



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΣΕ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΛΕΒΗΤΩΝ

Σταυρίδης Ευστάθιος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Πανάρας Γεώργιος Επικ. Καθηγητής Π.Δ.Μ.

Κοζάνη, Ιούλιος 2020



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΣΕ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΛΕΒΗΤΩΝ***

Σταυρίδης Ευστάθιος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Πανάρας Γεώργιος Επικ. Καθηγητής Π.Δ.Μ.

Κοζάνη, Ιούλιος 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η θέρμανση αποτελεί βασική ανάγκη του ανθρώπου για να αισθάνεται άνετα σε εσωτερικούς χώρους όπου διαμένει. Η ανάγκη αυτή οδήγησε σε κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που προορίζεται για θέρμανση χώρων. Εδώ και κάποια χρόνια υπάρχουν κανονισμοί και νομοθεσίες με σκοπό την καθοδήγηση και διευκόλυνση στην επιλογή συστημάτων θέρμανσης. Οι κανονισμοί αυτοί, σε συνδυασμό με την ανάγκη για μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση και την εξέλιξη της τεχνολογίας, έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση καινοτόμων συστημάτων.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός αλγορίθμου ελέγχου της εγκατάστασης θέρμανσης του κτηρίου του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (πρώην Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας) στα Κόιλα Κοζάνης.

Αρχικά, πραγματοποιείται βελτιστοποίηση της ισχύς των επιμέρους λεβήτων με κριτήριο τα φορτία θέρμανσης της εγκατάστασης. Στην συνέχεια, αναπτύσσεται ο αλγόριθμος ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος. Ο αλγόριθμος αναπτύχθηκε σε κώδικα Python, ο οποίος επιτρέπει την εφαρμογή του στον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC) της Anax που έχει τοποθετηθεί στην εγκατάσταση.

Η βελτιστοποίηση αφορά τις επιμέρους ισχείς των λεβήτων της εγκατάστασης ώστε να υπάρχει η μικρότερη δυνατή περίσσεια ισχύος κατά το εύρος φορτίων που θα λειτουργεί η αλληλουχία, με στόχο την αύξηση της απόδοσης του συστήματος και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Ο ελεγκτής προβλέπεται να ελέγχει την εγκατάσταση μέσω μιας σειράς πληροφοριών που του παρέχονται μέσω αισθητήρων, εξάγοντας τις κατάλληλες εντολές προς τα όργανα ρύθμισης της εγκατάστασης. Οι λειτουργίες του κώδικα περιλαμβάνουν διαδικασίες όπως τον έλεγχο θερμοκρασίας εσωτερικά των λεβήτων, έλεγχο των ηλεκτροβανών του συστήματος, ενεργοποίηση των απαραίτητων λεβήτων, λειτουργίες ασφαλείας της εγκατάστασης κ.α.

Η προτεινόμενη διαδικασία σχεδιασμού και ο αλγόριθμος μπορούν, με κατάλληλη προσαρμογή, να χρησιμοποιηθούν σε αντίστοιχα προβλήματα αλληλουχίας λεβήτων.

ABSTRACT

Heating is a basic human need to feel comfortable indoors. This need has led to a big increase of energy consumption intended for building heating. In the last years, there have been regulations in order to guide and facilitate the selection of heating systems. These regulations combined with the need to reduce energy consumption, for heating, have resulted in the emergence of innovative heating systems.

The topic of this dissertation is the development of a control algorithm for the control of the heating installation for the building of the University of Western Macedonia (former T.I of Western Macedonia) in Koila, Kozani.

First, the power of the individual boilers will be optimized based on the heating loads of the installation. Then, an algorithm written in Python will be developed in order to apply it to the programmable logic controller (PLC) of Anax which is installed in the system.

The optimization criterion is the minimization of the wasted power of the operating range of the system, through which the power of the individual boilers will be selected, aiming to increase the system efficiency and reduce the energy consumption.

The system controller will be programmed to control the installation through a series of information that will be provided through sensors, it will process the information and export commands to the controlled devices. The control code of the system will be written in Python which the controller uses. The code functions include procedures such as temperature control inside the boilers, control of the system's valves, activation of the necessary boilers, safety features etc.

