσον αφορά το προφίλ της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός συστήματος. Πραγματοποιείται λεπτομερής καταγραφή του υπάρχοντος εξοπλισμού, αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας που αυτός επιφέρει με στόχο την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων, μέσω του προσδιορισμού και της αξιολόγησης των αποδοτικότερων, ενεργειακά και οικονομικά, μεθόδων βελτιστοποίησης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων.

Για την παρούσα εργασία, επιλέχθηκε ο τριτογενής τομέας, και πιο συγκεκριμένα των εταιρικών εργασιακών χώρων και εγκαταστάσεων, τομέας ιδιαίτερα σημαντικός διεθνώς καθώς σημαντικό μέρος της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως προέρχεται από τις επιχειρήσεις.

## 1.2 Φάσεις υλοποίησης

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία, η οποία αποτελείται από 5 φάσεις, οι οποίες περιγράφονται κάτωθι:

### **Φάση 1<sup>η</sup>:** Βιβλιογραφική αναζήτηση

Μελέτη βιβλιογραφίας με σκοπό τη συγκέντρωση στοιχείων και πληροφοριών σχετικά με τις μεθόδους ενεργειακής επιθεώρησης, την ποιότητα ισχύος και τα όργανα μέτρησης, τα τυπικά επιτρεπτά όρια ρύθμισης της θερμοκρασίας στον κλιματισμό σε χώρους εργασίας.

**Φάση 2<sup>η</sup>:** Συλλογή στοιχείων και πληροφοριών σχετικά με τη λειτουργία και την κατασκευή των εργασιακών χώρων γραφείων της εταιρείας.

Πραγματοποιήθηκε καταγραφή του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού του τυπικού συστήματος και συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία όσον αφορά στη λειτουργία των γραφείων με βάση τις ανάγκες των χρηστών. Συγκεντρώθηκαν στοιχεία αναφορικά με τα είδη του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται σε κάθε χώρο και τις καταναλώσεις τους προκειμένου να εκτιμηθεί η κατανάλωση ενέργειας.

### **Φάση 3<sup>η</sup>:** Διεξαγωγή μετρήσεων με καταγραφικό εξοπλισμό

Στη φάση αυτή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με χρήση καταγραφικού εξοπλισμού. Με τον αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος συνδέθηκε κατάλληλα σε διακόπτες εντός ηλεκτρικών πινάκων, δημιουργήθηκε ένα πλήρες ενεργειακό προφίλ σχετικά με τις υπό μελέτη καταναλώσεις (συνολική κατανάλωση, κατανάλωση για φωτισμό, κατανάλωση κλιματισμού και ψυγείων). Με το θερμομέτρο υγρόμετρο συλλέχθηκαν οι θερμοκρασίες για την μελέτη του κλιματισμού και των ψυγείων.

### **Φάση 4<sup>η</sup>:** Δράσεις ενεργειακής βελτιστοποίησης και τεχνοοικονομική αξιολόγηση

Στη φάση αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και σημαντικές παρατηρήσεις που αποσκοπούν στην αξιολόγηση της εξοικονομούμενης ενέργειας στους χώρους γραφείων. Τέλος γίνεται μια αξιολόγηση των επενδυτικών έργων που έχει καθορίσει η εταιρεία και εξετάζεται μέσω υπολογισμού οικονομικών δεικτών, η οικονομική βιωσιμότητα των προτεινόμενων λύσεων.

### **Φάση 5<sup>η</sup>:** Συμπεράσματα και προοπτικές

Στην τελευταία φάση της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξαγονται και οι προοπτικές που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη.

### 1.3 Οργάνωση τόμου

**Το κύριο μέρος της διπλωματικής εργασίας αποτελείται από 5 κεφάλαια ως ακολούθως:**

**Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>:** Εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και παρουσίαση των φάσεων υλοποίησής της.

**Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>:** Βιβλιογραφική ανασκόπηση με αναλυτική περιγραφή για την ποιότητα ισχύος και τα όργανα μέτρησης, τους τύπους λαμπτήρων που υπάρχουν στην αγορά καθώς και στα τυπικά επιτρεπτά όρια ρύθμισης της θερμοκρασίας στον κλιματισμό και τα ψυγεία και παρουσίαση των εννοιών της στασιμότητας και της αβεβαιότητας.

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>:** Παράθεση των τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού καθώς και σύντομη περιγραφή του εργαλείου NumXL. Παρουσίαση των χαρακτηριστικών των χώρων εργασίας και παρουσίαση του σχεδιασμού και της μεθοδολογίας των πειραμάτων.

**Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>:** Επεξεργασία, παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για την εξοικονόμηση ενέργειας στους εργασιακούς χώρους.

**Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>:** Εξαγωγή τελικών συμπερασμάτων και συγκεντρωτική παρουσίαση των σημαντικότερων σημείων που προέκυψαν από την επιθεώρηση σχετικά με την ενεργειακή συμπεριφορά και εξέταση περαιτέρω δυνατοτήτων για ενεργειακή βελτίωση.





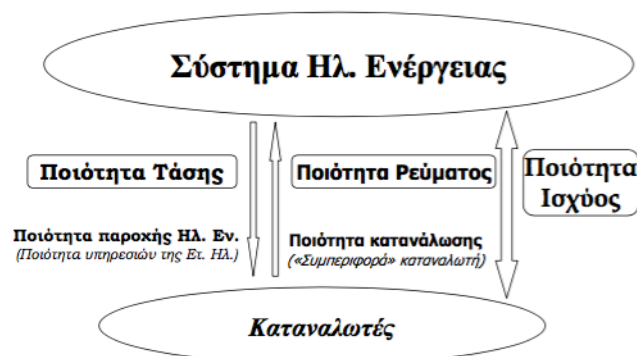
## Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Ποιότητα Ισχύος

#### 2.1.1 Βασικές αρχές ποιότητας ισχύος

Ο όρος Ποιότητα Ηλεκτρικής Ισχύος, ή απλώς Ποιότητα Ισχύος (Power Quality-PQ), αναφέρεται στην διατήρηση της σχεδόν ημιτονοειδούς κυματομορφής της ηλεκτρικής ενέργειας, την τάση και το ρεύμα σε ονομαστικό πλάτος και συχνότητα, προσδιορίζοντας την καταλληλότητα της ηλεκτρικής ενέργειας για το φορτίο. Ο συγχρονισμός της συχνότητας και της φάσης της τάσης επιτρέπει την ιδανική λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών-συστημάτων, χωρίς σημαντική πτώση στην απόδοση ή τη δημιουργία φθορών.

Η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει την παραγωγή ηλεκτρισμού (εναλλασσόμενου ρεύματος), τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος και τελικά διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα μετρητή ηλεκτρικού ρεύματος που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ηλεκτρική ενέργεια κινείται στη συνέχεια μέσω του συστήματος καλωδίωσης του τελικού χρήστη μέχρι να φτάσει το φορτίο. Η πολυπλοκότητα του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το σημείο παραγωγής στο σημείο κατανάλωσης σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις του καιρού, την παραγωγή, τη ζήτηση και άλλους παράγοντες παρέχει πολλές ευκαιρίες για την ποιότητα της προσφοράς που δεν πρέπει να τεθεί σε κίνδυνο.



Εικόνα 2.1: Ποιότητα Ισχύος

Πηγή: Εικόνα από διαφάνειες μεταπτυχιακού μαθήματος «Ποιότητα ισχύος», διδάσκοντες καθηγητές: Νικόλαος Χατζηραργυρίου, Ευάγγελος Διαλυνάς, ΕΜΠ

Ειδικότερα η ποιότητα ισχύος εξαρτάται (όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1) από την ποιότητα της τάσης και την ποιότητα του ρεύματος ( $S=V \cdot I$ ). Η παρεχόμενη ενέργεια καθορίζει την ποιότητα τάσης ενώ η συμπεριφορά του φορτίου την ποιότητα ρεύματος. Ιδανικά η ηλεκτρική ισχύς έχει ημιτονοειδή μορφή με πλάτος και συχνότητα που δίνονται από τα εθνικά πρότυπα και τις προδιαγραφές του συστήματος. Ωστόσο στην πραγματικότητα αυτό δεν είναι εφικτό.

### **Διαταραχές στην ποιότητα ισχύος**

1. **Μεταβολές της τάσης:** Αύξηση ή μείωση της τάσης συνήθως λόγω της μεταβολής του φορτίου του συστήματος διανομής.
2. **Φλίκερ (Flicker):** Διακύμανση της τάσης η οποία οδηγεί σε αισθητή μεταβολή της φωτεινής έντασης ενός λαμπτήρα («τρεμόπαιγμα»)
3. **Βύθιση της τάσης:** Ξαφνική μείωση της τάσης σε ποσοστό 90% έως 1% της δηλωμένης τάσης  $U_c$ , διάρκειας 10 ms – 1 min.
4. **Προσωρινή υπέρταση:** Οφείλονται σε διακοπτικούς χειρισμούς ή βραχυκυκλώματα και έχουν σχέση με τη γείωση του δικτύου
5. **Μεταβατική υπέρταση:** Προκαλείται από κεραυνοπληξία, διακοπτικούς χειρισμούς ή τήξη ασφαλειών.
6. **Διακοπή της τάσης:** Μείωση της τάσης κάτω από 1% της δηλωμένης τάσης  $U_c$  (Σύντομες - short και εκτεταμένες – long interruptions)
7. **Ασυμμετρία:** Ανισότητα των rms τιμών των τάσεων ή των γωνιών 3 φάσεων σε τριφασικό σύστημα
8. **Αρμονικές:** Ημιτονοειδείς τάσεις με συχνότητα ίση με ακέραιο πολλαπλάσιο της θεμελιώδους (50Hz).
9. **Διαρμονικές:** Ημιτονοειδείς τάσεις με συχνότητα όχι ακέραιο πολλαπλάσιο της θεμελιώδους.
10. **Μεταβολές στην Συχνότητα.**

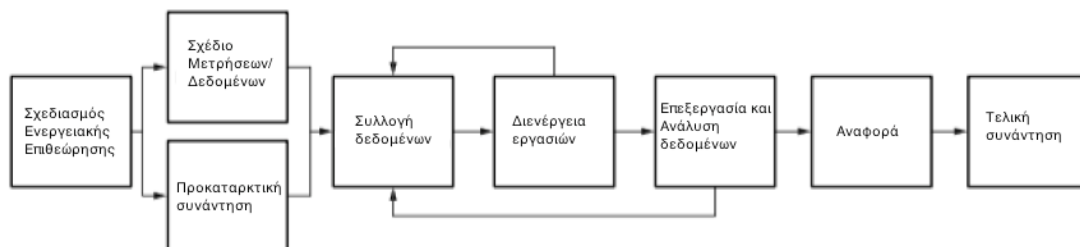
Κάθε ένα από αυτά τα προβλήματα ποιότητας ισχύος έχει διαφορετική αιτία. Η μεγάλη πλειοψηφία των προβλημάτων ποιότητας ισχύος σε ένα κτήριο δημιουργείται μέσα στο ίδιο το κτήριο. Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) και άλλες οργανώσεις έχουν μελετήσει αυτά τα προβλήματα για αρκετά έτη και έχουν εκδώσει οδηγίες σχεδιασμού και συνιστώμενες πρακτικές που μειώνουν κατά πολύ, εάν δεν μηδενίζουν, την επίπτωση και τη δριμύτητα των σχετικών με την ποιότητα ισχύος προβλημάτων.

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, που σχεδιάστηκαν τις προηγούμενες δεκαετίες, ήταν σχεδιασμένες ώστε να εξυπηρετούν τις ανάγκες κτιρίων ικανοποιητικά για εκείνη την εποχή. Ωστόσο οι σχεδιαστές τους δεν είχαν προβλέψει την εξέλιξη στην μηχανοργάνωση των σημερινών κτιρίων, για τον λόγο αυτό δεν ασχολούνταν, κατά τον σχεδιασμό με την αντιμετώπιση των προβλημάτων στην ποιότητα ισχύος. Η εμφάνιση των υπολογιστών και άλλων ευαίσθητων συσκευών έχει οδηγήσει την λήψη μέτρων για την ποιότητα ισχύος κατά τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων. Η ελλιπής ποιότητα ισχύος έχει επιπτώσεις στην λειτουργία των υπολογιστών, και του εξοπλισμού που βασίζεται σε αυτούς.

### 2.1.2 Ενεργειακή επιθεώρηση (energy audit) – Πρωτόκολλο ISO 50002

Η ενεργειακή επιθεώρηση αποτελεί έναν λεπτομερή έλεγχο της ενεργειακής απόδοσης ενός οργανισμού και μίας διαδικασίας. Αποτελείται συνήθως από κατάλληλες μετρήσεις και την εποπτεία ενός καταναλωτή ηλεκτρικού ρεύματος. Το αποτέλεσμα μίας ενεργειακής επιθεώρησης είναι πληροφορίες για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και την απόδοση του συστήματος, οι οποίες συνοδεύονται συνήθως από προτάσεις για την βελτίωση της απόδοσης.

Μπορεί να υπάρχουν διαφορές, σε κάθε ενεργειακή επιθεώρηση, όσον αφορά τον τρόπο προσέγγισης, το πεδίο εφαρμογής και τον σκοπό της μελέτης. Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης με την έκδοση του προτύπου ISO 50002 προσπαθεί να εναρμονίσει κοινές πτυχές της ενεργειακής επιθεώρησης, με σκοπό την ενίσχυση της σαφήνειας και της διαφάνειας στην αγορά. Το πρότυπο ISO 50002 καλύπτει τις απαιτήσεις όλων των ενεργειακών επιθεωρήσεων και τις περιγράφει σε μία απλή χρονολογική σειρά.



**Εικόνα 2.2:** Βήματα για την διεκπεραίωση ενεργειακής επιθεώρησης, όπως περιγράφεται από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης στο πρότυπο ISO 50002

Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα που φαίνονται στην Εικόνα 2.2:

#### 1. Σχεδιασμός Ενεργειακής Επιθεώρησης

Το στάδιο του σχεδιασμού της μελέτης θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό για τον καθορισμό του πλαισίου εργασιών και την συλλογή πληροφοριών που αφορούν τον οργανισμό.

Ο επιθεωρητής πρέπει να συμφωνήσει με τον πελάτη-οργανισμό σε μία σειρά από λεπτομέρειες που αφορούν τις πτυχές της ενεργειακής επιθεώρησης. Συγκεκριμένα θα πρέπει να συμφωνηθεί το αντικείμενο της μέτρησης, τα σύνορα (αν, δηλαδή, η μελέτη θα περιοριστεί σε ένα κομμάτι του συστήματος), ο σκοπός, το χρονικό διάστημα περάτωσης, τα εκτιμώμενα κριτήρια για την εξαγωγή προτάσεων βελτίωσης της απόδοσης, να γίνουν διαθέσιμες από τον οργανισμό όλες οι απαραίτητες για την μελέτη πληροφορίες, ο υπεύθυνος από τον οργανισμό για την εποπτεία της μελέτης, ο τύπος της τελικής αναφοράς και η πιθανότητα παρουσίασης της.

Ακόμη ανάλογα με την περίπτωση, ο επιθεωρητής θα πρέπει να ζητήσει επιπλέον πληροφορίες για το πλαίσιο της ενεργειακής επιθεώρησης, την ύπαρξη περιορισμών

που πιθανόν να επηρεάσουν την επιθεώρηση. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο ευρύτερο διοικητικό πλάνο, όσον αφορά την περιβαλλοντική και ενεργειακή πολιτική του οργανισμού.

Τέλος, ο ενεργειακός επιθεωρητής πρέπει να ενημερώσει τον οργανισμό για τις χρησιμοποιούμενες εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό για την διενέργεια της μελέτης και για οποιοδήποτε εμπορικού ή άλλου είδους συμφέρον που πιθανόν να επηρεάσουν τα συμπεράσματα και τις προτάσεις από την ενεργειακή επιθεώρηση.

## 2. Σχέδιο μετρήσεων/δεδομένων

Για οποιαδήποτε μέτρηση ή συλλογή δεδομένων, ο ενεργειακός επιθεωρητής και ο οργανισμός θα πρέπει να φτάσουν σε συμφωνία σχετικά με τα υπάρχοντα σημεία και τις σχετικές, με αυτά, διαδικασίες μέτρησης, τα επιπλέον απαραίτητα σημεία μέτρησης, τον κατάλληλο μετρητικό εξοπλισμό και την διαδικασία εγκατάστασης του. Επιπλέον θα πρέπει να συμφωνήσουν, ως προς την διαδικασία μέτρησης, τη διάρκεια των μετρήσεων, τη συχνότητα μέτρησης, καθώς και το χρονικό διάστημα στο οποίο απαιτείται η παρουσία αντιπροσώπου από την εταιρεία.

Το σχέδιο μετρήσεων/δεδομένων αναπτύσσεται σε τρία στάδια:

### I. Χρήση του μετρητικού εξοπλισμού

Στο πρώτο στάδιο ο ενεργειακός επιθεωρητής καθορίζει τη μεθοδολογία και την ακρίβεια των μετρήσεων, είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της ακρίβεια και της συχνότητας των μετρήσεων και για την ομαλή λειτουργία του μετρητικού εξοπλισμού.

### II. Μέτρηση δεδομένων

Κατά το δεύτερο στάδιο, ζητείται από τον οργανισμό να παρέχει σχετικές μεταβλητές, όπως λειτουργικές παραμέτρους, και δεδομένα παραγωγής.

### III. Προκαταρκτική επεξεργασία δεδομένων

Στο τρίτο στάδιο οι μετρήσεις, που πάρθηκαν, μετατρέπονται σε εύχρηστα δεδομένα προς ανάλυση. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας είναι καλύτερο να παρουσιάζονται σε διαγράμματα και γραφήματα είτε να συνοψίζονται σε πίνακες.

## 3. Προκαταρκτική συνάντηση

Ο σκοπός της συγκεκριμένης συνάντησης είναι η ενημέρωση όλων των ενδιαφερόμενων προσώπων και η συμφωνία για τις απαραίτητες ετοιμασίες για την ενεργειακή επιθεώρηση. Ο ενεργειακός επιθεωρητής είναι προτιμότερο να περιγράψει με λεπτομέρειες τις διαδικασίες και το πρόγραμμα της μελέτης καθώς και να αναφέρει οποιοδήποτε επιπρόσθετο μετρητικά εξοπλισμό χρειαστούν.

Πιο συγκεκριμένα ο ενεργειακός επιθεωρητής πρέπει να ζητήσει από τον οργανισμό να διορίσει κάποιον υπάλληλο να συνεργάζεται με τον ίδιο, όπου απαιτείται, να ενημερώσει για την ενεργειακή επιθεώρηση όλο το προσωπικό που πιθανόν να

επηρεαστεί από την μελέτη και να εξασφαλίσει την πλήρη συνεργασία όλων των επηρεαζόμενων προσώπων. Ακόμη πρέπει να συζητηθούν οι λεπτομέρειες για την προσβασιμότητα των σημείων από τον ενεργειακό επιθεωρητή, τους κανόνες και τις διαδικασίες που προβλέπονται για την υγεία και την ασφάλεια, την προμήθεια οποιονδήποτε επιπλέον δεδομένων χρειαστούν, τον πιθανό επιπρόσθετο εξοπλισμό και τη διαδικασία σύνδεσης, καθώς και το πρόγραμμα επίσκεψης που προτείνεται από τον ενεργειακό επιθεωρητή.

#### 4. Συλλογή δεδομένων

Κατά περίπτωση, ο ενεργειακός επιθεωρητής δύναται να αντιπαραβάλει τις εξής πληροφορίες:

- i. Το σύνολο των συστημάτων που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, τις διαδικασίες και τον εξοπλισμό.
- ii. Λεπτομερή χαρακτηριστικά των, προς επιθεώρηση, συστημάτων ή μηχανημάτων, η οποία περιλαμβάνει γνωστές σχετικές μεταβλητές και τον τρόπο που επηρεάζει την ενεργειακή κατανάλωση κατά τον οργανισμό.
- iii. Ιστορικά δεδομένα για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.
- iv. Ρυθμίσεις του εξοπλισμού εποπτείας και λεπτομέρειες της ανάλυσης.
- v. Μελλοντικά σχέδια που πιθανόν να επηρεάσουν την ενεργειακή κατανάλωση.
- vi. Σχεδιαστικά, λειτουργικά και έγγραφα συντήρησης.
- vii. Παλιές μελέτες ενεργειακής επιθεώρησης και σχετικές έρευνες σχετικές με την ενέργεια και την ενεργειακή απόδοση.
- viii. Επιπλέον σχετικά οικονομικά δεδομένα.
- ix. Γνώση στον τρόπο με τον οποίο ο οργανισμός διαχειρίζεται την ενέργεια.
- x. Διαμόρφωση του συστήματος διανομής ηλεκτρικού ρεύματος.

#### 5. Διενέργεια εργασιών

Η διαδικασία των εργασιών χωρίζεται σε τρία κομμάτια: στη διαχείριση των εργασιών, στη διενέργεια και στις επισκέψεις των σημείων μέτρησης.

Πιο συγκεκριμένα για τη διαχείριση των εργασιών, ο ενεργειακός επιθεωρητής επιθεωρεί τα προς επιθεώρηση μηχανήματα ή συστήματα εντός των εγκαταστάσεων, αξιολογεί την ενεργειακή κατανάλωσή τους, κατανοεί τις επιπτώσεις των λειτουργικών διαδικασιών και του τρόπου χρήσης στην ενεργειακή απόδοση, παράγει ιδέες, ευκαιρίες, προτάσεις για λειτουργικές αλλαγές και τεχνολογίες για την βελτίωση της απόδοσης και καταγράφει τα επιπλέον ποσοτικά δεδομένα από περιοχές και διεργασίες, για τη διευκόλυνση της διαδικασίας εξαγωγής συμπερασμάτων από την ενεργειακή επιθεώρηση.

Κατά τη διενέργεια των εργασιών, ο ενεργειακός επιθεωρητής εξασφαλίζει ότι οι μετρήσεις γίνονται υπό τις φυσιολογικές συνθήκες και ότι τα ιστορικά δεδομένα, που έχει προμηθευτεί, αντιστοιχούν σε φυσιολογικές εργασίες. Σημαντικό είναι να ενημερώνει έγκαιρα τον οργανισμό για απροσδόκητες δυσκολίες κατά τις εργασίες.

Για τις καθιερωμένες επισκέψεις στα σημεία μέτρησης, ο οργανισμός πρέπει να ορίσει ένα ή περισσότερα πρόσωπα υπεύθυνα για την ξενάγηση και συνοδεία του ενεργειακού επιθεωρητή κατά την ενεργειακή επιθεώρηση καθώς και τα υπεύθυνα άτομα για την σύνδεση του καταγραφικού και εποπτικού εξοπλισμού. Τέλος ο ενεργειακός επιθεωρητής πρέπει να έχει πλήρη πρόσβαση σε καθεαυτόν απαραίτητα έγγραφα.

#### 6. Επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων

Ο ενεργειακός επιθεωρητής αξιολογεί την αξιοπιστία των δεδομένων, επισημαίνει τα σφάλματα και τις ανωμαλίες και κρίνει την καταλληλότητα του συνόλου της πληροφορίας, από την μέτρηση, για την συνέχιση της ενεργειακής επιθεώρησης και την επίτευξη του στόχου.

Ο ενεργειακός επιθεωρητής επεξεργάζεται τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας τεχνικά κατάλληλες και διαφανείς υπολογιστικές μεθόδους και συμπεραίνει την υπάρχουσα ενεργειακή απόδοση του μηχανήματος-συστήματος. Πιο συγκεκριμένα η μελέτη της υπάρχουσας ενεργειακής απόδοσης περιλαμβάνει την ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης από κάθε χρήση και καταναλωτή, την ροή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και το ενεργειακό ισοζύγιο, χρονολογικά μοτίβα, αναμενόμενη ενεργειακή απόδοση και επικύρωση του υπάρχοντος δείκτη ενεργειακής απόδοσης.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτελούν τη βάση για την εξεύρεση ευκαιριών βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Ο ενεργειακός επιθεωρητής διακρίνει τις ευκαιρίες χρησιμοποιώντας την εξειδίκευση και εμπειρία του, την ανάλυση του σχεδιασμού και τη διαμόρφωση των ρυθμίσεων για την ικανοποίηση των αναγκών του συστήματος. Επιπλέον λαμβάνοντας υπόψιν την ηλικία, την κατάσταση, τη χρήση και την συντήρηση των αντικειμένων προς επιθεώρηση και συγκρίνοντας την τεχνολογία που χρησιμοποιούν σε σύγκριση με πιο αποδοτικές λύσεις που υπάρχουν στην αγορά και νέων εξελιγμένων τεχνικών λύσεων.

Τέλος αξιολογούνται οι προτάσεις για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης λαμβάνοντας υπόψιν την προβλεπόμενη ενεργειακή και χρηματική οικονομία σε μία συμφωνημένη χρονική περίοδο, τα απαιτούμενα χρηματικά κεφάλαια προς επένδυση, τα συμφωνηθέντα οικονομικά κριτήρια, επιπρόσθετα κέρδη που δεν αφορούν την ενέργεια (π.χ. πιθανή αύξηση στην παραγωγικότητα, λιγότερα κόστη συντήρησης) καθώς και πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των προτάσεων.

#### 7. Αναφορά

Κατά τη δημιουργία της αναφοράς της ενεργειακής επιθεώρησης, ο επιθεωρητής πρέπει να εξασφαλίζει την επίτευξη των στόχων της μελέτης, να ταυτοποιήσει τις σχετικές μετρήσεις που έγιναν κατά την ενεργειακή επιθεώρηση, να σχολιάσει αν τα συμπεράσματα στην αναφορά είναι βασισμένα σε υπολογισμούς, προσομοιώσεις ή

εκτιμήσεις, να περιγράψει την ανάλυση και τις όποιες παραδοχές θεωρήθηκαν, να σχολιάσει το επίπεδο τα όρια της ακρίβειας για τα κέρδη και τα κόστη από την εφαρμογή των προτάσεων εάν δύνανται, να παραθέσει συγκεκριμένες προτάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και το προτεινόμενο σχέδιο εφαρμογής τους.

Πιο συγκεκριμένα, η αναφορά της ενεργειακής επιθεώρησης πρέπει να καλύπτει τα θέματα:

- IV. Περίληψη των κυριότερων σημείων
  - Περίληψη του τρόπου χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας και της κατανάλωσης
  - Κατάταξη των προτάσεων για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
  - Προτεινόμενο σχέδιο εφαρμογής των προτάσεων
- V. Ιστορικό
  - Γενικές πληροφορίες για τον οργανισμό, την ενεργειακή επιθεώρηση και την μεθοδολογία της επιθεώρησης
  - Πλαίσιο της ενεργειακής επιθεώρησης
  - Περιγραφή των αντικειμένων (μηχανήματα ή συστήματα) προς επιθεώρηση
  - Σχετική νομοθεσία και απαιτήσεις με την ενεργειακή επιθεώρηση
  - Δήλωση εμπιστευτικότητας
- VI. Ενεργειακή επιθεώρηση
  - Περιγραφή, πεδίο εφαρμογής, σημεία μελέτης, σκοπός, χρονοδιάγραμμα και επίπεδο ακρίβειας της ενεργειακής επιθεώρησης
  - Πληροφορίες για την διαδικασία μέτρησης, όπως σχέδιο μετρήσεων, καταγραφή των χρησιμοποιούμενων μεγεθών (συχνότητα μέτρησης, μετρούμενα μεγέθη και εκτιμώμενα μεγέθη), αντίγραφο των βασικών χρησιμοποιούμενων μεγεθών, αναφορά μελετών ελέγχου και πιστοποιητικά του καταγραφικού εξοπλισμού
  - Ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης και των δεικτών της
  - Υπολογισμοί, εκτιμήσεις και υποθέσεις που έγιναν κατά την ανάλυση
  - Κριτήρια βαθμονόμησης των προτάσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης
- VII. Προτάσεις βελτίωσης της ενεργειακής επιθεώρησης
  - Προτάσεις και σχέδιο εφαρμογής
  - Υποθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτίμηση της ενεργειακής οικονομίας και την τελική ακρίβεια της
  - Υποθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτίμηση του κόστους εφαρμογής των προτάσεων και την ακρίβεια της
  - Κατάλληλη οικονομική ανάλυση, συμπεριλαμβάνοντας γνωστά οικονομικά κίνητρα και άλλα μη ενεργειακά κέρδη
  - Προτεινόμενες μεθόδους μέτρησης και επαλήθευσης για την αξιολόγηση των ενεργειών μετά την εφαρμογή τους
- VIII. Συμπεράσματα
  8. Τελική συνάντηση

Στην τελική συνάντηση, ο ενεργειακός επιθεωρητής πρέπει να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της ενεργειακής επιθεώρησης με τρόπο που διευκολύνει την λήψη αποφάσεων στον οργανισμό, να απαντήσει σε πιθανές ερωτήσεις και να κατονομάσει

αντικείμενα που απαιτούν περαιτέρω ανάλυση ή μελέτη. Σημαντικό θεωρείται να γίνει διαθέσιμη η αναφορά στον οργανισμό πριν την τελική συνάντηση.

### **2.1.3 Όργανα μέτρησης**

Σήμερα διατίθενται στην αγορά όργανα μέτρησης της ποιότητας ισχύος, ή αλλιώς οι Αναλυτές Ποιότητας Ισχύος που μετρούν την τάση, το ρεύμα, τη συχνότητα, την σύνθετη αντίσταση. Ακόμα αναλύουν και επεξεργάζονται τα μετρούμενα αυτά μεγέθη, με αποτέλεσμα μία σαφέστερη εικόνα της ποιότητας ισχύος της εγκατάστασης.

Για να ανιχνευτούν οι διαταραχές σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση θα πρέπει η μέτρηση να διαρκέσει ικανό χρονικό διάστημα. Τα όργανα μέτρησης δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να καθορίζει εκείνος την στιγμή μέτρησης, είτε ανά τακτά χρονικά διαστήματα είτε κατά την εμφάνιση συγκεκριμένων συμβάντων πχ. τάση μεγαλύτερη του 110% της ονομαστικής. Ωστόσο ο αριθμός των μετρήσεων που μπορούν να αποθηκευτούν διαφέρει για κάθε όργανο.

Πολλοί Αναλυτές Ποιότητας Ισχύος μπορεί να λειτουργήσουν και ως παλμογράφοι, ώστε να παρέχουν πιο αναλυτική παρουσίαση των καταγραφόμενων σημάτων. Επίσης τα λογισμικά που τα συνοδεύουν καθιστούν ευκολότερη την ανάλυση τους, μεταφέροντας τα δεδομένα στον υπολογιστή.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες αναλυτών: οι φορητοί και οι μόνιμα εγκατεστημένοι αναλυτές ποιότητας ισχύος:

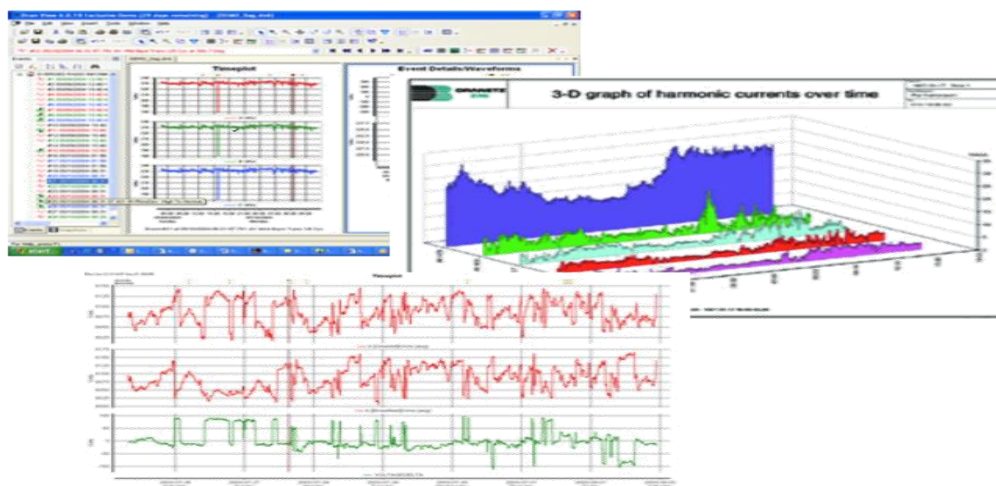
#### Φορητοί Αναλυτές Ποιότητας Ισχύος



**Εικόνα 2.2:** Φορητοί αναλυτές ποιότητας ισχύος

Οι φορητοί Αναλυτές Ποιότητας Ισχύος δίνουν την δυνατότητα μέτρησης της τάσης, του ρεύματος, της φαινόμενης, της ενεργούς και της αέργου ισχύος, του συντελεστή ισχύος, των αρμονικών, των ενδοαρμονικών, της ασυμμετρίας, των συμμετρικών συνιστωσών και της διακύμανσης της τάσης, ανά προκαθορισμένη, από τον χρήστη, περίοδο καταγραφής συμβάντων.





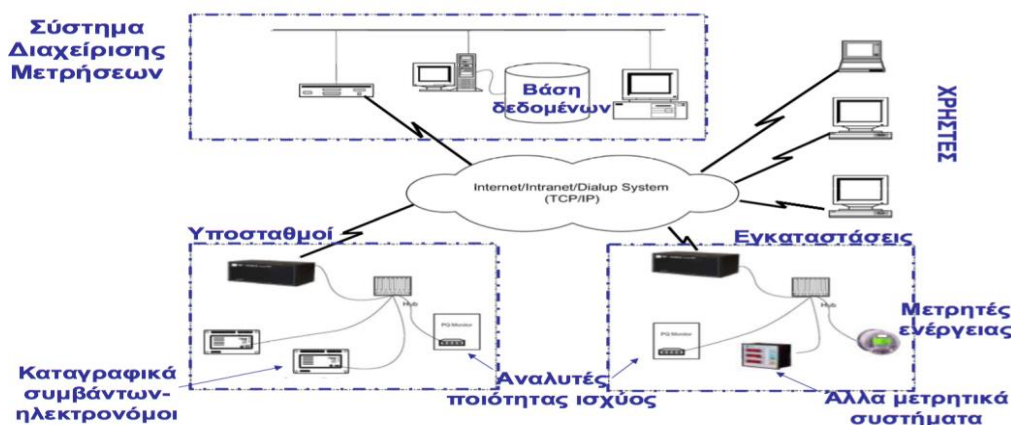
**Εικόνα 2.3:** Παράδειγμα λογισμικού του αναλυτή ποιότητας ισχύος

Πηγή: Εικόνα από διαφάνειες μεταπτυχιακού μαθήματος «Ποιότητα ισχύος», διδάσκοντες καθηγητές: Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Ευάγγελος Διαλυνάς, ΕΜΠ

Επιπλέον μέσω της χρήσης εξειδικευμένου λογισμικού μεταφέρονται τα δεδομένα στον υπολογιστή και επεξεργάζονται για την πιο εύκολη ανάλυση και παρουσίαση τους.

Μόνιμα εγκατεστημένα συστήματα εποπτείας

Τα μόνιμα εγκατεστημένα συστήματα εποπτείας είναι ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής στατιστικών στοιχείων για τον σχεδιασμό συστήματος, πληροφοριών για την άρση ανωμαλιών, στοιχείων για την καταπόνηση του εξοπλισμού και στοιχείων για την αξιολόγηση των συστημάτων προστασίας. Κάνουν χρήση βάσεων δεδομένων και βρίσκουν εφαρμογή σε εταιρείες ηλεκτρισμού, βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις, αλλά μπορούν επίσης να ενταχθούν σε υφιστάμενα συστήματα μετρήσεων.



