

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής ενέργειας  
για την ενεργειακή διαχείριση κτηρίων και εξαγωγή  
καμπυλών εκτίμησης κατανάλωσης**

**Δημήτριος Κ. Αλεξόπουλος**

Εξεταστική Επιτροπή:

Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης , Καθηγητής (Επιβλέπων)

Σταυρακάκης Γεώργιος , Καθηγητής

Αντώνης Τσικαλάκης , Διδάσκων Π.Δ 407/80

Χανιά, Αύγουστος 2014



## Πρόλογος

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Διδάκτορα Αντώνιο Τσικαλάκη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας, τόσο για το θεωρητικό, όσο και για το πρακτικό υπόβαθρο, αφού μου παρείχε πρόσβαση σε εργαστηριακό εξοπλισμό, στο εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών (ΣΤΕΦ) του Τεχνολογικού Ιδρύματος Κρήτης, στο Ηράκλειο, για την προσομοίωση πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του μετρητή ZEPTO 96, ώστε να εκσφαλματωθεί ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Ένα ακόμα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και για την παρακολούθηση της πορείας της όλο το χρονικό διάστημα μέχρι την ολοκλήρωσή της, καθώς και στον καθηγητή κ. Γεώργιο Σταυρακάκη για τις πολύτιμες υποδείξεις του. Και τα τρία πρόσωπα, θα ήθελα να τα ευχαριστήσω θερμά για την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που έδειξαν από την πρώτη στιγμή, στις δυνατότητές μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διευθυντή Εξαγωγών της εταιρίας Electrex, στην Ιταλία, κ. Skender Musaj, για την ενημέρωση και την παροχή απαραίτητων στοιχείων για το πώς λειτουργεί το πρωτόκολλο Modbus που χρησιμοποιεί ο μετρητής ZEPTO 96 και πως λειτουργούν οι καταχωρητές τους συγκεκριμένου μετρητή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών του Πολυτεχνείου Κρήτης και ιδίως, τον κ. Ανδρέα Γαρεδάκη (Διαχειριστής BMS) για την ενημέρωση και την παροχή απαραίτητων στοιχείων που αφορούν τόσο τις εγκαταστάσεις του υποσταθμού του κτηρίου Επιστημών, όσο και άλλα τεχνικά θέματα, καθώς και το συμφοιτητή Άκη Βαβουρανάκη, για τη βοήθεια που μου παρείχε μέσω της διπλωματικής του εργασίας, ώστε χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία του, να αποκτήσω δεδομένα για τον κλιματισμό του κτηρίου Επιστημών.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους(ες) και συναδέλφους στη σχολή, για τα ωραία φοιτητικά χρόνια που περάσαμε, αλλά κυρίως ευχαριστώ τους στενούς μου φίλους Γιώργο Γ. , Γιώργο Κ., Δημήτρη, Παναγιώτη και Φίλιππο για την ηθική υποστήριξή τους. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου Κώστα και Άννα για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

## Περίληψη

Τα προηγμένα μετρητικά συστήματα συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη κατανόηση της κατανάλωσης ενέργειας σε μία κτιριακή εγκατάσταση και κατά συνέπεια στην ανάπτυξη των κατάλληλων στρατηγικών διαχείρισής της. Η χρήση των συστημάτων αυτών, είναι απαραίτητη τόσο στη συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στην εξοικονόμηση χρηματικών πόρων, από τον περιορισμό της αλόγιστης σπατάλης της.

Οι κτιριακές εγκαταστάσεις έχουν αυξήσει σημαντικά τις καταναλώσεις ενέργειας ώστε να αντιπροσωπεύουν το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Πολλές κτιριακές εγκαταστάσεις τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό, προσπαθούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας. Αρκετά πανεπιστημιακά ιδρύματα, όπως και το Πολυτεχνείο Κρήτης, έχουν εστιάσει τις προσπάθειές τους στην πληρέστερη καταγραφή των καταναλώσεων τους, ώστε να εντοπιστούν πιθανά σημεία παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περαιτέρω κατανόηση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου Επιστημών, που βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη. Ως ενδιάμεσο στόχο για την επίτευξη του σκοπού αυτού, θέσαμε την υλοποίηση ενός συστήματος καταγραφής των καταναλώσεων του Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2), του κτηρίου Επιστημών. Αυτό προϋποθέτει την κατανόηση των μετρητικών οργάνων και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιεί ο μετρητής τύπου ZEPETO 96 του μετασχηματιστή.

Αφού υλοποιήθηκε αλγόριθμος ανάγνωσης και καταγραφής δεδομένων, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν επεξεργάστηκαν προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την κατανάλωση ενεργού και άεργου ισχύος την εξαγωγή τυπικών καμπύλων κατανάλωσης ισχύος για καθημερινές μέρες, Σάββατα και Κυριακές ανάλογα με τον πληθυσμό του κτηρίου, την περίοδο λειτουργίας, τη θερμοκρασία και τις καιρικές συνθήκες. Παρουσιάστηκαν επίσης στοιχεία για τη ζήτηση ανά φάση και τη συμπεριφορά τάσης και ρεύματος. Επιχειρήθηκε επίσης κατανομή της ζήτησης του συγκεκριμένου Μ/Σ σε τελικές χρήσεις.

Τα δεδομένα ενεργού ισχύος από τον Μ/Σ 2 συσχετίστηκαν τόσο με μετρήσεις ισχύος των κλιματιστικών VRV, όσο και μετρήσεις ισχύος της Πολυτεχνειούπολης από το μετρητικό σύστημα του ΔΕΔΔΗΕ. Έτσι μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη ζήτηση (ενεργειακή και αιχμή) όλης της Πολυτεχνειούπολης. Το γεγονός αυτό αποκτά μεγαλύτερη αξία καθώς ο συγκεκριμένος Μ/Σ αποτελεί περίπου το 15% της κατανάλωσης της Πολυτεχνειούπολης, ενώ η Πολυτεχνειούπολη αποτελεί το 0.88% της ενεργειακής κατανάλωσης της περιοχής εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων με σημαντική συμβολή στη μεσημεριανή αιχμή του Υ/Σ ειδικά σε περιόδους χαμηλών ή υψηλών θερμοκρασιών.

Τέλος παρουσιάστηκαν κάποιες προτάσεις προς διερεύνηση για την εξοικονόμηση ενέργειας στην Πολυτεχνειούπολη που όχι μόνο θα συμβάλλουν στη μείωση του ενεργειακού κόστους αλλά θα ανακουφίσουν την κορεσμένη δικτυακή περιοχή της χερσονήσου του Ακρωτηρίου.

## **Abstract**

Advanced monitoring systems contribute to improved understanding of the energy consumption in a building installation and consequently to the development of appropriate energy management strategies. Use of such systems, is necessary both in the electricity market, and saving money by reducing the irrational waste of energy.

The building sector accounts for the 40% of the demand in European Union. In many building both in Greece and abroad, energy consumption reduction is sought. Several universities, like Technical University of Crete, have focused on monitoring and recording their consumption, in order to identify possible points of intervention to save energy.

The purpose of this thesis is to further clarify the energy consumption of the Science building also hosting our department. As an intermediate step to achieve this goal, a system for recording consumption of transformer number 2, at Science building was implemented. This requires an understanding of measuring instruments and communication protocols used by metering ZEPTO 96 of the transformer.

A software tool for retrieving data from the energy meter was developed and data were collected regarding power per phase (active and reactive), current and voltage measurements at very frequent intervals. The collected data were further analyzed in order not only to obtain concrete information on active and reactive power per phase but also to extract typical load curves for weekdays, Saturdays and Sundays linked with the occupancy of the building, the season, the temperature and weather conditions. Some conclusions on voltage and current were also drawn. Finally, a preliminary distribution of the transformer demand to building's end uses was made.

The active power data from transformer 2 were correlated to both power measurements of VRV air-conditioning, and measurements of the whole campus as derived from the metering system of the HEDNO. Thus, conclusions about the parameters affecting the consumption (energy and peak of power) of the campus can be drawn. This is even more valuable noticing that the consumption of the specific transformer is about 15% of the campus's consumption and the campus's consumption is about 0.88% of the energy consumption of the service area of the Substation Chania.

Finally, some proposals about saving energy in the campus we presented, which will not only contribute to reduction of energy cost of TUC but also will alleviate the congested distribution grid of the Akrotiri peninsula.

# Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή-Σκοπός της εργασίας.....	9
1.1 Σημασία μετρητικών συστημάτων .....	9
1.2 Monitoring - Πανεπιστήμια .....	11
1.2.1 Προσπάθειες σε Ελληνικά Ακαδημαϊκά ιδρύματα .....	12
1.3 Σκοπός της εργασίας.....	13
1.4 Δομή της εργασίας.....	14
Κεφάλαιο 2 – Μετρητικές Διατάξεις Υποσταθμού .....	16
2.1 Απλά μετρητικά Συστήματα .....	16
2.1.1 Κοινοί Επαγωγικοί Μετρητές .....	17
2.1.2 Μετρητικά συστήματα Ράγας .....	17
2.2 Γενική περιγραφή του εξοπλισμού των μετρητικών διατάξεων .....	19
2.2.1 Μετρητικές διατάξεις τιμολόγησης-χρέωσης .....	19
2.2.2 Προδιαγραφές της θέσης και του χώρου εγκατάστασης των μετρητικών διατάξεων .....	21
2.3 Μετασχηματιστές οργάνων μέτρησης.....	22
2.3.1 Μετασχηματιστές τάσης .....	22
2.3.2 Μετασχηματιστές έντασης.....	23
2.3.3 Κλάση ακρίβειας M/Σ οργάνων μέτρησης .....	29
2.4 Προδιαγραφές λοιπού εξοπλισμού μετρητικής διάταξης .....	30
2.4.1 Κιβώτιο δοκιμών.....	30
2.4.2 Πίνακας ή ερμάριο, καλώδια, συνδέσεις κ.λ.π. ....	30
2.5 Καταγραφικά δεδομένων.....	30
2.5.1 Χαρακτηριστικά καταγραφικών δεδομένων.....	31
2.6 Τυπικά Χαρακτηριστικά οργάνων μέτρησης .....	31
2.6.1 Nexus 1252 (Electro Industries/GaugeTech).....	31
2.6.2 CM 4000 (Schneider Electric) .....	35
2.6.3 Shark 100 (Electro Industries/GaugeTech).....	38
2.6.4 PM 800 (Schneider Electric).....	44
2.6.5 ZEPTO 96 (Electrex) .....	47
Κεφάλαιο 3 – Δίκτυα και Πρωτόκολλα Επικοινωνίας Μετρητών .....	53

3.1 Συνδεσμολογία συσκευών που απαρτίζουν ένα δίκτυο επικοινωνίας.....	54
3.2 Αναγνωρισμένα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας .....	56
3.2.1 BACnet .....	57
3.2.2 European Installation Bus - EIB .....	58
3.2.3 LonWorks .....	60
3.2.4 CAN .....	61
3.2.5 ARCNET.....	63
3.2.6 BitBus .....	64
3.2.7 PROFIBUS .....	65
3.2.8 Modbus .....	68
Κεφάλαιο 4 – Περιγραφή συστήματος καταγραφής ενέργειας του Κτηρίου Επιστημών .....	79
4.1 Hardware συστήματος καταγραφής ενέργειας .....	79
4.2 Software συστήματος καταγραφής ενέργειας .....	81
4.3 Περιγραφή αλγορίθμου .....	85
Κεφάλαιο 5 – Γενικά Χαρακτηριστικά Κτηρίου Επιστημών και Πολυτεχνειούπολης.....	87
5.1 Το Πολυτεχνείο Κρήτης .....	87
5.2 Το Κτήριο Επιστημών .....	91
5.2.1 Υποσταθμός Μέσης Χαμηλής Τάσης.....	91
5.2.2 Επιμέρους Τυπικά Φορτία .....	98
Κεφάλαιο 6 – Αποτελέσματα ανάλυσης Καταναλώσεων Κτηρίου Επιστημών .....	104
6.1 Ημερήσια κατανάλωση Κτηρίου Επιστημών .....	104
6.1.1 Καταναλισκόμενη ενέργεια ανά ημέρα .....	104
6.1.2 Συγκριτικά διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας Κτηρίου Επιστημών – Πολυτεχνειούπολης.....	105
6.1.3 Σχέση κλιματιστικού φορτίου Κτηρίου Επιστημών με κατανάλωση Πολυτεχνειούπολης.....	107
6.2 Τυπικά διαγράμματα κατανάλωσης ισχύος.....	112
6.2.1 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος για καθημερινές ημέρες.....	112
6.2.2 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος για Σάββατα.....	117
6.2.3 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος για Κυριακή.....	119
6.2.4 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος καθημερινής με βροχή.....	121
6.3 Κατανομή της ζήτησης σε τελικές χρήσεις .....	122

6.4 Συγκεντρωτικοί πίνακες μεγίστων/ελαχίστων ενεργού ισχύος .....	127
6.5 Συγκεντρωτικοί πίνακες άεργου ισχύος .....	131
6.5.1 Πίνακας μέγιστης προσφερόμενης και απορροφούμενης άεργου ισχύος	131
6.5.2 Συγκεντρωτικός πίνακας προσφοράς και απορρόφησης άεργου ισχύος..	133
6.6 Συγκεντρωτικός πίνακας μέγιστης έντασης ρεύματος ανά φάση .....	135
6.7 Συντελεστής ισχύος .....	136
6.8 Ιστογράμματα τάσης.....	143
Κεφάλαιο 7 – Συμπεράσματα .....	146
7.1 Αποτελέσματα ανάλυσης δεδομένων για την Πολυτεχνειούπολη .....	147
7.2 Συμπεράσματα από τη μελέτη επί του κτηρίου Επιστημών.....	147
7.2.1 Συμπεράσματα για την Κατανάλωση Ενέργειας .....	148
7.2.2 Χαρακτηριστική τυπικής ζήτησης .....	150
7.2.3 Άεργος ισχύς .....	151
7.2.4 Συμπεριφορά τάσης δευτερεύοντος Μ/Σ.....	151
7.3 Συμπεράσματα από τη συγκριτική μελέτη κατανάλωσης ενέργειας κτηρίου Επιστημών – Πολυτεχνειούπολης .....	152
7.4 Προτάσεις .....	153
Κεφάλαιο 8 – Αναφορές - Βιβλιογραφία.....	156



# Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή-Σκοπός της εργασίας

## 1.1 Σημασία μετρητικών συστημάτων

Σε μια εποχή που η τεχνολογία και η ανάπτυξη εξελίσσονται με ραγδαίους ρυθμούς, όπως άλλωστε και οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες του ανθρώπου για κατανάλωση ενέργειας, σημαντικό ρόλο κατέχουν τα μετρητικά συστήματα. Αυτά, μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη νέων στρατηγικών διαχείρισης ενέργειας, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν τον τρόπο κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας. Η χρήσης τους είναι απαραίτητη τόσο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στην εξοικονόμηση χρηματικών πόρων, από τον περιορισμό της αλόγιστης σπατάλης της.

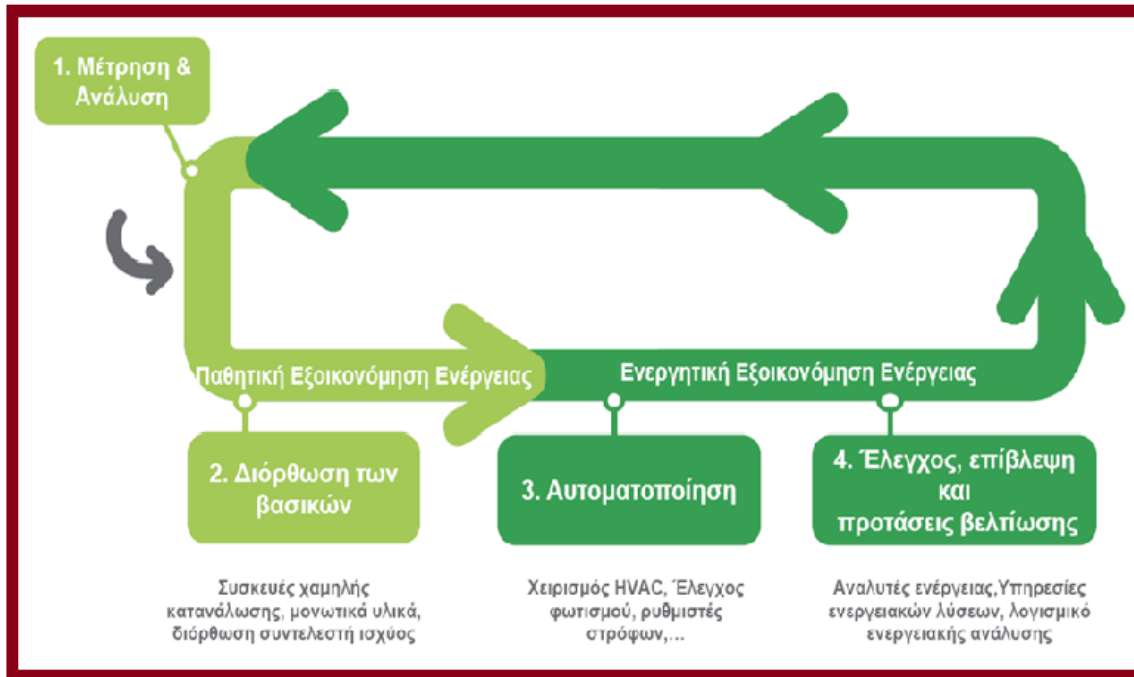
Όλοι γνωρίζουμε τους απλούς μετρητές που διαθέτουν οι κατοικίες μας. Οι δυνατότητες αυτών είναι πεπερασμένες, μετρώντας και παρουσιάζοντας στους χρήστες το καταναλισκόμενο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, καινούργιοι μετρητές, που μπορούν να χαρακτηριστούν “ευφυείς” και τοποθετούνται κυρίως σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις από ένα απλό σπίτι, επιτρέπουν την παραγωγή, μετάδοση και ανάλυση δεδομένων σχετικά με τους καταναλωτές, σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό. Κατά συνέπεια, παρέχουν τη δυνατότητα στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου (γνωστούς επίσης και ως διαχειριστές των δικτύων διανομής), τους προμηθευτές ενέργειας και του ίδιους τους καταναλωτές να συγκεντρώνουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και τα πρότυπα χρήσης, καθώς και να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τα ενεργειακά προφίλ τους. Τέτοιου τύπου αποφάσεις είναι συχνά προς όφελος των καταναλωτών από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας, χωρίς όμως να συνδυάζεται με μείωση της άνεσης ή της ποιότητας.

Στη συνέχεια, παραθέτουμε δυο εικόνες στις οποίες περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία εξοικονόμησης ενέργειας και η αξία της εξοικονόμησης ενέργειας. Αρχικά, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να χωριστεί σε δυο μέρη, παθητική και ενεργητική εξοικονόμηση.

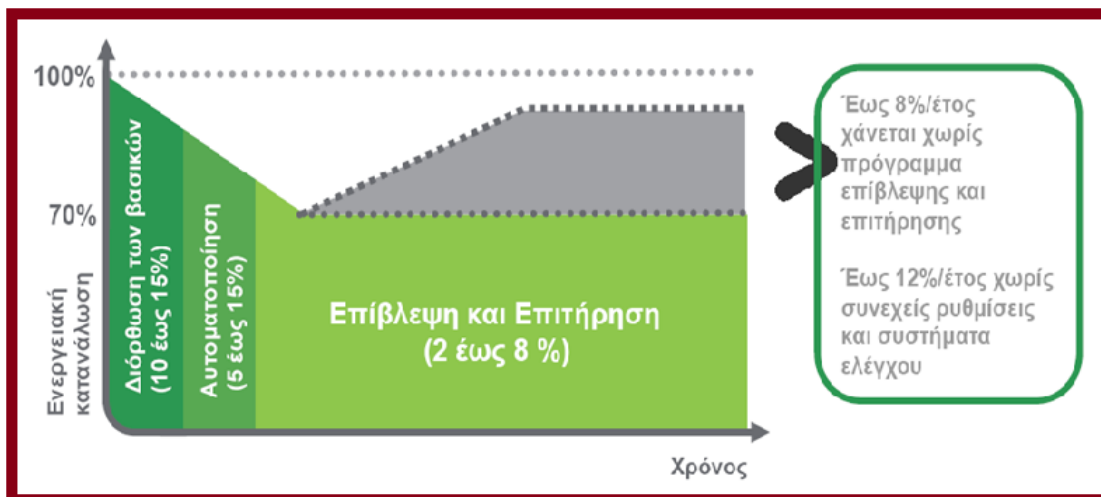
Η παθητική εξοικονόμηση περιλαμβάνει πρώτα τη μέτρηση και την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας και έπειτα, αν διαπιστωθεί απόκλιση από την επιθυμητή κατανάλωση, περιλαμβάνει τις πρώτες βασικές διορθωτικές κινήσεις όπως διόρθωση συντελεστή ισχύος, αντικατάσταση ενεργειακών ηλεκτρικών συσκευών με άλλες χαμηλότερης κατανάλωσης, τοποθέτηση μόνωσης ώστε να περιοριστεί η απώλεια θερμότητας ή ψύξης ανάλογα την εποχή κ.α.

Το επόμενο στάδιο της ενεργητικής εξοικονόμησης ενέργειας περιλαμβάνει την τοποθέτηση αυτοματοποιημένων συστημάτων για τον χειρισμό του συστήματος εξαερισμού και κλιματισμού, τον έλεγχο του φωτισμού, τις ρυθμίσεις στροφών ενός κινητήρα κ.α. σε μια κτηριακή εγκατάσταση. Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται η παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα και ταυτόχρονα περιορίζεται και η πιθανότητα λάθους. Τέλος, τοποθετώντας μετρητές και αναλυτές ενέργειας, συνδυάζοντάς τους με ενεργοποιητές και αισθητήρες, κάτω από την επίβλεψη ενός λογισμικού ενεργειακής ανάλυσης, δημιουργούμε ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης, ικανό να ελέγχει και να επιτηρεί την κατανάλωση ενέργειας και να περιορίζει τη σπατάλη της.

Εφαρμόζοντας όλα τα παραπάνω, μειώνεται κατά πολύ η ενεργειακή κατανάλωση. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιώντας τις πρώτες βασικές διορθωτικές κινήσεις που αναφέραμε προηγουμένως, εξοικονομούμε από 10%-15%. Έπειτα, αυτοματοποιώντας κάποια από τα συστήματα μιας εγκατάστασης, εξοικονομούμε από 5%-15% και τέλος, η χρήση κάποιου πρόγραμμα επίβλεψης και επιτήρησης στο σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας μας ελαφρύνει από ποσό ενέργειας που αντιστοιχεί περίπου μέχρι και 8% ανά έτος<sup>1</sup>.



Εικόνα 1: Μεθοδολογία εξοικονόμησης ενέργειας



Εικόνα 2: Ενδεικτική αξία εξοικονόμησης ενέργειας

## 1.2 Monitoring - Πανεπιστήμια

Τα περασμένα χρόνια, παρατηρήθηκε πως η κατανάλωση ενέργειας παρουσίασε απότομα μια πολύ σημαντική αύξηση. Η τάση αυτή, τείνει να συνεχιστεί και στο μέλλον, οπότε κρίνεται σκόπιμο να γίνουν κάποιες ενέργειες με στόχο τον περιορισμό της σπατάλης ενέργειας και παράλληλα η ενεργειακή απόδοση να φθάσει σε τέτοια επίπεδα, ώστε να υπάρχει αειφόρος ανάπτυξη<sup>2</sup>. Πράγματι, πολλές κτηριακές εγκαταστάσεις τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό, προσπαθούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας, ώστε να μειώσουν το ποσοστό που εξέδωσε η ευρωπαϊκή Ένωση, πως για το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης είναι υπεύθυνα τα κτήρια<sup>3</sup>.

Αρκετά πανεπιστημιακά ιδρύματα έχουν εστιάσει τις προσπάθειές τους στην πληρέστερη καταγραφή των καταναλώσεων τους ώστε να εντοπιστούν πιθανά σημεία παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Για παράδειγμα το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια<sup>4</sup> σε συνεργασία με άλλους φορείς υλοποίησαν ένα νέο πρωτοποριακό πρόγραμμα, το οποίο εκσυγχρονίζει ενεργειακά τις υπάρχουσες κτηριακές εγκαταστάσεις του πανεπιστημίου, εγκαθιστώντας εξοπλισμό για την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει αναβαθμισμένους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και κατανάλωσης αερίου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι τόσο σε κεντρικές περιοχές, όσο και σε υποπεριοχές, ώστε να επιτυγχάνεται λεπτομερής ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και ένα αναβαθμισμένο λογισμικό ενεργειακής διαχείρισης και ελέγχου του πανεπιστημίου. Πιο συγκεκριμένα, το πρωτοποριακό πρόγραμμα χρησιμοποιεί απομακρυσμένο σύστημα μέτρησης με δυνατότητα καταγραφής, για να προσδιορίσει πιθανές μη αναγνωρισμένες ανεπάρκειες του προηγούμενου ενεργειακού συστήματος, διευκολύνει την εφαρμογή των διαγνωστικών πρωτοκόλλων και τεκμηριώνει την εξοικονόμηση ενέργειας από λειτουργικές βελτιώσεις που διεξάγονται στο ήδη υπάρχον σύστημα. Δίνει δε, έμφαση στην εκπαίδευση του προσωπικού του campus, ώστε να είναι σε θέση να λειτουργεί το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης όπως προβλέπεται και κατά συνέπεια τις εγκαταστάσεις της πανεπιστημιούπολης. Στόχος του συστήματος είναι η μείωση της αιχμής του φορτίου, σε συνδυασμό με μείωση της ετήσιας χρήσης ηλεκτρισμού και αερίου. Αυτό, οδήγησε στην αποταμίευση σημαντικών χρηματικών πόρων, της τάξης των \$381.320 μετά την υλοποίηση 8 βασικών στόχων του προγράμματος, ποσοστό που αντιστοιχεί στο 28% του συνολικού χρηματικού ποσού που είχε τεθεί από το πανεπιστήμιο, ως κατώτατο όριο αποταμίευσης. Οι στόχοι περιλάμβαναν βαθμονόμηση αισθητήρων, επιδιόρθωση βαλβίδων, ρύθμιση ονομαστικών τιμών στον κλιματισμό και τα συστήματα εξαερισμού των κτηρίων, αναβάθμιση του λογισμικού ενεργειακής διαχείρισης και ελέγχου κ.α.

Ένα ακόμη πανεπιστήμιο του εξωτερικού, το πανεπιστήμιο της LEON<sup>5</sup> στην Ισπανία, ανέπτυξε ένα προχωρημένο σύστημα καταγραφής ηλεκτρικής ενέργειας για τα κτήρια που βρίσκονται στο campus. Από άποψη σχεδιασμού, το σύστημα βασίζεται σε ένα πρότυπο τριών στρωμάτων. Το στρώμα του εξυπηρετητή (server) περιλαμβάνει τους ηλεκτρικούς μετρητές, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο επικοινωνίας όπου ανταλλάσσουν δεδομένα χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Modbus. Το μεσαίο στρώμα, αποθηκεύει τα αποκτηθέντα δεδομένα, και τα αξιοποιεί εξάγοντας συμπεράσματα για το ηλεκτρικό σύστημα και έχοντας σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Το στρώμα του πελάτη (client) παρέχει τόσο παραδοσιακά όσο και προχωρημένα εργαλεία καταγραφής μέσω

διαδικτύου. Αυτά χρησιμοποιούν στατιστικές μεθόδους και μεθόδους εξαγωγής δεδομένων για να οπτικοποιήσουν τα ηλεκτρικά μεγέθη, να συγκρίνουν καταναλώσεις κτηρίων, να προβλέψουν κατανάλωση κ.α.

### **1.2.1 Προσπάθειες σε Ελληνικά Ακαδημαϊκά ιδρύματα**

Επιπλέον στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο πραγματοποιήθηκε μέτρηση κατανάλωσης για το κλιματιστικό φορτίο σε βήμα 15' για κάποιες περιόδους του 2008 για μία ομάδα 4 αμφιθεάτρων. Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την ανάλυση της επίπτωσης εγκατάστασης συστήματος τρί-παραγωγής όσο και σε πειράματα αποσύνδεσης του φορτίου αυτού. Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν αποκεντρωμένα συστήματα ελέγχου μέσω πρακτόρων. Ο κάθε πράκτορας διαθέτει ένα επίπεδο αυτονομίας γιατί λειτουργεί χωρίς την άμεση ανθρώπινη παρέμβαση. Για παράδειγμα μπορεί να προγραμματιστεί να αποσυνδέσει κάποιο φορτίο, για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, όταν η τιμή της κατανάλωσης ξεπεράσει ένα όριο. Σε κάθε πράκτορα έχουμε την ικανότητα να ορίσουμε και διαφορετικό όριο, οπότε η πληροφορία που προκύπτει για την περιοχή επίβλεψης του πράκτορα είναι τοπική καθώς επίσης και ο έλεγχος των φορτίων καθορίζεται με βάση τις τοπικές συνθήκες. Η αποτελεσματική αξιοποίηση των τοπικών πληροφοριών συμβάλει στην ταυτόχρονη μεγιστοποίηση του φορτίου και μείωση των δαπανών. Άλλο ένα θετικό στοιχείο της αποκεντρωμένης μεθόδου είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους του φορτίου που βγαίνει εκτός συστήματος και των κερδών από την εξοικονόμηση ενέργειας.

Πιο αναλυτικά, ένας πράκτορας ελέγχει τέσσερα αμφιθέατρα στο Πολυτεχνείο και συγκεκριμένα την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη θερμοκρασία μέσα σε αυτά. Η πρώτη θεωρείται ποιο σημαντική γιατί η εσωτερική θερμοκρασία εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όταν επικρατούν άσχημες περιβαλλοντικές συνθήκες, οι διακοπές των φορτίων (όπως κλιματισμός) πρέπει να είναι σύντομες, ώστε οι εσωτερικές συνθήκες να είναι ευχάριστες. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που λήφθηκε υπόψη στη μελέτη είναι το ποσοστό κάλυψης των αμφιθεάτρων. Αν ο πληθυσμός είναι μεγάλος, η ευελιξία στη διακοπή φορτίων θα είναι δυσκολότερη σε σχέση με ένα σαββατοκύριακο, όπου ο πληθυσμός των φοιτητών είναι αισθητά μειωμένος. Επίσης το γεγονός ότι υπάρχει ένας πράκτορας που ελέγχει τέσσερα αμφιθέατρα, μειώνει το βαθμό ελευθερίας. Οι εσωτερικές συνθήκες (θερμοκρασία, φωτισμός, πληθυσμός) δεν είναι πάντα οι ίδιες σε όλα τα αμφιθέατρα.

Τέλος, αποδείχθηκε πως η εφαρμογή του πολυπρακτορικού συστήματος, μείωσε το κόστος κατά 10%. Και αυτό γιατί το πολυπρακτορικό σύστημα αξιοποιεί την ευελιξία του να αλλάζει τη διάρκεια της αποσύνδεσης του φορτίου, σύμφωνα με τις τιμές της αγοράς και με βάση τις τοπικές πληροφορίες.

Ένα ακόμη ελληνικό πανεπιστήμιο στο οποίο θέλησαν να κατανοήσουν την ενεργειακή κατανάλωση, από άποψη λειτουργίας των λεβήτων, είναι το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης<sup>6</sup>. Το βασικό θέμα το οποίο εξετάστηκε στη εργασία εκείνη ήταν η εξαγωγή των δεδομένων και η στατιστική επεξεργασία τους. Επιπλέον εξετάστηκε ο υπολογισμός του χρόνου λειτουργίας κάθε ενός λέβητα και του συνολικού χρόνου ανά μήνα και ολόκληρη τη διάρκεια του χειμώνα. Από αυτόν τον υπολογισμό βάσει των μαθηματικών τύπων της Θερμοδυναμικής και της Μετάδοσης Θερμότητας υπολογίστηκε η αποδιδόμενη ενέργεια η

οποία σε συνάρτηση με την κατανάλωση φυσικού αερίου αποτέλεσε στοιχείο σύγκρισης της απόδοσης του συστήματος.

Τέλος, το Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Υπολογιστών σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο της Πάτρας<sup>7</sup>, σχεδίασε και υλοποίησε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ένα δίκτυο αισθητήρων για να παρέχει ακριβείς πληροφορίες πραγματικού χρόνου, σχετικά με την πληρότητα, το φωτισμό, τη θερμοκρασία και την κατανάλωση ενέργειας σε κτηριακές εγκαταστάσεις που υποστηρίζουν πολλά γραφεία. Χρησιμοποιώντας μια πειραματική εγκατάσταση, υλοποίησαν εφαρμογές και υπηρεσίες που πετυχαίνουν εξοικονόμηση ενέργειας, επιλέγοντας το κατάλληλο ενεργειακό προφίλ. Επίσης, παρείχαν μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας, ώστε να συνειδητοποιήσουν πως διάφορες επιλογές τους, επηρεάζουν την εξοικονόμηση ενέργειας.

### 1.3 Σκοπός της εργασίας

Στα πλαίσια του να συμβάλουμε και μεις γενικότερα, στη μείωση του ποσοστού της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων της Ε.Ε., και ταυτόχρονα, να συμβάλουμε στο να επιτευχθεί το ποσοστό που έθεσε η Πρυτανία του Πολυτεχνείου Κρήτης<sup>8</sup> για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20%, μελετήσαμε την κατανάλωση του Κτηρίου Επιστημών, σε μια συγκεκριμένη περίοδο, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014.

Στην έμπνευση του αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής, βοήθησαν οι διπλωματικές εργασίες, προηγούμενων ετών, των συμφοιτητών Παφίλη και Βαβουρανάκη<sup>9</sup>.

Ο πρώτος είχε καταγράψει τις καταναλώσεις και τις αιχμές ανά μήνα όλης της Πολυτεχνειούπολης για το έτος 2010 και μία πρώτη εκτίμηση για τη ζήτηση κλιματιστικού και θερμικού φορτίου στην Πολυτεχνειούπολη<sup>10</sup>. Η εργασία αυτή σε συνδυασμό με την εργασία του κ. Ρούτση<sup>11</sup> συνέβαλε ώστε να μπορούν να διαστασιολογηθούν και να χωροθετηθούν Φ/Β πλαίσια εντός της Πολυτεχνειούπολης για την ικανοποίηση του 20% των ενεργειακών αναγκών της<sup>12</sup>.

Ο δεύτερος είχε καταγράψει τα στοιχεία του συστήματος BMS του κτιρίου Επιστημών, βοηθώντας να κατανοήσουμε τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του. Όμως ενώ υπήρχε απεικόνιση των καταγραφών από τους Μ/Σ του κτιρίου επιστημών, δεν ήταν εφικτή η καταγραφή των τιμών αυτών από το σύστημα BMS. Έτσι δυστυχώς περιορίστηκε η ανάλυση στην εκτίμηση προγραμματιζόμενων φορτίων όπως ο κοινόχρηστος φωτισμός του κτιρίου ή φορτίων όπως ο φωτισμός της γραμματείας και των αιθουσών, τα οποία είναι ευκολότερο να εκτιμηθεί η χρήση τους. Αναπτύχθηκε όμως ένα σύστημα εξαγωγής μετρήσεων από το ήδη εγκατεστημένο σύστημα καταγραφής των κλιματιστικών VRV της εταιρείας LG, το οποίο βασιζόταν σε Print Screens και ανάλυση εικόνας ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι εξήχθησαν χαρακτηριστικές καμπύλες για την κατανάλωση του κλιματισμού του κτιρίου VRV για το 2012.

Πρόσφατα μόνο ο ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) έδωσε τη δυνατότητα σε μεγάλους καταναλωτές Μέσης Τάσης με ηλεκτρονικούς μετρητές<sup>13</sup>, όπως το Πολυτεχνείο Κρήτης να αποκτήσουν πρόσβαση μέσω κωδικού σε μετρήσεις των ενεργειακών καταναλώσεων (ενεργού και άεργου ισχύος) ανά τέταρτο. Η τεχνική υπηρεσία απέκτησε τέτοιους κωδικούς και με τη συνδρομή της ήταν εύκολο να αποκτήσουμε τα αρχεία μετρήσεων παρελθόντων ετών. Αυτό ήταν ένα πολύ χρήσιμο βήμα, όμως δεν υπήρχε κάποια πιο λεπτομερής μελέτη για τις εσωτερικές καταναλώσεις του

κτηρίου Επιστημών, όπως ενεργό και άεργο ισχύ, τάσεις, ρεύματα και γενικότερα για την ενεργειακή του συμπεριφορά.

Οπότε θεωρήσαμε ως σκοπό την περαιτέρω κατανόηση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου Επιστημών. Ως ενδιάμεσο στόχο για την επίτευξη του σκοπού αυτού, θέσαμε την υλοποίηση ενός συστήματος καταγραφής των καταναλώσεων του μετασχηματιστή 2, του κτηρίου Επιστημών, πέραν της δυνατότητας για καταγραφή της συνολικής κατανάλωσης και της αιχμής του που αυτός παρέχει από το μενού του. Πρωτού ξεκινήσουμε την υλοποίηση, μελετήσαμε γενικά τα μετρητικά όργανα του εμπορίου και συγκεκριμένα αυτά που χρησιμοποιεί το κτήριο καθώς και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των μετρητικών συστημάτων του κτηρίου με το κεντρικό σύστημα παρακολούθησης ενέργειας, και με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές όπως ενεργοποιητές, ηλεκτρονικούς υπολογιστές κ.α. Έπειτα, για την εκπλήρωση του σκοπού, λαμβάνουμε δεδομένα, τα επεξεργαζόμαστε και εξαγάγουμε καμπύλες εκτίμησης φορτίου και συγκριτικά διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας και ισχύος.

Από αυτές τις μετρήσεις ήταν δυνατόν να συσχετίσουμε την ενεργειακή κατανάλωση του μετασχηματιστή 2 με μετρήσεις από το σύστημα VRV του κτηρίου, το σύστημα καταγραφών του ΔΕΔΔΗΕ και τις αρχικές εκτιμήσεις κατανομής της ζήτησης εντός του κτηρίου Επιστημών. Επίσης με τη βοήθεια ενεργειακών δεδομένων από το Υ/Σ Χανιά, που εξυπηρετεί την πόλη των Χανίων συμπεριλαμβάνοντας τη γραμμή Διανομής της Πολυτεχνειούπολης, μπορεί να εκτιμηθεί το μέγεθος της συμβολής της Πολυτεχνειούπολης στην κατανάλωση του συγκεκριμένου Υ/Σ.

Επίσης με τις δυνατότητες που προσέφεραν οι ενεργειακοί μετρητές είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε τυχόν διαταραχές που αφορούν την τάση, την ασυμμετρία φορτίου ανά φάση αλλά και το ρεύμα που διαρρέει κάθε εξυπηρετούμενη φάση.

Ο απώτερος σκοπός αυτής της εργασίας είναι να συμβάλλει στην ακόμη καλύτερη κατανόηση της ενεργειακής κατανάλωσης της Πολυτεχνειούπολης ώστε να είναι ευκολότερη η πρόταση συγκεκριμένων μέτρων μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων της Πολυτεχνειούπολης.

## **1.4 Δομή της εργασίας**

Αρχικά, παρουσιάζουμε τις μετρητικές διατάξεις ενός υποσταθμού. Μελετούμε γενικά τον εξοπλισμό των μετρητικών διατάξεων, τους μετασχηματιστές οργάνων μέτρησης, τα καταγραφικά δεδομένων και τα όργανα μέτρησης, παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά τους. Συγκρίνουμε τις δυνατότητες των απλών μετρητών, με αυτές των ευφυών, με τους τελευταίους να επιτρέπουν την παραγωγή, μετάδοση και ανάλυση δεδομένων σχετικά με τους καταναλωτές, σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό απ' ότι τα “παραδοσιακά ρολόγια” ή “μη ευφυείς μετρητές”. Επικεντρωνόμαστε δε, στο μετρητικό όργανο που χρησιμοποιείται στον υποσταθμό του Κτηρίου Επιστημών, που δεν είναι άλλο από το ZEPTO 96.

Στο επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 3), αναλύουμε τις συνδεσμολογίες των συσκευών που απαρτίζουν ένα δίκτυο επικοινωνίας και έπειτα μελετούμε τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που υπάρχουν στην αγορά και αφορούν συστήματα ενεργειακής διαχείρισης. Παρουσιάζουμε τα χαρακτηριστικά τους και δίνουμε περισσότερη έμφαση στο πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus RTU, που χρησιμοποιείται στο Κτήριο Επιστημών.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφουμε αντίστοιχα, το σύστημα καταγραφής ενέργειας τόσο από τη μεριά του hardware όσο και του software, και αναλύουμε τον αλγόριθμο που υλοποιήσαμε για το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ του μετρητικού οργάνου ZEPTO 96 και του υπολογιστή που χρησιμοποιήσαμε για την καταγραφή των δεδομένων. Επίσης περιγράφουμε τα τελευταία, τα οποία είναι η τάση με τον ουδέτερο, το ρεύμα, η ενεργός και άεργος ισχύ, για την κάθε μία από τις 3 φάσεις, καθώς και τη συχνότητα καταγραφής των δεδομένων που είναι ανά 2 λεπτά.

Έπειτα στο κεφάλαιο 5 αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του Κτηρίου Επιστημών και της Πολυτεχνειούπολης. Παρουσιάζουμε γραφήματα, που εξαγάγαμε, με τη μηνιαία κατανάλωση ενέργειας της Πολυτεχνειούπολης, τη μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ενέργειας της Πολυτεχνειούπολης ανά μήνα και τη μέγιστη ημερήσια ζήτηση ισχύος της Πολυτεχνειούπολης ανά μήνα. Συσχετίσαμε δε την αιχμή της πόλης των Χανίων με την αιχμή της Πολυτεχνειούπολης. Από την παρουσίαση γίνεται φανερό ότι η Πολυτεχνειούπολη είναι ένας από τους σημαντικότερους καταναλωτές της περιοχής των Χανίων τόσο σε επίπεδο ενεργειακής κατανάλωσης αλλά και αιχμής. Αν λάβει κανείς υπ' όψιν του και το σχετικό κορεσμό του Δικτύου Διανομής στην ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου του Ακρωτηρίου η εξοικονόμηση ενέργειας δε θα είναι ωφέλιμη μόνο για την Πολυτεχνειακή κοινότητα αλλά και για τους λοιπούς φορείς της περιοχής.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 ασχολούμαστε με τις καταναλώσεις του Κτηρίου Επιστημών. Παραθέτουμε τα αποτελέσματα μετά από την επεξεργασία των δεδομένων που καταγράψαμε από τον έναν από τους 2 Μετασχηματιστές Υποβιβασμού του κτιρίου επιστημών. Παρουσιάζουμε τυπικές καμπύλες κατανάλωσης ισχύος για καθημερινές μέρες, Σάββατα και Κυριακές με διαφορετικά γεγονότα στην καθεμία και τη σχέση του κλιματιστικού φορτίου του κτηρίου Επιστημών, με την κατανάλωση της Πολυτεχνειούπολης. Επίσης παραθέτουμε πίνακες με στοιχεία για ενεργό, άεργο ισχύ και ένταση ρεύματος, ιστογράμματα της τάσης και τέλος παρουσιάζουμε πως κατανέμεται η ζήτηση σε τελικές χρήσεις.

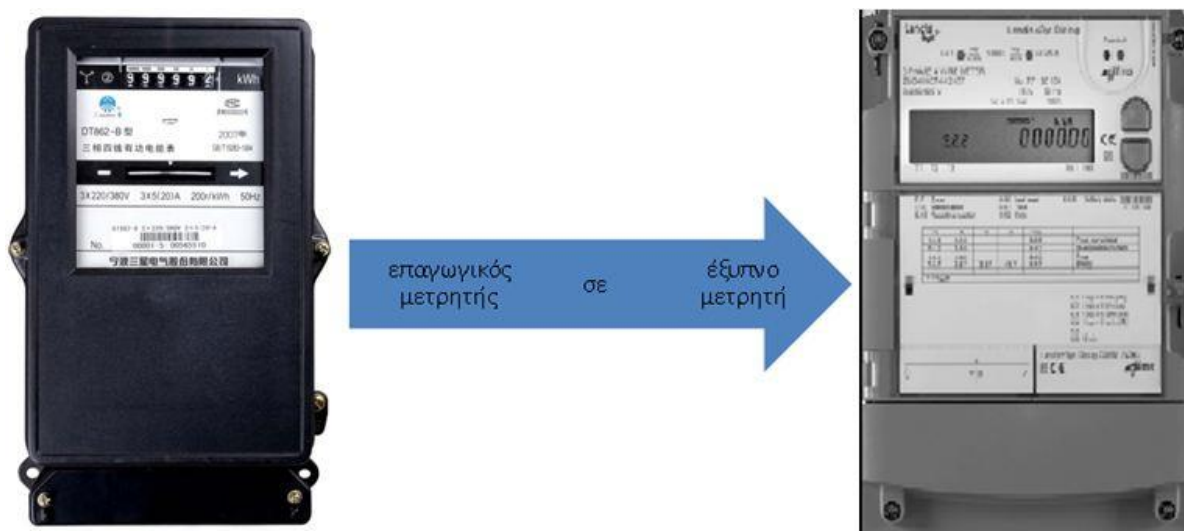
Το τελευταίο κεφάλαιο, κεφάλαιο 7, συνοψίζει την παρούσα εργασία, προβάλλοντας κάποια συμπεράσματα και προτείνει μερικούς τρόπους ώστε το Κτήριο Επιστημών να μειώσει ακόμη περισσότερο τις ενεργειακές του δαπάνες.

## Κεφάλαιο 2 – Μετρητικές Διατάξεις Υποσταθμού

Η μέτρηση κατέχει σημαντικό ρόλο τόσο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στην εξοικονόμηση χρηματικών πόρων, από τον περιορισμό της αλόγιστης σπατάλης της. Η συλλογή και η διαχείριση των μετρήσεων είναι οι βασικοί παράγοντες για την πρόβλεψη και τον προγραμματισμό της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου. Με την επίτευξη του τελευταίου, μπορεί να μειωθεί σημαντικά η κατανάλωση σε ένα κτήριο, όσον αφορά τη θέρμανση, τον κλιματισμό και το φωτισμό και κατά συνέπεια να μειωθούν τα λειτουργικά του έξοδα.

Για τη συλλογή των μετρήσεων χρησιμοποιούνται μετρητικές διατάξεις<sup>14</sup>, που ορίζονται ως το σύνολο του ηλεκτρομηχανικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που απαιτείται για την ακριβή και αξιόπιστη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.1 Απλά μετρητικά Συστήματα



Εικόνα 3: Επαγωγικός (αριστερά) και έξυπνος μετρητής (δεξιά)

Οι ευφυείς μετρητές επιτρέπουν την παραγωγή, μετάδοση και ανάλυση δεδομένων σχετικά με τους καταναλωτές, σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι τα “παραδοσιακά ρολόγια” ή “μη ευφυείς μετρητές”. Κατά συνέπεια, παρέχουν επίσης τη δυνατότητα στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου (γνωστούς επίσης και ως διαχειριστές των δικτύων διανομής), τους προμηθευτές ενέργειας και άλλα μέρη να συγκεντρώνουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και τα πρότυπα χρήσης, καθώς και να λαμβάνουν αποφάσεις για επιμέρους καταναλωτές με βάση τα ενεργειακά προφίλ τους. Μολονότι αναγνωρίζεται ότι τέτοιου τύπου αποφάσεις είναι συχνά προς όφελος των καταναλωτών από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας, προκύπτει επίσης το ενδεχόμενο παρέμβασης στην ιδιωτική ζωή των πολιτών μέσω της χρήσης των διατάξεων που εγκαθίστανται στις οικίες. Σηματοδοτεί επίσης μια αλλαγή στη θεμελιώδη σχέση με τους προμηθευτές ενέργειας, η οποία έως σήμερα περιοριζόταν στην απλή καταβολή του οφειλόμενου ποσού για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και αερίου από τους καταναλωτές στους προμηθευτές. Ξεκίνησαν με σκοπό την



μέτρηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης, αλλά επεκτάθηκαν και στο φυσικό αέριο και στην ύδρευση - άρδευση.

### 2.1.1 Κοινοί Επαγωγικοί Μετρητές

Το βασικό εργαλείο για ακριβή μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας είναι ο μετρητής ηλεκτρισμού. Η πλειονότητα των ήδη υπαρχόντων κτιρίων είναι εξοπλισμένη με ηλεκτρομηχανικούς μονοφασικούς ή τριφασικούς μετρητές. Ο Ηλεκτρομηχανικός Μετρητής ή Επαγωγικός μετρητής (Εικόνες 4 και 5) 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.



Εικόνα 4: Ρολόι ΔΕΗ



Εικόνα 5: Επαγωγικοί Μετρητές

Ο επαγωγικός μετρητής αποτελείται βασικά από ένα πηνίο τάσης και ένα πηνίο έντασης που διεγείρονται από τη τάση του δικτύου και την ένταση του φορτίου του καταναλωτή, ένα δίσκο-δρομέα από αλουμίνιο, του οποίου οι στροφές μεταδίδονται μέσω ενός ελικοειδούς τροχού σε έναν αριθμητήρα, και ένα μαγνήτη πέδησης.

Η λειτουργία του μηχανισμού μέτρησης βασίζεται στην αλληλεπίδραση των μαγνητικών ροών (κινητήριες ροές) των πηνίων τάσης και έντασης, που δημιουργούν ένα κινούμενο πεδίο στο δίσκο. Το πεδίο αυτό προκαλεί μια ροπή στρέψης.

Ανάλογα με την ρύθμιση της εσωτερικής φασικής γωνίας των δύο κινητήριων μαγνητικών ροών και της κυκλωματικής διάταξης, επιτυγχάνεται η ροπή στρέψης να είναι ανάλογη της πραγματικής ή της άεργου ισχύος. Για μια συγκεκριμένη ταχύτητα του δίσκου όπου η κινητήριος ροπή αντισταθμίζεται από τη ροπή πέδησης του μαγνήτη, η ταχύτητα του δίσκου είναι ανάλογη της ισχύος και ο αριθμός των περιστροφών του δίσκου είναι το μέτρο για την απορροφούμενη από τον καταναλωτή ηλεκτρική ενέργεια, η οποία και καταγράφεται στον αριθμητήρα. Η σταθερά (K) του μετρητή είναι ένας σημαντικός συντελεστής, ο οποίος βρίσκεται στην πινακίδα κάθε μετρητή και εκφράζει τη σχέση: ταχύτητα δίσκου προς το φορτίο του καταναλωτή [στροφές/kWh].

### 2.1.2 Μετρητικά συστήματα Ράγας

Τα προϊόντα ράγας προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών που πρόκειται να ενσωματωθούν στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις με σημαντικά οφέλη για το χρήστη. Οι

μετρητές είναι σχεδιασμένοι για απόδοση υψηλού επιπέδου, ασφαλείς και γρήγοροι στην εγκατάστασή τους. Στη ράγα τοποθετούνται μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτόν που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



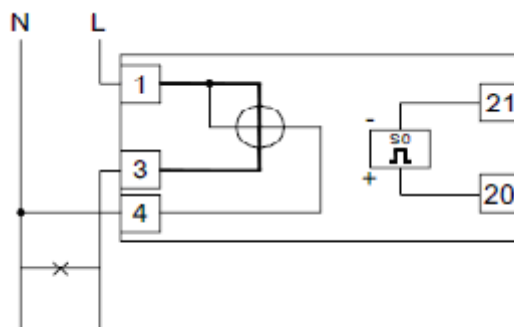
**Εικόνα 6: Μετρητής ράγας**

Τέτοιοι μετρητές συνήθως μετράνε ενεργό ισχύ, σε μονοφασικά συστήματα τάσης  $230\text{ V}_{ac}$  και μέγιστου ρεύματος  $32\text{ A}$ . Για λόγους ασφαλείας, ο εξοπλισμός δεν πρέπει να εγκατασταθεί κοντά σε επαγωγικά φορτία, όπως κινητήρες, μετασχηματιστές ή ρελέ κ.α. Επίσης, συνίσταται να υπάρχει μια ξεχωριστή γραμμή για την τροφοδοσία του, εφοδιασμένη με ένα φίλτρο δικτύου αν είναι απαραίτητο και τα επαγωγικά φορτία θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με αντιπαρασιτικά φίλτρα (βαρίστορ, φίλτρα RC). Όταν ο εξοπλισμός εγκατασταθεί πλήρως και τεθεί σε λειτουργία, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι προσβάσιμος.

Οι τεχνικές προδιαγραφές των μετρητών ενέργειας είναι παρόμοιες με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Τάση:  $230\text{ V}_{ac}$
- Συχνότητα:  $50\text{-}60\text{ Hz}$
- Ρεύμα βάσης:  $5\text{ A}$
- Μέγιστο ρεύμα:  $32\text{ A}$
- Όρια λειτουργίας τάσης:  $115\text{ V}_{ac} - 265\text{ V}_{ac}$
- Όρια λειτουργίας ρεύματος:  $250\text{ mA} - 32\text{ A}$
- Θερμοκρασία λειτουργίας:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Θερμοκρασία αποθήκευσης και μεταφοράς του μετρητή:  $-25\text{ }^{\circ}\text{C} - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Τύπος σύνδεσης κυκλώματος μέτρησης: απευθείας σύνδεση με βίδες στους ακροδέκτες

Μια τυπική συνδεσμολογία ενός τέτοιου μετρητή παρουσιάζεται στην **Εικόνα 7**.



Εικόνα 7: Τυπική συνδεσμολογία μετρητή ράγας

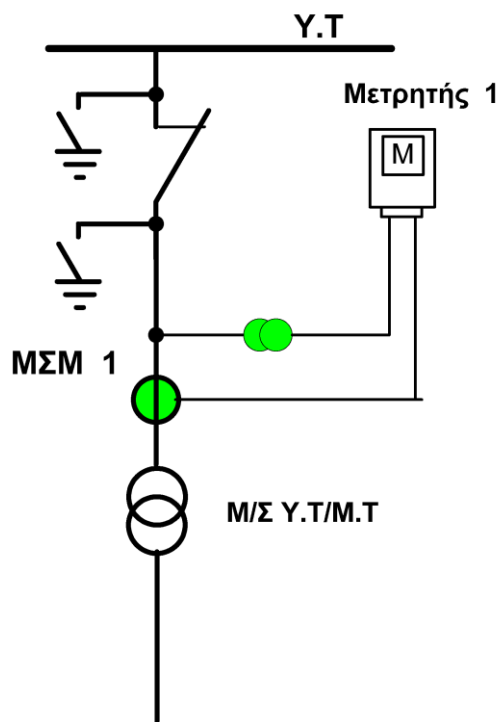
## 2.2 Γενική περιγραφή του εξοπλισμού των μετρητικών διατάξεων

Ο εξοπλισμός μιας μετρητικής διάταξης αποτελείται κυρίως από:

- τους μετρητές
- τα επί μέρους υποστηρικτικά στοιχεία όπως μετασχηματιστές οργάνων μέτρησης
- τον εξοπλισμό επικοινωνίας των μετρητών για τη σύνδεσή τους με κάποιο δίκτυο ασύρματο ή ενσύρματο, ώστε να παρακολουθούνται οι μετρήσεις
- από λοιπό εξοπλισμό, ο οποίος περιλαμβάνει πίνακες ή ερμάρια, καλώδια, κτλ.

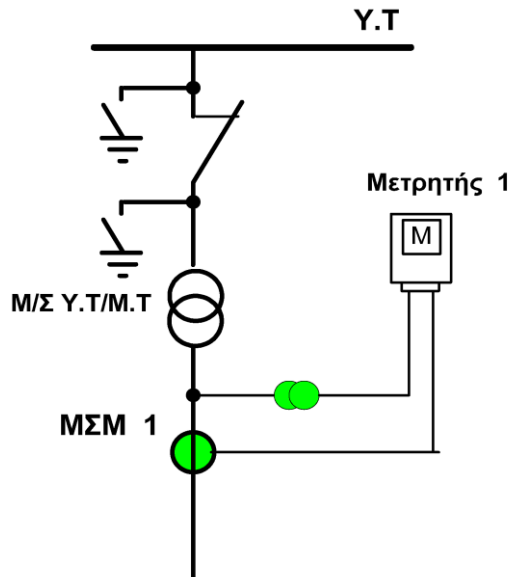
### 2.2.1 Μετρητικές διατάξεις τιμολόγησης-χρέωσης

Σύμφωνα με τον κανονισμό του ΔΕΣΜΗΕ, οι μετρητές πρέπει να λειτουργούν από ανεξάρτητα τυλίγματα μετασχηματιστών τάσης και έντασης. Τα τυλίγματα των μετασχηματιστών τάσης και έντασης και τα καλώδια σύνδεσης τέτοιων τυλιγμάτων με τον μετρητή, εξυπηρετούν αποκλειστικά τις συνδέσεις που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα. Τα δε, καλώδια και οι συνδέσεις πρέπει να σφραγίζονται με ασφαλή τρόπο.



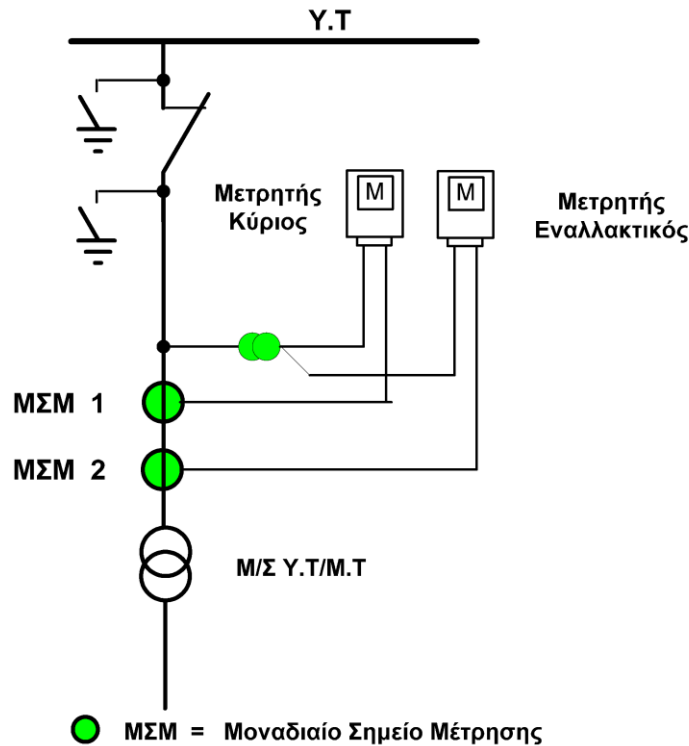
● ΜΣΜ = Μοναδιαίο Σημείο Μέτρησης

Σχήμα 1: Σημείο μέτρησης στην Υψηλή Τάση (Υ.Τ.)



● ΜΣΜ = Μοναδιαίο Σημείο Μέτρησης

Σχήμα 2: Σημείο μέτρησης στη Μέση Τάση (Μ.Τ.)



Σχήμα 3: Σημείο μέτρησης στην Y.T. με χρήση δυο μετρητών

Οι μετρητές και τα επιπρόσθετα συνδεδεμένα φορτία, πρέπει να έχουν ανεξάρτητες ασφάλειες στην τροφοδοσία τους, από τους μετασχηματιστές τάσης. Γενικά, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε μετρητική διάταξη πρέπει να ικανοποιεί τις προδιαγραφές που ορίζονται στον Κώδικα Διαχείρισης Συστήματος.

### 2.2.2 Προδιαγραφές της θέσης και του χώρου εγκατάστασης των μετρητικών διατάξεων

Οι χώροι, όπου εγκαθίστανται οι μετρητικές διατάξεις, θα πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω συνθήκες:

- Να είναι εύκολα επισκέψιμοι για τη λήψη των ενδείξεων και τον έλεγχο της μετρητικής διάταξης
- Να προστατεύονται από επιδράσεις υγρασίας, σκόνης και θέρμανσης από παρακείμενες εγκαταστάσεις
- Η στήριξη των μετρητών και των οργάνων μέτρησης να γίνεται σε στοιχεία που δεν υπόκεινται σε κραδασμούς

Ο μετρητής πρέπει να τοποθετείται σε κατάλληλα σχεδιασμένο πίνακα ή ερμάριο σύμφωνα με τις απαιτήσεις της θέσης και του χώρου της μετρητικής διάταξης και να ασφαλίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η πρόσβαση στη διάταξη, να επιτρέπεται μόνο σε εξειδικευμένα και εξουσιοδοτημένα άτομα.

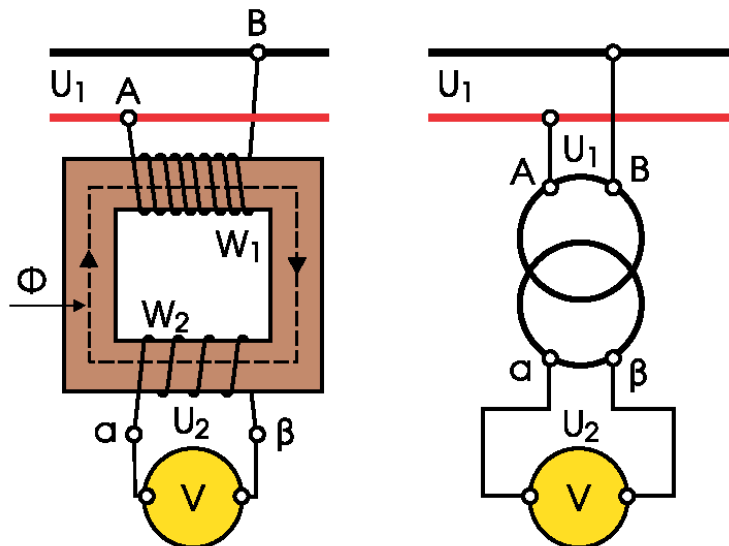
## 2.3 Μετασχηματιστές οργάνων μέτρησης

Οι μετασχηματιστές οργάνων μέτρησης είναι ηλεκτρικές συσκευές, οι οποίες μετατρέπουν πρωτεύοντα ηλεκτρικά μεγέθη υψηλών τιμών, εναλλασσόμενες τάσεις και εντάσεις, σε μικρά ομοιογενή δευτερεύοντα, προσαρμοσμένα για τη σύνδεση οργάνων μέτρησης και ελέγχου.

Οι χρησιμοποιούμενοι στα μετρητικά συστήματα μετασχηματιστές οργάνων μέτρησης διακρίνονται σε μετασχηματιστές τάσης και μετασχηματιστές έντασης, με βασικά πλεονεκτήματα τη μικρή αυτοκατανάλωση ισχύος, την υψηλή ακρίβειά τους, καθώς και την ηλεκτρική απομόνωση του κυκλώματος μέτρησης από το κύκλωμα υψηλής τάσης. Ένα επιπλέον στοιχείο που απαρτίζει τις μετρήσεις μέσης τάσης είναι το κιβώτιο δοκιμών.