The proposed design process and the algorithm can be used in a similar boiler sequence with appropriate adjustment.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα σκληρής δουλειάς, που χωρίς τη συμβολή κάποιων ανθρώπων δεν θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωσή της. Αυτές οι γραμμές αποτελούν την αναγνώριση της βοήθειας αυτών που πίστεψαν στις δυνατότητές μου και μου έδωσαν απλόχερα τη βοήθειά τους προκειμένου να κλείσει επιτυχημένα ο κύκλος των σπουδών μου.

Θα ήθελα πρώτα απ' όλα, να ευχαριστήσω τον επιβλέπον καθηγητή μου, Πανάρα Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη, συνεχή καθοδήγηση και την αδιάκοπη υποστήριξη που μου παρείχε σε όλο το χρονικό διάστημα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο Αριστείδη Αφεντουλίδη και την εταιρεία του, για την παραχώρηση του ελεγκτή για τις ανάγκες της διπλωματικής, την άψογη συνεργασία και τις πολύτιμες συμβουλές του. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω, τα μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής κύριο Θεόδωρο Θεοδουλίδη και κύριο Νίκο Πλόσκα, για το χρόνο που αφιέρωσαν για την υποστήριξη αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την τεράστια υποστήριξη που μου έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | 6 |
| 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 10 |
| 1.1 Ιστορική αναδρομή | 10 |
| 1.2 Θερμική άνεση | 11 |
| 1.3 Θερμικές απώλειες | 12 |
| 1.4 Απόδοση Θερμότητας | 16 |
| 1.4.1 Σώμα ακτινοβολίας(radiator)..... | 16 |
| 1.4.2 Μονάδα ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil) | 17 |
| 1.4.3 Ενσωματωμένα συστήματα | 18 |
| 1.5 Παραγωγή θερμότητας..... | 19 |
| 1.5.1 Λέβητες..... | 19 |
| 1.5.2 Καυστήρες | 23 |
| 2 ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ..... | 26 |
| 2.1 Στοιχεία ενός συστήματος ελέγχου | 26 |
| 2.2 Αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας | 27 |
| 2.2.1 Καμπύλες θερμοκρασίας προσαγωγής | 27 |
| 2.3 Τρόποι ελέγχου εγκαταστάσεων θέρμανσης..... | 29 |
| 2.3.1 Με επίδραση στην θερμότητα που παρέχει η μονάδα παραγωγής θερμότητας | 29 |
| 2.3.2 Με επίδραση στην θερμότητα που παρέχει η μονάδα μετάδοσης θερμότητας | 30 |
| 2.3.3 Έλεγχος με μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού προσαγωγής στα θερμαντικά σώματα με χρήση βάνας ανάμιξης. | 32 |
| 2.4 Αισθητήρες..... | 36 |
| 2.4.1 Τύποι αισθητήρων..... | 36 |
| 2.4.2 Ταξινόμηση αισθητήρων | 37 |
| 2.4.3 Θερμοζεύγος (thermocouple)..... | 37 |
| 2.4.4 θερμομέτρα ηλεκτρικής αντίστασης (Resistance Temperature detectors, RTD's) | 38 |
| 2.4.5 Θερμίστορ..... | 39 |
| 2.5 Όργανα ρύθμισης | 41 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.5.1 | Βάνες..... | 41 |
| 2.5.2 | Κυκλοφορητές | 46 |
| 3 | ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΛΕΒΗΤΩΝ..... | 49 |
| 3.1 | Εισαγωγή..... | 49 |
| 3.2 | Διαστασιολόγηση λεβήτων | 50 |
| 3.3 | Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης επιμέρους λεβήτων | 51 |
| 3.3.1 | Κατανομή φορτίων θέρμανσης..... | 51 |
| 3.3.2 | Βελτιστοποίηση με στόχο την ελαχιστοποίηση της περίσσειας ισχύος | 53 |
| 3.3.3 | Βελτιστοποίηση εγκατάστασης λαμβάνοντας υπόψη και υπερδιαστασιολόγηση . | 53 |
| 3.4 | Συνδεσμολογία αλληλουχίας | 53 |
| 3.5 | Αυτόματος έλεγχος αλληλουχίας λεβήτων | 54 |
| 3.5.1 | Έλεγχος με βάση την θερμοκρασία επιστροφής..... | 54 |
| 3.5.2 | Έλεγχος με βάση την θερμοκρασία προσαγωγής..... | 55 |
| 3.5.3 | Έλεγχος με διακοπτόμενη λειτουργία..... | 55 |
| 3.5.4 | Έλεγχος με χρήση θερμοστατών | 55 |
| 4 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ..... | 56 |
| 4.1 | Η εγκατάσταση..... | 56 |
| 4.2 | Επιλογή βέλτιστου συνδυασμού λεβήτων. | 61 |
| 4.2.1 | Μεθοδολογία υπολογισμού περίσσειας ισχύος | 61 |
| 4.2.2 | Βέλτιστη λύση για ισχύ 3000 kW με υπολογισμό όλων των πιθανών φορτίων..... | 63 |
| 4.2.3 | Εναλλακτικές λύσεις..... | 64 |
| 4.2.4 | Μέθοδος Monte Carlo..... | 66 |
| 5 | ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ..... | 75 |
| 5.1 | Απαρ προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής..... | 75 |
| 5.1.1 | CON64A | 77 |
| 5.1.2 | DOUTA8A..... | 77 |
| 5.1.3 | DIN8A..... | 78 |
| 5.1.4 | AOUT8A..... | 79 |
| 5.1.5 | AIN5A..... | 80 |
| 5.2 | Αλγόριθμος αυτοματισμού..... | 81 |
| 5.2.1 | Κλάση ενεργών καταναλωτών..... | 84 |
| 5.2.2 | Κλάση λεβήτων..... | 87 |