**Εικόνα 2.4:** Διάταξη ενός μόνιμα εγκατεστημένου συστήματος εποπτείας

Πηγή: Εικόνα από διαφάνειες μεταπτυχιακού μαθήματος «Ποιότητα ισχύος», διδάσκοντες καθηγητές: Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Ευάγγελος Διαλυνάς, ΕΜΠ

Τα περισσότερα κτήρια είναι εξοπλισμένα με ηλεκτρομηχανικούς μετρητές. Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, έχουν ευρεθεί νέοι ηλεκτρονικοί τύποι μετρητών, με σκοπό την αντικατάσταση των παλαιότερων.

Ο ηλεκτρομηχανικός μετρητής ή επαγωγικός μετρητής χρησιμοποιείται στη μέτρηση της πραγματικής ή άεργου κατανάλωσης μονοφασικών και τριφασικών παροχών. Λόγω των κατασκευαστικών βελτιστοποιήσεων αυτός ο μετρητής είναι μία συσκευή μέτρησης μεγάλης ακριβείας, που υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να λειτουργεί περισσότερα από 20 χρόνια χωρίς συντήρηση. Η καταμέτρηση γίνεται χειρονακτικά από έναν υπάλληλο της Δ.Ε.Η που καταγράφει την ένδειξη του μετρητή κάθε 4 μήνες.

Οι ηλεκτρονικοί μετρητές χαμηλής τάσης προσφέρουν μία πληθώρα επιπρόσθετων δυνατοτήτων. Θεωρούνται ανώτεροι από τους επαγωγικούς μετρητές καθώς προσφέρουν υψηλή ακρίβεια μετρήσεων και δίνουν την δυνατότητα υπολογισμού σύνθετων μετρήσεων και αυτόματης επεξεργασίας των δεδομένων από απόσταση.

Η χρήση αναλυτών ποιότητας ισχύος υψηλής ακρίβειας θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική. Ο πάροχος του ηλεκτρικού ρεύματος χρησιμοποιεί αποκλειστικά τις μετρήσεις από τον μόνιμα εγκατεστημένο μετρητή στον κεντρικό πίνακα. Για τη διεκπεραίωση μίας μελέτης σε ηλεκτρική εγκατάσταση χρησιμοποιούνται συνήθως φορητοί αναλυτές ποιότητας ισχύος και η αξιολόγηση των μετρήσεων γίνεται από τον επιθεωρητή του συστήματος. Συμπεραίνεται ότι οι μετρήσεις με την χρήση φορητών μετρητών πρέπει να ανταποκρίνονται στις τιμές που καταμετρώνται από τον πάροχο, ώστε να οδηγούν σε ασφαλή συμπεράσματα.

#### **2.1.4 Αλγόριθμος χρέωσης βιομηχανικού τιμολογίου ΒΕ της Δ.Ε.Η.**

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η τιμολογιακή πολιτική της Δ.Ε.Η. που ισχύει από 1.1.2015 μαζί με του τύπους και την μεθοδολογία υπολογισμού του λογαριασμού της.

**Πίνακας 2.1:** Χρεώσεις προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας  
Πίνακας από τον επίσημο διαδικτυακό ιστότοπο της Δ.Ε.Η.

<b>Ζώνη</b>	<b>Χρέωση Ισχύος (€/kW/μήνα)</b>	<b>Χρέωση Ισχύος (€/kW/μήνα)</b>
7:00-23:00 τις εργάσιμες μέρες όλο το έτος	8,00	
7:00-23:00 τις εργάσιμες μέρες όλο το έτος		0,05903
23:00-7:00 τις εργάσιμες μέρες και όλες τις ώρες του Σαβ/κου και των αργιών του έτους		0,04614

Στις παραπάνω χρεώσεις προστίθεται χρέωση CO<sub>2</sub> (€/kWh) όπως αναλυτικά περιγράφεται παρακάτω.

$$T_{CO_2n} = \frac{P(n-1) \cdot Q(n-1)}{E(n-1)}$$

**Όπου:**

**n:** ο μήνας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

**T<sub>CO<sub>2</sub>n</sub>:** Μοναδιαία χρέωση εκπομπών CO<sub>2</sub> για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του μηνός n (€/kWh).

**P(n-1):** Μέσος όρος τιμών κλεισίματος του συμβολαίου μελλοντικής εκπλήρωσης (Future) EUA, όπως αυτές διαμορφώθηκαν στο χρηματιστήριο εκπομπών (ICE) με μήνα ωρίμανσης τον Δεκέμβριο του έτους χρήσης (€/tn) κατά τον προηγούμενο της κατανάλωσης μήνα.

**Q(n-1):** Μηνιαία απολογιστικά στοιχεία (προσωρινά) για τις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> των Σταθμών Παραγωγής της ΔΕΗ Α.Ε. στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα κατά τον προηγούμενο της κατανάλωσης μήνα.

**E(n-1):** Μηνιαία απολογιστική εκκαθαρισμένη ενέργεια της ΔΕΗ Α.Ε. στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα κατά τον προηγούμενο της κατανάλωσης μήνα.

Ορίζεται ως αρχική τιμή αναφοράς T<sub>CO<sub>2</sub>ref</sub> η μοναδιαία χρέωση εκπομπών CO<sub>2</sub> που ισχύει για τις καταναλώσεις Ιουλίου 2013 και ανέρχεται σε:

- Στα Τιμολόγια Μέσης Τάσης: 3,56 €/MWh
- Τιμή Pref = 4,289 €/tn

Σε περίπτωση που η τιμή P(n-1) παρουσιάζει μεταβολή που κυμαίνεται μεταξύ ±10% σε σχέση με την τιμή Pref τότε η τιμολόγηση γίνεται με την τιμή T<sub>CO<sub>2</sub>ref</sub>.

Σε περίπτωση που η τιμή P(n-1) παρουσιάζει μεταβολή μεγαλύτερη του ±10% σε σχέση με την τιμή Pref τότε ενεργοποιείται η Ρήτρα Αναπροσαρμογής CO<sub>2</sub> και η τιμολόγηση γίνεται με τη νέα τιμή T<sub>CO<sub>2</sub>n</sub>.

Στην περίπτωση αυτή η νέα τιμή T<sub>CO<sub>2</sub>n</sub> αποτελεί τη νέα τιμή αναφοράς T<sub>CO<sub>2</sub>ref</sub>.

**Πίνακας 2.2:** Ρυθμιζόμενες χρεώσεις προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας  
Πίνακας από τον επίσημο διαδικτυακό ιστότοπο της Δ.Ε.Η.

	Σύστημα Μεταφοράς	Δίκτυο Διανομής		Λοιπές Χρεώσεις (€/kWh)	ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	ΥΚΩ (€/kWh)
		Χρέωση Ισχύος (€/kW/μήνα)	Χρέωση Ενέργειας (Μοναδιαία Μεταβλητή Χρέωση) (€/kWh)			
Εμπορικό	1,236	1,125	0,0029	0,0044	0,01012	0,01790
Βιομηχανικό	1,236	1,125	0,0029	0,0044	0,01012	0,00691

Διευκρινίσεις:

Το **Τιμολόγιο ΒΥ** αφορά περίοδο μήνα (30 ημερών). Εάν η καταμέτρηση γίνεται σε περίοδο διαφορετική από μήνα, τότε για τη Χρέωση Ισχύος γίνεται αναλογική χρέωση χρησιμοποιώντας τον συντελεστή

$$A = \text{ημέρες περιόδου κατανάλωσης}/30$$

**XZ:** Χρεωστέα Ζήτηση,

**MZ:** Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση στις εργάσιμες μέρες μεταξύ 7:00-23:00,

**KMZ:** Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση, οποιαδήποτε ώρα ημέρας ή νύχτας,

**ΣΥΝΤ. ΧΡΗΣ/ΣΗΣ:**

$$\text{Κατανάλωση Περιόδου}/(24 * \text{Ημέρες Περιόδου Κατανάλωσης} * \text{KMZ})$$

Με βάση το νομοθετικό πλαίσιο ως ισχύει, η ΔΕΗ συνεισπράττει με τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας τέλη, φόρους [ΦΠΑ, Ειδικός φόρος Κατανάλωσης (ΕΦΚ) και Ειδικό Τέλος 5%] και ποσά υπέρ τρίτων (ΔΤ, ΔΦ, ΕΡΤ, ΤΑΠ) όπως ορίζονται από την Πολιτεία.

### **2.1.5 Συσκευές διόρθωσης συντελεστή ισχύος**

Βελτίωση ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος είναι ο συστηματικός έλεγχος της ηλεκτρικής ισχύος που παρέχεται σε έναν ενεργειακό καταναλωτή, με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, της ζήτησης ενεργής και αέργου ισχύος, καθώς και η ελαχιστοποίηση των διαταραχών που περιλαμβάνει.

Οι συσκευές διόρθωσης συντελεστή ισχύος αποτελούν ουσιαστικά ένα black box, το οποίο πιθανότατα περιλαμβάνει συστήματα πυκνωτών, τα οποία βελτιστοποιούν τα χαρακτηριστικά του παρεχόμενου στο φορτίο ρεύματος (πρωτεύον ρεύμα) σύμφωνα με

τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά ρεύματος του φορτίου (δευτερεύον ρεύμα). Το πρωτεύον ρεύμα είναι μία μορφή εναλλασσόμενης τάσης, δηλαδή μίας τάσης που αυξομειώνεται, γεγονός που οδηγεί σε υπέρταση. Το πρωτεύον ρεύμα ρέει στο σύστημα της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος δημιουργώντας μέσω των περιελίξεων μαγνητική ροή, η οποία στην συνέχεια επάγει ένα αντίστροφο ρεύμα. Το αντίστροφο αυτό ρεύμα, που είναι πραγματική ενέργεια, διαφορετική από την άεργο, ρέει προς την παροχή και επηρεάζει την κατανάλωση από το φορτίο.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, όπως θα παρουσιαστεί και στα επόμενα κεφάλαια, πραγματοποιήθηκε μελέτη των δυνατοτήτων ενός τέτοιου συστήματος, χωρίς όμως να είναι διαθέσιμα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Συνήθως τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται από τους καταναλωτές για την αντιμετώπιση προβλημάτων, από τα οποία τα πιο συνηθισμένα είναι:

**1) Υπέρταση** είναι το φαινόμενο όταν η προσφερόμενη τάση είναι μεγαλύτερη από την τάση, στην οποία είναι φτιαγμένος να λειτουργεί ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.

**2) Αρμονικές** είναι ρεύματα και τάσεις σε συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας των 50Hz. Μεγάλες ποσότητες αρμονικών μπορεί να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία του εξοπλισμού και σε αύξηση του λειτουργικού κόστους.

**3) Μεταβατικά φαινόμενα** είναι οι απότομες και μεγάλες αυξήσεις στην τάση. Προκαλούνται από κεραυνούς, ενεργοποίηση μεγάλων ηλεκτρικών φορτίων κ.α.

Μερικοί βελτιωτές ποιότητας ισχύος περιλαμβάνουν προστασία στα μεταβατικά.

**4) Ανισορροπία φάσεων.** Προκαλεί υπερθέρμανση μηχανών και καλωδίων με συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης. Μερικοί βελτιωτές ποιότητας ισχύος δύνανται να εξισορροπούν τις φάσεις.

**5) Χαμηλός Συντελεστής Ισχύος** σημαίνει ότι ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας θα παρέχει περισσότερη ενέργεια από αυτήν που δείχνει ο λογαριασμός κατανάλωσης. Οι πάροχοι, συνήθως, υπερχρεώνουν τον χαμηλό συντελεστή ισχύος.

### **Τρόπος Λειτουργίας**

Υπάρχουν δύο τρόποι για την βελτίωση της ποιότητας ισχύος:

- I. Με τη σύνδεση ενός απλού μετασχηματιστή ("step-down" transformer ή αλλιώς "tap-down") με σκοπό να μειώσει την υψηλή παρεχόμενη τάση σε αυτήν που απαιτείται από τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Εταιρίες και γραφεία με δικό τους υποσταθμό ή μετασχηματιστή, ήδη ασκούν ένα είδος βελτιστοποίησης και μπορούν απλά να προσαρμόσουν τον λόγο μετασχηματισμού στις ανάγκες. Εναλλακτικά, ένας πρόσθετος "step-down" μετασχηματιστής μπορεί να προσφέρει μία επιπλέον μείωση της τάσης της εξωτερικής παροχής. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι λύνει μόνο το πρόβλημα της Υπέρτασης.
- II. Ο καλύτερος τρόπος είναι η χρήση ενός συστήματος διόρθωσης ποιότητας ισχύος, ο οποίος εναλλάσσει το ρεύμα από την παροχή, είτε αυξάνοντας είτε μειώνοντάς το, ώστε να παραμένει σε ένα προκαθορισμένο εύρος. Τέτοια συστήματα ονομάζονται

Ρυθμιστές Τάσης, Βελτιωτές Τάσης ή Σταθεροποιητές Τάσης. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν χρειάζονται κάποιου είδους συντήρηση ή επίβλεψη για μακροχρόνια χρήση, καθώς επίσης ότι λειτουργούν ως φίλτρο για κάποιες απότομες αιχμές και για την αρμονικές ώστε να δώσει στην έξοδο ένα ομαλό ρεύμα.

Οι Ρυθμιστές Τάσης λειτουργούν με διάφορους τρόπους. Μερικοί είναι βασισμένοι σε μετασχηματιστές συνεχούς ρεύματος (ή CVTs), οι οποίοι είναι απλοί μετασχηματιστές με έναν απαγωγέα, αποτελούμενο από έναν πυκνωτή, ακολουθούμενο από ένα πηνίο τοποθετημένο στο δευτερεύον τυλίγμα. Σε αυτό το σύστημα, η μαγνητική ροή του δευτερεύοντος τυλίγματος (δηλαδή του φορτίου) κρατείται σταθερή, ανεξάρτητα από τις αλλαγές στο πρωτεύον. Με τον τρόπο αυτό ο μετασχηματιστής αποδίδει ένα σχεδόν συνεχές ρεύμα στην έξοδο του.

Άλλοι Ρυθμιστές Τάσης λειτουργούν διαφορετικά. Αποτελούνται από ηλεκτρονικά συστήματα. Μετρούν συνεχώς την τάση των κυμάτων του εισερχόμενου ρεύματος και την συγκρίνουν με την προκαθορισμένη. Σε περίπτωση που υπάρχει Υπέρταση, προσθέτουν ένα αντίθετο κύμα κατάλληλου μεγέθους, με αποτέλεσμα να αφαιρείται η ανεπιθύμητη ποσότητα τάσης.

Οι Βελτιωτές Τάσης είναι συνήθως πιο ακριβοί από τους "Step-Down" μετασχηματιστές, αλλά μπορούν να προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία υπολογίζεται στο εύρος του 10-20 %. Αν και τα συστήματα αυτά κοστίζουν πολύ, θεωρείται ότι έχουν χρόνο απόσβεσης τα 2-3 χρόνια, ανάλογα το φορτίο στο οποίο συνδέεται.

## 2.2 Χρονοσειρές

**Χρονοσειρά:** Με τον όρο χρονοσειρά ορίζεται συνήθως μια ακολουθία  $\{x_t, t: = 0, 1, 2, \dots\}$ , όπου κάθε  $x_t$  εκφράζει την, κατά τη χρονική στιγμή  $t$ , κατάσταση ενός συστήματος το οποίο εξελίσσεται στο χρόνο κατά τυχαίο εν γένει τρόπο (stochastic system).

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά μιας τυχαίας μεταβλητής  $X$  είναι:

- η μέση τιμή  $\mu = E[X]$  (2.2.1)
- η διασπορά  $\sigma^2 = V[X]$  (2.2.2)
- η συνδιακύμανση  $\sigma_{xy} = \text{Cov}(X, Y)$ , αφορά χρονοσειρές σε ζεύγη (2.2.3)

Κατ' επέκταση τα βασικότερα χαρακτηριστικά μιας χρονοσειράς  $\{X_t: t \in T\}$  είναι:

- η συνάρτηση μέσης τιμής  $\mu(t) = E[X_t], t \in T$  (2.2.4)
- η συνάρτηση διασποράς  $\sigma^2 = V[X_t] = E[(X_t - \mu(t))^2], t \in T$  (2.2.5)
- η συνάρτηση αυτοσυνδιακύμανσης (ACVF)

$$\gamma(\tau, h) = \text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = E[(X_t - \mu(t))(X_{t+h} - \mu_{t+h})], t, h \in T \quad (2.2.6)$$

### 2.2.1 Στασιμότητα χρονοσειράς

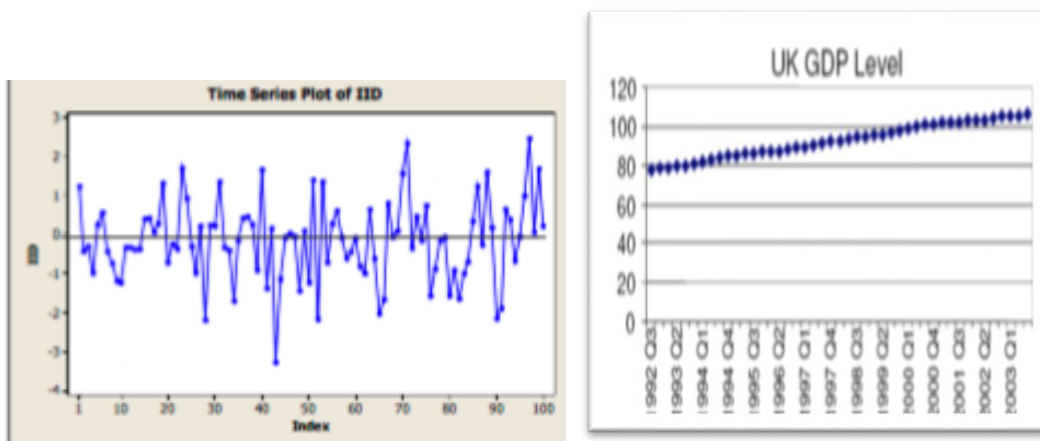
**Αυστηρή στασιμότητα:** Η χρονοσειρά  $\{X_t, t : \in T\}$  ονομάζεται **αυστηρά στάσιμη** όταν  $\forall n \in \mathbb{N}, t_i \in T (i = 1, \dots, n)$  και  $h \in T$ , ισχύει η παρακάτω σχέση **ισοδυναμίας**:

$$(X_{t_1}, \dots, X_{t_n}) \sim (X_{t_1+h}, \dots, X_{t_n+h}).$$

Εδώ το σύμβολο “ $\sim$ ” διαβάζεται “κατανέμεται όπως”, ή “ισοκατανέμεται με”.

Συνεπώς οι κατανομές πεπερασμένης διάστασης αυστηρώς στάσιμων χρονοσειρών παραμένουν αναλλοίωτες σε χρονικές μεταθέσεις (στάσιμες κατανομές).

Με πιο απλά λόγια, στασιμότητα χρονοσειράς σημαίνει ότι οι διακυμάνσεις των τιμών της χρονοσειράς δε διαφοροποιούνται με το χρόνο. Μια μη στάσιμη χρονοσειρά μπορεί να έχει τάσεις (trends), δηλαδή (αργές) αλλαγές στη μέση τιμή της με το χρόνο, π.χ. η τιμή βενζίνης μπορεί να έχει διακυμάνσεις λόγω της διεθνούς αγοράς αλλά και να παρουσιάζει μια αυξητική τάση σε βάθος χρόνου λόγω πληθωρισμού. Μια μη-στάσιμη χρονοσειρά μπορεί επίσης να παρουσιάζει περιοδικότητα (periodicity), που όταν αναφέρεται σε συγκεκριμένες περιόδους που σχετίζονται με φυσικές εποχές του έτους (μήνα, τρίμηνο, τετράμηνο) λέγεται και εποχικότητα (seasonality), π.χ. η τιμή του όζοντος στην ατμόσφαιρα υπόκειται σε εποχικές διακυμάνσεις πέρα από τις διακυμάνσεις που μπορεί να οφείλονται στην εξέλιξη του οικοσυστήματος.



**Διάγραμμα 2.1:** α) Στάσιμη χρονοσειρά, β) μη στάσιμη χρονοσειρά

Εικόνες από διαφάνειες “Χρονολογικές σειρές (Time series) Lecture notes” Φ.Κουντούρη 2008

Συνεπώς, για αυστηρά στάσιμη χρονοσειρά  $\{X_t: t \in T\}$  ισχύει:

$$1) \mu = E[X_t], t \in T \tag{2.1}$$

$$2) \sigma^2 = V[X_t] = \gamma(0) \geq |\gamma(h)| \quad \forall h \in T \tag{2.2}$$

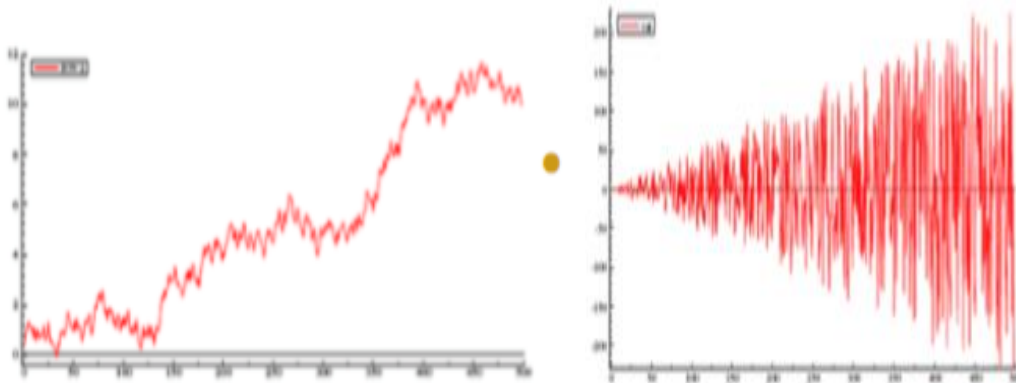
$$3) \gamma(h) = \text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = E[(X_t - \mu_t)(X_{t+h} - \mu_{t+h})], t, h \in T \tag{2.3}$$

**Ασθενής στασιμότητα:** Η χρονοσειρά  $\{X_t: t \in T\}$  ονομάζεται ασθενώς, ή υπό ευρεία έννοια, στάσιμη όταν έχει πεπερασμένη διασπορά και ικανοποιεί τις εξισώσεις (2.2.1.1) και (2.2.1.3).

Η στασιμότητα μίας χρονοσειράς μπορεί να ελεγχθεί με τους εξής τρόπους:

**α) Μελετώντας την γραφική απεικόνιση της σειράς**

Η μέση τιμή και η διακύμανση πρέπει να είναι σταθερές στον χρόνο.



**Διάγραμμα 2.2:** α) Παράδειγμα μέσης τιμής μη γραμμικής χρονοσειράς

β) Παράδειγμα διακύμανσης μη γραμμικής χρονοσειράς

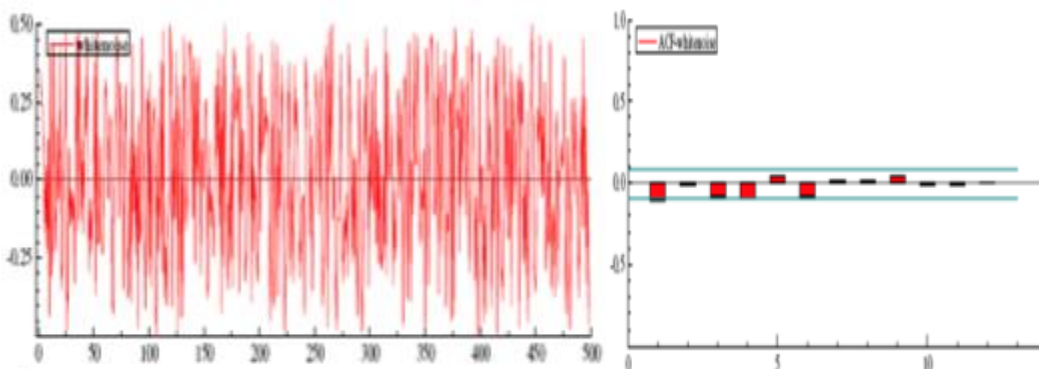
Εικόνες από διαφάνειες "Χρονολογικές σειρές (Time series) Lecture notes" Φ.Κουντούρη 2008

**β) Κατασκευάζοντας και μελετώντας την συνάρτηση αυτοσυσχέτισης και το αντίστοιχο κορελλόγραμμα της**

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (ACF) στάσιμης χρονοσειράς ορίζεται από την σχέση:

$$\rho(h) = \text{Corr}(X_0, X_h) = \frac{\text{Cov}(X_0, X_h)}{\sqrt{V[X_0]V[X_h]}} = \frac{\gamma(h)}{\gamma(0)}, \quad h \in T \quad (2.4)$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, η αυτοσυσχέτιση έχει όλες τις ιδιότητες της συνάρτησης αυτοσυνδιακύμανσης με επιπρόσθετη ιδιότητα  $|\rho(h)| \leq 1$ .



**Διάγραμμα 2.3:** Παράδειγματα κορελλογράμματος στάσιμων χρονοσειρών

Εικόνες από διαφάνειες "Χρονολογικές σειρές (Time series) Lecture notes" Φ.Κουντούρη 2008



**γ) Με έλεγχο για μοναδιαία ρίζα (Dickey-Fuller tests)**

Θεωρείται το υπόδειγμα:

$$X_t = aX_{t-1} + u_t$$

και παίρνοντας τις διαφορές

$$Y_t - Y_{t-1} = (a-1)Y_{t-1} + u_t$$

Το κριτήριο Dickey-Fuller βασίζεται στον εξής έλεγχο: **H<sub>0</sub>: a = 1** και **H<sub>1</sub>: a < 1**

Δηλαδή η H<sub>0</sub> γίνεται δεκτή αν η t στατιστική του συντελεστή a είναι μικρότερη από την t στατιστική των Dickey-Fuller. Τότε συμπεραίνεται ότι υπάρχει μοναδιαία ρίζα και άρα η σειρά δεν είναι στάσιμη.

**δ) Με στατιστικούς ελέγχους για τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης (Box-Pierce Q statistics)**

Με την στατιστική αυτή γίνεται έλεγχος της υπόθεσης ότι οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι μηδέν και ορίζεται ως εξής:

$$Q = N \sum_{k=1}^m \rho_k^2$$

Όπου N το μέγεθος του δείγματος και k το βάθος των χρονικών υστερήσεων.

Στη συνέχεια της διπλωματικής, η χρήση των όρων στασιμότητα, στάσιμη χρονοσειρά κ.λπ. θα απευθύνεται στην έννοια της ασθενούς στασιμότητας.

**2.2.2 Αυτοσυσχέτιση**

Η αυτοσυσχέτιση είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται συνήθως στην ανάλυση χρονολογικών σειρών και πιο σπάνια στην ανάλυση διαστρωματικών δεδομένων. Η εμφάνιση αυτοσυσχέτισης που αφορά στοιχεία χρονοσειρών αναφέρεται συχνά ως αυτοπαλινδρόμηση ή ως σειριακή συσχέτιση.

Ο βαθμός εξάρτησης των τιμών μετράται με τον συντελεστή συσχέτισης:

$$\rho(\epsilon_t, \epsilon_{t-s}) = \frac{\text{Cov}(\epsilon_t, \epsilon_{t-s})}{\sqrt{V[\chi_{\epsilon_t}]V[\epsilon_{t-s}]}} \quad -1 \leq \rho \leq 1, s \neq 0 \quad (2.5)$$

όπου s μία αυθαίρετη χρονική μετακίνηση είτε προς τα εμπρός είτε προς τα πίσω.

Ο συντελεστής συσχέτισης δεν εξαρτάται από το t αλλά από την υστέρηση s. Η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο συντελεστή συσχέτισης ρ και στην χρονική υστέρηση s, ονομάζεται συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (autocorrelation function) και η γραφική της απεικόνιση ονομάζεται αυτοσυσχέτιση ή κορρελόγραμμα (correlogram). Στην ανάλυση των χρονοσειρών η σημασία της συσχέτισης είναι πολύ μεγάλη, καθώς δείχνει τόσο το βαθμό όσο και το μήκος ή τη χρονική διάρκεια της μνήμης της στοχαστικής διαδικασίας.

Οι ορισμοί της αυτοδιασποράς και αυτοσυσχέτισης έχουν νόημα όταν η χρονοσειρά είναι στάσιμη.

Όταν μια χρονοσειρά παρουσιάζει τάσεις ή περιοδικότητα, η μορφή της αυτοσυσχέτισης δεν περιέχει πληροφορία για τις συσχετίσεις σε κάποιες υστερήσεις. Αυτήν την πληροφορία μπορεί ενδεχομένως να τη δώσει η αυτοσυσχέτιση της χρονοσειράς των υπολοίπων. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον παρουσιάζει αν η χρονοσειρά των υπολοίπων έχει μηδενικές (γραμμικές) αυτοσυσχετίσεις. Για παράδειγμα, η αυτοσυσχέτιση του λευκού θορύβου (το υπόδειγμα της χρονοσειράς Λευκού Θορύβου παρουσιάζεται στην ενότητα 2.2.4.3) είναι μηδενική για  $\tau > 0$ . Πρακτικά η αυτοσυσχέτιση εκτιμάται από μια πεπερασμένη χρονοσειρά, μήκους  $n$ , και άρα θα έχει διακυμάνσεις γύρω από το μηδέν. Αποδεικνύεται ότι η εκτιμούμενη αυτοσυσχέτιση της χρονοσειράς λευκού θορύβου ακολουθεί κανονική κατανομή,  $\tau \sim N(0, 1/n)$ . Για αυτό θεωρείται ότι η αυτοσυσχέτιση για κάποιο  $\tau$  είναι 'στατιστικά μηδενική' αν  $\tau \in [-2/\sqrt{n}, 2/\sqrt{n}]$ .

Οι λόγοι που προκαλούν την αυτοσυσχέτιση είναι:

- Η εσφαλμένη αλγεβρική εξειδίκευση του υποδείγματος.
- Η παράλειψη μιας ή περισσότερων ερμηνευτικών μεταβλητών.
- Η ύπαρξη συστηματικού σφάλματος μέτρησης στις μεταβλητές.
- Η εκτίμηση μέρους των παρατηρήσεων με παρεμβολή.
- Η κατανομή της επίδρασης τυχαιών γεγονότων σε περισσότερες από μια χρονικές περιόδους.

### 2.2.3 Συνιστώσες χρονοσειρών

Οι χρονοσειρές χαρακτηρίζονται από:

- Την τάση (trend) -  $T_t$ : Η τάση μπορεί να είναι γραμμική, λογαριθμική, εκθετική ή και πολυωνυμική

Όταν ένα μετρούμενο μέγεθος παρουσιάζει τάση, για την περαιτέρω ανάλυση και μελέτη πρέπει να προηγηθεί επεξεργασία για την απαλοιφή της τάσης (detrend), υπολογίζοντας ως την καμπύλη που ακολουθείται (στην πιο απλή και συνήθη περίπτωση η τάση εκφράζεται από ευθεία). Σε αυτή την περίπτωση, για την δημιουργία αξιόπιστου δείγματος, δεν έχει σημασία η διάρκεια μέτρησης αλλά η περίοδος μέτρησης, καθώς, σε περίπτωση αυξητικής τάσης, αν οι μετρήσεις γίνουν νωρίς θα υποτιμηθεί το αποτέλεσμα ενώ σε αντίθετη περίπτωση θα υπερτιμηθεί. Στην αντίθετη περίπτωση, της μειούμενης τάσης, τα αποτελέσματα θα ήταν αντίθετα.

- Την περιοδικότητα:
  - Κυκλική διακύμανση (cyclical variation) –  $C_t$ : αποκλίσεις από την μακροχρόνια τάση της σειράς ανά διαστήματα μεγαλύτερα του έτους.
  - Εποχιακή διακύμανση (seasonal variation) –  $S_t$ : η συμπεριφορά εναλλάσσεται ανά διαστήματα μικρότερα του έτους.
  - Τυχαία διακύμανση (residual variation) -  $R_t$ .

Για τη μελέτη περιοδικών μεγεθών είναι ιδιαίτερα σημαντικό η διάρκεια μέτρησης να είναι πολλαπλάσια για την δημιουργία επαρκούς δείγματος. Στην χειρότερη περίπτωση, που η διάρκεια μέτρησης δεν ισοδυναμεί τουλάχιστον με ακέραιο πολλαπλάσιο της περιόδου, είναι πιθανή μία σημαντική υπερτίμηση ή υποτίμηση του αποτελέσματος.

### 2.2.4 Ανάλυση βασικών χρονοσειρών

Τα βασικά μοντέλα χρονοσειρών είναι τα εξής:

- Λευκός Θόρυβος (white noise models)
- Τυχαίες Διαδρομές (random walk models)
- Αυτοπαλίνδρομα (autoregressive models / AR)
- Κινητών Μέσων Όρων (moving average models)
- Αυτοπαλίνδρομα Κινητών Μέσων (ARMA models)
- Box-Jenkins
- Vector Autoregression (VAR models)

#### 2.2.4.1 Λευκός Θόρυβος (white noise models)

Η χρονοσειρά λευκού θορύβου ορίζεται από την σχέση:

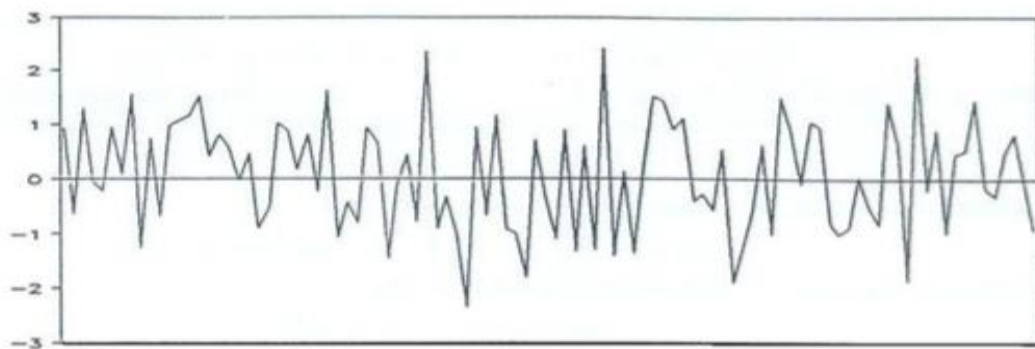
$$Y_t = \varepsilon_t, \forall t=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2.6)$$

Για τη χρονοσειρά  $\{\varepsilon_t\}$  ισχύουν:

$$1) \mu = E[\varepsilon_t] = 0, t \in T \quad (2.7)$$

$$2) \sigma^2 = V[X_t] = \gamma_{0T}, \forall t \quad (2.8)$$

$$3) \gamma_{st} = E[(X_t - \mu_t)(X_{t-s} - \mu_{t-s})] = 0, t, s \neq 0 \quad (2.9)$$



**Διάγραμμα 2.4:** Τυπικό διάγραμμα χρονοσειράς λευκού θορύβου με  $\sigma^2=1$

Μία χρονοσειρά λευκού θορύβου είναι εντελώς τυχαία και δεν περιέχει αυτοσυσχετίσεις (γραμμικές ή μη-γραμμικές), δηλαδή συσχετίσεις μεταξύ στοιχείων της χρονοσειράς. Για τον λόγο αυτό η διάρκεια μέτρησης μπορεί να είναι πολύ μικρή και το δείγμα να είναι επαρκές για την εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων.