### 2.3.1 Μετασχηματιστές τάσης

Στους μετασχηματιστές τάσης<sup>15</sup>, η τάση του πρωτεύοντος είναι ίση με τη μέση τάση, με την οποία τροφοδοτείται το σύστημα, ενώ η τάση του δευτερεύοντος είναι συνήθως ίση με 100V. Το πρωτεύον δηλαδή τύλιγμα έχει πολλές σπείρες μικρής διατομής και το δευτερεύον τύλιγμα, λίγες σπείρες αγωγού μεγάλης διατομής.



Σχήμα 4: Μετασχηματιστής Τάσης

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μονοπολικοί, οι οποίοι μετράνε την τάση μεταξύ μιας φάσης και της γης, δηλαδή τη φασική τάση. Το πρωτεύον τύλιγμα χαρακτηρίζεται με τα γράμματα A, N και το δευτερεύον τύλιγμα με τα γράμματα a, n.
- Διπολικοί, οι οποίοι μετράνε την τάση μεταξύ δύο φάσεων, δηλαδή την πολική τάση. Το πρωτεύον τύλιγμα χαρακτηρίζεται με τα γράμματα A, B και το δευτερεύον τύλιγμα με τα γράμματα a, b.

Σε μια εγκατάσταση, ανάλογα βέβαια την εγκατάσταση, προτιμάται η χρήση διπολικών μετασχηματιστών, γιατί με δυο μόνο τέτοιους μετασχηματιστές μπορούμε να μετρήσουμε ένα τριφασικό σύστημα. Ενώ αν χρησιμοποιηθούν μονοπολικοί μετασχηματιστές, χρειάζονται αντίστοιχα τρεις.



Εικόνα 8: Μετασχηματιστής τάσης σε φυσικό μέγεθος<sup>16</sup>

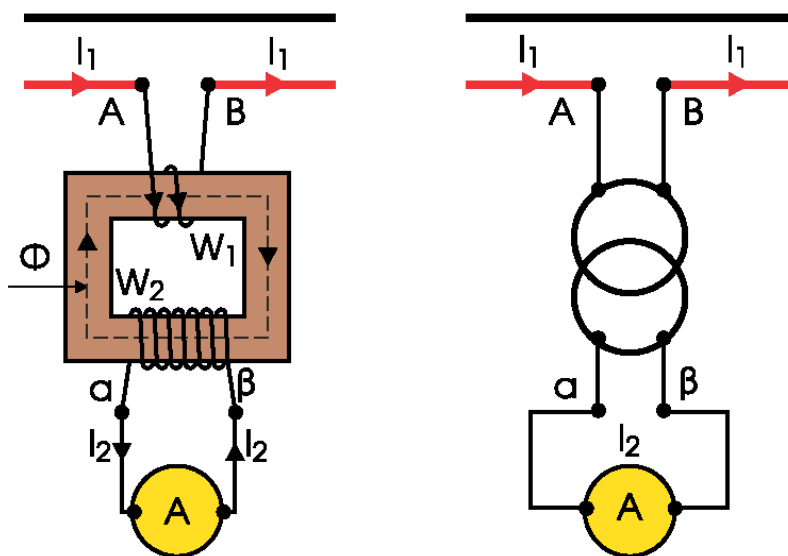
### 2.3.1.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη μετασχηματιστών τάσης<sup>17</sup>

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών τάσης είναι:

- Ονομαστική τάση, π.χ.  $U_n = 20/24 \text{ kV}$
- Ονομαστική ισχύς ή φορτίο (rated burden), π.χ.  $S_n = 30 \text{ ως } 300 \text{ VA}$ .
- Κλάση ακριβείας (class), η οποία είναι από 0.2 ως 3%, εφόσον το φορτίο σε VA, δεν υπερβαίνει το ονομαστικό.
- Ονομαστική τάση πρωτεύοντος  $U_{1n} = 20 \text{ kV}$  για διπολικούς ή  $20/\sqrt{3}$  για μονοπολικούς.
- Ονομαστική τάση δευτερεύοντος  $U_{2n} = 100\text{V}$  για διπολικούς ή  $100/\sqrt{3}$  για μονοπολικούς.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς  $S_{\max}$  σε VA. Συνήθως είναι 10 φορές το  $S_n$ .

### 2.3.2 Μετασχηματιστές έντασης

Στα κυκλώματα χαμηλής τάσης που διαρρέονται από ρεύμα μεγαλύτερο των 100 A, και για όλα τα κυκλώματα υψηλής τάσης, οι μετασχηματιστές έντασης ή ρεύματος (Current Transformers – CTs) χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτούν τον μετρητή με ένα σήμα, ανάλογο με το ρεύμα που ρέει μέσα από το φορτίο. Είναι αναγκαίοι για τη μέτρηση υψηλών ρευμάτων ή ρευμάτων σε επίπεδα υψηλής τάσης, γιατί είναι σχεδόν ανέφικτο να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένας μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας με επαρκές μέγεθος, σε σύγκριση με τα σημερινά μεγέθη των μετρητών, και με επαρκές επίπεδο μόνωσης, ώστε να μετράμε απευθείας το ρεύμα.



Σχήμα 5: Μετασχηματιστής Έντασης

### 2.3.2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας

Ο μετασχηματιστής έντασης παράγει ένα μικρό σήμα εξόδου, απευθείας ανάλογο του πλάτους του ρεύματος που ρέει στον αγωγό, γύρω από τον οποίο έχει τοποθετηθεί. Το σήμα εξόδου από το μετασχηματιστή έντασης, οδηγείται ως είσοδος στο μετρητή, που με τη σειρά του, το χρησιμοποιεί για να προσδιορίσει το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Μια γενική τακτική που εφαρμόζεται στο μετρητή είναι η ανύψωση του σήματος που λαμβάνει από το μετασχηματιστή έντασης, ώστε να αντιπροσωπεύεται η ροή ρεύματος μέσα στο φορτίο. Επίσης, σε κάποιες εφαρμογές, είναι αποδεκτό η είσοδος του ρεύματος να μετριέται σε “δεύτερο επίπεδο” και να τοποθετείται εξωτερικός πολλαπλασιαστής που θα ανυψώνει τις τιμές που καθορίζονται από το μετρητή.

Για κάθε μετρούμενο κύκλωμα απαιτείται ένας μετασχηματιστής έντασης. Οπότε για μια τριφασική εγκατάσταση με 4 καλώδια, απαιτούνται 3 μετασχηματιστές έντασης, ενώ για μια τριφασική εγκατάσταση με 3 καλώδια, χρειάζονται μόνο 2 μετασχηματιστές.

Επίσης ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην πολικότητα, όταν εγκαθίσταται ένας τέτοιος μετασχηματιστής. Αν τοποθετηθεί με λάθος τρόπο, εκτός του ότι είναι υπό τάση και υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, ο μετρητής θα ερμηνεύσει εσφαλμένα πως το κύκλωμα καταναλώνει, ενώ αυτό παράγει και αντίστροφα.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι μετασχηματιστή έντασης:

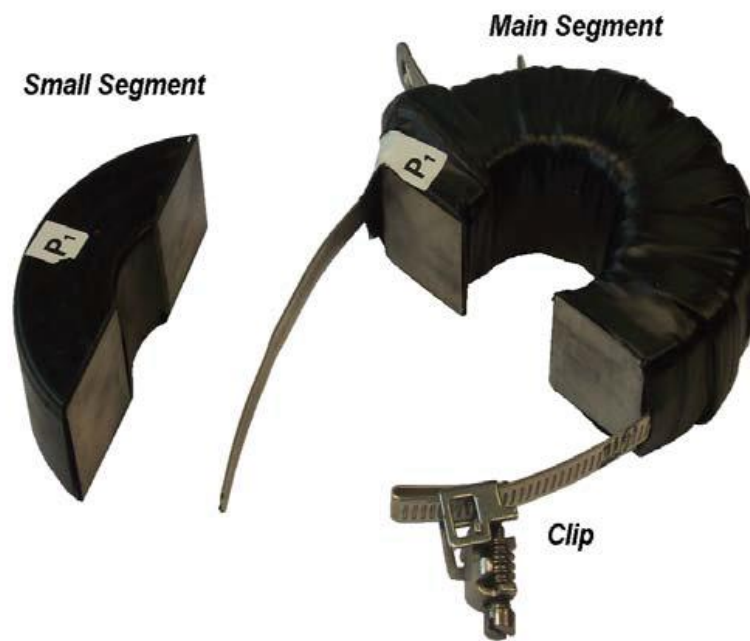
- Δακτυλίου: που μπορεί να είναι κυκλικός ή ορθογώνιος. Ο αγωγός πρέπει να αποσυναρμολογηθεί στο ένα άκρο, για να χωρέσει ο μετασχηματιστής.
- Χωριστού πυρήνα: ο μετασχηματιστής διαχωρίζεται σε 2 κομμάτια έτσι ώστε να τοποθετηθεί γύρω από τον αγωγό. Σχεδιάστηκε για χρήση σε ήδη υπάρχοντες εγκαταστάσεις, στις οποίες δεν είναι εφικτή η αποσύνδεση του ενός άκρου του καλωδίου.



- Άθροισης: μπορεί να είναι σε ορθογώνιο κουτί ή σε δακτύλιο. Χρησιμοποιείται για να αθροίσει τις εξόδους από διάφορες παροχές. Αποτελείται από δυο ή περισσότερα τυλίγματα που συνδέονται στις παροχές που θέλουμε να αθροίσουμε και ένα ενιαίο δευτερεύον τύλιγμα, το οποίο δίνει ένα ρεύμα ανάλογο του αθροίσματος στο πρωτεύον. Για παράδειγμα μια τυπική αναλογία είναι  $5+5+5 / 5A$ , που σημαίνει πως αθροίζονται τρεις παροχές στο πρωτεύον, σε μια έξοδο των 5A στο δευτερεύον. Όταν χρησιμοποιούνται τέτοιοι μετασχηματιστές, δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η συνεισφορά κάθε παροχής. Όλα τα κυκλώματα εισόδου πρέπει να έχουν την ίδια αναλογία. Διαφορετικά (π.χ.  $100 + 200 + 150 / 5A$ ) η έξοδος του μετασχηματιστή είναι απρόβλεπτη και γι' αυτό ακατάλληλη για μέτρηση.
- Και τέλος ο τύπος Wound-Primary CT: όπου το πρωτεύον τύλιγμα κατασκευάζεται επίσης μέσα στο σώμα του μετασχηματιστή έντασης. Το πρωτεύον τύλιγμα είναι συνήθως μια ενιαία σειρά. Αυτού του τύπου οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μικρές αναλογίες ρεύματος μετασχηματισμού. Έχει μεγαλύτερη ακρίβεια και μεγαλύτερη χωρητικότητα φορτίου. Είναι συνήθως σχεδιασμένα με σπειροειδείς πυρήνες για υψηλή απόδοση.



Εικόνα 9: Μετασχηματιστές έντασης τύπου δακτυλίου



Εικόνα 10: Μετασχηματιστής έντασης τύπου χωριστού πυρήνα



Εικόνα 11: Μετασχηματιστής έντασης, τύπου αθροιστή18

### 2.3.2.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών έντασης

Τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών είναι:

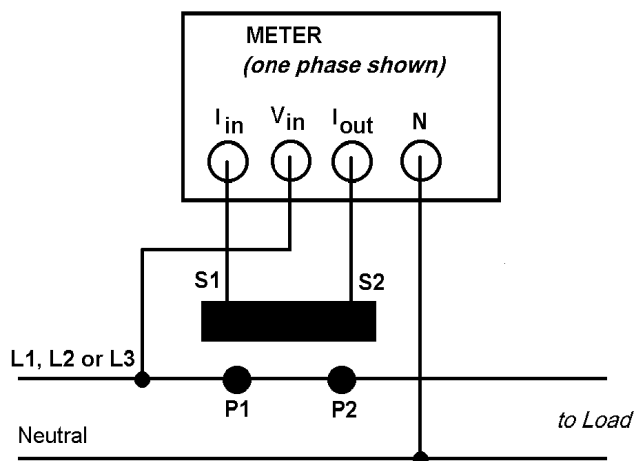
- Ονομαστική τάση, π.χ.  $U_n = 20/24KV$
- Ονομαστική ισχύς ή φορτίο (rated burden), π.χ.  $S_n = 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90 VA$ . Οι κατασκευαστές δίνουν το φορτίο σε συνδυασμό με την κλάση ακριβείας.
- Κλάση ακριβείας (cl) για το τύλιγμα μέτρησης είναι από 0.2 έως 3%, εφόσον το φορτίο σε VA, δεν υπερβαίνει το ονομαστικό.
- Κλάση ακριβείας (class) για το τύλιγμα προστασίας είναι το % σφάλμα, το γράμμα P και το πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος που αντιστοιχεί το σφάλμα. Π.χ. 5P15 σημαίνει σφάλμα 5% στο δεκαπενταπλάσιο του ονομαστικού.
- Ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος  $I_{1n} = 5$  ως  $3000A$ .
- Ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος  $I_{2n} = 5A$  ή  $1A$ . Η τιμή του  $1A$  προτιμάται όταν η απόσταση του μετασχηματιστή από τα όργανα μέτρησης είναι μεγάλη ( $>50m$ ).
- Αντοχή σε ρεύμα βραχείας διάρκειας  $I_{th}$  σε kA. Είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος που αντέχει ο μετασχηματιστής για χρόνο  $t = 1s$ . Συνήθως είναι 20 ως 60 φορές το ονομαστικό ρεύμα  $I_{1n}$ .

### 2.3.2.3 Αναλογία μετασχηματιστή έντασης

Οι μετασχηματιστές έντασης που χρησιμοποιούνται έχουν σχέση  $X/5 A$ , όπου  $X$  η μέγιστη ονομαστική ένταση πρωτεύοντος και  $5A$  είναι η μέγιστη ένταση του δευτερεύοντος. Το πρωτεύον κύκλωμα έχει λίγες σπείρες μεγάλης διατομής και το δευτερεύον πολλές σπείρες μικρής διατομής.

### 2.3.2.4 Πολικότητα

Όλοι οι μετασχηματιστές έντασης είναι πολωμένοι και γι' αυτό το λόγο πρέπει να τοποθετούνται με συγκεκριμένο τρόπο. Όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα, επισημαίνεται ο τρόπος σύνδεσης στο καλώδιο, χρησιμοποιώντας τα P1 και P2. Η μεριά που έχει σημειωθεί ως P1 πρέπει να δείχνει προς τη γεννήτρια και η μεριά P2 πρέπει να δείχνει προς το φορτίο.



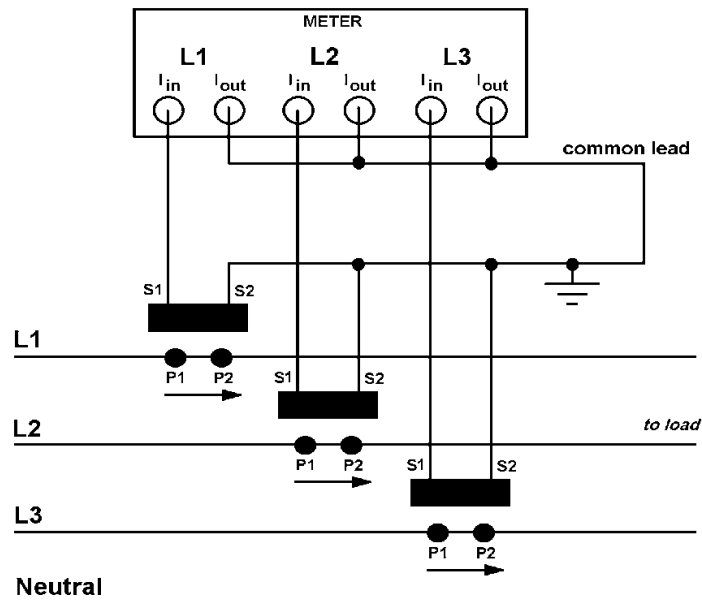
**Σχήμα 6: Πολικότητα μετασχηματιστή έντασης(μόνο η μια φάση είναι συνδεδεμένη)**

Επίσης και η έξοδος του μετασχηματιστή έντασης - δευτερεύον – πρέπει να συνδέεται στο μετρητή με το σωστό τρόπο. Το δευτερεύον σε κάθε μετασχηματιστή συμβολίζεται με S1 και S2. Αν ο μετασχηματιστής διαθέτει περισσότερα του ενός δευτερεύοντα, τότε χρησιμοποιούμε τα γράμματα 1S1, 1S2 για το πρώτο, τα γράμματα 2S1, 2S2 για το δεύτερο κ.ο.κ. Ο μετρητή δεν θα καταγράφει σωστά αν οποιοσδήποτε μετασχηματιστής συνδεθεί με λάθος τρόπο. Ο ακροδέκτης S1 πρέπει να συνδέεται στην αντίστοιχη θύρα εισόδου ρεύματος του μετρητή, ανάλογα τη φάση. Ο ακροδέκτης S2 πρέπει να συνδέεται στην αντίστοιχη θύρα εξόδου του ρεύματος ανάλογα τη φάση. Πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η σωστή συνδεσμολογία των φάσεων. Για παράδειγμα, αν ο μετασχηματιστής της γραμμής 1 συνδεθεί στις εισόδους ρεύματος της γραμμής 3, δεν θα καταγράφει τις σωστές μετρήσεις.

### 2.3.2.5 Συνδεσμολογία

Οι μετασχηματιστές έντασης πρέπει να συνδέονται σύμφωνα με όλους τις σχετικούς κανόνες ασφαλείας.

Για πολυφασικά κυκλώματα, όπου χρησιμοποιούνται 2 ή 3 μετασχηματιστές έντασης, είναι κοινή πρακτική να χρησιμοποιείται ένα κοινό καλώδιο για το δευτερεύον των μετασχηματιστών. Αυτό εξοικονομεί χρόνο και υλικά, και γενικά απλοποιεί την καλωδίωση. Οι συνδέσεις που απαιτούνται, εξαρτώνται από τον τύπο της πηγής που μετρείται.



**Σχήμα 7: Κοινή καλωδίωση για το δευτερεύον των μετασχηματιστών έντασης**

Επίσης κοινή πρακτική σε εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (κυκλώματα κάτω των 1000Volts) είναι να γειώνεται το δευτερεύον S2 του μετασχηματιστή έντασης. Αυτό αποτελεί μια δικλείδα ασφαλείας, για προστασία από στατική τάση ή αποτυχία της μόνωσης.

Ειδική περίπτωση αποτελεί η συνδεσμολογία των μετασχηματιστών Wound-Primary, οι οποίοι έχουν συνήθως χαμηλή αναλογία ρευμάτων (π.χ. 20/5 A). Αυτοί οι μετασχηματιστές δεν τοποθετούνται γύρω από κάποιο καλώδιο ή πάνω σε κάποια ράβδο με το συμβατικό τρόπο. Ο αγωγός πρέπει να κοπεί στο σημείο που θα τοποθετηθεί ο μετασχηματιστής. Η μεριά του αγωγού που είναι πιο κοντά στην παροχή (γεννήτρια) συνδέεται στον ακροδέκτη P1 και η μεριά που οδηγεί στο φορτίο, συνδέεται στον ακροδέκτη P2.

### 2.3.3 Κλάση ακρίβειας M/Σ οργάνων μέτρησης

Οι M/Σ οργάνων μέτρησης κατηγοριοποιούνται με βάση την κλάση ακριβείας τους, που προσδιορίζει τις οριακές τιμές των ονομαστικών φορτίων εντός των οποίων πρέπει να βρίσκεται το σφάλμα του M/Σ υπό ορισμένες συνθήκες (π.χ. κλ. 0,5 αντιστοιχεί σε οριακές τιμές σφάλματος  $\pm 0,5\%$  της ονομαστικής τιμής).

Κλάση ακρίβειας M/Σ οργάνων μέτρησης						
		Κλάση Ακριβείας				
M/Σ Έντασης		KI 0.1	KI 0.2	KI 0.5	KI 1	KI 3
	Ειδική κατηγορία		KI 0.2S	KI 0.5S		
	Ext 200	KI 0.1G	KI 0.2G	KI 0.5G	KI 1G	
M/Σ Τάσης		KI 0.1	KI 0.2	KI 0.5	KI 1	KI 3

**Πίνακας 1: Κλάση Ακρίβειας Οργάνων**

- S = Κλάση M/Σ εντάσεως, ειδική κατηγορία, για ειδικούς ηλεκτρονικούς μετρητές με λόγους 25/5, 50/5, 100/5 και μόνο για ονομαστικό δευτερεύον ρεύμα των 5A και είναι για ειδικούς μετρητές ειδικών εφαρμογών, συγκεκριμένα ηλεκτρονικούς μετρητές των οποίων η ακρίβεια ορίζεται για μετρούμενα ρεύματα μεταξύ 50mA και 6A (δηλαδή 1% και 120%  $I_N=5A$  ).
- G = M/Σ Εντάσεως εκτεταμένης περιοχής μέτρησης οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν διαρκώς με 2  $I_N$  και να διατηρούν τα όρια σφάλματος της κλάσεως τους από 0,05 έως 2-φορές της  $I_N$  (ονομαστικής τους έντασης). Οι M/Σ έντασης της κλάσης ακριβείας G χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις του φορτίου.

## 2.4 Προδιαγραφές λοιπού εξοπλισμού μετρητικής διάταξης

### 2.4.1 Κιβώτιο δοκιμών

Το κιβώτιο δοκιμών είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται κυρίως για να μη διακόπτεται η παροχή του πελάτη κατά τη διάρκεια δοκιμών ή αντικατάστασης του μετρητή. Μπορεί να διακόπτει την τάση από τους ακροδέκτες του μετρητή, να βραχυκυκλώνει τους μετασχηματιστές έντασης και ακόμη να συνδέει σε σειρά με το μετρητή, τα διάφορα πρότυπα κατά τους ελέγχους.

### 2.4.2 Πίνακας ή ερμάριο, καλώδια, συνδέσεις κ.λ.π.

Κάθε μετρητής τοποθετείται σε κατάλληλα σχεδιασμένο πίνακα ή ερμάριο, σύμφωνα με τις απαιτήσεις περιβάλλοντος εγκατάστασης, που καθορίζει ο κατασκευαστής του και οι οποίες εξασφαλίζουν τουλάχιστον την προστασία από υγρασία, διείσδυση σκόνης, από φυσική ζημιά, κραδασμούς και τη διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας. Το ερμάριο πρέπει να ασφαρίζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εμποδίζεται η αυθαίρετη πρόσβαση σε αυτό.

Οι προδιαγραφές και οι διατομές των καλωδίων της μετρητικής διάταξης στα κυκλώματα τάσης και έντασης, καθορίζονται χωριστά μελέτη επάρκειας.

## 2.5 Καταγραφικά δεδομένων

Στο σύνολο του ηλεκτρομηχανικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που απαιτείται για την ακριβή και αξιόπιστη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας ή αλλιώς στο ευρύτερο σύνολο των μετρητικών διατάξεων, εντάσσονται και τα καταγραφικά δεδομένων.

Τα τελευταία είναι ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίες αποθηκεύουν/καταγράφουν δεδομένα είτε με την πάροδο του χρόνου, είτε/και σε σχέση με την τοποθεσία που βρίσκεται το όργανο, είτε/και μέσω διασύνδεσής τους με εξωτερικά όργανα και αισθητήρες. Κατά κύριο λόγο, ανήκουν στην κατηγορία των συστημάτων μέτρησης που βασίζονται σε μικροεπεξεργαστή, αλλά όταν οι εφαρμογές το απαιτούν και οι συνθήκες το επιτρέπουν, σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Συνήθως, είναι μικρού μεγέθους και μικρής κατανάλωσης, φορητές συσκευές εξοπλισμένες με μικροεπεξεργαστή, μια εσωτερική μνήμη για την αποθήκευση δεδομένων, αισθητήρες και τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Χρησιμοποιούνται δε, κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί υπολογιστής.

### 2.5.1 Χαρακτηριστικά καταγραφικών δεδομένων

Τα κύρια χαρακτηριστικά<sup>19</sup> των καταγραφικών δεδομένων είναι:

- Διαθέτουν αναλογικές εισόδους στις οποίες συνδέονται οι αισθητήρες μέτρησης, με δυνατότητα τόσο για μη-διαφορική σύνδεση (single-ended), όσο και για διαφορική σύνδεση (differential). Το εύρος μέτρησης κάθε αναλογικής εισόδου είναι ρυθμιζόμενο, εντός των αντίστοιχων προδιαγραφών λειτουργίας, είτε μέσω του πληκτρολογίου που διαθέτει το καταγραφικό δεδομένων, είτε μέσω του λογισμικού παραμετροποίησης του καταγραφικού δεδομένων, το οποίο εκτελείται σε H/Y όπου συνδέεται το καταγραφικό.
- Διαθέτουν αναλογικές εξόδους με προγραμματιζόμενη τάση εξόδου. Αυτές οι εξοδοί χρησιμοποιούνται κυρίως για έλεγχο άλλων συσκευών.
- Διαθέτουν ψηφιακές εισόδους για καταμέτρηση παλμών.
- Διαθέτουν ψηφιακές θύρες εισόδου/εξόδου οι οποίες προγραμματίζονται ανεξάρτητα, έτσι ώστε να λειτουργούν ως είσοδοι ή εξοδοί. Αυτές οι ψηφιακές θύρες χρησιμοποιούνται είτε για έλεγχο, είτε για επικοινωνία με αισθητήρες που παράγουν ψηφιακή έξοδο.
- Έχουν ενσωματωμένη μνήμη και μονάδα αποθήκευσης δεδομένων για την αποθήκευση των μετρήσεων.
- Διαθέτουν θύρες επικοινωνίας συνήθως με τα πρωτόκολλα RS232, RS485, USB, για διασύνδεση με υπολογιστή ή με εξωτερικό μέσο αποθήκευσης με σκοπό τη μεταφορά των μετρήσεων που έχουν καταγραφεί. Σε μερικές περιπτώσεις διαθέτουν σύστημα ασύρματης επικοινωνίας, RF, GSM, για τη μετάδοση των μετρήσεων.
- Διαθέτουν πληκτρολόγιο για τον προγραμματισμό των διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας τους, καθώς και οθόνη απεικόνισης για τον έλεγχο των μετρήσεων και των ρυθμίσεων.
- Η κατασκευή τους είναι πολύ ανθεκτική και δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

## 2.6 Τυπικά Χαρακτηριστικά οργάνων μέτρησης

Κάθε μετρητική διάταξη σχεδιάζεται με στόχο την παρακολούθηση και καταγραφή, κάποιου μετρούμενου μεγέθους. Στην περίπτωση μας, και εφόσον το αντικείμενό μας είναι ηλεκτρολογικά μεγέθη, κύρια όργανα για τη διάταξή μας είναι οι μετρητές ενέργειας. Οι τελευταίοι, ανάλογα τον κατασκευαστή και τις τεχνολογικές απαιτήσεις της διάταξης ποικίλουν. Το είδος του μετρητή καθορίζει το πλήθος και την ακρίβεια των μεταβλητών που καταγράφονται, όπως επίσης και τη διεπαφή για την επικοινωνία με άλλους μετρητές ή υπολογιστές. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από τους μετρητές ενέργειας:

### 2.6.1 Nexus 1252 (Electro Industries/GaugeTech<sup>20</sup>)

Ο μετρητής αυτός, μετράει όχι μόνο ηλεκτρολογικές μεταβλητές, αλλά επιτρέπει και την ανάλυσή τους. Αποθηκεύει πτώσεις τάσης, αιχμή ισχύος και άλλα παροδικά φαινόμενα, ώστε να είναι πιο εύκολη η ανάλυση της ποιότητας της ενέργειας. Για την επικοινωνία με άλλους μετρητές ή υπολογιστές, διαθέτει δυο σειριακές θύρες επικοινωνίας, μια RS-485 και μια RS-232, όπως επίσης και μια θύρα Ethernet<sup>21</sup>. Τα πρωτόκολλα που υποστηρίζονται είναι τα

Modbus TCP/IP, ASCII/RTU και DNP 3.0 Level 2 Plus. Επίσης μέσω διαδικτύου, είναι δυνατή η παρακολούθηση του μετρητή, καθώς και η λήψη email με σημαντικά alarms, στα οποία απαιτείται μια άμεση απόφαση.

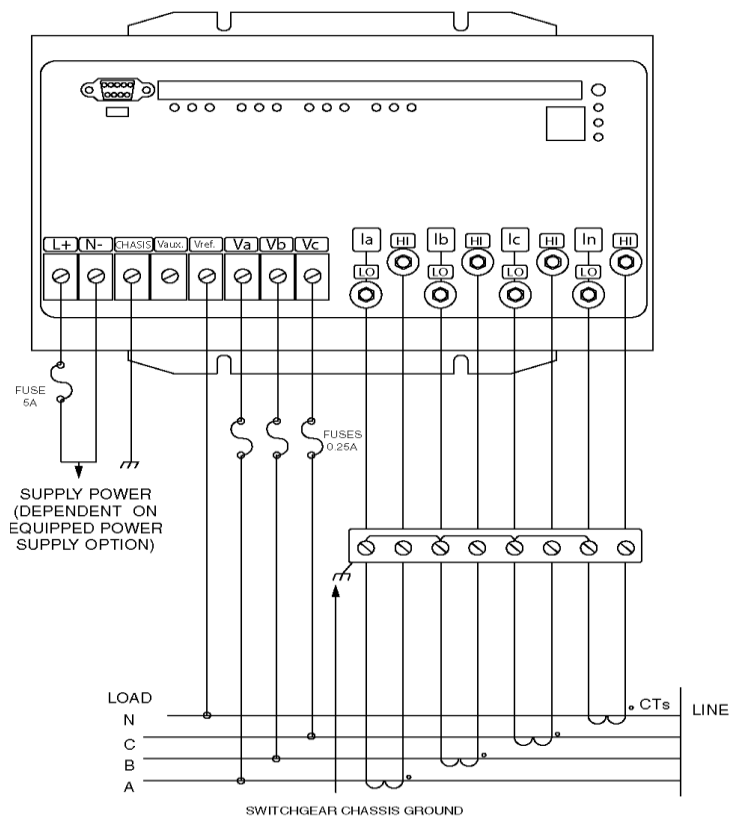


Εικόνα 12: Μετρητής Nexus 1252

### 2.6.1.1 Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά<sup>22</sup>

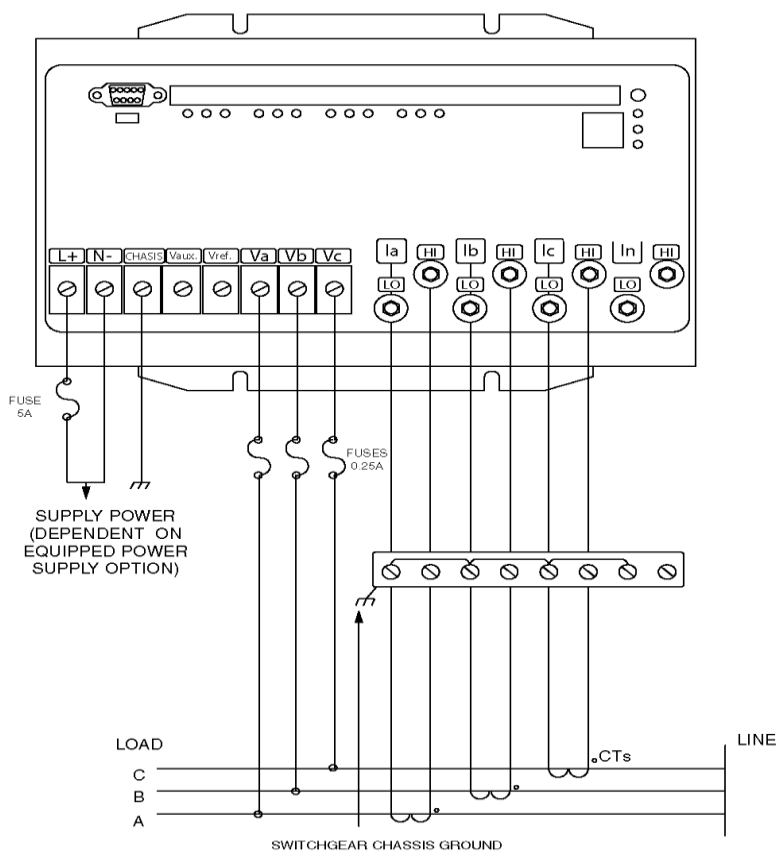
#### 2.6.1.1.1 Συνδεσμολογίες

Οι συνδεσμολογίες που υποστηρίζει ο συγκεκριμένος μετρητής είναι 1, 2 και 3 φάσεων, 3 και 4 καλωδίων. Η εκάστοτε εφαρμογή βέβαια, είναι αυτή που καθορίζει το είδος της συνδεσμολογίας. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες πιθανές συνδεσμολογίες:

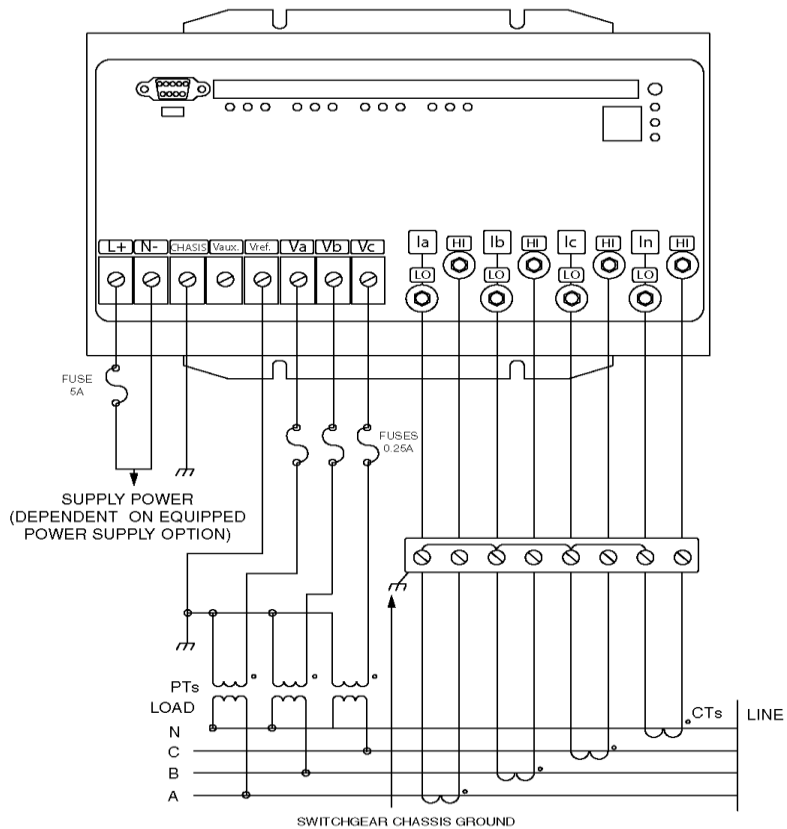


Σχήμα 8: Συνδεσμολογία αστέρα 3 φάσεων, 4 καλωδίων

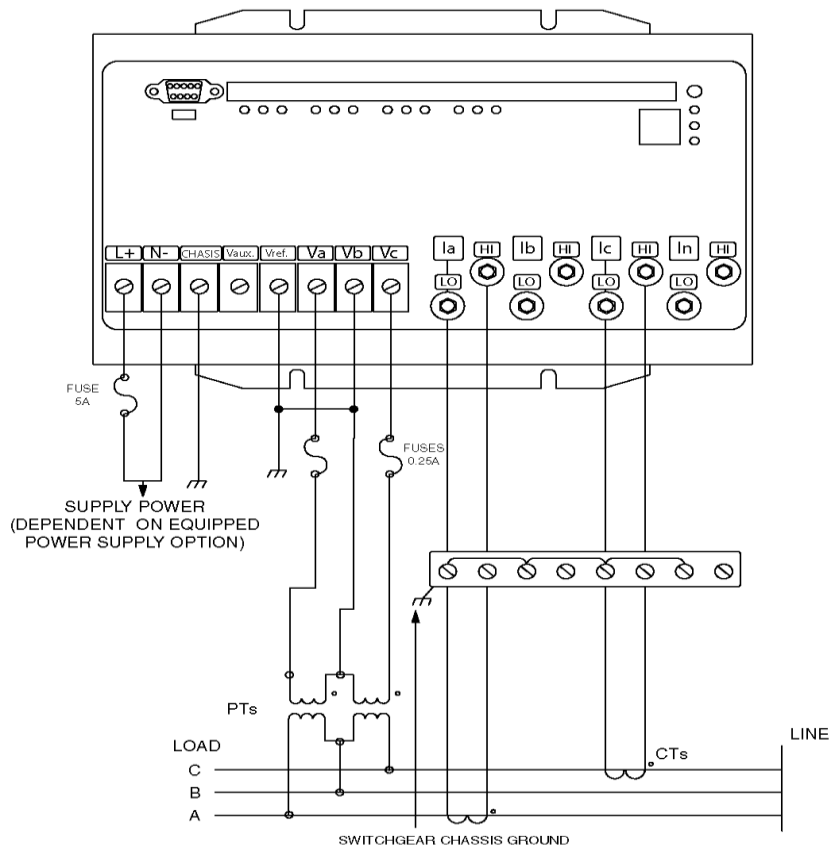




Σχήμα 9: Συνδεσμολογία τριγώνου 3 φάσεων, 3 καλωδίων



Σχήμα 10: Συνδεσμολογία αστέρα 3 φάσεων, 4 καλωδίων με 3 μετασχηματιστές τάσης και 4 μετασχηματιστές έντασης



Σχήμα 11: Συνδεσμολογία ανοιχτού τριγώνου 3 φάσεων και 3 καλωδίων

#### 2.6.1.1.2 Είσοδοι τάσης

- 150 Volt μεταξύ φάσης – ουδετέρου, 300 V μεταξύ φάσεων (Suffix-120)
- 300 Volt μεταξύ φάσης – ουδετέρου, 600 V μεταξύ φάσεων (Suffix-G)
- Συχνότητα: 20 – 65 Hz
- Φορτίο εισόδου: 0,05 VA στα 120 Vrms

#### 2.6.1.1.3 Είσοδοι ρεύματος

- Διαθέτει δυο εισόδους των 5A, οι οποίες είναι προγραμματιζόμενες για το εύρος οποιουδήποτε μετασχηματιστή έντασης
- Καταγραφή fault current, αιχμής 60A στο δευτερεύον, το οποίο κανονικά είναι στην κλίμακα των 5A
- Υπερφόρτιση (στους 23°C):
  - 100Amps για 10 δευτερόλεπτα
  - 300Amps για 3 δευτερόλεπτα
  - 500Amps για 1 δευτερόλεπτο
  - Συνεχόμενη ροή μέγιστου ρεύματος: 20Amps
- Φορτίο εισόδου: 0,002 VA στα 5 Arms

#### **2.6.1.1.4 Γαλβανική απομόνωση**

Όλες οι είσοδοι και οι έξοδοι είναι μονωμένες μέχρι 2500 Volts. Επίσης όλες οι θύρες επικοινωνίας είναι επιπρόσθετα μονωμένες, ή μια από την άλλη.

#### **2.6.1.1.5 Τροφοδοσία**

Η τροφοδοσία του μετρητή είναι ξεχωριστή από τις εισόδους της τάσης.

- 120V AC/DC (-20%) – 230V AC (+20%) (Suffix –D2)
- 24V DC (-20%) – 48V DC (+20%) (Suffix –D)
- Μέγιστο φορτίο: 20 VA

#### **2.6.1.2 Ακρίβεια μετρητή**

Η ακρίβεια του μετρητή για τα παρακάτω μεγέθη, για ένα δευτερόλεπτο, είναι η εξής:

- Τάση: 0,05% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Ρεύμα: 0,025% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Συχνότητα: 0,01 Hz
- Ενεργός ισχύς: 0,06% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Άεργος ισχύς: 0,08% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Φαινόμενη ισχύς: 0,08% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Συντελεστής ισχύος: 0,08% της αναδεικνυόμενης τιμής

Για όλα τα μεγέθη, η οθόνη του μετρητή έχει ανάλυση 5 ψηφίων, εκτός από το συντελεστή ισχύος που έχει 3 ψηφία.

#### **2.6.1.3 Περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας**

Ο μετρητής λειτουργεί όπως προβλέπεται, αν βρίσκεται εντός των ορίων των παρακάτω περιβαλλοντικών συνθηκών:

- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι σε λειτουργία: -40/+70 °C
- Σχετική υγρασία: <95%

#### **2.6.2 CM 4000 (Schneider Electric<sup>23</sup>)**

Ο CM 4000 είναι ένας μετρητής που ακολουθεί τα πιο εξελιγμένα πρότυπα ποιότητας ενέργειας, των IEEE και IEC. Μπορεί να ενσωματωθεί σε συστήματα παρακολούθησης ενέργειας και συστήματα ελέγχου, λόγω των σειριακών θυρών RS-485, RS-232 και της θύρας Ethernet που διαθέτει, καθώς επίσης και λόγω του ενσωματωμένου web server. Εξαιτίας του μεγάλου εύρους των λειτουργιών του, συμπεριλαμβανομένου και της ανίχνευσης παροδικών γεγονότων, συμβάλει στην ανεύρεση της πηγής πιθανού προβλήματος, που σχετίζεται με χαμηλή ποιότητα ισχύος.

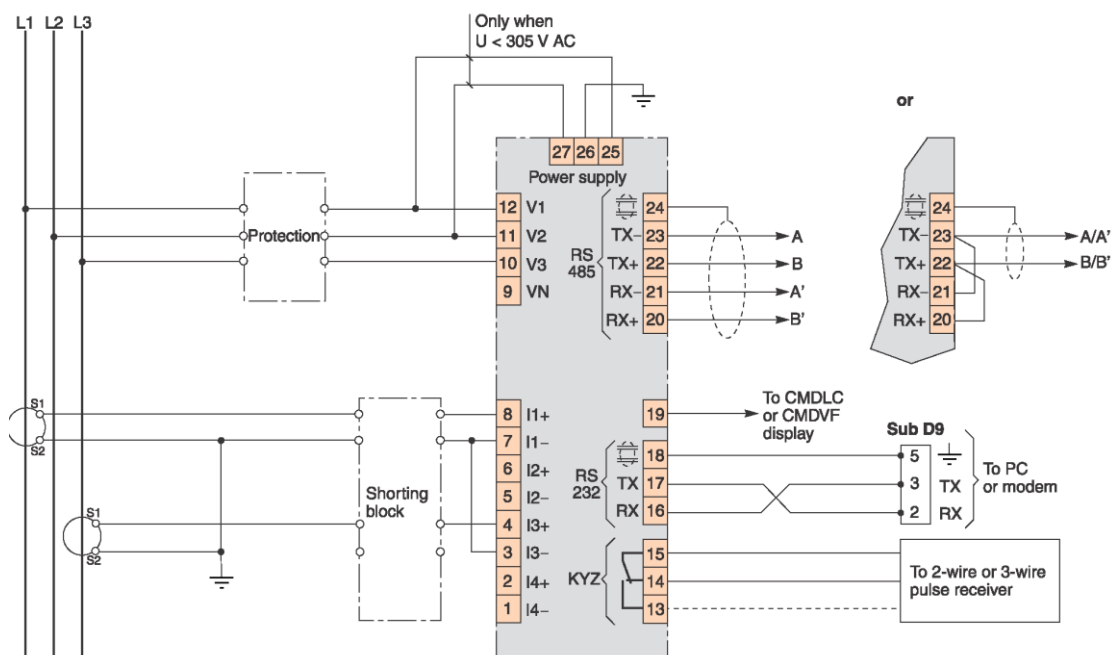


Εικόνα 13: Μετρητής CM 4000

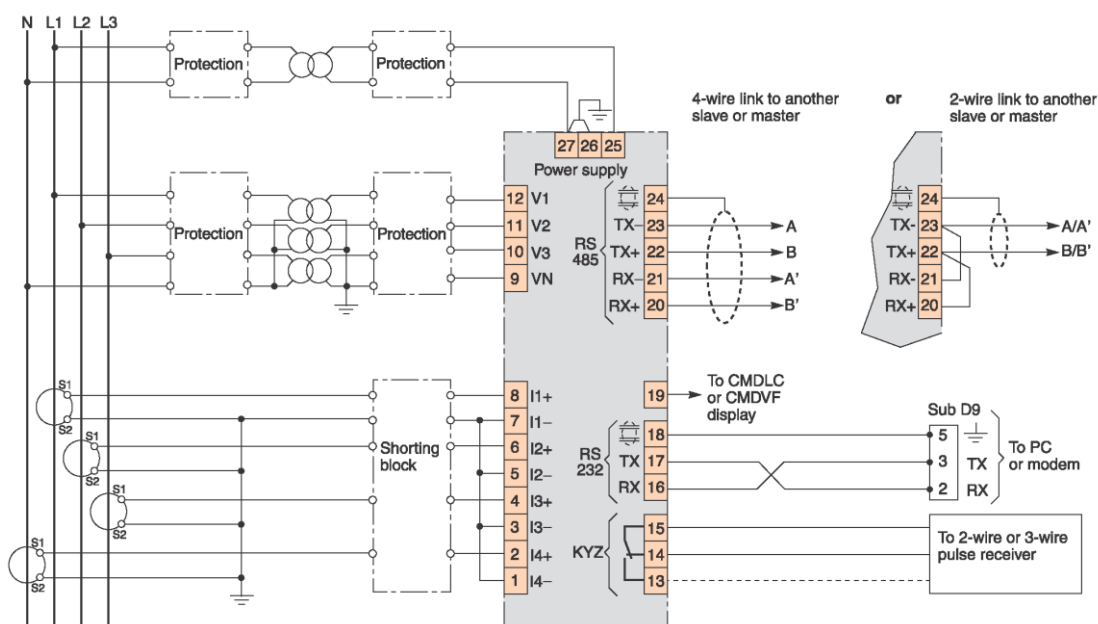
### 2.6.2.1 Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά<sup>24</sup>

#### 2.6.2.1.1 Συνδεσμολογίες

Ο συγκεκριμένος μετρητής επιτρέπει συνδεσμολογίες με ή χωρίς (για συστήματα μέχρι 600 Vac) μετασχηματιστές τάσης και έντασης, 3- και 4-καλωδίων, αστέρα και τριγώνου. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις δυνατές συνδεσμολογίες:



Σχήμα 12: Συνδεσμολογία 3 καλωδίων με 2 μετασχηματιστές έντασης



Σχήμα 13: Συνδεσμολογία 4 καλωδίων με 4 μετασχηματιστές έντασης και 3 μετασχηματιστές τάσης

#### 2.6.2.1.2 Είσοδοι τάσης

- Απευθείας σύνδεση: μέχρι  $600 \text{ V AC}$
- Σύνδεση μέσω εξωτερικού μετασχηματιστή τάσης: μέχρι  $1200 \text{ kV AC}$
- Συχνότητα:  $45 - 67 \text{ Hz}$  και  $350 - 450 \text{ Hz}$
- Αντίσταση εισόδου:  $> 2 \text{ M}\Omega$

#### 2.6.2.1.3 Είσοδοι ρεύματος

- Εύρος μέτρησης: 5mA ως 10A
- Ονομαστικό ρεύμα στο δευτερεύον του μετασχηματιστή έντασης: 5 ή 1 A
- Αντίσταση εισόδου:  $< 0,1 \Omega$
- Φορτίο εισόδου:  $< 0,15 \text{ VA}$
- Υπερφόρτιση:
  - 15A για συνεχόμενη ροή
  - 50A για 10 δευτερόλεπτα
  - 500A για ένα δευτερόλεπτο

#### **2.6.2.1.4 Τροφοδοσία**

Η τροφοδοσία γίνεται με δυο τρόπους, είτε με εναλλασσόμενη, είτε με συνεχή τάση:

- 100 – 275 V AC (+/- 10%), 50VA
- 125 – 250 V DC (+/- 20%), 30W

#### **2.6.2.2 Ακρίβεια μετρητή**

Η ακρίβεια του μετρητή για τα παρακάτω μεγέθη είναι η εξής:

- Τάση: +/- 0,04% της αναδεικνυόμενης τιμής + +/-0,025% της πλήρους κλίμακας (πλήρης κλίμακα = 600V)
- Ρεύμα: +/- 0,04% της αναδεικνυόμενης τιμής + +/-0,025% της πλήρους κλίμακας (πλήρης κλίμακα = 10A)
- Συχνότητα:
  - +/- 0,01Hz για το εύρος 45 – 67 Hz
  - +/- 0,1Hz για το εύρος 350 – 450Hz
- Ισχύς: +/- 0,075% της αναδεικνυόμενης τιμής + +/-0,025% της πλήρους κλίμακας
- Ενέργεια: σύμφωνα με το πρότυπο IEC EN 62053-22 και ANSI C 12.20 Class 0.2S

#### **2.6.2.3 Περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας**

Ο μετρητής λειτουργεί όπως προβλέπεται, αν βρίσκεται εντός των ορίων των παρακάτω περιβαλλοντικών συνθηκών:

- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι σε λειτουργία: -25/+70 °C
- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι εκτός λειτουργίας: -40/+85 °C
- Σχετική υγρασία: <95% στους 40 °C

#### **2.6.3 Shark 100 (Electro Industries/GaugeTech)**

Ο μετρητής Shark 100 είναι ιδανικός για νέες εφαρμογές μέτρησης, αλλά και αντικατάστασης των αναλογικών μετρητών που ήδη υπάρχουν σε μια εφαρμογή. Υπερέχει από άποψη

ακρίβειας στις μετρήσεις, λόγω των ενεργειακών προτύπων μέτρησης ANSI C12.20 και IEC 62053-22 που χρησιμοποιεί. Επίσης χρησιμοποιεί εξελιγμένη τεχνολογία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος (DSP), με υψηλή ανάλυση στη μετατροπή από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό, ώστε να διαθέτει μεγάλη ακρίβεια, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα λόγω του τελευταίου, παρέχει πιστοποιημένα έσοδα από χρεώσεις λογαριασμών και είναι κατάλληλος για χρήση σε μετρητικά συστήματα υποσταθμών και γενικά σε κρίσιμες εφαρμογές μέτρησης.



Εικόνα 14: Μετρητής Shark 100

### 2.6.3.1 Θύρες επικοινωνίας

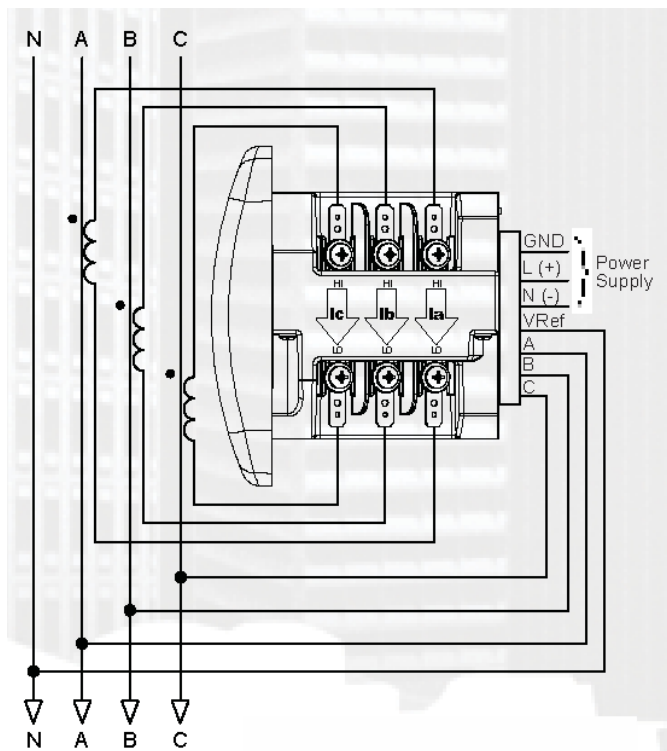
Ο συγκεκριμένος μετρητής παρέχει δυο ανεξάρτητες ενσύρματες θύρες επικοινωνίας και μια ασύρματη:

- Μια σειριακή θύρα επικοινωνίας RS-485, η οποία επιτρέπει την επικοινωνία με άλλους μετρητές και υπολογιστές. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται είναι το Modbus RTU/ASCII ή το DNP 3.0.
- Και μια θύρα που χρησιμοποιεί KYZ παλμούς<sup>25</sup>. Οι KYZ παλμοί χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών της στιγμιαίας κατανάλωσης ενέργειας, από ένα μετρητή ενέργειας σε ένα άλλο κομμάτι του εξοπλισμού. Η συσκευή που λαμβάνει τις πληροφορίες μπορεί να είναι κάποιο σύστημα ελέγχου, σύστημα καταγραφής, SCADA κ.τ.λ. Οι τιμές των παλμών ανάλογα το επίπεδο της τάσης είναι:
  - 0,2505759630 για τάση κάτω από 150V
  - 1,0023038521 για τάση πάνω από 150V
- Η ασύρματη θύρα επικοινωνίας περιλαμβάνει υπέρυθρες ακτίνες (IrDA) και επιτρέπει κυρίως τη ρύθμιση και τον προγραμματισμό του μετρητή. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι το Modbus ASCII.

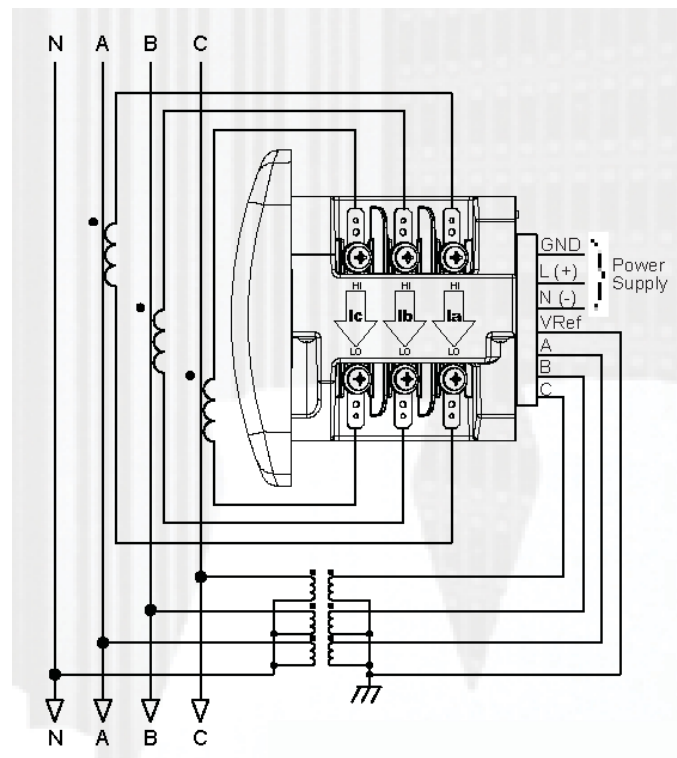
### 2.6.3.2 Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά<sup>26</sup>

#### 2.6.3.2.1 Συνδεσμολογίες

Οι συνδεσμολογίες που υποστηρίζει ο συγκεκριμένος μετρητής, ποικίλουν ανάλογα την εφαρμογή, και είναι 1, 2 και 3 φάσεων, 3 και 4 καλωδίων, αστέρα και τριγώνου. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις δυνατές συνδεσμολογίες:

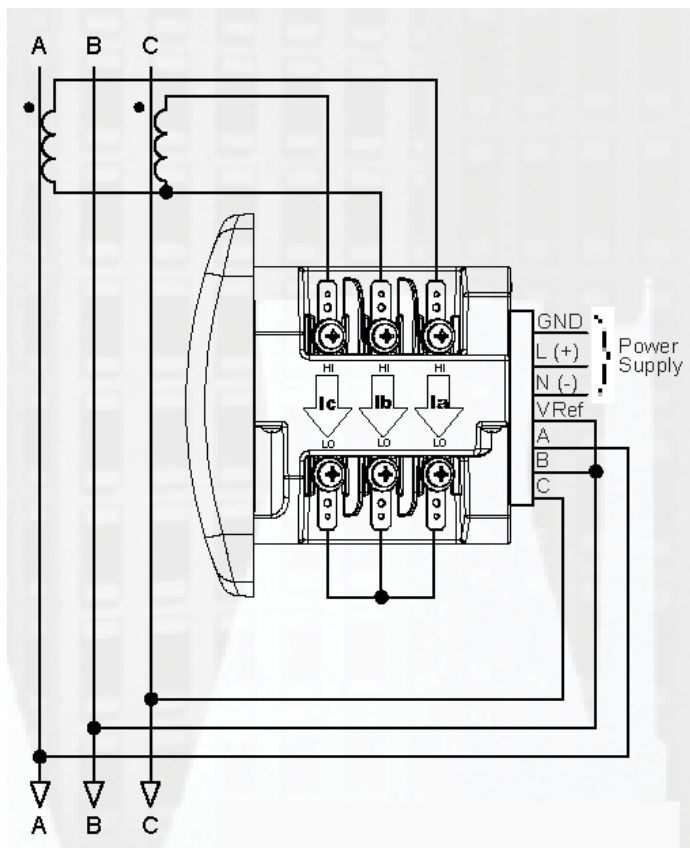


Σχήμα 14: Συνδεσμολογία αστέρα 3 φάσεων, 4 καλωδίων, χωρίς μετασχηματιστές τάσης

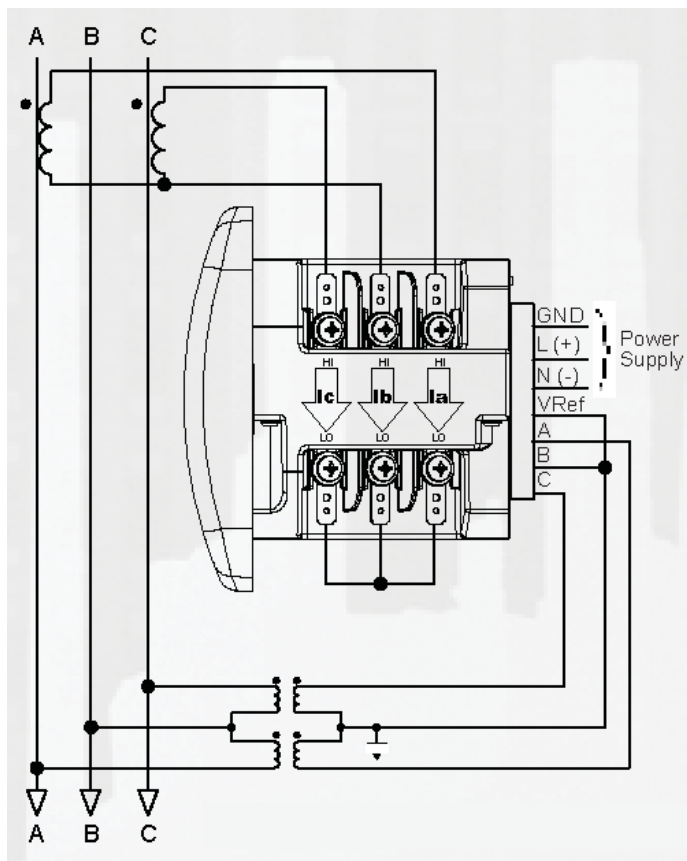


Σχήμα 15: Συνδεσμολογία αστέρα 3 φάσεων, 4 καλωδίων, με μετασχηματιστές τάσης





Σχήμα 16: Συνδεσμολογία τριγώνου 3 φάσεων, 3 καλωδίων, χωρίς μετασχηματιστές τάσης



Σχήμα 17: Συνδεσμολογία τριγώνου 3 φάσεων, 3 καλωδίων, με μετασχηματιστές τάσης

#### 2.6.3.2.2 Είσοδοι τάσης

- 20 – 416 V, μεταξύ φάσης – ουδετέρου
- 20 – 721 V, μεταξύ φάσεων
- Η υπερφόρτιση του μετρητή, όσον αφορά την τάση, ακολουθεί το πρότυπο IEEE C37.90.1
- Είναι εφικτή η σύνδεση με μετασχηματιστή τάσης οποιασδήποτε αναλογίας
- Συχνότητα: 50/60 Hz
- Αντίσταση εισόδου: 1MΩ ανά φάση
- Φορτίο εισόδου:
  - 0,36 VA ανά φάση στα 600V
  - 0,014VA στα 120V

#### 2.6.3.2.3 Είσοδοι ρεύματος

- Ο μετρητής ανήκει στην κλάση 10, δηλαδή έχει εύρος 0 – 10A και ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος 5A
- Είναι εφικτή η σύνδεση με μετασχηματιστή έντασης οποιασδήποτε αναλογίας

- Φορτίο ανά φάση: 0,005 VA στα 11 Amps
- Μέγιστη συνεχή ροή ρεύματος: 20Amps
- Υπερφόρτιση (για τους 23 °C) :
  - 100Amps για 10 δευτερόλεπτα
  - 300Amps για 3 δευτερόλεπτα
  - 500Amps για 1 δευτερόλεπτο

#### **2.6.3.2.4 Τροφοδοσία**

Όσον αφορά την τροφοδοσία του μετρητή υπάρχουν 2 επιλογές, είτε με εναλλασσόμενη, είτε με συνεχή τάση:

- 90 – 265 V AC
- 100 – 370 V DC
- Μέγιστο φορτίο: 10 VA

#### **2.6.3.2.5 Γαλβανική απομόνωση**

Όλες οι είσοδοι και οι έξοδοι είναι γαλβανικά απομονωμένες ώστε να αντέχουν τάση μέχρι 2500 Volts AC.

#### **2.6.3.3 Ακρίβεια μετρητή**

Η ακρίβεια του μετρητή για τα παρακάτω μεγέθη, στους 23 °C, στις 3 φάσεις αστέρα ή τρίγωνο, στα 50/60Hz και σε ονομαστική τιμή ρεύματος στο δευτερεύον 5A (κλάση 10) είναι η εξής:

- Τάση: 0,1% της αναδεικνυόμενης τιμής, είτε μεταξύ φάσης – ουδετέρου, είτε μεταξύ φάσεων
- Ρεύμα: 0,1% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Συχνότητα: 0,01 Hz από 45 ως 65 Hz
- Ενεργός ισχύς: 0,2% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Άεργος ισχύς: 0,2% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Φαινόμενη ισχύς: 0,2% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Ενεργός ενέργεια: 0,2% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Άεργος ενέργεια: 0,2% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Φαινόμενη ενέργεια: 0,2% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Συντελεστής ισχύος: 0,2% της αναδεικνυόμενης τιμής
- Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD): 5,0%

#### **2.6.3.4 Περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας**

Ο μετρητής λειτουργεί όπως προβλέπεται, αν βρίσκεται εντός των ορίων των παρακάτω περιβαλλοντικών συνθηκών:

- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι σε λειτουργία: -20/+70 °C
- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι εκτός λειτουργίας: -20/+70 °C
- Σχετική υγρασία: <95%

## 2.6.4 PM 800 (Schneider Electric)

Ο PM800 είναι ένας μετρητής ενέργειας, που συνδυάζει ακρίβεια, μέτρηση της ισχύος και της ενέργειας στις 3 φάσεις με παράλληλη δυνατότητα καταγραφής, ανάλυση της ποιότητας της ενέργειας, δυνατότητες για περισσότερες εισόδους/εξόδους και alarms. Είναι κατάλληλος για τοπική και απομακρυσμένη παρακολούθηση, είτε υψηλών είτε χαμηλών τάσεων ηλεκτρολογικών εφαρμογών σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εμπορικά κτήρια και γενικά σε περιβάλλον που παίζει σημαντικό ρόλο η κατανάλωση ενέργειας. Οι βασικές του λειτουργίες περιλαμβάνουν ένα εύρος μετρήσεων ενέργειας, ισχύος, αρμονικής παραμόρφωσης (THD), μια σειριακή θύρα επικοινωνίας RS-485, μια ψηφιακή είσοδο, μια ψηφιακή έξοδο τύπου-KY και για τυχόν κρίσιμες καταστάσεις, λειτουργία alarm.