| | | |
|-------|--------------------------------------|-----|
| 5.2.3 | Κλάση λειτουργίας κυκλοφορητών | 95 |
| 5.2.4 | Κλάση ταχύτητας κυκλοφορητών..... | 97 |
| 6 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ..... | 100 |
| 6.1 | Συμπεράσματα | 100 |
| 6.2 | Μελλοντική έρευνα..... | 101 |
| 7 | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 102 |
| 7.1 | Πίνακας Α | 102 |
| 7.2 | Συνολικός Κώδικας..... | 117 |
| 8 | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 133 |

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

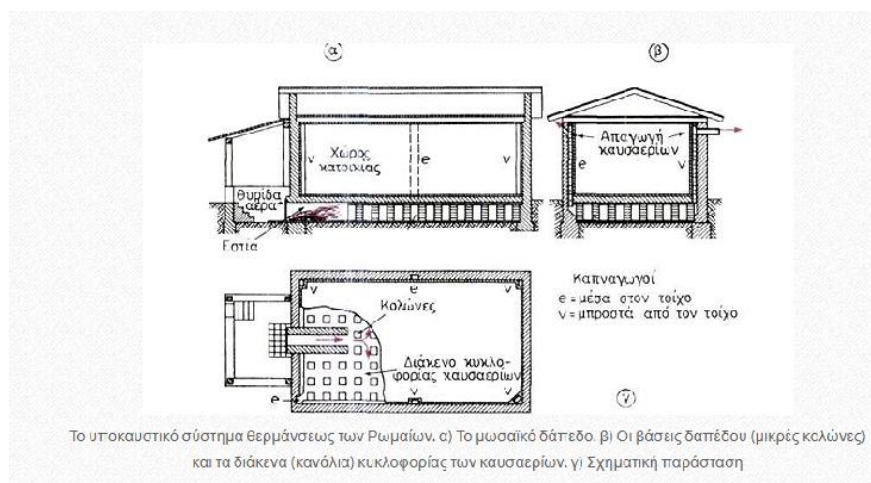
1.1 Ιστορική αναδρομή

Από τους προϊστορικούς χρόνους ο άνθρωπος επινόησε τρόπους για να προστατευτεί από το κρύο κατά την διάρκεια του χειμώνα. Η φωτιά που χρησιμοποιούσε ως καύσιμο το ξύλο, καιγόταν πάνω σε μια ανοιχτή εστία θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι η πρώτη μέθοδος τοπικής θερμάνσεως. Η φλόγα των ξύλων όμως δημιουργούσε πολλούς καπνούς. Έτσι παρατηρήθηκε ότι οι ξυλάνθρακες, τα υπολείμματα δηλαδή από την ατελή καύση ξύλου, ήταν ένα καύσιμο που δεν δημιουργούσε καπνούς.