### 2.2.4.2 Αυτοπαλίνδρομα πρώτου βαθμού (AR(1))

Η χρονοσειρά AR ορίζεται από την σχέση:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.2.4.5)$$

Για την χρονοσειρά  $Y_t$  ισχύουν:

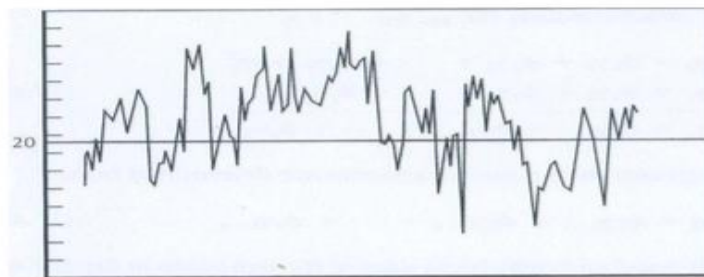
$$1) \mu = \frac{\beta_0}{1-\beta_1} \quad (2.10)$$

$$2) \gamma_0 = \frac{\sigma^2}{1-\alpha_1^2} \quad (2.11)$$

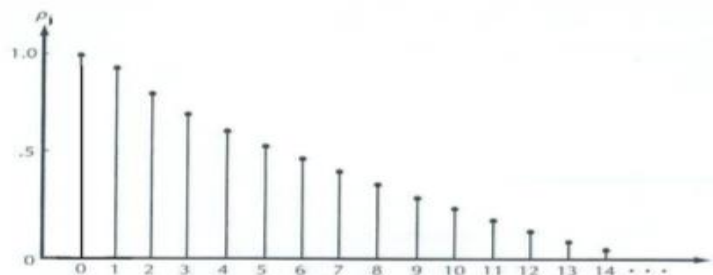
$$3) \gamma_s = \alpha_1^{2s} \gamma_0, \forall s \quad (2.12)$$

$$4) \rho_s = \alpha_1^{2s} \quad (2.13)$$

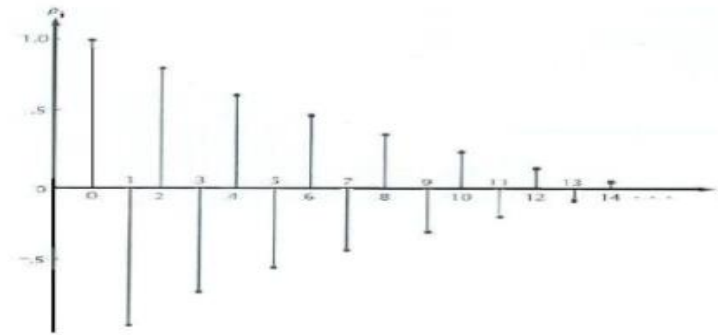
Η χρονοσειρά AR(1) έχει άπειρη μνήμη, δηλαδή καθεμία παρατήρηση  $Y_t$  συσχετίζεται με όλες τις παρελθούσες αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν, με τη συσχέτιση να μειώνεται καθώς αυξάνεται η καθυστέρηση. Τέλος, σημειώνεται ότι θετική τιμή της παραμέτρου  $\alpha_1$  σημαίνει θετική αυτοσυσχέτιση κάθε τάξης, ενώ αρνητική τιμή της παραμέτρου  $\alpha_1$  σημαίνει αρνητική αυτοσυσχέτιση για τις περιττές τιμές του  $s$  και θετική για τις άρτιες τιμές του  $s$ .



**Διάγραμμα 2.5α:** Τυπικό γράφημα AR(1) χρονοσειράς  $Y_t = 2 + 0.9Y_{t-1} + \varepsilon_t$



**Διάγραμμα 2.5β:** Αυτοσυσχέτιση της AR(1) χρονοσειράς  $Y_t = 2 + 0.9Y_{t-1} + \varepsilon_t$



**Διάγραμμα 2.5γ:** Αυτοσυσχέτιση της AR(1) χρονοσειράς  $Y_t = 2 + 0.9Y_{t-1} + \varepsilon_t$

### 2.2.4.3 Τυχαίου περιπάτου ή διαδρομής (random walk model)

Μια χρονοσειρά τυχαίου περιπάτου είναι μια αυτοπαλίνδρομη χρονοσειρά πρώτου βαθμού (AR(1)) με μέση τιμή 1. Δηλαδή περιγράφεται από την σχέση 2.2.4.5.

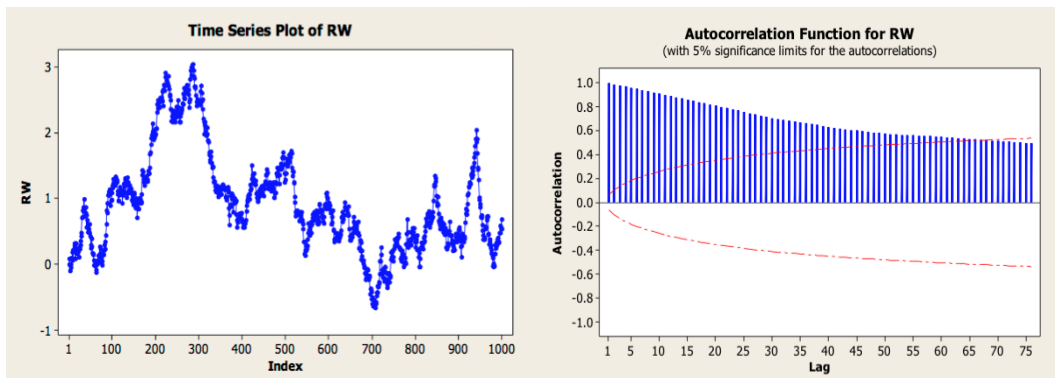
Ακόμη για τις τιμές της χρονοσειράς ισχύει ότι:

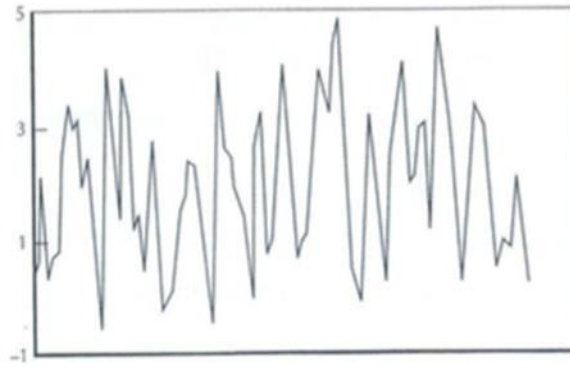
$$Y_t - Y_{t-1} = Z_t \sim iidN(\beta_0, \sigma^2)$$

Η παραπάνω σχέση ορίζει ότι οι τιμές μία χρονοσειράς λευκού θορύβου συσχετίζονται γραμμικά από διαταρακτικό όρο, που είναι λευκός θόρυβος.

Απλούστερα, μία χρονοσειρά τυχαίου περιπάτου παράγεται από την κίνηση κάποιου πάνω σε μια ευθεία γραμμή (στο IR), που σε κάθε χρονική στιγμή κάνει ένα τυχαίο βήμα μπρος ή πίσω ( $Z_t$ ) από το σημείο που βρίσκεται ( $Y_{t-1}$ ) στο επόμενο ( $Y_t$ ).

Μία χρονοσειρά τυχαίου περιπάτου αποτελεί ικανό δείγμα προς μελέτη για την εξαγωγή συμπερασμάτων όταν η διάρκεια μέτρησης είναι ίση η μεγαλύτερη με το διάστημα διαχωρισμού μέσα στο οποίο η αυτοσυσχέτιση γίνεται στατιστικά μη σημαντική.





**Διάγραμμα 2.6:** α) Τυπικό γράφημα μιας χρονοσειράς Τυχαίας Διαδρομής,

β) Τυπική αυτοσυσχέτιση της χρονοσειράς Τυχαίας Διαδρομής

Εικόνες από διαφάνειες "Χρονολογικές σειρές (Time series) Lecture notes" Φ.Κουντούρη 2008

#### 2.2.4.4 Κινητών Μέσων Όρων πρώτου βαθμού (MA(1))

Η γενική σχέση μιας MA(1) χρονοσειράς είναι η εξής:

$$1) Y_t = \mu + \varepsilon_t + \sum_1^q \theta(i) * e(t - i) \quad (2.14)$$

Για την MA(1) χρονοσειρά ισχύουν:

$$2) \mu = \mu \quad (2.15)$$

$$3) \gamma_0 = (1 + \theta_1^2) \sigma^2 \quad (2.16)$$

$$4) \gamma_s = \theta_1 \sigma^2, s=1 \quad (2.17)$$

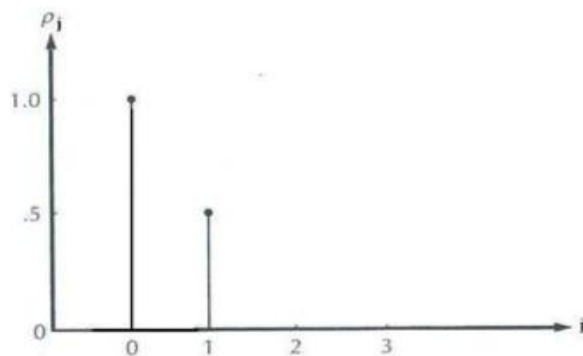
$$5) \gamma_s = 0, s > 1 \quad (2.18)$$

$$6) \rho_0 = 1 \quad (2.19)$$

$$7) \rho_s = \theta_1 / (1 + \theta_1^2), s=1 \quad (2.20)$$

$$8) \rho_s = 0, s > 1 \quad (2.21)$$

Το γεγονός ότι οι αυτοσυσχετίσεις μεγαλύτερης από πρώτης τάξης είναι όλες μηδενικές σημαίνει πρακτικά ότι η MA(1) χρονοσειρά έχει μνήμη μόνο μιας περιόδου, δηλαδή μια οποιαδήποτε παρατήρηση της  $Y_t$  συσχετίζεται με την προηγούμενη ή την επόμενη παρατήρηση, αλλά δε συσχετίζεται με καμία άλλη.



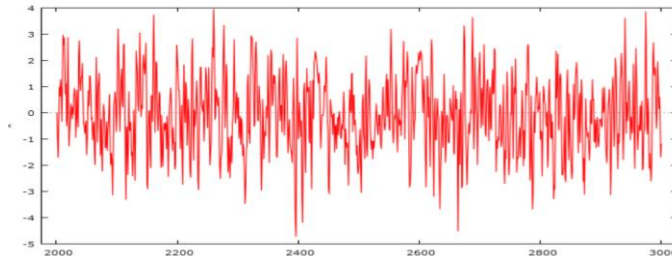
**Διάγραμμα 2.2.6:** α) Τυπικό γράφημα μιας MA(1) χρονοσειράς,

β) Τυπική αυτοσυσχέτιση της MA(1)

#### 2.2.4.5 Αυτοπαλίνδρομα Κινητών Μέσων (ARMA models)

Ο συνδυασμός μίας αυτοπαλίνδρομου χρονοσειράς με μία κινητών μέσων μας δίνει μία ARMA, που περιγράφεται από την σχέση:

$$\mathbf{ARMA}(p,q): Y_t = c + \sum_{i=1}^p a(i) * Y(t-i) + e_{t(t)} + \sum_{j=1}^q b(j) * e(t-i)$$



**Διάγραμμα 2.2.7:** Γράφημα της αυτοπαλίνδρομου χρονοσειράς κινητών μέσων  $Y_t = 0.3x_{t-1} + e_t + 0.7 e_{t-1}$

#### 2.2.4.6 Vector Autoregression (VAR models)

Ένα υπόδειγμα VAR είναι ένα μοντέλο παλινδρόμησης ενός συστήματος εξισώσεων στο οποίο υπάρχουν ενδογενείς μεταβλητές. Όλες οι ενδογενείς μεταβλητές ερμηνεύονται από χρονικές υστερήσεις των ίδιων καθώς και των υπολοίπων ενδογενών μεταβλητών.

Η απλούστερη περίπτωση περιλαμβάνει ένα σύστημα δύο εξισώσεων:

$$y_{1t} = \beta_{10} + \beta_{11} * y_{1t-1} + \alpha_{11} y_{2t-1} + u_{1t}$$

$$y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21} * y_{2t-1} + \alpha_{21} y_{1t-1} + u_{2t}$$

#### 2.2.4.7 Box-Jenkins

Ας υποθεθεί ότι μία χρονολογική σειρά ακολουθεί την ARMA(1,1) διαδικασία. Αν η σειρά δεν είναι στάσιμη, μπορεί να γίνει αν εκφραστεί σε πρώτες διαφορές. Αν μετά από αυτό το μετασχηματισμό η σειρά είναι στάσιμη τότε η μετασχηματισμένη χρονοσειρά ονομάζεται Αυτοπαλίνδρομη Ολοκληρωμένη Κινητών Μέσων πρώτης τάξης ARIMA(1,1,1).

$$Y_t - Y_{t-1} = \varphi_0 + \varphi_1(Y_{t-1} - Y_{t-2}) + \varepsilon_t - \theta\varepsilon_{t-1}$$





## Κεφάλαιο 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετρητικού εξοπλισμού και λογισμικού

### 3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά μετρητικού εξοπλισμού

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε καταγραφικός μετρητικός εξοπλισμός, που προσφέρθηκε από το εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ο καταγραφικός εξοπλισμός, που χρησιμοποιήθηκε, για τις μετρήσεις της συγκεκριμένης διπλωματικής αποτελείται από έναν αναλυτή ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος και από θερμόμετρα.

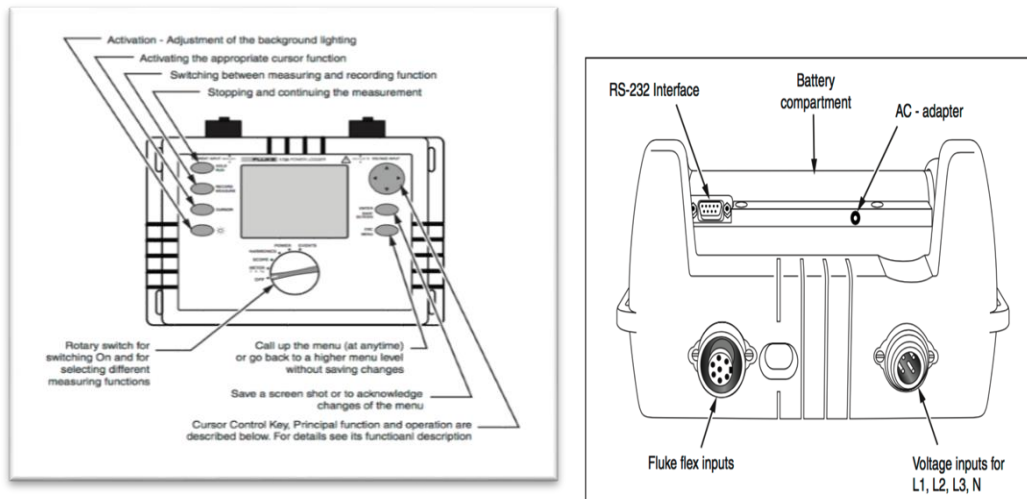
#### 3.1.1 Αναλυτής Ποιότητας Ηλεκτρικής Ισχύος

Για τις μετρήσεις, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο αναλυτή ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος Fluke 1735. Ο αναλυτής αναπτύχθηκε για ηλεκτρολόγους με σκοπό τη διερεύνηση και επίλυση τυχών ανωμαλιών σε ένα σύστημα διανομής.



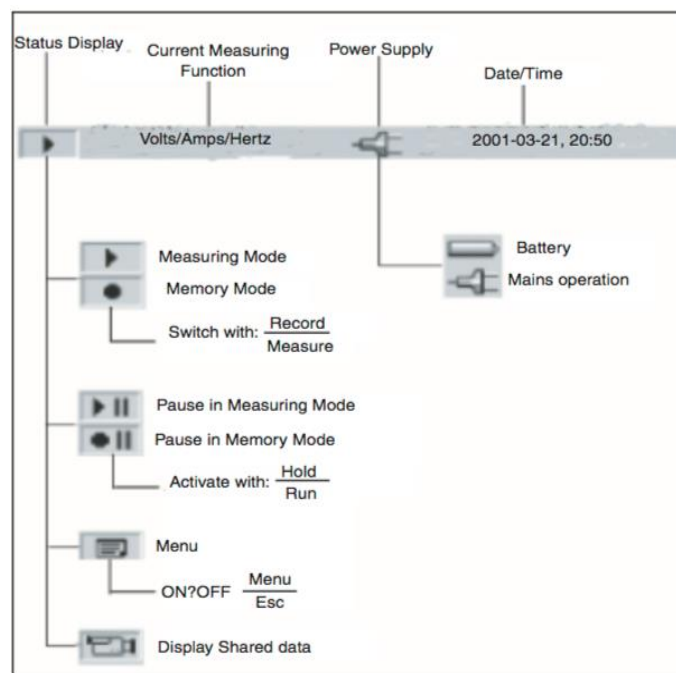
Εικόνα 3.1: Αναλυτής ηλεκτρικής ισχύος Fluke 1735

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ένας γενικού σκοπού μετρητικός και καταγραφικός εξοπλισμός για την ανάλυση της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος σε οποιοδήποτε σημείο ενός δικτύου διανομής. Προσφέρει επιλογές στιγμιαίων ή προγραμματισμένων μετρήσεων της τάσης, έντασης, ενεργού και αέργου ισχύος και συντελεστή ισχύος. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε μορφή χρονολογικών σειρών και παρουσιάζονται σε γραφήματα, όπου φαίνεται η διακύμανση των μετρούμενων μεγεθών. Παρακάτω παρουσιάζονται σε εικόνες τα στοιχεία χειρισμού (εικόνα 3.1.2 α) και οι υποδοχές του οργάνου (εικόνα 3.1.2 β) Fluke 1735.

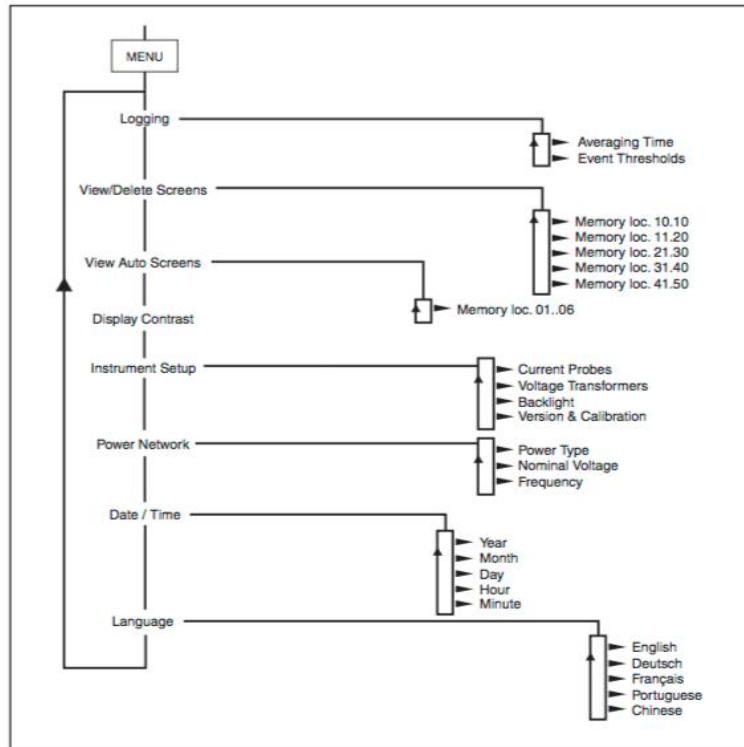


**Εικόνες 3.2:** α) Στοιχεία χειρισμού οργάνου, β) Υποδοχές οργάνου  
Εικόνα από το εγχειρίδιο του οργάνου ανάλυσης ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος Fluke 1735

Παρακάτω παρουσιάζονται σε εικόνες οι ενδείξεις στην οθόνη του αναλυτή (Εικόνα 3.1.3) όταν είναι ενεργοποιημένος, καθώς και η διάρθρωση του μενού ρυθμίσεων (Εικόνα 3.1.4).



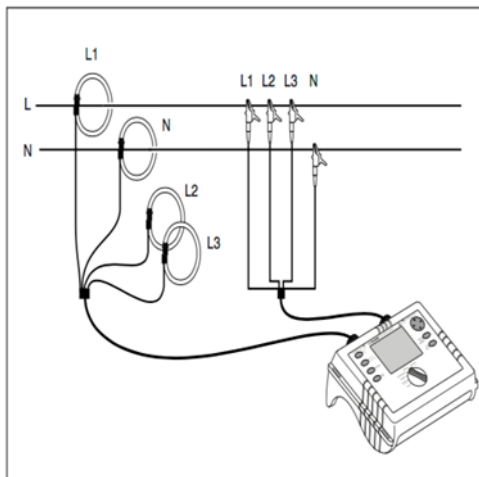
**Εικόνα 3.3:** Ενδείξεις οθόνης του αναλυτή  
Εικόνα από το εγχειρίδιο του οργάνου ανάλυσης ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος Fluke 1735



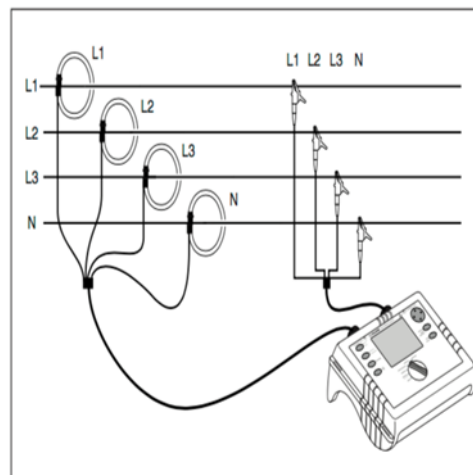
**Εικόνα 3.4:** Διάγραμμα ροής ρυθμίσεων

Εικόνα από το εγχειρίδιο του οργάνου ανάλυσης ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος Fluke 1735

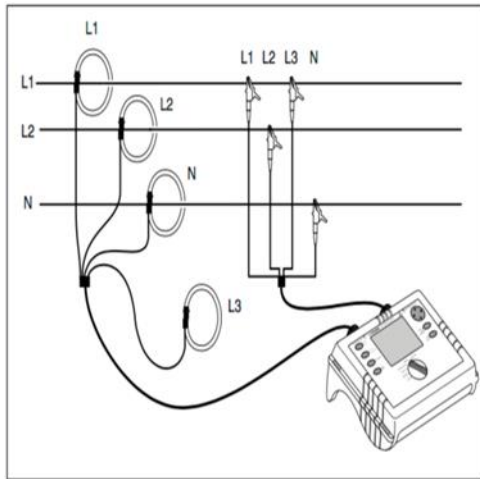
Με τον αναλυτή Fluke 1735 δύναται η μέτρηση σε μονοφασικά ή πολυφασικά συστήματα, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες των δυνατών μετρητικών διατάξεων.



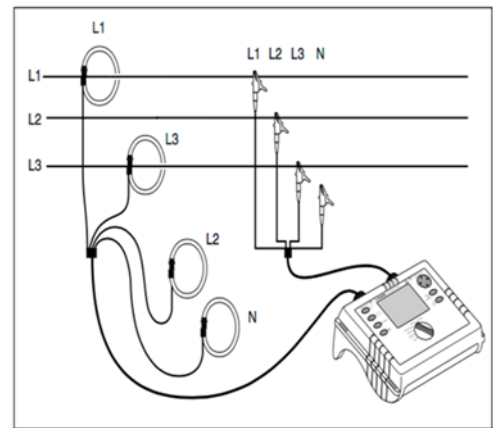
**Εικόνα 3.5α:** Μονοφασική διάταξη



**Εικόνα 3.5β:** Διφασική διάταξη



**Εικόνα 3.5γ:** Τριφασική διάταξη, συνδεσμολογίας αστέρα



**Εικόνα 3.5δ:** Τριφασική διάταξη, συνδεσμολογίας τριγώνου

### 3.1.2 Θερμόμετρο

Για την μέτρηση και καταγραφή την θερμοκρασίας του αέρα χρησιμοποιήθηκε το θερμόμετρο μοντέλου RTR-52, του οποίου οι προδιαγραφές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2, ενώ μια εικόνα του παρουσιάζεται ακολούθως:



**Εικόνα 3.1.6:**Θερμόμετρο RTR-52

**Πίνακας 3.1:** Βασικά χαρακτηριστικά θερμομέτρου

Μετρούμενα μεγέθη	Θερμοκρασία
Κανάλια μετρήσεων	1
Εύρος λειτουργίας	0-55°C
Διακριτική ικανότητα προβαλλόμενης μέτρησης	0.1 °C
Ακρίβεια μέτρησης	±0.3 °C

Χρόνος δειγματοληψίας	1,2,5,10,15,20,30 δευτερόλεπτα 1,2,5,10,15,30,60 λεπτά
Χωρητικότητα μνήμης καταγραφών	8000 μετρήσεις * 2 κανάλια
Μπαταρία	Λιθίου LS14250(SAFT) ή AC adaptor
Μέγιστη απόσταση μετάδοσης δεδομένων	100m
Διαστάσεις	62*47*19 mm
Βάρος	56gr

### 3.2 Χαρακτηριστικά εργαλείου NumXL του προγράμματος Microsoft Excel

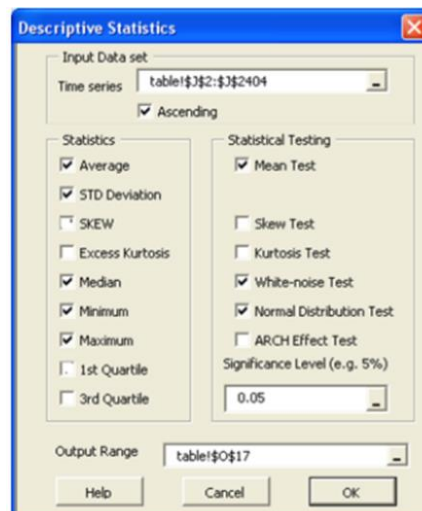
Το NumXL είναι ένα πρόσθετο εργαλείο (add-in) του προγράμματος Microsoft Excel, που έχει δημιουργηθεί για την ευκολότερη μοντελοποίηση και ανάλυση χρονοσειρών. Μέσα από την ιστοσελίδα <http://www.spiderfinancial.com> δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης και δοκιμαστικής χρήσης 2 εβδομάδων. Οι πιο σημαντικές, για την απαιτούμενη ανάλυση των χρονοσειρών στην συγκεκριμένη διπλωματική, είναι οι λειτουργίες που παρουσιάζονται παρακάτω:

#### I. Συνοπτικά στατιστικά στοιχεία (Summary Statistics)

1. Επιλογή Descriptive Statistics, από την καρτέλα του NumXL



2. Επιλογή της χρονοσειράς προς επεξεργασία, των απαραίτητων για την ανάλυση επιλογών και ρύθμιση της τοποθεσίας εξαγωγής των αποτελεσμάτων



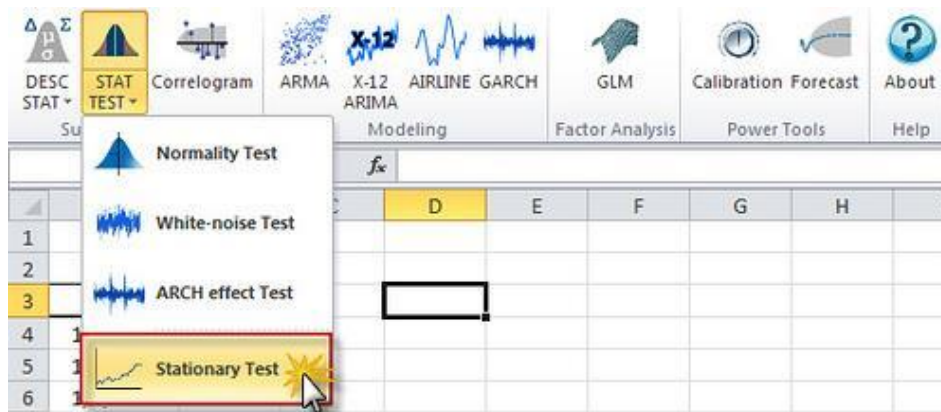
Επιλέγοντας το "OK", ολοκληρώνεται η διαδικασία και εμφανίζονται στην προκαθορισμένη θέση "output range", τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα:

**Πίνακας 3.2:** Παράδειγμα αποτελεσμάτων Descriptive statistics

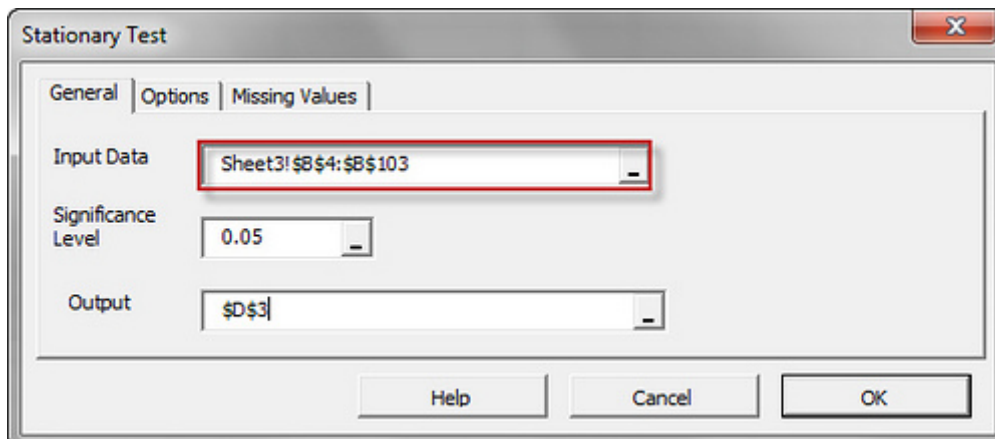
Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	4651,322947
	<b>STD DEV:</b>	4926,390129
	<b>MEDIAN:</b>	1620,25
	<b>MIN:</b>	100,364
	<b>MAX:</b>	13927,336
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

- AVERAGE / Μέση τιμή: Υπολογισμός της μέσης τιμής της επιλεγμένης χρονοσειράς
  - STD DEV (STANDARD DEVIATION) / Τυπική απόκλιση: Υπολογισμός της τυπικής απόκλισης
  - MEDIAN / Διάμεσος: Υπολογισμός του αριθμού στο μέσον του συνόλου των τιμών της χρονοσειράς
  - MIN (MINIMUM) / Ελάχιστος: Απόδοση της ελάχιστης από τις τιμές της χρονοσειράς
  - MAX (MAXIMUM) / Μέγιστος: Απόδοση της μέγιστης από τις τιμές της χρονοσειράς
  - White-noise / Έλεγχος Λευκού Θορύβου: Αποτέλεσμα σε μορφή TRUE ή FALSE, για το ενδεχόμενο η χρονοσειρά να έχει χαρακτήρα λευκού θορύβου
  - Normal Distributed? / Έλεγχος Κανονικής Κατανομής: Αποτέλεσμα σε μορφή TRUE ή FALSE, για το ενδεχόμενο η χρονοσειρά να ακολουθεί κανονική κατανομή
- II. Έλεγχος Στασιμότητας (stationary test)

1. Επιλογή Stationary Test, μετά την επιλογή του STAT TEST.



2. Επιλογή της χρονοσειράς προς επεξεργασία, ρύθμιση της σημαντικότητας 5% και επιλογή της τοποθεσίας εξαγωγής αποτελεσμάτων



Επιλέγοντας το "OK", ολοκληρώνεται η διαδικασία και εμφανίζονται στην προκαθορισμένη θέση "output", τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα.

Ο έλεγχος στασιμότητας αποδίδει TRUE ή FALSE, για το ενδεχόμενο η χρονοσειρά να είναι στάσιμη. Ο έλεγχος στασιμότητας, που πραγματοποιήθηκε στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, γίνεται με το επαυξημένο κριτήριο των Dickey-Fuller (ADF) για επίπεδο σημαντικότητας 95%.

**Πίνακας 3.3:** Παράδειγμα αποτελεσμάτων Stationay test

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<i>ADF</i>	-2,9	0,4%	-1,9	TRUE	
<i>No Const</i>	-2,9	0,4%	-1,9	TRUE	
<i>Const-Only</i>	-4,3	0,1%	-2,9	TRUE	
<i>Const + Trend</i>	-4,3	0,0%	-1,6	TRUE	
<i>Const+Trend+Trend^2</i>	-4,5	0,0%	-1,6	TRUE	

**Πίνακας 3.4:** Παρουσίαση πιθανών αποτελεσμάτων από τον έλεγχο στασιμότητας ADF

Test	ADF Test result				
No Const	True	True	True	True	False
Const-Only	False	True	True	True	False
Const+Trend	False	False	True	False	False
Const+Trend+Trend+Trend^2	False	False	False	False	False
Περίπτωση	A	B	Γ	Δ	E

Περίπτωση A: Η χρονοσειρά είναι στάσιμη με μηδενική μέση τιμή.

Περίπτωση B: Η χρονοσειρά είναι στάσιμη με μη-μηδενική μέση τιμή.

Περίπτωση Γ: Η χρονοσειρά περιέχει ντετερμινιστική τάση και είναι στάσιμη κατά την τάση.

Περίπτωση Δ: Η χρονοσειρά περιέχει τετραγωνική ντετερμινιστική τάση και είναι στάσιμη κατά την τετραγωνική τάση.

Περίπτωση E: Η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη

Ο έλεγχος Augmented Dickey-Fuller εξετάζει την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας (ή αλλιώς έλεγχος τυχαίου περιπάτου), το οποίο μεταφράζεται σε σταθερή υποθετική μέση τιμή της χρονοσειράς. Ωστόσο, μέσω του συγκεκριμένου ελέγχου δεν γίνεται να βγει συμπέρασμα για το υπόδειγμα της χρονοσειράς, δηλαδή εάν ακολουθεί υπόδειγμα λευκού θορύβου ή τυχαίου περιπάτου κτλ.

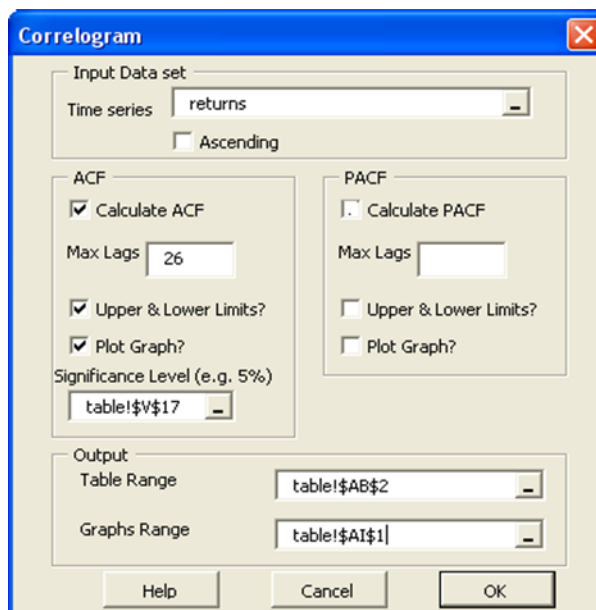
### III. Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation Function – ACF)

#### 1. Επιλογή Correlogram, από την καρτέλα του NumXL

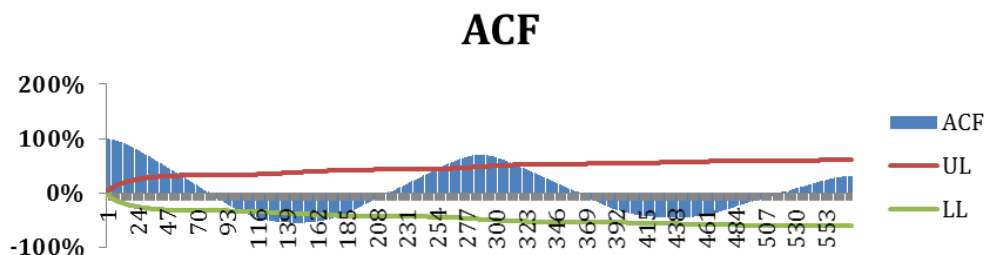


#### 2. Επιλογή της στάσιμης χρονοσειράς, ρύθμιση της σημαντικότητας 5%, ρύθμιση του αριθμού μέγιστης υστέρησης και ρύθμιση της τοποθεσίας εξαγωγής των αποτελεσμάτων





Επιλέγοντας το "OK", ολοκληρώνεται η διαδικασία και εμφανίζονται στην προκαθορισμένη θέση "Output", τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα, καθώς και το κορρελόγραμμα (correlogram).