Εικόνα 15: Μετρητή PM800

### 2.6.4.1 Θύρες επικοινωνίας

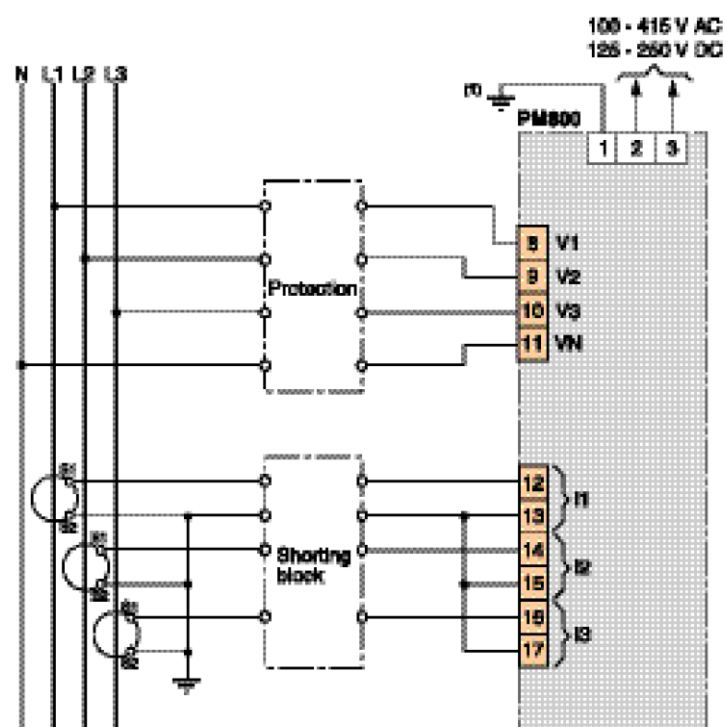
Οι θύρες επικοινωνίας επιτρέπουν στους μετρητές να χρησιμοποιούνται σαν ένα κομμάτι ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας και ισχύος. Ο συγκεκριμένος μετρητής διαθέτει μια σειριακή θύρα επικοινωνίας RS-485, η οποία χρησιμοποιεί το πρότυπο Modbus RTU/ASCII ή το πρότυπο JBUS.

Επίσης υπάρχουν πρόσθετες εξωτερικές συσκευές, PM8RDA και PM8ECC, οι οποίες εξοπλίζουν τον μετρητή με μια επιπλέον θύρα RS-485/232 και Ethernet αντίστοιχα. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται και στις δυο θύρες είναι το Modbus RTU/ASCII. Πρέπει να σημειώσουμε πως όταν εγκαθίσταται η πρόσθετη θύρα Ethernet, τότε αυτόματα απενεργοποιείται η θύρα RS-485.

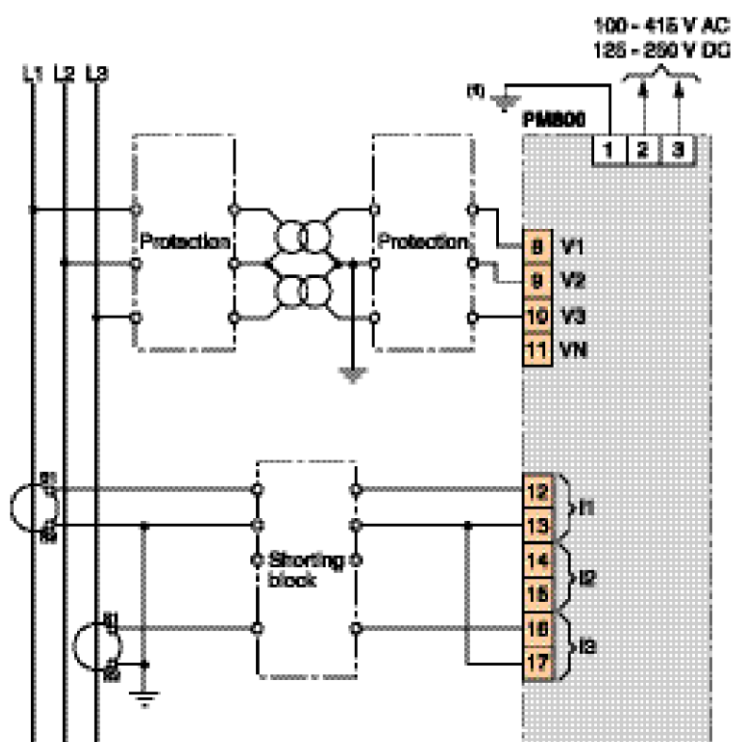
### 2.6.4.2 Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά<sup>27</sup>

#### 2.6.4.2.1 Συνδεσμολογίες<sup>28</sup>

Οι συνδεσμολογίες ποικίλουν ανάλογα την εφαρμογή που χρησιμοποιείται ο μετρητής. Παρακάτω παρουσιάζονται δυο από τις πιθανές συνδεσμολογίες:



Σχήμα 18: Συνδεσμολογία 4 καλωδίων με 3 μετασχηματιστές έντασης



Σχήμα 19: Συνδεσμολογία 3 καλωδίων με 2 μετασχηματιστές έντασης και 2 μετασχηματιστές τάσης

#### 2.6.4.2.2 Είσοδοι τάσης

- Απευθείας σύνδεση:
  - μέχρι 347V AC μεταξύ φάσης-ουδετέρου
  - μέχρι 600V AC μεταξύ φάσεων
- Σύνδεση μέσω εξωτερικού μετασχηματιστή τάσης: μέχρι 3,2 MV AC
- Συχνότητα: 45 – 67 Hz και 350 – 450 Hz
- Αντίσταση εισόδου: 5 MΩ

#### 2.6.4.2.3 Είσοδοι ρεύματος

- Σύνδεση με εξωτερικό μετασχηματιστή έντασης:
  - Πρωτεύον: προγραμματιζόμενο από 5A μέχρι 32767A
  - Δευτερεύον: 1 ή 5 A
- Εύρος μέτρησης εισόδου: 5mA – 10A AC
- Αντίσταση εισόδου: < 0,1Ω
- Φορτίο εισόδου: < 0,15 VA
- Υπερφόρτιση:
  - Μέγιστη συνεχόμενη ροή ρεύματος: 15A
  - 50A για 10 δευτερόλεπτα
  - 500A για 1 δευτερόλεπτο

#### 2.6.4.2.4 Τροφοδοσία

Όσον αφορά την τροφοδοσία του μετρητή υπάρχουν 2 επιλογές, είτε με εναλλασσόμενη, είτε με συνεχή τάση:

- 115 – 415 (+/- 10%) V AC, 15VA με επιλογή στη συχνότητα είτε από 45 – 67 Hz, είτε από 350 – 450 Hz
- 125 – 250 (+/- 20%) V DC

#### 2.6.4.3 Ακρίβεια μετρητή

Η ακρίβεια του μετρητή ικανοποιεί το πρότυπο IEC 61557-12 και για τα παρακάτω μεγέθη είναι η εξής:

- Τάση: 0,2% από 10V ως 277V
- Ρεύμα: 0,5% από 0,5A ως 10A
- Συχνότητα: +/- 0,01 Hz από 45 ως 65 Hz και 350 ως 450 Hz
- Ενεργός ισχύς: 0,2%
- Ενεργός ενέργεια: κλάση 0,5S σύμφωνα με το πρότυπο IEC 2053-22 και κλάση 0,2S σύμφωνα με το πρότυπο ANSI C12.20

- Άεργος ενέργεια: κλάση 2 σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62053-22

#### 2.6.4.4 Περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας

Ο μετρητής λειτουργεί όπως προβλέπεται, αν βρίσκεται εντός των ορίων των παρακάτω περιβαλλοντικών συνθηκών:

- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι σε λειτουργία:
  - Για τον μετρητή:  $-25/+70^{\circ}\text{C}$
  - Για την οθόνη:  $-10/+50^{\circ}\text{C}$
- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι εκτός λειτουργίας:  $-40/+85^{\circ}\text{C}$
- Σχετική υγρασία:  $<95\%$

#### 2.6.5 ZEPTO 96 (Electrex<sup>29</sup>)

Το Zepto<sup>30</sup>, το οποίο χρησιμοποιείται στο Κτήριο Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης, είναι ένα πολύμετρο - μετρητής και αναλυτής ισχύος και ενέργειας βασισμένο σε μικροεπεξεργαστή. Σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαθέτει μεγάλη ακρίβεια και ευελιξία, με σκοπό να ικανοποιεί τις πιο απαιτητικές εφαρμογές σε αναλύσεις ηλεκτρικών παραμέτρων ή παρακολούθηση και καταγραφή αυτών, τόσο σε βιομηχανικό, όσο και σε επίπεδο κατοικίας.



Εικόνα 16: Μετρητής Zepto 96

Είναι κατάλληλος για απεικόνιση όλων των ειδών των ηλεκτρολογικών δικτύων, 3 ή 4-καλωδίων, συμμετρικών ή ασύμμετρων, μιας ή πολλών φάσεων, χαμηλής ή υψηλής έντασης, με 1, 2 ή 3 μετασχηματιστές έντασης.

Διαθέτει ένα απλό πληκτρολόγιο για προγραμματισμό των εκάστοτε ρυθμίσεων ανάλογα τις απαιτήσεις του δικτύου, ψηφιακή έξοδο και alarms (για τυχόν όρια που έχουν τεθεί, τυχόν

καθυστερήσεις κ.τ.λ.), ψηφιακή είσοδο και σειριακή θύρα επικοινωνίας RS-485. Τέλος, είναι εξοπλισμένο με τροφοδοσία 230-240 Vac.

#### **2.6.5.1 Σειριακή θύρα επικοινωνίας**

Ο μετρητής είναι εξοπλισμένος με μια οπτικά μονωμένη και προστατευμένη από υπέρταση RS-485 θύρα επικοινωνίας. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι το Modbus RTU, το οποίο είναι κατάλληλο για επικοινωνία με PLC και SCADA συστήματα. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται το πρότυπο IEEE, με το δεκαδικό και το εκθετικό μέρος, μετατρέποντας τα μετρούμενα μεγέθη, σε αριθμούς που καταλαβαίνει ο μετρητής, ώστε να αποθηκεύονται στους καταχωρητές του. Η δε ταχύτητα μετάδοσης φθάνει τα 38400bps, με μέγιστο πλήθος καταχωρητών τους 125.

Τα μεγέθη που απεικονίζει ο μετρητής φασικά ή και ανά φάση είναι:

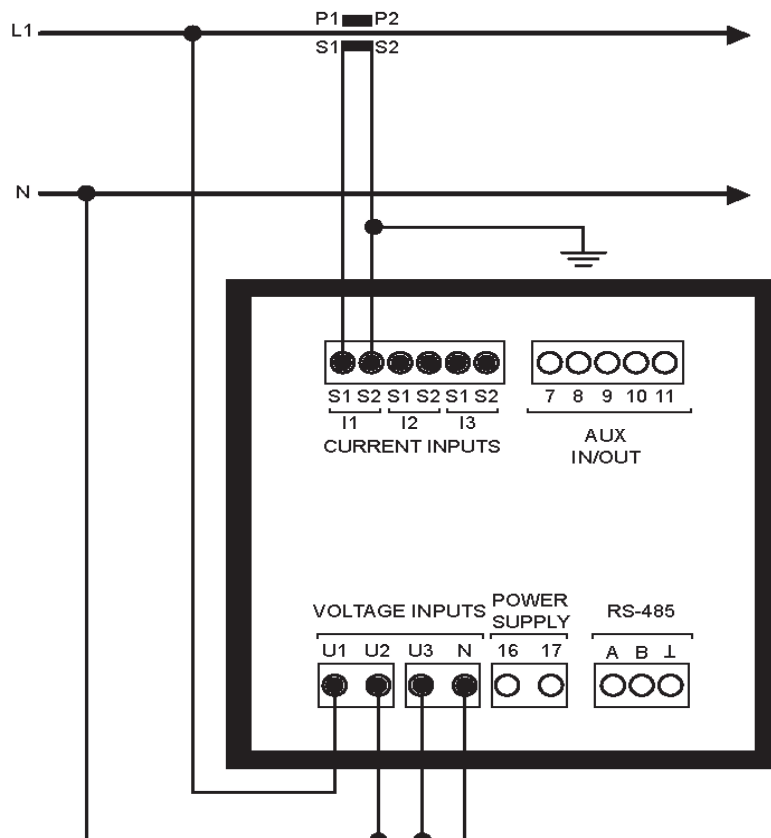
- τάση
- ρεύμα
- συντελεστής ισχύος
- συχνότητα δικτύου
- παραμόρφωση τάσης και ρεύματος
- ενεργό, άεργο και συνολική ισχύ με δυνατότητα προβολής μέσου όρου και μέγιστης ζήτησης
- ενέργεια
- και τέλος συνολικό χρόνο λειτουργία του ίδιου του μετρητή.

#### **2.6.5.2 Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά**

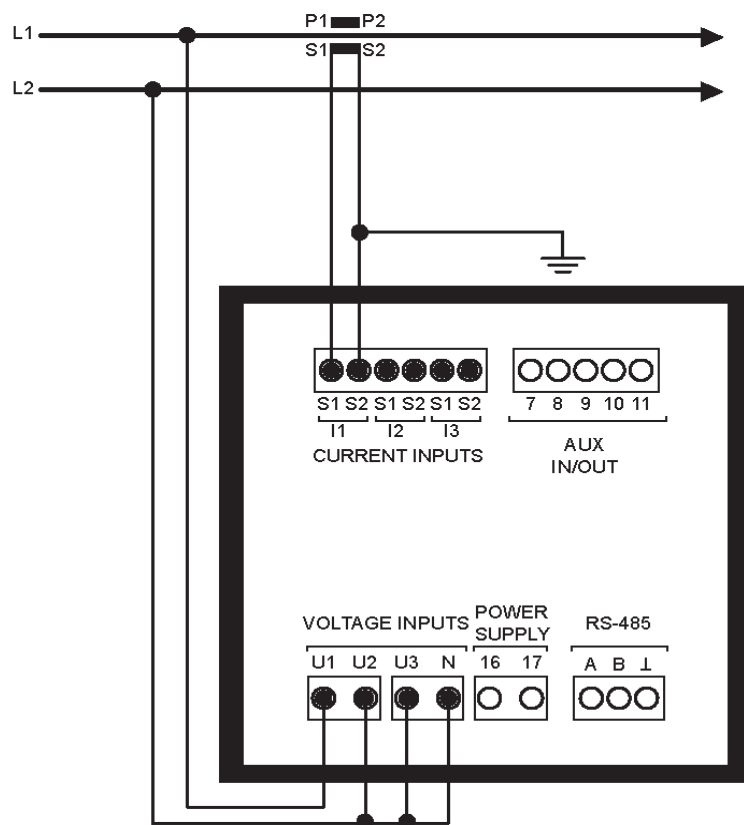
##### **2.6.5.2.1 Συνδεσμολογίες**

Οι συνδεσμολογίες<sup>31</sup> που υποστηρίζει ο συγκεκριμένος μετρητής είναι 1, 2 και 3 φάσεων, χαμηλής και υψηλής έντασης, 3 και 4 καλωδίων. Ανάλογα την εκάστοτε εφαρμογή που χρησιμοποιείται ο μετρητής, επιλέγεται και η κατάλληλη συνδεσμολογία. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις πιθανές συνδεσμολογίες σε μορφή διαγραμμάτων:

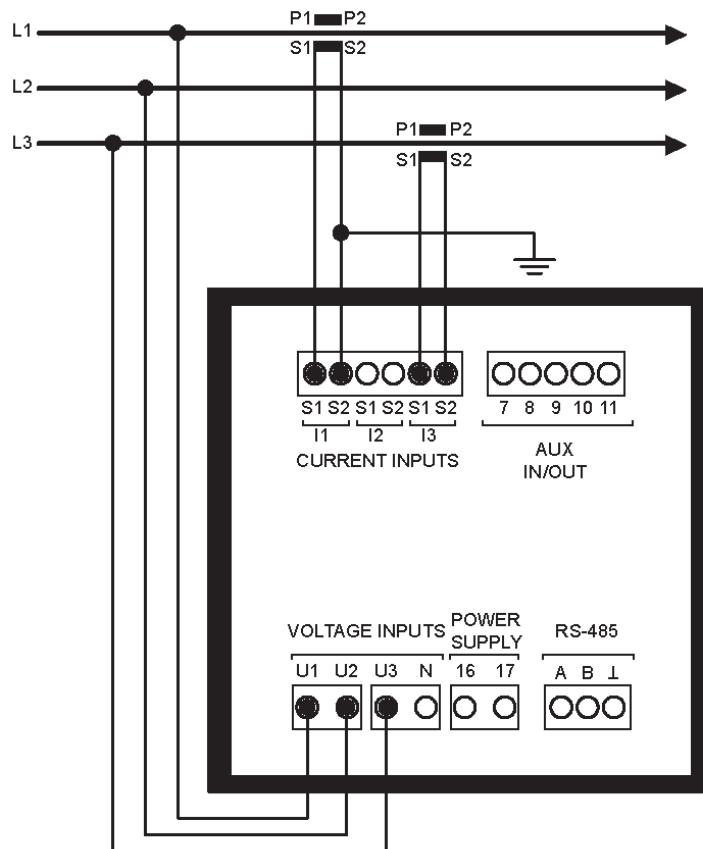




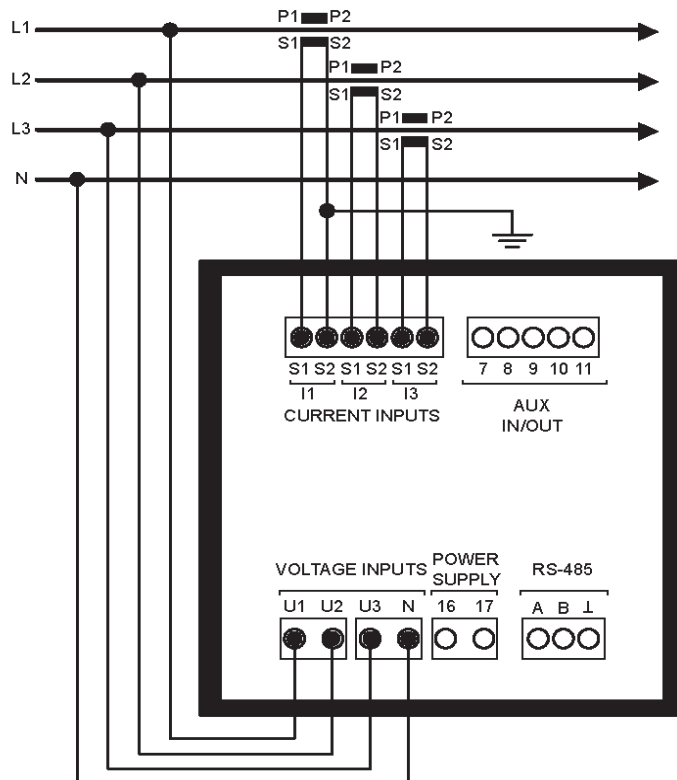
Σχήμα 20: Συνδεσμολογία 1 φάσης – 2 καλωδίων



Σχήμα 21: Συνδεσμολογία 2 φάσεων – 2 καλωδίων



Σχήμα 22: Συνδεσμολογία (τριγώνου) 3 φάσεων – 3 καλωδίων – 2 μετασχηματιστών έντασης



Σχήμα 23: Συνδεσμολογία (αστέρα) 3 φάσεων – 4 καλωδίων

### 2.6.5.2.2 Είσοδοι τάσης

- Απευθείας σύνδεση: μέχρι 300 Vrms μεταξύ φάσης-ουδέτερου ή 519 Vrms μεταξύ φάσεων (300 Vrms αν έχουμε 2 φάσεις μόνο)
- Σύνδεση μέσω εξωτερικού μετασχηματιστή τάσης:
  - Πρωτεύον: προγραμματιζόμενο (μέγιστο 400 kV)
  - Δευτερεύον: προγραμματιζόμενο (μέγιστο 300 V)
- Συχνότητα: 45 – 65 Hz
- Μέγιστη τάση με ουδέτερο: 300 Vrms
- Φορτίο εισόδου: < 0,3 VA
- Αντίσταση εισόδου: > 2 MΩ
- Υπερφόρτιση: 900 Vrms μεταξύ φάσεων για 1 δευτερόλεπτο

#### **2.6.5.2.3 Είσοδοι ρεύματος**

- Σύνδεση με εξωτερικό μετασχηματιστή έντασης:
  - Πρωτεύον: προγραμματιζόμενο (μέγιστο 10 kA)
  - Δευτερεύον: 1 ή 5 A
- Μέγιστη ένταση: 1,2 ή 6 Arms
- Φορτίο εισόδου: < 0,7 VA
- Υπερφόρτιση: 40 Arms για 1 δευτερόλεπτο

#### **2.6.5.2.4 Τροφοδοσία**

Η τροφοδοσία του μετρητή είναι ξεχωριστή από τις εισόδους της τάσης.

- Τυπική τροφοδοσία: 230/400 Vac +/- 10% 50/60 Hz
- Αυτό-κατανάλωση: < 3 VA

#### **2.6.5.2.5 Γαλβανική απομόνωση**

- Τροφοδοσία (ξεχωριστή): 4 kV
- Σειριακή θύρα επικοινωνίας: 1,5 kV
- Ψηφιακή είσοδος και έξοδος: 1,5 kV

#### **2.6.5.3 Ακρίβεια μετρητή**

Η ακρίβεια του μετρητή για τα παρακάτω μεγέθη είναι η εξής:

- Τάση: 0,5% της αναδεικνυόμενης τιμής +/-1 ψηφίο από 40 ως 300 V, ελάχιστη αναγνωρίσιμη τάση 10V
- Ρεύμα: 0,5% της αναδεικνυόμενης τιμής +/-1 ψηφίο από 0,02 ως 1,2 A ή από 1,2 ως 6 A, ελάχιστη αναγνωρίσιμη τιμή 10mA
- Συχνότητα: 0,02 Hz από 45 ως 65 Hz
- Ισχύς: 1% της αναδεικνυόμενης τιμής +/-1 ψηφίο
- Ενεργός ενέργεια: κλάση 1 σύμφωνα με το πρότυπο IEC EN 62053-21

- Άεργος ενέργεια: κλάση 2 σύμφωνα με το πρότυπο IEC EN 62053-21

#### **2.6.5.4 Περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας**

Ο μετρητής λειτουργεί όπως προβλέπεται, αν βρίσκεται εντός των ορίων των παρακάτω περιβαλλοντικών συνθηκών:

- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι σε λειτουργία:  $-10/+50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Εύρος θερμοκρασίας όταν ο μετρητής είναι εκτός λειτουργίας:  $-15/+60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Σχετική υγρασία:  $<95\%$

### **Κεφάλαιο 3 – Δίκτυα και Πρωτόκολλα Επικοινωνίας Μετρητών**

Συνήθως, η πληροφορία που προκύπτει από τη μέτρηση που λαμβάνεται από ένα σύστημα μέτρησης πρέπει να μεταφερθεί σε μια άλλη συσκευή για περαιτέρω επεξεργασία. Αναμφίβολα, μια από τις πιο σημαντικές καινοτομίες στη μεταφορά της παραπάνω πληροφορίας είναι τα δίκτυα. Στην εποχή μας, που χαρακτηρίζεται από ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη και σύγκλιση όλο και περισσότερων μορφών πληροφορίας, η επανάσταση του διαδικτύου έχει συμβάλει σημαντικά στην ταχύτητα με την οποία υλοποιείται η σύγκλιση αυτή, με αποτέλεσμα πληροφορίες κάθε τύπου (data, voice, video, audio, image κλπ.) να μεταφέρονται σε ενιαία μορφή και μέσο, με σκοπό, να λύσει προβλήματα καθημερινής φύσης.

Η πρώτη φάση της επανάστασης στο χώρο των δικτύων ξεκίνησε πριν μερικά χρόνια, όταν ο χώρος της πληροφορικής προχώρησε στην ανοικτή και κατανεμημένη διασπορά της επεξεργαστικής ισχύος. Εκείνη την εποχή, αναπτύχθηκαν και οι τεχνολογίες των πρώτων WAN/LAN.

Η δεύτερη φάση, αυτή της εξέλιξης του διαδικτύου, και με την πάροδο του χρόνου, της αξιοσημείωτης μείωσης του κόστους της διαδικτύωσης, βοήθησε τους χρήστες των δικτύων να επικοινωνούν καλύτερα, γρηγορότερα και πιο φθηνά μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και των ιστοσελίδων. Σε αντίθεση, για παράδειγμα, από το να κάνει κάποιος ένα υπερατλαντικό τηλεφώνημα και να αφήσει μήνυμα σε αυτόματο τηλεφωνητή.

Σήμερα, διανύουμε την τρίτη φάση της τεχνολογικής εξέλιξης των δικτύων, όπου απομονωμένες "κυψέλες" πληροφοριών εντάσσονται σε ένα ευρύτερο παγκόσμιο δίκτυο. Τέτοιες "κυψέλες" πληροφοριών είναι τα δίκτυα τηλεφωνίας ή τα δίκτυα αυτομάτου ελέγχου. Η ολοκλήρωση αυτή, επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση και να διαχειρίζονται από οποιοδήποτε σημείο του τοπικού ή του ευρύτερου δικτύου τις πληροφορίες τους (cloud computing). Η τρίτη αυτή φάση της τεχνολογικής επανάστασης των δικτύων αντιμετωπίζει την πρόκληση της βελτίωσης της επαφής των ανθρώπων με το περιβάλλον στο οποίο ζουν και εργάζονται.

Οι τεχνολογίες που καθιστούν ικανή την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών, αισθητήρων και οργάνων μέτρησης, που ανήκουν σε ανεξάρτητα και ασύμβατα δίκτυα, είναι πρότυπα λογισμικού (software standards), τα οποία μάλιστα, δεν απαιτούν αξιόπιστα δίκτυα. Η αρχή στην οποία βασίζονται αυτά τα επιτυχημένα πρότυπα είναι η δομή τους ως ιεραρχία επιπέδων, στην οποία κάθε επίπεδο αναλαμβάνει την ευθύνη για ένα τμήμα της επικοινωνίας. Κάθε υπολογιστής, δίκτυο, και μεταγωγός υλοποιεί το δικό του επίπεδο του προτύπου, βασιζόμενος στο ότι και τα υπόλοιπα συστατικά θα κάνουν το καθήκον τους. Αυτά τα πολυεπίπεδα πρότυπα λογισμικού ονομάζονται οικογένειες πρωτοκόλλων (protocol families) ή πακέτα πρωτοκόλλων (protocol suites).

Στόχος μιας οικογένειας πρωτοκόλλων είναι να απλοποιήσει το πρότυπο, κατανέμοντας τις ευθύνες ιεραρχικά μεταξύ των επιπέδων, με το κάθε επίπεδο να παρέχει τις υπηρεσίες που χρειάζεται στο αμέσως από πάνω του.

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization - OSI) πρότεινε ένα πρότυπο αναφοράς για τη Διασύνδεση Ανοιχτών Συστημάτων (Open Systems

Interconnect - OSI), αναπτύσσοντας ένα μοντέλο που διέδωσε την περιγραφή των δικτύων, ως μιας σειράς από επτά επίπεδα. Όλα τα σύγχρονα πρωτόκολλα επικοινωνίας στηρίζονται σε αυτό το μοντέλο των επτά επιπέδων.

Αριθμός επιπέδου	Όνομα επιπέδου	Κύρια λειτουργία
7	Εφαρμογής (Application)	Χρησιμοποιείται από εφαρμογές ειδικά γραμμένες ώστε να εκτελούνται στο διαδίκτυο.
6	Παρουσίασης (Presentation)	Μεταφράζει τη μορφή εφαρμογής σε αυτή του δικτύου και αντίστροφα.
5	Συνδιάλεξης (Session)	Ξεκινάει, συντηρεί, και τερματίζει συνδιαλέξεις μέσω του δικτύου.
4	Μεταφοράς (Transport)	Πρόσθετη σύνδεση κάτω από το επίπεδο συνδιάλεξης.
3	Δικτύου (Network)	Μεταφράζει τις λογικές διευθύνσεις δικτύου και τα ονόματα στις φυσικές διευθύνσεις.
2	Συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (Data link)	Ομαδοποιεί και μετατρέπει τα δεδομένα σε πακέτα.
1	Φυσικό (Physical)	Μεταδίδει τα δεδομένα μέσα από το καλώδιο.

**Πίνακας 2: Τα επίπεδα του μοντέλου OSI<sup>32</sup>**

### 3.1 Συνδεσμολογία συσκευών που απαρτίζουν ένα δίκτυο επικοινωνίας

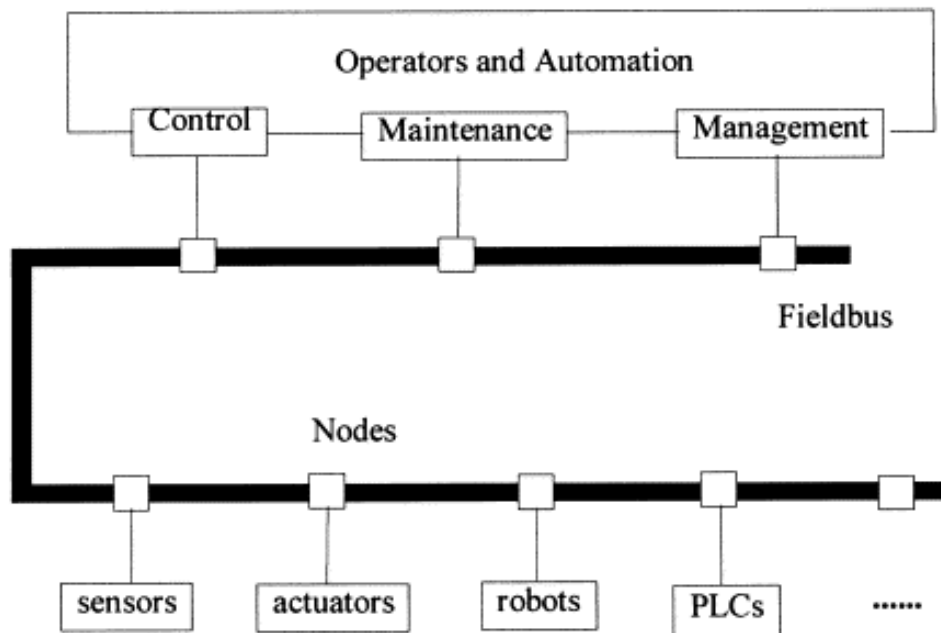
Σε ένα σύστημα μέτρησης και ελέγχου, υπάρχουν αρκετοί τρόποι σύνδεσης της μονάδας ελέγχου(αν υπάρχει), με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές.

Ο πρώτος τρόπος σύνδεσης, που αποτελεί και την πιο απλή μορφή του συστήματος, είναι ο κάθε αισθητήρας να συνδέεται άμεσα με έναν ή περισσότερους ενεργοποιητές. Τα μειονεκτήματα αυτών των διατάξεων είναι ότι δεν έχουν ευελιξία σε αλλαγές, γιατί οι αισθητήρες δεν μπορούν να ελέγξουν άλλους ενεργοποιητές, παρά μόνο αυτούς με τους οποίους είχαν συνδεθεί αρχικά. Επίσης το κόστος εγκατάστασης είναι αυξημένο, γιατί απαιτείται ξεχωριστή καλωδίωση για τη σύνδεση κάθε ζεύγους αισθητήρα/ενεργοποιητή. Αξίζει να παρατηρήσουμε το γεγονός ότι απουσιάζει η κεντρική μονάδα ελέγχου.

Μια πιο εξελιγμένη μορφή του συστήματος μέτρησης και ελέγχου, είναι αυτή που αποτελείται από μία μονάδα ελέγχου(ή H/Y) που είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του συστήματος, πάνω στην οποία συνδέονται αισθητήρες και ενεργοποιητές. Και σε αυτό τον τρόπο σύνδεσης, παρατηρούμε τα ίδια μειονεκτήματα με προηγουμένως. Επίσης, λόγω του ότι έχουμε μία μόνο κεντρική μονάδα ελέγχου, σε περίπτωση βλάβης της, διακόπτεται η λειτουργία όλου του συστήματος μέτρησης και ελέγχου.

Μέχρι στιγμής, η τοπολογία που ακολουθείται είναι *Σημείο-προς-Σημείο*(point-to-point). Αποτελεί την απλούστερη προσέγγιση με την οποία ο κεντρικός ελεγκτής συνδέεται με τους τερματικούς σταθμούς. Παρακάτω θα αναλύσουμε και άλλα είδη τοπολογιών.

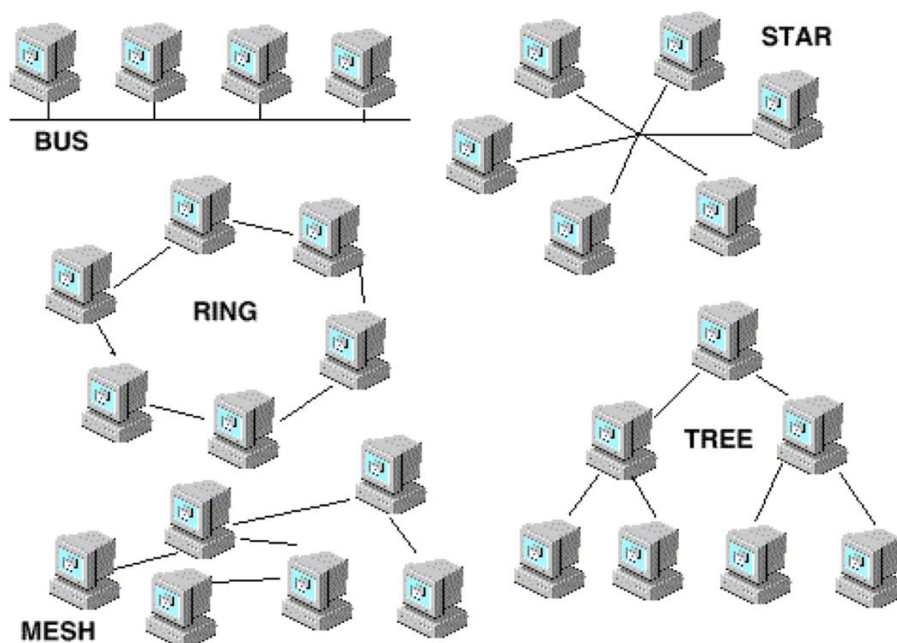
Την πιο αξιόπιστη συνδεσμολογία την έχουν τα δίκτυα, που όλοι οι αισθητήρες και ενεργοποιητές συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός κοινού μέσου επικοινωνίας. Αυτά τα δίκτυα ονομάζονται και συστήματα διαύλου πεδίου(FieldBuses). Τα συστήματα αυτού του τύπου έχουν το πλεονέκτημα της ευελιξίας σε μεταβολές της διάταξης του συστήματος μέτρησης και ελέγχου(πχ. προσθήκη ή αφαίρεση νέου αισθητήρα ή ενεργοποιητή). Επίσης, σε περίπτωση βλάβης ενός κόμβου του συστήματος δεν προκαλείται η κατάρρευση όλου του συστήματος μέτρησης και ελέγχου.



Σχήμα 24: Διασύνδεση αισθητήρων, ενεργοποιητών κλπ. μέσω κοινού διαύλου επικοινωνίας

Οι τοπολογίες που ακολουθούνται σε ένα σύστημα διαύλου πεδίου, είναι:

- Αστέρα (star topology): Η λειτουργία του είναι παρόμοια με αυτή του Σημείο-προς-Σημείο, αλλά συνδέονται περισσότερες μονάδες στον κεντρικό ελεγκτή.
- Δακτυλίου (ring topology): Τα δεδομένα μεταφέρονται μόνο προς μια κατεύθυνση μέσα στο δακτύλιο. Κάθε μονάδα αναγνωρίζει εάν η πληροφορία αφορά εκείνη, διαφορετικά παρακάμπτει τη μονάδα.
- Διαύλου (bus topology): Οι διαφορετικές μονάδες επικοινωνούν ανεξάρτητα μεταξύ τους και με τον κεντρικό ελεγκτή. Αυτό το είδος του δικτύου είναι πολύ εύκολα επεκτάσιμο.
- Ιεραρχική δομή ή δομή δέντρου (tree topology): Οι μονάδες επικοινωνούν μέσω δεντρικής τοπολογίας.



Σχήμα 25: Είδη τοπολογιών ενός συστήματος διαύλου πεδίου

### 3.2 Αναγνωρισμένα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Η βιομηχανική πρόοδος στην ανάπτυξη ημιαγωγών και η αυξανόμενη ζήτηση από τους τελικούς χρήστες, οδήγησε σε εξελιγμένα συστήματα ελέγχου. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε κτήρια για θέρμανση-εξαερισμό-κλιματισμό(HVAC), φωτισμό γενικά και φωτισμό σε περιπτώσεις ανάγκης, ενεργειακή διαχείριση, ασφάλεια και προστασία κ.α. Όλα αυτά τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, υποστηρίζονται από πρωτόκολλα επικοινωνίας. Τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα είναι:

- BACNET
- European Installation Bus - EIB
- LonWorks
- Modbus RTU
- CAN
- ARCNET
- BitBus
- PROFIBUS
- FND Standart
- Intelligent Room Bus
- Και αρκετά άλλα στηριζόμενα στα πρότυπα επικοινωνίας RS-232, RS-422, ή RS-485



Μερικά από αυτά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αναλύονται παρακάτω:

### 3.2.1 BACnet

Το BACnet<sup>33</sup> είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για αυτοματισμούς κτηρίων και δικτύων ελέγχου. Σχεδιάστηκε για να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των αυτοματισμών και τον έλεγχο του εξοπλισμού μέσα σε ένα κτήριο, όπως συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού, φωτισμού, ανάγνωσης πυρκαγιάς, ελέγχου πρόσβασης σε δωμάτια ενός κτηρίου κ.α.

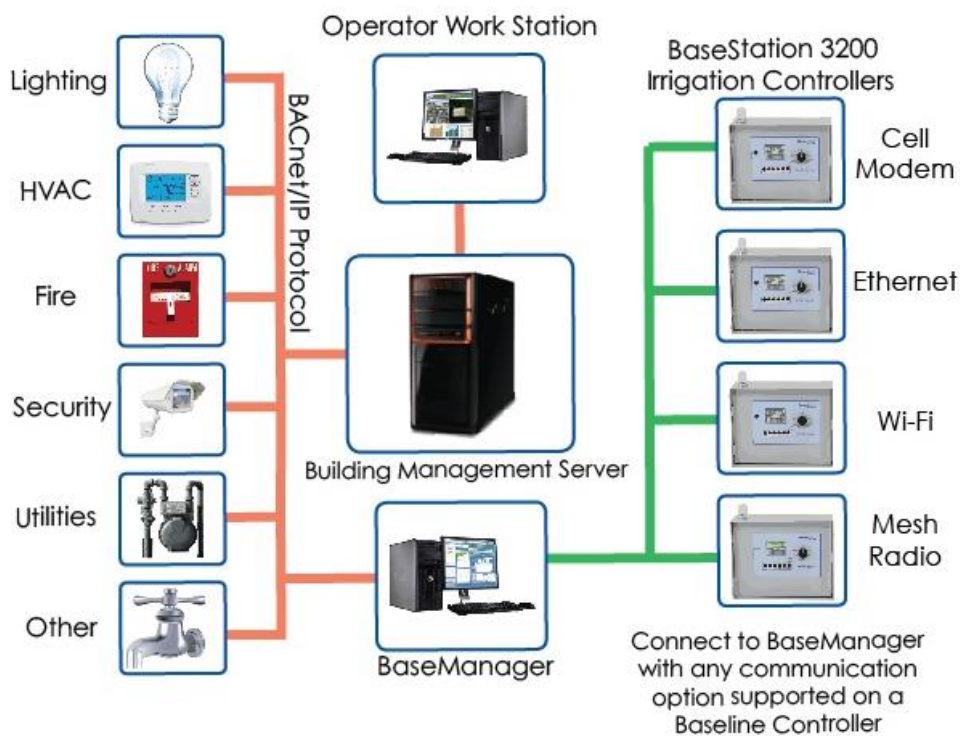
Κύριος στόχος του πρωτοκόλλου είναι να αντικαταστήσει το διαφορετικό τμήμα επικοινωνίας κάθε συσκευής, που συνδέεται στο δίκτυο, με ένα πρότυπο σύνολο κανόνων επικοινωνίας ή αλλιώς με μια κοινή γλώσσα, έτσι ώστε όλες οι συσκευές να δείχνουν ίδιες πάνω στο καλώδιο-δίκτυο.

Για να είναι επιτυχής η διεπικοινωνία μιας μεγάλης γκάμας συσκευών μεταξύ τους, το BACnet υλοποιήθηκε σε τρία κύρια μέρη.

Το πρώτο μέρος περιγράφει μια μέθοδο απεικόνισης για οποιοδήποτε τύπο συσκευής αυτοματισμού ενός κτηρίου, με έναν τυποποιημένο τρόπο.

Το δεύτερο μέρος καθορίζει το είδος των μηνυμάτων, που πιθανόν θέλουν να στείλουν μεταξύ τους οι συσκευές αυτοματισμού και ελέγχου σε ένα κτήριο. Επειδή το συγκεκριμένο πρωτόκολλο βασίζεται στο μοντέλο "Πελάτη - Εξυπηρετητή", τα μηνύματα διεξάγονται από τον εξυπηρετητή(server) εκ μέρους του πελάτη(client).

Τέλος, το τρίτο μέρος καθορίζει ένα σύνολο αποδεκτών LANs που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου.



Σχήμα 26: Λειτουργία πρωτοκόλλου BACnet

### 3.2.2 European Installation Bus - EIB

Ο ευρωπαϊκός οργανισμός European Installation Bus(EIB)<sup>34</sup> ιδρύθηκε το 1990 από 15 εταιρείες. Σήμερα ο οργανισμός αποτελείται από περισσότερες από 100 εταιρίες, οι οποίες ενώθηκαν με σκοπό τη δημιουργία ενός κοινού προτύπου διαύλου επικοινωνίας. Ο στόχος τους για ένα κοινό σύστημα διαχείρισης κτηρίων σε όλη την Ευρώπη, επιτυγχάνεται από τα παρακάτω:

- Καθορίζοντας τεχνικές οδηγίες για συστήματα και προϊόντα.
- Καθορίζοντας κανόνες για την ποιότητα των συσκευών.
- Καθορίζοντας τις διαδικασίες δοκιμής.
- Διαδίδοντας την τεχνογνωσία στα μέλη, σε θυγατρικές εταιρείες και σε άτομα που έχουν προμηθευτεί με άδειες.
- Δεσμεύοντας τα ιδρυτικά δοκιμών να εκτελούν τις ποιοτικές επιθεωρήσεις.
- Χορηγώντας σε τρίτους που περνούν τις δοκιμές, την άδεια χρήσης του σήματος "EIB".
- Συμμετέχοντας ενεργά στην τυποποίηση.

#### 3.2.2.1 Διασύνδεση συσκευών

Η διασύνδεση των συσκευών στο EIB πραγματοποιείται κυρίως χρησιμοποιώντας συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές που συνδέονται πάνω στο δίκτυο ονομάζονται συνδρομητές διαύλου. Σε κάθε γραμμή διαύλου μπορούν να συνδεθούν μέχρι και 64 συνδρομητές διαύλου. Δυο περιοριστικά στοιχεία είναι ότι το συνολικό μήκος του διαύλου δεν μπορεί να ξεπερνά το 1Km και η απόσταση μεταξύ δυο συσκευών δεν μπορεί να ξεπερνά τα 700 m. Μέχρι 12 τέτοιες γραμμές μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας έναν συζευκτήρα γραμμής και δημιουργώντας μια περιοχή διαύλου. Μέχρι 15 τέτοιες περιοχές μπορούν είναι δυνατόν να συνδεθούν μεταξύ τους, μέσω ενός συζευκτήρα περιοχής.

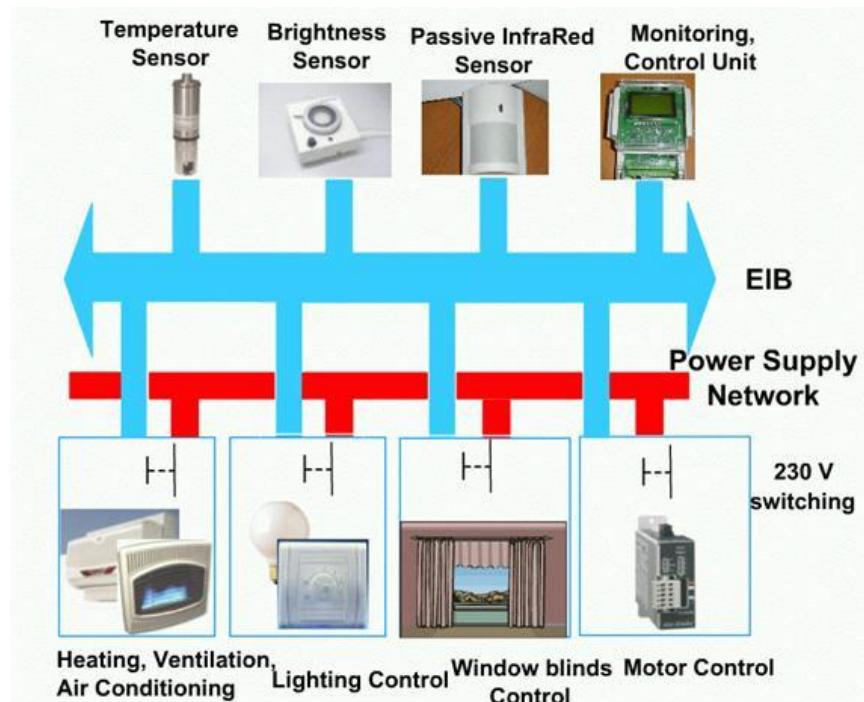
#### 3.2.2.2 Τοπολογία

Η τοπολογία του διαύλου σε ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί αυτό το πρωτόκολλο ποικίλει, ανάλογα το σύστημα. Μπορεί να ακολουθήσει τη συνδεσμολογία δέντρου(tree), αστέρα(star), δακτυλίου(ring) ή διαύλου(bus). Το δίκτυο μπορεί να σχεδιαστεί είτε με *κεντρικό έλεγχο* όπου υπάρχει ένας κύριος(master) - συνδρομητής(slave), ο οποίος ελέγχει την όλη εγκατάσταση, είτε ως *ομότιμο δίκτυο*, όπου ο έλεγχος της εγκατάστασης είναι μοιρασμένος στους συνδρομητές που την αποτελούν.

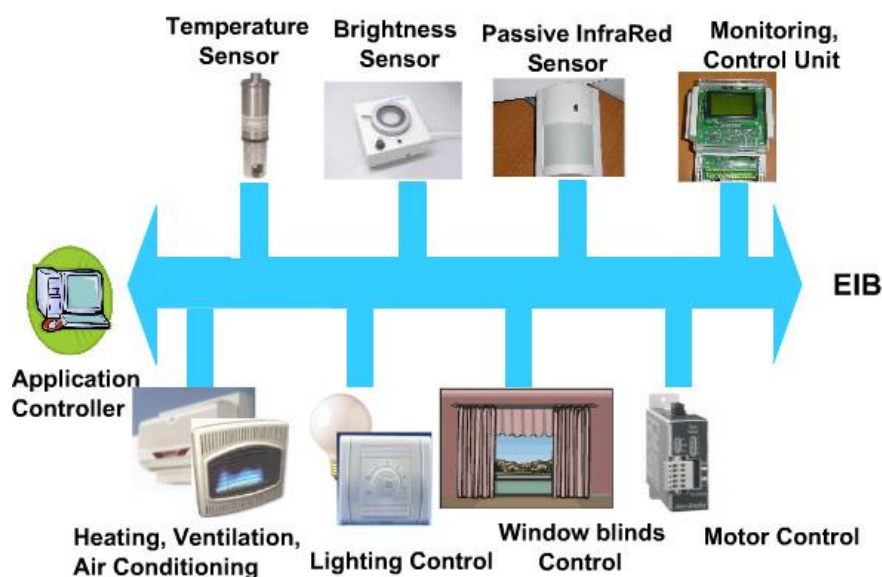
#### 3.2.2.3 Μετάδοση πληροφορίας

Οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε ένα δίκτυο το οποίο υποστηρίζει το πρωτόκολλο EIB, επικοινωνούν μεταξύ τους με ταχύτητα από 1200bps, όταν χρησιμοποιείται γραμμή ισχύος 220V για τη διασύνδεση των συσκευών, έως 19200bps, όταν χρησιμοποιείται ασύρματη ραδιοσύζευξη για τη διασύνδεση των συσκευών.

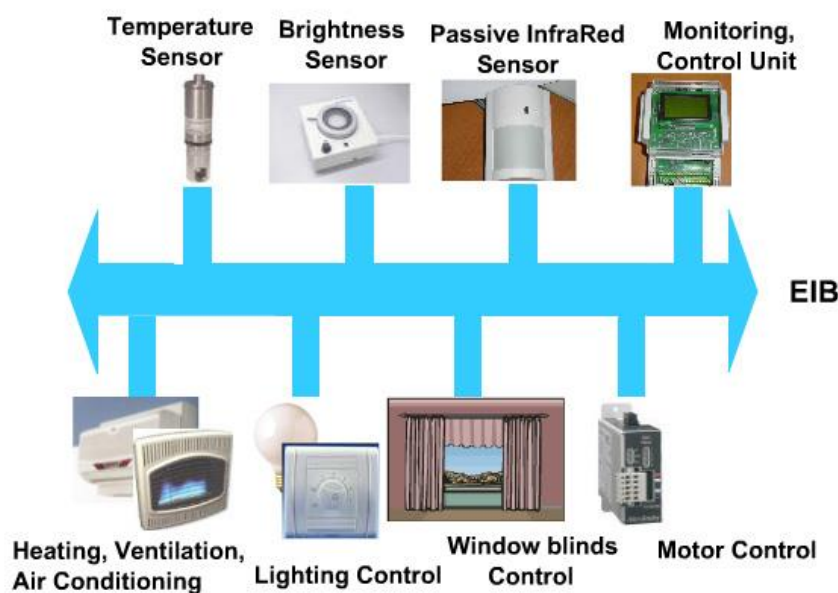
Οι πληροφορίες που μεταδίδονται στο δίαυλο περιγράφονται ως τηλεγράφημα. Κάθε τηλεγράφημα χωρίζεται σε τέσσερα πεδία: το πεδίο ελέγχου, το πεδίο διεύθυνσης, το πεδίο δεδομένων και το πεδίο επαλήθευσης. Το πρώτο και τελευταίο πεδίο εξασφαλίζουν τη χωρίς λάθη επικοινωνία, ενώ το πεδίο της διεύθυνσης παρέχει πληροφορίες σχετικά με το ποιος δίαυλος και ποια συσκευή πρέπει να δεχτεί το τηλεγράφημα που αποστέλλεται. Επίσης, σύμφωνα με το πρότυπο, επιβάλλεται κάθε χρονική στιγμή ο δίαυλος να χρησιμοποιείται για εκπομπή πληροφορίας μόνο από ένα συνδρομητή. Γι' αυτό το λόγο, έχει αναπτυχθεί ένας μηχανισμός διαιτησίας που αποτρέπει τη ταυτόχρονη χρήση του διαύλου από 2 ή περισσότερους συνδρομητές την ίδια χρονική στιγμή.



Σχήμα 27: Πρωτόκολλο EIB που συνδέει στοιχεία αυτοματισμού ενός σπιτιού



Σχήμα 28: Δίκτυο EIB με κεντρικό έλεγχο



Σχήμα 29: Ομότιμο δίκτυο EIB

### 3.2.3 LonWorks

Το πρότυπο LonWorks(local operation network)<sup>35</sup> σχεδιάστηκε από την εταιρεία Echelon, για την ανάπτυξη δικτύων που σχετίζονται με αισθητήρες, λειτουργίες ελέγχου συστημάτων και αυτοματισμούς κτηρίων όπως φωτισμό, θέρμανση, εξαερισμό, ψύξη του χώρου κ.α. Επιτρέπει σε διαφορετικά συστήματα να επικοινωνήσουν, ανταλλάσσοντας πληροφορίες με βάση ένα τυποποιημένο τρόπο, ώστε να προκύψει ένα πιο απλό και αποδοτικό σύστημα.

#### 3.2.3.1 LonTalk

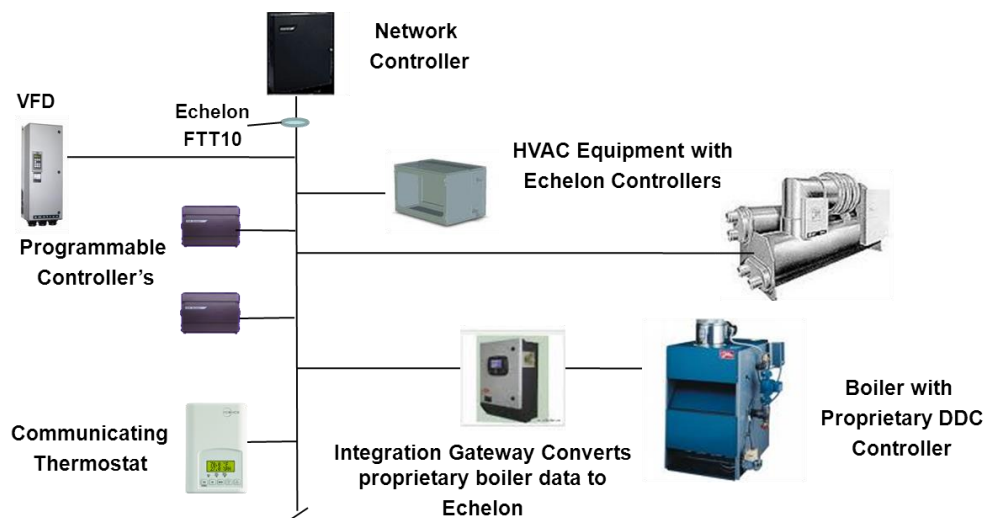
Το πρωτόκολλο στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία ενός δικτύου LonWorks ονομάζεται LonTalk. Ακολουθεί το πρότυπο OSI 7-επιπέδων και αυτό το κάνει πιο ευέλικτο και ευκολότερα επεκτάσιμο. Είναι βασισμένο στο CSMA πρωτόκολλο ή διαφορετικά, όπως είναι ευρύτερα γνωστό, στο Ethernet. Το LonTalk αξιοποιεί πληροφορίες που βρίσκονται στην επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου και στο μήνυμα, για να προβλέψει την κίνηση των μηνυμάτων και δυναμικά αυξάνει ή μειώνει το αριθμό των τυχαίων σχισμών(slots). Έτσι όταν η κίνηση αυξάνεται, αυξάνεται και ο αριθμός των σχισμών και αντίστοιχα όταν η κίνηση μειώνεται, μειώνεται και ο αριθμός των σχισμών. Το αποτέλεσμα είναι ότι όταν αυξάνεται η κίνηση στο δίκτυο, η πιθανότητα δυο ή περισσότερες συσκευές να χρησιμοποιήσουν την ίδια τυχαία σχισμή, δηλαδή να επικοινωνήσουν ταυτόχρονα, παραμένει μικρή. Επίσης, το LonTalk υποστηρίζει από άκρη σε άκρη(peer -to- peer) επιβεβαιώσεις και αυτόματες επαναμεταδόσεις, δηλαδή όταν κάποιος κόμβος του δικτύου στέλνει κάποιο μήνυμα, περιμένει επιβεβαίωση από όλους τους υποτιθέμενους παραλήπτες, διαφορετικά επαναμεταδίδει το μήνυμα.

#### 3.2.3.2 Neurons

Ένα δίκτυο LonWorks αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων χρησιμοποιώντας ένα κοινό πρωτόκολλο, το LonTalk όπως αναφέραμε και προηγουμένως. Οι κόμβοι αυτοί, είναι απλές

συσκευές μέτρησης και ελέγχου, όπως αισθητήρες, διακόπτες κλπ. Η καρδιά του κάθε κόμβου είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που λέγεται Neuron, το οποίο εμπεριέχει το πρωτόκολλο LonTalk, αποτελείται από τρεις επεξεργαστές των 8-bit, ενσωματωμένη μνήμη, υποδοχές I/O και κατάλληλο λογισμικό. Το ολοκληρωμένο εκτελεί αρκετά καθήκοντα, όπως του επεξεργαστή, του ελεγκτή, της απλής μνήμης και της EEPROM μνήμης που περιέχει ρυθμίσεις δικτύου και πληροφορίες διευθυνσιοδότησης, κατέχει δε, έναν μοναδικό και μόνιμα προγραμματισμένο σειριακό αριθμό 48-bit και τον κώδικα της εφαρμογής γραμμένο με επιλογή του χρήστη. Τέλος, για τη διεπαφή μεταξύ του ολοκληρωμένου Neuron και του διαύλου LonWorks απαιτείται ένας ή περισσότεροι πομποδέκτες(transceivers).

### Echelon (LonWorks or LON) Architecture



Σχήμα 30: Αρχιτεκτονική LonWorks προτύπου

## 3.2.4 CAN

Το πρωτόκολλο CAN(Controller Area Network)<sup>36</sup> δημιουργήθηκε, από τον Robert Bosch το 1988 για εφαρμογές αυτοκινήτων, σαν μια μέθοδος σειριακής επικοινωνίας. Στόχος ήταν οι μικροελεγκτές και οι συσκευές σε ένα αυτοκίνητο, να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη χρήση κάποιου κεντρικού υπολογιστή, καθώς επίσης τα αυτοκίνητα να γίνουν πιο αξιόπιστα, πιο ασφαλή και πιο οικονομικά από άποψη κατανάλωσης καυσίμου, αξιοποιώντας τη μείωση της καλωδίωσης, του βάρους και της πολυπλοκότητας. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε πως είναι χρήσιμο και για βιομηχανικά συστήματα ελέγχου μηχανών. Η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων φθάνει το 1 Mbit/s, αν το μήκος του διαύλου είναι μέχρι 40 μέτρα. Αν αυξήσουμε το μήκος του διαύλου, πέρα από τα 40 μέτρα, μειώνεται η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων(π.χ. 125 kbps στα 500 μέτρα).

### 3.2.4.1 Διασύνδεση κόμβων

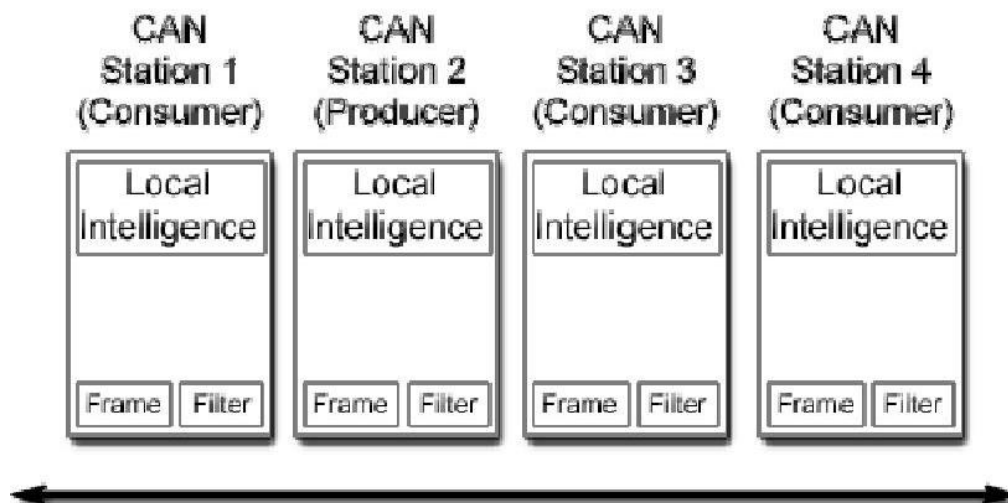
Η πρόσβαση των κόμβων στο δίαυλο ελέγχεται σύμφωνα με το πρωτόκολλο CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection ή Πολλαπλή Προσπέλαση με Ανίχνευση Φέροντος Σήματος και Ανίχνευση Σύγκρουσης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κόμβος πρέπει να παρακολουθεί το δίαυλο για ένα διάστημα στο οποίο δεν συμβαίνει καμία



δραστηριότητα, προτού στείλει κάποιο μήνυμα. Επίσης όταν εμφανιστεί αυτή η περίοδος, όπου δεν υπάρχει καμία δραστηριότητα, κάθε κόμβος έχει την ίδια πιθανότητα να εκπέμψει κάποιο μήνυμα. Όσον αφορά την ανίχνευση σύγκρουσης, αν δυο ή περισσότεροι κόμβοι αρχίσουν να μεταδίδουν την ίδια χρονική στιγμή, θα ανιχνεύσουν τη σύγκρουση και θα κάνουν τις κατάλληλες κινήσεις. Η μη καταστρεπτική μέθοδος διαιτησίας που χρησιμοποιείται για τα μηνύματα, ακόμη και μετά από σύγκρουση διατηρεί τα μηνύματα άθικτα και δεν δημιουργεί καθυστέρηση στα μηνύματα υψηλότερης προτεραιότητας. Ένα επιπλέον όφελος του πρωτοκόλλου, όσον αφορά τη διασύνδεση των κόμβων, είναι ότι μπορούμε να προσθέσουμε κάποιον κόμβο, χωρίς να χρειάζεται να επαναπρογραμματίσουμε όλους τους υπόλοιπους, ώστε να μπορούν να τον αναγνωρίζουν.

### 3.2.4.2 Μετάδοση πληροφορίας

Το πρωτόκολλο CAN είναι βασισμένο στο μήνυμα που μεταδίδεται και όχι στη διεύθυνση. Ενσωματωμένο στο ίδιο το μήνυμα, βρίσκεται η προτεραιότητα, ένας αναγνωριστικός κωδικός και τα περιεχόμενα των δεδομένων που μεταδίδονται. Όλοι οι κόμβοι του συστήματος, λαμβάνουν κάθε μήνυμα που στέλνεται στον δίαυλο. Ο κάθε κόμβος μπορεί να προγραμματιστεί έτσι ώστε να αποδέχεται μηνύματα που περιλαμβάνουν έναν συγκεκριμένο αναγνωριστικό κωδικό, και αυτά να τα κρατάει για περαιτέρω επεξεργασία, ενώ τα υπόλοιπα να τα απορρίπτει. Επίσης άλλο ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου, το οποίο είναι και αυτό ενσωματωμένο, είναι η ικανότητα ενός κόμβου να ζητάει πληροφορίες από κάποιον άλλο κόμβο. Ονομάζεται RTR(Remote Transmit Request) και είναι διαφορετικό από το προηγούμενο χαρακτηριστικό, αφού αντί ένας κόμβος να περιμένει να σταλθεί η πληροφορία από κάποιον κόμβο, ζητάει ο ίδιος να του αποσταλούν τα δεδομένα. Τέλος η μετάδοση των δεδομένων γίνεται σειριακά και το κάθε μήνυμα έχει μεταβλητό μήκος 0-8 bytes. Τα δεδομένα που μεταδίδονται περιέχουν bits ελέγχου του τύπου Κυκλικού Κώδικα Πλεονασμού(CRC - Cyclic Redundancy Code).