Το επόμενο μεγάλο βήμα ήταν η καπνοδόχος που άρχισε να τοποθετείται πάνω από τις εστίες.

Η εξέλιξη της ανοιχτής εστίας ήταν το τζάκι που επινοήθηκε τον 13^ο π.Χ αιώνα. Με αποτέλεσμα την απαλλαγή από τα αέρια της καύσεως. Ο περιορισμένος βαθμός απόδοσης των ανοιχτών εστιών όμως οδήγησε στην δημιουργία κλειστών εστιών φωτιάς με καπνοδόχο, δηλαδή τις σόμπες. Οι σόμπες πρωτοεμφανίστηκαν το 600 π.Χ.

Αυτό που λέμε σήμερα κεντρική θέρμανση, δηλαδή θέρμανση ενός χώρου από φωτιά που βρίσκεται έξω από το θερμαινόμενο χώρο, διαδόθηκε από τους ρωμαίους με το υποκαυστικό σύστημα τους. Στο σύστημα αυτό το δάπεδο βρισκόταν πάνω σε κολώνες από όπου τα καυσαέρια διοχετεύονταν στο χώρο και θερμάνονταν το δάπεδο. Στη συνέχεια διέφευγαν διαμέσου πλευρικών αγωγών, από όπου ζέσταιναν τα πλευρικά τοιχώματα, στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 1.1 Το υποκαυστικό σύστημα θέρμανσης

(ΠΗΓΗ : <https://levitostasia.weebly.com/>)

Το επόμενο μεγάλο βήμα στην ανάπτυξη των κεντρικών θερμάνσεων είναι ο αερολέβητας. Ο αερολέβητας είχε για πρώτη φορά διαφορετικά κανάλια κυκλοφορίας καυσαερίων-καθαρού αέρα. Τα καυσαέρια έβγαιναν στο περιβάλλον μέσω καμινάδας, ενώ ο ζεστός αέρας μέσω διακένων διοχετευόταν στο περίβλημα του κτηρίου.

Με την εμφάνιση του αερολέβητα εμφανίστηκαν και οι πρώτες μορφές αυτομάτου ελέγχου. Ένα θερμόμετρο υδραργύρου μισό βυθισμένο μέσα στον αερολέβητα με ένα εξάρτημα που επιπλέει στην επιφάνεια του, το οποίο είναι συνδεδεμένο μέσω μιας σειράς συνδέσμων με έναν ανεμοφράκτη. Όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει στον αερολέβητα, ανεβαίνει η στάθμη του υδραργύρου και ο ανεμοφράκτης κλείνει. Αργότερα ο υδράργυρος αντικαταστάθηκε με νερό και το θερμόμετρο ρευστού με διμεταλλικό θερμοκρασιακό ρυθμιστή (Recknagel - Sprenger, 1992)

Έπειτα εμφανίστηκαν οι πρώτοι λέβητες χυτοσίδηρου παράλληλα με την εμφάνιση των θερμαντικών σωμάτων και άρχισαν να χρησιμοποιούνται ,κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις, για θέρμανση με την χρήση ατμού. Οι πολύ θερμές επιφάνειες της εγκατάστασης θέρμανσης με ατμό ξηραίνουν το εσωτερικό περιβάλλον και προκαλούν δυσσομία.

Έτσι άρχισε να χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης θερμότητας σε κεντρικές θερμάνσεις το ζεστό νερό σε χαμηλή πίεση. Χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε καλοριφέρ ,ενδοδαπέδια θέρμανση ακόμη και αέρα αποτελώντας βασικό στοιχείο των διατάξεων θέρμανσης.