**Διάγραμμα 3.1:** Παράδειγμα κορρελογράμματος

Η ανάλυση με την χρήση του κορρελογράμματος εξετάζει τη χρόνο-χωρική εξάρτηση μέσα στο δείγμα δεδομένων, και επικεντρώνεται στην εμπειρική αυτοσυνδιακύμανσης, αυτοσυσχέτιση, και των σχετικών στατιστικών ελέγχων. Η αυτοσυσχέτιση, στην υστέρηση 0, είναι πάντα 1 και παρουσιάζεται στο κορρελόγραμμα. Η εμφάνιση του διευκολύνει την σύγκριση των υπόλοιπων συσχετίσεων σε σχέση με το θεωρητικό μέγιστο 1.

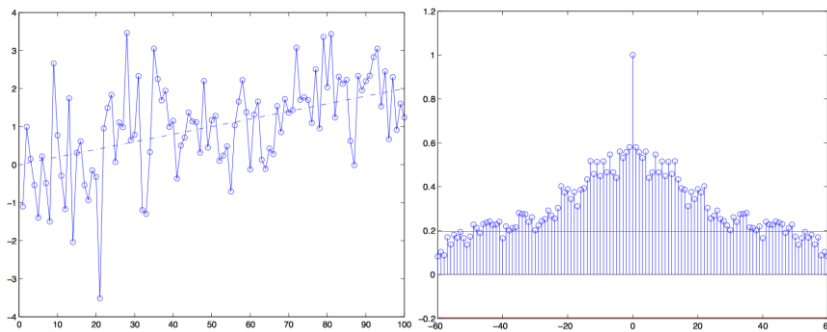
Τέλος, το κορρελόγραμμα περιλαμβάνει τους συντελεστές συσχέτισης και τις τυπικές αποκλίσεις των συντελεστών για διαδοχικές υστερήσεις για ένα συγκεκριμένο φάσμα υστερήσεων (max lag). Αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την αναγνώριση του μοντέλου, αλλά και της συμπεριφοράς για χρονοσειρές που δεν είναι λευκός θόρυβος. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συμπεριφορές και ο τρόπος διάκρισής τους για χρονοσειρές μέσω του κορρελογράμματος που δεν έχουν τα χαρακτηριστικά του λευκού θορύβου.

**Χαρακτηριστικό χρονοσειράς**

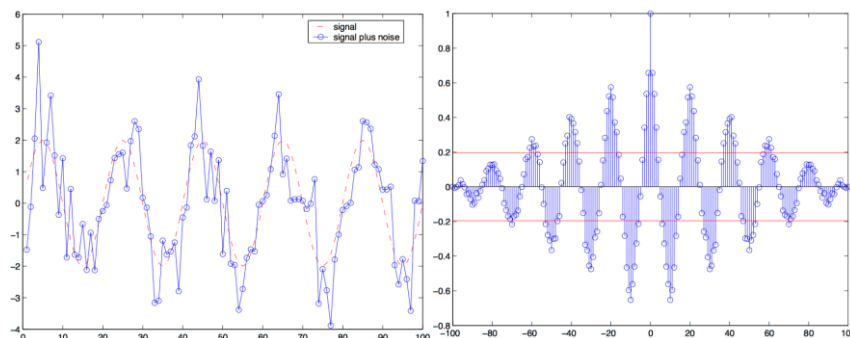
**Συμπεριφορά κορρελογράμματος**

Λευκός θόρυβος	0
Τάση	Φθίνουσα με αργό ρυθμό
Περιοδικότητα	Περιοδικότητα
MA (q)	Μηδενική για $h \neq q$
AR (p)	Φθίνουσα στο μηδέν, εκθετικά

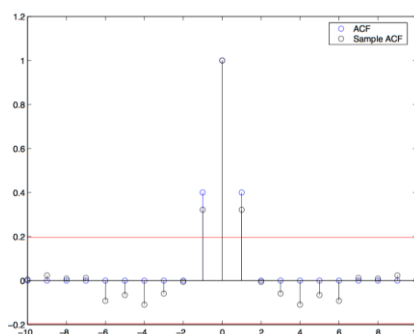
Στο πλαίσιο της διπλωματικής, ιδιαίτερα σημαντικό μοντέλο είναι αυτό του Τυχαίου περιπάτου. Το κορρελογράμμα μία χρονοσειράς τυχαίου περιπάτου ξεκινάει από το 1, φθίνει εκθετικά και τελικά κυμαίνεται γύρω από το μηδέν.



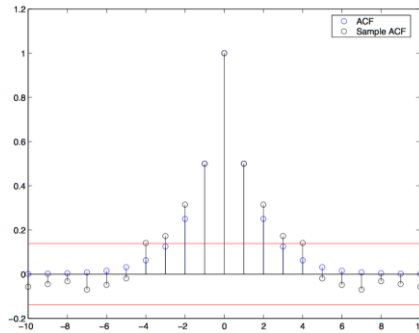
**Διάγραμμα 3.2:** Παραδείγματα κορρελογράμματος χρονοσειράς με τάση



**Διάγραμμα 3.3:** Παραδείγματα κορρελογράμματος χρονοσειράς με περιοδικότητα



**Διάγραμμα 3.4:** Παράδειγμα κορρελογράμματος χρονοσειράς MA(1)



**Διάγραμμα 3.5:** Παράδειγμα κορρελογράμματος χρονοσειράς AR(1), δηλαδή τυχαίου περιπάτου

Το κορρελόγραμμα που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3.1 διαθέτει ένα καλά καθορισμένο σχήμα που εμφανίζεται σαν δείγμα συνάρτησης αποσβενούμενου συνημίτονου. Αυτό αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα κορρελογράμματος των χρονοσειρών που παράγονται από αυτοπαλίνδρομο μοντέλο της παραγγελίας 2.

Κατά τη σχεδίαση του σχεδιάζονται και τα όρια 95% εμπιστοσύνης (Upper Limit- πράσινη γραμμή, Lower Limit- κόκκινη γραμμή) ίσα με  $-1/N \pm 2/\sqrt{N}$ , τα οποία συνήθως προσεγγίζουν το  $\pm 2/\sqrt{N}$ . Όταν μία τιμή ξεπεράσει τα όρια, αποτελεί απόδειξη απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης στο επίπεδο 5%. Ακόμη τα σημεία του κορρελογράμματος συσχετίζονται, ώστε αν κάποιο βγει εκτός ορίων, τα γειτονικά είναι περισσότερο πιθανό να είναι στατιστικά σημαντικά. Τέλος αξίζει ο έλεγχος για στατιστικά σημαντικές τιμές σε χρονικές υστερήσεις με κάποια πρακτική σημασία, για παράδειγμα στην υστέρηση που αντιστοιχεί σε εποχιακή περίοδο.

Εάν θεωρηθεί μία μακρά χρονοσειρά, δηλαδή με μεγάλο  $N$ , η σημαντική περιοχή που οριοθετείται από το πάνω και κάτω όριο θα είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα μικρές τιμές της αυτοσυσχέτισης χωρίς καμία πρακτική σημασία να μπορούν να βγουν εκτός ορίων.

### 3.3 Σχεδιασμός και εκτέλεση πειραμάτων

#### 3.3.1 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα φωτισμού

Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η καταγραφή και η ανάλυση της κατανάλωσης στο σύστημα φωτισμού στο τμήμα KT14B του 2<sup>ου</sup> ορόφου των γραφείων της εταιρείας Olympic Catering A.B.E.E. του ομίλου Vivartia.

#### Μεθοδολογία Πειράματος

1) Ρύθμιση του αναλυτή ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος στο φορτίο

Με την ανάγνωση των οδηγιών του αναλυτή ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος και πριν την σύνδεση του στο φορτίο έγιναν οι εξής ρυθμίσεις:

menu->logging->averaging period->5minutes

Αλλαγή της ρύθμισης για την περίοδο μέτρησης στα 5 λεπτά .

menu-> instrument setup->current probes->current range->mid

Αλλαγή της ρεύματος στο μέσο.

**Πίνακας**  
Fluke 1735

Περίοδος	5
Όρια	+10
Επίπεδο	Μεσ
Συνδεσμολο	Αστέ
Ονομαστική	50hz
Ονομαστική	230



ρύθμισης για το επίπεδο

**3.5:** Ρυθμίσεις του αναλυτή

**Εικόνα 3.5:** Πίνακας ασφαλειών και διακοπών, στον οποίο ήταν συνδεδεμένο το σύστημα φωτισμού

2) Σύνδεση του αναλυτή ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος

Το όργανο Fluke 1735 συνδέθηκε στον τριφασικό διακόπτη σε συνδεσμολογία αστέρα.

Στην παραπάνω Εικόνα 3.5 παρουσιάζεται ο πίνακας στον οποίο είναι συνδεδεμένο το σύστημα του φωτισμού και μερικά, ακόμη, φορτία, όπως πρίζες. Το σύστημα, προς μέτρηση, ήταν σχεδιασμένο και συνδεδεμένο μόνο του σε έναν διακόπτη, οπότε στο πείραμα δεν καταγράφηκαν φορτία εκτός του φωτισμού.

## 3) Έναρξη λειτουργίας του αναλυτή

Το πείραμα διήρκεσε περίπου 9 μέρες, αφού η σύνδεση και ενεργοποίηση του αναλυτή έγινε στις 17:50 την Τρίτη 23 Φεβρουαρίου 2016 και η μέτρηση σταμάτησε στις 18:15 την Τετάρτη 02 Μαρτίου 2016. Ο μετρητής προγραμματίστηκε να καταγράφει τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας ανά 5 λεπτά και να τα αποθηκεύει στην μνήμη. Συνολικά η μέτρηση (χρονοσειρά) συμπεριέλαβε 2309 καταγραφές.

**3.3.2 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα κλιματισμού**

Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η μελέτη και η ανάλυση της κατανάλωσης στο σύστημα του κλιματισμού στο τμήμα ΚΤ14Β του 2<sup>ου</sup> ορόφου των γραφείων της εταιρείας Olympic Catering A.B.E.E. του ομίλου Vivartia.

Επιπλέον έγινε αξιολόγηση της σκοπιμότητας χρήσης ενός συστήματος βελτίωσης της ποιότητας ισχύος, του οποίου η απόδοση ενδιαφέρει την εταιρεία για πιθανή μελλοντική επένδυση.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ένα σύστημα κλιματισμού εξαρτάται από την διαφορά εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας του κτηρίου. Για την εκτέλεση του πειράματος τοποθετήθηκε ο αναλυτής ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος Fluke 1735 στον πίνακα του κλιματισμού καθώς επίσης τρία θερμόμετρα-υγρασιόμετρα, μοντέλου RTR-53A, σε εσωτερικούς χώρους του κτηρίου και ακόμη ένα θερμόμετρο για να καταγράφει την εξωτερική θερμοκρασία.

Μεθοδολογία Πειράματος

## 1) Ρύθμιση του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας

**Πίνακας 3.3.1:** Ρυθμίσεις του αναλυτή Fluke 1735

Περίοδος μέτρησης	5 λεπτά
Όρια υπέρτασης/υπότασης	+10%/-10%
Επίπεδο ρεύματος	Μεσαίο
Συνδεσμολογία δικτύου	Αστέρα (wye)
Ονομαστική συχνότητα	50hz
Ονομαστική τάση	230V

## 2) Σύνδεση του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας στο φορτίο

Το όργανο Fluke 1735 συνδέθηκε στον τριφασικό διακόπτη σε συνδεσμολογία αστέρα. Στις παρακάτω εικόνες 3.3.2 παρουσιάζεται ο πίνακας του κλιματισμού.



**Εικόνες 3.6:** Φωτογραφίες του πίνακα, στον οποίο συνδέθηκε το όργανο Fluke 1735

### 3) Τοποθέτηση των θερμομέτρων

Αρχικά συνδέθηκε ο κεντρικός δέκτης σε έναν κεντρικό υπολογιστή, ο οποίος δεν χρησιμοποιούταν από υπάλληλο, έπειτα τοποθετήθηκαν τα τρία θερμομέτρα σε διαφορετικά γραφεία, με διαφορετική απόσταση από το παράθυρο. Επίσης τοποθετήθηκε σε γραφείο ένα θερμομέτρο, το άκρο του οποίου βρισκόταν έξω από το παράθυρο για να μετράει την εξωτερική θερμοκρασία.

### 4) Ρύθμιση των θερμομέτρων

Τα θερμομέτρα ρυθμίστηκαν να καταγράφουν τη στιγμιαία θερμοκρασία κάθε 20 λεπτά. Επίσης ο δέκτης, μέσω του προγράμματος για τον υπολογιστή που δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρία, προγραμματίστηκε να αποθηκεύει τις μετρήσεις κάθε 24 ώρες, δηλαδή ανά ημέρα.

### 5) Έναρξη μετρήσεων

Το συνολικό πείραμα διήρκεσε περίπου 20 μέρες.

Αρχικά τοποθετήθηκε μόνο ο αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας την 16-03-16 στις 14:01, ωστόσο μετά από συζήτηση θεωρήθηκε, πολύ σωστά, απαραίτητη η τοποθέτηση και θερμομέτρων.

Τα θερμομέτρα τοποθετήθηκαν και ξεκίνησαν να καταγράφουν την 21-03-16 στις 11:02.

### 6) Σύνδεση και λειτουργία της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.

Τέλος, την 28-03-16 στις 11:03 μπήκε σε λειτουργία η συσκευή διόρθωσης συντελεστή ισχύος. Και το πείραμα τελείωσε την 04-04-16 στις 11:57.

Περιληπτικά, το πείραμα χωρίστηκε στα εξής στάδια:

*Κεφάλαιο 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετρητικού εξοπλισμού και λογισμικού*

- a) Λειτουργία του αναλυτή Fluke 1735, ενώ δεν λειτουργούν τα θερμόμετρα
- b) Λειτουργία του αναλυτή Fluke 1735, με λειτουργία των θερμομέτρων
- c) Λειτουργία της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος, του αναλυτή και των θερμομέτρων

### 3.3.3 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα καταψύξεων

Σκοπός του τελευταίου πειράματος της διπλωματικής είναι η καταγραφή και η μελέτη του φορτίου στο ψυχοστάσιο της εταιρείας Olympic Catering A.B.E.E. του ομίλου Vivartia. Το ψυχοστάσιο είναι το σύστημα των ψυγείων στα οποία αποθηκεύονται τα τρόφιμα πριν διανεμηθούν στα διάφορα καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος.

Στο πλαίσιο αυτού του πειράματος έγινε προσπάθεια σύγκρισης της κατανάλωσης με ρύθμιση των θερμοκρασιών των ψυγείων σε δύο επίπεδα  $-18^{\circ}\text{C}$  και  $-22^{\circ}\text{C}$ .

#### Μεθοδολογία πειράματος

- 1) Ρύθμιση του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας

Πριν την σύνδεση του εργαλείου Fluke 1735 έγινε η εξής ρύθμιση:

menu-> instrument setup->current probes->current range->high  
Αλλαγή της ρύθμισης για το επίπεδο ρεύματος σε υψηλό.

**Πίνακας 3.6:** Ρυθμίσεις του αναλυτή Fluke 1735

Περίοδος μέτρησης	5 λεπτά
Όρια υπέρτασης/υπότασης	+10%/-10%
Επίπεδο ρεύματος	Υψηλό
Συνδεσμολογία δικτύου	Αστέρα (wye)
Ονομαστική συχνότητα	50hz
Ονομαστική τάση	230V

- 2) Σύνδεση του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας στο φορτίο

Ο αναλυτής ποιότητας ισχύος συνδέθηκε στον τριφασικό διακόπτη σε συνδεσμολογία αστέρα. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται ο πίνακας του συστήματος ψύξης των ψυγείων.



**Εικόνα 3.7:** Φωτογραφία του πίνακα ασφαλειών και της ασφάλειας που συνδέεται το σύστημα του ψυχοστασίου

3) Έναρξη λειτουργίας του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας

Η πρώτη περίοδος μέτρησης, κατά την οποία διατηρήθηκε η αρχική ρύθμιση στους θερμοστάτες των ψυγείων (η αρχική ρύθμιση ήταν  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), διήρκεσε περίπου 11 μέρες. Η πρώτη μέτρηση έγινε την 11-04-2016 στις 12:35 και η τελευταία την 21-04-2016 στις 13:10 και συνολικά ο καταγράφηκαν 2889 μετρήσεις.

4) Ρύθμιση των θερμοστατών για θερμοκρασία  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  στα ψυγεία

Μετά την καταγραφή του φορτίου, για την ρύθμιση στους  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , αλλάχτηκε στους  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Η αλλαγή αυτή έγινε χειρονακτικά με επιθεώρηση του κάθε ψυγείου ξεχωριστά.

5) Έναρξη λειτουργίας του αναλυτή ηλεκτρική ενέργειας

Η δεύτερη περίοδος μέτρησης, μετά την ρύθμιση των θερμοστατών στους  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , διήρκεσε περίπου 16 μέρες (η πρώτη μέτρηση έγινε την 21-04-2016 στις 13:27 και η τελευταία την 06-05-2016 στις 13:17) και συνολικά καταγράφηκαν 4320 μετρήσεις.



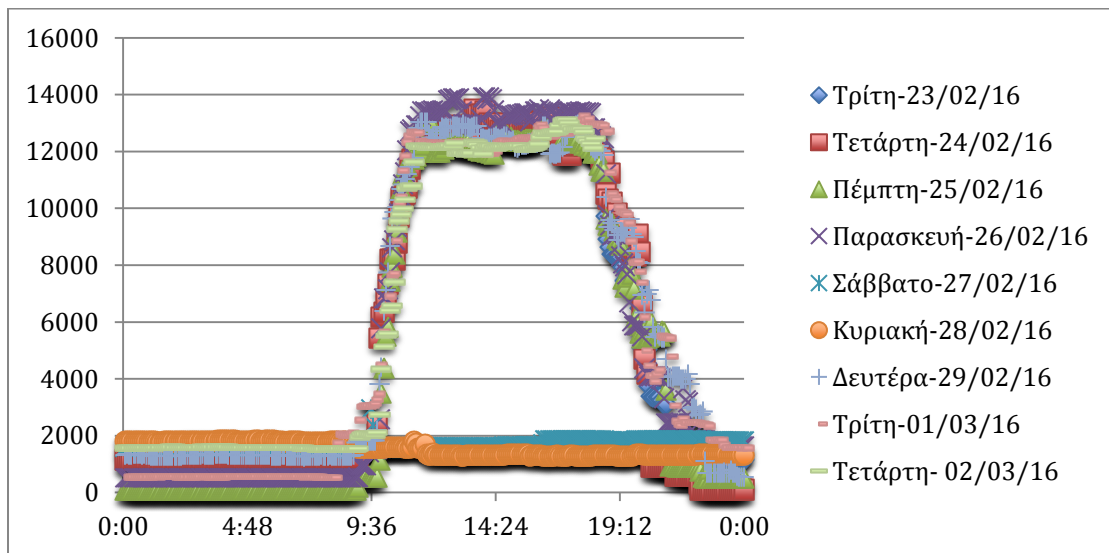
## Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και επεξεργασία μετρήσεων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων κάθε πειράματος, αρχικά χωρίς επεξεργασία και έπειτα γίνεται η επεξεργασία τους με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και την δημιουργία προτάσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

### 4.1 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα φωτισμού

#### 4.1.1 Παρουσίαση μετρήσεων

##### A. Ενεργός Ισχύς



**Διάγραμμα 4.1:** Διάγραμμα Ενεργού Ισχύος (Watt) για το σύστημα του φωτισμού

Από το παραπάνω διάγραμμα διακρίνονται δύο διαφορετικές συμπεριφορές για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα. Τις καθημερινές η χρονοσειρά των μετρήσεων παρουσιάζει μία καμπύλη κατά τις εργάσιμες ώρες.

Με τη βοήθεια του εργαλείου NumXL της εφαρμογής του Excel προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις στιγμιαίες μετρήσεις της χρονοσειράς του αναλυτή σε Watt.

**Πίνακας 4.1:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς των στιγμιαίων μετρήσεων ενεργού ισχύος (Watt)

#### Descriptive Statistics

AVERAGE: 4651,322947

STD DEV: 4926,390129

MEDIAN: 1620,25

MIN: 100,364

MAX: 13927,336

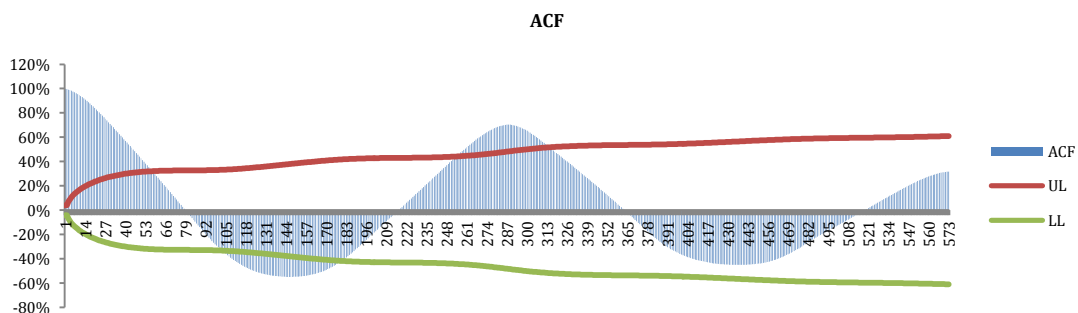
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.2:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά των στιγμιαίων μετρήσεων ενεργού ισχύος (Watt)

Stationary Test

Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
ADF	-2,9	0,4%	-1,9	TRUE	
No Const	-2,9	0,4%	-1,9	TRUE	
Const-Only	-4,3	0,1%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-4,3	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend^2	-4,5	0,0%	-1,6	TRUE	

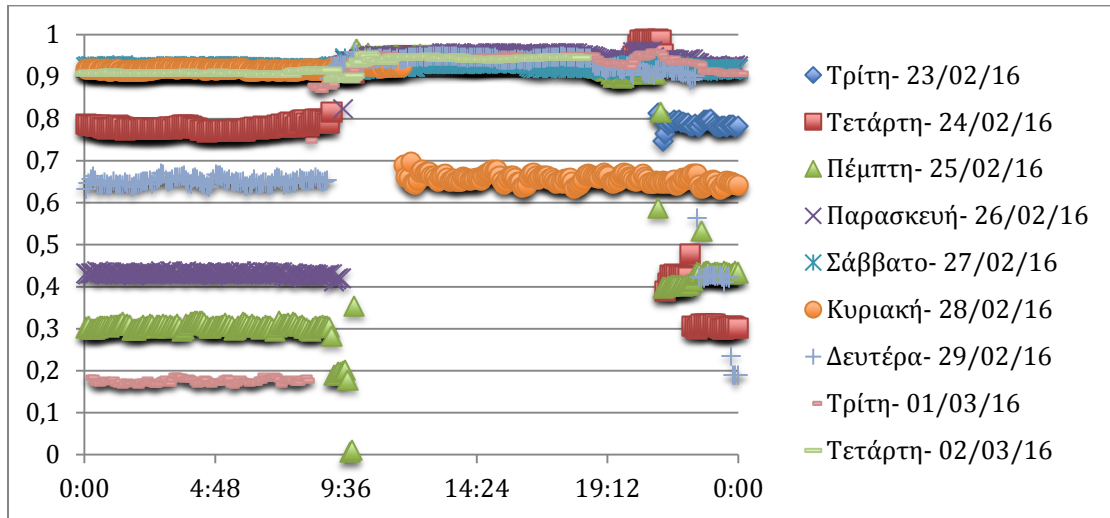
Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρολογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 573 (max lag K = 573) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 47 ώρες και 54' , οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.



**Διάγραμμα 4.2:** Κορρολόγραμμα της χρονοσειράς Ενεργού Ισχύος (Watt)

Από το παραπάνω διάγραμμα (4.2) παρατηρείται μία περιοδικότητα με περίοδο 287 διαστήματα ή  $287 \cdot 5/60 \approx 24$  ώρες. Αυτή η συμπεριφορά πρέπει να θεωρείται λογική, καθώς η λειτουργία των φωτιστικών είναι η ίδια σχεδόν κάθε μέρα.

**B. Συντελεστής Ισχύος**



**Διάγραμμα 4.3:** Διάγραμμα Συντελεστή Ισχύος για το σύστημα του φωτισμού

Από το παραπάνω Διάγραμμα (4.3) παρατηρείται μία μεγάλη διαφοροποίηση ανά ημέρα. Ακόμη την Κυριακή 28/02/16 ο συντελεστής ισχύος δεν παρουσιάζεται μειωμένος, όπως παρουσιάζεται τις άλλες μέρες για τις ώρες 11:00-20:00.

Με τη βοήθεια του εργαλείου NumXL της εφαρμογής του Excel προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος:

**Πίνακας 4.3:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς των στιγμιαίων μετρήσεων του συντελεστή ισχύος

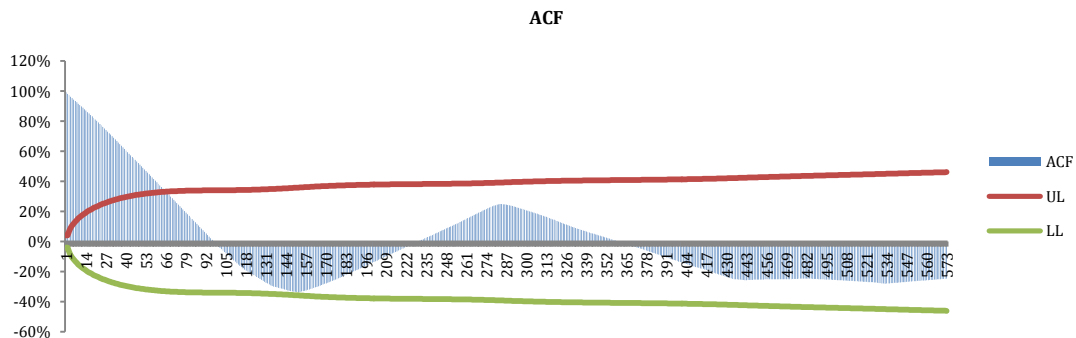
Descriptive Statistics		
<b>AVERAGE:</b>		0,782781291
<b>STD DEV:</b>		0,237704121
<b>MEDIAN:</b>		0.92
<b>MIN:</b>		0,006
<b>MAX:</b>		0,989
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.4:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά των στιγμιαίων μετρήσεων του συντελεστή ισχύος

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const		-1,0	30,5%	-1,9	FALSE
Const-Only	-3,4	1,2%	-2,9	TRUE	

Const + Trend	-3,5	0,0%	-1,6	TRUE
Const+Trend+Trend^2	-3,5	0,0%	-1,6	TRUE

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 573 (max lag K = 573) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 47 ωρών και 45 λεπτών, οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

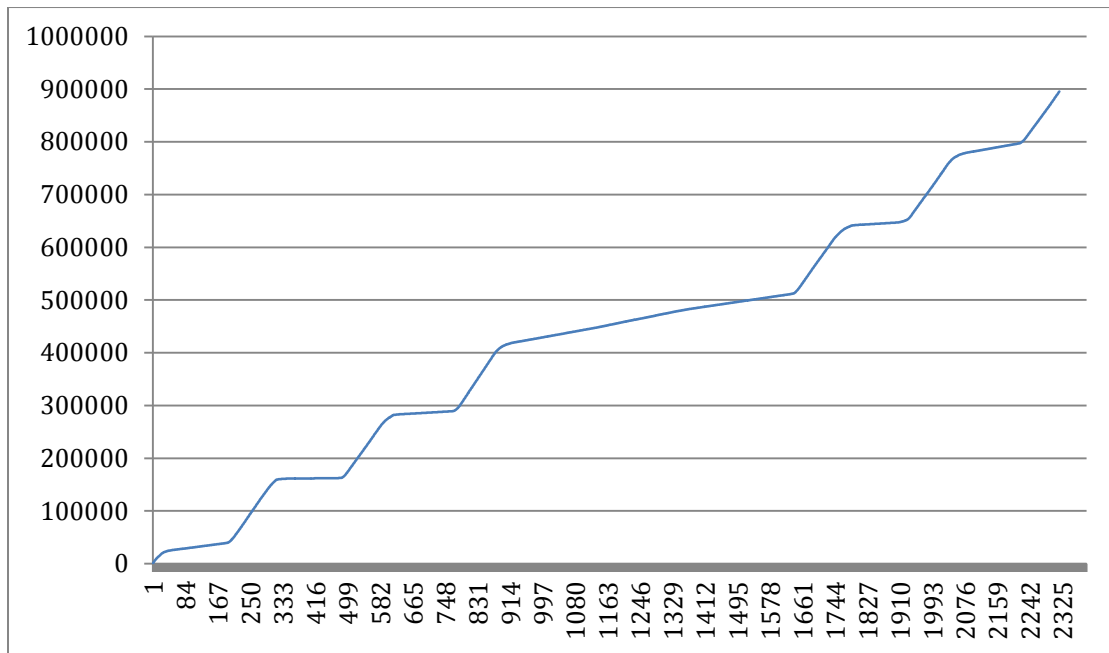


**Διάγραμμα 4.4:** Κορρελόγραμμα χρονοσειράς Συντελεστή Ισχύος για το σύστημα του φωτισμού

Και στο παραπάνω κορρελόγραμμα (Διάγραμμα 4.4) μπορεί να παρατηρηθεί η περιοδικότητα με περίοδο μίας ημέρας. Αυτή η περιοδικότητα δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική, καθώς δεν υπάρχουν σημεία εκτός των ορίων.

Ακόμη από το κορρελόγραμμα και θεωρώντας την περιοδικότητα μη σημαντική, φαίνεται ότι η διάρκεια μέτρησης πρέπει να είναι τουλάχιστον 65 διαστήματα διαχωρισμού, καθώς τότε το γράφημα πέφτει εντός των ορίων. Οπότε η διάρκεια μέτρησης πρέπει να είναι μεγαλύτερη των  $65 \cdot 5' = 5$  ώρες κα 25 λεπτά.

### C. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh)



**Διάγραμμα 4.5:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) για όλη την διάρκεια των μετρήσεων

Από το Διάγραμμα 4.5 της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται το γεγονός, που αναφέρθηκε και πιο πάνω, ότι κατά τις καθημερινές για τις εργάσιμες ώρες παρατηρείται μία αύξηση στην κατανάλωση και για τις μη εργάσιμες η κατανάλωση αυξάνει με σταθερό αλλά πολύ χαμηλό ρυθμό.

Από το διάγραμμα της ενεργού ισχύος διακρίνονται οι εξής περιοχές λειτουργίας:

- 1) Χρονικά διαστήματα ελάχιστης κατανάλωσης (21:00-09:00 για καθημερινές και για όλο το Σαββατοκύριακο)

Η περιοχή αυτή περιέχει την κατανάλωση στις μη εργάσιμες ώρες. Σε αυτήν παρατηρείται μία ελάχιστη κατανάλωση, η οποία πιθανόν να οφείλεται στον φωτισμό των διαδρόμων, στα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος φωτισμού.

- 2) Χρονικά διαστήματα έναρξης λειτουργίας συστήματος (09:00-11:00 τις καθημερινές)

Η περιοχή αυτή περιέχει την μεταβατική κατάσταση της ενεργού ισχύος από την ώρα που αρχίζει το εργάσιμο ωράριο μέχρι η κατανάλωση να φτάσει στην τιμή που αντιστοιχεί σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας της εγκατάστασης. Αυτή η κατάσταση θα μπορούσε πιθανόν να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τα φωτιστικά δεν έχουν την ιδανική θερμοκρασία λειτουργίας και από το γεγονός ότι το εργατικό δυναμικό, προσερχόμενο σταδιακά στον χώρο εργασίας, ανάβει τα φώτα σταδιακά.

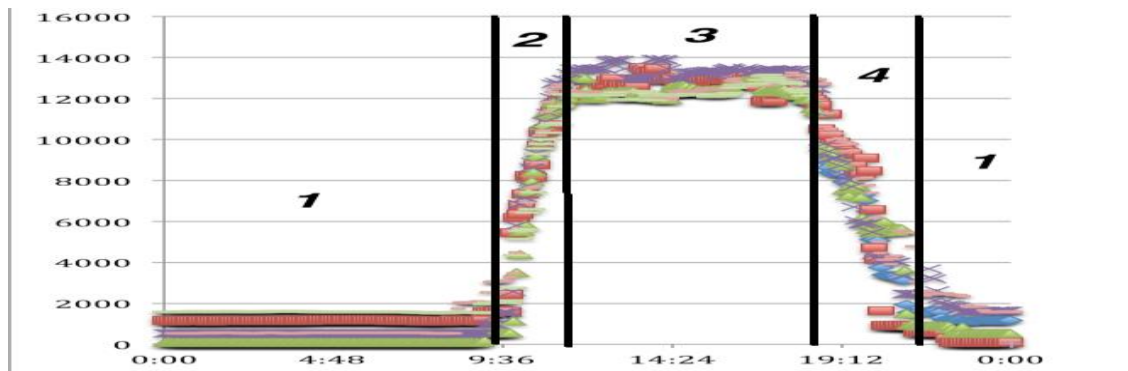
- 3) Χρονικά διαστήματα κατανάλωσης υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας (11:00-18:00 τις καθημερινές)

Είναι η περίοδος στην οποία όλο το ανθρώπινο δυναμικό βρίσκεται στα γραφεία και οι λάμπες λειτουργούν ιδανικά, με αποτέλεσμα η κατανάλωση να είναι σταθερή στην αντίστοιχη τιμή.

- 4) Χρονικά διαστήματα λήξης της λειτουργίας συστήματος (18:00-22:00 τις καθημερινές)

Η περιοχή αυτή περιέχει την μεταβατική κατάσταση της ενεργού ισχύος από την ώρα που λήγει το εργάσιμο ωράριο μέχρι η κατανάλωση να φτάσει την ελάχιστη τιμή της. Αυτή η κατάσταση θα μπορούσε πιθανόν να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι εργαζόμενοι φεύγουν από την εταιρία σταδιακά.

Οι παραπάνω περιοχές διακρίνονται ευκολότερα από το διάγραμμα ενεργού ισχύος αν αφαιρεθούν τα σαββατοκύριακα, όπως φαίνεται στο παρακάτω Διάγραμμα 4.6.