Σχήμα 31: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου CAN

### 3.2.5 ARCNET

Το ARCNET(Attached Resource Computer NETwork)<sup>37</sup> τοποθετείται στην κατηγορία των τοπικών δικτύων επικοινωνίας(LAN), όπως το Ethernet. Αρχικά, ήταν το πρώτο διαθέσιμο πρωτόκολλο για μικροεπεξεργαστές και έγινε ιδιαίτερα γνωστό το 1980 για αυτοματισμούς γραφείων. Από τότε η χρήση του για αυτό το σκοπό έχει μειωθεί, παρόλα αυτά χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην βιομηχανία εξαιτίας της ιδιαίτερης απόδοσής του, σε ότι αφορά τον έλεγχο. Είναι γρήγορο πρωτόκολλο, παρέχει σταθερή απόδοση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, καθιστώντας το κατάλληλο για τεχνολογία διαύλου πεδίου(fieldbus). Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι 2.5Mbps, έχει μεταβαλλόμενο μήκος πακέτου από 0-507 bytes και υποστηρίζει μέχρι 255 κόμβους.

#### 3.2.5.1 Πλεονεκτήματα πρωτοκόλλου

- Ευρεία αποδοχή
- Χαμηλό κόστος ανά κόμβο
- Υποστήριξη πολλών master στο ίδιο δίκτυο
- Υποστήριξη πολλαπλών μέσων με χρήση καλωδίων

Είναι από τα πιο ευέλικτα ενσύρματα δίκτυα. Χρησιμοποιεί τοπολογία διαύλου, αστέρα και κατακεκομμένου αστέρα. Πιο συγκεκριμένα στην τοπολογία διαύλου, όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο καλώδιο. Η ίδια τοπολογία χρειάζεται μια συσκευή που ονομάζεται “hub”(κομβικό σημείο παθητικό ή ενεργητικό) που χρησιμοποιείται για να συγκεντρώνονται καλώδια από τον κάθε κόμβο. Στον κατακεκομμένο αστέρα οι κόμβοι συνδέονται σε ένα ενεργητικό “hub”, με όλα τα hub να ενώνονται διαδοχικά μεταξύ τους. Η συνδεσμολογία αυτή προσφέρει μεγάλη ευελιξία και επιτρέπει στο δίκτυο να επεκταθεί μέχρι και 6.4Km λειτουργώντας στα 2.5Mbps, χωρίς τη χρήση εκτεταμένων χρονικών ορίων. Επίσης, υποστηρίζεται ένα μεγάλο εύρος μέσου καλωδίων, συμπεριλαμβανομένου του ομοαξονικού, συνεστραμμένου ζεύγους και οπτικής ίνας.

- Καθορισμένη απόδοση

Το κλειδί της απόδοσης του ARCNET είναι στο token-passing δίκτυο. Σε ένα τέτοιο δίκτυο, ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει ένα μήνυμα, μόνο όταν λάβει το “token”. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας του μέσου προτιμάται, ώστε να περιορίζονται οι συγκρούσεις σε ένα απασχολημένο δίκτυο, αφού όλοι οι κόμβοι έχουν ισάξια πρόσβαση σε αυτό. Επίσης η χειρότερη περίπτωση από άποψη χρόνου για τη λήψη του “token” μπορεί να υπολογιστεί εκ των προτέρων, παράγοντας αρκετά σημαντικός για συστήματα πραγματικού χρόνου. Έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει μέχρι 10Mbps, ταχύτητα υπεραρκετή ακόμα και για μελλοντικά ενσωματωμένα συστήματα.

- Απλό στην εγκατάσταση

Το πρωτόκολλο αυτό έχει υλοποιηθεί σε hardware και δεν απαιτείται λογισμικό για εγκατάσταση, εκτός αν στο ενσωματωμένο σύστημα υπάρχει κάποιο λειτουργικό σύστημα. Ήδη ενσωματώνει διάφορες λειτουργίες επικοινωνίας και δικτύου, χωρίς επιπλέον λογισμικό. Επίσης το ARCNET αναγνωρίζει τους κόμβους που προστίθενται ή αφαιρούνται από το δίκτυο και με αυτόματο τρόπο το ρυθμίζει αναλόγως.

### 3.2.5.2 Χρησιμότητα

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιείται κυρίως σε:

- συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και ψύξης (HVAC)
- συστήματα παραγωγή ενέργειας
- αυτοματισμούς γραφείων
- αυτοματισμούς πλοίων
- συστήματα κατασκευής πληροφοριακών συστημάτων
- συστήματα απόκτησης δεδομένων και ελέγχου
- συστήματα ασφαλείας
- μηχανές παιχνιδιών
- τηλεπικοινωνίες

Γενικά χρησιμοποιείται σε κάθε εφαρμογή όπου η απόδοση σε πραγματικό χρόνο, η ασφάλεια και ο εύρωστος σχεδιασμός είναι σημαντικά.

### 3.2.6 BitBus

Το πρωτόκολλο BitBus<sup>38</sup> είναι ένα ανοιχτό και μη ιδιόκτητο σύστημα διαύλου πεδίου(fieldbus). Αρχικά, δημιουργήθηκε από την Intel το 1984 και το 1991 υιοθετήθηκε παγκοσμίως με την ονομασία IEEE 1118. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν δυο πολύ γνωστά πρότυπα ως βάση. Το RS485 χρησιμοποιήθηκε για τη φυσική επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και από τη πλευρά του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το SDLC(Synchronous Data Link Control).

#### 3.2.6.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου

- Μπορεί να καλύψει μεγάλες περιοχές, για παράδειγμα 1.2Km με ρυθμό μετάδοσης 62.5kBits/s, 300m με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που φθάνει τα 375kBit/s κτλ.
- Μπορεί να αυξήσει κατά πολύ το μήκος του δικτύου χρησιμοποιώντας επαναλήπτες.
- Χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο βασισμένο στην ανταλλαγή μηνυμάτων με αυτόματη ανίχνευση λάθους, που ονομάζεται SDLC. Τυποποιημένοι σειριακοί ελεγκτές όπως ο 85C30 είναι υπεύθυνοι για τον χειρισμό του SDLC στο υλικό(hardware), ενώ πρωτόκολλα που βασίζονται σε χαρακτήρες(ασύγχρονη μετάδοση) έχουν κατά πολύ, μικρότερο ρυθμό ανίχνευσης λάθους.
- Χρησιμοποιεί ζεύγος συνεστραμμένου καλωδίου ως μέσω μετάδοσης. Το δε, RS485 είναι αναγνωρισμένο για την ανοσία του στον θόρυβο. Επίσης χρησιμοποιεί κωδικοποίηση NRZI, όπου το ρολόι μεταδίδεται μαζί με τα δεδομένα και όπου δεν είναι αναγκαίο να υπάρχει πολικότητα σε ένα BitBus ζευγάρι καλωδίου. Ένας ελαττωματικός κόμβος ή ένας κόμβος χωρίς ενέργεια, δεν εμποδίζει τον διάυλο.



- Ο μέγιστος αριθμός κόμβων σε ένα δίκτυο BitBus είναι 250. Σε κάθε τμήμα του δικτύου υποστηρίζονται μέχρι 28 κόμβοι και έπειτα πρέπει να ακολουθήσει υποχρεωτικά επαναλήπτης.

### **3.2.6.2 Εφαρμογές πρωτοκόλλου**

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιείται κυρίως σε:

- συστήματα καταγραφής, για τη συλλογή δεδομένων σε έναν κόμβο, την αποθήκευσή τους και την προβολή τους τοπικά. Επίσης για να μπορούν τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα από τον διαχειριστή.
- συστήματα ελέγχου κίνησης
- αυτοματισμούς κτηρίων, όπως έλεγχος κλιματισμού, φωτισμού κτλ.
- συστήματα ελέγχου δεδομένων, όπως αλλαγή κατάστασης μηχανών, χρόνοι λειτουργίας, αριθμός παραγόμενων εξαρτημάτων κτλ.
- καταγραφικά συστήματα για ποιοτικό έλεγχο, όπως αναφορά δεδομένων ενός προϊόντος(βάρος, διαστάσεις κτλ.)
- συστήματα PLC
- συστήματα ασφαλείας, από απλούς συναγερμούς, μέχρι συστήματα ασφαλείας για φυλακές

## **3.2.7 PROFIBUS**

Το πρωτόκολλο PROFIBUS(Process Field Bus)<sup>39</sup> είναι ένα πρότυπο για την επικοινωνία συστημάτων διαύλου πεδίου, σε εφαρμογές αυτοματισμού. Το 1986 στη Γερμανία, 21 εταιρείες και ινστιτούτα συνεργάστηκαν με σκοπό να υλοποιήσουν και να διαδώσουν τη χρήση του σειριακού διαύλου πεδίου, το οποίο θα ήταν βασισμένο στις απαιτήσεις των διεπαφών των συσκευών πεδίου. Η προώθησή του ξεκίνησε το 1989 από το Γερμανικό οργανισμό BMBF και έπειτα χρησιμοποιήθηκε από τη Siemens. Σήμερα παγκοσμίως φθάνει να χρησιμοποιείται σε 43.8 εκατομμύρια συσκευές, εκ των οποίων πάνω από 7.5 εκατομμύρια είναι στη βιομηχανία.

### **3.2.7.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου**

- Μέσω ενός διαύλου, το PROFIBUS συνδέει συστήματα ελέγχου με αποκεντρωμένες συσκευές πεδίου (αισθητήρες, ενεργοποιητές κ.α.) και επίσης επιτρέπει τη συνεχή ανταλλαγή δεδομένων με συστήματα επικοινωνίας που βρίσκονται υψηλότερα στη διαβάθμιση.
- Είναι βελτιστοποιημένο για κατανεμημένες εφαρμογές εισόδου-εξόδου. Μέχρι 126 τέτοιες συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο. Από τη στιγμή που κάθε τέτοια συσκευή μπορεί να ελέγχει εκατοντάδες συνδέσεις σημείων, το PROFIBUS παρέχει ένα πολύ μεγάλο αριθμό πιθανών συνδέσεων για κάθε ελεγκτή.

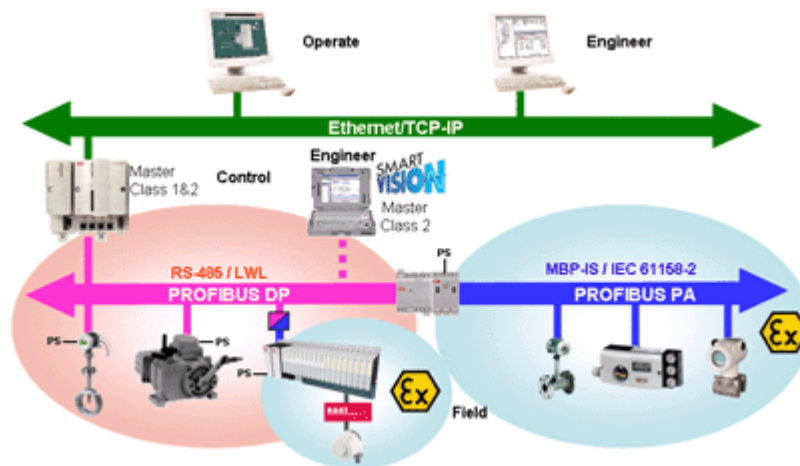
- Χωρίζεται σε δυο μοντέλα το PROFIBUS DP(Decentralized Periphery) και το PROFIBUS PA(Process Automation). Το μεν πρώτο χρησιμοποιείται κυρίως για συσκευές εισόδου/εξόδου υψηλών ταχυτήτων. Μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικά φυσικά στρώματα όπως RS485, ασύρματη επικοινωνία ή οπτική ίνα. Το δε, δεύτερο αναφέρεται σε λειτουργίες όπως: δίαυλο που χρησιμοποιεί το φυσικό στρώμα MBP(Manchester encoded Bus Powered) σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61158-2, ρύθμιση κάποια συσκευής μέσω διαύλου, ασφαλή σχεδιασμό
- Επίσης η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών είναι τύπου master/slave. Οι master συσκευές καλούνται ενεργοί σταθμοί και χαρακτηριστικές τέτοιες συσκευές είναι τα PLC (Programmable Logic Controller), CNC (Compare Numerical Controller) και ελεγκτές κυττάρων. Οι slave συσκευές καλούνται παθητικοί σταθμοί στο πρωτόκολλο PROFIBUS και χαρακτηριστικές συσκευές είναι οι αισθητήρες, ενεργοποιητές και συσκευές αποστολής μηνυμάτων.

### 3.2.7.2 Πλεονεκτήματα πρωτοκόλλου

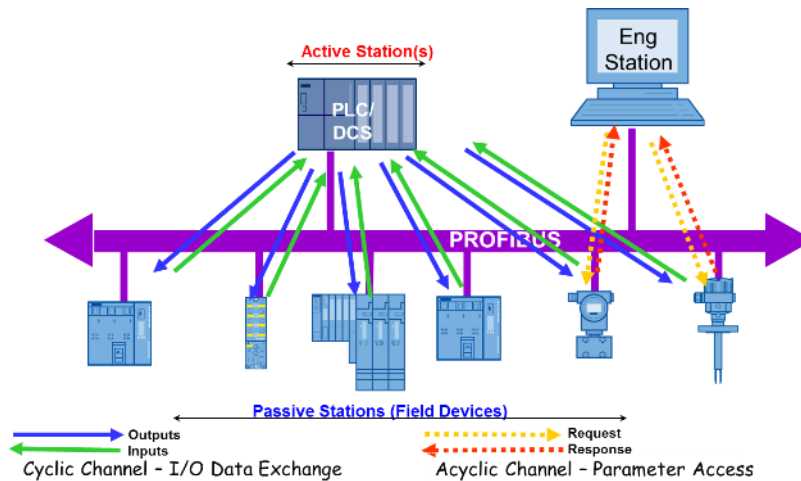
Τα οφέλη του PROFIBUS ποικίλουν ανάλογα το μέσο. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι διευθυντές των εργοστασίων που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο στις εγκαταστάσεις τους επωφελούνται λόγω του ότι:
  - ο έχουν χαμηλότερο κόστος
  - ο πιο γρήγορη και ευέλικτη παραγωγή προϊόντων
  - ο καλύτερη ποιότητα προϊόντων
  - ο ασφαλέστερα εργοστάσια
- Οι τεχνικοί ενός εργοστασίου επωφελούνται γιατί:
  - ο έχουν λιγότερη καλωδίωση και λιγότερη χρήση υλικού
  - ο η εκάστοτε εργασία γίνεται σε λιγότερο χρόνο
  - ο έχουν μεγάλο φάσμα για επιλογή του κατάλληλου προμηθευτή
  - ο τα έγγραφα που συνοδεύουν τις συσκευές(εγχειρίδια χρήσης κτλ.) που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο είναι αρκετά πιο απλά σε σχέση με αυτά άλλων πρωτοκόλλων
- Το ίδιο το εργοστάσιο που είναι εξοπλισμένο με το PROFIBUS βρίσκεται σε πλεονεκτικότερη θέση έναντι άλλων, λόγω του ότι:
  - ο διαθέτει εξελιγμένη τεχνολογία
  - ο οι αναβαθμίσεις μπορούν να γίνουν πιο εύκολα και κοστίζουν αρκετά λιγότερα χρήματα
  - ο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
  - ο ευκολότερη μετακόμιση ολόκληρου του εργοστασίου, σε περίπτωση που χρειαστεί να αλλάξει τοποθεσία

- Τέλος, επωφελείται γενικότερο όλο το προσωπικό γιατί:
  - ο υπάρχει ευέλικτη παραγωγή
  - ο λιγότερες ώρες μη λειτουργίας του εργοστασίου
  - ο καλύτερες συνθήκες συντήρησης
  - ο η διαδρομή από το PROFIBUS μέχρι τον αισθητήρα είναι διαφανής, οπότε είναι ξεκάθαρο πιο σύστημα πρέπει να αντικατασταθεί σε περίπτωση βλάβης



Σχήμα 32: Σύνδεση master (H/Y) μέσω Ethernet και PROFIBUS με slaves(ενεργοποιητές, αισθητήρες)



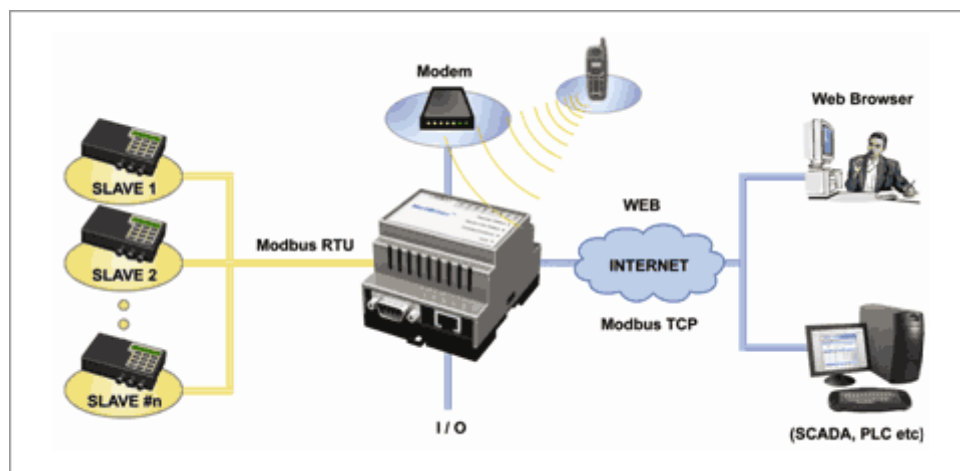
Σχήμα 33: Αρχιτεκτονική PROFIBUS όπου φαίνονται οι ενεργητικοί και παθητικοί σταθμοί

### 3.2.8 Modbus

Το πρωτόκολλο Modbus είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που εκδόθηκε από την εταιρεία Modicon(σημερινή Schneider Electric) το 1979, βασισμένο στην αρχιτεκτονική master/slave, για να χρησιμοποιηθεί σε προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές(PLC-programmable logic controllers). Λόγω της απλότητας και της αξιοπιστίας που το διακρίνει, έχει γίνει ένα πρότυπο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά για να συνδέσει βιομηχανικές ηλεκτρονικές συσκευές. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων γίνεται μέσω μηνυμάτων, όπου υπάρχει ανοιχτό πρότυπο που περιγράφει τη δομή τους. Αρχικά, η διεπαφή του πρωτοκόλλου έτρεχε σε καλώδιο RS-232, αλλά αργότερα χρησιμοποιήθηκε RS-485 γιατί επιτρέπει την επικοινωνία σε μεγαλύτερες αποστάσεις και μπορεί να υποστηρίξει υψηλότερες ταχύτητες.

Επίσης, το Modbus είναι ένα ευέλικτο πρότυπο που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πολλών συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο, για παράδειγμα ένας μετεωρολογικός σταθμός που μετράει θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα, υγρασία κτλ. και δίνει τα αποτελέσματα σε έναν Η/Υ.

Ανάλογα με το ποιο πρωτόκολλο Modbus χρησιμοποιείται, η επικοινωνία μπορεί να είναι είτε απλή είτε από άκρη σε άκρη(peer to peer). Οι διαφορές μεταξύ των εκδόσεων του πρωτοκόλλου είναι στην κωδικοποίηση των μηνυμάτων, στο μήκος του καλωδίου που τρέχει πάνω το εκάστοτε πρωτόκολλο, στον αριθμό των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν στο ίδιο δίκτυο κ.α. Έτσι οι εκδόσεις του προτύπου, οι οποίες αναλύονται και παρακάτω, είναι Modbus Plus, Modbus TCP, Modbus ASCII και Modbus RTU.

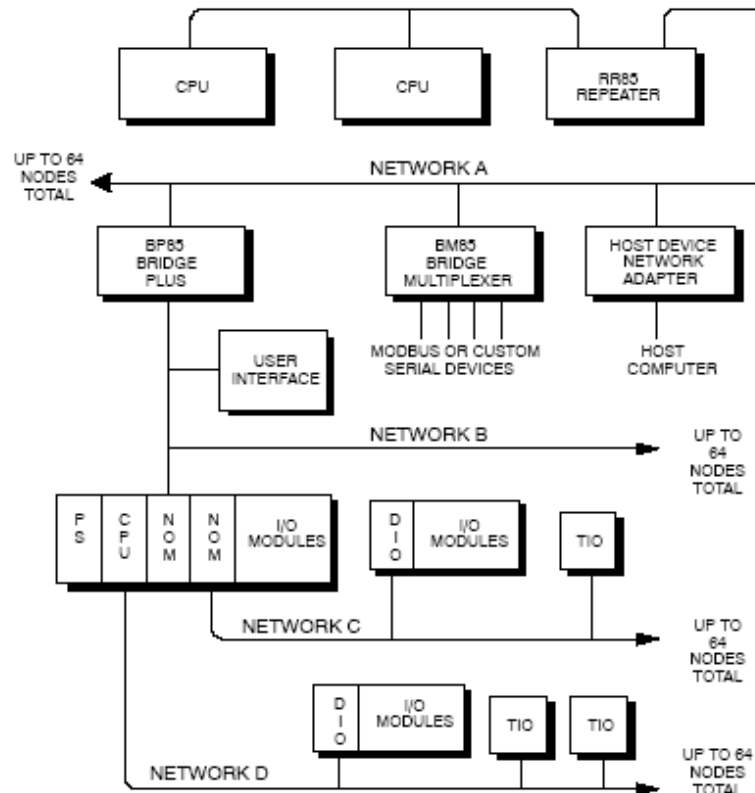


Σχήμα 34: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου Modbus

#### 3.2.8.1 Modbus Plus

Το Modbus Plus αναπτύχθηκε από την εταιρεία Schneider & Modicon και σήμερα διαχειρίζεται από τον οργανισμό Modbus-IDA. Δεν είναι ένα ανοιχτό πρότυπο, όπως έχει γίνει το κλασσικό Modbus πρωτόκολλο. Αναπτύχθηκε με σκοπό να ξεπεραστεί το εμπόδιο του ενός master στο ίδιο δίκτυο και ήταν ένα από τα πρώτα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν "Token", το οποίο πρωτοστάτησε για την ανάπτυξη άλλων περισσότερο εξελιγμένων και ντετερμινιστικών πρωτοκόλλων του σήμερα.

Τοποθετείται και αυτό στην κατηγορία των τοπικών δικτύων επικοινωνίας(LAN), με κύρια χρήση στον έλεγχο βιομηχανικών εφαρμογών. Οι συσκευές που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο, μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα για τον έλεγχο, την παρακολούθηση και καταγραφή των διεργασιών σε διάφορους απομονωμένους σταθμούς στο βιομηχανικό πεδίο.



Σχήμα 35: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου Modbus Plus<sup>40</sup>

### 3.2.8.1.1 Επικοινωνία και συσκευές

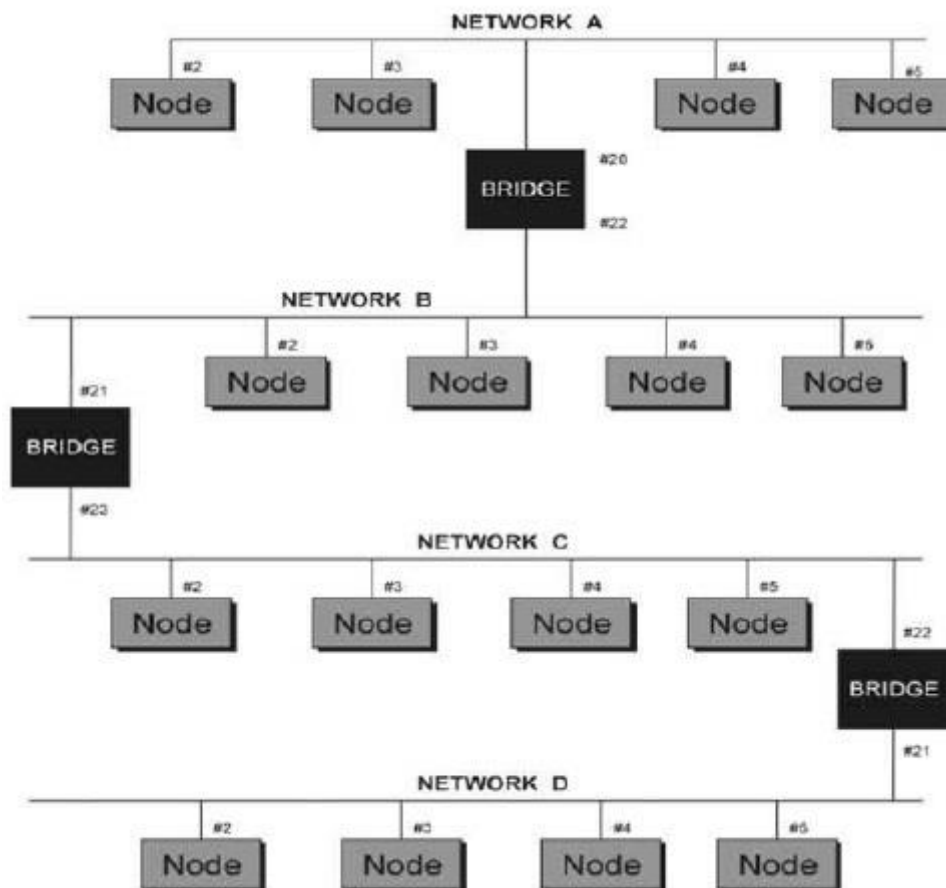
Κάθε συσκευή που βρίσκεται στο ίδιο τμήμα δικτύου πρέπει να διαθέτει μια μοναδική διεύθυνση από 1-64. Μέχρι 32 κόμβοι μπορούν να συνδεθούν απευθείας σε καλώδιο δικτύου μήκους περίπου 450m. Χρησιμοποιώντας επαναλήπτες μπορούμε να επεκτείνουμε το καλώδιο σε απόσταση 1.8Km, φθάνοντας ταυτόχρονα τον αριθμό των κόμβων στο μέγιστο δυνατό, δηλαδή 64. Γεφυρώνοντας πολλαπλά τέτοια τμήματα δικτύου, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα μεγάλο ενιαίο σύστημα. Οι πληροφορίες μέσα στο δίκτυο μεταδίδονται μέσω μηνυμάτων, τα οποία περνούν από τη μια συσκευή στην άλλη χρησιμοποιώντας κατάλληλη διαδρομή που αποτυπώνεται μέσα στο μήνυμα. Η διαδρομή περιλαμβάνει τη διεύθυνση του κόμβου προορισμού και του οποιοδήποτε άλλου εσωτερικού κόμβου απαιτείται, προκειμένου να φθάσει το μήνυμα στον προορισμό.

Οι συσκευές ή αλλιώς οι κόμβοι ενός δικτύου λειτουργούν σαν ομότιμα μέλη ενός λογικού δακτυλίου, αποκτώντας πρόσβαση στο δίκτυο μόλις λάβουν το “Token”. Το “Token” είναι ομαδοποιημένα bits που περνάνε, μέσω μιας περιστρεφόμενης ακολουθίας διευθύνσεων, από τον ένα κόμβο στον άλλο. Όσο κρατάει το “Token” ο κόμβος μπορεί να ανταλλάσσει μηνύματα με άλλους κόμβους, αν έχει κάτι να στείλει. Όταν ένας κόμβος λάβει κάποιο

μήνυμα, στέλνει αμέσως μια επιβεβαίωση στον κόμβο απ' όπου προήλθε το μήνυμα. Κάθε μήνυμα περιλαμβάνει πληροφορίες για το από πού προήλθε, για τον προορισμό και για τη διαδρομή δρομολόγησης.

Όσον αφορά τη σειρά που ακολουθεί το “Token”, καθορίζεται από τις διευθύνσεις των κόμβων. Η περιστροφή του στο δίκτυο αρχίζει από τον ενεργό κόμβο με τη μικρότερη διεύθυνση, μέχρι να φθάσει τον ενεργό κόμβο με τη μεγαλύτερη διεύθυνση. Έπειτα αυτός, περνάει πάλι το “Token” στον κόμβο με τη μικρότερη διεύθυνση, ώστε να ξεκινήσει καινούργια περιστροφή.

Αν κάποιος κόμβος βγει εκτός δικτύου, θα δημιουργηθεί μια καινούργια ακολουθία από “Token”, για να τον παρακάμψει. Αν ένας καινούργιος κόμβος μπει στο δίκτυο, τότε η διεύθυνσή του θα συμπεριληφθεί στην υπάρχουσα ακολουθία διευθύνσεων του “Token”.



Σχήμα 36: Modbus Plus με γέφυρες

### 3.2.8.1.2 Επισκόπηση πρωτοκόλλου Modbus Plus

Τύπος δικτύου: Δίαυλος πεδίου τύπου Master/Slave ή Πελάτη/Εξυπηρετητή  
βασισμένο σε RS-485 με χρήση Token

Τοπολογία: Γραμμή με τμήματα, στα οποία συνδέονται μέχρι 32 σταθμοί

Εγκατάσταση: Μονωμένο συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων

Το μήκος του καλωδίου για κάθε τμήμα φθάνει τα 500m και είναι επεκτάσιμο με τη χρήση επαναληπτών(repeaters) φθάνοντας τα 2Km.

Ταχύτητα: 2Mbps/s

Μέγιστος αριθμός συνδεδεμένων κόμβων: 64

Λειτουργίες δικτύου: Απλό δίκτυο Master/Slave για έλεγχο εφαρμογών πραγματικού χρόνου.

### 3.2.8.2 Modbus TCP/IP

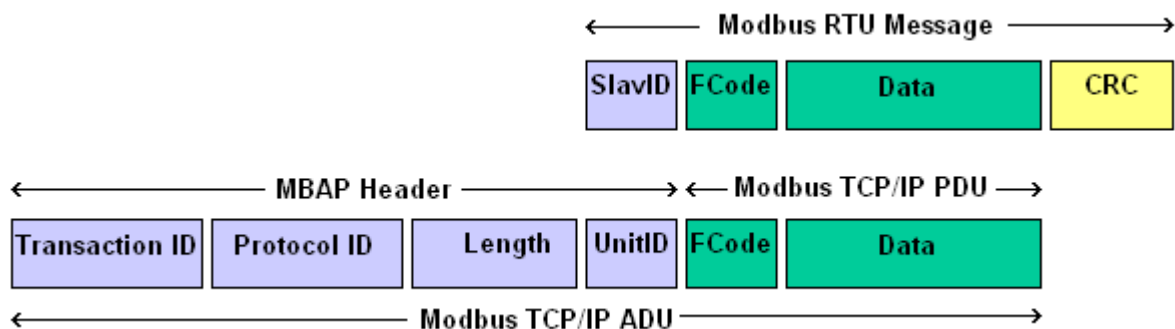
Το Modbus TCP/IP(Transmission Control Protocol and Internet Protocol) είναι το πρωτόκολλο Modbus RTU συνοδευόμενο από μια TCP διαπαφή, η οποία τρέχει πάνω σε Ethernet.

Όταν στέλνονται πληροφορίες, χρησιμοποιώντας αυτά τα δυο πρωτόκολλα, τα δεδομένα περνάνε στο TCP όπου προσαρτώνται επιπλέον πληροφορίες και έπειτα δίνονται στο IP. Εκεί, τα δεδομένα τοποθετούνται σε πακέτα ή τηλεγραφήματα και εκπέμπονται.

Η δομή του μηνύματος του Modbus είναι η εφαρμογή του πρωτοκόλλου που καθορίζει τους κανόνες για οργάνωση και ερμηνεία των δεδομένων, ανεξάρτητα από τα δεδομένα του μέσου μετάδοσης. Το TCP/IP αναφέρεται στο πρωτόκολλο ελέγχου μεταδόσεων και διαδικτύου, που παρέχει το μέσο μετάδοσης για το μήνυμα του Modbus TCP/IP. Επιτρέπει δηλαδή, την ανταλλαγή πακέτων δυαδικών δεδομένων μεταξύ υπολογιστών, χωρίς να καθορίζει τι σημαίνουν αυτά τα δεδομένα ή πώς ερμηνεύονται(στη συγκεκριμένη περίπτωση, αυτό αποτελεί δουλειά του Modbus). Η πρωταρχική λειτουργία του TCP είναι να διασφαλίσει ότι όλα τα πακέτα δεδομένων λαμβάνονται σωστά, και παράλληλα το IP διασφαλίζει ότι τα μηνύματα διευθυνσιοδοτούνται και δρομολογούνται κατάλληλα.

#### 3.2.8.2.1 Μετάδοση μηνυμάτων

Το Modbus TCP ενσωματώνει ένα παράθυρο δεδομένων του προτύπου RTU σε ένα παράθυρο TCP, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 37: Απεικόνιση μηνύματος Modbus RTU μέσα σε TCP/IP <sup>41</sup>

Οι Modbus εντολές και τα δεδομένα του χρήστη, ενσωματώνονται στο τηλεγράφημα του TCP/IP χωρίς να τροποποιούνται. Όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα, το πεδίο για τον έλεγχο σφαλμάτων(CRC), στο πρότυπο RTU, δε χρησιμοποιείται, καθώς στο πρότυπο Ethernet TCP/IP υπάρχουν άλλες μέθοδοι για τον έλεγχο σφαλμάτων που εγγυόνται την ακεραιότητα των δεδομένων. Επιπλέον, το πεδίο διευθύνσεων του παραθύρου Modbus(SlaveID) αντικαταστάθηκε από το αναγνωριστικό μονάδας(UnitID) και έγινε μέρος της επικεφαλίδας MBAP(Modbus Application Protocol header).

Η επικεφαλίδα MBAP αποτελείται από 7 bytes και τοποθετείται στην αρχή του μηνύματος. Περιλαμβάνει τα 4 πρώτα πεδία από τον παρακάτω πίνακα:

Όνομα	Μήκος(bytes)	Λειτουργία
Αναγνωριστικό συναλλαγής	2	Για τον συγχρονισμό μεταξύ μηνυμάτων πελάτη/εξυπηρετητή
Αναγνωριστικό πρωτοκόλλου	2	Μηδέν για το Modbus TCP/IP πρωτόκολλο
Μήκος πεδίου	2	Αριθμός bytes που απομένουν στο πλαίσιο
Αναγνωριστικό συσκευής	1	Διεύθυνση slave συσκευής
Συνάρτηση	1	Δείχνει τον κωδικό της συνάρτησης όπως διάβασμα εισόδου, καταχωρητών κτλ.
Δεδομένα	n	Δεδομένα είτε ως απάντηση σε μια ερώτηση, είτε ως εντολή

**Πίνακας 3: Μορφή μηνύματος Modbus TCP/IP πρωτοκόλλου<sup>42</sup>**

### 3.2.8.2.2 Επισκόπηση πρωτοκόλλου Modbus TCP/IP

Τύπος δικτύου: Ethernet-TCP/IP βασισμένο σε απλό δίκτυο Πελάτη/Εξυπηρετητή

Αρκετά ευέλικτο με συνδεσμολογίες γραμμής, αστέρα και δενδροειδής.

Τοπολογία: Υποστηρίζονται όλες οι τοπολογίες που μπορούν να υλοποιηθούν με το πρότυπο Ethernet, συμπεριλαμβανομένου και των δικτύων μεταγωγής.

Εγκατάσταση: Πρότυπο Ethernet 10, 100, 1000 Mb/s, βασισμένο σε καλώδια χαλκού, οπτικές ίνες ή ασύρματα πρότυπα.

Ταχύτητα: 10, 100 ή 1000 Mb/s

Δεδομένα: Μέχρι 1500 Byte ανά πλαίσιο Τηλεγραφήματος

Συνολικά: σχεδόν απεριόριστα

Μέγιστος αριθμός συνδεδεμένων κόμβων: σχεδόν απεριόριστος

Λειτουργίες δικτύου: Απλό δίκτυο Master/Slave βασισμένο στο πρότυπο Ethernet και στα πρωτόκολλα TCP/UDP/IP.



### 3.2.8.3 Modbus ASCII/RTU

Το Modbus ASCII(American Standard Code for Information Interchange)/RTU(Remote Terminal Unit) είναι ένα ανοιχτού κώδικα, σειριακό(RS-232 ή RS-485) πρωτόκολλο επικοινωνίας, βασισμένο στην αρχιτεκτονική, master/slave ή πελάτη/εξυπηρετητή, το οποίο τοποθετείται στο 7<sup>ο</sup> επίπεδο του μοντέλου OSI. Διασυνδέει εξοπλισμό πεδίου, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, και ελεγκτές, και χρησιμοποιείται τόσο κατά την κατασκευή αυτοματισμών, όσο και στους ίδιους τους αυτοματισμούς. Είναι ευρέως αποδεκτό πρωτόκολλο λόγω της αξιοπιστίας του και της ευκολίας στη χρήση του, και χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα διαχείρισης κτηρίων(BMS - Building Management Systems) και σε βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμών(IAS - Industrial Automation Systems).

#### 3.2.8.3.1 Επικοινωνία και συσκευές

Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πολλών, περίπου 240, συσκευών στο ίδιο δίκτυο. Σε κάθε συσκευή που προορίζεται να επικοινωνήσει χρησιμοποιώντας το Modbus, δίνεται μια μοναδική διεύθυνση. Στα σειριακά δίκτυα μόνο ο κόμβος που θεωρείται Master μπορεί να ξεκινήσει μια εντολή, ενώ στο Ethernet κάθε συσκευή μπορεί να στείλει μια Modbus εντολή, αν και αυτό συνήθως συμβαίνει πάλι μόνο από συσκευή που θεωρείται Master. Μια Modbus εντολή περιέχει τη διεύθυνση της συσκευής για την οποία προορίζεται. Μόνο η συσκευή προορισμού θα αντιδράσει στην εντολή, αν και ίσως την λάβουν και οι υπόλοιπες συσκευές. Η κάθε συσκευή(slave node) δεν θα μεταδώσει δεδομένα, χωρίς πρώτα να το έχει ζητήσει ο Master κόμβος, και δεν θα επικοινωνήσει με άλλες συσκευές. Όλες οι εντολές Modbus περιλαμβάνουν πληροφορίες ελέγχου(CRC-Cyclical Redundancy Check ή LRC-Longitudinal Redundancy Check), διασφαλίζοντας ότι η εντολή φθάνει χωρίς βλάβη.

#### 3.2.8.3.2 Μετάδοση μηνυμάτων

Η ASCII έκδοση του πρωτοκόλλου έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την παρεμβολή χρονικών διαστημάτων διάρκειας, μέχρι ενός δευτερολέπτου, μεταξύ διαδοχικών μεταδόσεων των χαρακτήρων, χωρίς να προκληθεί κάποιο σφάλμα. Είναι περισσότερο χρήσιμη όταν η επικοινωνία είναι σχετικά αργή. Δυο ASCII χαρακτήρες στέλνονται ως δεδομένα των 8-bit, όπως επίσης σε κάθε μήνυμα στέλνονται ένα start και ένα stop bit, δημιουργώντας ένα σύνολο από 10 bits. Το μήνυμα περιλαμβάνει ακόμα 7 bits δεδομένων και ένα bit για περιττή ή άρτια ισοτιμία(parity bit). Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ισοτιμία χρησιμοποιούμε αυτό το bit, σαν ένα επιπλέον stop bit. Όλα τα μηνύματα κωδικοποιούνται σε δεκαεξαδικές τιμές και αναπαριστώνται από ASCII χαρακτήρες. Για την κωδικοποίηση χρησιμοποιούνται μόνο οι χαρακτήρες 0...9 και A...F.

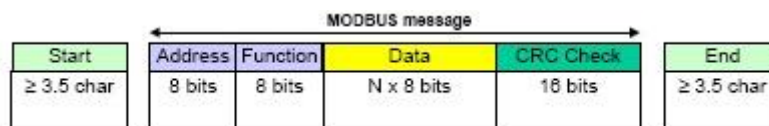
Όνομα	Μήκος(χαρακτήρες)	Λειτουργία
Αρχή	1	Ξεκινάει πάντα με άνω και κάτω τελεία(:)
Διεύθυνση	2	Διεύθυνση του κόμβου προορισμού
Συνάρτηση	2	Δείχνει τον κωδικό της συνάρτησης όπως διάβασμα εισόδου, καταχωρητών κτλ.
Δεδομένα	n	Δεδομένα + το μήκος εξαρτάται από τον τύπο των δεδομένων
LRC	2	Έλεγχος σφαλμάτων
Τέλος	2	Τέλος μηνύματος

**Πίνακας 4: Μορφή μηνύματος Modbus ASCII πρωτοκόλλου**

Η RTU έκδοση του Modbus έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να στείλει περισσότερα δεδομένα στο ίδιο χρονικό διάστημα σε σχέση με την ASCII έκδοση. Κάθε ένα byte περιλαμβάνει 2 τετράδες bit, δεκαεξαδικών χαρακτήρων, με αποτέλεσμα να στέλνεται η ίδια ποσότητα πληροφορίας σε λιγότερο χώρο. Το βασικό πλεονέκτημα της λειτουργίας RTU, έναντι άλλων όπως ASCII, Plus, TCP, είναι ότι η μεγάλη πυκνότητα των χαρακτήρων σε ένα μήνυμα, κάνει το πρωτόκολλο περισσότερο αποδοτικό, στην ίδια ταχύτητα μετάδοσης. Επίσης κάθε μήνυμα θα πρέπει να μεταδίδεται σε συνεχή ροή.

Όνομα	Μήκος(bits)	Λειτουργία
Αρχή	3.5	Απαιτούνται τουλάχιστον 3.5 χαρακτήρες παύσης
Διεύθυνση	8	Διεύθυνση του κόμβου προορισμού
Συνάρτηση	8	Δείχνει τον κωδικό της συνάρτησης όπως διάβασμα εισόδου, καταχωρητών κτλ.
Δεδομένα	n*8	Δεδομένα + το μήκος εξαρτάται από τον τύπο των δεδομένων
CRC	16	Έλεγχος σφαλμάτων
Τέλος	3.5	Απαιτούνται τουλάχιστον 3.5 χαρακτήρες παύσης μεταξύ των παραθύρων των μηνυμάτων

**Πίνακας 5: Μορφή μηνύματος Modbus RTU πρωτοκόλλου**



Σχήμα 38: Μήνυμα πρωτοκόλλου Modbus RTU<sup>43</sup>

### 3.2.8.3.3 Απαιτήσεις διεύθυνσιοδότησης

Όπως αναλύσαμε και στην προηγούμενη παράγραφο, το πεδίο της διεύθυνσης περιλαμβάνει, στην έκδοση ASCII, δυο χαρακτήρες, ενώ στην RTU χρησιμοποιείται ένα byte. Οι διευθύνσεις των slave συσκευών και για τις δυο εκδόσεις του πρωτοκόλλου, είναι από 0-247. Όταν ο master κόμβος στέλνει ένα μήνυμα, βάζει τη διεύθυνση του slave κόμβου σε αυτό το πεδίο και αντίστοιχα όταν ο slave κόμβος απαντήσει, τοποθετεί τη διεύθυνσή του στο πεδίο της διεύθυνσης, ώστε να γνωρίζει ο master ποια συσκευή αποκρίθηκε. Η διεύθυνση μηδέν χρησιμοποιείται για αναμετάδοση και μηνύματα που στέλνονται σε αυτή, λαμβάνονται από όλους τους slave κόμβους.

### 3.2.8.3.4 Κωδικοί των συναρτήσεων των πρωτοκόλλων

Επίσης, στο Modbus ASCII το πεδίο που δηλώνει τον κωδικό της συνάρτησης περιλαμβάνει δυο χαρακτήρες, σε αντίθεση με το RTU που χρησιμοποιεί ένα byte. Έγκυροι κωδικοί για τη συνάρτηση είναι από 1-255. Ο κωδικός της συνάρτησης λέει στη slave συσκευή τι να κάνει, όπως για παράδειγμα να διαβάσει τις εισόδους, τη μνήμη, να γράψει στη μνήμη κ.α.

Κωδικοί	Περιγραφή
01	Read coils
02	Read discrete inputs
03	Read holding registers
04	Read input registers
05	Write single coil
06	Write single register
07	Read exception status
15	Write multiple coils
16	Write multiple registers
17	Report slave ID

Πίνακας 6: Κωδικοί συναρτήσεων Modbus

Στη γλώσσα του πρωτοκόλλου Modbus, με τον όρο “coil” εννοούμε μια διακριτή τιμή εξόδου. Η συνάρτηση με κωδικό 01, μπορεί να διαβάσει τέτοιο είδος εξόδου. Αντίστοιχα, η συνάρτηση με κωδικό 02, μπορεί να διαβάσει διακριτές εισόδους.

Οι εσωτερικές τιμές σε μια Modbus συσκευή αποθηκεύονται σε καταχωρητές που ονομάζονται “holding”. Αυτοί οι καταχωρητές, έχουν μέγεθος δυο bytes και κάποιοι

περιλαμβάνουν ρυθμιστικές παραμέτρους, ενώ κάποιοι άλλοι χρησιμοποιούνται για να επιστραφούν οι τιμές από μετρούμενα μεγέθη. Επομένως με τον κωδικό 03 η συνάρτηση μπορεί να διαβάσει holding καταχωρητές και με τον κωδικό 04, καταχωρητές εισόδου. Ομοίως με τους αντίστοιχους κωδικούς οι συναρτήσεις μπορούν να γράψουν σε καταχωρητές και coils.

### 3.2.8.3.5 Επισκόπηση πρωτοκόλλων Modbus ASCII/RTU

Τύπος δικτύου: Σύστημα επικοινωνίας Master/Slave ή Πελάτη/Εξυπηρετητή

Τοπολογία: - RS-232: peer -to- peer σύνδεση μεταξύ Master και Slave

- RS-485: σύνδεση σε σειρά μέχρι 32 κόμβους

Εγκατάσταση: Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων

Το μέγεθος, της σε σειρά γραμμής, εξαρτάται από το φυσικό μέσο και την ταχύτητα μετάδοσης

Ρυθμός δεδομένων: Επιλέγεται από το χρήστη, εξαρτάται από το φυσικό μέσο

Μέγιστος αριθμός συνδεδεμένων κόμβων: Ένας Master κόμβος και μέχρι 246 Slaves

Δεδομένα: 0 - 252 Byte ανά παράθυρο μηνύματος

Λειτουργίες δικτύου: Απλό δίκτυο Master/Slave για επικοινωνία peer-to-peer(RS-232) ή Multidrop(RS-485)

	Modbus ASCII		Modbus RTU	
Χαρακτήρες	ASCII 0..9 και A..F		Δυαδικοί 0..255	
Έλεγχος σφαλμάτων	LRC(Longitudinal Redundancy Check)		CRC(Cyclic Redundancy Check)	
Αρχή παραθύρου μηνύματος	Χαρακτήρας άνω και κάτω τελεία(:)		3.5 χαρακτήρες παύσης	
Τέλος παραθύρου μηνύματος	Χαρακτήρες CR(carriage return)/LF(line feed)		3.5 χαρακτήρες παύσης	
Κενά μεταξύ μηνυμάτων	1 δευτερόλεπτο		1.5 φορά το μήκος ενός χαρακτήρα	
Start bit	1		1	
Data bits	7		8	
Ισοτιμία(Parity)	Περιττή/Άρτια	Καθόλου	Περιττή/Άρτια	Καθόλου
Stop bit	1	2	1	2

Πίνακας 7: Ιδιότητες Modbus ASCII/RTU πρωτοκόλλων

### 3.2.8.3.6 Εφαρμογή Modbus RTU για συσκευές της εταιρείας Electrex

Το Πολυτεχνείο Κρήτης είναι εφοδιασμένο με τους μετρητές ενέργειας ZEPTO 96<sup>44</sup> από την εταιρεία Electrex. Ο κάθε τέτοιος μετρητής είναι εξοπλισμένος με μια σειριακή θύρα επικοινωνίας RS485, όπου είναι προστατευμένη από υπέρταση και απομονωμένη από μη ασθενή σήματα. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί ο μετρητής είναι το Modbus RTU, όπου είναι κατάλληλο για επικοινωνία με συστήματα PLC και SCADA. Τα δεδομένα της συσκευής διαβάζονται από καταχωρητές και αποτελούνται από το δεκαδικό(mantissa) και από το εκθετικό μέρος, στα πρότυπα του IEEE.

Η ταχύτητα μετάδοσης φθάνει μέχρι τα 38.400 bps, με μέγιστο αριθμό καταχωρητών 125 ανά ερώτημα, με καθόλου χρόνο αναμονής μεταξύ ερωτημάτων από κάποιο εξυπηρετητή, εξασφαλίζοντας μια ασυναγώνιστη ταχύτητα επικοινωνίας.

Όλα τα μεγέθη, εκτός από αυτά των μετρητών, χρησιμοποιούν το πρότυπο κινητής υποδιαστολής, μονής ακρίβειας, IEEE 754. Κάθε μέγεθος χρειάζεται δυο συνεχόμενους καταχωρητές(32 bits). Οι μετρητές εξάγονται είτε ως ένας ακέραιος 32bits( δυο διαδοχικοί καταχωρητές), είτε ως ένας ακέραιος 64bits(4 διαδοχικοί καταχωρητές).

Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μιας λέξης(word= 4bytes= 32bits) που αναπαρίσταται από περισσότερα από 16 bits, τα οποία κωδικοποιούν τη τιμή του μετρούμενου μεγέθους, εξαρτάται από την τιμή ενός άλλου (holding) καταχωρητή, που είναι γνωστός σαν bytes/words swap(διεύθυνση 216 για ZEPTO).

Όταν ο τελευταίος καταχωρητής είναι προγραμματισμένος στο μηδέν, που είναι και η προεπιλεγμένη τιμή, τα μεγέθη μεταδίδονται με κωδικοποίηση big endian. Με τον όρο big endian εννοούμε πως το σημαντικότερο byte αποθηκεύεται στην “μικρότερη” θέση μνήμης. Έχοντας μια τιμή 32 bit, η πιο σημαντική λέξη(16 bits) είναι στον καταχωρητή με τη μικρότερη διεύθυνση.

Για παράδειγμα, γνωρίζοντας πως οι καταχωρητές 220 και 221 του μετρητή ZEPTO 96 αντιστοιχούν στην τάση μεταξύ της πρώτης φάσης και του ουδετέρου(U1N), αν ο καταχωρητής bytes/words swap με διεύθυνση 216 είναι προγραμματισμένος στο μηδέν και η U1N είναι 230.753 Volt, τότε διαβάζοντας τους καταχωρητές 220 και 221 θα πάρουμε σε δεκαεξαδικές τιμές:

220 = 0x4366

221 = 0xC0C4

όπου 0x4366C0C4 είναι η δεκαεξαδική τιμή του αριθμού κινητής υποδιαστολής 230.753 σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEEE-754.

Πιο αναλυτικά, το πρότυπο IEEE-754(μονής ακρίβειας) ορίζει τα ακόλουθα για ένα αριθμό κινητής υποδιαστολής των 32 bit:

- Το πιο σημαντικό bit (bit 31) υποδηλώνει το πρόσημο
- Τα bits από 23 ως 30 κωδικοποιούν το εκθετικό μέρος
- Τα bits από 0 ως 22 κωδικοποιούν το δεκαδικό μέρος(mantissa)

Οπότε στο παράδειγμά μας:

ο δεκαεξαδικός αριθμός 4366C0C4,

σε δυαδική μορφή είναι: 0100 0011 0110 0110 1100 0000 1100 0100

- το πρόσημο είναι  $s=0$
- το εκθετικό μέρος είναι  $e=100\ 0011\ 0$  ( $=134$  στο δεκαδικό)
- το δεκαδικό μέρος (mantissa) είναι  $m=110\ 0110\ 1100\ 0000\ 1100\ 0100$

Ο αριθμός κινητής υποδιαστολής κωδικοποιείται ως εξής:

$$F = (-1)^s * 2^{(e-127)} * 1.m =$$

$$= (-1)^0 * 2^{(134-127)} * 1.110\ 0110\ 1100\ 0000\ 1100\ 0100 =$$

$$= 2^7 * 1.(2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-5} + 2^{-6} + 2^{-8} + 2^{-9} + 2^{-16} + 2^{-17} + 2^{-21}) =$$

$$= 128 * 1.802757740020751953125 =$$

$$= 230,75299072265625$$

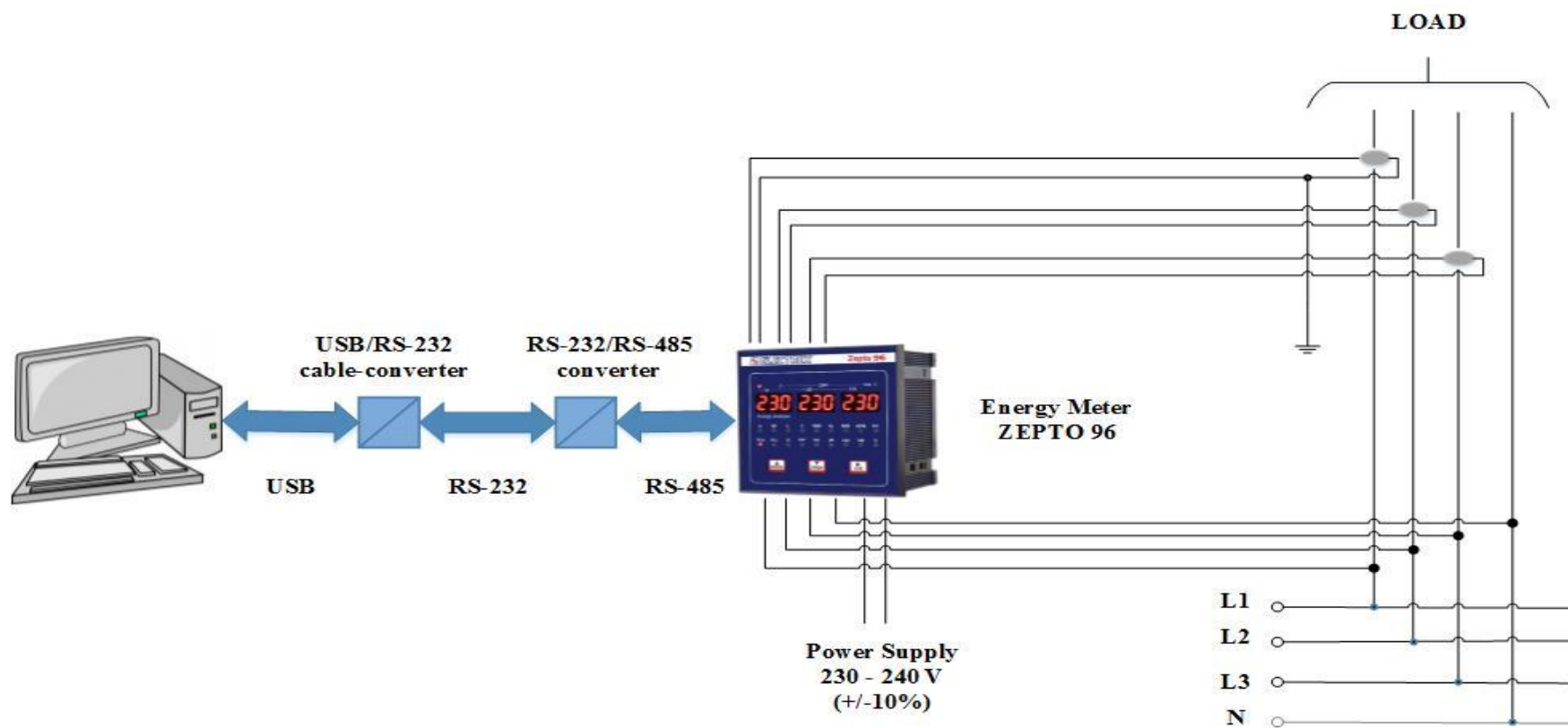
## **Κεφάλαιο 4 – Περιγραφή συστήματος καταγραφής ενέργειας του Κτηρίου Επιστημών**

Τα περασμένα χρόνια, παρατηρήθηκε πως η κατανάλωση ενέργειας παρουσίασε απότομα μια πολύ σημαντική αύξηση. Η τάση αυτή, τείνει να συνεχιστεί και στο μέλλον, οπότε κρίνεται σκόπιμο να γίνουν κάποιες ενέργειες με στόχο τον περιορισμό της σπατάλης ενέργειας και παράλληλα η ενεργειακή απόδοση να φθάσει σε τέτοια επίπεδα, ώστε να υπάρχει αειφόρος ανάπτυξη<sup>45</sup>. Πράγματι, η Ευρωπαϊκή Ένωση προτείνει πως το κλειδί για τη μείωση της υπερκατανάλωσης ενέργειας είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Ειδικά όταν αποδείχτηκε, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, πως για το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης είναι υπεύθυνα τα κτήρια<sup>46</sup>, θεωρήθηκε αναγκαία η μείωσή της, ώστε να μειωθεί και η ενεργειακή τους εξάρτηση και παράλληλα να συμμορφωθούν με το πρωτόκολλο του Kyoto. Σε αυτή τη προσπάθεια σημαντικό ρόλο κατέχουν τα συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής ενέργειας, ώστε να είναι γνωστό κάθε στιγμή, τι καταναλώνει το εκάστοτε κτήριο. Έτσι θα μπορούμε να μειώσουμε τις άσκοπες καταναλώσεις και επίσης θα μπορούμε να προβλέψουμε τι ενδέχεται να καταναλώσει η κάθε εγκατάσταση.

Στα πλαίσια του να συμβάλουμε και μεις γενικότερα, στη μείωση του ποσοστού της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων της Ε.Ε., και ταυτόχρονα, να συμβάλουμε στο να επιτευχθεί το ποσοστό που έθεσε η Πρυτανία για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20%, στο Κτήριο Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014, υλοποιήσαμε ένα σύστημα καταγραφής της ενέργειας του κτηρίου.

### **4.1 Hardware συστήματος καταγραφής ενέργειας**

Από άποψη hardware, το σύστημα περιλαμβάνει το μετρητή ZEPTO 96, ο οποίος ήταν ήδη εγκατεστημένος στο κτήριο. Όπως αναλύσαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο μετρητής εκτός από τις εισόδους/εξόδους για τα ηλεκτρολογικά μεγέθη, διαθέτει και μια σειριακή θύρα επικοινωνίας RS-485 για επικοινωνία με H/Y, συστήματα PLC και SCADA. Επίσης για την υλοποίηση του συστήματος, χρησιμοποιήσαμε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (συγκεκριμένα laptop), στον οποίο έτρεχε ο αλγόριθμος για την εξαγωγή των δεδομένων από το μετρητή. Για τη σύνδεση του υπολογιστή με το μετρητή, χρησιμοποιήσαμε ένα καλώδιο USB, ένα καλώδιο-converter από USB σε RS-232, ένα converter από RS-232 σε RS-485 και ένα συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου για την ένωση του converter (μεριά του RS-485) με το μετρητή. Παρακάτω παρουσιάζεται σε μορφή διαγράμματος η συνδεσμολογία του συστήματος:



Σχήμα 39: Συνδεσμολογία του υλοποιημένου συστήματος παρακολούθησης και καταγραφής ενέργειας



## 4.2 Software συστήματος καταγραφής ενέργειας

Ο μετρητής ZEPTO 96 για την επικοινωνία με συστήματα PLC, με συστήματα SCADA, με ηλεκτρονικούς υπολογιστές κτλ. χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Modbus RTU. Προτού υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο, μελετήσαμε το συγκεκριμένο πρωτόκολλο και συμπεράναμε πως για να εξάγουμε δεδομένα από το μετρητή, πρέπει να διαβάσουμε κάποιους συγκεκριμένους καταχωρητές που διαθέτει εκείνος, οι οποίοι διαβάζουν τα δεδομένα της συσκευής που προβάλλονται στην οθόνη της. Οι καταχωρητές που μας ενδιέφεραν, ήταν αυτοί της τάσης με τον ουδέτερο, του ρεύματος, της ενεργού ισχύος και της άεργου ισχύος, για την κάθε μία από τις 3 φάσεις.

Το πρωτόκολλο Modbus είναι ένα ανοιχτού κώδικα, σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας, βασισμένο στην αρχιτεκτονική master/slave. Λόγω του ότι είναι ευρέως διαδεδομένο τόσο σε βιομηχανικό, όσο και μη βιομηχανικό επίπεδο, και παράλληλα είναι ανοιχτού κώδικα, ώστε να μπορεί ο οποιοσδήποτε χρήστης να βρει και να διορθώσει τυχόν σφάλματα του πρωτοκόλλου, υπάρχουν βιβλιοθήκες με συναρτήσεις, οι οποίες υλοποιούν τις λειτουργίες του πρωτοκόλλου, που περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου, χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα Eclipse για C/C++ σε λειτουργικό σύστημα Linux. Το ίδιο περιβάλλον χρησιμοποιήθηκε μετέπειτα και για τη λειτουργία του αλγορίθμου, με στόχο την εξαγωγή των μετρήσεων. Προτιμήθηκε το συγκεκριμένο περιβάλλον γιατί έχει περισσότερες δυνατότητες, λόγω του ότι είναι ανοιχτού κώδικα. Στη συνέχεια, όταν το σύστημα καταγραφής είχε ήδη υλοποιηθεί, ανακαλύψαμε πως εξίσου καλά υποστηρίζεται και από λειτουργικά Windows.

Σε πρώτο στάδιο, πριν την υλοποίηση, εισάγαμε στην πλατφόρμα Eclipse τη βιβλιοθήκη libmodbus και κάναμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις –προσθέσαμε κάποια πακέτα που αφορούσαν το πρωτόκολλο Modbus–, ώστε να αναγνωρίζεται από την πλατφόρμα. Έπειτα σχεδιάσαμε το flowchart του αλγορίθμου, που περιλάμβανε τα βασικά βήματα, στα οποία θα στηριζόταν ο αλγόριθμός μας. Στη συνέχεια προχωρήσαμε στην υλοποίησή του και παράλληλα στην εκσφαλμάτωσή του.

Μία σειρά από δοκιμές για τον τελικό συντονισμό του λογισμικού πραγματοποιήθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος στο Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών (ΣΤΕΦ) του Τεχνολογικού Ιδρύματος Κρήτης, στο Ηράκλειο, όπου λόγω του αντικειμένου του εργαστηρίου, υπήρχε ο κατάλληλος εξοπλισμός (μετασχηματιστές τάσης και έντασης, φορτία κτλ.) για τη προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του μετρητή ZEPTO 96. Εκεί δοκιμάστηκε η λειτουργία του μετρητή και η συνδεσμολογία του με τη βοήθεια πραγματικών φορτίων (αντιστάσεων, πυκνωτών, πηνίων) υπό χαμηλότερη τάση για λόγους ασφαλείας. Δοκιμάστηκε δε, η περίπτωση διακοπής επικοινωνίας και τροφοδοσίας, συμβάντα που ενδέχεται να συμβούν σε μια διαδικασία απομακρυσμένης καταμέτρησης και πως ο κώδικας που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα τα αντιμετωπίζει.