1.2 Θερμική άνεση

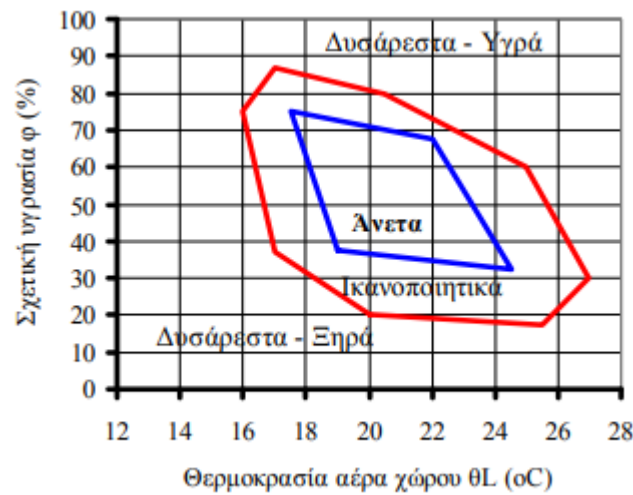
Τα κτήρια έχουν σκοπό την προστασία από τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν για διάφορες δραστηριότητες. Έτσι θα πρέπει στο εσωτερικό του κτηρίου να επικρατούν οι συνθήκες αυτές που επιτρέπουν στον άνθρωπο να αισθάνεται άνεση. Για αυτόν το λόγο επιδιώκεται να διατηρούνται, με τα συστήματα θέρμανσης, οι συνθήκες που προσφέρουν στον άνθρωπο ασφάλεια ,άνετη και υγιεινή διαβίωση

Εξετάζοντας το κάθε κτήριο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του, θα πρέπει να επικρατούν στο εσωτερικό του η θερμοκρασία ,η υγρασία, η ένταση του θορύβου και το επίπεδο φωτισμού που προσφέρουν την αίσθηση ευφορίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για κάθε άνθρωπο τα επιθυμητά επίπεδα "άνεσης" μπορεί να διαφέρουν και σχετίζονται με παραμέτρους όπως η υγεία, το φύλο, την ηλικία και την δραστηριότητα εξελίσσεται εκείνη την χρονική στιγμή (Τ.Ε.Ε.,2011).

Κατά κύριο λόγο η άνεση εξαρτάται από την θερμοκρασία και την υγρασία και παρουσιάζουν πολύ μικρές αποκλίσεις από άτομο σε άτομο (Σχ 1.2).



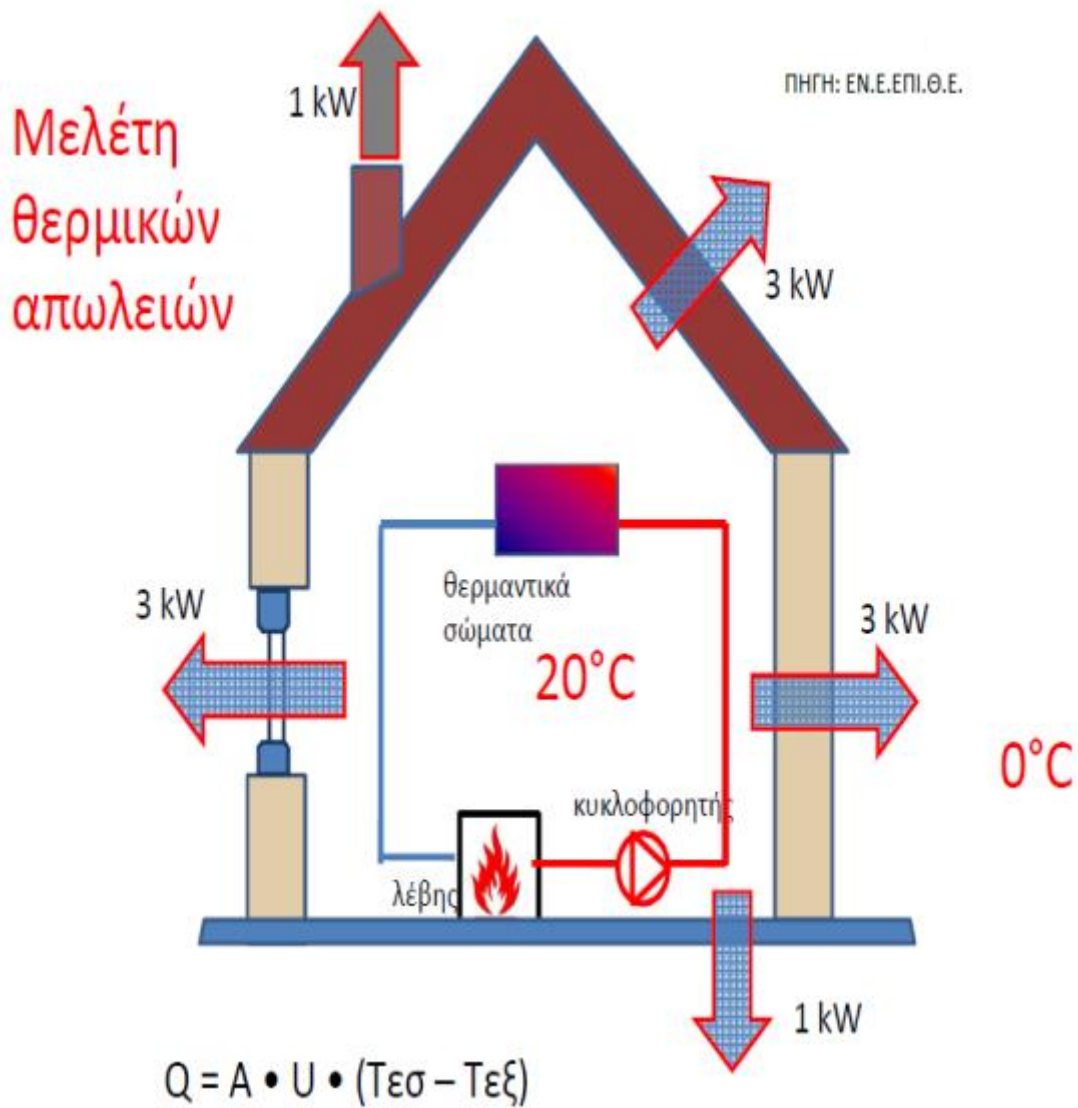
Σχήμα 1.2 Διάγραμμα σχετικής υγρασίας-θερμοκρασίας χώρου-άνεσης