**Διάγραμμα 4.6:** Περιοχές λειτουργίας του φωτιστικού συστήματος τις καθημερινές

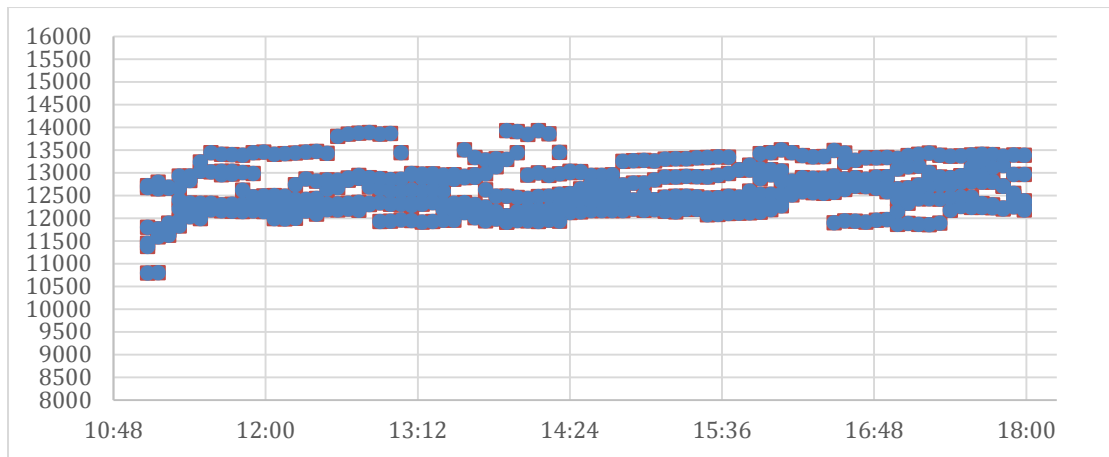
#### 4.1.2 Διαχωρισμός μετρήσεων σε εργάσιμες και μη εργάσιμες ώρες

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι μετρήσεις θεωρώντας ως εργάσιμες ώρες την περιοχή κανονικής λειτουργίας και ως μη εργάσιμες ώρες την περιοχή ελάχιστης κατανάλωσης. Οι μεταβατικές καταστάσεις (περιοχές λειτουργίας 2 και 4) δεν περιλαμβάνονται στην συγκεκριμένη ανάλυση.

##### I. Εργάσιμες ώρες

##### A. Ενεργός Ισχύς (W)

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4.7 παρουσιάζεται η ενεργός ισχύς κατά τις εργάσιμες ώρες. Συγκεκριμένα διακρίνεται ότι η ενεργός ισχύς διατηρεί μία σχεδόν σταθερή χρονοσειρά, γεγονός που κρίνεται λογικό καθώς το φορτίο φωτισμού στις εργάσιμες ώρες δεν αλλάζει.



**Διάγραμμα 4.7:** Ενεργός Ισχύς (W) τις εργάσιμες ώρες

Με τη βοήθεια του εργαλείου NumXL της εφαρμογής του Excel προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος σε W.

**Πίνακας 4.5:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς των στιγμιαίων μετρήσεων ενεργού ισχύος (Watt) κατά τις εργάσιμες ώρες

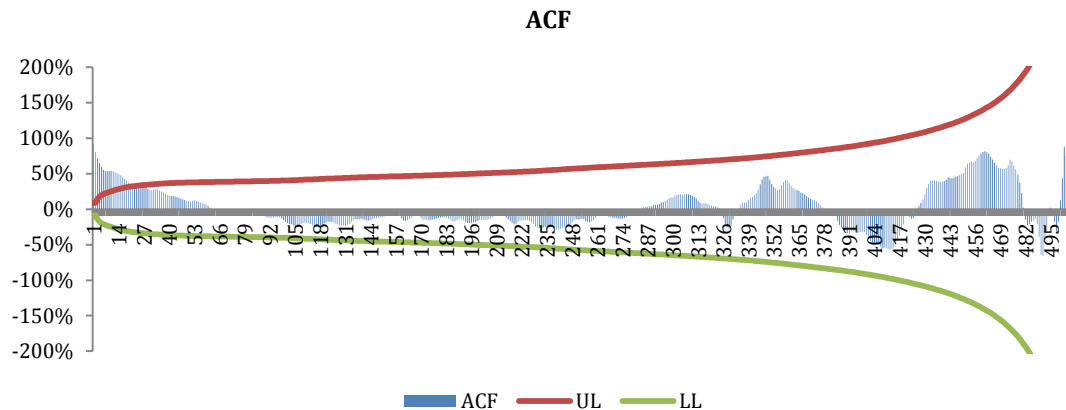
Descriptive Statistics		
<b>AVERAGE:</b>		12601,43
<b>STD DEV:</b>		490,1132
<b>MEDIAN:</b>		12523,19
<b>MIN:</b>		10791,29
<b>MAX:</b>		13927,34
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	3,52%	FALSE

**Πίνακας 4.6:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά των στιγμιαίων μετρήσεων ενεργού ισχύος(Watt) κατά τις εργάσιμες ώρες

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	0,0	69,8%	-1,9	FALSE	
Const-Only	-3,7	0,5%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-3,9	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend^2	-3,9	0,0%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα

διαχωρισμού = 516 (max lag K = 516) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 43 ωρών, οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

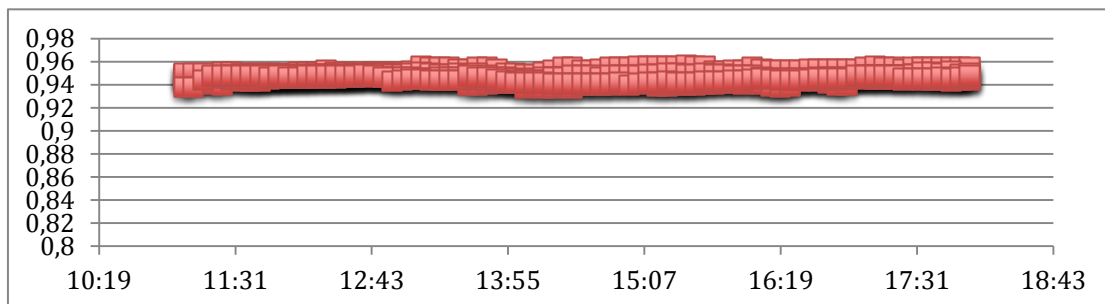


**Διάγραμμα 4.8:** Κορρελόγραμμα χρονοσειράς ενεργού ισχύος για τις εργάσιμες ώρες

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει από μια μέτρηση διάρκειας 43 ωρών ότι η χρονοσειρά έχει χαρακτηριστικά "τυχαίου περιπάτου" ("random walk") και όχι λευκού θορύβου. Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι για να ληφθεί ένα αποτέλεσμα που η συνεισφορά της αυτοσυσχέτισης στη διαμόρφωση της αβεβαιότητας του αποτελέσματος της μέτρησης να είναι ασήμαντη, η διάρκεια της μέτρησης καλό θα ήταν να είναι μεγαλύτερη των  $20 \times 5' = 100'$  ή αλλιώς 1 ώρας και 40 λεπτών.

#### B. Συντελεστής Ισχύος

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4.9 του συντελεστή ισχύος φαίνεται ότι ο συντελεστής ισχύος διατηρείται σταθερός κατά τις εργάσιμες ώρες. Ακόμη παρατηρείται ότι ο συντελεστής ισχύος κυμαίνεται σε υψηλές τιμές, καθώς η ελάχιστη μέτρηση ήταν 0,937 και η μέση τιμή ήταν περίπου 0,95.



**Διάγραμμα 4.9:** Συντελεστής ισχύος τις εργάσιμες ώρες

Πιο συγκεκριμένα, με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος.

**Πίνακας 4.8:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς των στιγμιαίων μετρήσεων του συντελεστή ισχύος κατά τις εργάσιμες ώρες

#### Descriptive Statistics



<b>AVERAGE:</b>	0,947213
<b>STD DEV:</b>	0,003971
<b>MEDIAN:</b>	0,95
<b>MIN:</b>	0,937
<b>MAX:</b>	0,957

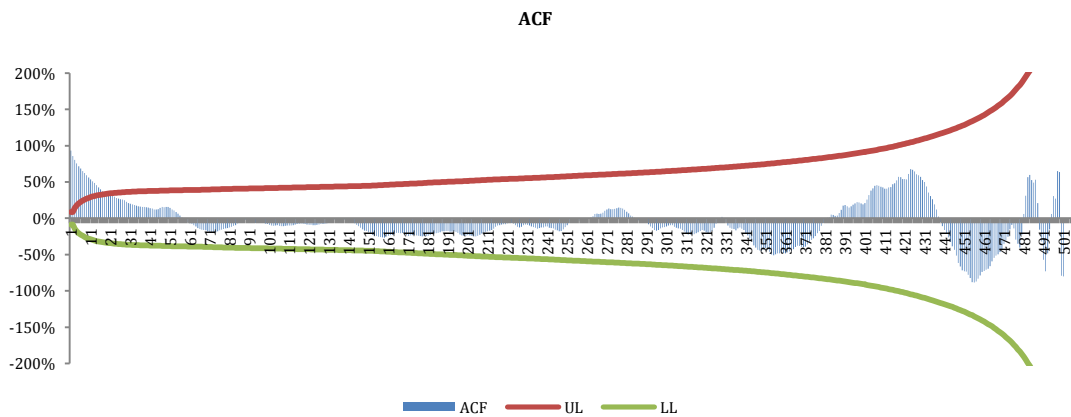
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	99,57%	TRUE

**Πίνακας 4.9:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά των στιγμιαίων μετρήσεων του συντελεστή ισχύος κατά τις εργάσιμες ώρες

**Stationary Test**

Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	0,0	67,5%	-1,9	FALSE	
Const-Only	-4,3	0,1%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-4,3	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend^2	-4,6	0,0%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελλογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 516 (max lag K = 516) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 43 ωρών, δεδομένου ότι ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.



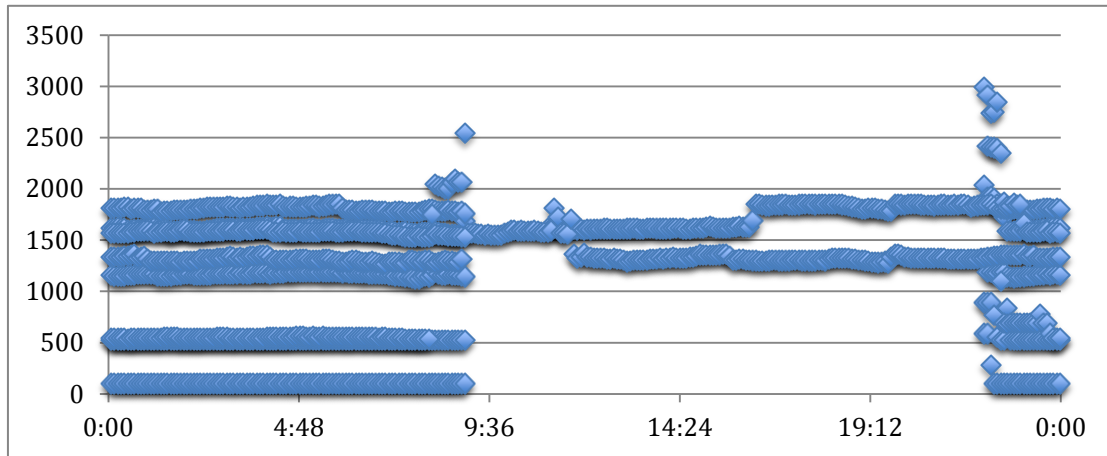
**Διάγραμμα 4.10:** Κορρελλόγραμμα χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος για τις εργάσιμες ώρες

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει από μια μέτρηση διάρκειας 43 ωρών ότι η χρονοσειρά έχει χαρακτηριστικά "τυχαίου περιπάτου" ("random walk") και όχι λευκού θορύβου. Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι για να ληφθεί ένα αποτέλεσμα που η συνεισφορά της αυτοσυσχέτισης στη διαμόρφωση της αβεβαιότητας του αποτελέσματος της μέτρησης να είναι ασήμαντη, η διάρκεια της μέτρησης καλό θα ήταν να είναι μεγαλύτερη των  $15 \cdot 5' = 75'$  ή αλλιώς 1 ώρα και 15 λεπτά.

II. Μη εργάσιμες ώρες

A. Ενεργός Ισχύς (W)

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4.11 παρουσιάζονται οι στιγμιαίες μετρήσεις της ενεργού ισχύος (Watt) κατά τις μη εργάσιμες ώρες.



**Διάγραμμα 4.11:** Ενεργός ισχύς (W) τις μη εργάσιμες ώρες.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι οι τιμές που εμφανίζονται στο διάστημα 09:00-22:00 αντιστοιχούν σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τα Σαββατοκύριακα. Ακόμη παρατηρείται ότι η ενεργός ισχύς έχει μεγάλη διακύμανση, συγκρίνοντας τα επίπεδα που καταγράφονται σε διαφορετικές ημέρες.

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος σε W.

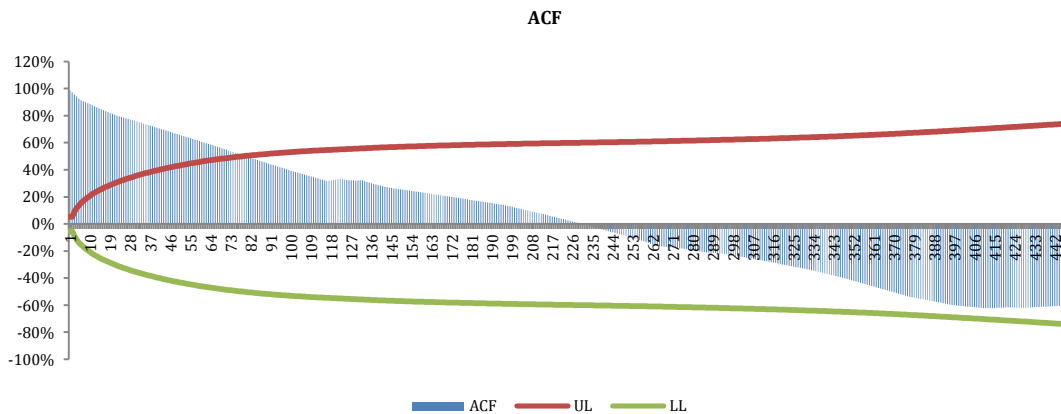
**Πίνακας 4.10:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς των στιγμιαίων μετρήσεων της ενεργού ισχύος (Watt) κατά τις μη εργάσιμες ώρες

Descriptive Statistics			
	<b>AVERAGE:</b>	1209,755	
	<b>STD DEV:</b>	567,4422	
	<b>MEDIAN:</b>	1324,17	
	<b>MIN:</b>	100,364	
	<b>MAX:</b>	2993,345	
Test		p-value	SIG?
	White-noise	0,00%	FALSE
	Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.11:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά των στιγμιαίων μετρήσεων της ενεργού ισχύος(Watt) κατά τις μη εργάσιμες ώρες

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
	No Const	-0,9	34,3%	-1,9	FALSE
	Const-Only	-2,4	14,7%	-2,9	FALSE
	Const + Trend	-2,6	0,4%	-1,6	TRUE
	Const+Trend+Trend^2	-3,0	0,2%	-1,6	TRUE

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα



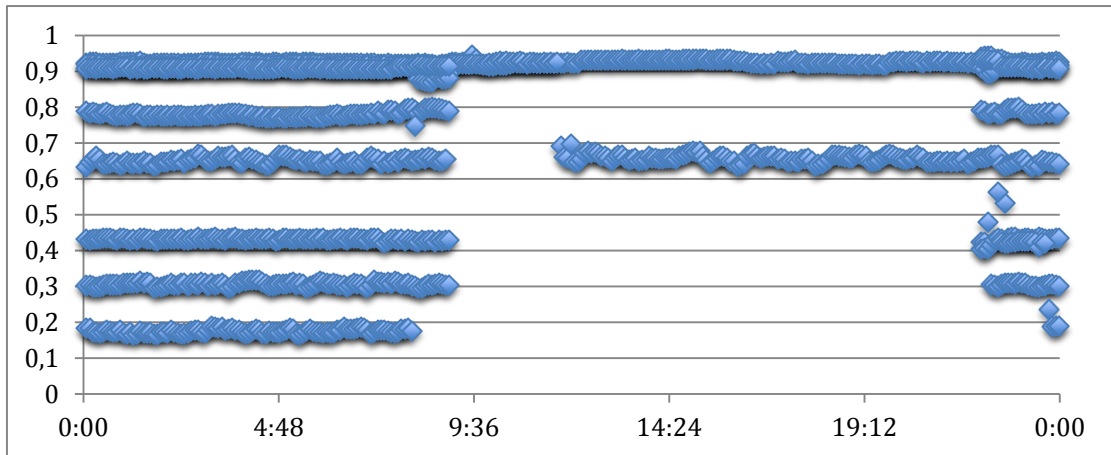
διαχωρισμού = 448 (max lag K = 448) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 37 ωρών και 20 λεπτών, δεδομένου ότι ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

**Διάγραμμα 4.12:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς ενεργού ισχύος για τις μη εργάσιμες ώρες

Από το παραπάνω διάγραμμα 4.12 προκύπτει από μια μέτρηση διάρκειας 37 ωρών και 20 λεπτών ότι η χρονοσειρά έχει χαρακτηριστικά "τυχαίου περιπάτου" ("random walk") και όχι λευκού θορύβου. Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι για να ληφθεί ένα αποτέλεσμα που η συνεισφορά της αυτοσυσχέτισης στη διαμόρφωση της αβεβαιότητας του αποτελέσματος της μέτρησης να είναι ασήμαντη, η διάρκεια της μέτρησης καλό θα ήταν να είναι μεγαλύτερη των  $70 \times 5' = 350'$  ή αλλιώς 5 ώρες και 50λεπτά.

**B. Συντελεστής Ισχύος**

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4.13 παρουσιάζονται οι στιγμιαίες μετρήσεις του συντελεστή ισχύος κατά την διάρκεια μη εργάσιμων ωρών. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται η διαφοροποίηση κατά την Κυριακή ,που επισημάνθηκε στην ενότητα 4.1.1 στην παρουσίαση των μετρήσεων του συντελεστή ισχύος καθώς και η μεγάλη διακύμανση του συντελεστή ισχύος για το διάστημα 22:00-09:00.



**Διάγραμμα 4.13:** Συντελεστής ισχύος για τις μη εργάσιμες ώρες

Και στο διάγραμμα 4.13 παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των μετρήσεων. Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος.

**Πίνακας 4.12:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς των στιγμιαίων μετρήσεων του συντελεστή ισχύος κατά μη εργάσιμες ώρες

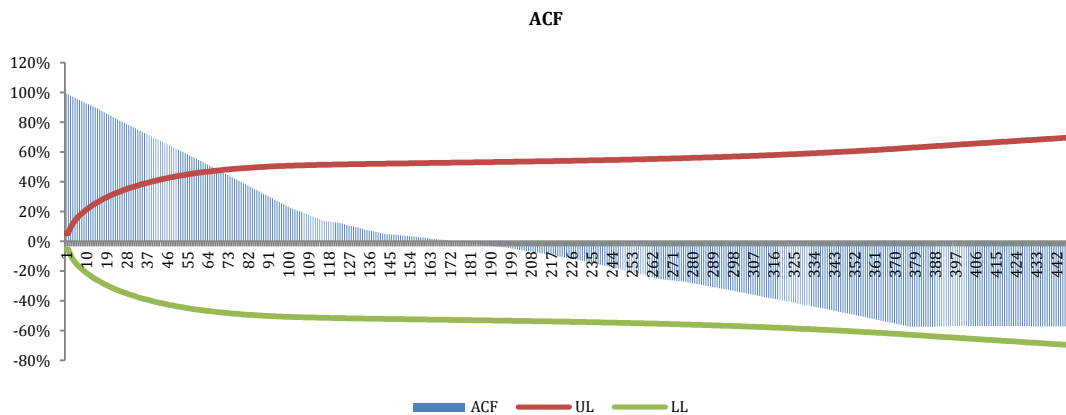
Descriptive Statistics			
		<b>AVERAGE:</b>	0,690415
		<b>STD DEV:</b>	0,254545
		<b>MEDIAN:</b>	0,78
		<b>MIN:</b>	0,165
		<b>MAX:</b>	0,944
Test		p-value	SIG?
	White-noise	0,00%	FALSE
	Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.13:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά των στιγμιαίων μετρήσεων του συντελεστή ισχύος κατά τις μη εργάσιμες ώρες

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-0,6	45,1%	-1,9	FALSE	
Const-Only	-2,1	23,5%	-2,9	FALSE	
Const + Trend	-2,2	1,5%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend^2	-2,2	1,3%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς

που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 448 (max lag K = 448) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 37 ωρών και 20 λεπτών, δεδομένου ότι ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.



**Διάγραμμα 4.14:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος για τις μη εργάσιμες ώρες

#### 4.1.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων του πειράματος στο σύστημα φωτισμού

Στην ενότητα αυτή διατίθεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στις ενότητες 4.1.1 και 4.1.2 και αφορούν το σύστημα του φωτισμού.

- 1) Η μέση κατανάλωση του φωτιστικού συστήματος τις εργάσιμες ώρες είναι  $P_{avg}=12601,43W$ , ενώ η μέγιστη κατανάλωση είναι:  $P_{max}=13927,34W$

Ως φωτιστικά σώματα χρησιμοποιούνταν 292 λάμπες τύπου Panel διαστάσεων 60x60 και ονομαστικής απόδοσης 4x18W και 3 φωτιστικά σχήματος σταυρού ονομαστικής απόδοσης 50W.

**Πίνακας 4.14:** Ανάλυση της θεωρητικής κατανάλωσης

	Αριθμός	Watt/φωτιστικό	W
Λάμπες Panel	292	72	21.024
Φωτιστικά σταυροί	3	50	150
Σύνολο κατανάλωσης			21.174

Η εταιρεία Vivartia αντικατέστησε τα 292 φωτιστικά πάνελ με 209 καινούργια τύπου led 60x60 ονομαστικής ισχύος 36W και τα φωτιστικά-σταυροί παρέμειναν ως είχαν.

**Πίνακας 4.15:** Ανάλυση της νέας θεωρητικής κατανάλωσης

	Αριθμός	Watt/φωτιστικό	W
Λάμπες Led	209	36	7.524
Φωτιστικά σταυροί	3	50	150

Σύνολο νέας κατανάλωσης	7.674
-------------------------	-------

**Πίνακας 4.16:** Σύγκριση των θεωρητικών καταναλώσεων

	W
Εγκατεστημένη Ισχύς	21.174
Νέα εγκατεστημένη Ισχύς	7.674
Ονομαστική εξοικονομούμενη Ισχύς	13.500

Ωστόσο, από οπτική καταγραφή που έγινε κατά τις εργάσιμες ώρες, μετρήθηκαν αναμμένα 177 φωτιστικά και 3 σταυροί. Το γεγονός ότι τα λειτουργικά φωτιστικά σώματα είναι λιγότερα από τα εγκατεστημένα μπορεί να εξηγηθεί από τυχόν καμένες λάμπες, καθώς και από ότι μπορεί οι εργαζόμενοι να μην ανάβουν όλα τα φώτα κ.α.

**Πίνακας 4.17:** Ανάλυση της κατανάλωσης με βάση τα μετρηθέντα φωτιστικά σώματα

	Αριθμός	Watt/φωτιστικό	W
Λάμπες Panel	177	72	12.744
Φωτιστικά σταυροί	3	50	150
Σύνολο μετρούμενης κατανάλωσης			12.894

Η τιμή της συνολικής ισχύος από τα καταμετρημένα φωτιστικά σώματα είναι κοντά στις μετρήσεις που έγιναν. Αυτό αποτελεί μία επιβεβαίωση για τη σωστή διεξαγωγή των μετρήσεων.

Στα συμπεράσματα της Διπλωματικής Εργασίας του Θεοφάνη Α. Μπιτσούνη, με θέμα "Τεχνοοικονομική ανάλυση και προτάσεις μείωσης κατανάλωσης ενέργειας σε εγκαταστάσεις επιχειρήσεων υγειονομικού ενδιαφέροντος", φαίνεται ότι οι μετρήσεις στα φωτιστικά συστήματα αποδίδουν αποτελέσματα με τιμές πολύ κοντά στα ονομαστικά μεγέθη. Λαμβάνοντας υπόψη το συγκεκριμένο συμπέρασμα και θεωρώντας ότι όλα τα νέα φωτιστικά λειτουργούν κανονικά προκύπτει η εξοικονομούμενη ισχύς,

**Πίνακας 4.18:** Σύγκριση της μετρηθείσας κατανάλωσης με την νέα θεωρητική

	W
Μετρούμενη μέση Ισχύς	12601,43
Νέα εγκατεστημένη Ισχύς	7.674
Εξοικονομούμενη Ισχύς	4927.43

- 2) Η μέση κατανάλωση του φωτιστικού συστήματος τις μη εργάσιμες είναι  $P_{avg}=1209,755W$

Αυτή η κατανάλωση πιθανόν προέρχεται από τα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος, από ξεχασμένα αναμμένα φώτα, από τα ελάχιστα απαραίτητα φώτα (π.χ. φώτα εξόδου έκτακτης ανάγκης).

Ακόμη παρατηρώντας τον συντελεστή ισχύος τα σαββατοκύριακα και συγκρίνοντας τον με όταν τα φώτα είναι σβηστά παρατηρείται ότι είναι μεγαλύτερος. Πιθανόν το σύστημα φωτισμού δεν κλείνει με τα ηλεκτρονικά των φωτιστικών να παραμένουν σε κατάσταση αναμονής.

## 4.2 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα κλιματισμού

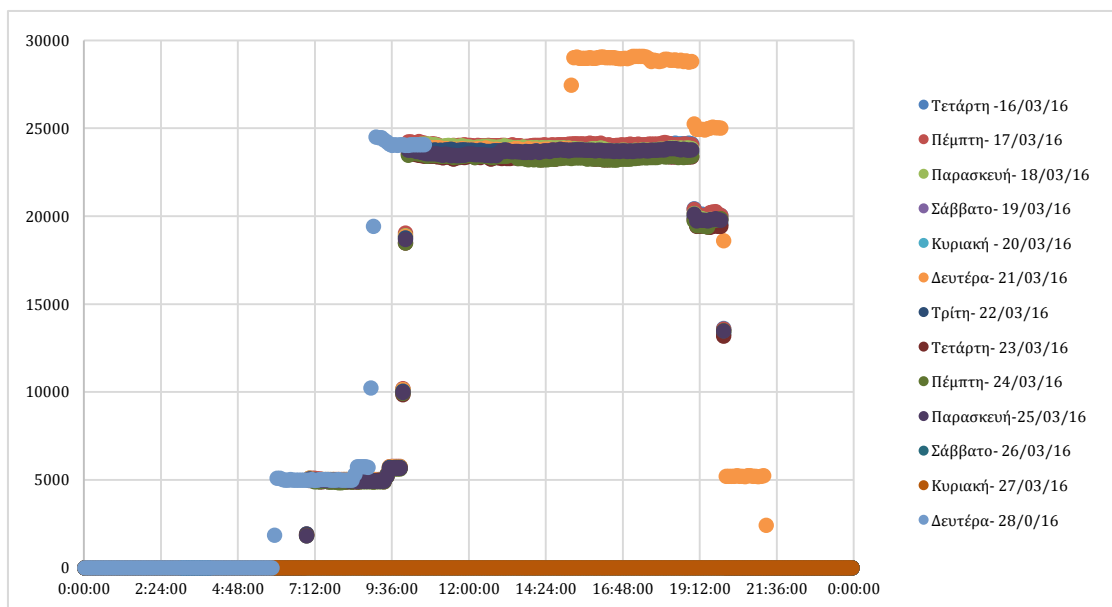
Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.3.2, το συγκεκριμένο πείραμα χωρίζεται σε διάφορα στάδια. Για την καλύτερη ανάλυση των μετρήσεων προτιμήθηκε ο αρχικός διαχωρισμός του στις μετρήσεις πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος και στις μετρήσεις με τη συσκευή ενεργοποιημένη. Στις υπο-ενότητες της ενότητας 4.2 παρουσιάζονται τα μετρούμενα μεγέθη (ενεργός ισχύς, συντελεστής ισχύος και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας) σε αντιστοιχία.

### 4.2.1 Παρουσίαση μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι μετρήσεις στο σύστημα κλιματισμού, όπως προέκυψαν από το πείραμα χωρίς κάποια επιπλέον επεξεργασία.

#### A. Ενεργός Ισχύς (W)

##### A1) Ενεργός Ισχύς πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.



**Διάγραμμα 4.15:** Ενεργός Ισχύς στο σύστημα κλιματισμού πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος πριν τη συσκευή διόρθωσης σε W.

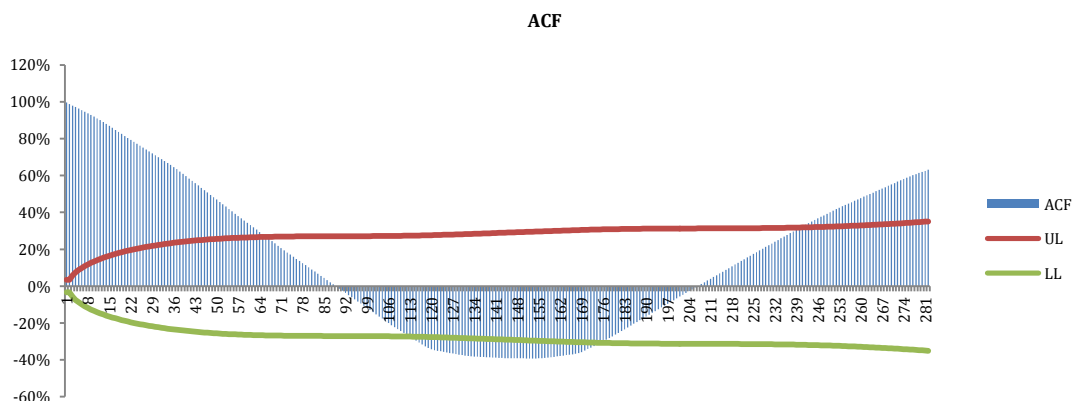
**Πίνακας 4.19:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος (Watt), πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	6911,78
	<b>STD DEV:</b>	10360,9
	<b>MEDIAN:</b>	0,00
	<b>MIN:</b>	0
	<b>MAX:</b>	29074,1
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.20:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά της ενεργού ισχύος, πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-3,8	0,1%	-1,9	TRUE	
Const-Only	-4,6	0,1%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-4,6	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend^2	-4,6	0,0%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη, αξιολογώντας το σύνολο των μετρήσεων διάρκειας 13 ημερών. Δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 282 (max lag K = 282) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 23,5 ωρών, δεδομένου ότι ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

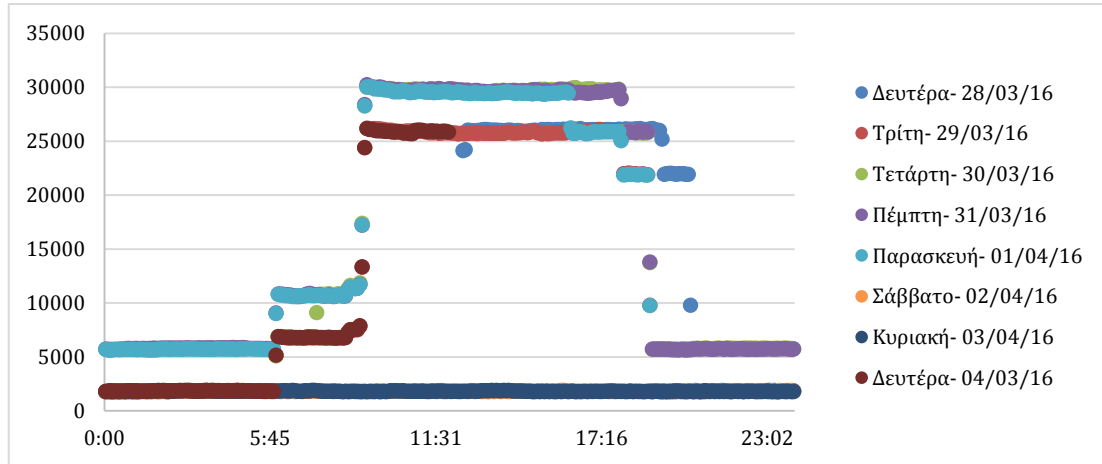


**Διάγραμμα 4.16:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος



Από το παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται περιοδικότητα 1 ημέρας, καθώς το κορρελόγραμμα φτάνει στην δεύτερη ακμή μετά από περίπου 285 διαστήματα διαχωρισμού, δηλαδή 24 ώρες.

A2) Ενεργός Ισχύς (W) μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.



**Διάγραμμα 4.17:** Ενεργός ισχύς στο σύστημα κλιματισμού με τη συσκευή διόρθωσης συντελεστή ισχύος ενεργοποιημένη

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος με τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι. σε W.

**Πίνακας 4.21:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος (Watt) όταν η συσκευή διόρθωσης Σ.Ι. ήταν ενεργοποιημένη

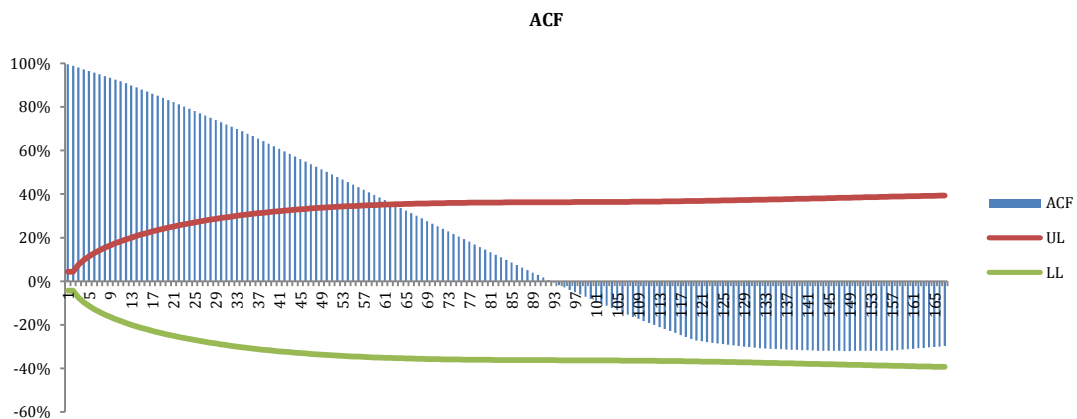
Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	10721
	<b>STD DEV:</b>	11322,19
	<b>MEDIAN:</b>	5708,18
	<b>MIN:</b>	1756,364
	<b>MAX:</b>	30234,55
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.22:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά της ενεργού ισχύος (Watt) όταν η συσκευή διόρθωσης συντελεστή ισχύος ήταν ενεργοποιημένη

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-2,3	2,2%	-1,9	TRUE	
Const-Only	-3,2	2,2%	-2,9	TRUE	

Const + Trend	-3,1	0,1%	-1,6	TRUE
Const+Trend+Trend^2	-3,1	0,1%	-1,6	TRUE

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη αξιολογώντας το σύνολο των μετρήσεων διάρκειας 8 ημερών. Δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 167 (max lag K = 167) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 13 ωρών και 55 λεπτών, οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.