Στη συνέχεια παραθέτουμε μερικές εικόνες από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση που αναφέραμε προηγουμένως.



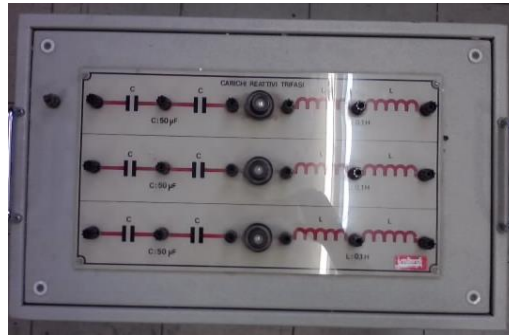
Εικόνα 17: Τροφοδοτικό



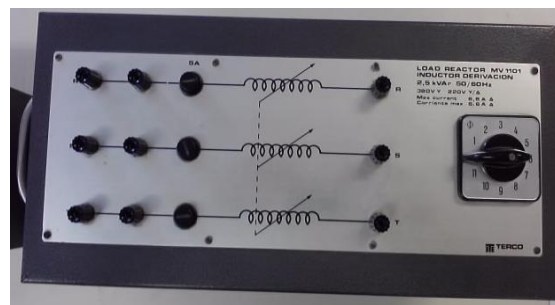
Εικόνα 18: Τροχήλατο ωμικό φορτίο



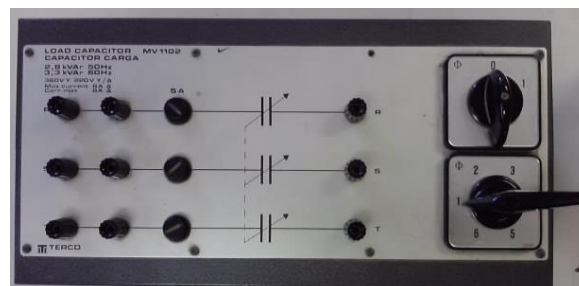
Εικόνα 19: Αντίσταση φορτίου MV 1100



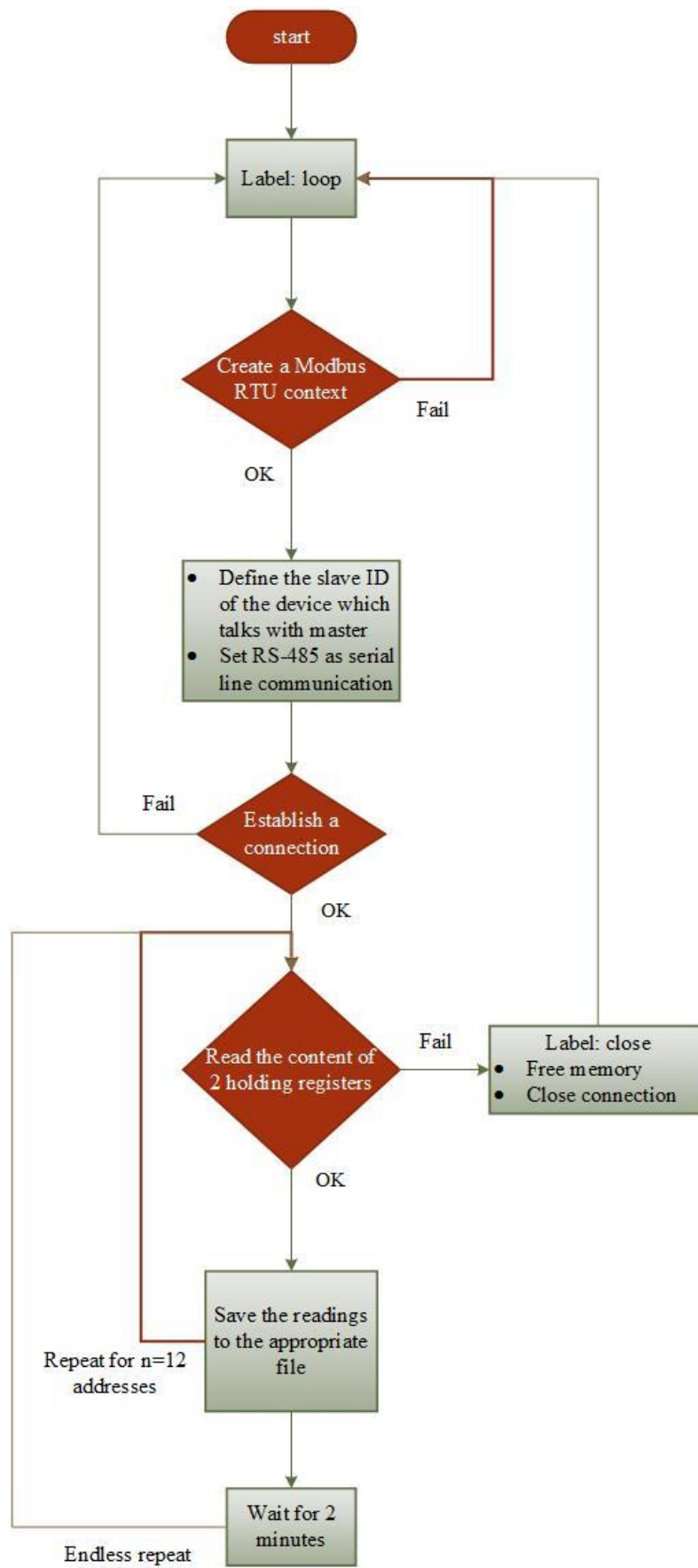
**Εικόνα 20: Επαγωγικό φορτίο CARICHI REATTIVI TRIFASI**



**Εικόνα 21: LOAD REACTOR MV 1101**



**Εικόνα 22: LOAD CAPACITOR MV 1102**



Σχήμα 40: Flowchart αλγορίθμου

### 4.3 Περιγραφή αλγορίθμου

Αρχικά, συμπεριλάβαμε τις βιβλιοθήκες που απαιτούνται για τη λειτουργία του αλγορίθμου, όπως για παράδειγμα τη βιβλιοθήκη modbus, τις βιβλιοθήκες time και sys/time για την καταγραφή της ημερομηνίας με 2 διαφορετικούς τρόπους κ.α. Στη συνέχεια, αρχικοποιήσαμε ένα πίνακα με τις διευθύνσεις, στο δεκαεξαδικό σύστημα, των καταχωρητών που μας ενδιαφέρουν, όπως επισημάναμε παραπάνω, και υλοποιήσαμε τις συναρτήσεις, οι οποίες δίνουν την ημερομηνία και ώρα που έγινε η κάθε μέτρηση.

Στον κύριο κορμό του αλγορίθμου υλοποιούμε μια σειρά από βήματα:

- Πρώτα ορίζουμε ένα label(ετικέτα) με την ονομασία loop.
- Δημιουργούμε ένα καινούργιο context για τη βιβλιοθήκη libmodbus για συσκευές RTU, όπου ορίζουμε το όνομα της σειριακής θύρας που χρησιμοποιείται από το λειτουργικό σύστημα για την επικοινωνία με το μετρητή, ορίζουμε το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο κανάλι, όπου στην περίπτωσή μας είναι 9600 bps, ορίζουμε να μην έχουμε ούτε άρτια, ούτε περιττή ισοτιμία (parity bit) και ο αριθμός των bits των δεδομένων να είναι 8 και τέλος ορίζουμε 2 stop bits, που υποδηλώνουν το τέλος του μηνύματος.
- Αν δημιουργηθεί επιτυχώς το context συνεχίζουμε, διαφορετικά επιστρέφουμε στο πρώτο βήμα, στο label loop.
- Έπειτα θέτουμε το μετρητή από τον οποίο θα εξάγουμε τα δεδομένα, ως slave. Ο μετρητής που “βλέπει” το μετασχηματιστή 2 και που περιλαμβάνεται στην υλοποίησή μας, έχει διεύθυνση 101, οπότε ορίσαμε ως slave\_ID την τιμή αυτή. Επίσης ορίζουμε τον τύπο της σειριακής επικοινωνίας, ως RS-485.
- Δημιουργούμε τη σύνδεση του H/Y με το μετρητή. Αν δημιουργηθεί επιτυχώς η σύνδεση συνεχίζουμε, διαφορετικά επιστρέφουμε στο πρώτο βήμα, στο label loop.
- Στη συνέχεια δεσμεύουμε μνήμη για να αποθηκεύσουμε τους καταχωρητές και μπαίνουμε σε ένα ηθελημένο ατέρμων βρόγχο. Μέσα σ’ αυτόν, διαβάζουμε για κάθε μια από τις 12 διευθύνσεις, 2 συνεχόμενες θέσεις καταχωρητών. Για παράδειγμα, για να διαβάσουμε τους καταχωρητές που περιέχουν τα δεδομένα για την τάση της πρώτης φάσης, περνάμε ως όρισμα στη συνάρτηση τη διεύθυνση του πρώτου καταχωρητή, εδώ 220, και έχουμε ορίσει να διαβαστούν 2 θέσεις. Οπότε αυτόματα διαβάζονται οι θέσεις 220 και 221. Η συνάρτηση που είναι υπεύθυνη για το διάβασμα το καταχωρητών, επιστρέφει μια τιμή που πρέπει να ισούται με τον αριθμό των θέσεων που διαβάζονται. Δηλαδή στην περίπτωσή μας, πρέπει να επιστρέφει πάντα την τιμή 2. Αν δεν επιστραφεί αυτός ο αριθμός πηγαίνουμε στο label close. Διαφορετικά συνεχίζουμε.
- Στο επόμενο βήμα, αποθηκεύουμε τη κάθε μέτρηση, στο κατάλληλο αρχείο. Δημιουργούμε 4 αρχεία κειμένου, ένα για τις τάσεις, ένα για τα ρεύματα, ένα για την ενεργό και ένα για την άεργο ισχύ, που περιέχουν εκτός των δεδομένων, την ημερομηνία και ώρα για κάθε μέτρηση
- Μόλις τελειώσει η αποθήκευση των μετρήσεων, αδρανοποιείται το πρόγραμμα για 2 λεπτά και έπειτα συνεχίζει ο ατέρμων βρόγχος που αναφέραμε παραπάνω. Με αυτό τον τρόπο ορίζουμε τη συχνότητα εξαγωγής δεδομένων, η οποία στην υλοποίησή μας είναι 2 λεπτά.

- Τέλος το label close, απελευθερώνει το context και τη μνήμη που δεσμεύσαμε παραπάνω, κλείνει τη σύνδεση και πηγαίνει στο label loop, ώστε να συνεχίσει η λειτουργία του προγράμματος.

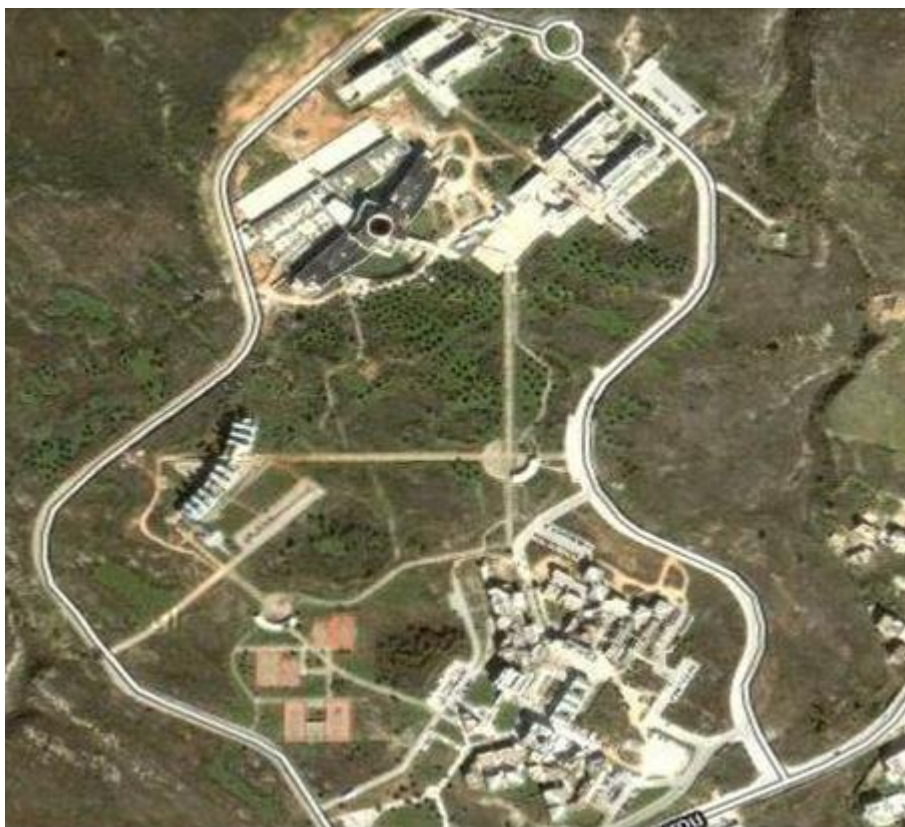
Τέλος είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως τα δεδομένα που εξάγουμε αποθηκεύονται σε αρχεία μορφής κειμένου (txt), τα οποία με τη σειρά τους αποθηκεύονται στο cloud του dropbox, ώστε να έχουμε απομακρυσμένη πρόσβαση σε αυτά, αλλά και για λόγους ασφαλείας, αν τυχόν πάθει κάποια βλάβη το laptop να είναι στην κατοχή μας. Επομένως είναι αναγκαία η σύνδεση στο διαδίκτυο. Αυτό το πετύχαμε μέσω του ασύρματου δικτύου του Πολυτεχνείου, εφόσον το δωμάτιο δεν διαθέτει ενσύρματη θύρα δικτύου.

Έπειτα, από τα αρχεία κειμένου, περάσαμε τα δεδομένα σε αρχεία excel, χρησιμοποιώντας το MATLAB, ώστε η απεικόνιση των αποτελεσμάτων να γίνει ταυτόχρονα με πιο παραστατικό και πιο εύκολο τρόπο. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο το MATLAB σε συνδυασμό με τις συναρτήσεις του excel.

## Κεφάλαιο 5 – Γενικά Χαρακτηριστικά Κτηρίου Επιστημών και Πολυτεχνειούπολης

### 5.1 Το Πολυτεχνείο Κρήτης

Το Πολυτεχνείο Κρήτης ιδρύθηκε το 1977 και δέχτηκε τους πρώτους φοιτητές το 1984. Η Πολυτεχνειούπολη καταλαμβάνει έκταση 2900 στρεμμάτων. Εκτός από την έκταση αυτή, το ίδρυμα έχει στην κατοχή του και άλλα παραδοσιακά και ιστορικά κτήρια, όπως τη Γαλλική Σχολή και το Ενετικό Συγκρότημα.



Εικόνα 23: Πολυτεχνειούπολη από ψηλά

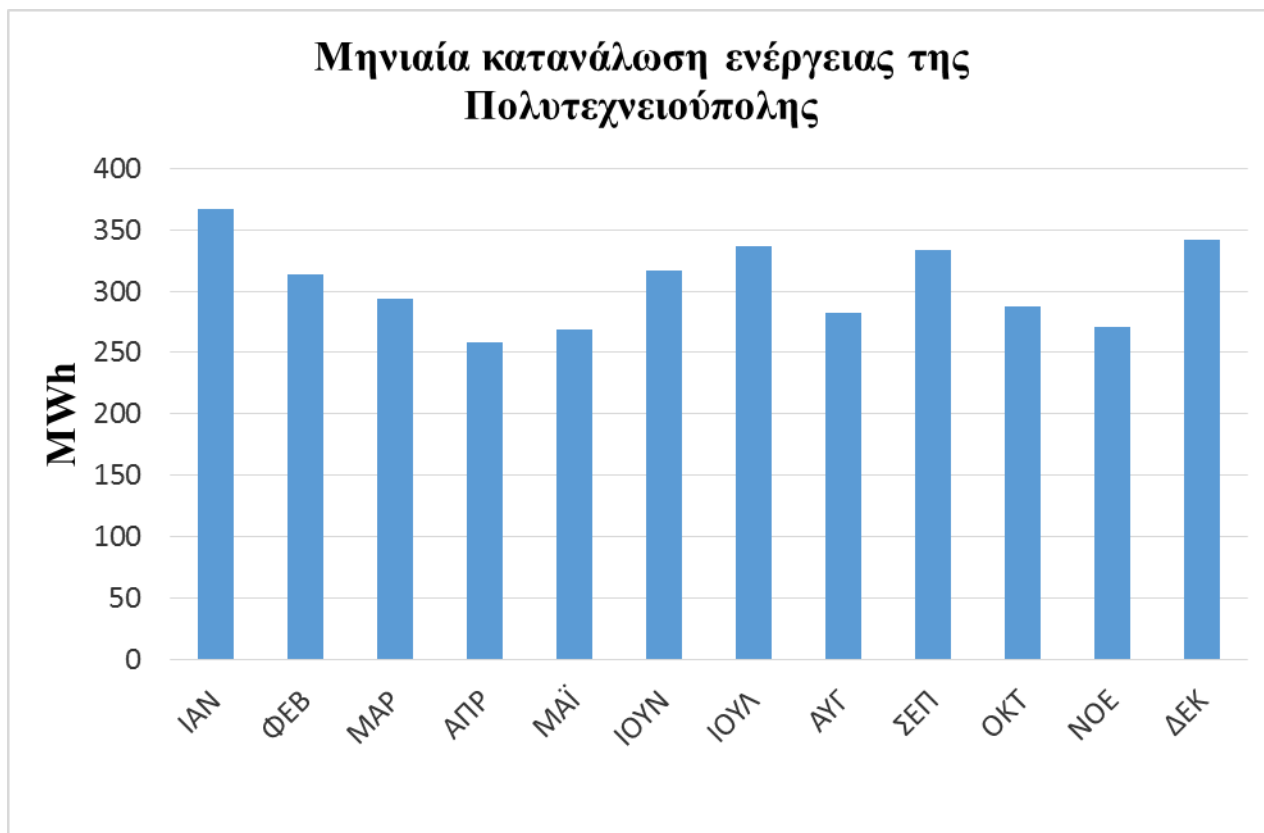
Οι εγκαταστάσεις της Πολυτεχνειούπολης χωρίζονται σε 5 ομάδες κτηρίων ανάλογα με τη τοποθέτησή τους στο χώρο. Οι 5 αυτές ομάδες κτηρίων είναι

- το κτήριο Επιστημών
- τα κτήρια ΜΗΠΕΡ
- τα κτήρια ΜΗΧΟΠ
- τα κτήρια ΜΠΔ
- το κτήριο της Φοιτητικής Εστίας

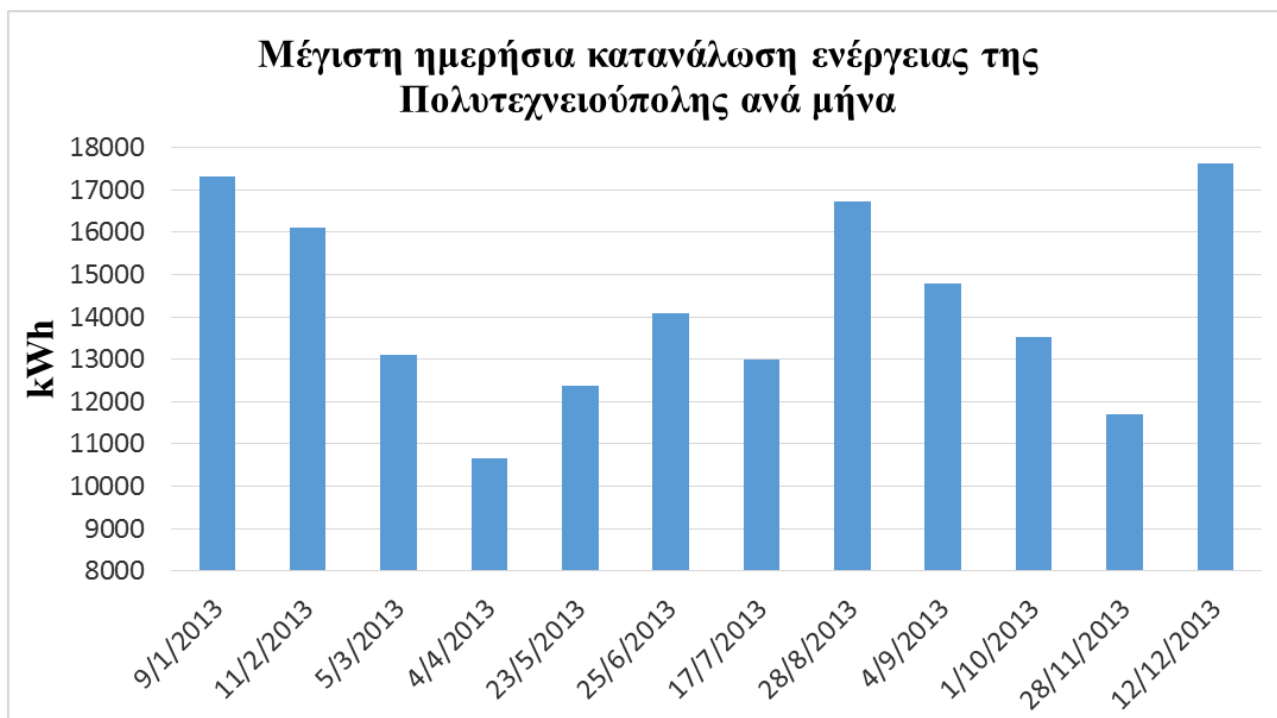
Με βάση τις μετρήσεις από το Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), τις οποίες και επεξεργαστήκαμε, συμπεράναμε πως για το μήνα Σεπτέμβριο, η Πολυτεχνειούπολη καταναλώνει ημερησίως ενέργεια από 8-17 MWh και για το μήνα Οκτώβριο από 7,9-13,6 MWh περίπου.



Επίσης, μετά από επεξεργασία των μετρήσεων της Πολυτεχνειούπολης για το έτος 2013, εξάγουμε τα παρακάτω γραφήματα:



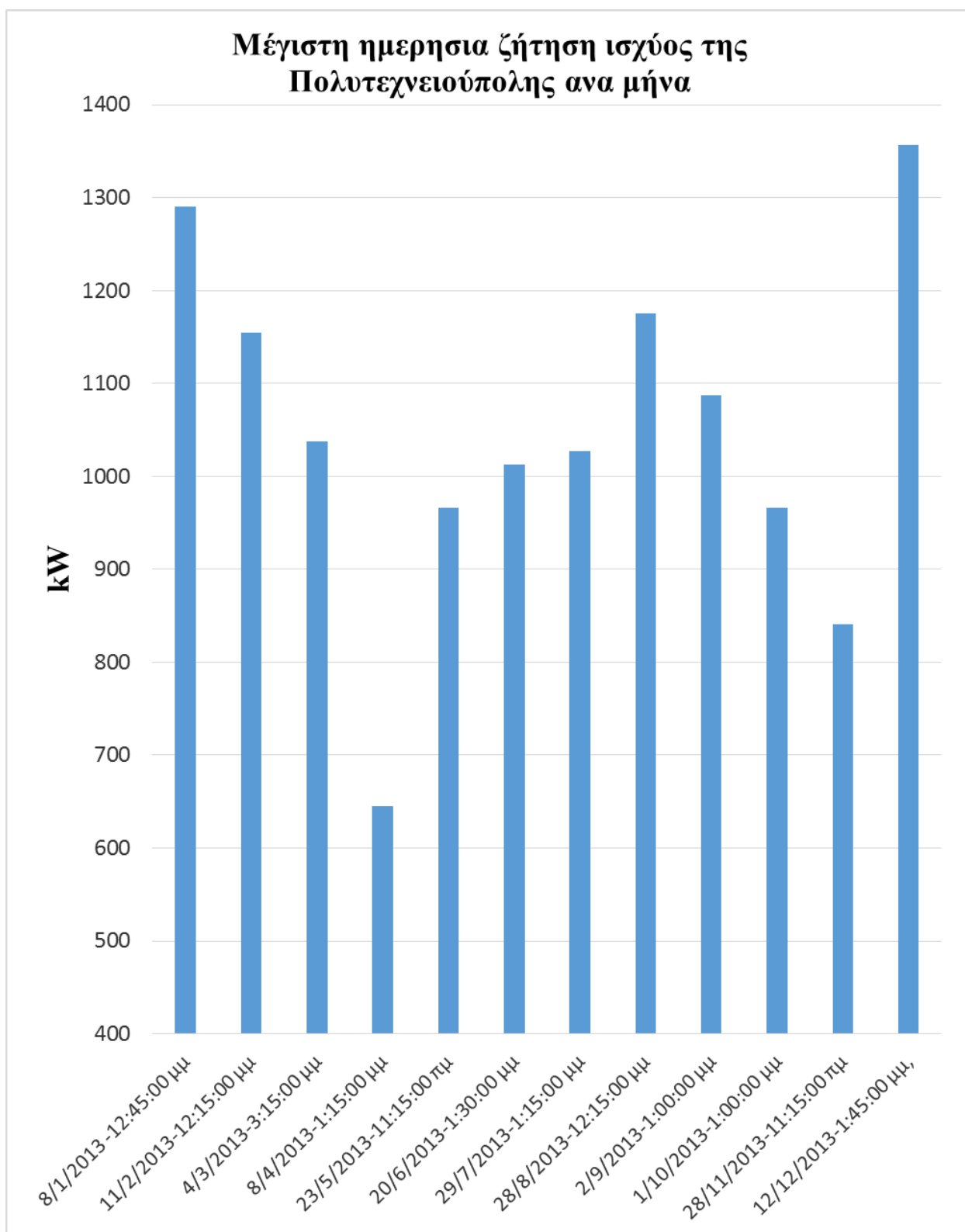
Σχήμα 41: Διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας της Πολυτεχνειούπολης για το έτος 2013



Σχήμα 42: Διάγραμμα μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας της Πολυτεχνειούπολης ανά μήνα



Αξίζει να αναφέρουμε πως η συνολική ενέργεια που καταναλώνει το Πολυτεχνείο, αποτελεί το 0,88% της ενέργειας που καταναλώνει η πόλη των Χανίων. Η δε ετήσια αιχμή για την κατανάλωση ενέργειας από το Πολυτεχνείο ήταν 17623,8 kWh στις 12/12/2013 και αντίστοιχα για την πόλη των Χανίων ήταν 1641,45 MWh στις 8/1/2013.



Σχήμα 43: Διάγραμμα μέγιστης ημερήσιας ζήτησης ισχύος της Πολυτεχνειούπολης ανά μήνα

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρατηρούμε πως η αιχμή κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς και τον Αύγουστο, όπου κορυφώνεται το καλοκαίρι, και το Σεπτέμβριο, όπου διεξάγεται εξεταστική και οι θερμοκρασίες εξακολουθούν να είναι υψηλές, είναι μεγαλύτερη από τους υπόλοιπους μήνες. Και αυτό διότι η χρήση του κλιματισμού αυξάνεται, είτε για θέρμανση τους χειμερινούς μήνες, είτε για ψύξη τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο.

Επιπλέον παρατηρούμε στο παραπάνω διάγραμμα, πως η αιχμή παρουσιάζεται μεσημεριανές ώρες στο διάστημα 11:00-15:00 και ακόμα πιο συχνά στο διάστημα 12:00-13:00. Αξίζει να αναφέρουμε πως στους μισούς μήνες, την ημέρα που εμφανίζεται η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας, εμφανίζεται και η μέγιστη ζήτηση ισχύος από την Πολυτεχνειούπολη. Η δε θερινή αιχμή, όπως είναι φυσικό, επηρεάστηκε από τις υψηλές θερμοκρασίες κατά τους θερινούς μήνες. Η ετήσια αιχμή για το Πολυτεχνείο Κρήτης ήταν 1356,60 kW στις 12/12/2013 και αντίστοιχα για την πόλη των Χανίων ήταν 91,47 MW στις 8/1/2013.

Γενικότερα η αιχμή του Πολυτεχνείου σε σχέση με την αιχμή των Χανίων, ανά μήνα, τόσο σε μεγέθη, όσο και σε ποσοστά, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Ημερομηνία	Αιχμή Πολυτεχνείου (kW)	Αιχμή Χανίων (MW)	Ποσοστό συμμετοχής αιχμής Πολυτεχνείου στην αιχμή Χανίων (%)
8/1/2013	1290,6	91,47	1,41
14/2/2013	962,6	82,845	1,16
5/3/2013	917,6	74,85	1,23
17/4/2013	570	61,92	0,92
4/5/2013	301,4	62,85	0,48
27/6/2013	892,4	63,555	1,4
30/7/2013	867,4	73,575	1,18
29/8/2013	1129	73,53	1,54
12/9/2013	762,2	75,195	1,01
1/10/2013	965,6	65,085	1,48
30/11/2013	520,6	67,74	0,77
31/12/2013	349,8	90,495	0,39

**Πίνακας 8: Πίνακας αιχμών Πολυτεχνείου και Πολυτεχνειούπολης**

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε πως ταυτοχρονισμό της αιχμής της Πολυτεχνειούπολης, με την αιχμή των Χανίων έχουμε μόνο σε δυο μήνες και συγκεκριμένα στις 8/1 και στις 1/10. Τους υπόλοιπους μήνες όταν παρουσιάζεται αιχμή στην πόλη των Χανίων, δεν παρουσιάζεται αιχμή στην Πολυτεχνειούπολη. Παρόλα αυτά, μπορούμε να πούμε πως η αιχμή των Χανίων ακολουθεί το μοτίβο της αιχμής της Πολυτεχνειούπολης, δηλαδή κατά τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες η αιχμή των Χανίων είναι

μεγαλύτερη. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην αυξημένη χρήση του κλιματισμού, είτε για θέρμανση τους χειμερινούς μήνες, είτε για ψύξη το καλοκαίρι.

## 5.2 Το Κτήριο Επιστημών

Το Κτήριο Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης, άρχισε να σχεδιάζεται στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και η μελέτη ολοκληρώθηκε το 1998. Η κατασκευή καθυστέρησε για οικονομικούς λόγους με αποτέλεσμα το κτήριο να είναι έτοιμο προς χρήση το 2008.

Στεγάζει το σύνολο των διδακτικών, ερευνητικών και διοικητικών λειτουργιών του τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών και μέχρι πρότινος, πριν την κατάργησή του, το Γενικό τμήμα του Πολυτεχνείου. Η συνολική του επιφάνεια είναι της τάξης των 14.000m<sup>2</sup> και επιπλέον περιέχει προστατευόμενους χώρους στάθμευσης και άλλους συμπληρωματικούς χώρους. Το συγκρότημα του τμήματος Επιστημών μπορούμε να το χωρίσουμε σε τρία τμήματα, το αμφιθέατρο, το κτήριο εισόδου και τον πυρήνα. Το αμφιθέατρο έχει κάτοψη 500m<sup>2</sup> περίπου και ανοίγματα πλαισίων 16.5m. Το κτήριο έχει, εκτός της στέγης του, δύο επιπλέον εσωτερικές στάθμες. Το κτήριο εισόδου είναι μονώροφο επιφάνειας περί τα 450m<sup>2</sup>, με ένα γεφύρωμα πρόσβασης μήκους 25m και πλάτους από 7.5m έως 4.0m. Ο πυρήνας είναι το κεντρικό κτήριο του συγκροτήματος, που συνίσταται από δύο ορθογώνια 40x40m<sup>2</sup> περίπου και 45x17m<sup>2</sup> τοποθετημένα κεντρικά σε ένα κυκλικό πυρήνα διαμέτρου 28m και στραμμένα κατά 22.5°. Το συνολικό εμβαδό του κτηρίου είναι 8000m<sup>2</sup> το οποίο αναπτύσσεται σε επτά συνολικά στάθμες. Επίσης το νούμερο του κάθε επιπέδου, αντιστοιχεί στο ύψος (σε μέτρα) που έχει, από την επιφάνεια της θάλασσας.

Επίπεδο	Όροφος
134	Υπόγειο
137	Ισόγειο
141	1ος
145	2ος
147	3ος
151	4ος

Πίνακας 9: Συσχέτιση επιπέδων-ορόφων κτηρίου Επιστημών

### 5.2.1 Υποσταθμός Μέσης Χαμηλής Τάσης

Στο ισόγειο του κτηρίου Επιστημών, επίπεδο 137 στον πυρήνα, βρίσκεται το μηχανοστάσιο όπου είναι στεγασμένος ο υποσταθμός Μέσης/Χαμηλής Τάσης. Ο χώρος εκεί, περιλαμβάνει τους 2 μετασχηματιστές διανομής, το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης, το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, τα UPS των μετασχηματιστών και τους 2 πυκνωτές, Variologic NR12, που αποτελούν το σύστημα αντιστάθμισης. Ο υποσταθμός του κτηρίου παίρνει τάση από το κεντρικό υποσταθμό της Πολυτεχνειούπολης, ο οποίος λειτουργεί με παροχή μέσης τάσης 20kV από τη ΔΕΗ. Από τον υποσταθμό του κτηρίου Επιστημών φτάνουμε στον υποσταθμό του Πολυτεχνείου με 3 καλώδια χαλκού των 95mm<sup>2</sup>.

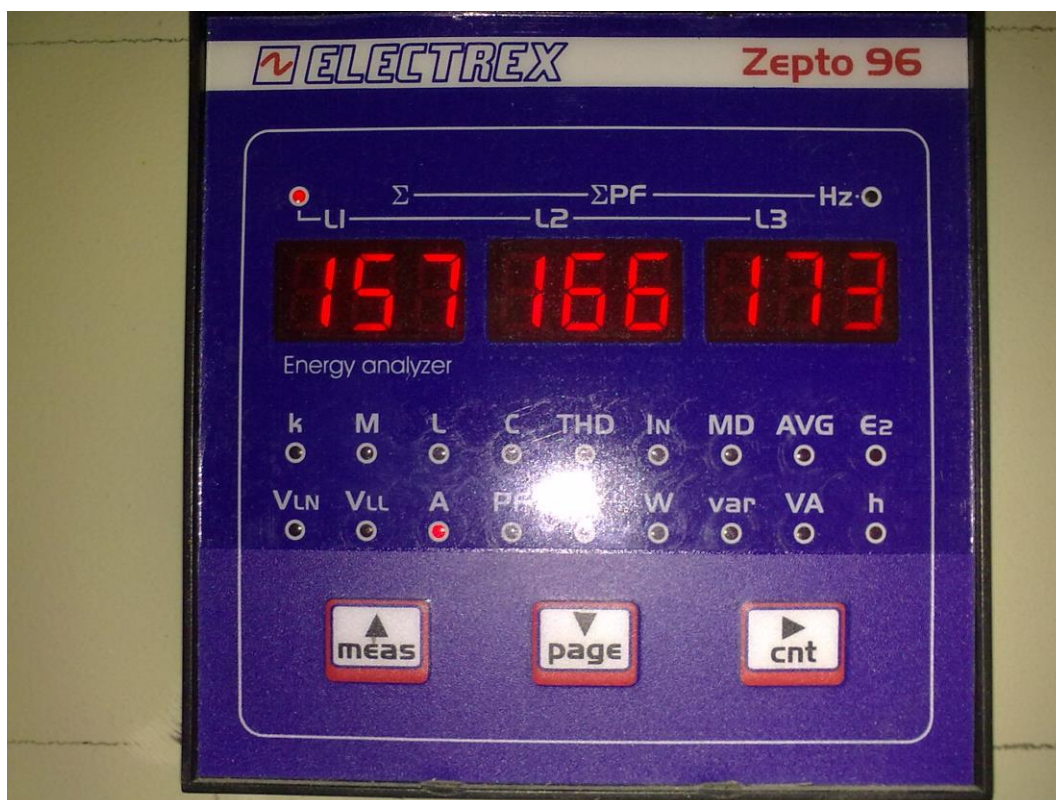
### 5.2.1.1 Μετασχηματιστές

Οι μετασχηματιστές που είναι εγκατεστημένοι στο κτήριο Επιστημών ανήκουν στην κατηγορία των μετασχηματιστών λαδιού, καθώς χρησιμοποιείται λάδι για τη ψύξη των τυλιγμάτων τους. Επίσης το λάδι λειτουργεί και ως μονωτικό. Οι μετασχηματιστές διανομής είναι τριφασικοί δηλαδή αποτελούνται από τρεις ξεχωριστούς μονοφασικούς μετασχηματιστές που συνδέονται μεταξύ τους με κατάλληλες συνδεσμολογίες. Οι μετασχηματιστές έχουν ενιαίο πυρήνα και για τις 3 φάσεις (R-S-T). Κάθε τριφασικός μετασχηματιστής του κτηρίου Επιστημών έχει ονομαστική ισχύ 1600 kVA και η λειτουργία τους είναι παράλληλη. Η τάση που έχει κάθε Μ/Σ είναι 20/0,4 kV. Αυτό σημαίνει ότι η τάση στο πρωτεύον είναι 20kV και η τάση στο δευτερεύον είναι 400V. Η συχνότητα λειτουργίας των μετασχηματιστών είναι 50 Hz.

Σε κάθε μετασχηματιστή είναι συνδεδεμένα 2 όργανα μέτρησης (παράγραφος 2.6.5), τα οποία προβάλλουν τις τιμές ηλεκτρικών μεγεθών, που με τη σειρά τους προσδιορίζουν την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου του κτηρίου Επιστημών. Αυτά τα μεγέθη είναι:

- Τάση πολική και φασική
- Ρεύμα πολικό και φασικό
- Συντελεστής ισχύος
- Συχνότητα δικτύου
- Αρμονική παραμόρφωση πολική και φασική τόσο για την τάση, όσο και για το ρεύμα
- Ενεργός, Άεργος και Φαινόμενη ισχύς
- Ενεργός, Άεργος και Φαινόμενη ενέργεια
- Χρόνος ζωής του οργάνου μέτρησης, δηλαδή οι ώρες λειτουργίας του από τη στιγμή που τέθηκε για πρώτη φορά σε λειτουργία

Τέλος έχει τη δυνατότητα να προβάλλει μέσο όρο και μέγιστη ζήτηση σε ορισμένα από τα παραπάνω μεγέθη. Για να καταλάβουμε τη μορφή των οργάνων μέτρησης και τον τρόπο παρουσίασης των μετρήσεων, παραθέτουμε δυο εικόνες από τους 2 μετρητές.



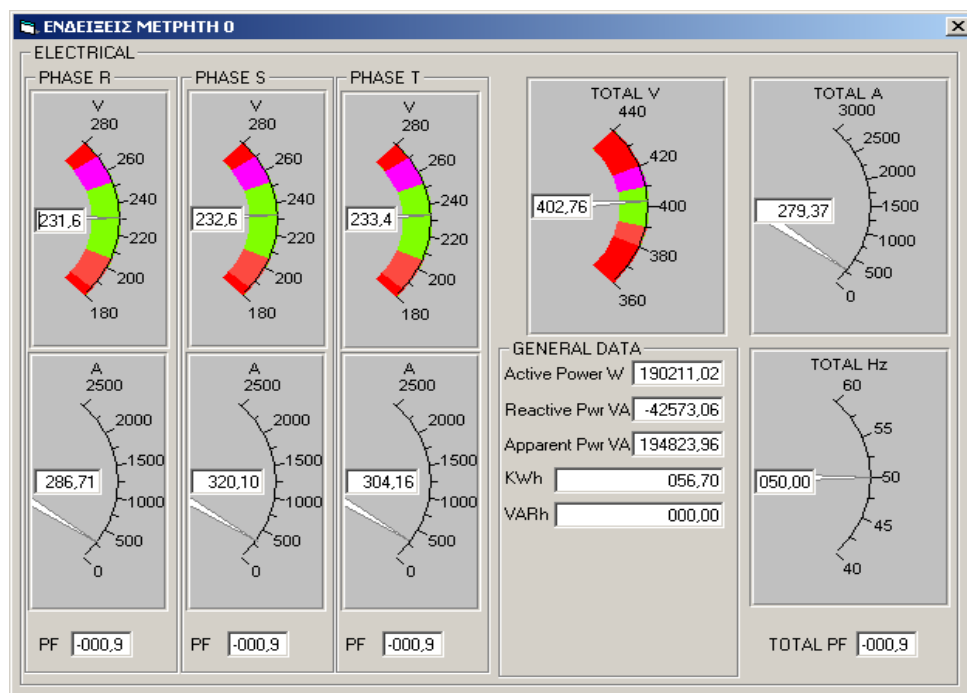
Εικόνα 24: Μετρητής Zepto 96



Εικόνα 25: Ψηφιακό Πολύμετρο EPM-05



Οι 2 μετασχηματιστές παρακολουθούνται από το BMS του κτηρίου Επιστημών. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζουμε τη κατάσταση του 1<sup>ου</sup> μετασχηματιστή όπως αυτή απεικονίζεται από το BMS του κτηρίου Επιστημών.



**Εικόνα 26: Κατάσταση 1ου μετασχηματιστή**

Επίσης αξιοποιώντας τα σχέδια του κτηρίου Επιστημών που μας παρείχε η Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου, συγκεντρώσαμε στον παρακάτω πίνακα, τις αναχωρήσεις των δυο μετασχηματιστών του κτηρίου.

Εξετάζοντας τον πίνακα, παρατηρούμε πως ο μετασχηματιστής 2, από τον οποίο πήραμε και τις μετρήσεις για την παρούσα εργασία, εξυπηρετεί κυρίως φορτία που έχουν να κάνουν με το φωτισμό (Γ.Π.Φ.). Αυτό παρατηρείται και σε διάγραμμα επόμενου κεφαλαίου (6.2.1 παρακάτω), όπου γύρω στις 19:00 ανάβουν τα εξωτερικά φώτα και παρουσιάζεται μια αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας. Εκτός το φωτισμό, σε αυτούς τους πίνακες είναι συνδεδεμένοι και οι ρευματοδότες των γραφείων και των εργαστηρίων. Σ' αυτούς μπορεί να είναι συνδεδεμένο το οτιδήποτε, όπως υπολογιστής, εργαστηριακός εξοπλισμός, UPS, φορτιστές τηλεφώνων κ.α.. Οπότε εφόσον δεν ελέγχονται από το BMS, ούτε από κάποιο άλλο μετρητή, είναι δύσκολο να γνωρίζουμε ακριβώς τι καταναλώνει το κάθε γραφείο ή γενικά ο κάθε χώρος που διαθέτει ένα ή περισσότερους ρευματοδότες.

Επιπλέον παρατηρούμε πως οι Γενικοί Πίνακες Κίνησης και Φωτισμού, 134 και 137 αντίστοιχα, είναι αρκετά φορτωμένοι. Πιο συγκεκριμένα στον Γ.Π.Κ. 134 είναι συνδεδεμένα το σύστημα πυρασφάλειας του κτηρίου Επιστημών, που περιλαμβάνει 2 μεγάλες δεξαμενές στο υπόγειο του κτηρίου, συστήματα πυρανίχνευσης και κατάσβεσης σε κάθε μέρος του κτηρίου. Στον ίδιο πίνακα συνδέεται και το σύστημα συλλογής των τοξικών αποβλήτων των εργαστηρίων, τα οποία καταλήγουν σε μια δεξαμενή ουδετεροποίησης, έπειτα τα οξέα γίνονται ουδέτερα και τέλος πέφτουν στο βιολογικό κάδο απορριμμάτων.

Ακόμη στον μετασχηματιστή 2 είναι συνδεδεμένα τα δυο PILLARS, τα οποία με τη σειρά τους δίνουν σε κλιματιστικές μονάδες(εξωτερικές μονάδες VRV) και σε ανεμιστήρες. Άλλες

εγκαταστάσεις που τροφοδοτούνται μέσω του ίδιου μετασχηματιστή είναι αντλητικά συστήματα, σύστημα πεπιεσμένου αέρα και αντλίες λυμάτων, καθώς και οι δυο Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΚΚΜ) των εξωτερικών αιθουσών που βρίσκονται στο πάρκινγκ του κτηρίου Επιστημών.

Αντίστοιχα, στο μετασχηματιστή 1 είναι συνδεδεμένοι οι δυο ψύκτες που τροφοδοτούν τις 9 Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΚΚΜ) και 100-120 fan coils , τα οποία βρίσκονται εντός του κτηρίου Επιστημών.

<i>Μετασχηματιστής 1</i>			<i>Μετασχηματιστής 2</i>		
Αναχώρηση		Ion (A)	Αναχώρηση		Ion (A)
01	Ψύκτης 1	630	01	Γ.Π.Κ 134.01	100
02	Ψύκτης 2	630	02	Γ.Π.Φ 134	40
03	Γ.Π.Κ. 137.01	100	03	Γ.Π.Φ 134Α	80
04	Γ.Π.Κ. 137.Β.01	100	04	Γ.Π.Φ 134Β	80
05	Γ.Π.Κ. 137.Β.02	250	05	Γ.Π.Φ 137	50
06	Γ.Π.Κ. 141.Β.01	250	06	Γ.Π.Φ 137Α	250
07	Γ.Π.Κ. 141.Β.02	250	07	Γ.Π.Φ 137Β	100
08	Γ.Π.Κ. 149.01	50	08	Γ.Π.Φ-ΕΞ 137	125
09	Γ.Π.Κ. 149.02	50	09	Γ.Π.Φ 141	100
10	Γ.Π.Κ. 149.Α.01	400	10	Γ.Π.Φ 141Α	125
11	Γ.Π.Κ. 149.Β.01	400	11	Γ.Π.Φ 141Β	100
12	Πυκνωτής (315 kVAr)	630	12	Γ.Π.Φ 145	63
13-14	Εφεδρεία	125	13	Γ.Π.Φ 145Α	125
15-16	Εφεδρεία	50	14	Γ.Π.Φ 145Β	125
			15	Γ.Π.Φ 149Α	50
			16	Γ.Π.Φ 149Β	50
			17	PILLAR 1	63
			18	PILLAR 2	40
			19	Πυκνωτές (315 kVAr)	630
			20-21	Εφεδρεία	125
			22-23	Εφεδρεία	50

**Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας αναχωρήσεων μετασχηματιστών κτηρίου Επιστημών**



### 5.2.1.2 Χωρητική Αντιστάθμιση

Κατά τη διάρκεια καταγραφής των μετρήσεων, παρατηρήσαμε πως οι 2 μετασχηματιστές έχουν άνισα κατανεμημένα φορτία. Πολλές φορές ο συντελεστής ισχύος παρατηρήθηκε πως ήταν χαμηλός για ένα μικρό χρονικό διάστημα και έπειτα επανερχόταν σε φυσιολογικά πλαίσια. Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος ή αλλιώς η χωρητική αντιστάθμιση, οφείλεται στους 2 πυκνωτές που έχουν τοποθετηθεί στον πίνακα χαμηλής τάσης, ένας στον κάθε μετασχηματιστή.

Οι πυκνωτές είναι Varlogic NR12, ισχύος 315 kVAr. Το συγκεκριμένο μοντέλο διαθέτει ένα καινούργιο αλγόριθμο ελέγχου, ο οποίος σχεδιάστηκε για να μειώσει τον αριθμό των μεταγωγών και γρήγορα να επιτυγχάνει τον επιθυμητό συντελεστή ισχύος.

Τέλος, αξίζει να τονίσουμε τη σημασία της χωρητικής αντιστάθμισης, γιατί ο χαμηλός συντελεστής ισχύος των επαγωγικών φορτίων, ιδιαίτερα αυτών της μέσης τάσης, επηρεάζει τη σωστή λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος ως εξής:

- Τα φορτία πρέπει να καλυφθούν υπό υψηλότερη ένταση όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του συντελεστή ισχύος
- Λόγω υψηλής έντασης, απαιτείται χρήση μεγαλύτερου μετασχηματιστή ισχύος και αγωγών μεγαλύτερης διατομής
- Συνέπεια των παραπάνω είναι η υψηλότερη χρέωση από τη ΔΕΗ

### 5.2.1.3 Συστήματα Αδιάλειπτου Ισχύος & Εφεδρική Γεννήτρια

Όπως αναφέραμε και παραπάνω ο υποσταθμός Μέσης/Χαμηλής Τάσης διαθέτει 2 συστήματα αδιάλειπτου ισχύος (UPS) των 60 KVA έκαστο και μια εφεδρική γεννήτρια(H/Z) ισχύος 500 kVA.

Τα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος χρησιμοποιούνται ως εφεδρική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση διακοπής ηλεκτροδότησης του δικτύου ΔΕΗ ή σε αυξομειώσεις της τάσης αυτής.

Η χρήση τους είναι αναγκαία διότι θέλουμε να εξασφαλίσουμε τη συνεχή λειτουργία κρίσιμων εγκαταστάσεων που δουλεύουν σε πραγματικό χρόνο και ευαίσθητων ηλεκτρονικών συσκευών (π.χ. εργαστηριακού εξοπλισμού, υπολογιστών, data center κλπ.) έναντι διακοπών ηλεκτροδότησης από την κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ). Με τη χρήση UPS το τροφοδοτούμενο φορτίο δεν θα αντιληφθεί καθόλου την διακοπή της κύριας πηγής τροφοδοσίας, σε αντίθεση με την χρήση ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους που θέλει μερικά δευτερόλεπτα μέχρι να τροφοδοτήσει το φορτίο.

Τα UPS εκτός από την ιδιότητα της εφεδρικής πηγής μας προστατεύουν από:

- Διακοπή ρεύματος (για χρόνο ανάλογα με την ικανότητα των μπαταριών που διαθέτουν)
- Σύντομη χρονικά βύθιση τάσης
- Σύντομη χρονικά αύξηση τάσης
- Χαμηλή τάση (υπόταση)

- Υψηλή τάση (υπέρταση)
- Θόρυβο Τάσης
- Μεταβολή συχνότητας τροφοδοσίας
- Φαινόμενα στιγμιαίας διακοπής τροφοδοσίας χρονικής διάρκειας nanoseconds
- Αρμονική παραμόρφωση

Τέλος, σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης από την κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ), σε πρώτη φάση ενεργούν τα UPS μέχρι να τεθεί σε λειτουργία η εφεδρική γεννήτρια και να είναι σε θέση να συνδεθεί στο δίκτυο. Όταν επιτευχθεί αυτό, κλείνει ο αυτόματος διακόπτης μεταγωγής και συνδέεται στο δίκτυο. Όπως είναι λογικό δεν μπορεί μια γεννήτρια 500 kVA να τροφοδοτήσει ολόκληρο το κτήριο Επιστημών, γι' αυτό το λόγω τροφοδοτούνται ορισμένα από τα φώτα του κτηρίου, για να παρέχεται στοιχειώδης φωτισμός καθώς επίσης τροφοδοτούνται και τα UPS, τα οποία με τη σειρά τους δίνουν ρεύμα σε ορισμένους ρευματοδότες. Αυτοί οι ρευματοδότες είναι επισημασμένοι με κόκκινο χρώμα, για να ξεχωρίζουν από τους κοινούς ρευματοδότες που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο της ΔΕΗ, και είναι τοποθετημένοι σε χώρους, όπως εργαστήρια, όπου πρέπει να υπάρχει αδιάληπτη παροχή ρεύματος σε εργαστηριακό εξοπλισμό, υπολογιστές κτλ. Εκτός των εργαστηρίων, στο κάθε αμφιθέατρο και στο καθένα από τα γραφεία των καθηγητών υπάρχει ένας τέτοιος ρευματοδότης, ώστε να καλύπτονται παρόμοιες ανάγκες.

## 5.2.2 Επιμέρους Τυπικά Φορτία

### 5.2.2.1 Φωτισμός

Όσον αφορά τον φωτισμό του κτηρίου, χρησιμοποιήσαμε τα ηλεκτρολογικά σχέδια του κτηρίου και μετρήσαμε τον αριθμό των λαμπτήρων ανά επίπεδο και περιοχή. Γνωρίζοντας δε, την ισχύ για τον εκάστοτε λαμπτήρα, υπολογίσαμε την εγκατεστημένη ισχύ ανά επίπεδο, καθώς και τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ του κτηρίου Επιστημών.

Επίπεδα	Ισχύς
Επίπεδο 137	58,616 kW
Επίπεδο 141	52,454 kW
Επίπεδο 145	53,546 kW
Επίπεδο 149	5,2 kW
Επίπεδο 152	4,312 kW
<b>Συνολική εγκατεστημένη ισχύς Κτιρίου Επιστημών</b>	<b>174,128 kW</b>

**Πίνακας 11: Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού ανά επίπεδο**

Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε τη συνολική εκτιμωμένη ζήτηση σε ενέργεια, του φωτισμού τόσο ανά αίθουσα διδασκαλίας, όσο και συνολικά για ολόκληρο το κτήριο Επιστημών, για τη χρονική περίοδο μιας τυπικής εβδομάδας (Δευτέρα - Παρασκευή), για το ακαδημαϊκό έτος 2011-2012.

Ακαδημαϊκό έτος 2011-2012	Χειμερινό Εξάμηνο	Εαρινό Εξάμηνο
Αίθουσα 137Π39	75,088	47,424
Αίθουσα 145Π42	77,376	82,368
Αίθουσα 145Π58	84,084	78,988
Αίθουσα 2041	68,208	65,856
Αίθουσα 2042	65,856	68,208
<b>Σύνολο αιθουσών διδασκαλίας</b>	<b>370,612</b>	<b>342,844</b>

**Πίνακας 12: Συνολική ζήτηση(kWh) σε ενέργεια για το φωτισμό των αιθουσών διδασκαλίας**

Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως εκτός από το φωτισμό των αιθουσών διδασκαλίας έχουμε τον κοινόχρηστο φωτισμό και το φωτισμό των γραφείων-εργαστηρίων. Για το τελευταίο αν και έχουμε στοιχεία για την εγκατεστημένη ισχύ, εξαιτίας του ότι δεν παρακολουθείται από το BMS του κτηρίου, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε πότε μπαίνει σε λειτουργία, οπότε δεν έχουμε μετρήσεις.

Στον κοινόχρηστο φωτισμό ανήκουν τα φωτιστικά σημεία που βρίσκονται στους διαδρόμους, στους χώρους στάθμευσης, εξωτερικά του κτηρίου, καθώς επίσης τα φωτιστικά σημεία νυκτός και τα εφεδρικά φωτιστικά σημεία. Τα στοιχεία που έχουμε για τον κοινόχρηστο φωτισμό είναι πως η συνολική ζήτηση σε ενέργεια ανά ημέρα, για τις καθημερινές είναι 207,273 kWh. Ενώ για το Σάββατο και τη Κυριακή η ζήτηση μειώνεται κατά 7% σε σχέση με τις καθημερινές.

### 5.2.2.2 Κλιματισμός

Το κτήριο Επιστημών διαθέτει συστήματα κλιματισμού VRV, τα οποία είναι μεταβλητού όγκου ψυκτικού μέσου για θέρμανση και ψύξη των χώρων. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει μία ή περισσότερες εξωτερικές μονάδες – αντλίες θερμότητας, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν, μέσω ενός κεντρικού δικτύου πολλαπλών σωληνώσεων, με πολλαπλές εσωτερικές μονάδες. Στο σύστημα κυκλοφορεί ψυκτικό, υπό μορφή αερίου και υγρού, το οποίο χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς θερμότητας βάσει του μικτού κύκλου του μοντέλου αντλίας θερμότητας.

Πιο συγκεκριμένα, στη δυτική πτέρυγα του κτηρίου Επιστημών, υπάρχουν 17 εξωτερικές μονάδες VRV, εκ των οποίων η μια είναι των 30.000 BTU/H και οι υπόλοιπες των 100.000 BTU/H, και στην ανατολική 15 μονάδες των 100.000 BTU/H η καθεμία.

Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου από κάθε εξωτερική μονάδα μεταφέρεται σε πολλές εσωτερικές μονάδες, οπότε συνολικά τα BTU/H των εσωτερικών μονάδων είναι λίγο περισσότερα από τα BTU/H της εξωτερικής μονάδας στην οποία αντιστοιχούν. Για παράδειγμα στο κτήριο Επιστημών μια εξωτερική μονάδα των 100.000 BTU/H αντιστοιχεί σε πολλές εσωτερικές μονάδες που έχουν σύνολο 130.000 BTU/H. Αυτό συμβαίνει για λόγους ταυτοχρονισμού, δεν πρόκειται δηλαδή ποτέ, να δουλέψουν ταυτόχρονα όλες οι εσωτερικές μονάδες, ώστε να υπερβούν τα 100.000 BTU/H. Παρακάτω παρουσιάζεται ο αριθμός των

εσωτερικών κλιματιστικών μονάδων ανά επίπεδο του κτηρίου Επιστημών, καθώς και το σύνολο των μονάδων σε BTU/H ανά επίπεδο του κτηρίου Επιστημών.

Επίπεδα	Επίπεδο 0		Επίπεδο 1		Επίπεδο 2		Σύνολο Μονάδων
Πτέρυγες	ΔΥΤ	ΑΝΑΤ	ΔΥΤ	ΑΝΑΤ	ΔΥΤ	ΑΝΑΤ	ΣΥΝΟΛΟ
Μονάδα 24000 BTU/H	-	-	-	-	22	27	49
Μονάδα 18000 BTU/H	20	13	23	23	16	8	103
Μονάδα 12000 BTU/H	7	8	6	4	-	-	25
Μονάδα 9000 BTU/H	12	8	9	8	-	-	37

**Πίνακας 13: Αριθμός εσωτερικών κλιματιστικών μονάδων ανά επίπεδο του κτηρίου Επιστημών**

Επίπεδα	Μονάδες BTU/H
Επίπεδο 0	954.000
Επίπεδο 1	1.101.000
Επίπεδο 2	1.608.000
Άθροισμα BTU/H Κτιρίου Επιστημών	3.663.000

**Πίνακας 14: Συνολικές μονάδες BTU/H ανά επίπεδο του κτηρίου Επιστημών**

Επίσης εκτός τις κλιματιστικές μονάδες VRV το κτήριο διαθέτει Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (KKM). Αυτές περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις κλιματισμού που μπορούν να καλύψουν μεγάλες απαιτήσεις (π.χ. ολόκληρου κτηρίου) και προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες, απαιτώντας όμως πολύπλοκες εσωτερικές εγκαταστάσεις.

Σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας, στο κτήριο Επιστημών της Πολυτεχνειούπολης υπάρχουν εγκαταστημένες 11 Κλιματιστικές Μονάδες για την κάλυψη των θερμικών αναγκών. Οι 7 από αυτές βρίσκονται στο πυρήνα του κτηρίου και οι 2 στις πτέρυγες. Οι ΚΚΜ 2,3 και 4 βρίσκονται στην ταράτσα του πυρήνα του κτηρίου. Οι ΚΚΜ 5,8 και 9 βρίσκονται στο ισόγειο (H/Z) και οι ΚΚΜ 6 και 7 στο υπόγειο της πτέρυγας Α και Β αντίστοιχα του κτιρίου Επιστημών. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις περιοχές που κλιματίζει κάθε ΚΚΜ.

ΚΚΜ	Περιοχή που κλιματίζουν	Ψυκτική Ικανότητα(W)	Ψυκτική Ικανότητα (BTU/hr)	Ισχύς Κινητήρα(kW)
ΚΚΜ 1	ΠΥΡΗΝΑΣ ΝΟΤΙΑ	52160	177970	1,5-4 p
ΚΚΜ 2	ΠΥΡΗΝΑΣ ΒΟΡΕΙΑ	52160	177970	1,5-4 p
ΚΚΜ 3	ΑΜΦ.145 ΝΟΤΙΑ ΠΥΡΗΝΑ	56855	193989	2,2-4 p
ΚΚΜ 4	ΑΜΦ.145 ΒΟΡΕΙΑ ΠΥΡΗΝΑ	56855	193989	2,2-4 p
ΚΚΜ 5	ΠΥΡΗΝΑΣ ΔΙΑΔΡΟΜΟΙ	56369	192331	1,5-4 p
ΚΚΜ 6	ΠΤΕΡΥΓΑ Α' (ΠΡΟΚΛΙΜ. VRV)	246726	841829	1,1-4 p
ΚΚΜ 7	ΠΤΕΡΥΓΑ Β' (ΠΡΟΚΛΙΜ. VRV)	246726	841829	1,1-4 p
ΚΚΜ 8	ΑΜΦ. ΚΕΝΤΡΙΚΟ	101050	344782	1,5-4 p
ΚΚΜ 9	ΑΜΦ. 137 ΠΥΡΗΝΑ	53909	183937	1,1-4 p
Σύνολο		922810 (922,81 kW)	3148628	13,7-36p

**Πίνακας 15: Κλιματιστικές Μονάδες κτηρίου Επιστημών και τεχνικά χαρακτηριστικά τους**

Επίσης υπάρχουν άλλες 2 κλιματιστικές μονάδες, οι οποίες βρίσκονται εξωτερικά του κτηρίου Επιστημών, στη περιοχή του parking και οι οποίες τροφοδοτούν τις δυο εξωτερικές αίθουσες διδασκαλίας(2041,2042). Οι 2 αυτές κλιματιστικές μονάδες είναι όμοιες μεταξύ τους και όπως αναφέραμε και παραπάνω τροφοδοτούνται από το μετασχηματιστή 2 και συγκεκριμένα από την αναχώρηση 137Π ΕΞ. Έχουν δε, τα τεχνικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Εξωτερικές κλιματιστικές μονάδες			
	Watt	BTU/hr	COP (Συντελεστής Απόδοσης)
<b>Θερμική Ικανότητα</b>	43600	148769	3,0625
<b>Ψυκτική Ικανότητα</b>	50180	171221	3,0601

Πίνακας 16: Εξωτερικές Κλιματιστικές Μονάδες κτηρίου Επιστημών και τεχνικά χαρακτηριστικά τους

### 5.2.2.3 Ανελκυστήρες

Το κτήριο εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει, διαθέτει και ένα μεγάλο αριθμό ανελκυστήρων, ώστε να εξυπηρετεί τον πληθυσμό που κινείται μέσα σε αυτό, σε όποιο μέρος και αν βρίσκεται. Οι ανελκυστήρες που διαθέτει το κτήριο είναι 9, εκ των οποίων οι 7 είναι μεταφοράς προσώπων και οι 2 μεταφοράς φορτίων. Οι ανελκυστήρες προσώπων είναι των 12 ατόμων και των φορτίων ικανότητας ανύψωσης μέχρι 1100 kg. Οι δυνατότητές τους παρουσιάζονται συνοπτικά και στον παρακάτω πίνακα.