(ΠΗΓΗ: Κατσαπρακάκης. Και Μονιάκης 2015)

Τα σύγχρονα συστήματα Θέρμανσης θα πρέπει να διατηρούν τις συνθήκες θερμικής άνεσης ανεξάρτητα των συνθηκών που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον σε κάθε χρονική περίοδο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις συνθήκες στο εσωτερικό του κτηρίου είναι η εξωτερική θερμοκρασία, ο προσανατολισμός του κτηρίου, τα υλικά κατασκευής, ο τύπος και ο αριθμός ηλεκτρικών συσκευών και ο τρόπος λειτουργίας του κτηρίου.

1.3 Θερμικές απώλειες

Η μελέτη θερμικών απωλειών ενός κτηρίου γίνεται με κριτήριο τις δυσμενείς συνθήκες σχεδιασμού εξωτερικών συνθηκών (ΤΕΕ, 2012; Κατσαπρακάκης Και Μονιάκης, 2015), οι οποίες εμφανίζονται σπάνια κατά την περίοδο θέρμανσης. Παράλληλα συχνό είναι το φαινόμενο μια εγκατάσταση θέρμανσης να έχει υπερδιαστασιολογηθεί με αποτέλεσμα ακόμη μεγαλύτερη κατανάλωση πόρων (ΤΕΕ,2011).