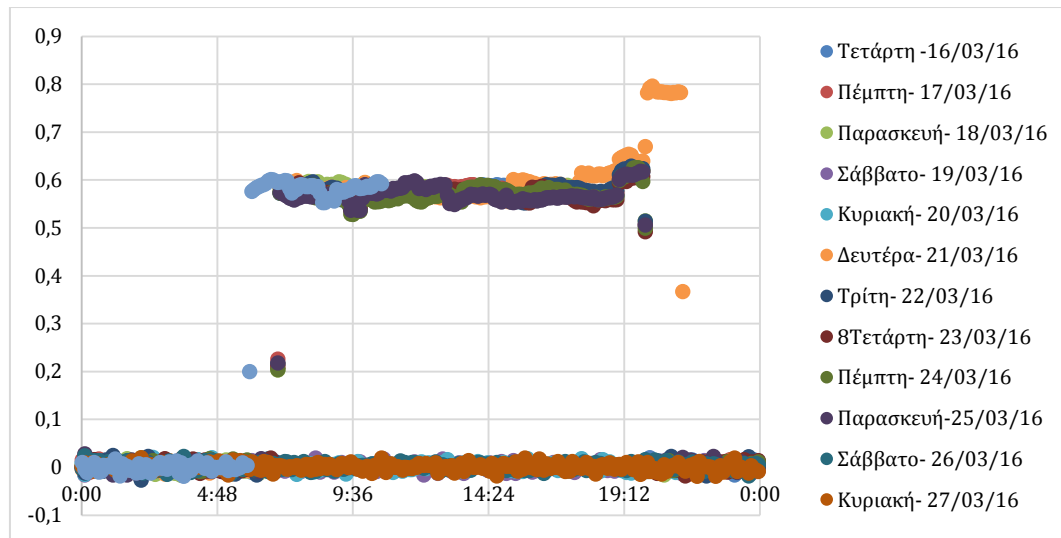
**Διάγραμμα 4.18:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος με τη συσκευή διόρθωσης όταν η δεύτερη ήταν ενεργοποιημένη

Από τα διαγράμματα 4.15 και 4.16 φαίνεται ότι η συμπεριφορά του συστήματος είναι ίδια για κάθε μέρα, εκτός από τα σαββατοκύριακα όπου παρατηρείται ότι το σύστημα είναι κλειστό.

Ωστόσο μία αρχική παρατήρηση είναι ότι η χρονοσειρά της ενεργού ισχύος πριν τη συσκευή διόρθωσης είναι μηδενική, όταν η συσκευή είναι κλειστή, ενώ αντίστοιχα η χρονοσειρά των αποτελεσμάτων των μετρήσεων για την ενεργό ισχύ δεν αγγίζει ποτέ το μηδέν. Ακόμη, η μέγιστη τιμή της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος φαίνεται μεγαλύτερη με τη συσκευή διόρθωσης.

B. Συντελεστής Ισχύος

B1) Συντελεστής ισχύος πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.



**Διάγραμμα 4.19:** Συντελεστής ισχύος στο σύστημα κλιματισμού πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος πριν τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι.

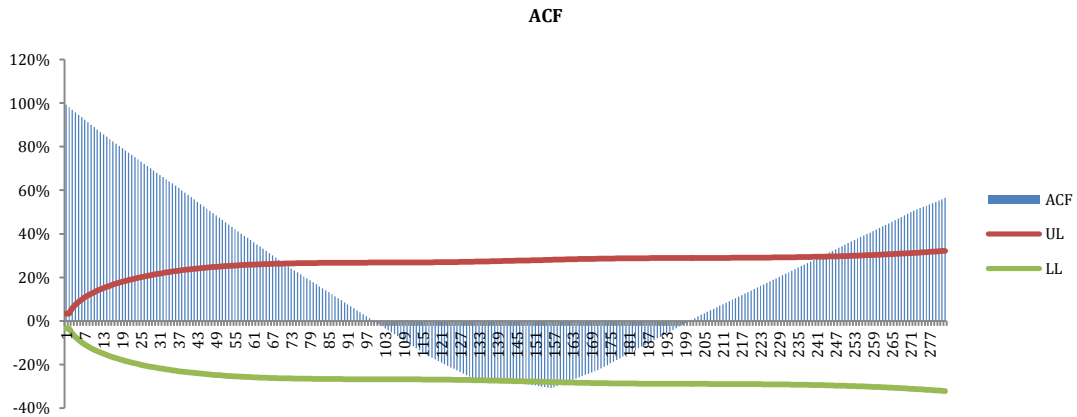
**Πίνακας 4.23:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	0,211589
	<b>STD DEV:</b>	0,278285,19
	<b>MEDIAN:</b>	0,01
	<b>MIN:</b>	-0,027
	<b>MAX:</b>	0,796
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.24:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά του συντελεστή ισχύος πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

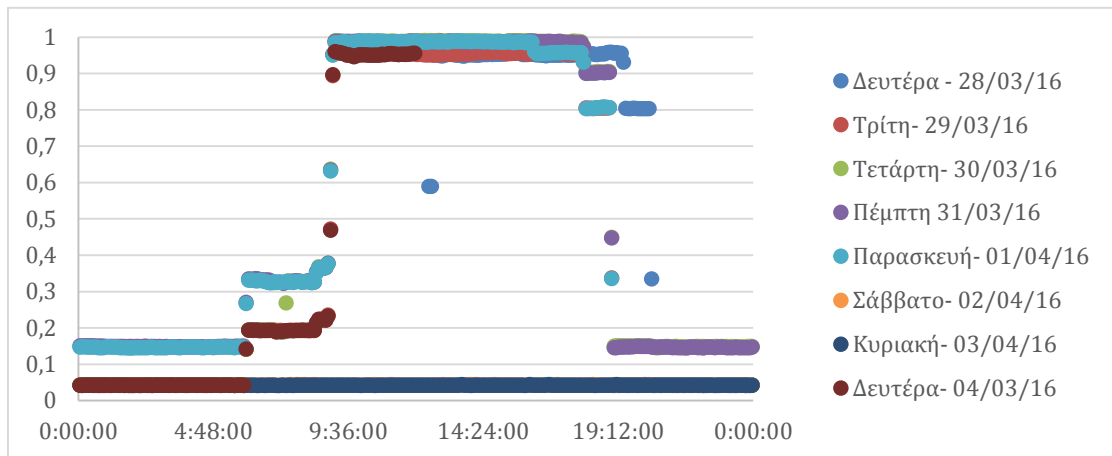
Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-3,5	0,1%	-1,9	TRUE	
Const-Only	-4,4	0,1%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-4,4	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend^2	-4,4	0,0%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη, αξιολογώντας το σύνολο των μετρήσεων διάρκειας 13 ημερών. Δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 282 (max lag K = 282) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 23,5 ωρών, οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.



**Διάγραμμα 4.20:** Κορρελόγραμμα χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

B2) Συντελεστής ισχύος μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.



**Διάγραμμα 4.21:** Συντελεστής ισχύος στο σύστημα κλιματισμού μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος με τη συσκευή διόρθωσης.

**Πίνακας 4.25:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

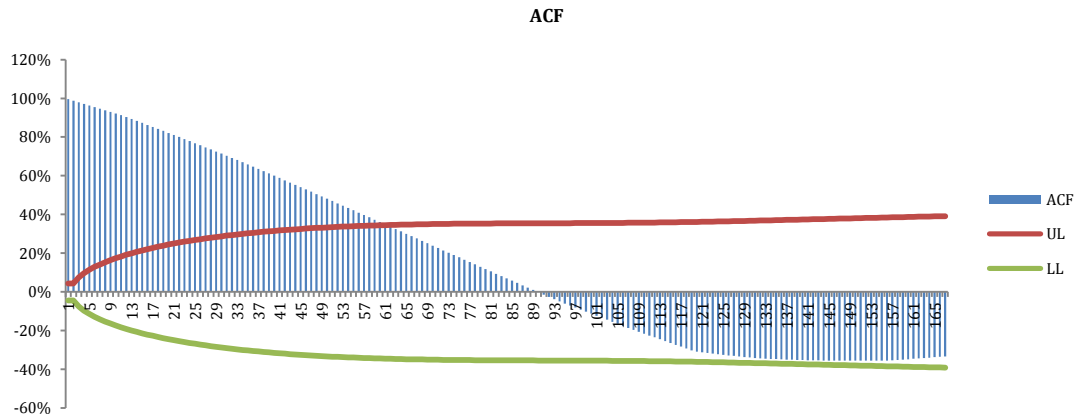
Descriptive Statistics		
<b>AVERAGE:</b>		0,352522
<b>STD DEV:</b>		0,404139
<b>MEDIAN:</b>		0,15
<b>MIN:</b>		0,042
<b>MAX:</b>		0,991
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.26:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά του συντελεστή ισχύος μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-2,5	1,4%	-1,9	TRUE	
Const-Only	-3,3	1,5%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-3,3	0,1%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend^2	-3,3	0,1%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη, αξιολογώντας το σύνολο των μετρήσεων διάρκειας 8 ημερών. Δίνεται η

δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 167 (max lag K = 167) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 13 ωρών και 55 λεπτών, οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.



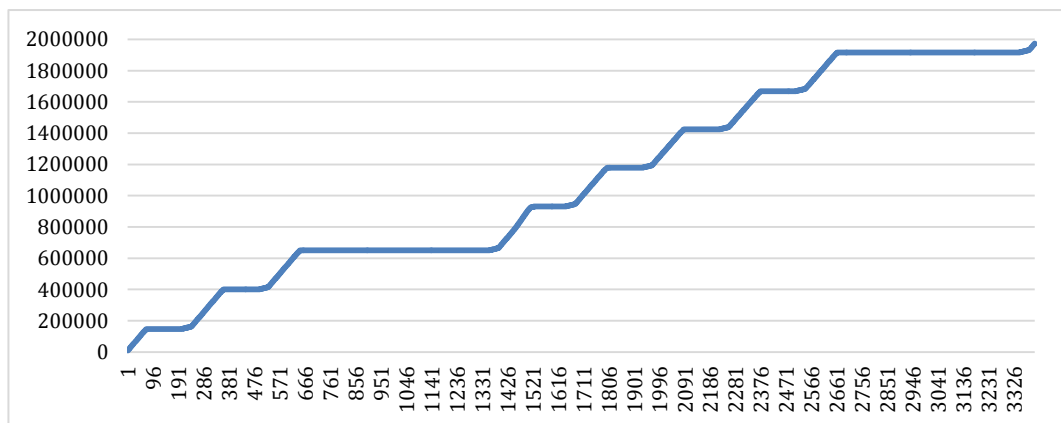
**Διάγραμμα 4.22:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.

Από τα Διαγράμματα 4.19 και 4.21 φαίνεται ότι η συμπεριφορά του συστήματος είναι ίδια για κάθε μέρα, εκτός από τα σαββατοκύριακα όπου παρατηρείται ότι το σύστημα είναι κλειστό.

Επίσης παρατηρείται ότι η χρονοσειρά του συντελεστή ισχύος πριν τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι. είναι μηδενική, όταν το σύστημα είναι κλειστό, ενώ αντίστοιχα όταν λειτουργεί η χρονοσειρά δεν αγγίζει ποτέ το μηδέν. Ακόμη, με την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης, παρατηρείται μία βελτίωση του συντελεστή ισχύος όταν ο κλιματισμός βρίσκεται σε λειτουργία σε σχέση με την περίοδο που είναι ανενεργή η συγκεκριμένη συσκευή.

### C. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh)

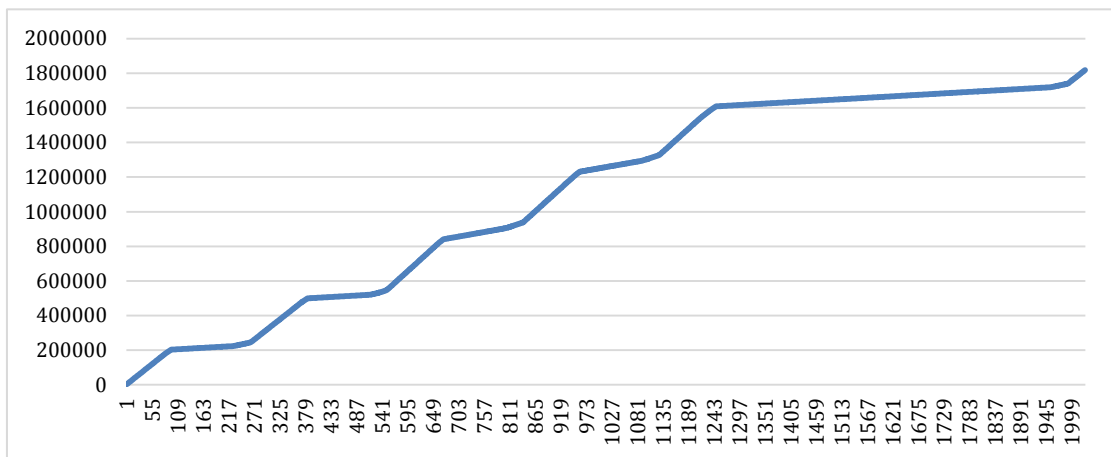
**C1.** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.



**Διάγραμμα 4.23:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) για την διάρκεια των μετρήσεων πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Στο παραπάνω διάγραμμα επιβεβαιώνεται ευκολότερα η αρχική παρατήρηση της μηδενικής κατανάλωσης όταν το σύστημα κλιματισμού είναι κλειστό πριν τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι. Ειδικότερα αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι καμπύλη του παραπάνω διαγράμματος είναι παράλληλη στον άξονα x κατά τη διάρκεια των διαστημάτων μη λειτουργίας του κλιματισμού.

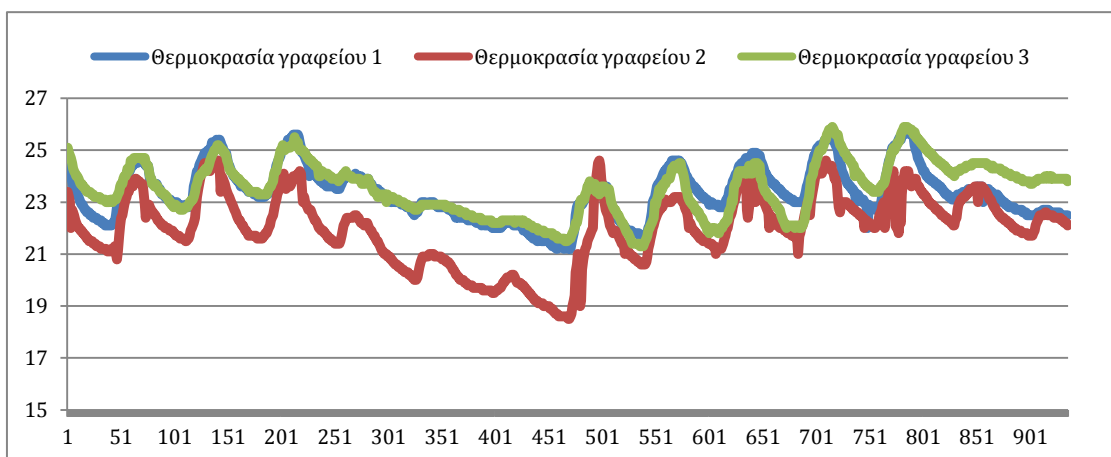
**C2.** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.



**Διάγραμμα 4.24:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) για την διάρκεια των μετρήσεων μετά την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι.

Στο παραπάνω διάγραμμα επιβεβαιώνεται η αρχική παρατήρηση της μη μηδενικής κατανάλωσης όταν το σύστημα κλιματισμού δεν λειτουργεί. Ειδικότερα, από τη σύγκριση των Διαγραμμάτων 4.24 κα 4.25 φαίνεται το γεγονός ότι η καμπύλη της ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση της συσκευής διόρθωσης Σ.Ι. δεν είναι παράλληλη στον άξονα x στα διαστήματα μη λειτουργίας του κλιματισμού.

#### D. Εσωτερική θερμοκρασία

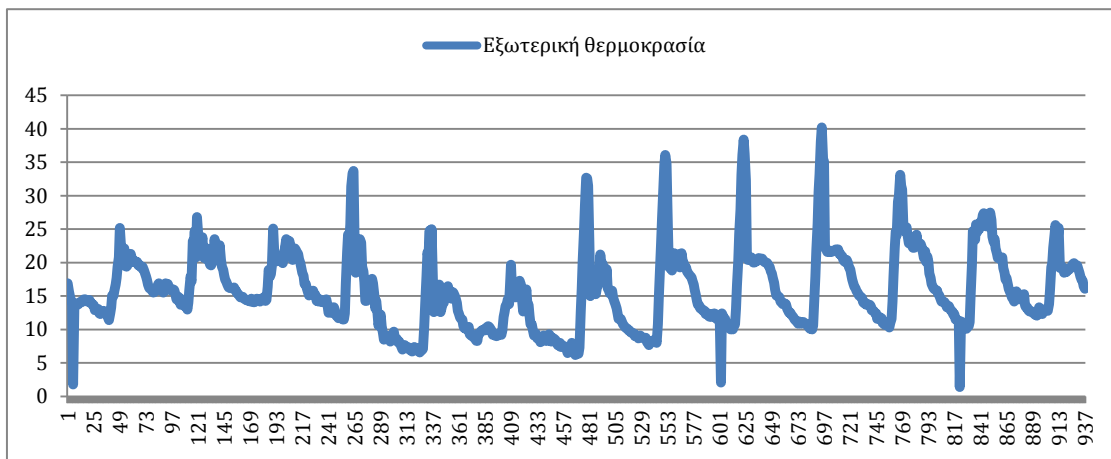


**Διάγραμμα 4.25:** Μετρήσεις θερμοκρασιών στα γραφεία

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η περιοδική συμπεριφορά των εσωτερικών θερμοκρασιών στα γραφεία. Παρατηρούνται 5 αυξομειώσεις διάρκειας περίπου 70

μετρήσεων, δηλαδή 24 ωρών και έπειτα μία μείωση στην θερμοκρασία για περίπου 140 μετρήσεις, δηλαδή 48 ώρες. Από τα παραπάνω διακρίνεται η αναμενόμενη περιοδικότητα ανά ημέρα τις καθημερινές, καθώς το σύστημα κλιματισμού ενεργοποιείται όταν ξεκινάει το εργάσιμο ωράριο και απενεργοποιείται μόλις λήξει το εργάσιμο ωράριο. Διακρίνεται επίσης η πτώση στην θερμοκρασία κατά την διάρκεια του Σαββατοκύριακου, κατά τη διάρκεια του οποίου το σύστημα κλιματισμού είναι μη ενεργό.

#### Ε. Θερμοκρασία περιβάλλοντος – Εξωτερική



Διάγραμμα 4.26: Μετρήσεις εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παραπάνω διάγραμμα των εξωτερικών θερμοκρασιών παρατηρείται η αναμενόμενη περιοδικότητα της μίας ημέρας. Ειδικότερα παρατηρήθηκε ότι η εξωτερική θερμοκρασία φτάνει στην ελάχιστη τιμή της περίπου στις 03:00 και αρχίζει να αυξάνεται μέχρι την μέγιστη τιμή της περίπου στις 09:30.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήθηκε αλλαγή του καιρού. Συγκεκριμένα κατά την 2<sup>η</sup> βδομάδα η θερμοκρασία τις ώρες ηλιοφάνειας έφτανε σε πολύ υψηλότερα επίπεδα και αντίστοιχα κατά την απουσία ηλιοφάνειας η θερμοκρασία έπεφτε πιο χαμηλά.

Από τα διαγράμματα της ενεργού ισχύος και του συντελεστή ισχύος, διακρίνονται οι εξής καταστάσεις για το σύστημα του κλιματισμού:

#### I. Κατάσταση μη λειτουργίας (Καθημερινές: 20:00-05:50 και Σαββατο-κύριακα)

Είναι οι περιοχές στις οποίες η ενεργός ισχύς βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος είναι μηδέν, ενώ μετά την ενεργοποίηση είναι της τάξης του 1/6 από την μέγιστη τιμή της).

#### II. Κατάσταση λειτουργίας (Καθημερινές: 05:50-20:00)

Είναι η περίοδος που δουλεύει ο κλιματισμός.



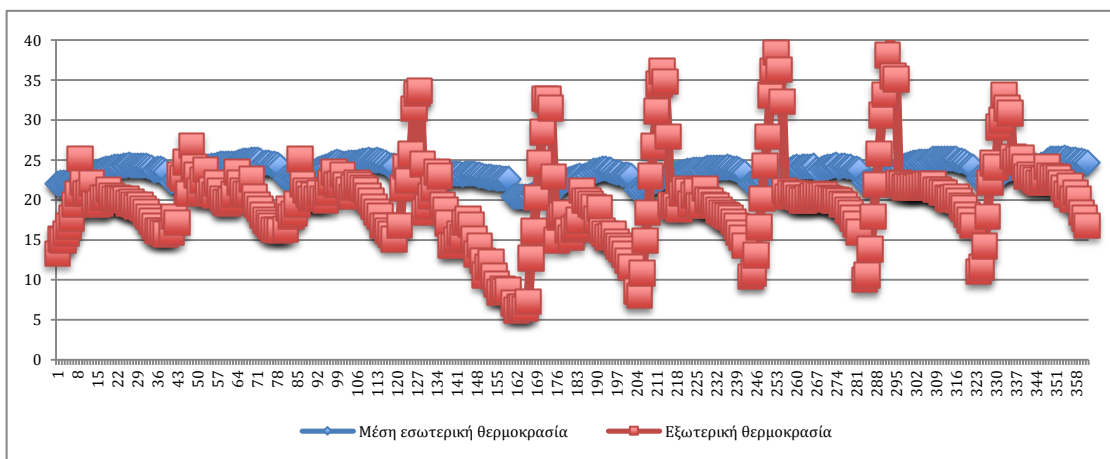
#### 4.2.2 Διαχωρισμός στις καταστάσεις λειτουργίας και μη λειτουργίας

Σε αυτό το στάδιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας κρίθηκε ορθότερο να αναλυθούν οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, με σκοπό την εύρεση των περιόδων μεταβατικής λειτουργίας (ενεργοποίηση – απενεργοποίηση) και του διαχωρισμού τους από τις περιόδους κανονικής λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού. Με αυτό τον τρόπο – και μόνο - γίνεται δυνατή η σύγκριση της ποιότητας ισχύος με και χωρίς τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι.

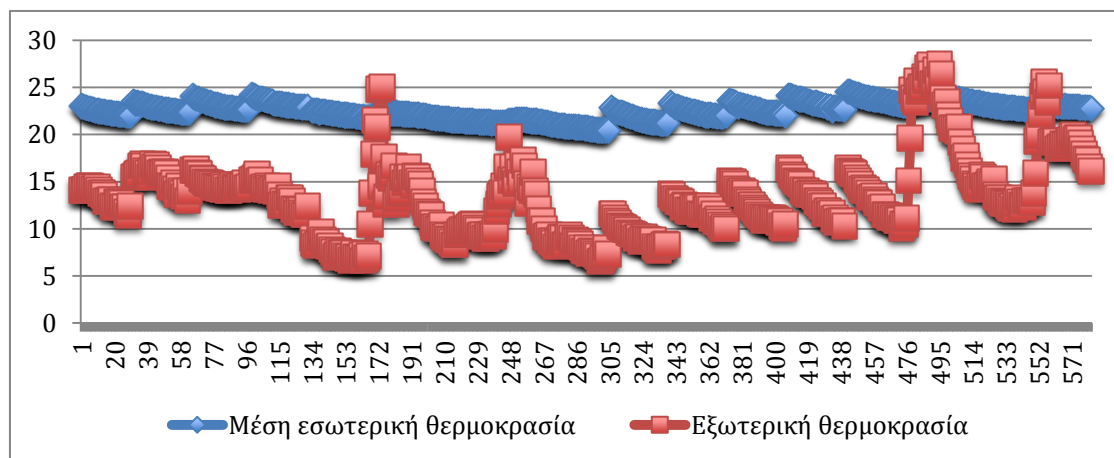
Από την προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκε ότι καταστάσεις λειτουργίας του κλιματισμού διακρίνονται σε:

- Μη λειτουργίας: **00:00-05:50, 20:00-00:00**
- Λειτουργίας: **05:50-20:00**

Με βάση τις καταστάσεις αυτές, παρουσιάζονται στα δύο παρακάτω διαγράμματα οι μετρήσεις της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας:



**Διάγραμμα 4.27:** Μετρήσεις εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας στην κατάσταση λειτουργίας



**Διάγραμμα 4.28:** Μετρήσεις εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας στην κατάσταση μη λειτουργίας

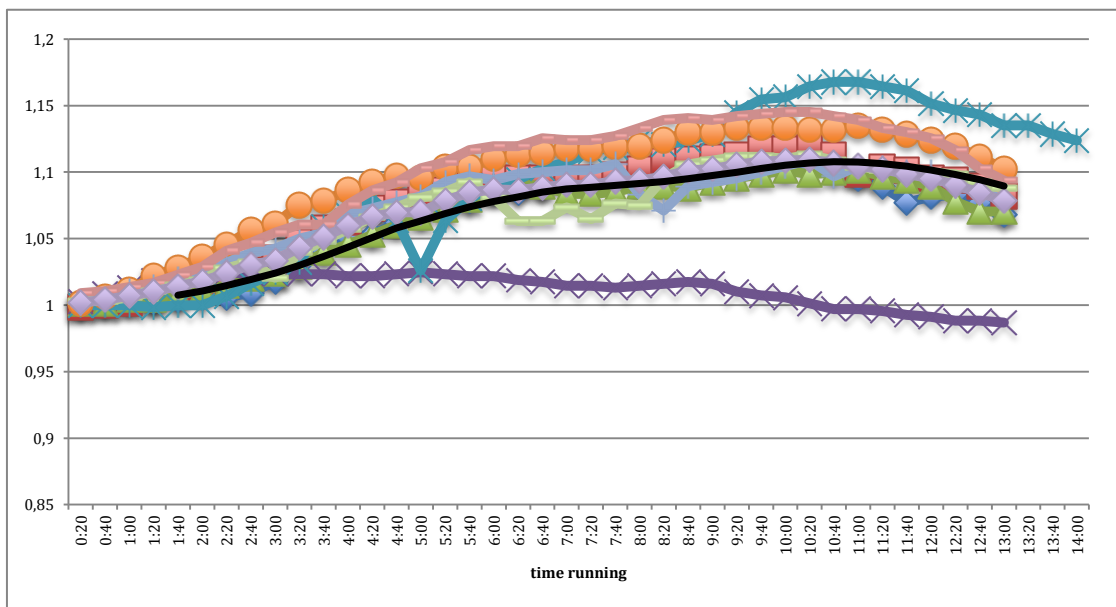
λειτουργίας

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι οι θερμοκρασίες καταγράφονταν κάθε 20 λεπτά ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε 5 λεπτά. Επειδή η μέτρηση θερμοκρασίας αποδίδεται σε μια δεδομένη στιγμή του άξονα του χρόνου, στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής, θεωρήθηκε ότι κάθε μέτρηση θερμοκρασίας ισχύει για 10 λεπτά πριν την μέτρηση μέχρι 10 λεπτά μετά την μέτρηση. Παραδείγματος χάριν, θεωρείται ότι η θερμοκρασία από τις 12:10 μέχρι τις 12:30 ήταν η θερμοκρασία που μετρήθηκε στις 12:20.

Επίσης, δεν κρίθηκε απαραίτητη η επεξεργασία των θερμοκρασιών κατά την περίοδο μη λειτουργίας του κλιματισμού.

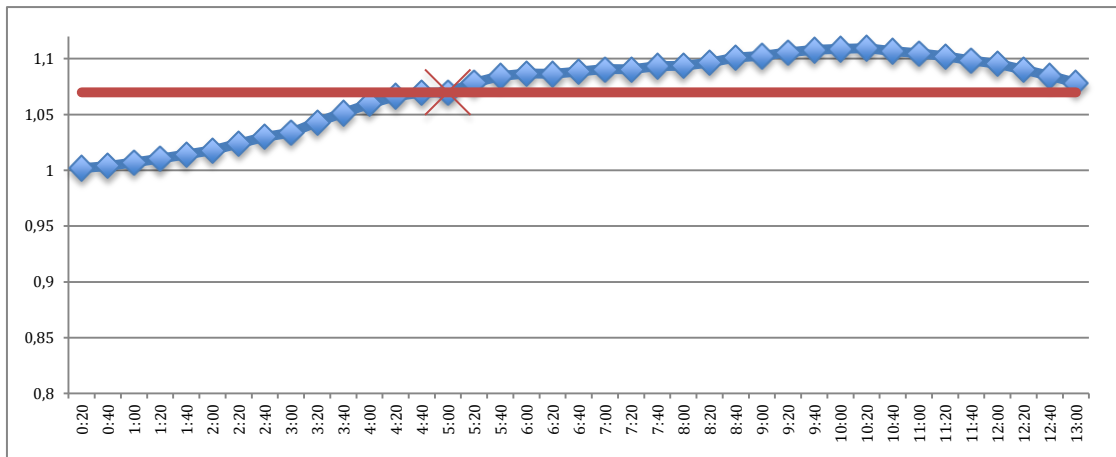
Για την ευκολότερη ανάλυση προτιμήθηκε η ανάλυση της θερμοκρασίας σε σχέση με ένα εναλλακτικό μέγεθος χρόνου, αυτού που προκύπτει με υπολογισμό του χρόνου που πέρασε μετά την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού.

### Φάση λειτουργίας

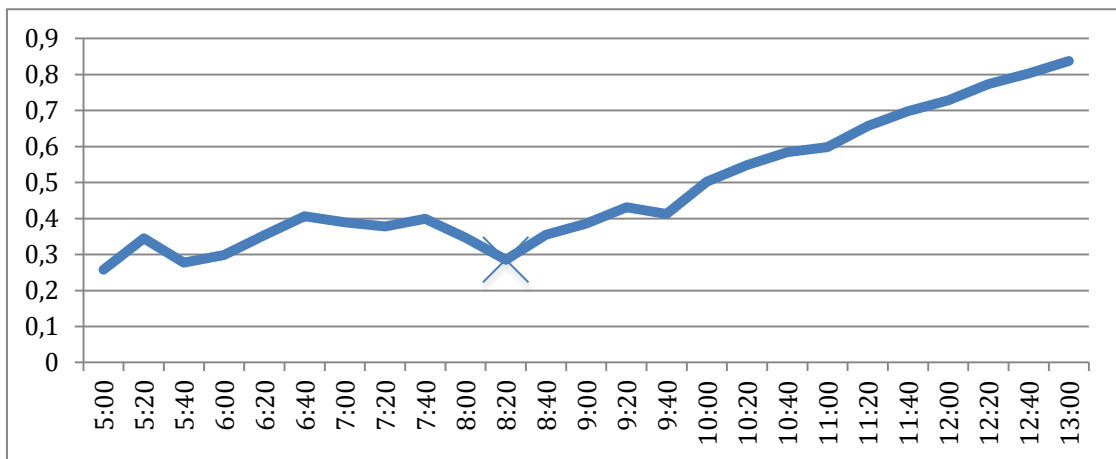


**Διάγραμμα 4.29:**  $\frac{T_i}{T_o}$ , όπου  $T_i$  η στιγμιαία εσωτερική θερμοκρασία και  $T_o$  η εσωτερική θερμοκρασία όταν ενεργοποιείται το σύστημα κλιματισμού

Από το διάγραμμα 4.29 παρατηρείται ότι όλες τις μέρες η θερμοκρασία διατηρεί περίπου την ίδια μορφή. Η μαύρη γραμμή εκφράζει την μέση τιμή του  $T_i/T_o$  ως προς τον χρόνο που πέρασε από την στιγμή που άρχισε να λειτουργεί ο κλιματισμός. Ακόμη, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, ο λόγος  $T_i/T_o$  σχεδόν σταθεροποιείται μετά από 5 ώρες λειτουργίας. Οπότε θεωρείται μία μεταβατική περίοδος διάρκειας 5 ωρών από την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού. Και αφού οι εργάσιμες ώρες ξεκινούν από τις 06:50, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η μελέτη πρέπει να επικεντρωθεί στα χρονικά διαστήματα μετά τις 11:50.



**Διάγραμμα 4.30:** Μέση τιμή του λόγου  $T_i/T_o$



**Διάγραμμα 4.30:**  $\Delta T_i/\Delta T_o$  ως προς τον χρόνο που έχει περάσει από την έναρξη λειτουργίας του κλιματισμού

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται μία επιπλέον μεταβατική περίοδος, που ξεκινάει 8 ώρες και 20 λεπτά μετά την έναρξη λειτουργίας του κλιματισμού.

Τελικά θεωρήθηκε ως ιδανική περίοδος, για την σύγκριση της Ενεργού Ισχύος, πριν και μετά την λειτουργία της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος, η κατάσταση λειτουργίας χωρίς τις μεταβατικές περιόδους, δηλαδή στο χρονικό διάστημα 11:50-15:10.

### 4.2.3 Διαχωρισμός μετρήσεων σε εργάσιμες και μη εργάσιμες ώρες

Τελικά αποφασίστηκε ο διαχωρισμός των ωρών της ημέρας (καθημερινής) σε δύο διαστήματα:

- Εργάσιμες ώρες: 11:50-15:10
- Μη εργάσιμες ώρες: 20:00-05:50

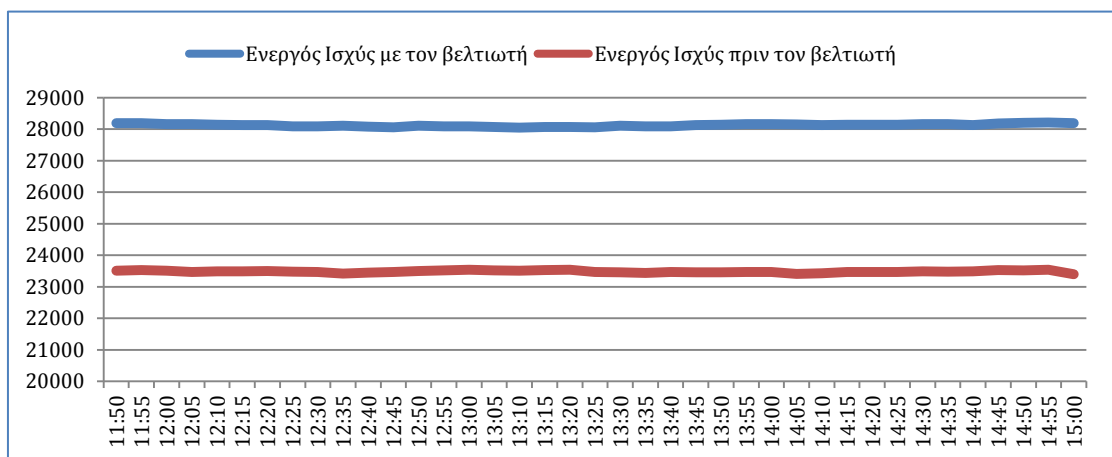
Σε καμία από τις παραπάνω καταστάσεις δεν συμπεριλαμβάνονται οι μεταβατικές περίοδοι.

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η τελική ανάλυση στο φορτίο του συστήματος κλιματισμού, με σκοπό την εξαγωγή παρατηρήσεων και συμπερασμάτων. Ακόμη προσφέρεται μία αξιολόγηση του συστήματος βελτίωσης ποιότητας ενέργειας, που ζητήθηκε από την εταιρεία Olympic Catering A.B.E.E.

#### A. Εργάσιμες ώρες

I. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από παρουσία του ανθρώπινου δυναμικού στα γραφεία (φορτίο υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας) και η διαφορά θερμοκρασίας σχεδόν σταθερή.