Ανελκυστήρας	Kg	Ισχύς(HP)	Άτομα	Στάσεις(Επίπεδα)
No 1	900	16,09	12	Υπ, Ις, 1, 2
No 2	1100	21,45	12	Υπ, Ις, 1, 2
No 3	900	16,09	12	Ις, 1, 2
No 4	900	21,50	12	Ις, 1, 2, 3, 4
No 5	900	21,50	20	Ις, 1, 2, 3, 4
No 6	900	16,09	12	Ις, 1, 2
No 7	1100	21,45	20	Υπ, Ις, 1, 2
No 8	900	16,09	12	Υπ, Ις, 1, 2
No 9	900	16,09	12	Ις, 1

Πίνακας 17: Στοιχεία ανελκυστήρων Κτηρίου Επιστημών

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα, η συνολική ισχύς και των 9 ανελκυστήρων είναι 166,35 HP ή αλλιώς 124,05 kW. Σημαντικό μέγεθος, αν συγκρίνουμε με τον κλιματισμό, για παράδειγμα στις 3/10 όπου είχαμε ζήτηση 165 kW τις βραδινές ώρες, η οποία οφειλόταν στο ταυτόχρονο άνοιγμα και κλείσιμο των κλιματιστικών μονάδων ως μέτρο ασφαλείας για να μη μείνει κάποια μονάδα ανοιχτή κατά τις νυχτερινές ώρες. Η μοναδική περίπτωση όμως, όπου θα δούμε μια σημαντική διαφορά στην κατανάλωση ισχύος του κτηρίου Επιστημών και που θα οφείλεται αποκλειστικά στους ανελκυστήρες, θα είναι όταν τεθούν σε λειτουργία όλοι οι ανελκυστήρες ταυτόχρονα και με πλήρες φορτίο, πράγμα αρκετά σπάνιο. Γενικά ως συμπέρασμα μπορούμε να πούμε πως οι ανελκυστήρες, λόγω της μεγάλης ισχύος τους,

αποτελούν ένα αξιόλογο φορτίο κατανάλωσης και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές διακυμάνσεις ισχύος, μικρής βέβαια διάρκειας.

Επιπλέον κάποιες άλλες λεπτομέρειες που αξίζει να αναφέρουμε για τους ανελκυστήρες είναι ότι οι πόρτες των θαλαμίσκων είναι αυτόματες, συρόμενες τηλεσκοπικές, 2φυλλες ή 3φυλλες, σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, κατεβαίνουν στην προηγούμενη ή στην πρώτη επόμενη στάση και ακινητοποιούνται αυτόματα, όλοι οι θαλαμίσκοι έχουν εσωτερικό τηλέφωνο και η δε, ταχύτητά τους είναι ρυθμισμένη στα 0,63 m/s, ελεγχόμενη από inverter τοπικού, ώστε να έχουμε ομαλή εκκίνηση και σταμάτημα των θαλαμίσκων.

## Κεφάλαιο 6 – Αποτελέσματα ανάλυσης Καταναλώσεων Κτηρίου Επιστημών

Αφού υλοποιήσαμε το σύστημα που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχουμε καταγράψει καθημερινές μετρήσεις κατανάλωσης ισχύος, για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Παρακάτω παραθέτουμε συμπεράσματα που προήλθαν από την επεξεργασία των μετρήσεων καθώς και ενδεικτικά διαγράμματα ημερών που αξίζουν προσοχής, λόγω διαφοροποιήσεων που παρουσιάζουν μεταξύ τους. Αυτές οι διαφοροποιήσεις μπορεί να είναι εξαιτίας:

- περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία, συννεφιά, βροχή, κτλ.)
- του ότι είναι άδειο το κτήριο, λόγω κατάληψης
- του ότι είναι άδειο το κτήριο, λόγω του ότι δεν υπάρχει ούτε κατάληψη, ούτε έχουν ξεκινήσει τα μαθήματα (κενή εβδομάδα)
- του ότι υπάρχουν άτομα στο κτήριο, λόγω εξεταστικής περιόδου
- του ότι υπάρχουν άτομα στο κτήριο, λόγω μαθημάτων
- του ότι είναι σαββατοκύριακο (με ή χωρίς εξέταση μαθήματος το Σάββατο)

### 6.1 Ημερήσια κατανάλωση Κτηρίου Επιστημών

#### 6.1.1 Καταναλισκόμενη ενέργεια ανά ημέρα

Αρχικά, εξαγάγαμε συμπεράσματα για την ενέργεια που καταναλώνει το κτήριο και που φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 44: Διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας Κτηρίου Επιστημών Σεπτεμβρίου



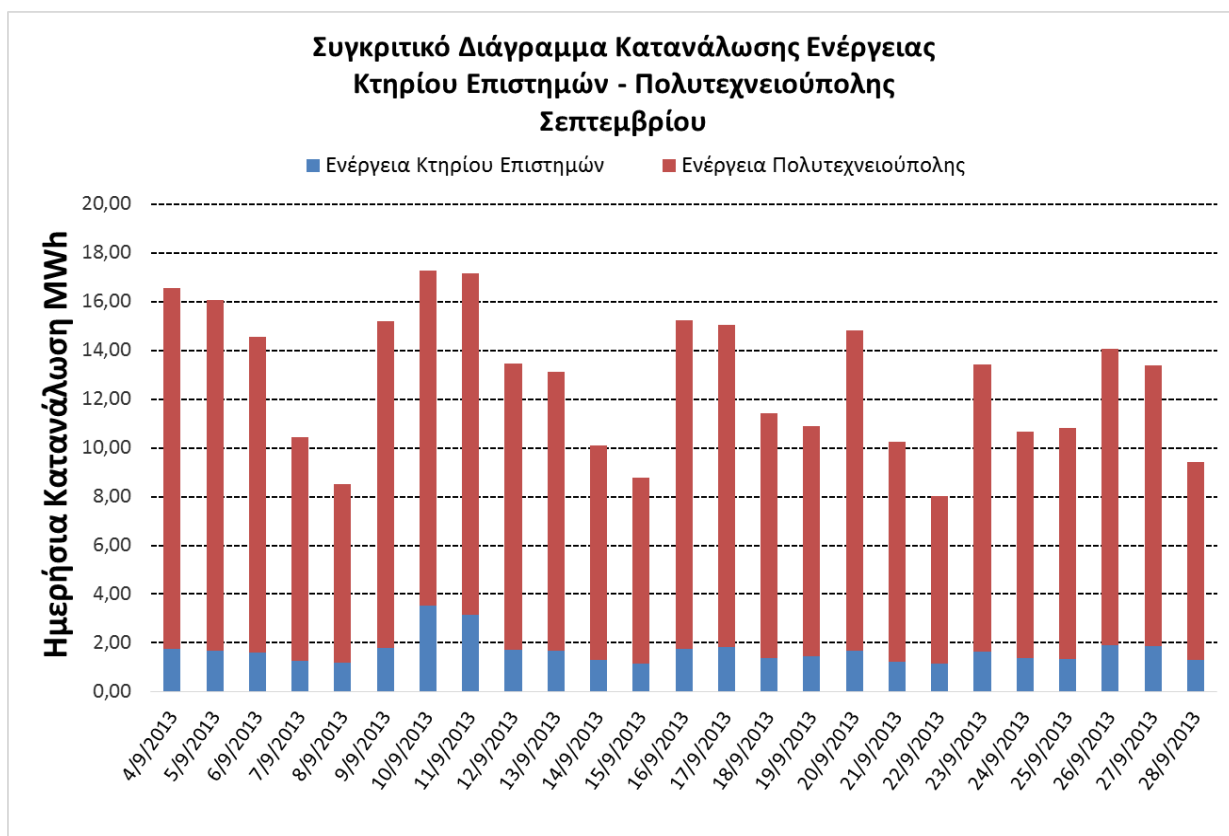


**Σχήμα 45: Διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας Κτηρίου Επιστημών Οκτωβρίου**

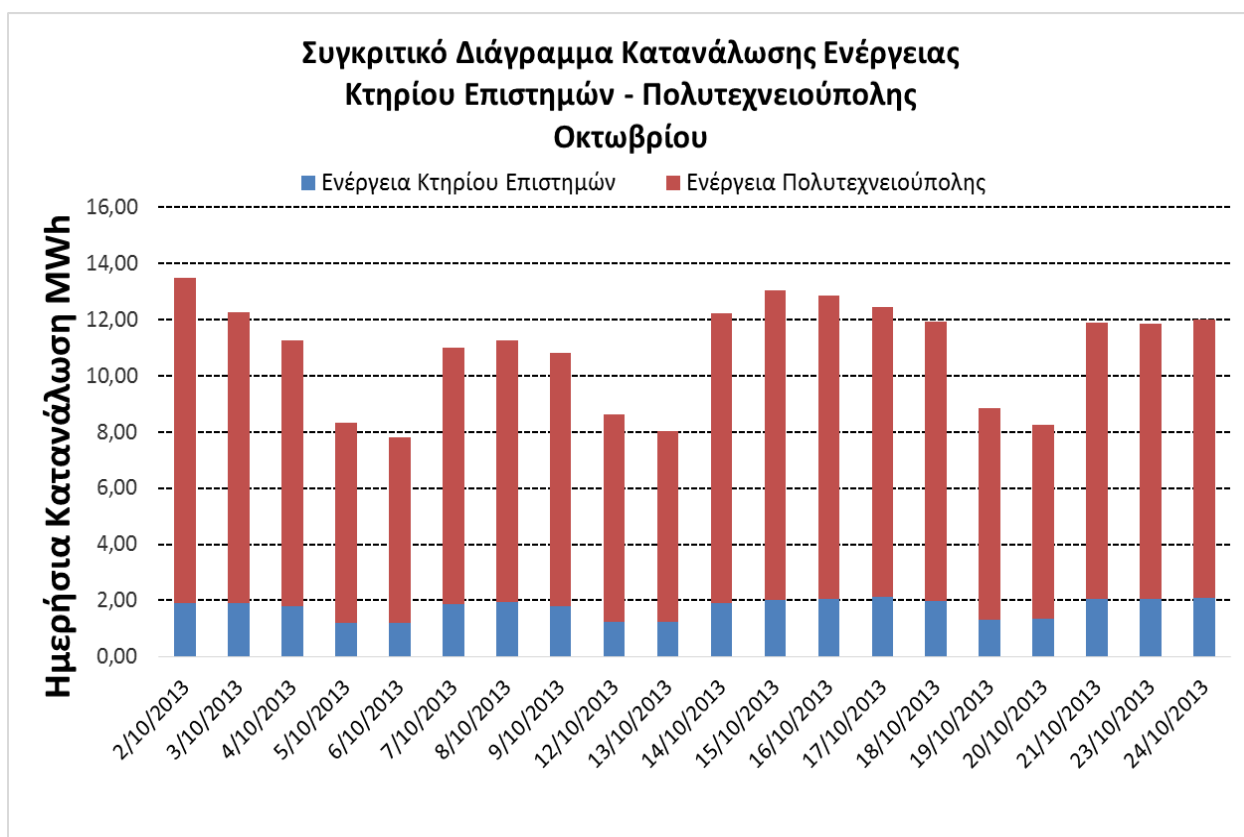
Παρατηρούμε πως η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας του Κτηρίου Επιστημών για το μήνα Σεπτέμβριο κυμαίνεται μεταξύ 1,25 – 1,75 MWh, με εξαίρεση δυο ημέρες 10/09 και 11/09 όπου έχουμε κατανάλωση ενέργειας στο κτήριο, της τάξης των 3,5 και 3,15 MWh αντίστοιχα. Επίσης αν είμαστε αρκετά προσεχτικοί μπορούμε να διακρίνουμε μια περιοδικότητα μεταξύ των Σαββατοκύριακων του μήνα(7-8/09, 14-15/09, 21-22/09). Πιο εμφανής περιοδικότητα παρουσιάζεται τον Οκτώβριο με τα Σαββατοκύριακα να είναι 5-6/10, 12-13/10 και 19-20/10. Αυτό το μήνα η ενέργεια που καταναλώνεται στο κτήριο κυμαίνεται μεταξύ 1,2 – 2,1 MWh.

#### **6.1.2 Συγκριτικά διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας Κτηρίου Επιστημών – Πολυτεχνειούπολης**

Έπειτα στο ίδιο διάγραμμα, για κάθε ένα από τους μήνες που πήραμε μετρήσεις, παρουσιάζουμε την κατανάλωση ενέργειας του Κτηρίου Επιστημών και ολόκληρης της Πολυτεχνειούπολης.



Σχήμα 46: Συγκριτικό διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας Κτηρίου Επιστημών – Πολυτεχνειούπολης για το μήνα Σεπτέμβριο



Σχήμα 47: Συγκριτικό διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας Κτηρίου Επιστημών – Πολυτεχνειούπολης για το μήνα Οκτώβριο

Με βάση τα προηγούμενα διαγράμματα, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως για το μήνα Σεπτέμβριο, το Κτήριο Επιστημών καταναλώνει συνολικά το 15% της ενέργειας που καταναλώνει ολόκληρη η Πολυτεχνειούπολη. Ενώ μεμονωμένα υπάρχουν ημέρες, όπως 4-5/9 και 10-11/9, όπου το κτήριο καταναλώνει 12% και 23-25% αντίστοιχα, της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης της Πολυτεχνειούπολης. Για το μήνα Οκτώβριο, η συνολική κατανάλωση του κτηρίου σε σχέση με τη κατανάλωση της Πολυτεχνειούπολης κυμαίνεται στο 19%. Σε αυτό το μήνα, συναντάμε ποσοστά ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου σε σχέση με του campus, από 17%-21%.

#### **6.1.2.1 Ταυτοχρονισμός**

Αφού επεξεργαστήκαμε και συγκρίναμε τις μετρήσεις για το διάστημα του Σεπτεμβρίου, συμπεράναμε πως η αιχμή της Πολυτεχνειούπολης, η οποία είναι 990,4 kW στις 04/09/2013 15:15, συμβαίνει σε διαφορετική χρονική στιγμή από τη στιγμή της αιχμής του Κτηρίου Επιστημών, η οποία είναι 254,24 kW στις 10/09/2013 11:45. Επομένως δεν υπάρχει ταυτοχρονισμός για τη μέγιστη ισχύ σε αυτό το διάστημα.

Αντίστοιχα για το διάστημα του Οκτωβρίου, συγκρίνοντας την αιχμή της Πολυτεχνειούπολης, η οποία είναι 758 kW στις 02/10/2013 13:45, με την αιχμή του Κτηρίου Επιστημών, η οποία είναι 139,05 kW στις 03/10/2013 10:49, καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως δεν υπάρχει ταυτοχρονισμός της μέγιστης ισχύος, ούτε σε αυτή την περίοδο.

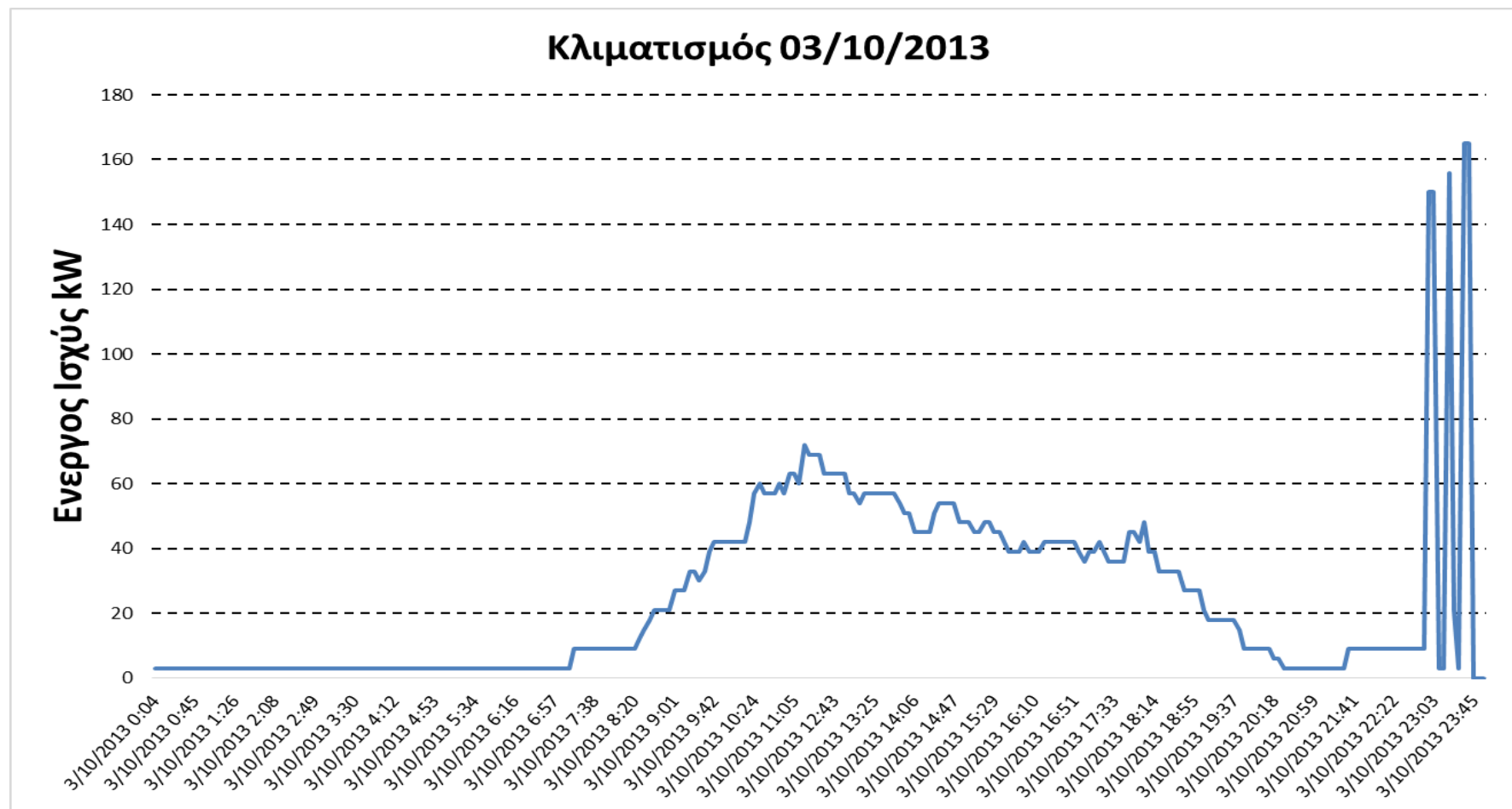
Για τον κάθε μήνα, υπολογίσαμε επιπλέον το συντελεστή ετεροχρονισμού, δηλαδή το πηλίκο της μέγιστης τιμής της ζήτησης του Κτηρίου Επιστημών προς την ισχύ του κτηρίου, τη χρονική στιγμή που η Πολυτεχνειούπολη παρουσιάζει το μέγιστό της. Επομένως, για το μήνα Σεπτέμβριο η μέγιστη τιμή της ζήτησης του κτηρίου είναι 110,46 kW και παρουσιάζεται στις 04/09, και η ισχύς του κτηρίου για τον ίδιο μήνα είναι 95,45 kW και παρουσιάζεται στις 04/09-15:21. Οπότε ο συντελεστής ετεροχρονισμού που προκύπτει με βάση το παραπάνω πηλίκο είναι 1,16. Ομοίως για τον Οκτώβριο η μέγιστη τιμή της ζήτησης του κτηρίου είναι 130,85 kW και παρουσιάζεται στις 02/10, και η ισχύς του κτηρίου για τον ίδιο μήνα είναι 107,74 kW και παρουσιάζεται στις 02/10-13:50. Οπότε ο συντελεστής ετεροχρονισμού που προκύπτει με βάση το παραπάνω πηλίκο είναι 1,21.

#### **6.1.3 Σχέση κλιματιστικού φορτίου Κτηρίου Επιστημών με κατανάλωση Πολυτεχνειούπολης**

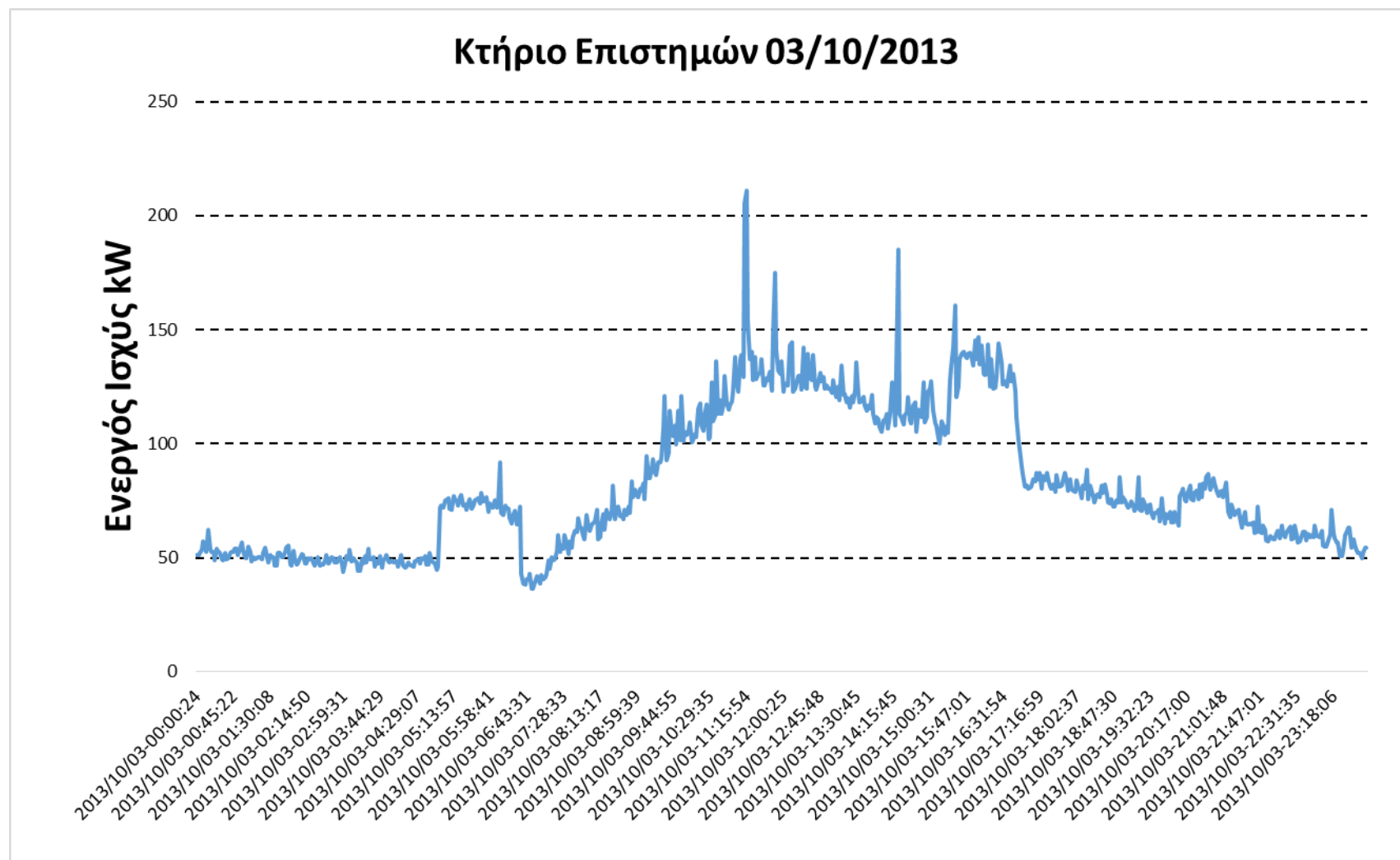
Συγκρίνοντας τις μετρήσεις που εξαγάγαμε από τα VRV κλιματιστικά του Κτηρίου Επιστημών, με τις μετρήσεις που αφορούν την κατανάλωση της Πολυτεχνειούπολης, συμπεράναμε πως ο κλιματισμός του κτηρίου κατέχει το 1,43% της συνολικής κατανάλωσης της Πολυτεχνειούπολης.

Στη συνέχεια, εξετάζοντας μια συγκεκριμένη μέρα του Οκτωβρίου (03/10), συσχετίσαμε τη μέγιστη τιμή από τις μετρήσεις του κλιματισμού, 165 kW στις 23:34 και 23:39, η οποία οφείλεται στο ταυτόχρονο άνοιγμα και κλείσιμο των κλιματιστικών μονάδων ως μέτρο ασφαλείας για να μη μείνει κάποια μονάδα ανοιχτή κατά τις νυχτερινές ώρες, τη μέγιστη τιμή από τις μετρήσεις κατανάλωσης ισχύος του Κτηρίου Επιστημών, 210838,16 W στις 11:54, και τη μέγιστη τιμή από τις μετρήσεις της κατανάλωσης ενέργειας της Πολυτεχνειούπολης, 638,6 kW στη 13:00, της μέρας εκείνης. Ο λόγος για τον οποίο έχουμε αιχμή τις συγκεκριμένες ώρες είτε στο Κτήριο Επιστημών, είτε σε ολόκληρη την Πολυτεχνειούπολη είναι ότι πιθανόν να βρίσκεται ένα μεγάλο μέρος φοιτητών στο πολυτεχνείο για μάθημα, για

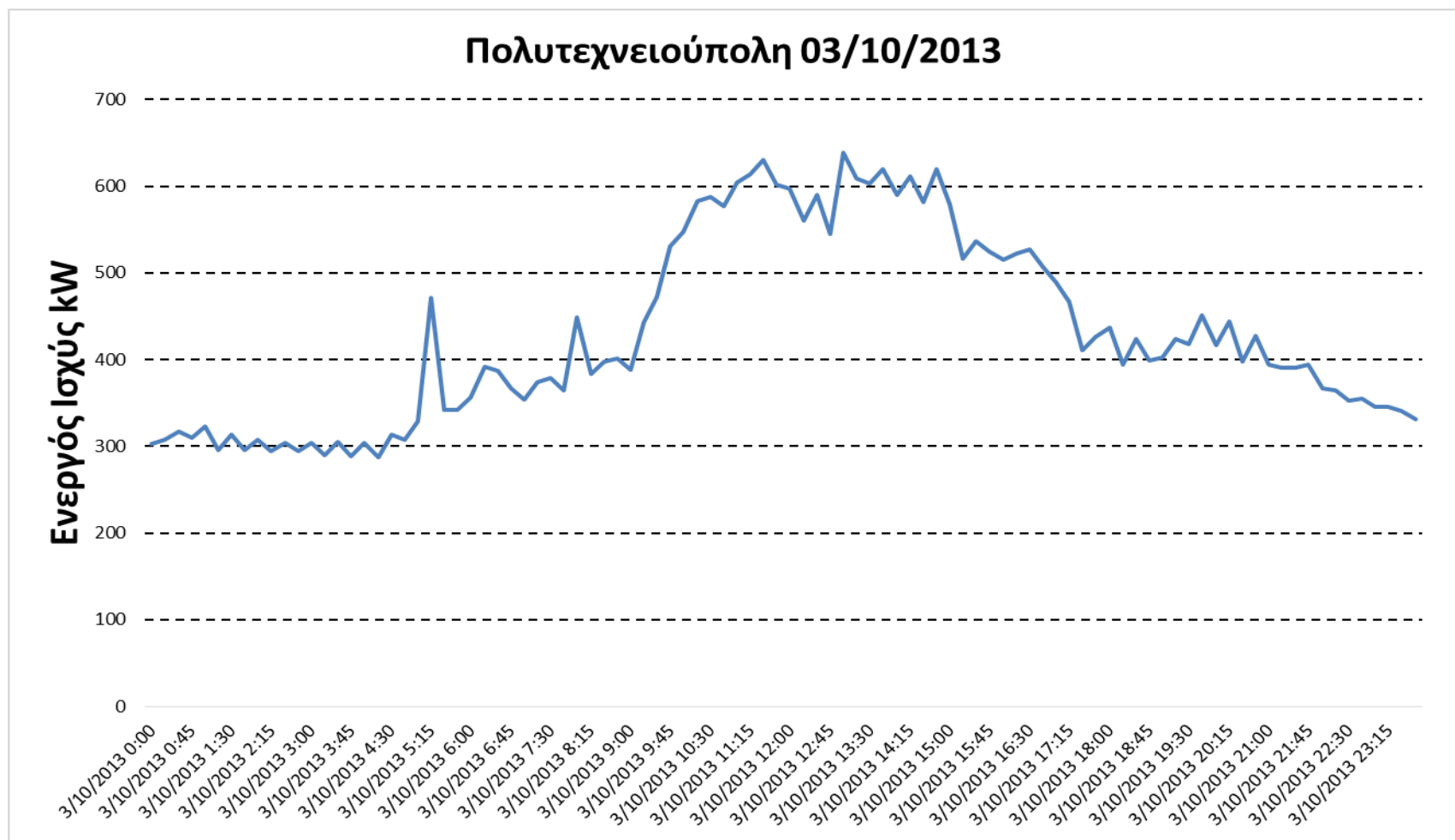
έρευνα, για τη λέσχη κτλ., καθώς επίσης εκείνη τη χρονική περίοδο της ημέρας σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Σύμφωνα με τα παραπάνω, αλλά και με βάση τα παρακάτω διαγράμματα, καταλήγουμε πως δεν υπάρχει ταυτοχρονισμός τη συγκεκριμένη μέρα.



Σχήμα 48: Διάγραμμα κλιματιστικού φορτίου Κτηρίου Επιστημών 03/10



Σχήμα 49: Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος Κτηρίου Επιστημών 03/10



Σχήμα 50: Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος Πολυτεχνειούπολης 03/10

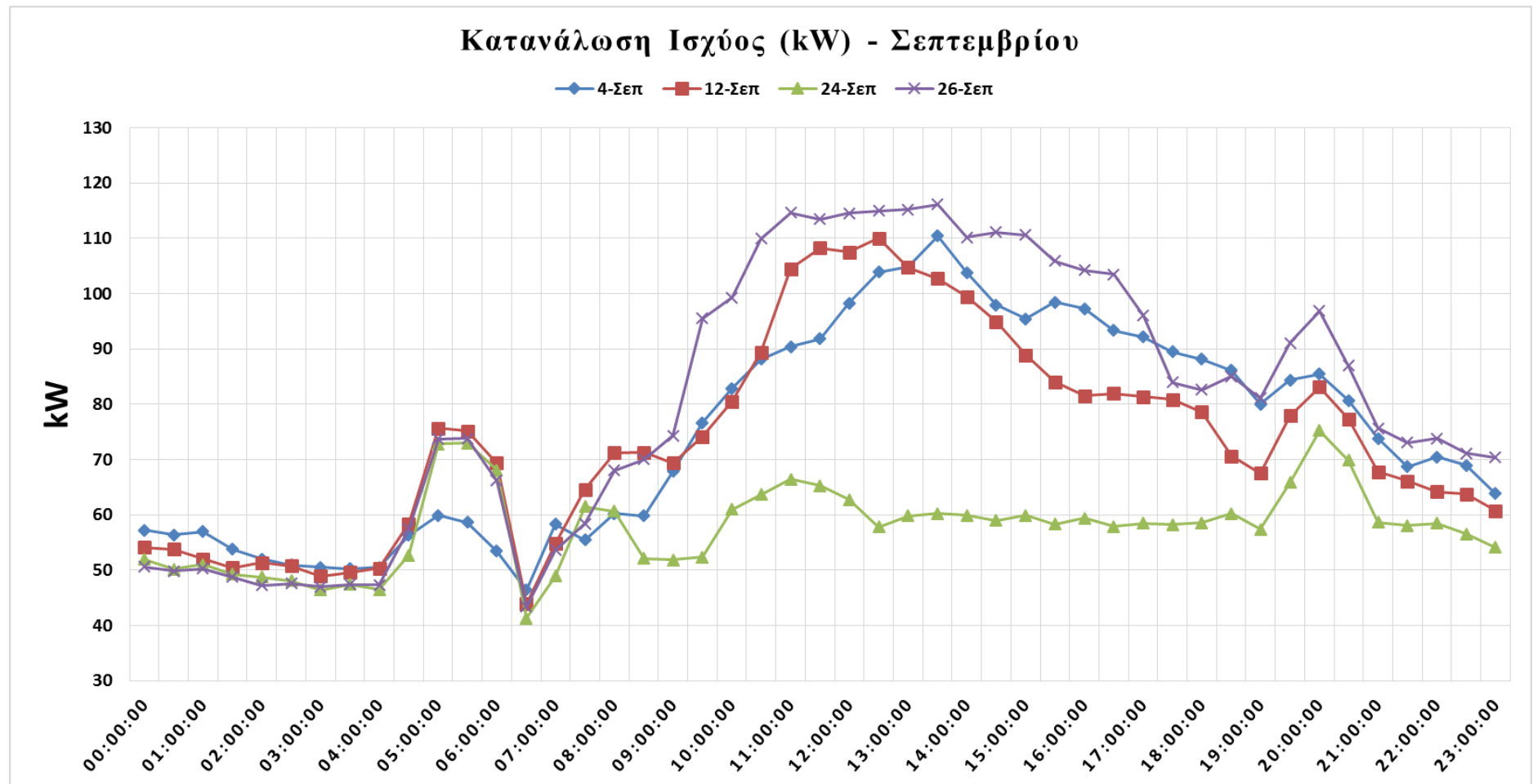
## **6.2 Τυπικά διαγράμματα κατανάλωσης ισχύος**

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται διαγράμματα που απεικονίζουν την κατανάλωση ισχύος για διάφορες περιπτώσεις ημερών, στο Κτήριο Επιστημών.

### **6.2.1 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος για καθημερινές ημέρες**

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανάλωση ισχύος για 4 ημέρες (καθημερινές) του Σεπτεμβρίου και συγκεκριμένα για τις 4, 12, 24 και 26 Σεπτεμβρη. Ο λόγος είναι για να δούμε πως συμπεριφέρεται το φορτίο του μετασχηματιστής 2, από τον οποίο παίρνουμε μετρήσεις, αντίστοιχα σε μια καθημερινή μέρα εξεταστικής, σε μια καθημερινή μέρα με υψηλή θερμοκρασία, σε μια καθημερινή μέρα που το Πολυτεχνείο Κρήτης τελούσε υπό κατάληψη και σε μια καθημερινή μέρα χωρίς εξεταστική και χωρίς μαθήματα (ημέρα κενής βδομάδας). Να σημειώσουμε πως στις 12 Σεπτεμβρίου είχαμε τη πιο θερμή μέρα του μήνα, με το θερμόμετρο να δείχνει μέση θερμοκρασία 30.4°C και μέγιστη 36.2°C στις 15:00. Για τις υπόλοιπες μέρες οι μέσες θερμοκρασίες ήταν 25.4°C για τις 4 Σεπτεμβρίου, 22.5°C για τις 24 Σεπτεμβρίου και 23.6°C για τις 26 Σεπτεμβρίου.





Σχήμα 51: Διάγραμμα Κατανάλωσης Ισχύος (kW) για 4 ημέρες (καθημερινές)

- 4 Σεπτεμβρίου – καθημερινή με εξετάσεις
- 12 Σεπτεμβρίου – καθημερινή με εξετάσεις και υψηλή θερμοκρασία
- 24 Σεπτεμβρίου – καθημερινή με κατάληψη του ιδρύματος
- 26 Σεπτεμβρίου – καθημερινή χωρίς εξετάσεις και χωρίς μαθήματα (κενή εβδομάδα)

Αρχικά, παρατηρούμε πως το φορτίο του μετασχηματιστή 2, δεν πέφτει ποτέ κάτω από τα 40 kW. Μεταξύ των ωρών 04:00 - 06:30 μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα ανακύκλωσης του αέρα στο κτήριο, γι' αυτό έχουμε και μια αύξηση στην κατανάλωση της τάξης των 25 kW περίπου, για τις τρεις από τις τέσσερις μέρες. Την ημέρα που απομένει (4 Σεπ), η αύξηση μεταξύ των ίδιων ωρών είναι της τάξης των 10 kW.

Έπειτα, από τις 06.30 μέχρι τις 14:00 περίπου, έχουμε αύξηση του φορτίου, καθώς έρχεται ολοένα και περισσότερος κόσμος στο κτήριο. Επίσης είναι σε λειτουργία ο φωτισμός στις αίθουσες, στα γραφεία των καθηγητών και στις τουαλέτες, λόγω των εξετάσεων, τα εργαστήρια λειτουργούν κανονικά και μπαίνει σε λειτουργία ο κλιματισμός ένα μέρος του οποίου, καλύπτεται από τον μετασχηματιστή 2.

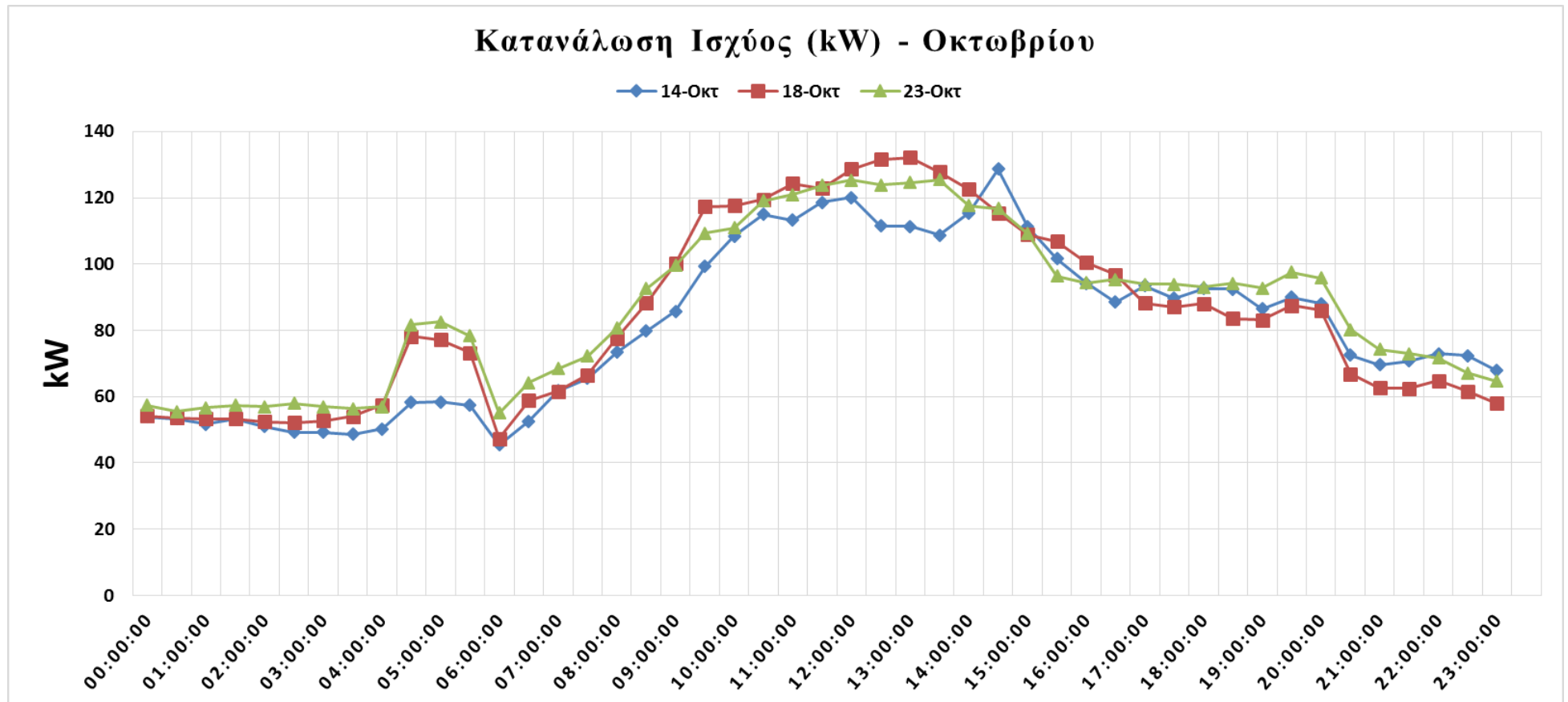
Από τις 14:00 περίπου και μετά, έχουμε πτώση της ζήτησης καθώς ο κόσμος που είχε έρθει το πρωί αποχωρεί, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χρήση του φωτισμού και του κλιματισμού. Η πτώση της κατανάλωσης διακόπτεται όπως βλέπουμε και στο παραπάνω *Διάγραμμα Κατανάλωσης Ισχύος για 4 ημέρες (καθημερινές)* από μία αιχμή στις 20:00, όπου εκείνη τη στιγμή είναι προγραμματισμένα να ανάψουν κάποια νυχτερινά φώτα.

Επιπλέον, παρατηρούμε πως η αύξηση της θερμοκρασίας, δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην αύξηση του φορτίου για το μετασχηματιστή 2, όσο ο πληθυσμός του Κτηρίου Επιστημών. Έτσι συμπεραίνουμε πως στον μετασχηματιστή 2 είναι συνδεδεμένα κατά πλειοψηφία φορτία με φωτισμό και ελάχιστα θερμικά (κλιματισμός), σε αντίθεση με τον μετασχηματιστή 1 που διαθέτει κατά πλειοψηφία θερμικά φορτία. Με βάση το τελευταίο, δικαιολογείται και το γεγονός ότι η αύξηση της θερμοκρασίας δεν επηρεάζει σημαντικά το φορτίο του μετασχηματιστή 2, αφού τα κλιματιστικά είναι συνδεδεμένα στον μετασχηματιστή 1.

Τέλος, την ημέρα της κατάληψης καταγράφεται σημαντική ζήτηση φορτίου πράγμα που προκαλεί ερωτηματικά, εφόσον δεν υπάρχει πλήθος ατόμων στο πολυτεχνείο. Εξηγείται όμως, γιατί το εργοτάξιο για την κατασκευή των 3 νέων κτηρίων K2, K3, K4 στην Πολυτεχνειούπολη, παίρνει ρεύμα από το Κτήριο Επιστημών, αφού είναι το πιο κοντινό σε αυτά κτήριο. Επίσης, έγιναν δοκιμές για τον κλιματισμό αυτών των κτηρίων, με τα κλιματιστικά να δουλεύουν στους 18°C για 2 συνεχόμενες μέρες και να καταναλώνουν 7000 kWh το κτήριο K2 (Α.Κ.Ε. 1), 7840 kWh το κτήριο K3 (Α.Κ.Ε. 2) και 6500 kWh το κτήριο K4 (Α.Κ.Ε. 3).

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανάλωση ισχύος για 3 ημέρες (καθημερινές) του Οκτωβρίου και συγκεκριμένα για τις 14, 18 και 23 Οκτώβρη. Ο λόγος, και πάλι, είναι για να δούμε πως συμπεριφέρεται το φορτίο του μετασχηματιστή 2. Να σημειώσουμε πως και οι τρεις ημέρες διακρίνονται για το κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα, ότι έχουν ξεκινήσει οι διαλέξεις των μαθημάτων κανονικά, χωρίς να έχουμε καταλήψεις, εξεταστική περίοδο κτλ. όπως τον προηγούμενο μήνα. Όσον αφορά τις θερμοκρασίες εκείνων των ημερών, στις 14 Οκτωβρίου είχαμε μέση θερμοκρασία 21.7 °C, στις 18 Οκτωβρίου είχαμε 19.8°C και στις 23 Οκτωβρίου είχαμε 19.6°C. Οι θερμοκρασίες δηλαδή, είναι πολύ κοντά, γι' αυτό και δεν

παρατηρούμε μεγάλες διαφορές στις καμπύλες του διαγράμματος. Το μόνο peak που έχουμε στις 14 Οκτωβρίου μεταξύ 14:00-15:00 δικαιολογείται αν υποθέσουμε πως μπήκαν σε λειτουργία οι λίγες κλιματιστικές μονάδες που είναι συνδεδεμένες στον μετασχηματιστή 2, και συγκεκριμένα οι κλιματιστικές μονάδες των εξωτερικών αιθουσών 2041, 2042 που βρίσκονται στο χώρο του παρκινγκ, αφού με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα στις 14:00 η θερμοκρασία είχε ανέβει αρκετά ψηλά, στους 27.3 °C. Όπως και στον Σεπτέμβριο, έτσι και στον Οκτώβριο παρατηρούμε πως το φορτίο του μετασχηματιστή 2, δεν πέφτει ποτέ κάτω από τα 40 kW. Μεταξύ των ωρών 04:00 - 06:30 μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα ανακύκλωσης του αέρα στο κτήριο, γι' αυτό έχουμε και μια αύξηση στην κατανάλωση της τάξης των 30 kW περίπου, για τις δυο από τις τρεις μέρες. Την ημέρα που απομένει (14 Οκτ), η αύξηση μεταξύ των ίδιων ωρών είναι της τάξης των 10 kW. Οι καμπύλες στις υπόλοιπες ώρες των ημερών, από 6:30 και μετά, ακολουθούν παρόμοιο μοτίβο με αυτό των καμπυλών του Σεπτεμβρίου.



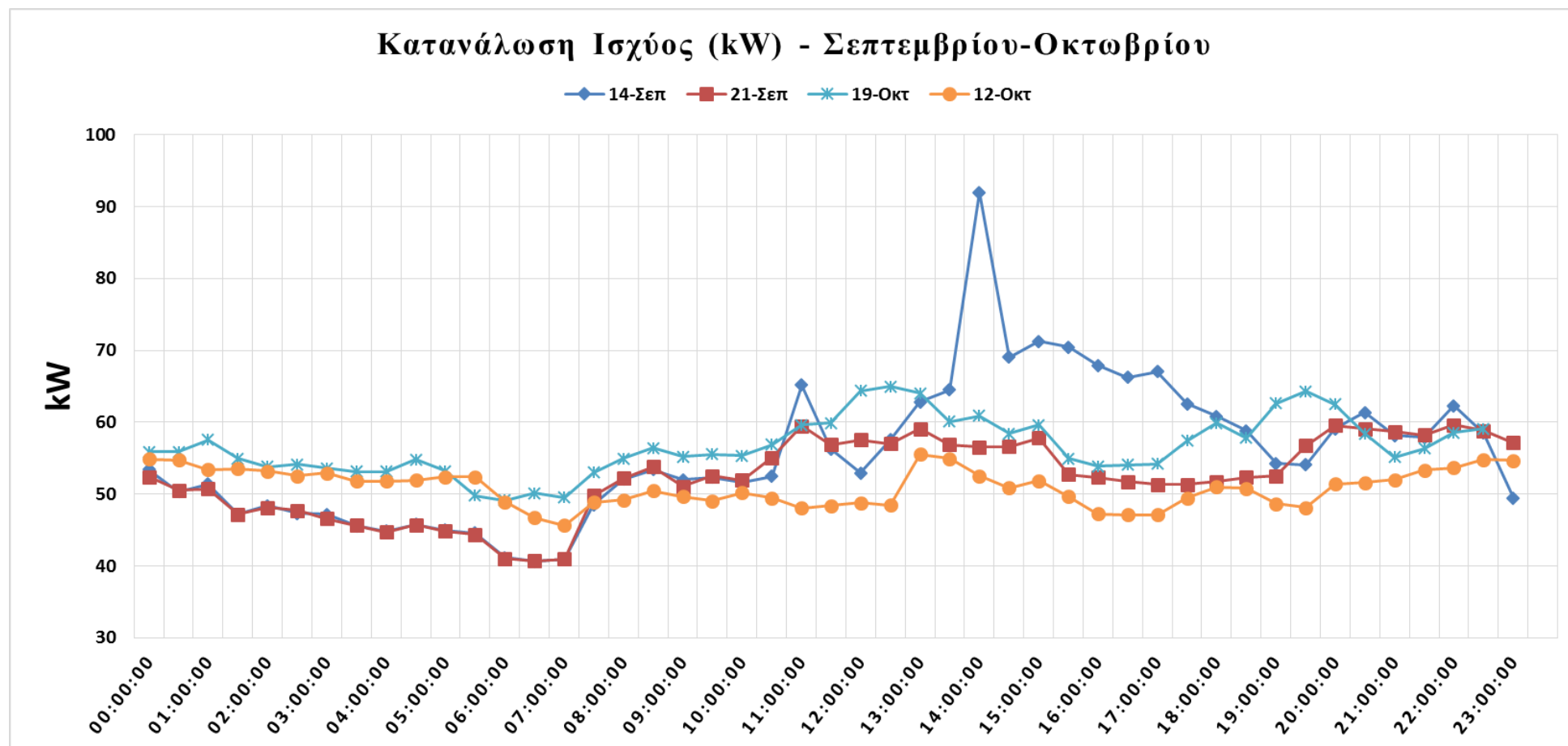
Σχήμα 52: Διάγραμμα Κατανάλωσης Ισχύος (kW) για 3 ημέρες (καθημερινές)

### 6.2.2 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος για Σάββατα

Εδώ παρουσιάζεται ένα συγκριτικό διάγραμμα της κατανάλωσης ισχύος για τέσσερα Σάββατα της περιόδου Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο Σάββατο του Σεπτεμβρίου(14 Σεπτέμβρη) υπήρχαν μαθήματα προς εξέταση, λόγω εξεταστικής περιόδου, σε αντίθεση με το δεύτερο(21 Σεπτέμβρη) που ήταν ένα κανονικό Σάββατο, χωρίς εξεταστική περίοδο ή αναπλήρωση κάποιου μαθήματος, εργαστηρίου κτλ. Ομοίως και τα δυο Σάββατα του Οκτωβρίου χαρακτηρίζονται ως κανονικά.

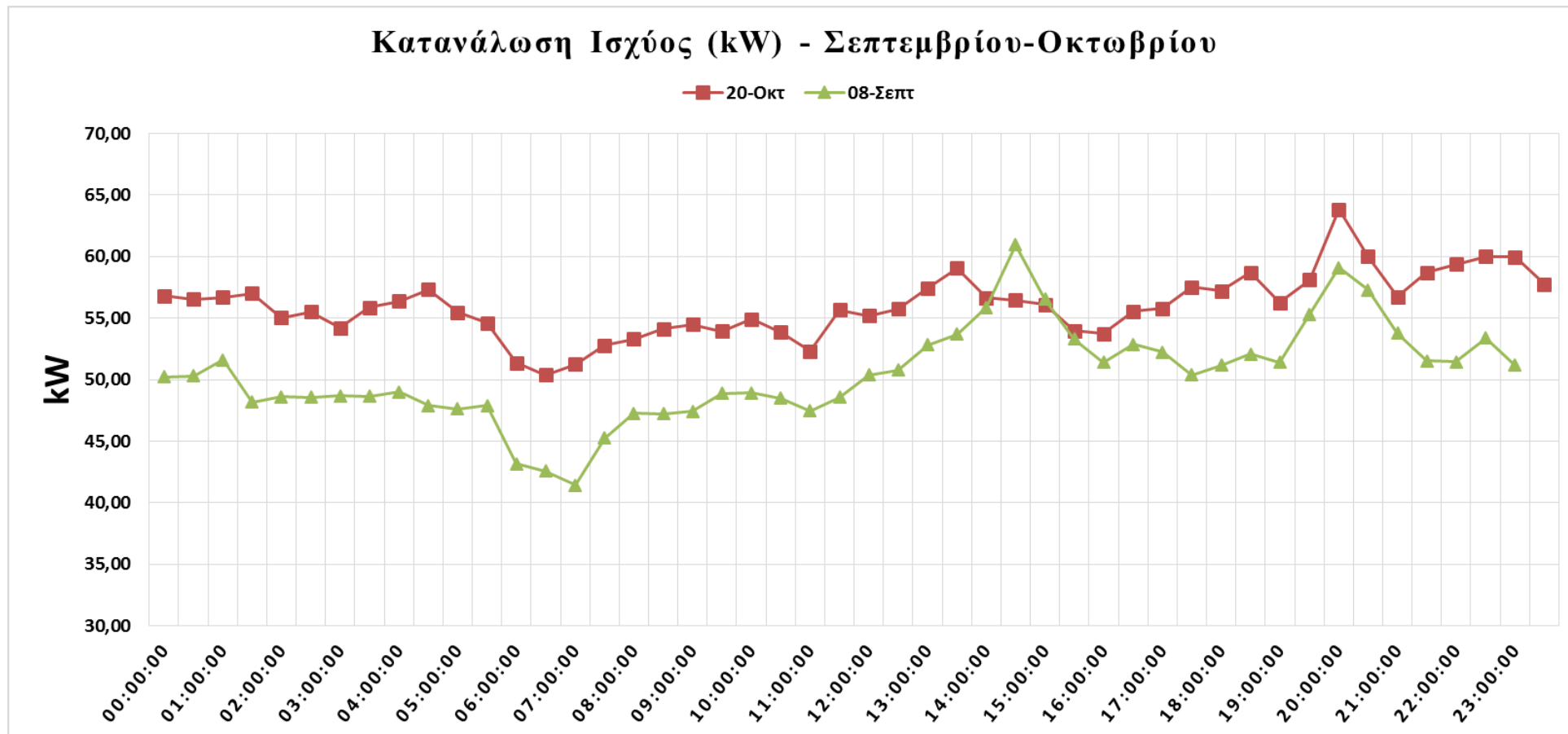
- 14 Σεπτεμβρίου – Σάββατο με εξετάσεις
- 21 Σεπτεμβρίου – Σάββατο χωρίς εξετάσεις και αναπληρώσεις μαθημάτων, εργαστηρίων κτλ.
- 12 και 19 Οκτωβρίου – Σάββατα χωρίς εξετάσεις και αναπληρώσεις μαθημάτων, εργαστηρίων κτλ.

Όπως είναι φυσιολογικό, το Σάββατο που υπήρχαν εξετάσεις μαθημάτων, παρατηρούμε μια απότομη κατανάλωση ισχύος – ένα spike – σε δυο χρονικές στιγμές. Πρώτα γύρω στις 11:00, όπου τότε ξεκινάει η πρώτη βάρδια των εξετάσεων και έπειτα γύρω στις 14:00, όπου ξεκινάει η δεύτερη βάρδια. Και οι δυο μέρες παρουσίασαν τη μέγιστη θερμοκρασία τους σχεδόν την ίδια χρονική στιγμή. Στις 14 η θερμοκρασία έφτασε τους 30.9°C στη 13:30 και στις 21 Σεπτεμβρίου έφτασε τους 30.2°C στις 14:00. Το ίδιο γεγονός συνέβη και στα Σάββατα του Οκτωβρίου. Δηλαδή στις 12 Οκτωβρίου η μέγιστη θερμοκρασία, 31.1 °C, παρουσιάστηκε στις 11:50 και στις 19 Οκτωβρίου η μέγιστη θερμοκρασία, 25.1 °C, παρουσιάστηκε στις 12:00. Επομένως συμπεραίνουμε πως πάλι ο παράγοντας του πληθυσμού εντός του κτηρίου, παίζει σημαντικό ρόλο, γιατί χρησιμοποιείται ο φωτισμός κατά τη διάρκεια των εξετάσεων, αφού οι αίθουσες του Κτηρίου Επιστημών δεν διαθέτουν φυσικό φωτισμό και παράλληλα χρησιμοποιείται αν όχι ο κλιματισμός, η ανακύκλωση του αέρα, γιατί οι αίθουσες δεν διαθέτουν παράθυρα



Σχήμα 53: Διάγραμμα Κατανάλωσης Ισχύος (kW) για 4 ημέρες (Σάββατα)

### 6.2.3 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος για Κυριακή

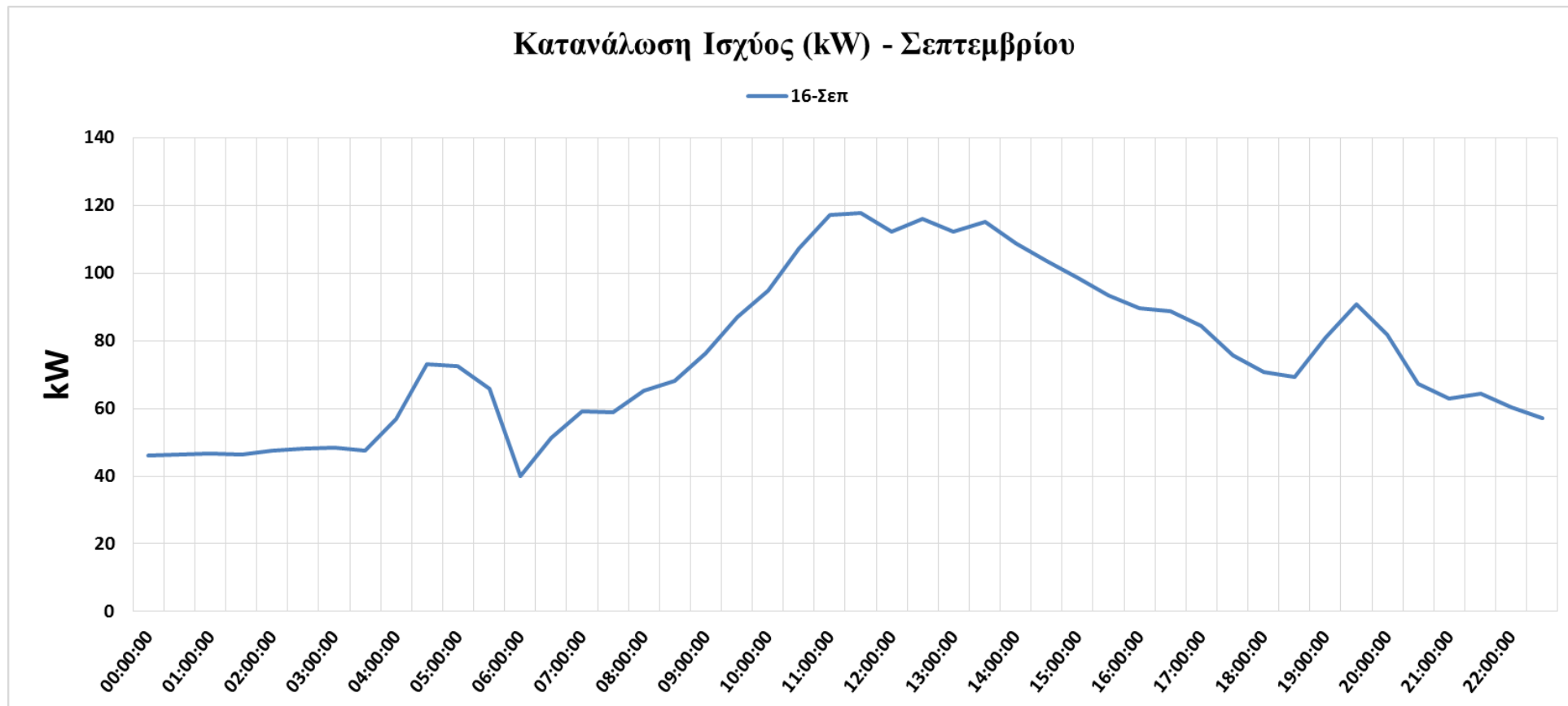


Σχήμα 54: Διάγραμμα Κατανάλωσης Ισχύος (kW) για 2 ημέρες (Κυριακές)

Τις Κυριακές το Ίδρυμα παραμένει κλειστό και ως εκ τούτου το φορτίο του μετασχηματιστή 2, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες μεταβολές. Μπορούμε να πούμε, για τις 8 Σεπτεμβρίου, πως είναι σχετικά σταθερό γύρω από τα 50 kW με κάποιες διακυμάνσεις μεταξύ 40-60 kW. Αυτό οφείλεται σε κάποια συστήματα είτε του κτηρίου αυτού καθεαυτού, είτε κάποιων εργαστηρίων, που πρέπει να λειτουργούν αδιάκοπα, όπως αντλητικά συστήματα, πεπιεσμένος αέρας, αντλίες λυμάτων κτλ. Ομοίως, στις 20 Οκτωβρίου, η κατανάλωση κυμαίνεται γύρω στα 55 kW, με κάποιες διακυμάνσεις μεταξύ 50-65 kW.



#### 6.2.4 Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος καθημερινής με βροχή



Σχήμα 55: Διάγραμμα Κατανάλωσης Ισχύος (kW) για 1 ημέρα (με βροχή)

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει μια δικαιολογημένη αύξηση της κατανάλωσης, αφού τη συγκεκριμένη ημέρα, υπήρχε αρκετή συννεφιά και βροχή. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα ακόμα και οι αίθουσες και τα γραφεία που διαθέτουν φυσικό φωτισμό, να χρησιμοποιήσουν περισσότερο ηλεκτρικό φωτισμό. Σε σύγκριση με τα προηγούμενα σχήματα βλέπουμε πως τα 2 spikes, 04:00-06:30 και γύρω από τις 20:00 συνεχίζουν να υπάρχουν.

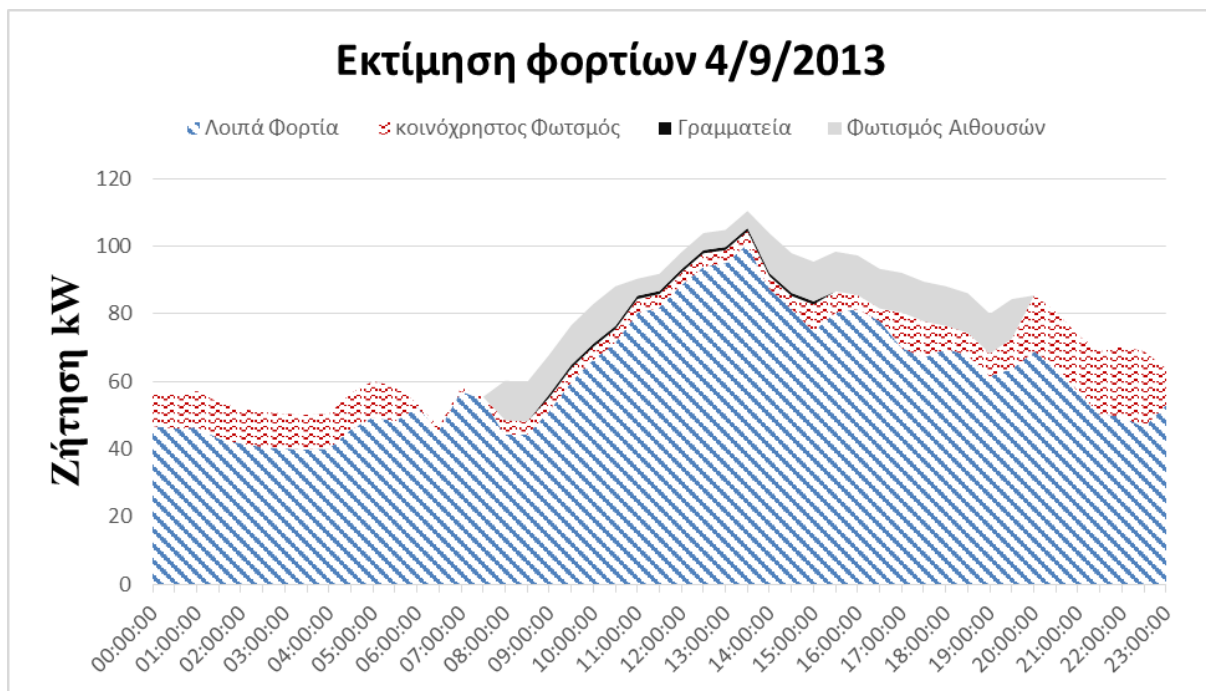
### 6.3 Κατανομή της ζήτησης σε τελικές χρήσεις

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκαν διαγράμματα που απεικονίζουν την κατανάλωση ισχύος για διαφορετικές περιπτώσεις ημερών, στο Κτήριο Επιστημών. Σε αυτή την παράγραφο, θα παρουσιάσουμε μια προσπάθεια για κατανομή της ισχύος σε τελικές χρήσεις που καταναλώθηκε την εκάστοτε αντιπροσωπευτική μέρα που εξετάσαμε στην παράγραφο.