Σχήμα 1.3 μελέτη θερμικών απωλειών κτηρίου

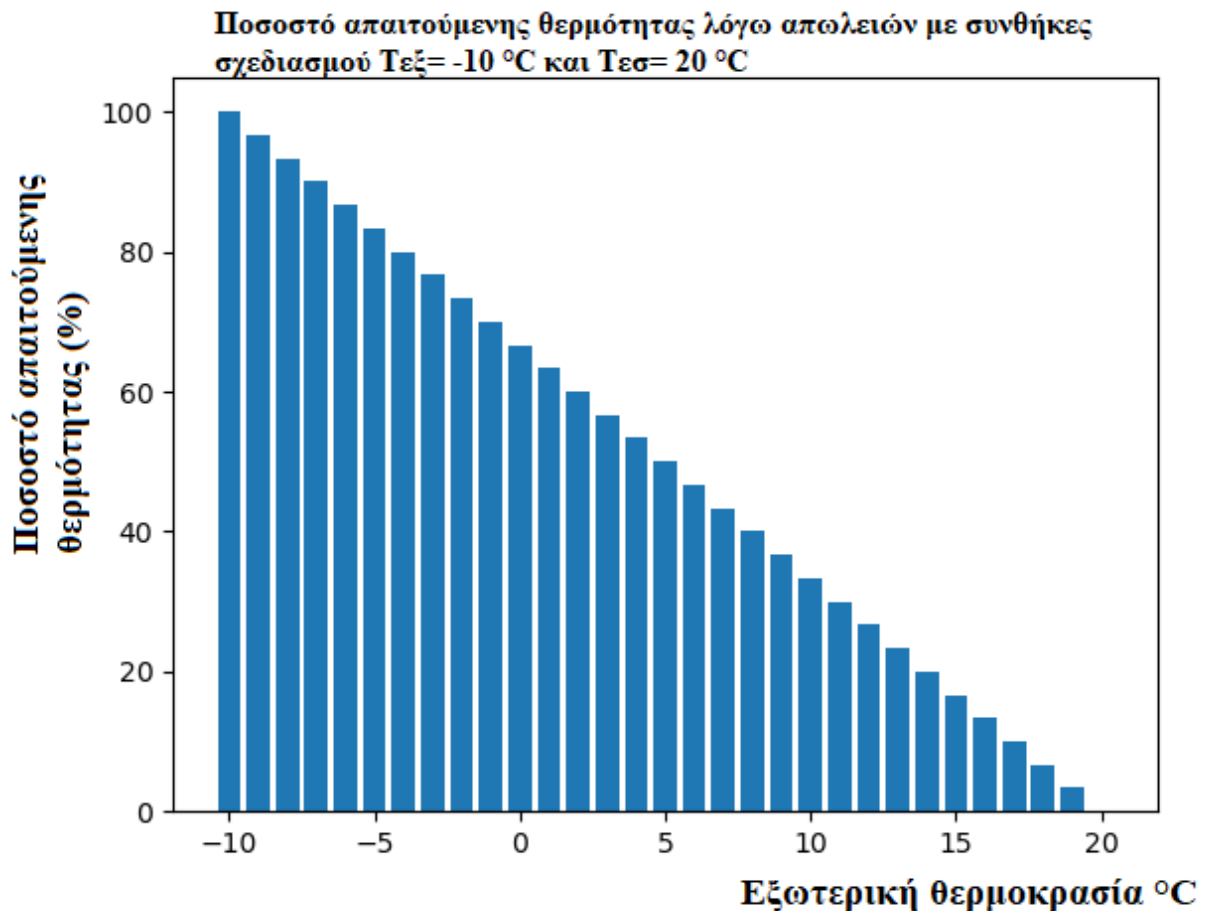
(ΠΗΓΗ: <http://www.uhhe.gr>)

Θα πρέπει λοιπόν να εκμεταλλευτούμε τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά στο μεγαλύτερο μέρος της χειμερινής περιόδου και να μειώσουμε καταλλήλως την θερμότητα που προσάγουμε πετυχαίνοντας μεγαλύτερη οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου αλλά και αίσθημα ανέσεως στους ενοίκους.

Ο γενικός τύπος που μας δίνει την ισχύ των θερμικών απωλειών είναι:

$$Q = U A \Delta T \text{ (Εξίσωση 1.3)}$$

Όπου, U είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου σε $\text{KW}/(\text{m}^2 \text{ K})$, A είναι η επιφάνεια του κτηρίου σε m^2 και ΔT είναι η διαφορά της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε K .



Σχήμα 1.4 διάγραμμα απαιτούμενης θερμικής ισχύος – εξωτερικής θερμοκρασίας

Στο γράφημα (Σχ. 1.4) παρατηρούμε τη μεταβολή της θερμικής ισχύος που απαιτείται σε σχέση με τη μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας από $-10\text{ }^\circ\text{C}$ έως και $20\text{ }^\circ\text{C}$ όπου το κτήριο δεν χρειάζεται πλέον θερμότητα για την θέρμανση του.

Η Τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-3 του 2010 (ΤΕΕ, 2012) αναφέρεται στα κλιματολογικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών και στις συνθήκες σχεδιασμού

για την διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού στις κτηριακές εγκαταστάσεις.



Σχήμα 1.5. διάγραμμα αθροιστικής κατανομής συχνοτήτων εμφάνισης εξωτερικής θερμοκρασίας

(ΠΗΓΗ: ΤΕΕ, 2012)

Σύμφωνα με το σχήμα παρατηρούμε ότι η συχνότητα εμφάνισης των μέσων θερμοκρασιών της κλίμακας είναι μεγαλύτερη από των ακραίων.