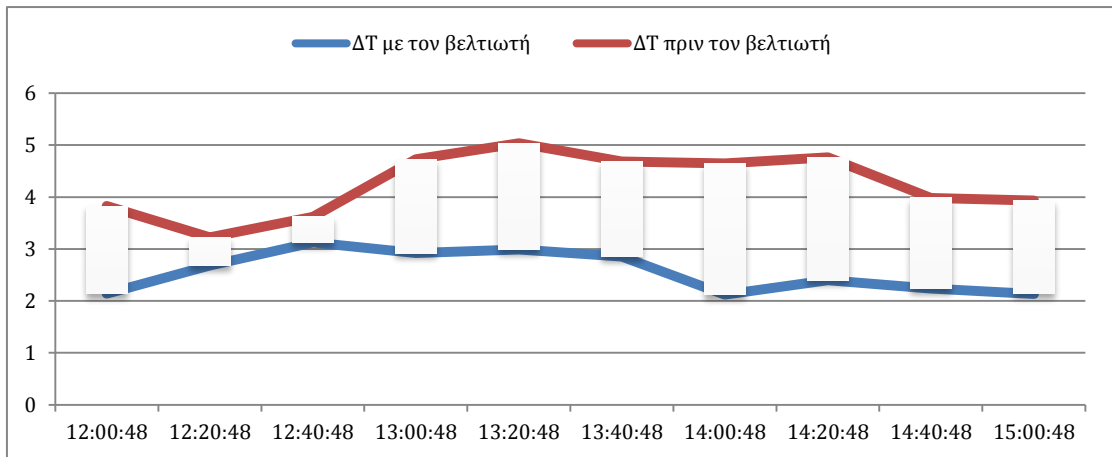
A1) Ενεργός ισχύς (W)



**Διάγραμμα 4.31:** Ενεργός ισχύς πριν και με τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι., κατά τις εργάσιμες ώρες

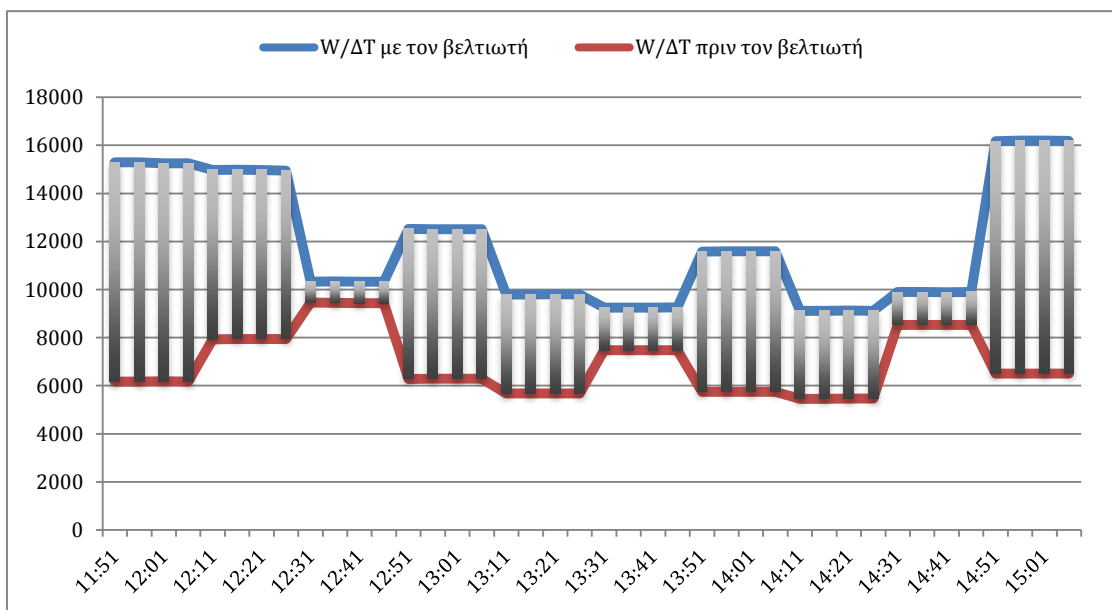
Οι χρονοσειρές της ενεργού ισχύος κατά τις εργάσιμες ώρες είναι ευθείες γραμμές, γεγονός λογικό καθώς το φορτίο κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου είναι σχεδόν σταθερό για σχεδόν σταθερές συνθήκες διαφοράς εσωτερικής με εξωτερική θερμοκρασία.

Στο Διάγραμμα 4.31 επιβεβαιώνεται η παρατήρηση της Ενότητας 4.2.1, ότι η ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος εμφανίζεται μεγαλύτερη με τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι.



**Διάγραμμα 4.32:** Διαφορά της εσωτερικής με την εξωτερική θερμοκρασία, κατά τις εργάσιμες ώρες

Στο παραπάνω Διάγραμμα 4.32 παρουσιάζεται η διαφορά της εσωτερικής με την εξωτερική θερμοκρασία. Για μεγαλύτερη τιμή της διαφοράς αναμένεται μεγαλύτερη κατανάλωση στον κλιματισμό, καθώς το σύστημα θα πρέπει να δουλεύει με μεγαλύτερη ισχύ, για να προσφέρει την ενέργεια που θα αντισταθμίζει αυτή τη διαφορά θερμοκρασίας.



**Διάγραμμα 4.33:** Ζήτηση ενεργού ισχύος σε αναλογία με την διαφορά θερμοκρασίας, πριν και με τη συσκευή διόρθωσης, κατά τις εργάσιμες ώρες

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται μία αύξηση στην κατανάλωση από το σύστημα κλιματισμού, όταν είναι ενεργοποιημένη η συσκευή διόρθωσης συντελεστή ισχύος. Πιο αναλυτικά, από το Διάγραμμα 4.33 η χρονοσειρά που αφορά την λειτουργία με τη συσκευή διόρθωσης (μπλε γραμμή) βρίσκεται πάντα πιο ψηλά από αυτήν της λειτουργίας χωρίς τη συσκευή διόρθωσης (κόκκινη γραμμή), γεγονός που δεν μπορεί να δικαιολογηθεί από την θερμοκρασία, καθώς όπως φαίνεται από το διάγραμμα των θερμοκρασιών, το σύστημα κλιματισμού θεωρητικά θα έπρεπε να δουλεύει περισσότερο

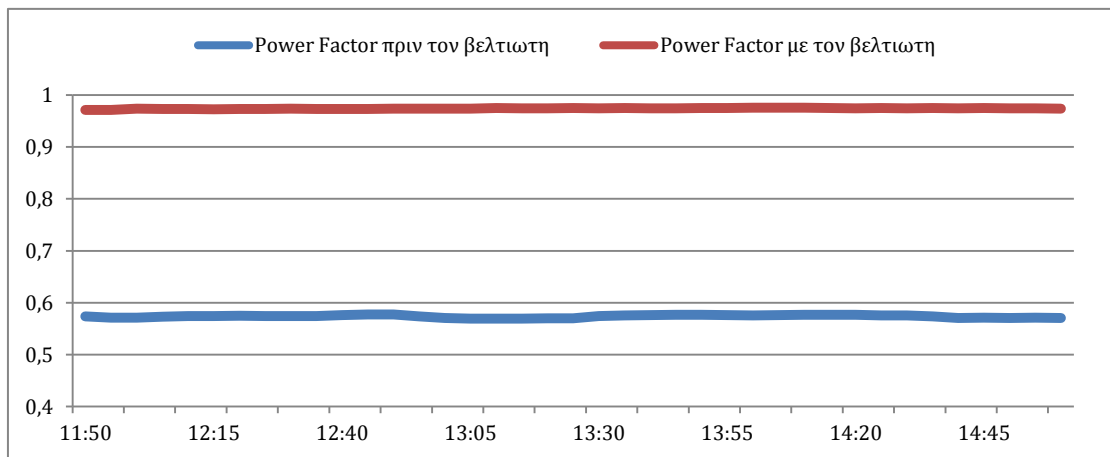
για να καλύψει την διαφορά θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου από το εξωτερικό περιβάλλον πριν τη συσκευή διόρθωσης.

Ακόμη παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις ελάχιστες, τις μέγιστες και τις μέσες τιμές της ενεργού ισχύος που προσφέρει ο κλιματισμός δια τη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού χώρου ( $W/\Delta T$ ):

**Πίνακας 4.27:** Παρουσίαση της μέσης, της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής του πηλίκου της ενεργού ισχύος δια την διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας

	ΗΜΕΡΑ	W/ $\Delta T$		
		MIN	Average	Max
ΠΡΙΝ	1η	5.457,27	6.370,57	9.027,96
	2η	4.717,26	7.711,98	19.419,31
	3η	5.363,18	9.997,75	20.644,65
	4η	2.584,04	3.667,74	5.784,27
ΜΕΤΑ	1η	3.520,95	6.522,98	15.054,54
	2η	5.564,22	8.350,93	11.898,88
	3η	7.026,94	8.145,49	10.043,41
	4η	9.550,73	10.072,09	11.058,58
	5η	13.186,77	25.822,06	44.410,90

## A2) Συντελεστής ισχύος

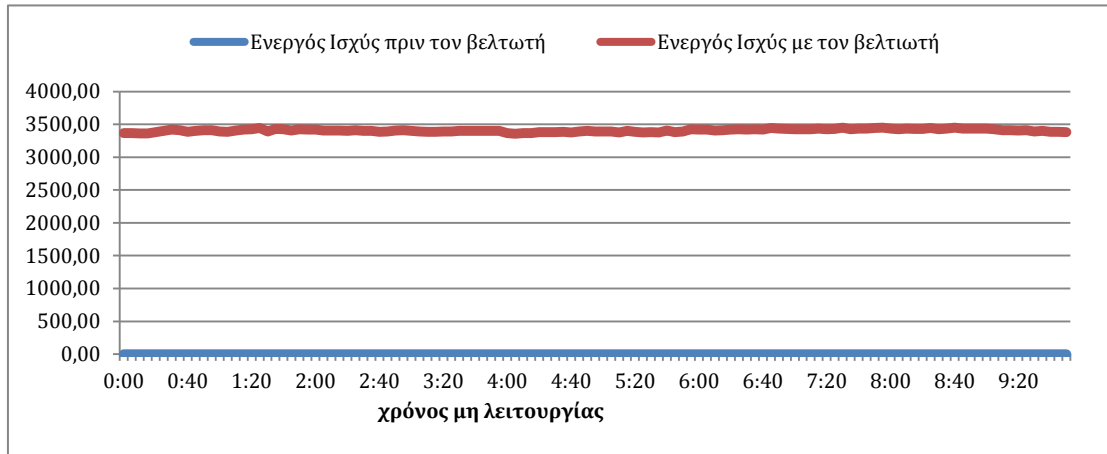


**Διάγραμμα 4.34:** Συντελεστής ισχύος πριν και με τη συσκευή διόρθωσης, κατά τις εργασίμες ώρες

Στο Διάγραμμα 4.34 για τον συντελεστή ισχύος φαίνεται ο σκοπός της χρήσης ενός συστήματος βελτίωσης ποιότητας ισχύος. Η συσκευή αυτή επενεργεί θετικά στην τιμή του συντελεστή ισχύος για την ηλεκτρική κατανάλωση του κλιματισμού, μετατοπίζοντας την αντίστοιχη χρονοσειρά από το 0,577 στο 0,97, δηλαδή μετατρέπει το φορτίο σε σχεδόν ιδανικό.

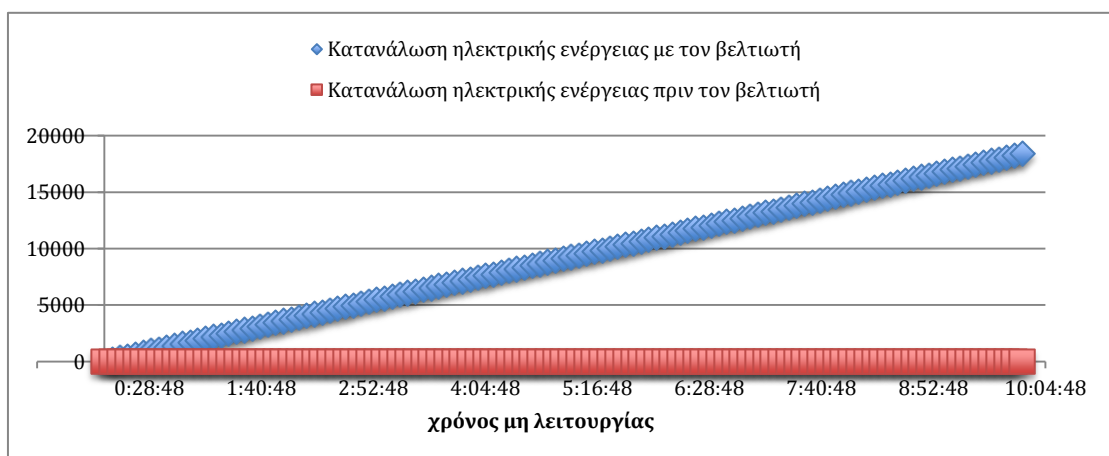
- B. Μη εργάσιμες ώρες  
 B1) Ενεργός ισχύς (W)

Κατά τις μη εργάσιμες ώρες δεν θεωρήθηκε απαραίτητη η ανάλυση του φορτίου και ειδικότερα της ζήτησης ενεργού ισχύος σε αναλογία με την θερμοκρασία, καθώς το σύστημα κλιματισμού, κατά την συγκεκριμένη περίοδο, θεωρείται κλειστό.



**Διάγραμμα 4.35:** Ενεργός ισχύς πριν και με τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι., κατά τις μη εργάσιμες ώρες

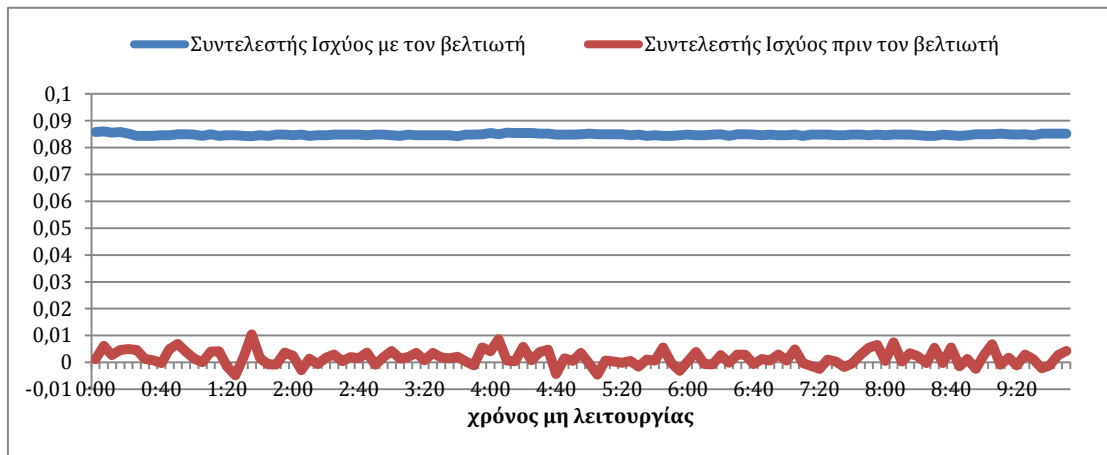
Στο Διάγραμμα 4.35 επιβεβαιώνεται η παρατήρηση στην Ενότητα 4.2.1, για την κατάσταση μη λειτουργίας του κλιματισμού. Η ενεργός ισχύς πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης είναι σχεδόν μηδενική, γεγονός λογικό καθώς ο κλιματισμός δεν λειτουργεί. Ωστόσο μετά την ενεργοποίηση της συσκευής, παρατηρείται η ζήτηση ενεργούς ισχύος να αλλάζει συμπεριφορά κατά τις μη εργάσιμες ώρες και να αυξάνεται στα 3,5kW. Συνεπώς χρησιμοποιώντας τη συσκευή διόρθωσης δημιουργείται στο φορτίο του κλιματισμού μία πάγια κατανάλωση της τάξεως των 3,5kW όταν το σύστημα είναι κλειστό.



**Διάγραμμα 4.36:** Κατανάλωση πριν και με τη συσκευή διόρθωσης, κατά τις μη εργάσιμες ώρες

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι κατά την διάρκεια που το σύστημα κλιματισμού υποτίθεται ότι πρέπει να είναι κλειστό και να μην καταναλώνει ηλεκτρική ισχύ, με την χρήση της συσκευής διόρθωσης καταναλώνει κατά μέσο όρο 18kWh την ημέρα.

## B2) Συντελεστής ισχύος



**Διάγραμμα 4.37:** Συντελεστής ισχύος πριν και με τη συσκευή διόρθωσης, κατά τις μη εργάσιμες ώρες

Από το Διάγραμμα 4.37 διακρίνεται η συμπεριφορά "λευκού θορύβου" πριν την ενεργοποίηση της συσκευής διόρθωσης, αφού η τιμή της παρουσιάζει τυχαία αυξομειώσεις πολύ κοντά στην μέση τιμή 0.

Ακόμη, παρατηρείται ότι μετά τη συσκευή διόρθωσης ο συντελεστής ισχύος είναι πολύ χαμηλός (κοντά στο 0.1). Αυτό το φαινόμενο είναι κοστοβόρο για την εταιρεία καθώς σημαίνει ότι καταναλώνει άεργο ισχύ, στην κατάσταση που θα έπρεπε να είναι κλειστό και να μην καταναλώνει ισχύ.

### 4.2.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

#### I. Σχολιασμός για τη συσκευή διόρθωσης Σ.Ι.

Η σύνδεση της συσκευής διόρθωσης συντελεστή ισχύος στο σύστημα κλιματισμού ήταν αμφιλεγόμενη καθώς η Δ.Ε.Η καταγράφει τον συντελεστή ισχύος από τον κεντρικό πίνακα της εταιρείας Olympic Catering A.B.E.E. Σε αυτό τον κεντρικό πίνακα, ωστόσο, συνδέονται διάφορα φορτία, όπως του φωτισμού όλου του κτηρίου, του ψυχροστάσιου, οι πρίζες κ.α.

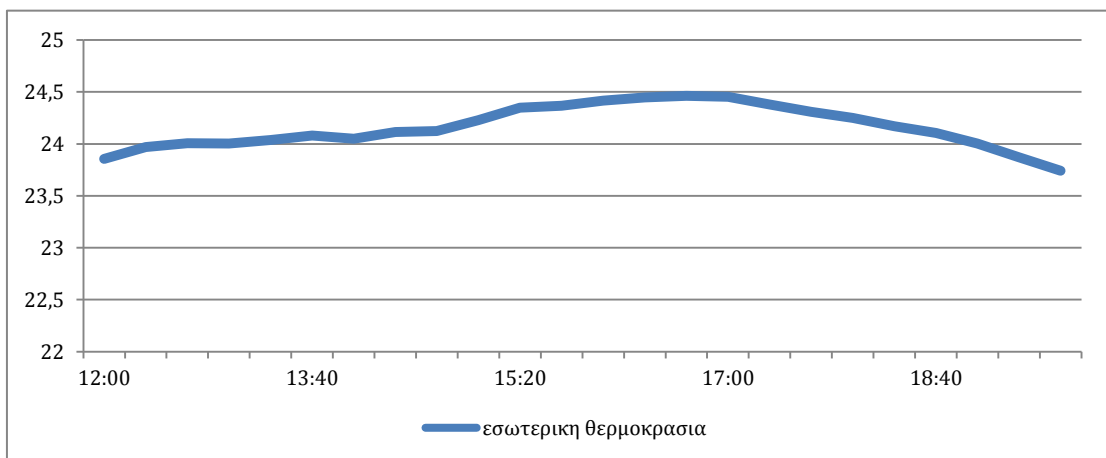
Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος στο σύστημα κλιματισμού αναμένεται να επιφέρει ελάχιστη βελτίωση στον συνολικό συντελεστή ισχύος, θεωρώντας το μέγεθος όλων αυτών των φορτίων.



Ακόμη η εταιρεία έχει συνδέσει στον κεντρικό πίνακα σύστημα βελτίωσης του συντελεστή ισχύος, ο οποίος διαμορφώνει τον συντελεστή ισχύος πάντα σε τιμή κοντά στο 1. Θα πρέπει να θεωρηθεί το ενδεχόμενο, οποιαδήποτε αλλαγή στο φορτίο του κλιματισμού, να έχει αρνητικές επιπτώσεις στον συνολικό συντελεστή ισχύος και κατ' επέκταση στο κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος.

## II. Σχολιασμός για την εσωτερική θερμοκρασία

Από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας για τις εργάσιμες ώρες παρατηρείται ότι η θερμοκρασία των χώρων εργασίας είναι πολύ υψηλή (όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.38). Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων επισημάνθηκε το γεγονός ότι οι θερμοστάτες στο κάθε γραφείο ήταν προγραμματισμένοι σε τέτοια θερμοκρασία, ώστε τα κλιματιστικά να λειτουργούν συνέχεια.



**Διάγραμμα 4.38:** Εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου, κατά τις εργάσιμες ώρες

Σύμφωνα με τον οδηγό Υγιεινής και Ασφάλειας που δημοσιεύθηκε από το Πανεπιστήμιο Πατρών: Στους εργασιακούς χώρους, που οι μικροκλιματικές συνθήκες καθορίζονται από τα κλιματιστικά μηχανήματα, θα πρέπει αυτά να ρυθμίζονται ώστε η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων να συμφωνεί με τις τιμές του παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 4.28:** Προτεινόμενη εσωτερική θερμοκρασία χώρου εργασίας ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία

	Χειμώνας (°C)	Καλοκαίρι (°C)
Εξωτερική θερμοκρασία	Οποιαδήποτε	20 22 24 28 30
Εσωτερική θερμοκρασία	20	20 21 22 24 25

Οι ενδεικνυόμενες τιμές θερμοκρασίας για εργασίες γραφείου είναι 18-22 °C, ενώ η σχετική υγρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 40-60% και η ταχύτητα αέρα να μην ξεπερνά τα 0,20 m/s.

Μία ενέργεια που προτείνεται για την μείωση της κατανάλωσης από το σύστημα κλιματισμού και την βελτίωση του κλίματος εργασίας είναι η ύπαρξη κεντρικού προγραμματισμού-ελέγχου των θερμοστατών, ώστε η θερμοκρασία των εργασιακών χώρων να κυμαίνεται στους 18-22°C.

### 4.3 Πείραμα καταγραφής φορτίου σε σύστημα καταψύξεων

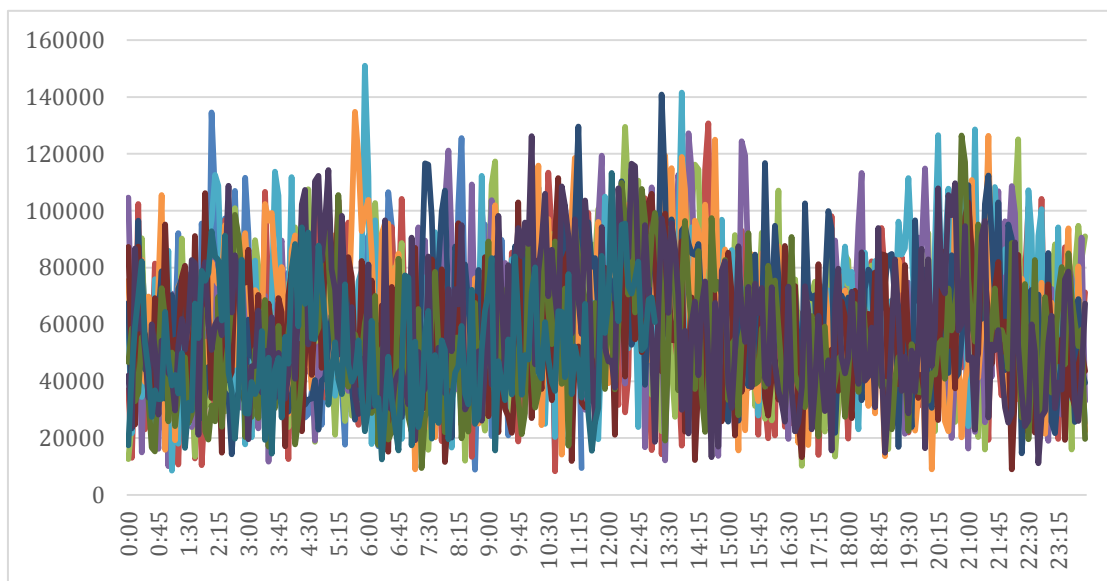
Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.3.3, το συγκεκριμένο πείραμα χωρίζεται σε δύο στάδια. Για την καλύτερη ανάλυση των μετρήσεων προτιμήθηκε ο αρχικός διαχωρισμός στις μετρήσεις όταν οι θερμοστάτες των ψυγείων-καταψυκτών έχουν προγραμματιστεί στους  $-18^{\circ}\text{C}$  και στις μετρήσεις όταν οι θερμοστάτες των ψυγείων-καταψυκτών έχουν προγραμματιστεί στους  $-22^{\circ}\text{C}$ . Στις υπο-ενότητες της Ενότητας 4.3 παρουσιάζονται τα μετρούμενα μεγέθη, ενεργός ισχύς, συντελεστής ισχύος και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, σε αντιστοιχία.

#### 4.3.1 Παρουσίαση μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι μετρήσεις στο σύστημα του ψυχοστασίου, όπως προέκυψαν από το πείραμα χωρίς κάποια επιπλέον επεξεργασία.

#### A. Ενεργός Ισχύς

##### A1. Ενεργός Ισχύς με προγραμματισμένους τους θερμοστάτες στους $-18^{\circ}\text{C}$



**Διάγραμμα 4.39:** Ενεργός ισχύς κατά την διάρκεια του εικοσιτετράωρου όταν οι θερμοστάτες των ψυγείων είναι προγραμματισμένοι στους  $-18^{\circ}\text{C}$

Στο παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται ότι η κυματομορφή της ενεργού ισχύος δεν διαφοροποιείται τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές, καθώς επίσης ότι δεν αλλάζει η συμπεριφορά της κατά τις εργάσιμες και τις μη εργάσιμες ώρες.

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος (Watt), με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους  $-18^{\circ}\text{C}$ .

**Πίνακας 4.29:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος(Watt) με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -18 °C

Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	57446.75
	<b>STD DEV:</b>	24284,54
	<b>MEDIAN:</b>	5675250
	<b>MIN:</b>	8280
	<b>MAX:</b>	151015.9
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

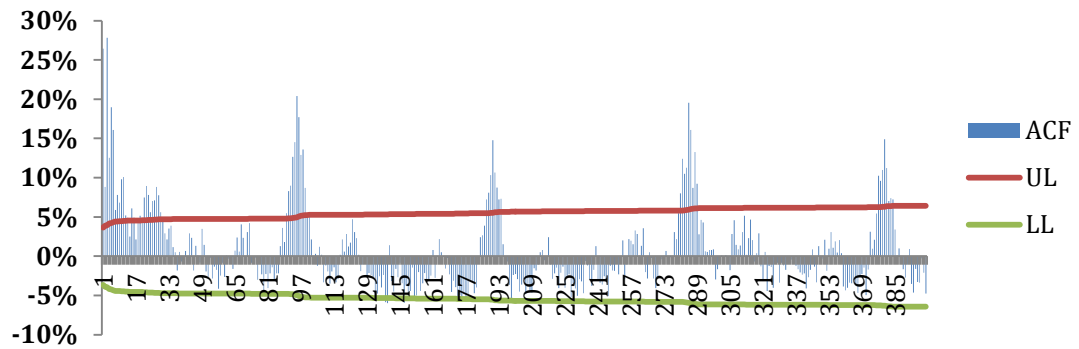
**Πίνακας 4.30:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά της ενεργού ισχύος (Watt) με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -18 °C

Stationary Test					
Test			C.V.	Stationary?	5.0%
<b>ADF</b>					
	<i>No Const</i>	-1.8	6.4%	-1.9	FALSE
	<i>Const-Only</i>	-12.4	0.1%	-2.9	TRUE
	<i>Const + Trend</i>	-12.5	0.0%	-1.6	TRUE
	<i>Const+Trend+Trend^2</i>	-12.7	0.0%	-1.6	TRUE

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 400 (max lag K = 400) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 33 ώρες και 20' , οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

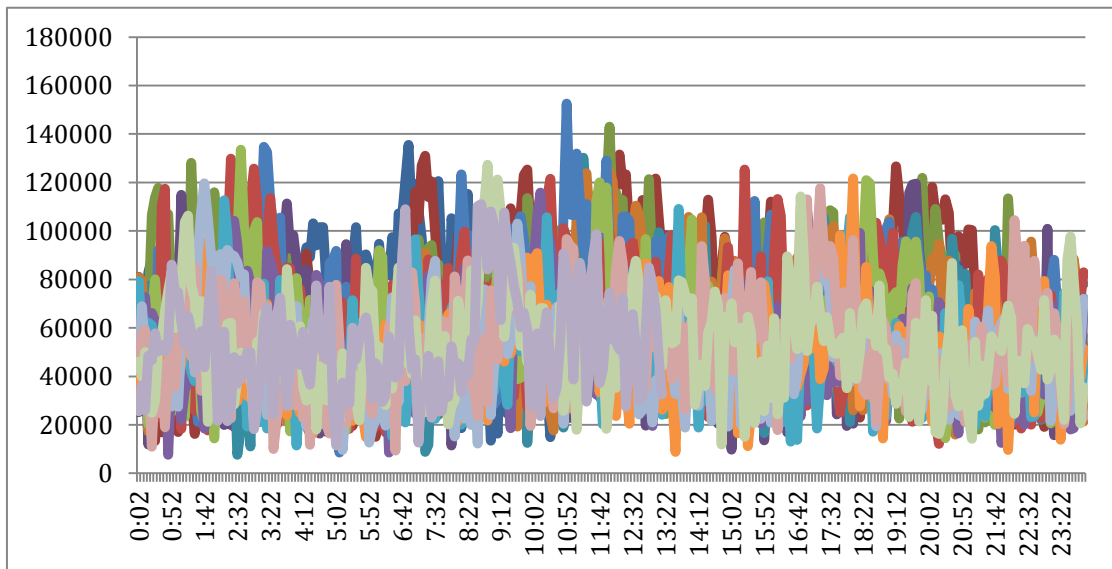
Στο παρακάτω κορρελόγραμμα (Διάγραμμα 4.40) φαίνεται συμπεριφορά Τυχαίου Περιπάτου, καθώς επίσης και περιοδικότητα με περίοδο περίπου 8 ωρών καθώς το κορρελόγραμμα φτάνει στην δεύτερη ακμή του μετά από 95 διαστήματα διαχωρισμού από την πρώτη, στην τρίτη μετά από 95 διαστήματα διαχωρισμού από την δεύτερη κ.ο.κ.

## ACF



**Διάγραμμα 4.40:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς ενεργού ισχύος, όταν οι θερμοστάτες είναι προγραμματισμένοι στους  $-18^{\circ}\text{C}$

### A2.Ενεργός Ισχύς με προγραμματισμένους τους θερμοστάτες στους $-22^{\circ}\text{C}$



**Διάγραμμα 4.41:** Ενεργός ισχύς κατά την διάρκεια του εικοσιτετραώρου όταν οι θερμοστάτες των ψυγείων είναι προγραμματισμένοι στους  $-22^{\circ}\text{C}$

Στο Διάγραμμα 4.41 της ενεργού ισχύος για την ρύθμιση στους  $-22^{\circ}\text{C}$ , φαίνεται η ίδια συμπεριφορά με την προηγούμενη ρύθμιση, όπως αναμενόταν, καθώς δεν αλλάζει κάτι στον τρόπο και τον προγραμματισμό λειτουργίας του φορτίου.

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος(Watt) με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους  $-22^{\circ}\text{C}$ .

**Πίνακας 4.31:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος(Watt) με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -22 °C

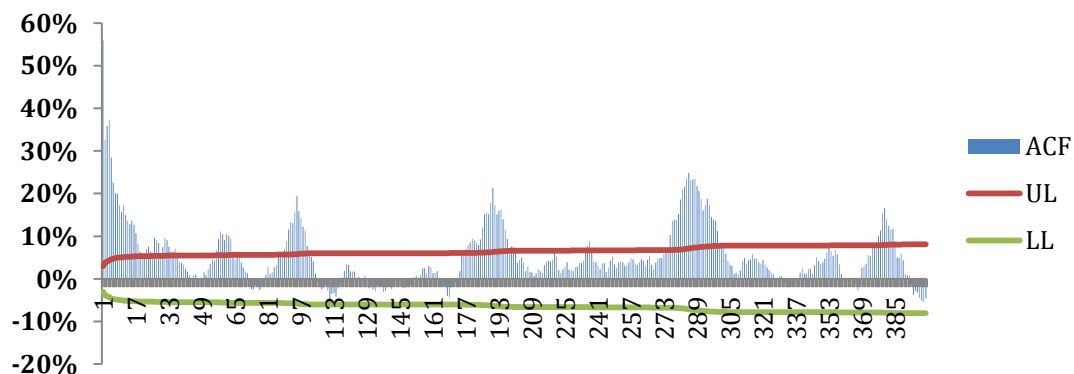
Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	56744,886
	<b>STD DEV:</b>	23251,7407
	<b>MEDIAN:</b>	54227,73
	<b>MIN:</b>	7621,364
	<b>MAX:</b>	152490
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

**Πίνακας 4.32:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά της ενεργού ισχύος (Watt) με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -22 °C

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-2,6	0,9%	-1,9	TRUE	
Const-Only	-12,9	0,1%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-13,5	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend+Trend <sup>2</sup>	-13,5	0,0%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 400 (max lag K = 400) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 33 ώρες και 20' , οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

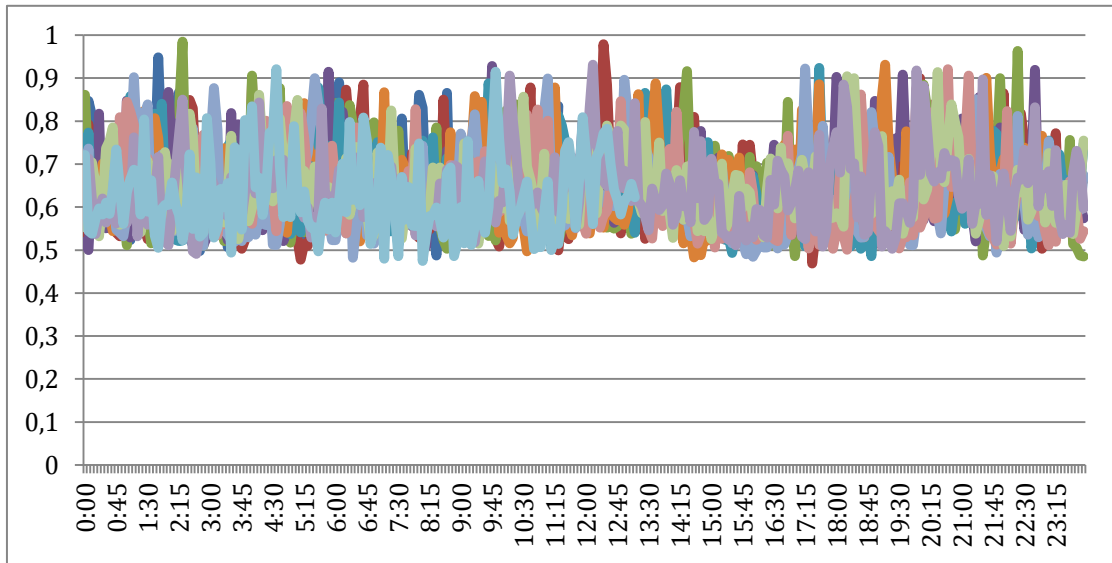
## ACF



**Διάγραμμα 4.41:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς της ενεργού ισχύος, όταν οι θερμοστάτες είναι προγραμματισμένοι στους -22°C

**B.** Συντελεστής ισχύος

B1. Συντελεστής ισχύος με προγραμματισμένους τους θερμοστάτες στους -18°C



**Διάγραμμα 4.42:** Συντελεστής ισχύος κατά την διάρκεια του εικοσιτετράωρου όταν οι θερμοστάτες των ψυγείων είναι προγραμματισμένοι στους -18°C

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -18 °C.