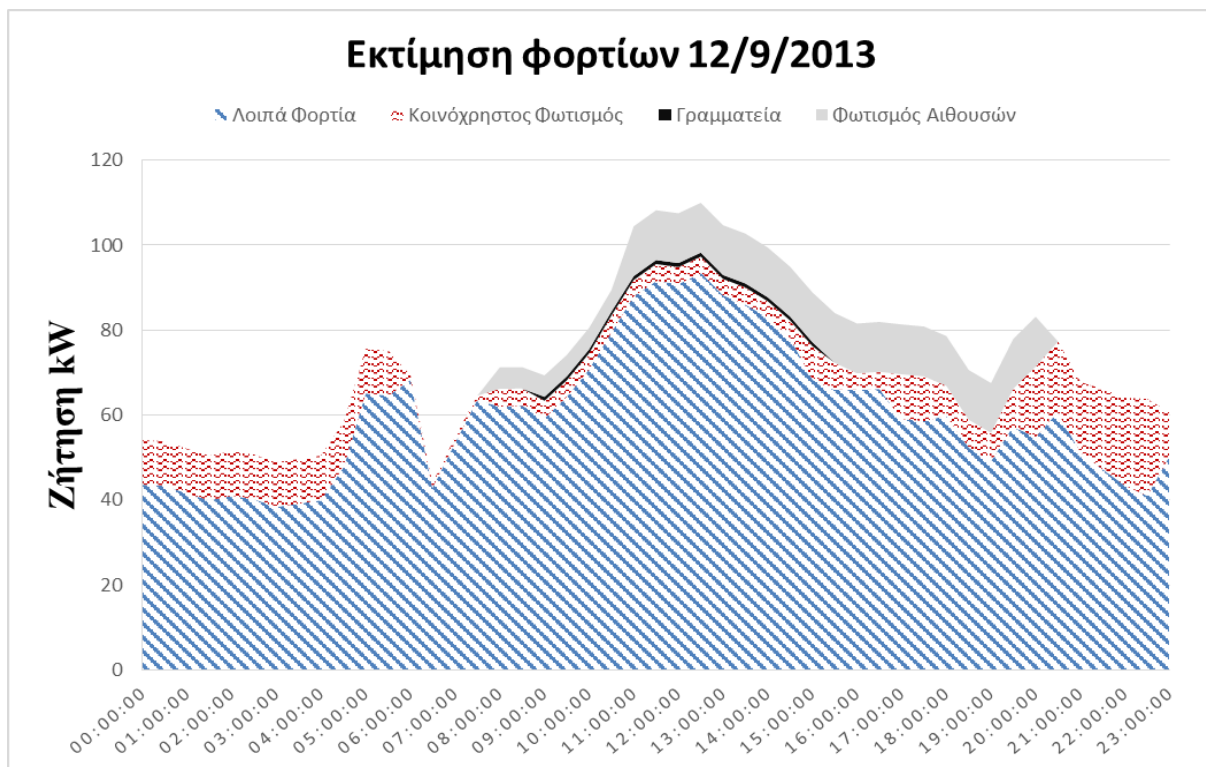
Προτού παραθέσουμε τα αποτελέσματα, είναι σημαντικό να αναφερθούμε στη διαδικασία εξαγωγής των καμπυλών για την εκτίμηση των φορτίων. Αρχικά, εμείς είχαμε καταγράψει καταναλώσεις για το Κτήριο Επιστημών, αλλά δε γνωρίζαμε τι ποσοστό καταναλώνει το κάθε φορτίο. Για τα μοναδικά φορτία που είχαμε γνώση της εγκατεστημένης ισχύος, λόγω του ότι είχε γίνει αντικείμενο έρευνας σε μια προηγούμενη διπλωματική εργασία του συμφοιτητή Άκη Βαβουρανάκη [9] και στα οποία στηριχθήκαμε στο συγκεκριμένο κομμάτι, ήταν για τον κοινόχρηστο φωτισμό, για το φωτισμό των αιθουσών και για τη γραμματεία του Κτηρίου Επιστημών. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιήσαμε τη μεθοδολογία που είχε χρησιμοποιηθεί στην προαναφερθείσα διπλωματική ως εξής:

- χρησιμοποιώντας το ωρολόγιο πρόγραμμα αιθουσών για το μήνα Σεπτέμβριο, εξαγάγαμε τις ώρες λειτουργίας των αιθουσών, για τις συγκεκριμένες ημέρες που επιθυμούσαμε να εξετάσουμε
- γνωρίζοντας την εγκατεστημένη ισχύ, υπολογίσαμε την ισχύ που καταναλώθηκε από τις αίθουσες διδασκαλίας, για τις συγκεκριμένες ημέρες που επιθυμούσαμε να εξετάσουμε
- έπειτα υπολογίσαμε την ημερήσια κατανάλωση ισχύος για τον κοινόχρηστο φωτισμό και τη γραμματεία, μια διαδικασία που ήταν πιο τετριμμένη διότι οι ώρες λειτουργίας της γραμματείας είναι καθορισμένες, όπως επίσης και του κοινόχρηστου φωτισμού είναι καθορισμένες λόγω του ότι τα φώτα ανάβουν και σβήνουν συγκεκριμένες ώρες με χρονοδιακόπτη. Ο μόνος απρόβλεπτος παράγοντας, αλλά όχι τόσο σημαντικός, γι' αυτό και δεν το λάβαμε υπόψη μας, ήταν η περίπτωση να ανάψει κάποιος τα φώτα κάποιου διαδρόμου, τα οποία βέβαια μετά από λίγα δευτερόλεπτα σβήνουν.
- Τέλος, στο γράφημα με τις καταναλώσεις του Κτηρίου Επιστημών, της κάθε ημέρας που εξετάσαμε, αποτυπώσαμε το φορτίο του κοινόχρηστου φωτισμού, της γραμματείας και του φωτισμού των αιθουσών. Το κομμάτι του γραφήματος που περίσσευε χαρακτηρίστηκε ως λοιπά φορτία, όπου περιλαμβάνει αντλίες, ένα μικρό κομμάτι του κλιματιστικού φορτίου, κινητήρες για τον εξαερισμό του κτηρίου κ.α.

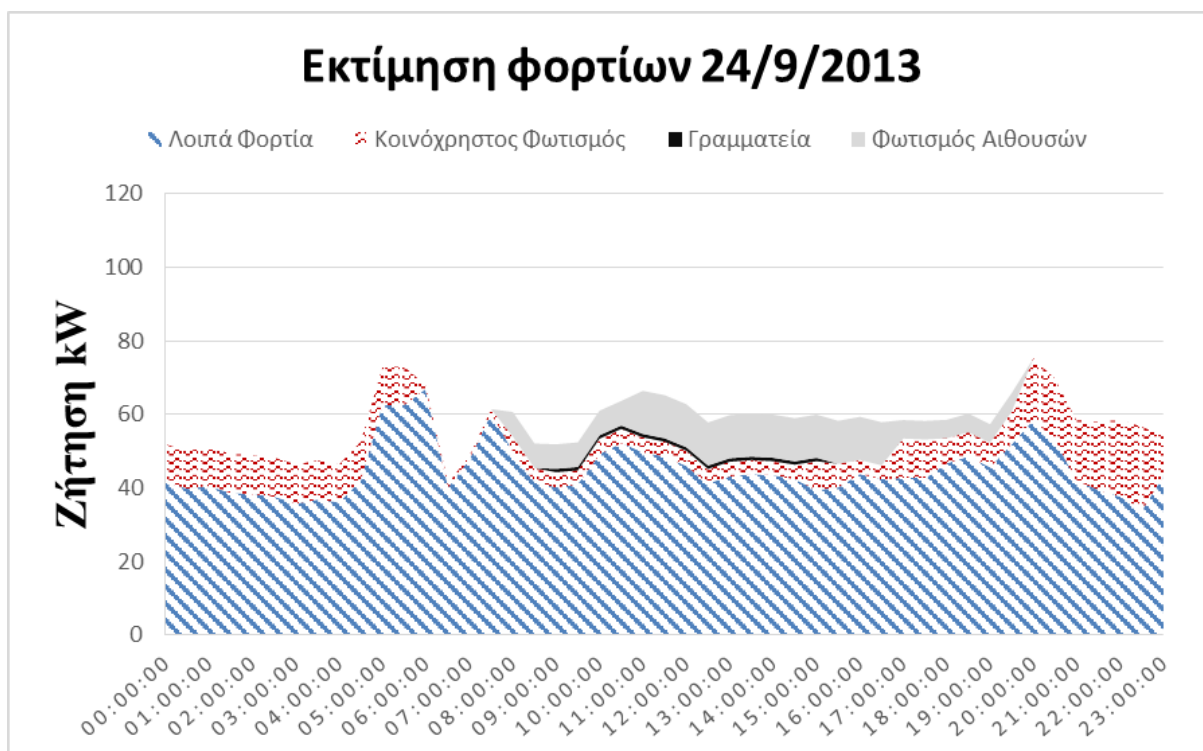
Αξιοποιώντας όλα τα παραπάνω, για να εκτιμήσουμε το φορτίο του μετασχηματιστή 2, από τον οποίο πήραμε μετρήσεις, σε τέσσερις διαφορετικές καθημερινές μέρες, παρουσιάζουμε τα παρακάτω διαγράμματα.



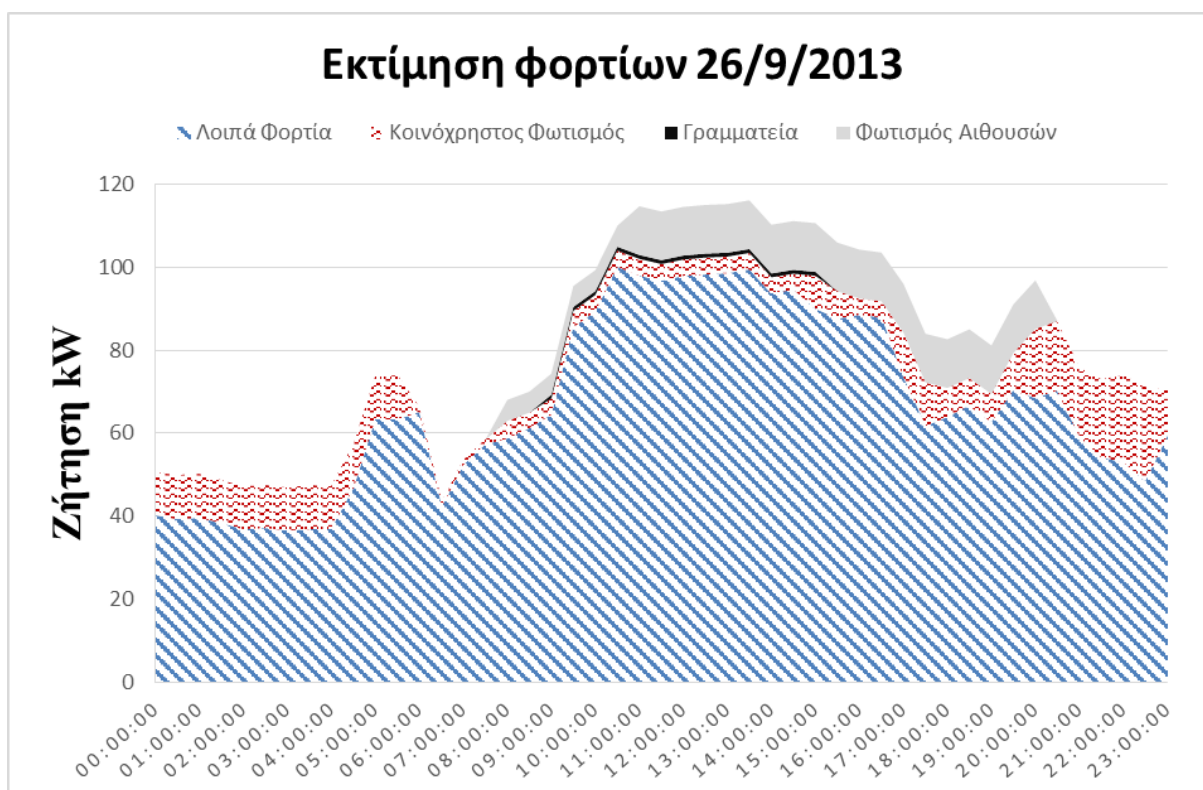
Σχήμα 56: Διάγραμμα εκτίμησης φορτίων για 4 Σεπτεμβρίου



Σχήμα 57: Διάγραμμα εκτίμησης φορτίων για 12 Σεπτεμβρίου



Σχήμα 58: Διάγραμμα εκτίμησης φορτίων για 24 Σεπτεμβρίου



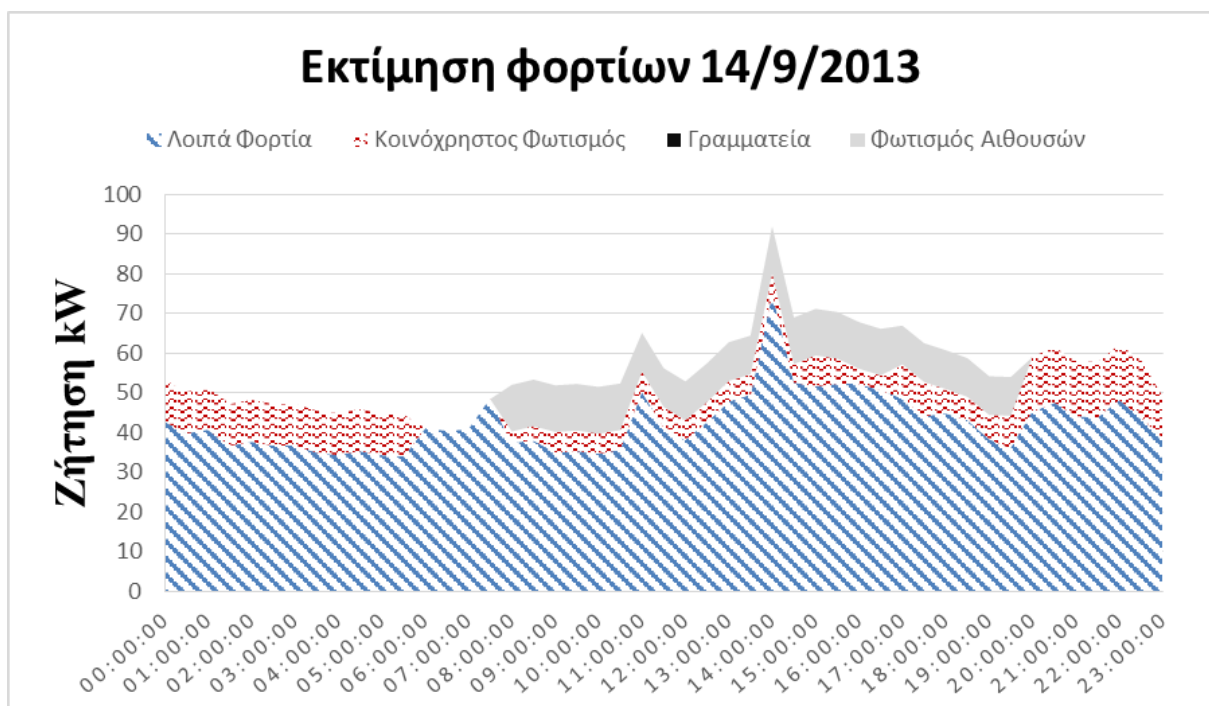
Σχήμα 59: Διάγραμμα εκτίμησης φορτίων για 26 Σεπτεμβρίου

Η καθεμία από τις τέσσερις παραπάνω μέρες, χαρακτηριζόταν με ένα διαφορετικό συμβάν που υπενθυμίζεται σε αυτό το σημείο:

- 4 Σεπτεμβρίου – καθημερινή με εξετάσεις
- 12 Σεπτεμβρίου – καθημερινή με εξετάσεις και υψηλή θερμοκρασία
- 24 Σεπτεμβρίου – καθημερινή με κατάληψη του ιδρύματος
- 26 Σεπτεμβρίου – καθημερινή χωρίς εξετάσεις και χωρίς μαθήματα (κενή εβδομάδα)

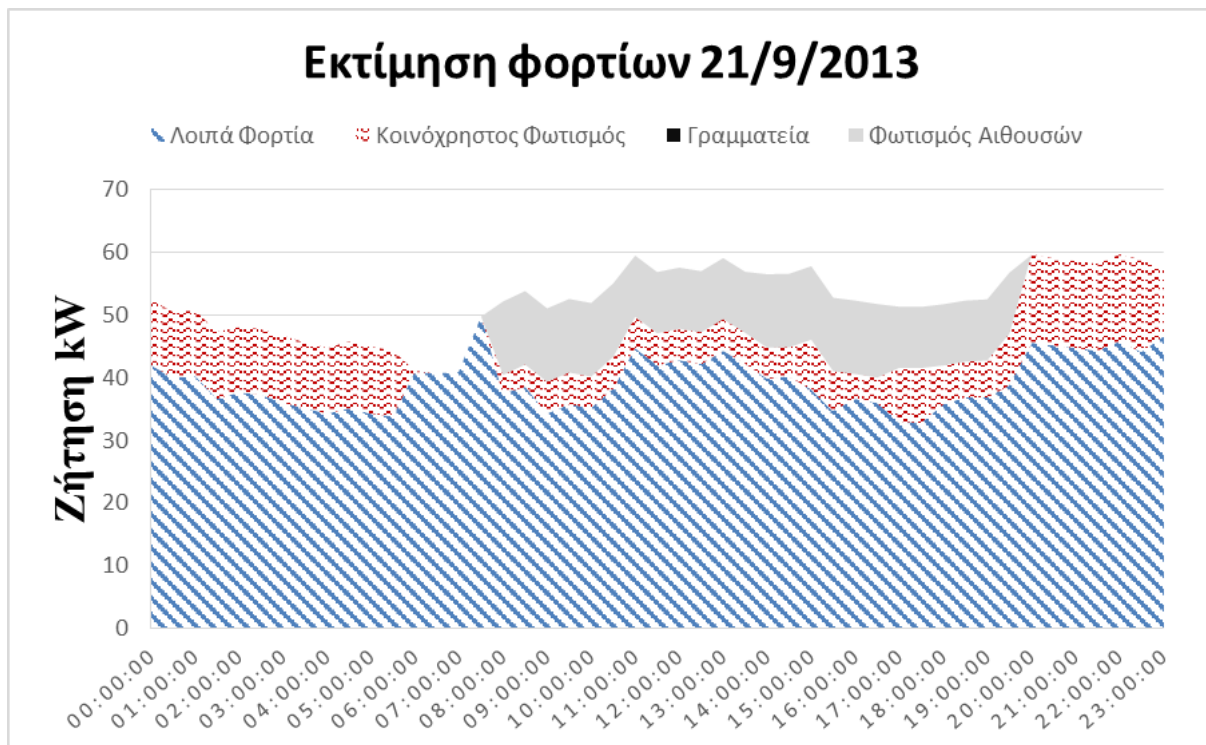
Παρατηρούμε πως οι περισσότερες μέρες παρουσιάζουν ένα κοινό μοτίβο στην κατανομή της ζήτησης. Δηλαδή τα λοιπά φορτία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης, ο κοινόχρηστος φωτισμός παρουσιάζει μεγαλύτερη ζήτηση μεταξύ των βραδινών ωρών δηλαδή από 19:00-06:00, η γραμματεία παρουσιάζει ζήτηση μεταξύ 08:00-15:00 και τέλος μεγαλύτερη ζήτηση για το φωτισμό των αιθουσών παρατηρείται μεταξύ 08:00-20:00. Η μοναδική μέρα που διαφέρει σε σχέση με τις υπόλοιπες είναι η μέρα της κατάληψης, 24/9, όπου και πάλι ακολουθείται το μοτίβο της ζήτησης που αναλύσαμε προηγουμένως, με τη διαφορά ότι τα λοιπά φορτία που περιλαμβάνουν κλιματισμό, τροφοδοσία εργαστηρίων, ανελκυστήρες, συστήματα εξαερισμού κ.α., έχουν αισθητά μειωμένη ζήτηση, εξαιτίας του ότι δεν λειτουργεί το Κτήριο Επιστημών, σε αντίθεση με τον κοινόχρηστο φωτισμό όπου παρουσιάζει μια αύξηση μεταξύ 08:00-19:00. Η δε γραμματεία, αν και δε διεξάγονταν μαθήματα, λειτούργησε γιατί παρουσίασε την ίδια ζήτηση σε σχέση με τις υπόλοιπες μέρες.

Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε δυο διαγράμματα που θα βοηθήσουν στη μελέτη της κατανομής της ζήτησης, σε δυο συγκεκριμένα Σάββατα του Σεπτεμβρίου.



Σχήμα 60: Διάγραμμα εκτίμησης φορτίων για 14 Σεπτεμβρίου



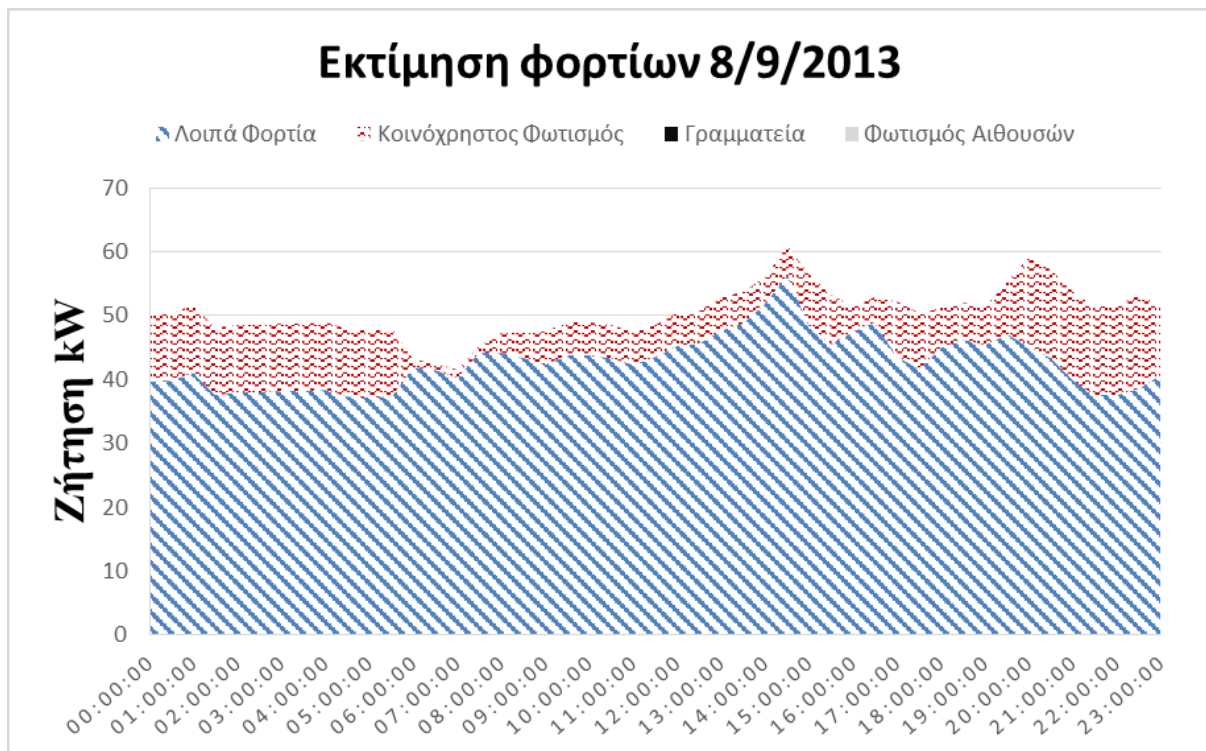


**Σχήμα 61: Διάγραμμα εκτίμησης φορτίων για 21 Σεπτεμβρίου**

- 14 Σεπτεμβρίου – Σάββατο με εξετάσεις
- 21 Σεπτεμβρίου – Σάββατο χωρίς εξετάσεις και αναπληρώσεις μαθημάτων, εργαστηρίων κτλ.

Όπως και τις καθημερινές έτσι και τα Σάββατα ακολουθείται ένα συγκεκριμένο μοτίβο στη ζήτηση, αφού συμβαίνουν τα ίδια γεγονότα με ελάχιστες εξαιρέσεις. Για παράδειγμα στο Σάββατο όπου έχουμε εξετάσεις, παρουσιάζεται αυξημένη ζήτηση, τόσο στα λοιπά φορτία, όσο και στον φωτισμό των αιθουσών, μεταξύ 14:00-20:00 όπου είναι οι δυο βάρδιες των μαθημάτων. Κάθε Σάββατο η γραμματεία είναι κλειστή, οπότε δεν παρουσιάζεται κατανάλωση. Ο δε κοινόχρηστος φωτισμός παρουσιάζει όμοια ζήτηση μεταξύ 40-50 kW και τις δυο μέρες που εξετάσαμε. Τέλος, από το διάγραμμα του Σαββάτου 21 Σεπτεμβρίου καθώς και από την καθημερινή με κατάληψη 24 Σεπτεμβρίου, μπορούμε να συμπεράνουμε για το φωτισμό των αιθουσών, πως περιλαμβάνει φώτα ασφαλείας, δηλαδή κάποια φώτα που μένουν πάντα ανοιχτά για οποιαδήποτε ανάγκη ή το (λιγότερο πιθανό) δυσάρεστο γεγονός, λόγω σπατάλης ενέργειας, να έχουν ξεχαστεί, σε κάποιες αίθουσες, τα φώτα αναμμένα.

Τέλος, παρουσιάζουμε ένα διάγραμμα που απεικονίζει την κατανομή της ζήτησης την Κυριακή 8 Σεπτεμβρίου.



**Σχήμα 62: Διάγραμμα εκτίμησης φορτίων για 8 Σεπτεμβρίου**

Εξαιτίας του ότι το Ίδρυμα παραμένει κλειστό τις Κυριακές, η ζήτηση δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Η γραμματεία δεν λειτουργεί οπότε δεν έχουμε κατανάλωση από μέρους της, όπως το ίδιο συμβαίνει και με το φωτισμό των αιθουσών, αφού δεν διεξάγονται μαθήματα, εξετάσεις μαθημάτων, εργαστήρια κτλ. Η ζήτηση από λοιπά φορτία και κοινόχρηστο φωτισμό είναι περίπου ίδια σε σχέση με τις καθημερινές ή το Σάββατο. Οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε αυτά τα φορτία ως βάση, δηλαδή η ζήτηση δεν πρόκειται να κατεβεί ποτέ πιο κάτω από τα επίπεδα τις Κυριακή.

#### **6.4 Συγκεντρωτικοί πίνακες μεγίστων/ελαχίστων ενεργού ισχύος**

Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων ομαδοποιήσαμε τις μέρες του μήνα για τις οποίες πήραμε μετρήσεις σε 5 πενήμερα, για το Σεπτέμβριο και σε 5 τετραήμερα, για τον Οκτώβριο. Παρακάτω παρουσιάζονται το μέγιστο της ενεργού ισχύος για κάθε μια φάση, αλλά και συνολικά, για το κάθε ένα πενήμερο και τετραήμερο.

	Max P1		Max P2		Max P3		Max P <sub>3Ph</sub>	
Περίοδος	Ημερο μηνία	Τιμή (kW)	Ημερο μηνία	Τιμή (kW)	Ημερο μηνία	Τιμή (kW)	Ημερομηνία	Τιμή (kW)
04-08/09	05/09 13:21	51,61 επί συνόλου 123,87	05/09 13:23	40,70 επί συνόλου 119,52	04/09 14:06	37,65 επί συνόλου 121,34	05/09 13:21	123,87
09-13/09	10/09 12:11	95,33 επί συνόλου 272,01	10/09 12:11	89,65 επί συνόλου 272,01	10/09 11:57	87,79 επί συνόλου 267,69	10/09 12:11	272,01
14-18/09	17/09 12:19	62,09 επί συνόλου 162,91	17/09 12:19	54,62 επί συνόλου 162,91	17/09 11:42	48,92 επί συνόλου 157,75	17/09 12:19	162,91
19-23/09	20/09 13:17	51,13 επί συνόλου 118,66	23/09 14:30	40,59 επί συνόλου 126,70	23/09 12:42	38,53 επί συνόλου 119,04	23/09 14:30	126,70
24-28/09	26/09 13:32	55,63 επί συνόλου 140,68	26/09 13:32	43,90 επί συνόλου 140,68	26/09 13:32	41,15 επί συνόλου 140,68	26/09 13:32	140,68
02-05/10	03/10 11:15	78,42 επί συνόλου 210,84	03/10 11:15	67,25 επί συνόλου 210,84	03/10 11:15	65,17 επί συνόλου 210,84	03/10 11:15	210,84
06-09/10	08/10 13:38	60,01 επί συνόλου 138,21	07/10 12:09	45,91 επί συνόλου 144,14	09/10 10:56	43,12 επί συνόλου 128,14	08/10 12:25	146,32
12-15/10	14/10 12:44	61,37 επί συνόλου 150,67	15/10 13:23	45,55 επί συνόλου 138,89	14/10 12:44	45,13 επί συνόλου 150,67	14/10 12:44	150,67
16-19/10	18/10 13:54	66,72 επί συνόλου 152,64	17/10 12:45	47,69 επί συνόλου 161,22	17/10 12:45	51,42 επί συνόλου 161,22	17/10 12:45	161,22
20-21, 23-14/10	24/10 14:58	61,45 επί συνόλου 152,55	24/10 14:58	47,32 επί συνόλου 152,55	24/10 12:03	46,79 επί συνόλου 138,47	24/10 14:58	152,55

Πίνακας 18: Πίνακας μεγίστων ενεργού ισχύος



Για ολόκληρη τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων του Σεπτεμβρίου, η μέγιστη ενεργός ισχύς της φάσης 1 ήταν 95,33 kW επί συνόλου 272,01 kW στις 10/09 12:11, της φάσης 2 ήταν 89,65 kW επί συνόλου 272,01 kW στις 10/09 12:11, της φάσης 3 ήταν 87,79 kW επί συνόλου 267,69 kW στις 10/09 11:57 και η συνολική μέγιστη ενεργός ισχύς ήταν 272,01 kW στις 10/09 12:11. Παρατηρούμε, πως οι δυο πρώτες φάσεις είναι ταυτοχρονισμένες με τη μέγιστη ισχύ του μετασχηματιστή.

Ομοίως για τον Οκτώβριο, η μέγιστη ενεργός ισχύς της φάσης 1 ήταν 78,42 kW επί συνόλου 210,84 kW στις 03/10 11:15, της φάσης 2 ήταν 67,25 kW επί συνόλου 210,84 kW στις 03/10 11:15, της φάσης 3 ήταν 65,17 kW επί συνόλου 210,84 kW στις 03/10 11:15 και η συνολική μέγιστη ενεργός ισχύς ήταν 210,84 kW στις 03/10 11:15. Και εδώ παρατηρούμε πως όλες οι φάσεις είναι πλήρως ταυτοχρονισμένες με το τη μέγιστη ισχύ του μετασχηματιστή.

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζουμε για κάθε χρονική περίοδο, από τις μετρήσεις που έχουμε συλλέξει, την ελάχιστη τιμή για την ενεργό τιμή τόσο της κάθε φάσης όσο και των τριών φάσεων μαζί, καθώς και το πότε έγινε αυτό.

Περίοδος	Min P1		Min P2		Min P3		Min P <sub>3Ph</sub>	
	Ημερο- μηνία	Τιμή (kW)	Ημερο- μηνία	Τιμή (kW)	Ημερο- μηνία	Τιμή (kW)	Ημερομηνία	Τιμή (kW)
04-08/09	07/09 07:23	13,88 επί συνόλου 37,67	06/09 06:41	11,18 επί συνόλου 37,06	06/09 06:45	9,03 επί συνόλου 34,83	06/09 06:43	34,80
09-13/09	12/09 06:37	15,11 επί συνόλου 39,76	09/09 06:42	12,44 επί συνόλου 39,01	09/09 06:36	9,63 επί συνόλου 37,86	09/09 06:38	37,81
14-18/09	15/09 07:41	13,25 επί συνόλου 37,10	15/09 07:12	11,79 επί συνόλου 35,81	16/09 06:46	9,72 επί συνόλου 38,56	15/09 07:12	35,81
19-23/09	23/09 07:00	13,56 επί συνόλου 35,19	23/09 07:00	11,92 επί συνόλου 35,19	23/09 07:00	9,70 επί συνόλου 35,19	23/09 07:00	35,19
24-28/09	26/09 03:31	14,75 επί συνόλου 43,41	24/09 06:49	12,02 επί συνόλου 39,65	24/09 06:49	9,71 επί συνόλου 39,65	24/09 06:51	37,88
02-05/10	02/10 06:41	14,54 επί συνόλου 38,10	02/10 06:49	11,80 επί συνόλου 36,57	02/10 06:51	9,61 επί συνόλου 36,25	02/10 06:51	36,25
06-09/10	07/10 07:04	14,65 επί συνόλου 38,07	08/10 07:06	11,47 επί συνόλου 42,39	07/10 06:52	9,38 επί συνόλου 37,98	07/10 06:52	37,98
12-15/10	13/10 07:42	14,80 επί συνόλου 40,52	14/10 06:43	13,19 επί συνόλου 42,98	12/10 07:09	11,21 επί συνόλου 42,53	13/10 07:42	40,52
16-19/10	19/10 06:10	17,47 επί συνόλου 46,93	17/10 02:45	12,13 επί συνόλου 44,80	18/10 06:59	12,04 επί συνόλου 43,86	18/10 06:51	43,16
20-21, 23-14/10	20/10 21:46	17,20 επί συνόλου 54,86	21/10 06:56	12,75 επί συνόλου 48,98	23/10 06:38	13,66 επί συνόλου 45,94	23/10 06:38	45,93

Πίνακας 19: Πίνακας ελαχίστων ενεργού ισχύος

Για ολόκληρη τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων του Σεπτεμβρίου, η ελάχιστη ενεργός ισχύς της φάσης 1 ήταν 13,25 kW επί συνόλου 37,10 kW στις 15/09 07:41, της φάσης 2 ήταν 11,18 kW επί συνόλου 37,06 kW στις 06/09 06:41, της φάσης 3 ήταν 9,03 kW επί συνόλου 34,83 kW στις 06/09 06:45 και η συνολική ελάχιστη ενεργός ισχύς ήταν 34,80 kW στις 06/09 06:43. Παρατηρούμε πως η δεύτερη και η τρίτη φάση καθώς και η συνολική ενεργός ισχύ του μετασχηματιστή, παρουσιάζουν την ίδια χρονική στιγμή την ελάχιστη τιμή τους.

Ομοίως για τον Οκτώβριο, η ελάχιστη ενεργός ισχύς της φάσης 1 ήταν 14,54 kW επί συνόλου 38,10 kW στις 02/10 06:41, της φάσης 2 ήταν 11,47 kW επί συνόλου 42,39 kW στις 08/10 07:06, της φάσης 3 ήταν 9,38 kW επί συνόλου 37,98 kW στις 07/10 06:52 και η συνολική ελάχιστη ενεργός ισχύς ήταν 36,25 kW στις 02/10 06:51. Σε αυτόν το μήνα παρατηρούμε πως μόνο η πρώτη φάση παρουσιάζει ελάχιστη τιμή, την ίδια χρονική στιγμή με τη συνολική ελάχιστη ενεργό ισχύ του μετασχηματιστή.

## **6.5 Συγκεντρωτικοί πίνακες άεργου ισχύος**

### **6.5.1 Πίνακας μέγιστης προσφερόμενης και απορροφούμενης άεργου ισχύος**

Όπως στην προηγούμενη παράγραφο, έτσι και εδώ, λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων ομαδοποιήσαμε τις μέρες του μήνα για τις οποίες πήραμε μετρήσεις σε 5 πενήμερα, για το Σεπτέμβριο και σε 5 τετράμερα, για τον Οκτώβριο. Παρακάτω παρουσιάζονται η μέγιστη προσφερόμενη, καθώς και η μέγιστη απορροφούμενη άεργος ισχύς, για την κάθε φάση αλλά και συνολικά. Επίσης καταγράφεται το πότε παρουσιάστηκε η κάθε μια, για την εκάστοτε χρονική περίοδο.

Πενθήμερο		Q1	Q2	Q3	Q3Ph
04-08/09	Max προσφερόμενη	06/09 20:50	07/09 16:59	07/09 16:59	04/09 17:01
		-7145,79	-12227,64	-9505,51	-27652,76
	Max απορροφούμενη	05/09 06:30	07/09 20:31	06/09 16:03	05/09 06:30
		8336,76	4673,22	7833,83	20405,23
09-13/09	Max προσφερόμενη	10/09 07:03	10/09 18:33	09/09 23:13	12/09 21:47
		-7255,68	-14988,15	-10165,51	-29357,79
	Max απορροφούμενη	09/09 04:56	09/09 04:56	09/09 04:56	09/09 04:56
		19485,43	14853,28	15449,61	49788,32
14-18/09	Max προσφερόμενη	17/09 14:38	17/09 14:38	14/09 00:17	17/09 14:38
		-9510,20	-14348,71	-10918,12	-34353,69
	Max απορροφούμενη	16/09 04:56	16/09 04:56	16/09 04:56	16/09 04:56
		19574,34	1476482	15438,51	49777,67
19-23/09	Max προσφερόμενη	23/09 07:06	20/09 22:04	21/09 00:17	23/09 07:06
		-10182,35	-12036,28	-10981,21	-30850,49
	Max απορροφούμενη	19/09 04:56	19/09 04:56	19/09 04:56	19/09 04:56
		16864,57	11093,53	11522,44	39480,54
24-28/09	Max προσφερόμενη	25/09 20:07	26/09 13:34	26/09 13:34	26/09 13:34
		-7808,08	-15578,35	-11437,15	-34166,01
	Max απορροφούμενη	25/09 04:56	25/09 04:56	25/09 04:56	25/09 04:56
		22395,60	17425,69	17608,23	57429,52
02-05/10	Max προσφερόμενη	03/10 02:33	03/10 21:57	02/10 23:52	05/10 19:11
		-7545,58	-12921,79	-11160,05	-30113,93
	Max απορροφούμενη	02/10 13:11	03/10 09:12	03/10 11:13	02/10 13:11
		8463,00	3867,12	8000,73	17437,58
06-09/10	Max προσφερόμενη	07/10 17:07	08/10 12:27	08/10 00:21	08/10 12:27
		-7528,94	-13214,80	-10960,20	-29991,50
	Max απορροφούμενη	08/10 13:21	09/10 09:57	09/10 09:45	09/10 09:45
		8139,37	4608,90	8019,49	20104,68
12-15/10	Max προσφερόμενη	14/10 15:20	15/10 21:40	14/10 15:20	14/10 15:20
		-8920,24	-13802,90	-10608,10	-32942,40
	Max απορροφούμενη	14/10 12:44	15/10 08:44	15/10 08:44	15/10 08:44
		9029,10	4323,93	7106,71	19596,52
16-19/10	Max προσφερόμενη	16/10 20:36	19/10 20:03	17/10 21:46	17/10 21:46
		-7120,46	-14551,60	-11602,90	-32691,90
	Max απορροφούμενη	18/10 13:23	18/10 11:21	18/10 13:23	18/10 13:23
		12138,86	6255,12	9199,25	27492,52
20-21, 23-24/10	Max προσφερόμενη	21/10 07:08	23/10 20:39	21/10 23:51	23/10 20:39
		-7890,28	-13356,57	-10423,42	-2935,98
	Max απορροφούμενη	21/10 08:21	21/10 08:21	21/10 23:15	21/10 08:21
		22798,52	9236,91	5138,76	8784,57

**Πίνακας 20: Πίνακας μέγιστης προσφερόμενης και απορροφούμενης άεργου ισχύος**

Παρατηρούμε πως η μέγιστη απορροφούμενη άεργος ισχύ δυο διαφορετικών ημερών, παρουσιάζεται την ίδια ώρα. Αυτό μας κινεί τις υποψίες πως κάποιο συγκεκριμένο φορτίο πρέπει να ευθύνεται, αλλά είναι δύσκολο να βρεθεί γιατί δεν είχαμε πρόσβαση στα

ηλεκτρολογικά σχέδια που δείχνουν ακριβώς ποια φορτία είναι συνδεδεμένα στον κάθε μετασχηματιστή

#### **6.5.2 Συγκεντρωτικός πίνακας προσφοράς και απορρόφησης έργου ισχύος**

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται πόσα δώδεκα απορροφήθηκε και πόσα δώδεκα προσφέρθηκε έργο ισχύς στο δίκτυο, για κάθε μία από τις χρονικές περιόδους που αναφέραμε προηγουμένως

Περίοδος	04-08/09		09-13/09		14-18/09		19-23/09		24-28/09	
	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)
Φάση 1	1786	1740	2023	1502	1946	1579	1969	1555	1654	1871
Φάση 2	621	2905	519	3006	411	3114	435	3089	140	3385
Φάση 3	1497	2029	1618	1907	1437	2088	1227	2297	789	2736
Συνολικά	1451	2075	1136	2389	1389	2136	1246	2278	767	2758

**Πίνακας 21: Πίνακας απορρόφησης και προσφοράς άεργου ισχύος Σεπτεμβρίου**

Περίοδος	02-05/10		06-09/10		12-15/10		16-19/10		20-21,23-24/10	
	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)	Απορρόφιση (Q>=0)	Προσφορά (Q<0)
Φάση 1	1356	1463	1769	1046	1958	869	802	2024	1217	1608
Φάση 2	57	2762	179	2636	98	2729	15	2811	25	2800
Φάση 3	562	2257	743	2072	1353	1474	353	2473	574	2251
Συνολικά	501	2318	671	2144	1013	1814	260	2566	465	2360

**Πίνακας 22: Πίνακας απορρόφησης και προσφοράς άεργου ισχύος Οκτωβρίου**

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σχολιάσουμε πως στη δεύτερη φάση είναι συνδεδεμένα φορτία με υψηλότερο συντελεστή ισχύος, με αποτέλεσμα να προσφέρουμε συνήθως άεργα στο δίκτυο, σε αντίθεση με την πρώτη φάση, η οποία πιο σπάνια προσφέρει άεργα στο δίκτυο.

## 6.6 Συγκεντρωτικός πίνακας μέγιστης έντασης ρεύματος ανά φάση

Στη συνέχεια, δημιουργήσαμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα για τη κάθε φάση, όπου καταγράφονται οι μέγιστες τιμές ρεύματος για την αντίστοιχη χρονική περίοδο.

Περίοδος	Φάση 1 (A)	Φάση 2 (A)	Φάση 3 (A)
04-08/09	05/09 13:21	06/09 12:37	04/09 13:58
	226,01	175,5	177,46
09-13/09	10/09 12:11	10/09 12:11	10/09 12:11
	419,55	395,29	383,89
14-18/09	17/09 11:42	17/09 12:19	17/09 12:19
	269,18	235,12	202,53
19-23/09	20/09 12:06	23/09 13:54	23/09 12:42
	222,71	170,61	163,07
24-28/09	26/09 13:32	26/09 13:32	27/09 13:21
	242,23	187,45	179,25
02-05/10	03/10 11:15	03/10 11:15	03/10 11:15
	345,43	297,03	295,94
06-09/10	07/10 11:40	07/10 14:10	07/10 12:27
	263,18	203,78	191,21
12-15/10	14/10 12:44	14/10 12:44	14/10 12:44
	275,01	203,53	201,27
16-19/10	18/10 13:54	17/10 12:45	17/10 12:45
	290,33	205,74	221,69
20-21,23-24/10	24/10 14:58	24/10 13:02	24/10 12:03
	264,79	202,30	200,07

**Πίνακας 23: Πίνακας μέγιστων ρευμάτων ανά φάση**

Αυτό που έχουμε να παρατηρήσουμε από τον παραπάνω πίνακα είναι πως η πρώτη φάση έχει συνδεδεμένα φορτία, που καταναλώνουν περισσότερο ρεύμα, σε σχέση με τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στις άλλες δυο φάσεις. Για το μήνα Σεπτέμβριο, η περίοδος 09-13/09 κατέχει την πρώτη θέση στη ζήτηση ρεύματος και για τις τρεις φάσεις. Ομοίως για το μήνα Οκτώβριο, η μέγιστη τιμή ρεύματος για την κάθε φάση έχει καταγραφεί τη χρονική περίοδο 02-05/10.

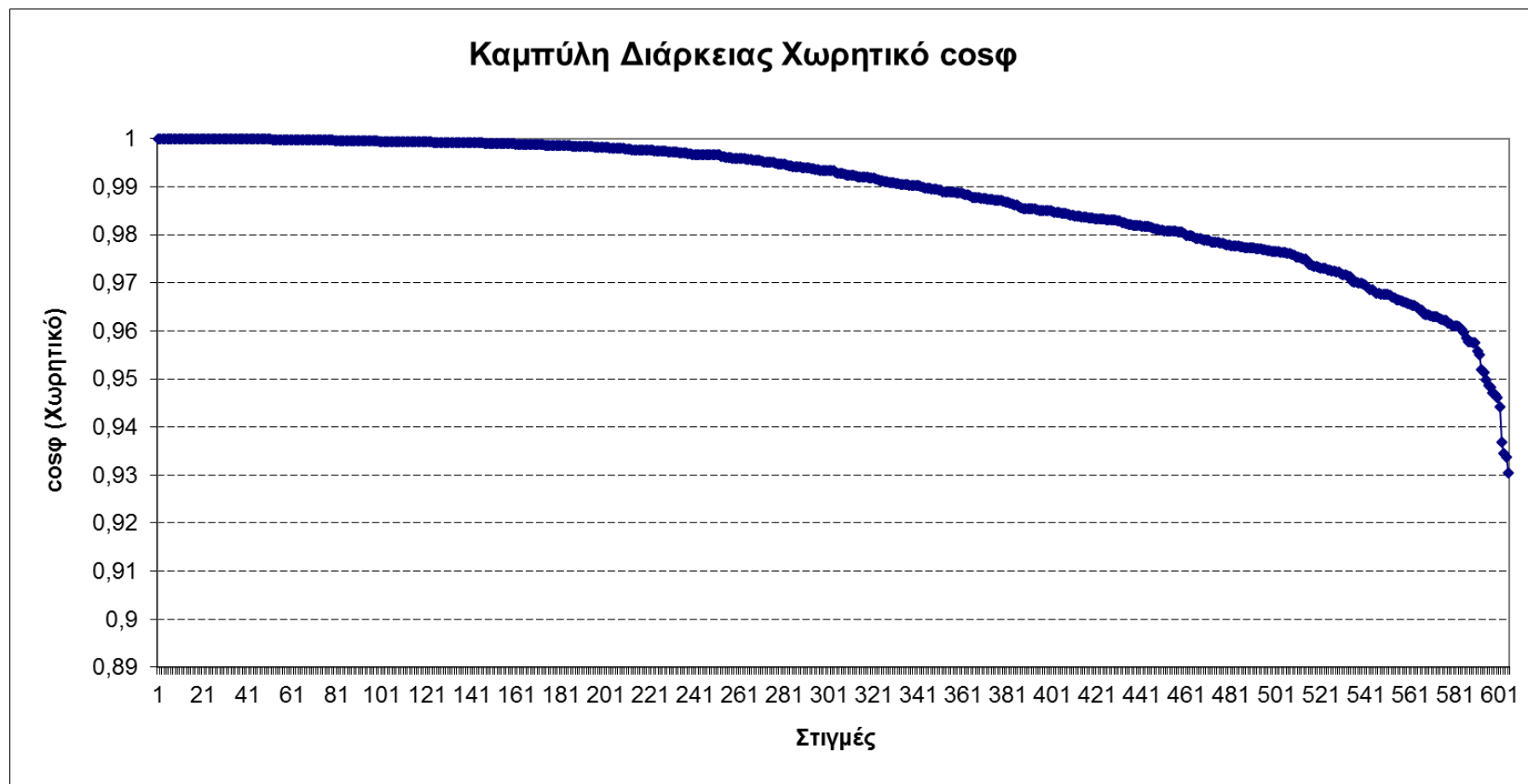
## 6.7 Συντελεστής ισχύος

Όσον αφορά το συντελεστή ισχύος, παραθέτουμε τη καμπύλη διάρκειας για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, τόσο για χωρητικό, όσο και για επαγωγικό χαρακτήρα. Για να εξάγουμε αυτή την καμπύλη, επειδή δεν καταγράψαμε απευθείας το συντελεστή ισχύος από το Κτήριο Επιστημών, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα που υλοποιήσαμε, ακολουθήσαμε την παρακάτω μεθοδολογία:

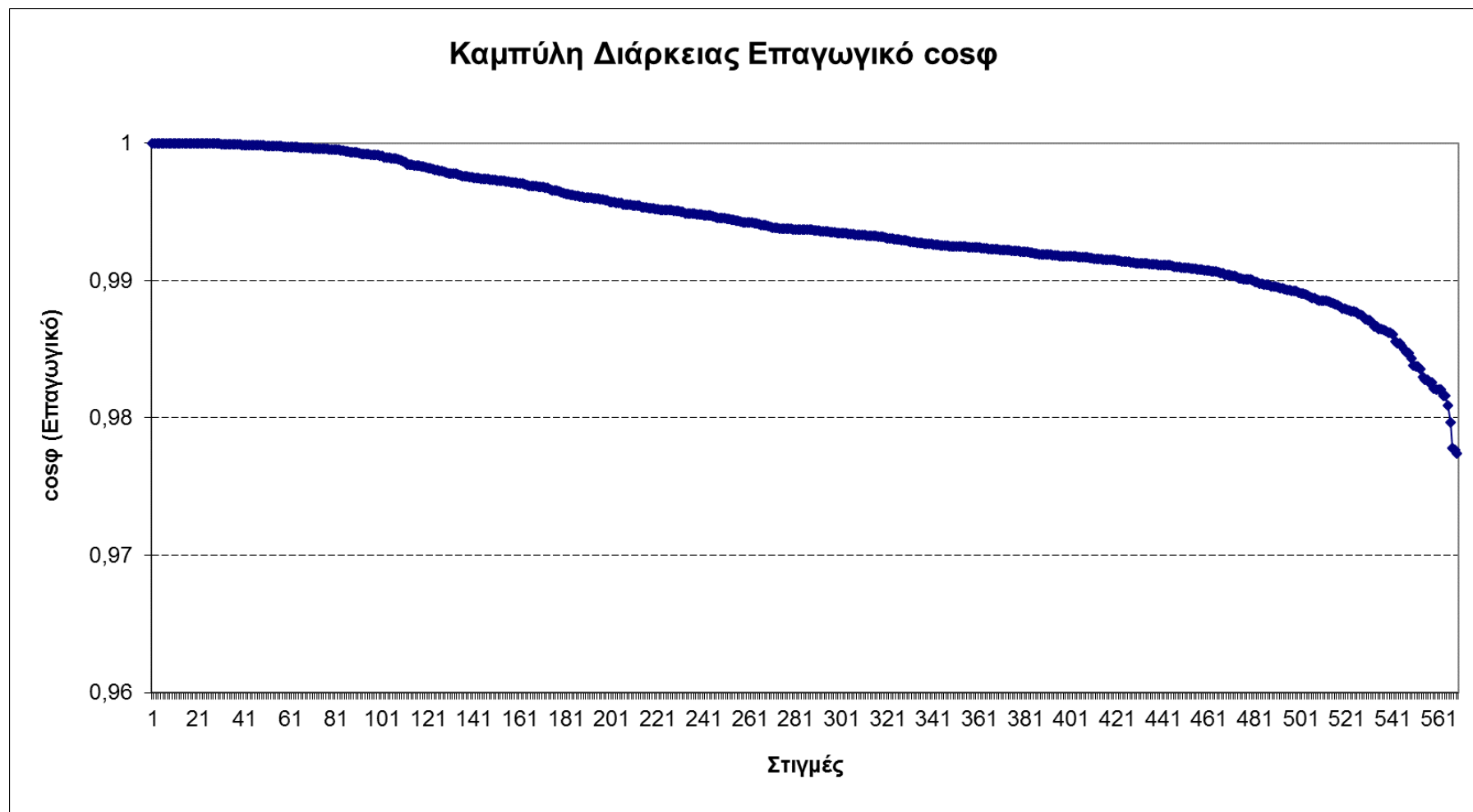
- Εφόσον είχαμε καταγράψει μέσω του προγράμματος την ενεργό και άεργο ισχύ (P και Q αντίστοιχα) του Κτηρίου Επιστημών, υπολογίσαμε τη φαινόμενη ισχύ (S) από τον τύπο  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ .
- Έπειτα υπολογίσαμε το  $\sin\phi$ , μέσω του τύπου  $\sin\phi = Q/S$ .
- Και τέλος μέσω του τύπου  $\cos^2(\phi) + \sin^2(\phi) = 1$  υπολογίσαμε το ζητούμενο  $\cos\phi$ , δηλαδή το συντελεστή ισχύος.

Η παραπάνω μεθοδολογία, μας βοήθησε στο να διατηρήσουμε το πρόσημο του συντελεστή ισχύος, αφού όταν είχαμε αρνητικό  $\sin\phi$  τοποθετούσαμε και αρνητικό πρόσημο στο  $\cos\phi$ , ώστε να διακρίνουμε τον επαγωγικό και χωρητικό χαρακτήρα του φορτίου.

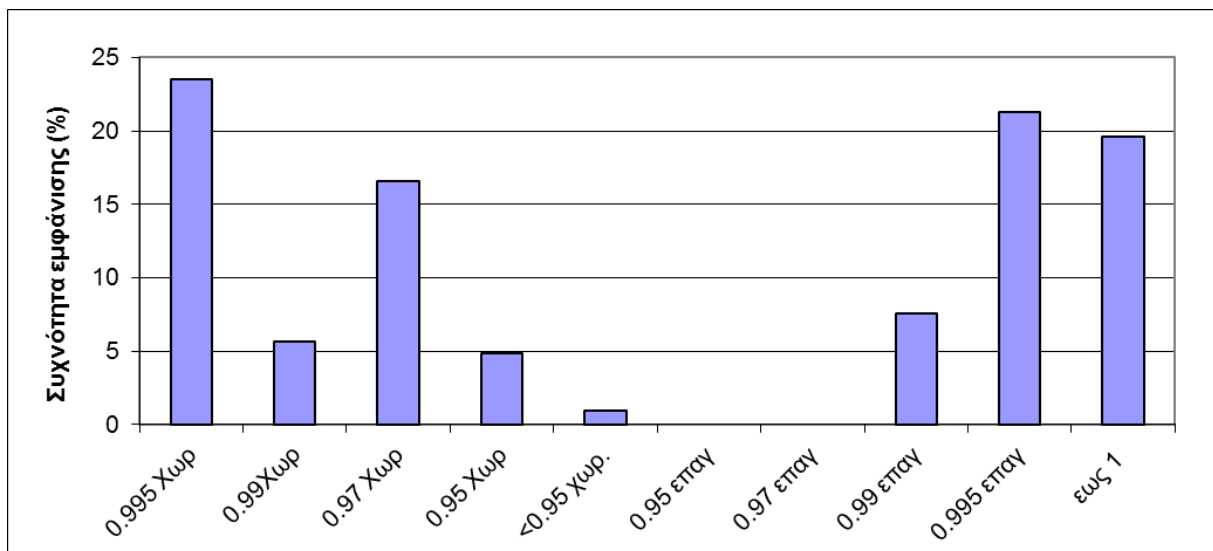




Σχήμα 63: Καμπύλη διάρκειας Σεπτεμβρίου για χωρητικό φορτίο



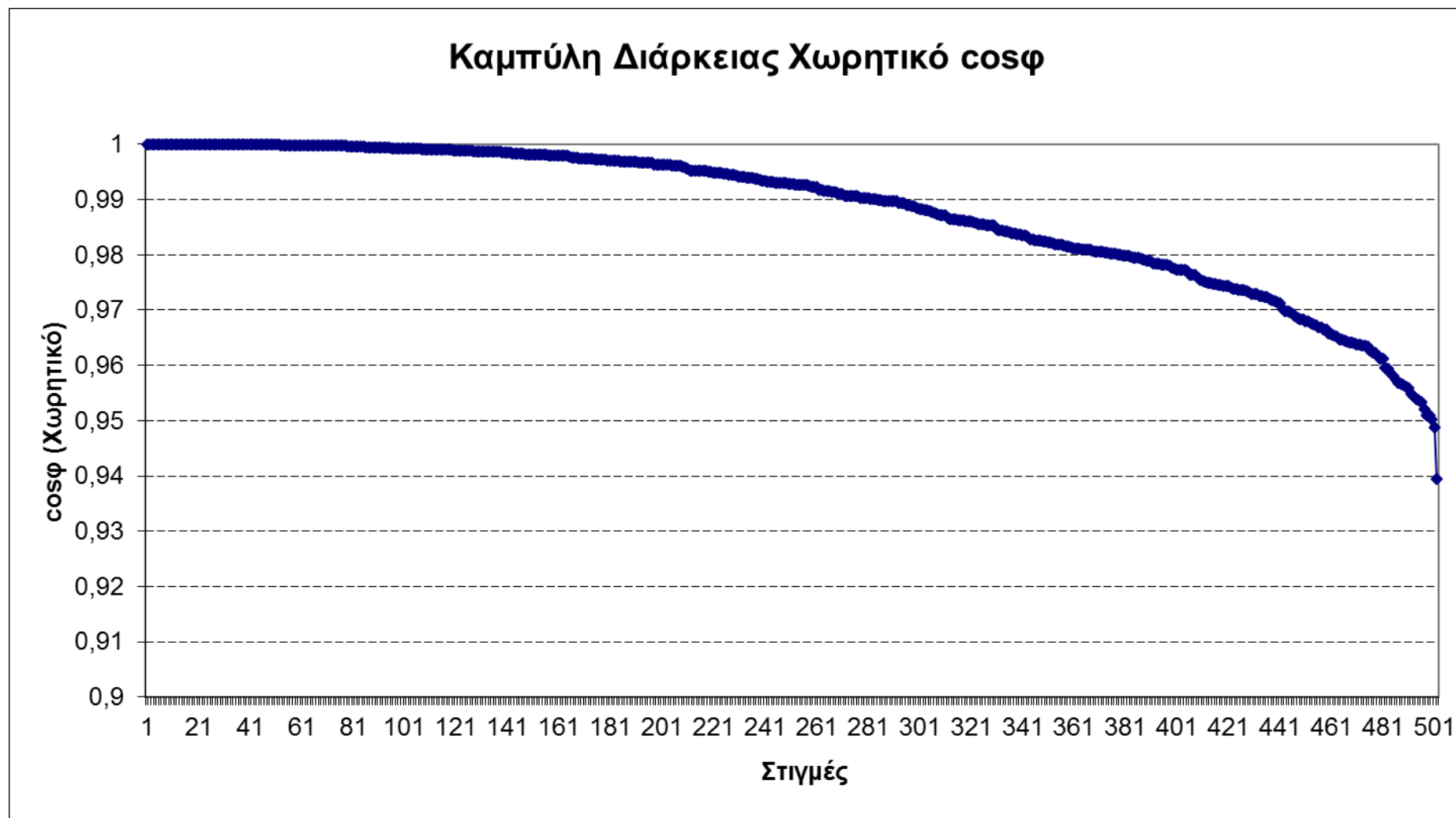
Σχήμα 64: Καμπύλη διάρκειας Σεπτεμβρίου για επαγωγικό φορτίο



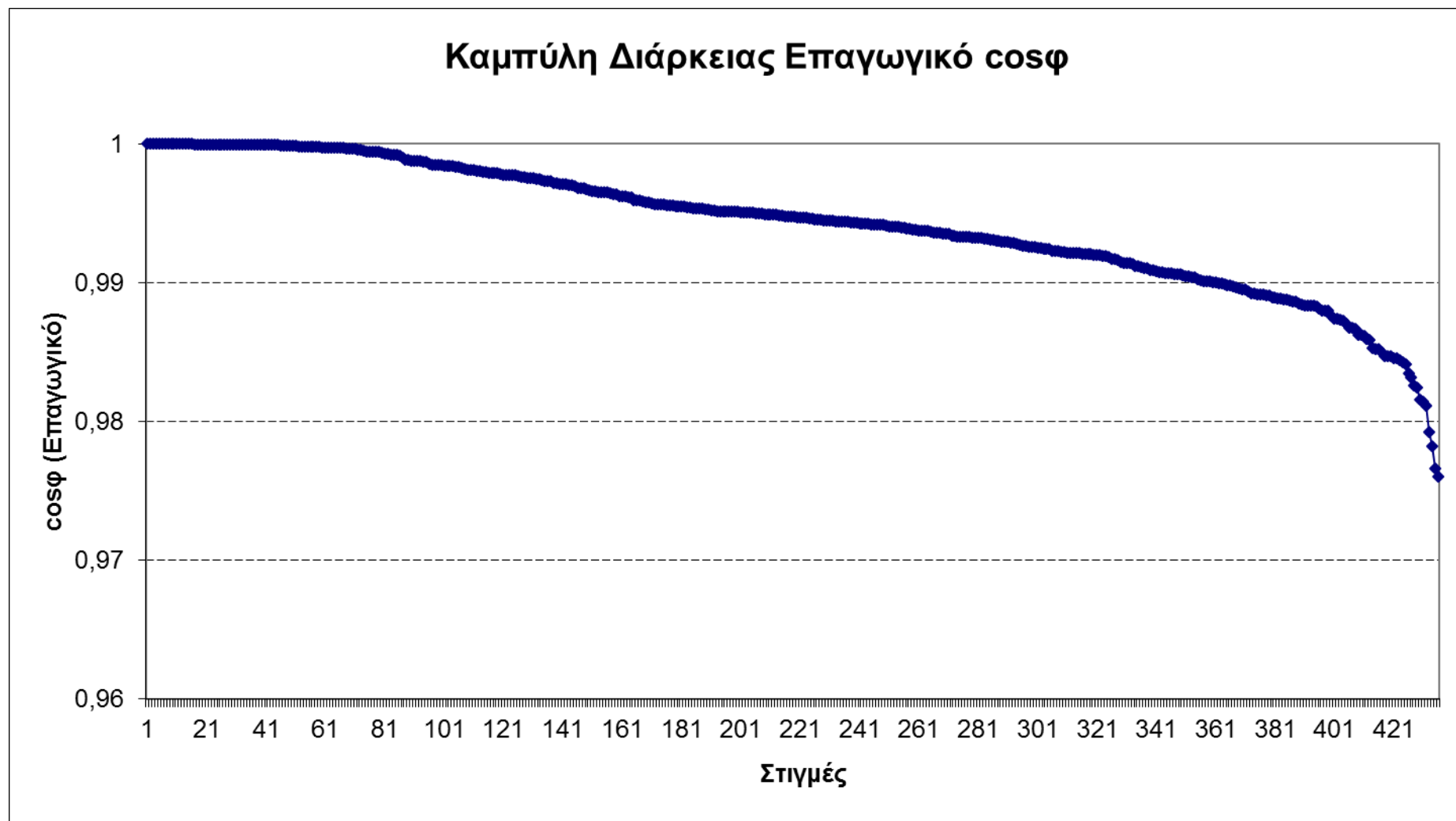
**Σχήμα 65: Συγκεντρωτικός πίνακας συχνότητας εμφάνισης του εκάστοτε χαρακτήρα του συντελεστή ισχύος για το Σεπτέμβριο**

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα, στον χωρητικό χαρακτήρα εμφανίζονται περισσότερο οι τιμές 0,995 και 0,97, ενώ ελάχιστες είναι οι φορές εμφάνισης για τιμή συντελεστή ισχύος μικρότερη του 0,95. Η δε, ελάχιστη τιμή για τον χωρητικό χαρακτήρα είναι 0,9305.

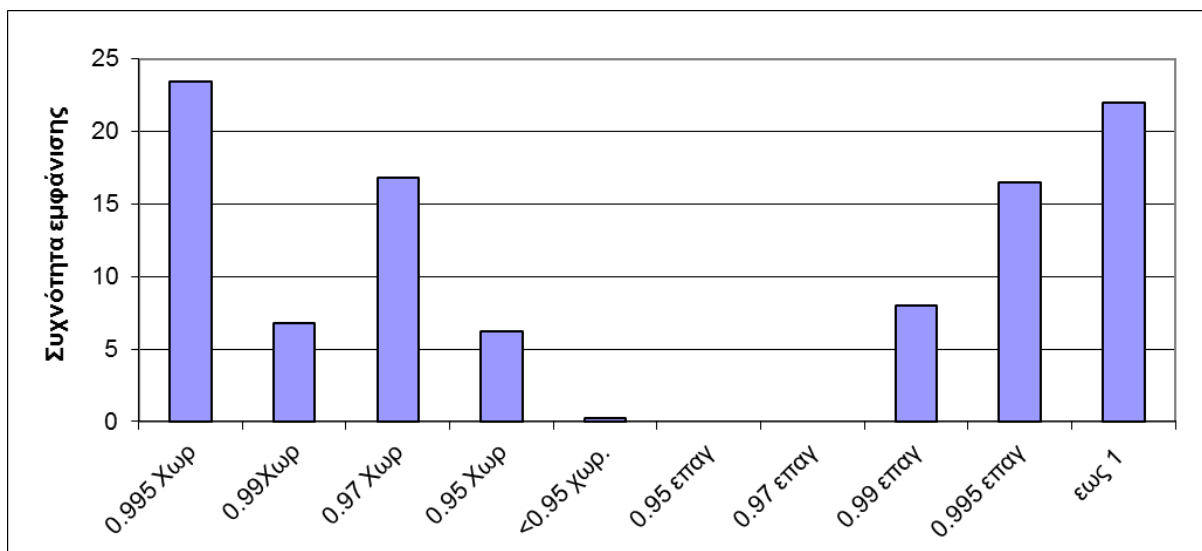
Στον επαγωγικό χαρακτήρα, μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης έχουν οι τιμές 0,995 και ως 1, ενώ μηδενική συχνότητα εμφάνισης έχουν οι τιμές 0,95 και 0,97. Η ελάχιστη τιμή εδώ είναι 0,9774.



Σχήμα 66: Καμπύλη διάρκειας Οκτωβρίου για χωρητικό φορτίο



Σχήμα 67: Καμπύλη διάρκειας Οκτωβρίου για επαγωγικό φορτίο

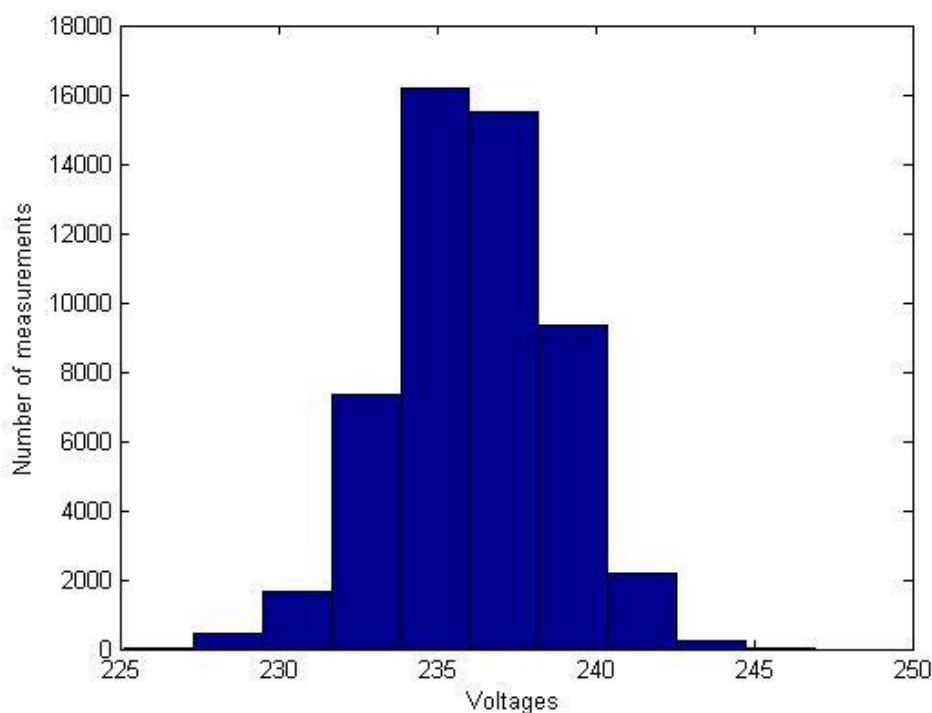


**Σχήμα 68: Συγκεντρωτικός πίνακας συχνότητας εμφάνισης του εκάστοτε χαρακτήρα του συντελεστή ισχύος για τον Οκτώβριο**

Με βάση το παραπάνω σχήμα, στον χωρητικό χαρακτήρα εμφανίζονται περισσότερες οι τιμές 0,995 και 0,97, ενώ ελάχιστες είναι οι φορές εμφάνισης για τιμή συντελεστή ισχύος μικρότερη του 0,95. Η δε ελάχιστη τιμή στον χωρητικό χαρακτήρα είναι 0,939. Στον επαγωγικό χαρακτήρα, μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης έχουν οι τιμές ως 1 και 0,995, ενώ μηδενική συχνότητα εμφάνισης έχουν οι τιμές 0,95 και 0,97. Η ελάχιστη τιμή εδώ είναι 0,976.

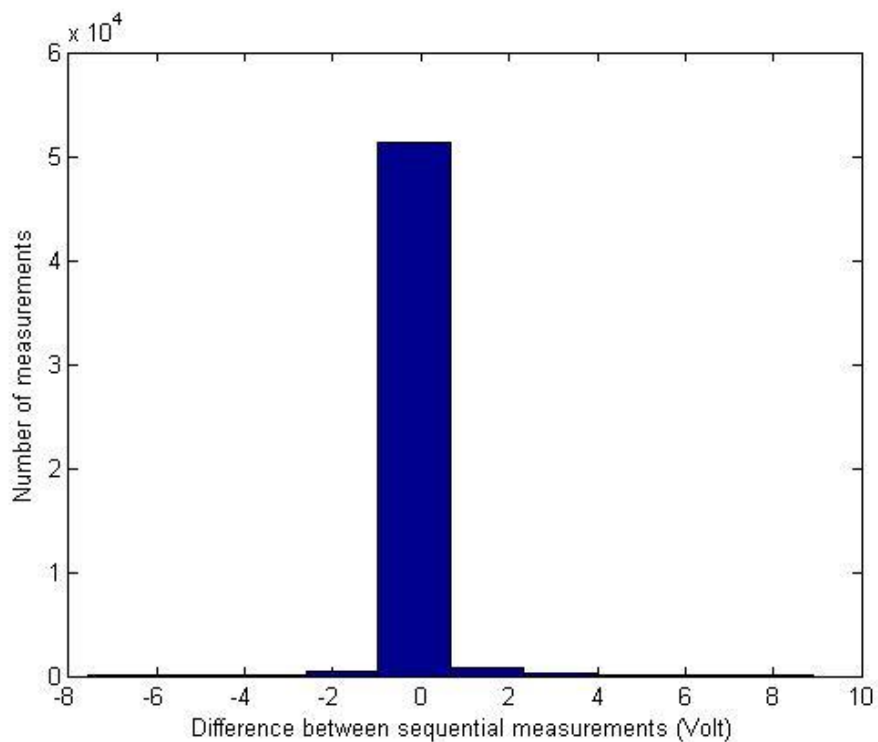
## 6.8 Ιστογράμματα τάσης

Σε αυτή την παράγραφο, παρουσιάζουμε το ιστόγραμμα τάσης για κάθε ένα από τους δυο μήνες των μετρήσεων, το πλήθος των μετρήσεων που ξεπέρασαν τα επιτρεπόμενα όρια στα οποία οφείλουν να βρίσκονται οι τιμές της τάσης, καθώς και ένα ιστόγραμμα διαφοράς τάσης  $V(t) - V(t - 1)$  για κάθε μήνα.



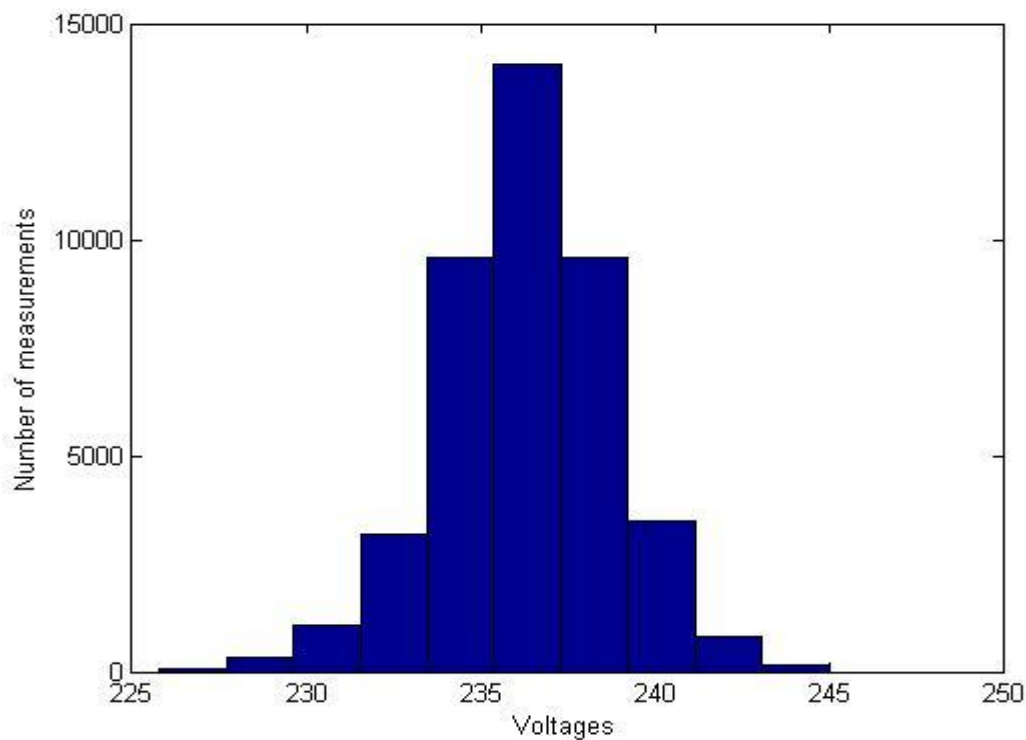
Εικόνα 27: Ιστόγραμμα τάσης για το μήνα Σεπτέμβριο

Για το Σεπτέμβριο, έχουμε να παρατηρήσουμε πως καμία μέτρηση της τάσης δεν έπεσε από το κατώτατο όριο των 219.39 V ( $=0.95 \cdot 400/\sqrt{3}$ ). Αντιθέτως 303 τιμές της τάσης ξεπέρασαν το ανώτατο όριο των 242.49 V ( $=1.05 \cdot 400/\sqrt{3}$ ), ποσοστό της τάξεως 0,57%.



**Εικόνα 28: Ιστόγραμμα διαφοράς τάσης  $V(t) - V(t - 1)$  για το Σεπτέμβριο**

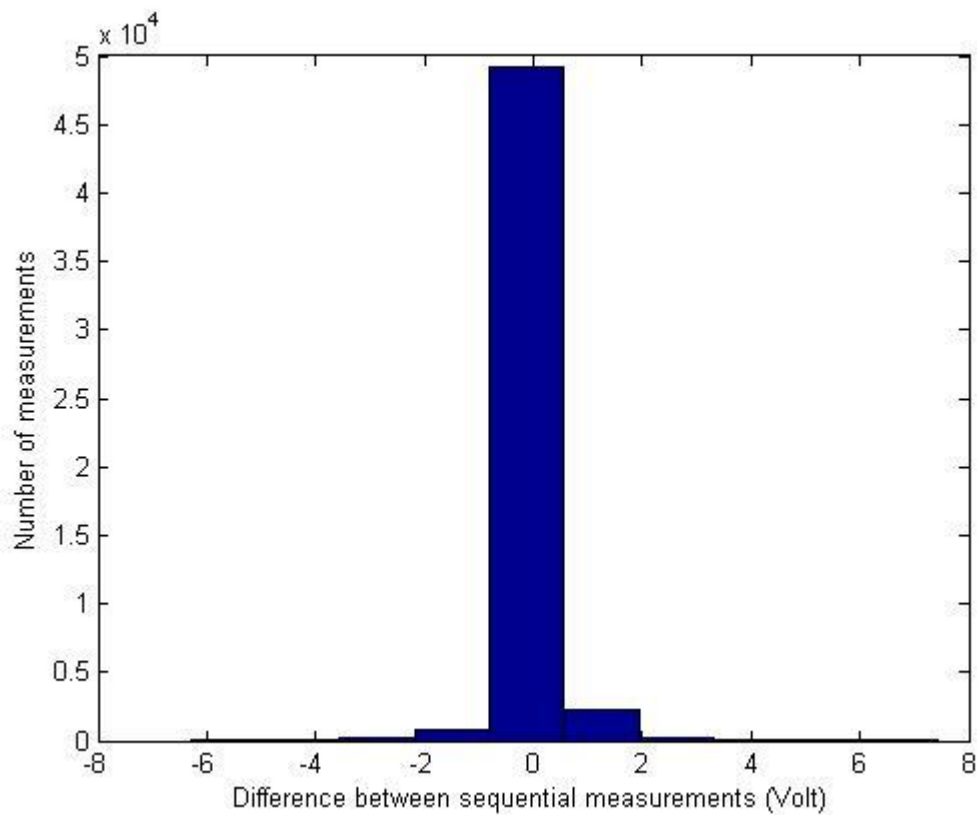
Επίσης 457 τιμές, ποσοστό της τάξεως 0,86%, παρουσίασαν μεταβολή από δείγμα σε δείγμα μεγαλύτερη του 1%, δηλαδή πρακτικά 457 φορές η διαφορά μεταξύ διαδοχικών τιμών ήταν μεγαλύτερη από 2.3V.



**Εικόνα 29: Ιστόγραμμα τάσης για το μήνα Οκτώβριο**



Για το Οκτώβριο, έχουμε να παρατηρήσουμε πως καμία μέτρηση της τάσης δεν έπεσε από το κατώτατο όριο των 219.39 V ( $=0.95 \cdot 400/\sqrt{3}$ ). Αντιθέτως 212 τιμές της τάσης ξεπέρασαν το ανώτατο όριο των 242.49 V ( $=1.05 \cdot 400/\sqrt{3}$ ), ποσοστό της τάξεως 0,4%.



**Εικόνα 30: Ιστόγραμμα διαφοράς τάσης  $V(t) - V(t - 1)$  για τον Οκτώβριο**

Αυτό το μήνα, 396 φορές, η διαφορά μεταξύ διαδοχικών τιμών ήταν μεγαλύτερη από 2.3V ή αλλιώς το 0,94% παρουσίασε μεταβολή από δείγμα σε δείγμα μεγαλύτερη του 1%.

## Κεφάλαιο 7 – Συμπεράσματα

Τα καταγραφικά δεδομένων και οι μετρητές ενέργειας ανήκουν στο σύνολο των μετρητικών διατάξεων και είναι ηλεκτρονικές συσκευές που αποθηκεύουν/καταγράφουν δεδομένα με την πάροδο του χρόνου και σε σχέση με την τοποθεσία που βρίσκεται το όργανο, και μέσω διασύνδεσής τους με εξωτερικά όργανα και αισθητήρες, ώστε να έχουμε ακριβή και αξιόπιστη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση τους είναι απαραίτητη τόσο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στην εξοικονόμηση χρηματικών πόρων, από τον περιορισμό της αλόγιστης σπατάλης της. Οι δυνατότητές τους πλέον είναι πολύ μεγάλες, αν κρίνουμε από το γεγονός ότι μπορούν να συνδεθούν σε οποιοδήποτε υπολογιστή, είτε ενσύρματα μέσω σειριακής θύρας επικοινωνίας, είτε ασύρματα μέσω διαδικτύου αποθηκεύοντας τα δεδομένα σε κάποιον server. Με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται η δυνατότητα τόσο στον ίδιο τον καταναλωτή να ρυθμίσει τις καταναλώσεις του, όσο και στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου (γνωστούς επίσης και ως διαχειριστές των δικτύων διανομής), τους προμηθευτές ενέργειας και άλλα μέρη να συγκεντρώνουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και τα πρότυπα χρήσης, καθώς και να λαμβάνουν αποφάσεις για επιμέρους καταναλωτές με βάση τα ενεργειακά προφίλ τους.

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η κατανάλωση ενός από τους δύο μετασχηματιστές του Κτηρίου Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Κάθε Μετασχηματιστής ισχύος 1600kVA, διαθέτει έναν μετρητή ενέργειας ZEPTO 96, ο οποίος διαθέτει ένα απλό πληκτρολόγιο για προγραμματισμό των εκάστοτε ρυθμίσεων ανάλογα τις απαιτήσεις του δικτύου, ψηφιακή έξοδο και alarms, ψηφιακή είσοδο και σειριακή θύρα επικοινωνίας RS-485, η οποία αξιοποιεί το πρωτόκολλο Modbus RTU για την επικοινωνία με το σύστημα BMS, του Κτηρίου Επιστημών. Ο συγκεκριμένος μετρητής επιτρέπει την παρουσίαση διαφόρων μεγεθών όπως τάσεις, ρεύματα, συχνότητα, ενεργό και άεργο ισχύ, αρμονική παραμόρφωση, ενεργό και άεργο ενέργεια, τόσο σε τρέχουσες τιμές όσο και αθροιστικές τιμές κατανάλωσης, αλλά και μέγιστες τιμές. Δεν υπάρχει όμως διαφοροποίηση τιμών ανά περιόδους πολύ δε περισσότερο δυνατότητα άμεσης λήψης και επεξεργασίας των τιμών που παρουσιάζονται. Δυστυχώς, αυτή η δυνατότητα δεν υπάρχει ούτε και στο σύστημα BMS του κτιρίου επιστημών.

Για αυτούς τους λόγους και προκειμένου να είναι εφικτή η ανάλυση των καταναλώσεων του κτηρίου Επιστημών, βασικού βήματος για την εξοικονόμηση ενέργειας στο κτήριο, υλοποιήθηκε σύστημα καταγραφής των ενδείξεων με τη βοήθεια υπολογιστή.

Το σύστημα καταγραφής ενέργειας που υλοποιήθηκε περιλαμβάνει ένα laptop, ένα καλώδιο USB αρσενικό-θηλυκό, ένα καλώδιο-converter από USB σε RS-232, ένα converter από RS-232 σε RS-485 και ένα συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου για την ένωση του converter (μεριά του RS-485) με το μετρητή ενέργειας ZEPTO 96, του μετασχηματιστή 2.

Για να εξάγουμε δεδομένα από το μετρητή, υλοποιήθηκε αλγόριθμος, ο οποίος αρχικά δημιουργεί μια σύνδεση του μετρητή ενέργειας με το laptop και έπειτα διαβάζει, ανά δυο λεπτά, κάποιους συγκεκριμένους καταχωρητές, οι οποίοι με τη σειρά τους διαβάζουν τα δεδομένα της συσκευής (ZEPTO 96) που προβάλλονται στην οθόνη της. Οι καταχωρητές που μας ενδιέφεραν, ήταν αυτοί της τάσης με τον ουδέτερο, του ρεύματος, της ενεργού ισχύος και της άεργου ισχύος, για την κάθε μία από τις 3 φάσεις.

Αυτά τα δεδομένα ήρθαν σε αντιπαράθεση με τις μετρήσεις από το Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) για το σύνολο της Πολυτεχνειούπολης.

## **7.1 Αποτελέσματα ανάλυσης δεδομένων για την Πολυτεχνειούπολη**

Με βάση τις μετρήσεις τις οποίες και επεξεργαστήκαμε, συμπεράναμε πως η συνολική ενέργεια που καταναλώνει το Πολυτεχνείο, αποτελεί το 0,88% της ενέργειας που καταναλώνει η πόλη των Χανίων για το έτος 2013.

Η υψηλότερη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τους χειμερινούς μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, όπου είναι αυξημένη η ζήτηση για θέρμανση και ταυτόχρονα είναι αυξημένη η κατανάλωση φωτισμού, γιατί ακόμη και σε αίθουσες που διαθέτουν φυσικό φωτισμό, αναγκάζονται οι καθηγητές να τον χρησιμοποιούν, λόγω των κακών περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν (συννεφιασμένος-βροχερός καιρός). Επίσης αυξημένη παρουσιάζεται και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, όπου η ζήτηση για κλιματισμό είναι αυξημένη, λόγω του ότι παρουσιάζονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες του χρόνου. Το ίδιο γεγονός συμβαίνει και για την ισχύ, τόσο στο Πολυτεχνείο, όσο και στην πόλη των Χανίων. Η αιχμή της πόλης των Χανίων ακολουθεί το μοτίβο της αιχμής της Πολυτεχνειούπολης, δηλαδή κατά τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες η αιχμή των Χανίων είναι μεγαλύτερη από τους υπόλοιπους μήνες. Παρ' όλα αυτά, ταυτοχρονισμός της μηνιαίας αιχμής της Πολυτεχνειούπολης, με τη μηνιαία αιχμή των Χανίων παρατηρήθηκε μόνο σε δυο μήνες και συγκεκριμένα στις 8/1 και στις 1/10 σε μεγάλο βαθμό επειδή η αιχμή της πόλης των Χανίων είναι συνήθως βραδινή και της Πολυτεχνειούπολης μεσημεριανή.

Πιο συγκεκριμένα, για το μήνα Σεπτέμβριο, η Πολυτεχνειούπολη καταναλώνει ημερησίως ενέργεια από 8-17 MWh και για το μήνα Οκτώβριο από 7,9-13,6 MWh περίπου. Η δε μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ενέργειας από το Πολυτεχνείο, για ολόκληρο το έτος, ήταν 17623,8 kWh στις 12/12/2013 και αντίστοιχα για την πόλη των Χανίων ήταν 1641,45 MWh στις 8/1/2013. Η ετήσια αιχμή για το Πολυτεχνείο Κρήτης ήταν 1356,60 kW στις 12/12/2013 14:00 και αντίστοιχα για την πόλη των Χανίων ήταν 91,47 MW στις 8/1/2013 και ώρα 19:00. Η δε θερμοκρασία εκείνες τις μέρες ήταν ιδιαίτερα χαμηλή με το θερμόμετρο να σημειώνει 8 °C για τις 12/12 και 5.3 °C για τις 8/1. Οπότε δικαιολογούνται οι ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Παρατηρούμε λοιπόν πως η μέγιστη ενέργεια έτους και η αιχμή του έτους συμπίπτουν στην ίδια ημέρα για το Πολυτεχνείο Κρήτης. Ακόμα, συγκρίνοντας τα γραφήματα που αφορούν την Πολυτεχνειούπολη στο κεφάλαιο 6, καταλήξαμε στο πιο γενικό συμπέρασμα ότι στους μισούς μήνες του χρόνου, την ημέρα που εμφανίζεται η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας, εμφανίζεται και η μέγιστη ζήτηση ισχύος από την Πολυτεχνειούπολη.

Τέλος, παρατηρώντας τη ζήτηση ισχύος της Πολυτεχνειούπολης ανά μήνα για το 2013, συμπεραίνουμε πως η αιχμή παρουσιάζεται μεσημεριανές ώρες στο διάστημα 11:00-15:00 και ακόμα πιο συχνά στο διάστημα 12:00-13:00. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι εκείνη τη χρονική στιγμή ο πληθυσμός του Πολυτεχνείου είναι συγκριτικά μεγαλύτερος σε σχέση με άλλες χρονικές περιόδους, λόγω διεξαγωγής μαθημάτων, εργαστηρίων κ.α.

## **7.2 Συμπεράσματα από τη μελέτη επί του κτηρίου Επιστημών**

Ο υποσταθμός του κτηρίου Επιστημών περιλαμβάνει 2 μετασχηματιστές διανομής, το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης, το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, ισχύος 500 kVA, τα UPS των

μετασχηματιστών, 60 kVA έκαστο, και τους 2 πυκνωτές ελεγχόμενους με το σύστημα Variologic NR12, ισχύος 315 kVAr, που αποτελούν το σύστημα αντιστάθμισης.

Ο μετασχηματιστής 2, στον οποίο συνδέσαμε και το σύστημα καταγραφής που υλοποιήσαμε, εξυπηρετεί κυρίως φορτία που έχουν να κάνουν με φωτισμό –διαθέτει 15 αναχωρήσεις για πίνακες φωτισμού– και ρευματοδότες γραφείων και εργαστηρίων, σε αντίθεση με το μετασχηματιστή 1 που διαθέτει κατά πλειοψηφία θερμικά φορτία. Άλλες εγκαταστάσεις που τροφοδοτούνται μέσω του μετασχηματιστή 2 είναι αντλητικά συστήματα, σύστημα πεπιεσμένου αέρα και αντλίες λυμάτων, καθώς και οι δυο κλιματιστικές μονάδες των εξωτερικών αιθουσών που βρίσκονται στο πάρκινγκ του κτηρίου Επιστημών. Τέλος, είναι συνδεδεμένα το σύστημα πυρασφάλειας του κτηρίου Επιστημών και το σύστημα συλλογής των τοξικών αποβλήτων των εργαστηρίων.

Κατά τη διάρκεια καταγραφής των μετρήσεων, παρατηρήσαμε πως οι 2 μετασχηματιστές έχουν άνισα κατανεμημένα φορτία, διότι την ίδια χρονική στιγμή η μέση κατανάλωση ρεύματος και των 3 φάσεων του μετασχηματιστή 1 μπορεί να ήταν 210A, ενώ του μετασχηματιστή 2 μπορεί να ήταν 160A.

Αντίστοιχο γεγονός άνισης κατανομής φορτίων, συμβαίνει και στον μετασχηματιστή 2 στη φάση 1, σε σχέση με τις υπόλοιπες δυο φάσεις. Επίσης, ο συντελεστής ισχύος παρατηρήθηκε πως ήταν χαμηλός για ένα μικρό χρονικό διάστημα και έπειτα επανερχόταν σε φυσιολογικά πλαίσια. Ο δε, συντελεστής φορτίου για το Σεπτέμβριο είναι  $LF_{\text{ΣΕΠΤ}} = 25,55\%$  και για τον Οκτώβριο  $LF_{\text{ΟΚΤ}} = 34,53\%$ .

### 7.2.1 Συμπεράσματα για την Κατανάλωση Ενέργειας

Όσον αφορά την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας του Κτηρίου Επιστημών για το μήνα Σεπτέμβριο, κυμαίνεται μεταξύ 1,25 – 1,75 MWh, με εξαίρεση δυο ημέρες 10/09 και 11/09 όπου έχουμε κατανάλωση ενέργειας στο κτήριο, της τάξης των 3,5 και 3,15 MWh αντίστοιχα. Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στο ότι εκείνο το διήμερο διεξάγονταν δοκιμές στον κλιματισμό των καινούργιων κτηρίων K2, K3, K4 και επειδή ήταν ακόμη εργοτάξιο τροφοδοτούνταν από το κτήριο Επιστημών. Ομοίως, για το μήνα Οκτώβριο η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας του Κτηρίου Επιστημών κυμαίνεται μεταξύ 1,2 – 2,1 MWh. Όπως είναι φυσικό, σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση του κτηρίου διαδραματίζουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες, τόσο η συννεφιά και η βροχή, όσο και η θερμοκρασία, ο πληθυσμός που κινείται μέσα στο κτήριο, η χρονική περίοδος, αν δηλαδή διεξάγεται εξεταστική ή μαθήματα ή υπάρχει κατάληψη και αν είναι καθημερινή ή Σαββατοκύριακο.

Αν συγκρίνουμε τα διαγράμματα κατανάλωσης ισχύος για τις 4, 12 και 16 Σεπτέμβρη, θα συμπεράνουμε πως την τελευταία μέρα, η κατανάλωση είναι περίπου 10%-20% αυξημένη σε σχέση με τις υπόλοιπες δυο μέρες και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ακόμα και οι αίθουσες και τα γραφεία που διαθέτουν φυσικό φωτισμό, χρησιμοποιούν περισσότερο ηλεκτρικό φωτισμό. Η 16η Σεπτέμβρη βέβαια ήταν μια μέρα με έντονη συννεφιά-βροχή, ενώ η 4η Σεπτέμβρη ήταν μια απλή καθημερινή με εξεταστική και η 12η Σεπτέμβρη μια καθημερινή με εξεταστική και υψηλή θερμοκρασία. Οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα, πως η αύξηση της θερμοκρασίας, δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην αύξηση του φορτίου για το μετασχηματιστή 2, όσο το αν είναι συννεφιασμένη-βροχερή η μέρα.

Εξίσου σημαντικό ρόλο παίζει και ο πληθυσμός εντός του κτηρίου. Η μεγάλη διαφορά φαίνεται κυρίως συγκρίνοντας Σαββατοκύριακα με τις καθημερινές, όπου για παράδειγμα η

κατανάλωση ενέργειας το Σάββατο 14 Σεπτεμβρίου μειώνεται κατά περίπου 24% σε σχέση με την καθημερινή στις 12 Σεπτεμβρίου και η αιχμή από 108 kW στις 12 του μήνα, μειώνεται στα 92 kW στις 14 του Σεπτεμβρίου, μείωση της τάξης του 15%. Γενικά, μπορούμε να θεωρήσουμε πως ένας μέσος όρος κατανάλωσης ισχύος για τις καθημερινές είναι γύρω στα 95 kW και για τα σαββατοκύριακα είναι γύρω στα 55 kW, επομένως έχουμε μείωση της τάξης του 42%. Επίσης, διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας της τάξης 6%-13% και 35% στην αιχμή, παρατηρείται και από Σάββατο σε Κυριακή, ειδικά όταν το Σάββατο διεξάγονται αναπληρώσεις ή εξετάσεις μαθημάτων.

Επιπλέον παρατηρώντας τα διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας, εμφανίζεται περιοδικότητα στην κατανάλωση ενέργειας μεταξύ σαββατοκύριακων και καθημερινών τόσο για το Σεπτέμβριο όσο και για τον Οκτώβριο.

Κάνοντας μια προσπάθεια να διαπιστώσουμε τις τελικές χρήσεις της ζήτησης, αξιοποιήσαμε κάποια στοιχεία που αφορούσαν τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ των φωτιστικών σημείων του κτηρίου Επιστημών η οποία είναι 174,128kW και ότι στις εξωτερικές αίθουσες του κτηρίου Επιστημών υπάρχουν κλιματιστικές μονάδες με θερμική ικανότητα 148769 BTU/h και ψυκτική ικανότητα 171221 BTU/h. Επίσης για την εύρεση των ωρών λειτουργίας τόσο του κοινόχρηστου, όσο και του φωτισμού των αιθουσών σημαντικό ρόλο έπαιξε το χρονοπρόγραμμα λειτουργίας, το οποίο εξαρτάται από τη ζώνη ώρας (θερινή ή χειμερινή) και την ημέρα(Καθημερινή, Σάββατο, Κυριακή). Και αυτό γιατί τις καθημερινές όπου διεξάγονται μαθήματα ή εξετάσεις μαθημάτων, υπάρχει αυξημένος πληθυσμός στο κτήριο, οπότε χρησιμοποιούνται περισσότερα φωτιστικά σημεία.

Η συνολική ζήτηση σε ενέργεια για το κοινόχρηστο φωτισμό ανά μέρα τις καθημερινές είναι 207,273 kWh. Το Σάββατο και τη Κυριακή η ζήτηση μειώνεται κατά 7% σε σχέση με τις καθημερινές. Επιπλέον, ο κοινόχρηστος φωτισμός παρουσιάζει μεγαλύτερη ζήτηση μεταξύ των βραδινών ωρών δηλαδή από 19:00-06:00. Η γραμματεία παρουσιάζει ζήτηση μεταξύ 08:00-15:00. Τέλος, μεγαλύτερη ζήτηση για το φωτισμό των αιθουσών παρατηρείται μεταξύ 08:00-20:00.

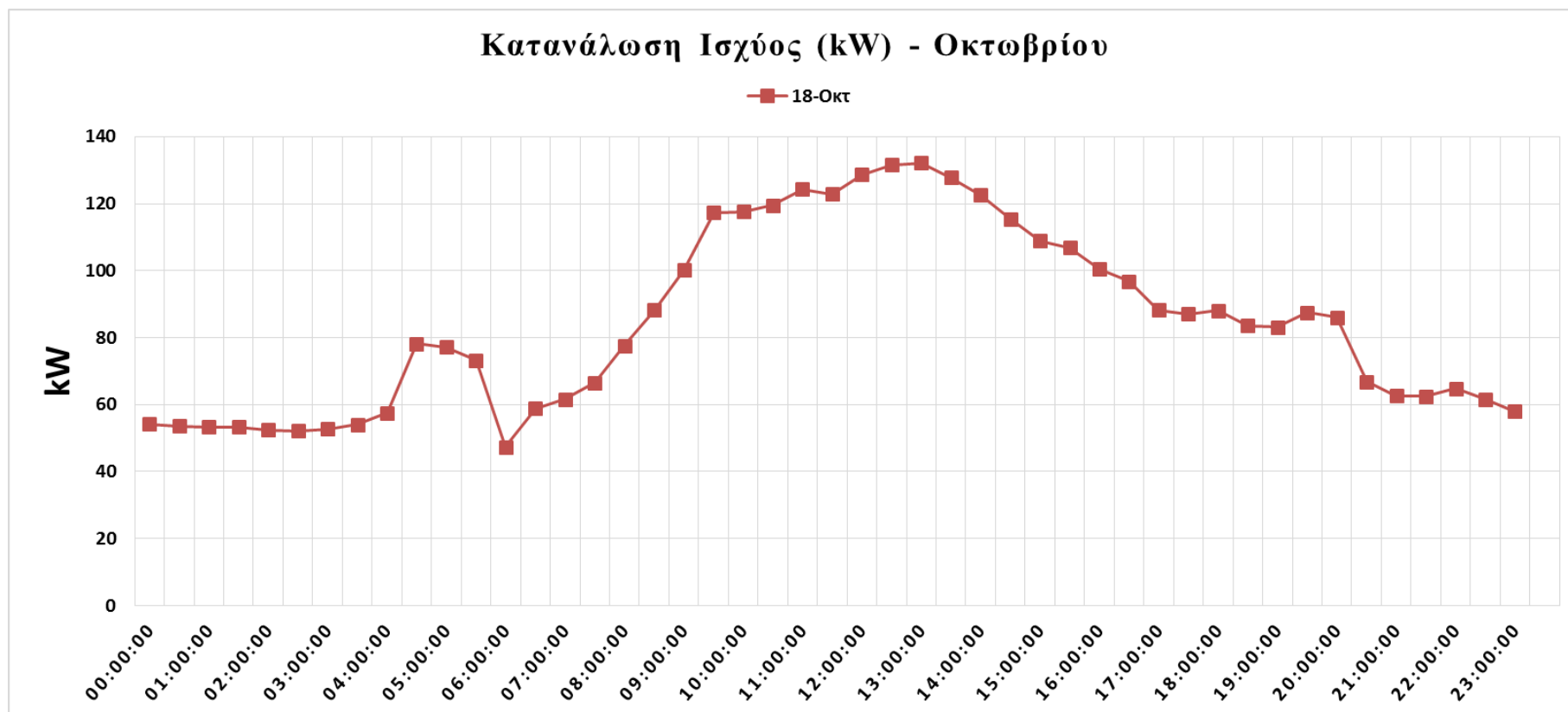
Μια καθημερινή μέρα του Σεπτεμβρίου ο κοινόχρηστος φωτισμός καταλαμβάνει το 10,85% της ζήτησης, η γραμματεία το 0,35%, ο φωτισμός αιθουσών το 6,85% και τα λοιπά φορτία το 81,95%. Τα δε, Σαββατοκύριακα δεν έχουμε ζήτηση από γραμματεία και φωτισμό αιθουσών, γιατί είναι κλειστή η γραμματεία και δεν διεξάγονται μαθήματα, εκτός ελάχιστων εξαιρέσεων οπότε γίνονται αναπληρώσεις μαθημάτων.

Για ολόκληρη τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων του Σεπτεμβρίου, η συνολική μέγιστη ενεργός ισχύς ήταν 272,01 kW στις 10/09 12:11 και η συνολική ελάχιστη ενεργός ισχύς ήταν 34,80 kW στις 06/09 06:43. Η μέγιστη ενεργός ισχύς ήταν τόσο υψηλή, διότι το διήμερο 10-11/09 διεξάγονταν δοκιμές στον κλιματισμό των καινούργιων κτηρίων K2, K3, K4 και επειδή ήταν ακόμη εργοτάξιο τροφοδοτούνταν από το κτήριο Επιστημών. Αν εξαιρέσουμε το συγκεκριμένο διήμερο η μέγιστη ενεργός ισχύς ήταν 162,91 kW στις 17/09 12:19.

Ομοίως, για ολόκληρη τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων του Οκτωβρίου, η συνολική μέγιστη ενεργός ισχύς ήταν 210,84 kW στις 03/10 11:15 και η συνολική ελάχιστη ενεργός ισχύς ήταν 36,25 kW στις 02/10 06:51. Τέλος, μόλις το 12% του Σεπτεμβρίου, η ζήτηση υπερβαίνει τα 100 kW.

### 7.2.2 Χαρακτηριστική τυπικής ζήτησης

Για να εξάγουμε μερικά ακόμη συμπεράσματα για το κτήριο Επιστημών, παραθέτουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη της τυπικής ζήτησης για τις 18 Οκτωβρίου.



Σχήμα 69: Διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος (kW) για 18 Οκτωβρίου – καθημερινή με διεξαγωγή μαθημάτων

Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει την κατανάλωση ισχύος από το μετασχηματιστή 2 του κτηρίου Επιστημών, για μια καθημερινή μέρα όπου διεξάγονται μαθήματα. Αυτό που συμπεραίνουμε είναι πως το φορτίο δεν πέφτει ποτέ κάτω από τα 40 kW.

Μεταξύ των ωρών 04:00 - 06:00 μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα ανακύκλωσης του αέρα στο κτήριο, γι' αυτό έχουμε και μια αύξηση στην κατανάλωση της τάξης των 25 kW περίπου.

Από τις 06:00 μέχρι τη 13:00 περίπου, έχουμε αύξηση του φορτίου, καθώς έρχεται ολοένα και περισσότερος κόσμος στο κτήριο. Επίσης είναι σε λειτουργία ο φωτισμός στις αίθουσες και στα γραφεία των καθηγητών, και παράλληλα τα εργαστήρια λειτουργούν κανονικά.

Από τη 13:00 περίπου και μετά, έχουμε μείωση της ζήτησης καθώς ο κόσμος που είχε έρθει στο κτήριο σταδιακά αποχωρεί.

Στις 20:00 παρατηρούμε μια αύξηση στη ζήτηση, περίπου της τάξης του 6% και αυτό γιατί είναι προγραμματισμένα να ανάψουν κάποια νυχτερινά φώτα.

### 7.2.3 Άεργος ισχύς

Όσον αφορά την άεργο ισχύ από τις μετρήσεις καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το 95% του χρόνου ο Μ/Σ ζητάει λιγότερα από 3.36 kVAr και το 5% του χρόνου προσφέρουμε περισσότερα από 23.18 kVAr.

Για τον χωρητικό χαρακτήρα, μόλις το 5% της περιόδου του Σεπτεμβρίου για την οποία έχουμε μετρήσεις, ο συντελεστής ισχύος  $\cos\phi$  είναι μικρότερος του 0,962.

Για τον επαγωγικό χαρακτήρα, μόλις το 5% της περιόδου του Σεπτεμβρίου για την οποία έχουμε μετρήσεις, ο συντελεστής ισχύος  $\cos\phi$  είναι μικρότερος από 0,986.

Το 71,7% της χρονικής περιόδου του Σεπτεμβρίου παρουσιάζεται χωρητικός χαρακτήρας και το 28,3% επαγωγικός.

### 7.2.4 Συμπεριφορά τάσης δευτερεύοντος Μ/Σ

Μελετώντας τη συμπεριφορά της τάσης στο μετασχηματιστή 2, καταλήξαμε σε κάποια συμπεράσματα, τα οποία και παρουσιάζουμε στους παρακάτω πίνακες.

	Κατώτατο όριο 219.39 V (=0.95*400/√3)	Ανώτατο όριο 242.49 V (=1.05*400/√3) (αριθμός τιμών)	Ποσοστό
Σεπτέμβριος	Καμία	303	0,57%
Οκτώβριος	Καμία	212	0,4%

Πίνακας 24: Ανώτατο και κατώτατο όριο τάσης

	Διαφορά μεταξύ διαδοχικών τιμών τάσης μεγαλύτερη από 2.3 V (1%) (φορές)	Ποσοστό που παρουσίασε μεταβολή από δείγμα σε δείγμα μεγαλύτερη του 1%
Σεπτέμβριος	457	0,86%
Οκτώβριος	396	0,94%

#### Πίνακας 25: Διαφορά μεταξύ διαδοχικών τιμών τάσης

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι η τάση δεν παρουσίασε παραμόρφωση και ήταν σε φυσιολογικά επίπεδα και για τους δυο μήνες που εξετάσαμε.

### 7.3 Συμπεράσματα από τη συγκριτική μελέτη κατανάλωσης ενέργειας κτηρίου Επιστημών – Πολυτεχνειούπολης

Με βάση διαγράμματα που εξαγάγαμε μετά την επεξεργασία των δεδομένων μας, συμπεράναμε πως για το μήνα Σεπτέμβριο, το Κτήριο Επιστημών καταναλώνει συνολικά το 15% της ενέργειας που καταναλώνει ολόκληρη η Πολυτεχνειούπολη, ενώ για το μήνα Οκτώβριο το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται στο 19%.

Επίσης, μεμονωμένα υπάρχουν ημέρες, όπως 10-11/9, όπου το κτήριο καταναλώνει 23-25% της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης της Πολυτεχνειούπολης. Το συγκεκριμένο γεγονός οφείλεται στο ότι εκείνες τις ημέρες διεξάγονταν δοκιμές των κλιματιστικών στα καινούργια κτήρια K2, K3, K4 που βρίσκονται δίπλα από το κτήριο Επιστημών και λόγω του ότι ήταν ακόμη εργοτάξιο τροφοδοτούνταν από το κτήριο Επιστημών.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο που πρέπει να παρουσιάσουμε είναι πως ο κλιματισμός με το σύστημα VRV του κτηρίου Επιστημών κατέχει το 1,43% της συνολικής κατανάλωσης της Πολυτεχνειούπολης, για το μήνα Οκτώβριο. Η αιχμή του κλιματισμού ήταν 189 kW στις 1/10 13:20 και η αιχμή της Πολυτεχνειούπολης ήταν 965,6 kW στις 1/10 13:15. Δηλαδή σχεδόν ταυτοχρονισμένη. Το κτήριο Επιστημών διαθέτει συστήματα κλιματισμού VRV συνολικής ισχύος 3.663.000 BTU/H.

Καθημερινά όλα τα κλιματιστικά VRV του κτηρίου Επιστημών, ανοίγουν γύρω στις 23:00 και κλείνουν μετά από ένα τέταρτο. Ο λόγος είναι αν έχει παραμείνει κάποιο κλιματιστικό ανοιχτό, να κλείσει, ώστε να μη λειτουργεί όλο το βράδυ. Η τεχνική αυτή βέβαια εκτοξεύει την αιχμή σε υψηλά επίπεδα, χωρίς στην ουσία να υπάρχει κάποια πραγματική ανάγκη ζήτησης ισχύος.

Τέλος, δεν υπάρχει ταυτοχρονισμός αιχμών για το μετασχηματιστή 2 του κτηρίου επιστημών και της Πολυτεχνειούπολης για καμία από τις περιόδους Σεπτεμβρίου, Οκτωβρίου που εξετάσαμε.



## 7.4 Προτάσεις

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως το σύστημα BMS του κτηρίου Επιστημών δεν διαθέτει τη δυνατότητα άμεσης λήψης και επεξεργασίας των τιμών που παρουσιάζονται. Οπότε μια πιθανή πρόταση είναι η αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος συστήματος BMS. Έτσι θα είναι εφικτή η λεπτομερέστερη παρακολούθηση των καταναλώσεων του κτηρίου, μέσω των διαγραμμάτων που θα εξάγονται αυτόματα από το σύστημα. Αυτή η πρόνοια είναι σωστό να λαμβάνεται και για την εγκατάσταση οποιουδήποτε συστήματος BMS τόσο στο Πολυτεχνείο όσο και σε άλλα κτήρια. Επίσης η καταγραφή των μεγεθών που προβάλλονται στο σύστημα, μπορεί να αξιοποιηθεί τοποθετώντας τις καταγεγραμμένες τιμές σε μοντέλα πρόβλεψης φορτίου, με στόχο τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της κατανάλωσης του κτηρίου.

Μια απλή και ταυτόχρονα οικονομική μέθοδος για να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση, όχι μόνο του κτηρίου Επιστημών αλλά και της Πολυτεχνειούπολης, είναι η εγκατάσταση ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης φωτισμού. Αυτό πραγματοποίησε το πανεπιστήμιο της Βοστώνης<sup>47</sup> σε ένα από τα αμφιθέατρα και εξοικονομεί \$15.000 κάθε χρόνο από κατανάλωση ηλεκτρισμού και έξοδα συντήρησης. Προφανώς το ποσό που εξοικονομείται κάθε χρόνο θα αυξηθεί, αν το ίδιο σύστημα εγκατασταθεί και σε άλλα αμφιθέατρα του πανεπιστημίου, καθώς και στις αίθουσες. Πιο συγκεκριμένα, στο αμφιθέατρο εγκαταστάθηκαν αισθητήρες φωτός, όπου όταν ανιχνεύσουν επαρκές φυσικό φωτισμό στο χώρο, σβήνουν τα φώτα, καθώς επίσης και ανιχνευτές κίνησης, ώστε αν είναι άδειο το αμφιθέατρο να σβήνουν πάλι τα φώτα. Η διαχείριση του συστήματος μπορεί να γίνει από οποιοδήποτε υπολογιστή έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Εκτός των αισθητήρων που τοποθετήθηκαν, αντικαταστάθηκαν οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και φθορίου, με λαμπτήρες τύπου LED, υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Επομένως, αν εφαρμόζαμε τις παραπάνω αλλαγές στο κτήριο Επιστημών και σε κάθε κτήριο της Πολυτεχνειούπολης, θα είχαμε σαφώς μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα θα εξοικονομούσαμε χρήματα από το λογαριασμό του ηλεκτρισμού.

Ο συνδυασμός των δυο παραπάνω συστημάτων, BMS και σύστημα παρακολούθησης φωτισμού, θα οδηγήσουν στην παρακολούθηση του 70% της κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου, αφού από μόνα τους τα συστήματα που συνδέονται στο BMS αναπαριστούν συνήθως το 40% της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα κτήριο<sup>48</sup>.

Όσον αφορά τα κλιματιστικά VRV, τα οποία ανοίγουν όλα μαζί για λόγους ασφαλείας-μη ξεχαστεί κάποιο ανοιχτό ολόκληρη τη νύχτα- στις 23:00 και έπειτα από ένα τέταρτο κλείνουν, επηρεάζοντας την αιχμή του κλιματιστικού φορτίου, θα μπορούσαμε να τα χωρίσουμε σε 4 τομείς τουλάχιστον, οι οποίοι ανά ένα τέταρτο θα ανοίγουν και θα κλείνουν διαδοχικά. Έτσι η αιχμή θα μειωθεί αισθητά.

Μια ενέργεια που μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της κατανάλωσης είναι η αναλυτική ενημέρωση των φοιτητών που διαμένουν στην εστία, για την πραγματικού χρόνου, κατανάλωσή τους. Μια μελέτη<sup>49</sup> στηρίχτηκε στο συγκεκριμένο γεγονός και είχε σαν στόχο, να αξιολογήσει πως διαφορετικές αναλύσεις κοινωνικο-τεχνικής ανατροφοδότησης, σε συνδυασμό με την παροχή κινήτρων, ενθαρρύνουν τους φοιτητές για τη διατήρηση των πόρων. Έπειτα από την ενημέρωση των φοιτητών της εστίας του κολεγίου Oberlin στο Οχάιο των Η.Π.Α, για την κατανάλωσή τους σε νερό και ηλεκτρικό, μέσω ενός αυτοματοποιημένου

συστήματος καταγραφής που αναπτύχθηκε, εντοπίστηκε 32% μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και 3% στην κατανάλωση νερού. Ιδιαίτερα οι φοιτητές που λάμβαναν πιο αναλυτικά της πληροφορίες, αποδείχθηκε ότι μείωσαν κατά 55% την ηλεκτρική κατανάλωση, σε σχέση με άλλους φοιτητές που λάμβαναν λιγότερο λεπτομερείς πληροφορίες και την μείωσαν κατά 31%.

Επιπλέον, άλλη μια πρόταση για εξοικονόμηση ενέργειας είναι η χρήση του συστήματος που υλοποιήσαμε και σε άλλα κτήρια του Πολυτεχνείου, που διαθέτουν μετρητές ενέργειας, αλλά δεν διαθέτουν σύστημα καταγραφής και εξαγωγής καμπυλών εκτίμησης φορτίου. Όταν οπτικοποιηθούν τα μεγέθη που καταναλώνει το κάθε κτήριο, τότε θα μπορούσαμε να δούμε ποιο είναι πιο ενεργειακό και να προβούμε σε ενέργειες ώστε να περιοριστεί η αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας. Μπορεί για παράδειγμα κάποιο κτήριο να μη διαθέτει την κατάλληλη μόνωση και να μη μπορεί να συγκρατήσει την επιθυμητή θερμοκρασία που έχει οριστεί. Έτσι τα κλιματιστικά θα δουλεύουν στο μέγιστο (είτε αφορά ψύξη, είτε θέρμανση), καταναλώνοντας άσκοπα ενέργεια.

Η αναβάθμιση των λαμπτήρων κάποιων φωτιστικών σε λαμπτήρες T5, οι οποίοι μπορεί να είναι έως και 21% πιο αποδοτικοί από τους λαμπτήρες T8. Επίσης συνίσταται και η χρήση ηλεκτρονικών ballast, τα οποία δεν καταναλώνουν ηλεκτρισμό όταν ο λαμπτήρας δεν λειτουργεί, έχουν μικρότερες απώλειες ενέργειας και δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης του φωτισμού με dimmers, επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων και βελτιώνονται οι συντελεστές συντήρησης. Για παράδειγμα, ένα φωτιστικό ισχύος 4\*18 W με συμβατικό ballast καταναλώνει 86,8 W, ενώ με ηλεκτρονικό καταναλώνει 74 W. Εξοικονομεί περίπου 15% στην κατανάλωση. Στο κτήριο Επιστημών υπάρχουν 166 τέτοια φωτιστικά, οπότε θα υπάρχει μείωση στην κατανάλωση, περίπου 2,2 kW.

Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας θα περιοριστεί, αν εγκατασταθούν χρονοδιακόπτες που διακόπτουν τα κυκλώματα φωτισμού στους επί μέρους χώρους, για καθορισμένα διαστήματα, εντός των οποίων δεν προβλέπεται η χρήση τους. Η δε, ρύθμιση του κάθε χρονοδιακόπτη θα διενεργείται σύμφωνα με το ωράριο χρήσης του συγκεκριμένου χώρου.

Οι χρονοδιακόπτες μπορούν να συνδυαστούν με αισθητήρες φωτός, οι οποίοι θα τοποθετηθούν τόσο σε κοινόχρηστους χώρους, όσο και στα γραφεία των καθηγητών τα οποία διαθέτουν αρκετό φυσικό φωτισμό. Έτσι θα μετριέται η ένταση φωτισμού και θα ρυθμίζεται η ένταση του τεχνητού φωτισμού στο επιθυμητό επίπεδο μέσω ρυθμιστή φωτός (dimmer). Απαραίτητη προϋπόθεση για το τελευταίο είναι τα υφιστάμενα φωτιστικά να λειτουργούν με ηλεκτρονικά ballast. Επίσης θα μπορούσαν να εγκατασταθούν στις τουαλέτες, ανιχνευτές κίνησης έτσι ώστε να ανάβουν τα φώτα μόνο όταν κάποιος είναι μέσα.

Ακόμα, μια ενημέρωση, με στόχο την ευαισθητοποίηση, τόσο των φοιτητών, όσο και των καθηγητών, σχετικά με τις καταναλώσεις του κτηρίου Επιστημών και γενικά του Πολυτεχνείου, θα βοηθούσε στον περιορισμό της κατανάλωσης. Σημαντικό επιχείρημα θα ήταν το ποσό ενέργειας και κατ' επέκταση το χρηματικό, που θα εξοικονομούσε το Πολυτεχνείο αν όλες οι συσκευές που βρίσκονταν stand-by στο ηλεκτρικό ρεύμα (εργαστηριακός εξοπλισμός, υπολογιστές κτλ.), ήταν σβηστές.

Τέλος, μια ενέργεια που έχει ήδη ξεκινήσει να υλοποιείται, είναι η εγκατάσταση μετρητών ενέργειας στα κτήρια που δεν διαθέτουν και παράλληλα μαζί με τους υπάρχοντες μετρητές, να συνδεθούν σε ένα τοπικό δίκτυο. Τα δεδομένα θα παρουσιάζονται και θα καταγράφονται

μέσω ενός server. Η πρόσβαση σε αυτά, καθώς και η ρύθμιση των παραμέτρων του συστήματος, θα γίνεται από οποιοδήποτε υπολογιστή διαθέτει διαδίκτυο, μέσω μιας IP και θα μπορούν να προβάλλονται ανάλογα την επιλογή του χρήστη, δεδομένα πραγματικού χρόνου ή προγενέστερα δεδομένα.

## Κεφάλαιο 8 – Αναφορές - Βιβλιογραφία

<sup>1</sup> Ιστότοπος [www2.schneider-electric.com](http://www2.schneider-electric.com)

<sup>2</sup> N. Gershenfeld, S. Samouhos, B. Nordman, Intelligent infrastructure for energy efficiency, *Science* 327 (5969) (2010) 1086-1088, <http://www.sciencemag.org/content/327/5969/1086>

<sup>3</sup> L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings* 40 (3) (2008) 394–398, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001016>

<sup>4</sup> Karl Brown, Mike Anderson, Monitoring-Based Commissioning: Early Results from a Portfolio of University Campus Projects, *In Proceedings of the 13th National Conference on Building Commissioning* (pp. 22-27)

<sup>5</sup> Manuel Domínguez, Juan J. Fuertes, Serafín Alonso, Miguel A. Prada, Antonio Morán, Pablo Barrientos, Power monitoring system for university buildings: Architecture and advanced analysis tools, *Energy and Buildings*, 59, 152-160.

<sup>6</sup> Τσέλιος Κωνσταντίνος, «Εξαγωγή και στατιστική επεξεργασία των δεδομένων του συστήματος καταγραφής και παρακολούθησης του κεντρικού λεβητοστασίου του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης», Οκτώβριος 2011, Διπλωματική εργασία

<sup>7</sup> Akribopoulos Orestis, Amaxilatis Dimitrios, Dimakopolos Dimitrios and Chatzigiannakis Ioannis, Smart Energy Monitoring and Management in Large Multi-Office Building Environments, *In Proceedings of the 17th Panhellenic Conference on Informatics* (pp. 219-226). ACM

<sup>8</sup> Ιστότοπος Πολυτεχνείου Κρήτης <http://www.tuc.gr/2969.html>

<sup>9</sup> Βαβουρανάκης Προκόπιος, «Σύστημα ενεργειακής διαχείρισης και καταγραφής και εξαγωγή καμπυλών φορτίου του κτιρίου Επιστημών», Οκτώβριος 2012, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης

<sup>10</sup> Απόστολος Δ. Παφίλης, «Προσέγγιση των κτιρίων της Πολυτεχνειούπολης ως Μικροδίκτυο», Νοέμβριος 2011. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης

<sup>11</sup> Δημήτρης Ρούτσης, «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Εφαρμογές τους στο σχεδιασμό Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (Εφαρμογή σε χωροθέτηση Διεσπαρμένης Παραγωγής στο Πολυτεχνείο Κρήτης)», Νοέμβριος 2011 Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.

<sup>12</sup> Antonis G Tsikalakis, Dimitrios Routsis, Apostolos Pafilis, Konstantinos Kalaitzakis, Georgios Stavrakakis. “A Methodology Exploiting Geographical Information Systems to Site a Photovoltaic Park inside a Sustainable Community”, *International Journal of Sustainable Energy*, Taylor and Francis

<sup>13</sup> Ιστότοπος <http://www.deddie.gr/el/upiresies/eksugxronismos-metritikwn-sustimatwn-diktuou-dianomis/tilemetrisi-pelatwn-mesis-tasis>

<sup>14</sup> “Εγχειρίδιο Μετρήτων και Μετρήσεων” ΔΕΣΜΗΕ Ιούλιος 2010

---

<sup>15</sup> Άρθρο του: ΕΡΩΤΟΚΡΙΤΟΥ ΤΣΙΓΚΑ, μηχανολόγου ηλεκτρολόγου μηχανικού, περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ

<sup>16</sup> Βιομηχανικές εγκαταστάσεις – Υποσταθμοί, Α' τεύχος, ΚΕΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, ΜΠΑΡΓΙΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΣΑΝΔΑΛΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

<sup>17</sup> Βιομηχανικές εγκαταστάσεις – Υποσταθμοί, Α' τεύχος, ΚΕΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, ΜΠΑΡΓΙΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΣΑΝΔΑΛΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

<sup>18</sup> Ιστότοπος [www.itl-uk.com/es/products/measurement-transformers/indoor/summation-ct/](http://www.itl-uk.com/es/products/measurement-transformers/indoor/summation-ct/)

<sup>19</sup> Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες - Αρχές λειτουργίας και σχεδιασμός των Ηλεκτρικών Συστημάτων Μέτρησης, Κώστας Καλαϊτζάκης & Ευτύχης Κουτρούλης

<sup>20</sup> Ιστότοπος [www.electroind.com/](http://www.electroind.com/)

<sup>21</sup> Manuel Dominguez, Juan J. Fuertes, Serafin Alonso, Miguel A. Prada, Antonio Moran, Pablo Barrientos, Power monitoring system for university buildings: Architecture and advanced analysis tools, *Energy and Buildings* 59 (2013) 152-160 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881200669X>

<sup>22</sup> Εγχειρίδιο μετρητή Nexus 1252 (datasheet), [http://www.electroind.com/pdf/Nexus\\_New/Nexus1252\\_BRO\\_vL\\_WEB.pdf](http://www.electroind.com/pdf/Nexus_New/Nexus1252_BRO_vL_WEB.pdf)

<sup>23</sup> Ιστότοπος [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

<sup>24</sup> Εγχειρίδιο μετρητή CM 4000 (datasheet), [http://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Id=27529287&p\\_File\\_Name=PLSED303025-\(web\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=27529287&p_File_Name=PLSED303025-(web).pdf)

<sup>25</sup> Ιστότοπος <http://www.solidstateinstruments.com/newsletters/newsletter%20pages/Mar11/What%20are%20KYZ%20Pulses.htm>

<sup>26</sup> Εγχειρίδιο μετρητή Shark 100 [http://www.electroind.com/pdf/06\\_29\\_12/Shark/Brochures/E145702\\_Shark100\\_Bro.pdf](http://www.electroind.com/pdf/06_29_12/Shark/Brochures/E145702_Shark100_Bro.pdf)

<sup>27</sup> Εγχειρίδιο λειτουργιών και χαρακτηριστικών μετρητή PM800 [http://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Id=149910388&p\\_File\\_Name=432E2270\\_\(web\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=149910388&p_File_Name=432E2270_(web).pdf)

<sup>28</sup> Εγχειρίδιο εγκατάστασης και συνδέσεων μετρητή PM800 [http://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Id=18050048&p\\_File\\_Name=432E3170\\_Ver5.0.pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=18050048&p_File_Name=432E3170_Ver5.0.pdf)

<sup>29</sup> Ιστότοπος [www.electrex.it/en/](http://www.electrex.it/en/)

<sup>30</sup> Εγχειρίδιο μετρητή ZEPTO 96 (datasheet), [www.electrex.it/en/products/multimeters-power-meters-energy-analysers/pfa8c11-02.html](http://www.electrex.it/en/products/multimeters-power-meters-energy-analysers/pfa8c11-02.html)

<sup>31</sup> Οδηγός εγκατάστασης μετρητή ZEPTO 96 (installation instruction), [www.electrex.it/en/products/multimeters-power-meters-energy-analysers/pfa8c11-02.html](http://www.electrex.it/en/products/multimeters-power-meters-energy-analysers/pfa8c11-02.html)

<sup>32</sup> Οργάνωση και Σχεδίαση Υπολογιστών, Τόμος Α', 3η έκδοση, David A.Patterson & John L.Hennessy

<sup>33</sup> "BACnet - A Tutorial Overview" από ιστότοπο [www.bacnet.org](http://www.bacnet.org)

- 
- <sup>34</sup> Διάλεξη "Intelligent Building Technology", Dr D.Kolokotsa
- <sup>35</sup> Παρουσίαση "LonWorks Fundamentals - A Guide to a Basic Understanding of the LonTalk Protocol"
- <sup>36</sup> Δημοσίευση "Control Area Network(CAN) Basics" Author Keith Pazul, Microchip Technology Inc.
- <sup>37</sup> ARCNET Tutorial από τον ιστότοπο [www.arcnet.com](http://www.arcnet.com)
- <sup>38</sup> Ιστότοπος [www.bitbus.org](http://www.bitbus.org)
- <sup>39</sup> Ιστότοπος [www.profibus.com](http://www.profibus.com)
- <sup>40</sup> Ιστότοπος [www.anybus.com/technologies/modbusplus.shtml](http://www.anybus.com/technologies/modbusplus.shtml)
- <sup>41</sup> Ιστότοπος [www.simplymodbus.ca/TCP.htm](http://www.simplymodbus.ca/TCP.htm)
- <sup>42</sup> Ιστότοπος [www.anybus.com/technologies/modbustcp2.shtml](http://www.anybus.com/technologies/modbustcp2.shtml)
- <sup>43</sup> Ιστότοπος [www.anybus.com/technologies/modbusrtu\\_tech.shtml](http://www.anybus.com/technologies/modbusrtu_tech.shtml)
- <sup>44</sup> Δίφυλλο δεδομένων ZEPTO 96 από την εταιρεία Electrex
- <sup>45</sup> N. Gershenfeld, S. Samouhos, B. Nordman, Intelligent infrastructure for energy efficiency, *Science* 327 (5969) (2010) 1086-1088, <http://www.sciencemag.org/content/327/5969/1086>
- <sup>46</sup> L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings* 40 (3) (2008) 394–398, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001016>
- <sup>47</sup> Philips Dynalite Controls, Case study Boston University
- <sup>48</sup> Ιστότοπος [http://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_management\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Building_management_system)
- <sup>49</sup> John E. Petersen, Vladislav Shunturov, Kathryn Janda, Gavin Platt and Kate Weinberger, Dormitory residents reduce electricity consumption when exposed to real-time visual feedback and incentives, *International Journal of Sustainability in Higher Education*