**Πίνακας 4.33:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -18 °C

Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	0,63926558
	<b>STD DEV:</b>	0,0885094
	<b>MEDIAN:</b>	0,62
	<b>MIN:</b>	0,469
	<b>MAX:</b>	0,985
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

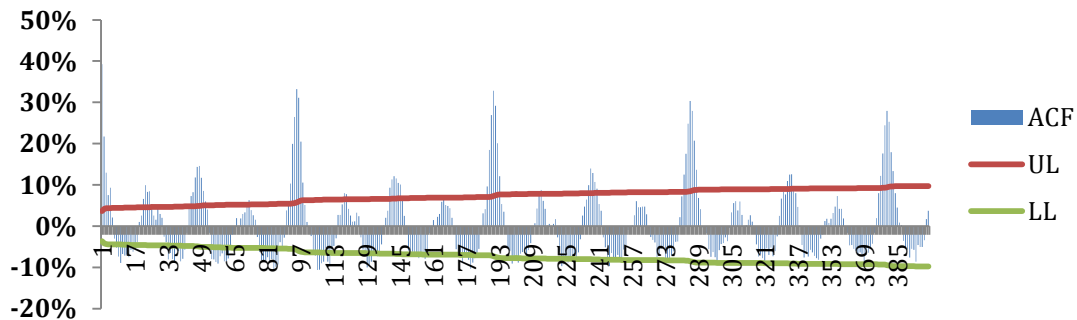
**Πίνακας 4.34:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά της ενεργού ισχύος (Watt) με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -18 °C

**Stationary Test**

Test			C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-0,7	39,4%	-1,9	FALSE	
Const-Only	-17,8	0,1%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-17,9	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend +Trend^2	-17,9	0,0%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 400 (max lag K = 400) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 33 ώρες και 20' , οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

**ACF**



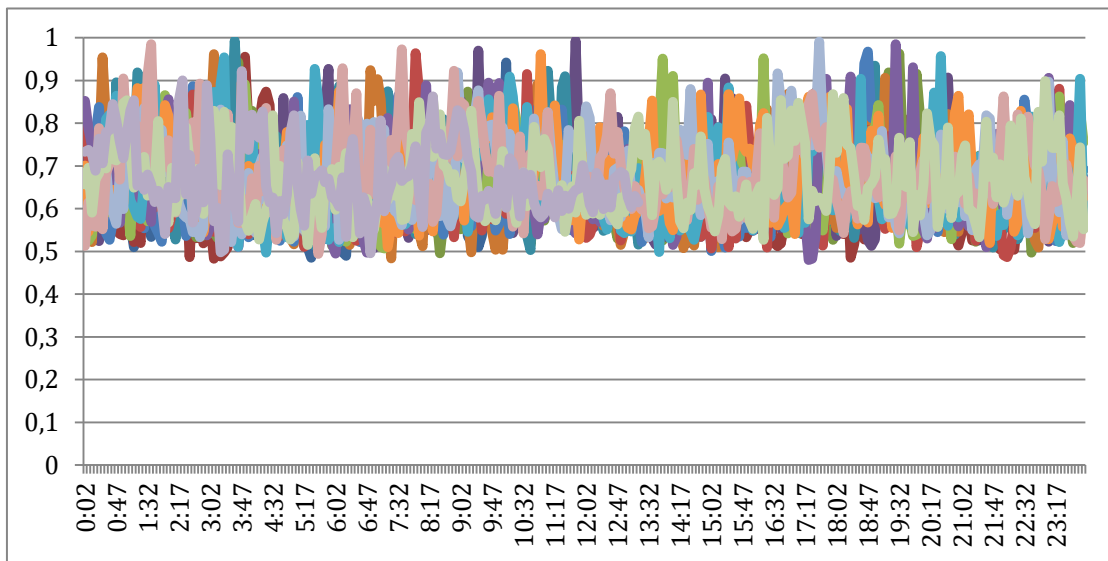
**Διάγραμμα 4.43:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος όταν οι θερμοστάτες είναι προγραμματισμένοι στους -18°C

Από το παραπάνω Κορρελόγραμμα διακρίνεται περιοδικότητα αλλά με δύο περιόδους. Η πρώτη περίοδος διακρίνεται από τις ακμές που παρουσιάζει η χρονοσειρά και είναι ίση με 95 διαστήματα διαχωρισμού που μεταφράζονται σε περίοδο 8 ωρών. Ακόμη το κορρελόγραμμα παρουσιάζει αυξομειώσεις, όπου το γράφημα ξεπερνάει τα όρια του κορρελογράμματος, κάθε 12 διαστήματα διαχωρισμού (από θετική ακμή μεταφέρεται σε αρνητική), οπότε συμπεραίνεται και μία δεύτερη, μικρότερη, περίοδος, ίση με  $12 \cdot 2 = 24$  διαστήματα διαχωρισμού ή 2 ώρες.

Η περίοδος των 8 ωρών εξηγείται από την αλλαγή βάρδιας. Η αλλαγή βάρδιας γίνεται κάθε 8 ώρες και σε κάθε βάρδια εκτελούνται οι ίδιες εργασίες.

B2. Συντελεστής ισχύος με προγραμματισμένους τους θερμοστάτες στους -22 °C

**Διάγραμμα 4.44:** Συντελεστής ισχύος κατά την διάρκεια του εικοσιτετραώρου όταν οι



θερμοστάτες των ψυγείων είναι προγραμματισμένοι στους -22°C

Με την χρήση του εργαλείου NumXL προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία και ο έλεγχος στασιμότητας για τις τιμές της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -22 °C.

**Πίνακας 4.35:** Στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -22 °C

Descriptive Statistics		
	<b>AVERAGE:</b>	0,656342209
	<b>STD DEV:</b>	0,088247135
	<b>MEDIAN:</b>	0,64
	<b>MIN:</b>	0,48
	<b>MAX:</b>	0,993
Test	p-value	SIG?
White-noise	0,00%	FALSE
Normal Distributed?	0,00%	FALSE

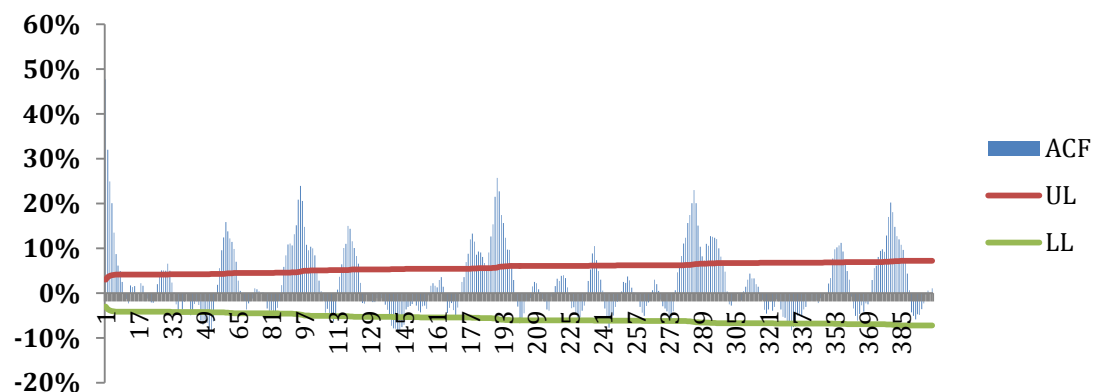


**Πίνακας 4.36:** Αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας ADF για την χρονοσειρά του συντελεστή ισχύος με τους θερμοστάτες των ψυγείων στους -22 °C

Stationary Test					
Test	Stat	P-Value	C.V.	Stationary?	5,0%
<b>ADF</b>					
No Const	-0,7	39,3%	-1,9	FALSE	
Const-Only	-13,8	0,1%	-2,9	TRUE	
Const + Trend	-15,8	0,0%	-1,6	TRUE	
Const+Trend +Trend^2	-15,8	0,0%	-1,6	TRUE	

Από τα παραπάνω το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού του κορρελογράμματος της στάσιμης σειράς που ακολουθεί παρακάτω ορίζοντας ως μέγιστο διάστημα διαχωρισμού = 400 (max lag K = 400) που αντιστοιχεί στη διάρκεια 33 ώρες και 20' , οπότε ένα διάστημα διαχωρισμού αντιστοιχεί σε 5 λεπτά.

## ACF

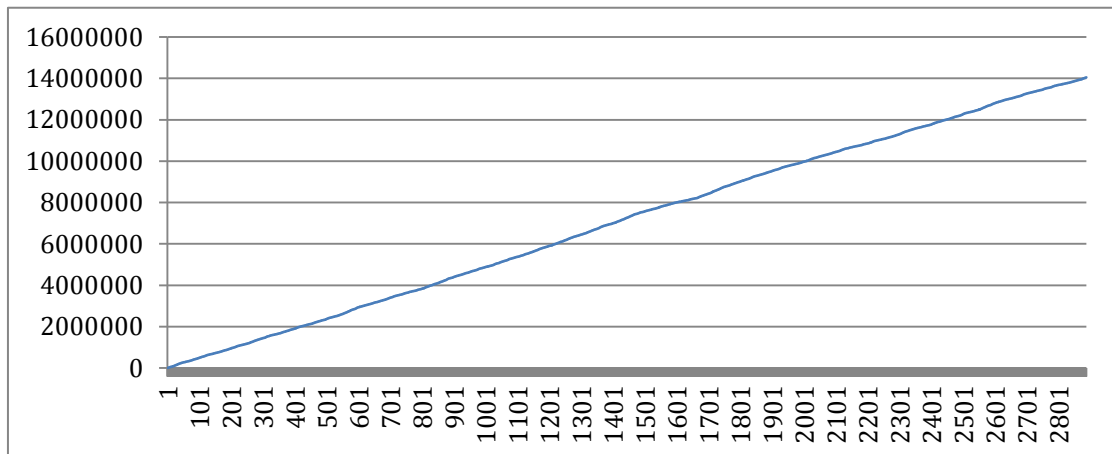


**Διάγραμμα 4.45:** Κορρελόγραμμα της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος όταν οι θερμοστάτες είναι προγραμματισμένοι στους -22°C

Σε αυτό το σημείο παρατηρείται μία αλλαγή στην συμπεριφορά της χρονοσειράς του συντελεστή ισχύος στην ρύθμιση στους -22 °C σε σχέση με την ρύθμιση στους -18 °C. Πιο συγκεκριμένα, διατηρείται η περιοδική συμπεριφορά με περίοδο 95 διαστημάτων διαχωρισμού ή 8 ωρών, ωστόσο δεν παρατηρείται περιοδική συμπεριφορά ανά 2 ώρες.

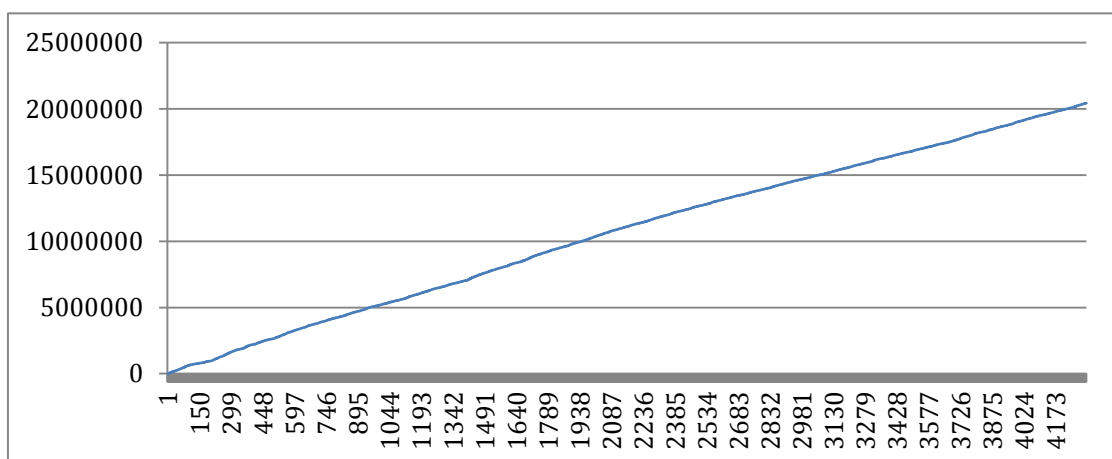
Γ. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Γ1. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με ρύθμιση των θερμοστατών στους  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$



**Διάγραμμα 4.46:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) κατά την διάρκεια των μετρήσεων με ρύθμιση των θερμοστατών στους  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Γ2. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με ρύθμιση των θερμοστατών στους  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$



**Διάγραμμα 4.47:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) κατά την διάρκεια των μετρήσεων με ρύθμιση των θερμοστατών στους  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$

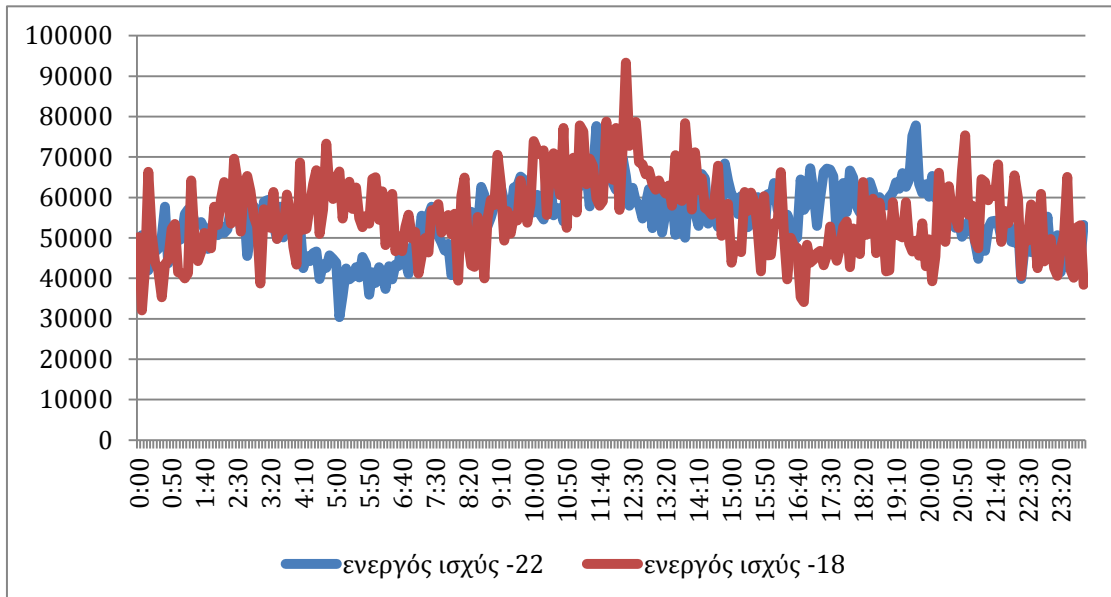
Από τα Διαγράμματα 4.46 και 4.47 παρατηρείται διαφορά στην συνολική κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας (Wh) των δύο διαφορετικών μετρήσεων. Ωστόσο είναι σημαντικό να τονισθεί το γεγονός ότι η διάρκεια των μετρήσεων ήταν διαφορετική για τις 2 διαφορετικές ρυθμίσεις των θερμοστατών. Ακόμη από την παρουσίαση αυτής της ενότητας δεν παρατηρήθηκε κάποιος διαχωρισμός για την περαιτέρω μελέτη.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων, στην επόμενη υπο-ενότητα, παρουσιάζονται συγκριτικά οι μέσες τιμές της ενεργού ισχύος, του συντελεστή ισχύος αλλά και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ίδια διάρκεια μετρήσεων.

#### 4.3.2 Αναγωγή μεγεθών πειράματος στην ίδια διάρκεια

Στην υπό-ενότητα αυτή παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα με τις μέσες τιμές των μετρούμενων μεγεθών (ενεργός ισχύς και συντελεστής ισχύος) κατά την διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου καθώς και η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θεωρώντας την ίδια διάρκεια μέτρησης.

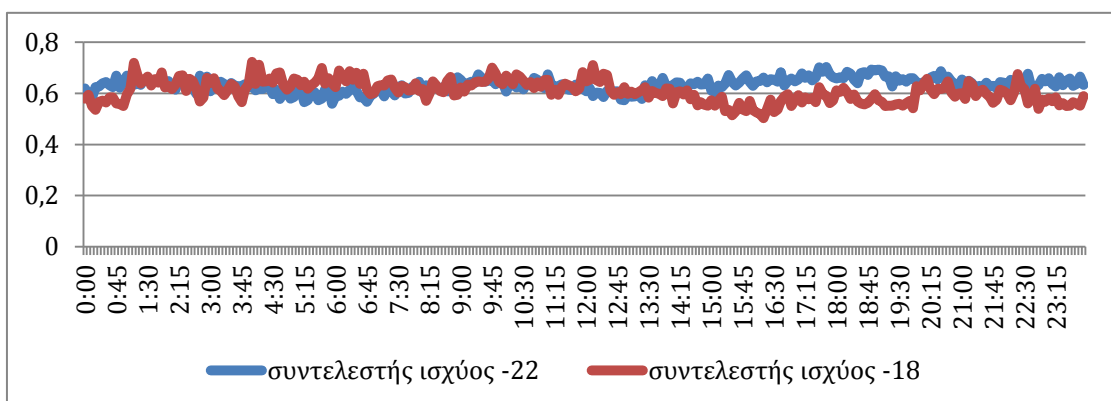
##### A. Ενεργός ισχύς



**Διάγραμμα 4.48:** Κυματομορφές μέσω τιμών ενεργού ισχύος για τις ρυθμίσεις των θερμοστατών ανά πεντάλεπτο για ένα εικοσιτετράωρο

Από το παραπάνω Διάγραμμα 4.48 φαίνεται ότι οι κυματομορφές της ενεργού ισχύος για την ρύθμιση στους  $-18^{\circ}\text{C}$  και για την ρύθμιση στους  $-22^{\circ}\text{C}$  παρουσιάζουν την ίδια περίπου συμπεριφορά, γεγονός που οδηγεί σε μια αρχική εκτίμηση ότι η ρύθμιση στην θερμοκρασία των ψυγείων δεν επιφέρει πάντοτε κάποια ιδιαίτερη αλλαγή στο φορτίο.

##### B. Συντελεστής ισχύος

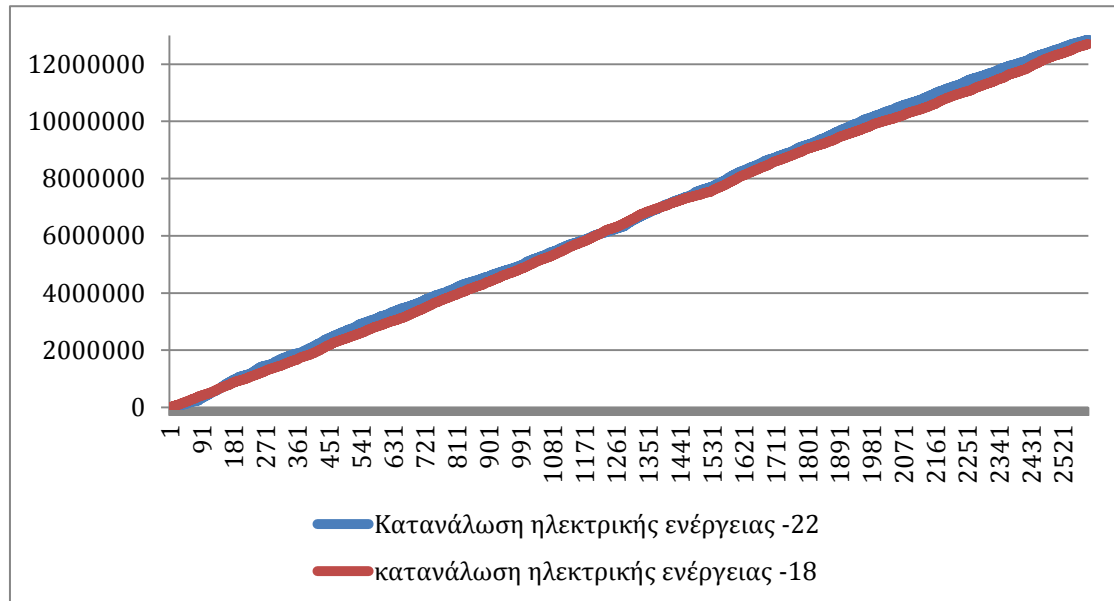


**Διάγραμμα 4.49:** Κυματομορφές μέσω τιμών του συντελεστή ισχύος για τις ρυθμίσεις των θερμοστατών ανά πεντάλεπτο για ένα εικοσιτετράωρο

Από το συγκριτικό διάγραμμα των συντελεστών ισχύος επιβεβαιώνεται η παραπάνω παρατήρηση, ότι το φορτίο του ψυχοστασίου δεν αλλάζει συμπεριφορά με την μείωση της θερμοκρασίας.

#### Γ. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Σε αυτή την υπό-ενότητα παρουσιάζεται σε διάγραμμα η συνολική κατανάλωση για την ρύθμιση των θερμοστατών στους  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  και στους  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  κατά την διάρκεια 9 εικωσιτετραώρων.



**Διάγραμμα 4.50:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ρύθμιση των θερμοστατών

Από το παραπάνω διάγραμμα αρχικά φαίνεται ότι οι καταναλώσεις για τις δύο ρυθμίσεις έχουν σχεδόν την ίδια συμπεριφορά, αλλά για την ρύθμιση στους  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  η κατανάλωση είναι ελάχιστα μεγαλύτερη.

**Πίνακας 4.37:** Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος ανά ημέρα και ανά ρύθμιση

Ημέρα	Κατανάλωση ρύθμισης $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$	Κατανάλωση ρύθμισης $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$
1	1359991,375	1517980,375
2	1438330,75	1551709,5
3	1420501,25	1361801,5
4	1505069,5	1351460,5
5	1516048,5	1488432,5
6	1442936	1551544
7	1329701	1487689
8	1294101	1325515
9	1397562	1224013

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές καταναλώσεις για 9 εικωσιτετράωρα, όπου με κόκκινα γράμματα τονίζεται η μεγαλύτερη από τις δύο μετρήσεις.

Η διαφοροποίηση ,που φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, πιθανόν να οφείλεται σε διαφοροποίηση στον φόρτο εργασιών της ημέρας στην διαφοροποίηση του αριθμού των λειτουργικών μηχανημάτων (ένταξη στην λειτουργία επιπλέον ψυγείου-καταψύκτη) για την ικανοποίηση των λειτουργιών της εταιρείας.

#### **4.3.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων**

##### **I. Σχολιασμός για τον αριθμό των ψυγείων-καταψυκτών σε λειτουργία**

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήθηκε ότι ο φόρτος εργασιών της εταιρείας Olympic Catering παρουσιάζει αυξομειώσεις, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερο όγκο προϊόντων προς αποθήκευση-ψύξη. Για την αποθήκευση των προϊόντων οι εργαζόμενοι βάζουν ή βγάζουν από λειτουργία τα απαραίτητα ψυγεία-καταψύκτες, με αποτέλεσμα την μεταβολή του καταναλισκόμενου ηλεκτρικού φορτίου.

##### **II. Σχολιασμός για τον τρόπο λειτουργίας των ψυγείων-καταψυκτών**

Τα σώματα του ψυκροστασίου είναι προγραμματισμένα να συνεχίζουν να λειτουργούν όταν ανοίγουν οι πόρτες τους. Μία αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας τους, δηλαδή να σταματούν την λειτουργία τους όταν ανοίγουν οι πόρτες και όταν επανέρχονται σε κανονική λειτουργία όταν κλείνουν, είναι πιθανόν να επιφέρει αλλαγή στην κατανάλωση. Η επιρροή αυτή στην κατανάλωση μπορεί να είναι θετική αλλά και αρνητική. Θα προτεινόταν επιπρόσθετη μελέτη για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

##### **III. Σχολιασμός για τον συνολικό συντελεστή ισχύος**

Το σύστημα, λόγω των πολλών κινητήρων του, παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλό συντελεστή ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψιν το μέγεθος του φορτίου του συστήματος καταψύξεων σε αναλογία με την συνολική κατανάλωση συμπεραίνεται ότι το συγκεκριμένο σύστημα αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα του μετρούμενου, από τον πάροχο, συντελεστή ισχύος.

##### **IV. Σχολιασμός- Συμπέρασμα πειράματος**

Από τα διαγράμματα 4.48 και 4.49 της ενότητας 4.3.2, όπου παρουσιάζονται συγκριτικά οι μετρήσεις, δεν φαίνεται κάποια αλλαγή στην συμπεριφορά του φορτίου. Όμως στο διάγραμμα 4.50 φαίνεται ότι τελικά η συνολική κατανάλωση, με την μείωση της θερμοκρασίας ρύθμισης, αν και παρουσιάζεται σχεδόν όμοια, είναι ελάχιστα μεγαλύτερη.

Θεωρώντας τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η ρύθμιση της θερμοκρασίας δεν επιφέρει πάντοτε μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η εύρεση της, κατά περίπτωση, ιδανικής ρύθμισης θερμοκρασίας των θερμοστατών, που οδηγεί στην βελτιστοποίηση της

κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργεια πρέπει να αποτελεί αντικείμενο ξεχωριστής ενεργειακής επιθεώρησης

## Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και θέματα προς συζήτηση

---

Η αξιολόγηση ενεργειακής απόδοσης που διεξήχθη στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας έδωσε αποσπασματική εικόνα του ενεργειακού προφίλ του κτηρίου, στο οποίο στεγάζεται η εταιρεία Olympic Catering ABEE, επισημαίνοντας τις δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η αξιολόγηση ενεργειακής απόδοσης ήταν αποσπασματική λόγω του ότι η μελέτη όλων των παραμέτρων δεν εμπίπτει στο πλαίσιο μιας διπλωματικής εργασίας. Οι τομείς που επιλέχθηκαν για τη μελέτη έγιναν καθ' υπόδειξη της εταιρείας.

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη των στοιχείων που συλλέχθηκαν:

Από την προετοιμασία των πειραμάτων και την διεξαγωγή τους, συμπεραίνεται το γεγονός ότι η μελέτη των, προς μέτρηση φορτίων, η λεπτομερής σχεδίαση και προγραμματισμός των μετρήσεων αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα για την ομαλή και σωστή διεξαγωγή ενός πειράματος.

Κατά τον σχεδιασμό καθορίζεται η διάρκεια μέτρησης ανάλογα με την συμπεριφορά του μετρούμενου μεγέθους. Στην περίπτωση περιοδικών μεγεθών απαιτείται διάρκεια μέτρησης πολλαπλάσια της περιόδου. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην μέτρηση μεγεθών με τάση καθώς ανάλογα την στιγμή μέτρησης μπορεί να υπερτιμηθεί ή να υποτιμηθεί το μετρούμενο μέγεθος. Ακόμη η απαιτούμενη διάρκεια μέτρησης για την δημιουργία ασφαλούς δείγματος διαφοροποιείται ανάλογα με το υπόδειγμα που ακολουθεί η χρονοσειρά των μετρήσεων, αν για παράδειγμα ακολουθείται υπόδειγμα Λευκού Θορύβου η διάρκεια μέτρησης μπορεί να είναι πολύ μικρή ενώ στην περίπτωση του Τυχαίου Περιπάτου η διάρκεια μέτρησης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερη από το διάστημα διαχωρισμού μέσα στο οποίο η αυτοσυσχέτιση γίνεται στατιστικά μη σημαντική.

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων πρέπει να αφαιρεθεί η μεταβατική περίοδος, ώστε η τελική χρονοσειρά να ανταποκρίνεται στην κατάσταση φυσιολογικής λειτουργίας. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων προτείνεται να χρησιμοποιούνται χρονοσειρές χωρίς μεταβατικά φαινόμενα.

Από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του πρώτου πειράματος για το φορτίο του φωτισμού των γραφείων, τα βασικά συμπεράσματα είναι τα εξής:

- Η κατανάλωση για τον φωτισμό των γραφείων είναι μεγάλη σε μέγεθος, αλλά αποτελεί ένα μικρό ποσοστό στη συνολική κατανάλωση.
- Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων παρουσιάστηκε μία πάγια ελάχιστη κατανάλωση που πιθανόν να εξηγείται από τα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος. Αυτή η κατανάλωση είναι πιθανόν να μην βελτιωθεί με την αλλαγή σε λαμπτήρες LED, παρά μόνο με την συνολική αναβάθμιση του συστήματος. Ωστόσο η

διεξοδικότερη μελέτη της πάγιας κατανάλωσης ξεπερνάει το πλαίσιο αυτής της διπλωματικής και προτείνεται ως αντικείμενο μελλοντικής μελέτης.

Κατά το δεύτερο πείραμα με αντικείμενο την μελέτη της ευαισθησίας της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τη ρύθμιση θερμοκρασίας σε κλιματιστικά σώματα, τα βασικά συμπεράσματα είναι τα εξής:

- Το φορτίο για τον κλιματισμό των γραφείων αποτελεί ένα μικρό ποσοστό στην συνολική κατανάλωση.
- Στον κλιματισμό όταν γίνεται η ρύθμιση της θερμοκρασίας θα πρέπει να δίνεται σημασία στην ιδανική εσωτερική θερμοκρασία για εργασιακούς χώρους. Σύμφωνα με δημοσίευση στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης (17 Ιουνίου 2008, Αρ.Φύλλου 1122) η εσωτερική θερμοκρασία των χώρων εργασίας προτείνεται να είναι από 18°C έως 21°C. Μία μείωση της θερμοκρασίας ρύθμισης θερμοστατών σε αυτές τις θερμοκρασίες θα μπορούσε να επιφέρει άμεση μείωση στην ηλεκτρική κατανάλωση.

Ως επέκταση του ανωτέρω, προτείνεται ως αντικείμενο μελλοντικής μελέτης η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση λειτουργίας των θερμοστατών στις παραπάνω θερμοκρασίες.

- Ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με τη χρήση του αναλυτή ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος στα κλιματιστικά θα πρέπει να δίνεται στο χρόνο αποκατάστασης μεταξύ δύο μεταβολών της θερμοκρασίας που ρυθμίζονται τα κλιματιστικά, ώστε το αποτέλεσμα να μην περιλαμβάνει μόνο τα μεταβατικά φαινόμενα.

Κατά το δεύτερο μέρος του πειράματος στο σύστημα κλιματισμού, που περιελάμβανε την αξιολόγηση ενός συστήματος βελτίωσης της ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η τοποθέτηση συστήματος βελτίωσης ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος σε ένα επίπεδο του συστήματος δεν οδηγεί απαραίτητα σε ελάττωση του κόστους παροχής. Το συγκεκριμένο γεγονός αναφέρεται και στο βιβλίο του καθηγητή του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Πέτρου Ντοκόπουλου με τίτλο "Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών" ως:

‘Διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται

- I. Τοπικά, δηλ σε κάθε συσκευή, αν η συσκευή λειτουργεί συνεχώς με σταθερό φορτίο, έτσι μειώνονται τα ρεύματα και οι διατομές των καλωδίων.
  - II. Ομαδικά, δηλ. Σε ομάδες συσκευών, αν αυτές έχουν σταθερή λειτουργία
  - III. Κεντρικά ή γενικά, αν η φόρτιση των διαφόρων συσκευών είναι κυμαινόμενη. Τοπική η ομαδική αντιστάθμιση συμφέρει μόνο σε περίπου σταθερά (συνεχή) φορτία, γιατί μειώνει την ισχύ της κεντρικής ρυθμιζόμενης αντιστάθμισης.”
- Για την τοποθέτηση ενός συστήματος βελτίωσης ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος με στόχο την μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας πιθανόν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το συνολικό φορτίο και οι προηγούμενες βελτιωτικές ενέργειες.



- Μία πολυεπίπεδη επέμβαση, που ξεκινά από τα επιμέρους υποσυστήματα και καταλήγει στον κεντρικό πίνακα, θα μπορούσε να οδηγήσει στην βελτιστοποίηση της ποιότητας ισχύος και την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρον αντικείμενο μελλοντικής μελέτης θα μπορούσε να είναι η εφαρμογή ενεργειών βελτίωσης της ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος ξεκινώντας από τα επιμέρους ηλεκτρικά υποσυστήματα και καταλήγοντας σταδιακά στον κεντρικό πίνακα.

Από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του τρίτου πειράματος για το φορτίο στο ψυχοστάσιο, τα βασικά συμπεράσματα είναι τα εξής:

- Το φορτίο του ψυχοστασίου αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κατανάλωσης και αυτό που ρυθμίζει σε μεγάλο βαθμό τον συνολικό συντελεστή ισχύος.
- Στα επαγγελματικά ψυγεία προκύπτουν σχεδόν σταθερές καταναλώσεις με μόνη επιρροή στη μεταβολή της κατανάλωσης την διάρκεια και τη συχνότητα του ανοίγματος της πόρτας. Όσο πιο μικρές σε διάρκεια και λιγότερες σε συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.



## Βιβλιογραφία

---

- Wikipedia: <http://el.wikipedia.org>, <http://en.wikipedia.org>
- Σημειώσεις: Διαχείρισης Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική, Εργαστήριο Συστημάτων και Αποφάσεων και Διοίκησης Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα 2006
- Σημειώσεις: Ποιότητα Ισχύος, Μεταπτυχιακό Μάθημα "Electric Power Supply Quality", Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα 2008
- Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα 1998
- Time series analysis: forecasting and control, George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel.
- Introduction to time series analysis and forecasting, Douglas C. Montgomery, Cheryl L. Jennings, Murat Kulahci
- Χρονολογικές σειρές (Time Series), Lecture notes, Φ. Κουντούρη 2008
- Σημειώσεις: Ανάλυση Χρονοσειρών, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, ΕΜΠ
- ISO 50002:2014 "Energy audits -- Requirements with guidance for use"
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), "Οδηγοί Ενεργειακής Επιθεώρησης", <http://www.cres.gr/kape/publications/download.htm>
- Σημειώσεις: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα 2008
- Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ, Ιωάννινα 2006
- Οδηγός Υγιεινής και Ασφάλειας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2013
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ): Τιμολόγιο ΒΥ (Υψηλού Συντελεστή Χρησιμοποίησης) Μέσης Τάσης <https://www.dei.gr/Documents2/TIMOLOGIA/1-1-2017%20με%20νεο%20ETMEAP/MT-1-1-17%20NEW%20ETMEAP/Timologia%20BY-1-1-17.pdf>
- Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ): Τεχνική Προδιαγραφή Μονοφασικοί και Τριφασικοί Ηλεκτρονικοί Μετρητές Χ.Τ.

<http://www.deddie.gr/Documents2/>

- Ψηφιακό Τεκμήριο: Έξυπνοι Ψηφιακοί Μετρητές Ηλεκτρισμού  
[http://vivliothmmy.ee.auth.gr/1014/3/Smart\\_Meters\\_Thalassinou\\_M.pdf](http://vivliothmmy.ee.auth.gr/1014/3/Smart_Meters_Thalassinou_M.pdf)
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ): Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σύμφωνα με την τεχνική οδηγία 2425/86 του ΤΕΕ
- Οδηγός εργαλείου NumXL:  
<http://www.spiderfinancial.com/support/documentation/numxl/reference-manual>
- Οδηγός Αναλυτή Ποιότητας Ηλεκτρικής Ισχύος Fluke 1735:  
[http://media.fluke.com/documents/1735\\_umeng0200.pdf](http://media.fluke.com/documents/1735_umeng0200.pdf)
- Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών, Πέτρος Ντοκόπουλος, Α' Έκδοση Ιανουάριος 2005, εκδόσεις Ζήτη