Βάσει όλων των ανωτέρω γίνεται κατανοητό ότι το σύστημα θέρμανσης θα λειτουργεί ως επί το πλείστον σε συνθήκες μερικού φορτίου και μακριά από τα ονομαστικά του μεγέθη.

Συνεπώς είναι σημαντικό η εγκατάσταση να λειτουργεί με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης σε αυτές τις συνθήκες.

Ένα συχνό φαινόμενο σε εγκαταστάσεις θέρμανσης είναι να μην έχουν ενεργοποιημένη την θέρμανση όλοι οι καταναλωτές ταυτόχρονα με αποτέλεσμα την μειωμένη θερμική ισχύς που απαιτείται (Πίνακας 1.1).

| Καταναλωτές | Ποσοστό συνολικού φορτίου | Αθροιστικό ποσοστό συνολικού φορτίου |
|-------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 0.25 | 0.25 |
| 2 | 0.25 | 0.5 |
| 3 | 0.25 | 0.75 |
| 4 | 0.25 | 1 |

Πίνακας 1.1 Παράδειγμα φορτίων ανα καταναλωτή

Κατα το πλείστον σε μια εγκατάσταση δεν έχουμε όλους τους καταναλωτές ταυτόχρονα με ενεργή θέρμανση έχοντας έτσι ένα ακόμη κριτήριο να λάβουμε υπ' όψη κατά τον σχεδιασμό του συστήματος.

1.4 Απόδοση Θερμότητας

Οι μονάδες απόδοσης (τερματικές μονάδες) που θα ασχοληθούμε είναι:

- Σώμα ακτινοβολίας(radiator)
- Μονάδα ανεμιστήρα στοιχείου(fan coil)
- Ενσωματωμένα συστήματα

1.4.1 Σώμα ακτινοβολίας(radiator)



Εικόνα 1.6 Σώμα ακτινοβολίας

(ΠΗΓΗ: <https://tehnothermiki.gr/>)

Το σώμα ακτινοβολίας (Σχ. 1.6) πρόκειται για τον συνηθέστερο τύπο θερμαντικού σώματος όπου η θερμότητα μεταδίδεται κυρίως μέσω ακτινοβολίας στο περιβάλλον. Σημαντικό όμως

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

τιμήμα τις μετάδοσης επιτυγχάνεται και με μεταφορά λόγω φυσικής κυκλοφορίας του αέρα γύρο από το σώμα. Σώματα με επίπεδες επιφάνειες παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό ακτινοβολίας ενώ σώματα με πτυχώσεις ,φέτες αποδίδουν περισσότερο με μεταφορά.

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία είναι η πιο ευχάριστη πηγή θερμότητας. Παρουσιάζει όμως μειονεκτήματα όπως, μεταξύ σώματος και χώρου δεν μπορεί να υπάρχει κάποιο εμπόδιο γιατί αποτελεί φράγμα ακτινοβολίας, επίσης η μετάδοση με ακτινοβολία απαιτεί σχετικά υψηλή θερμοκρασία προσαγωγής στα σώματα με αυξημένες απώλειες κατά την μεταφορά του (Recknagel - Sprenger, 1992).

1.4.2 Μονάδα ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil)



Σχήμα 1.7 Μονάδα Fan coil

(ΠΗΓΗ: <https://kalomirisenergy.gr/>)

Η μονάδα ανεμιστήρα στοιχείου (Σχ. 1.7) αποτελεί την δεύτερη πιο διαδεδομένη μορφή τερματικής μονάδας λόγω της δυνατότητας τους να λειτουργούν σε θέρμανση και ψύξη. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται με εξαναγκασμένη μεταφορά με την βοήθεια ανεμιστήρα .Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν να λειτουργούν με πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα σώματα ακτινοβολίας μεταφέροντας την θερμότητα στον αέρα του χώρου.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα του fan coil είναι ότι η διείσδυση αέρα από χαραμάδες απομακρύνει γρήγορα τον θερμό αέρα όταν σταματάει να λειτουργεί.

1.4.3 Ενσωματωμένα συστήματα



Σχήμα 1.8 Ενδοδαπέδια θέρμανση

(ΠΗΓΗ: <https://thermansipress.gr/>)

Τα ενσωματωμένα συστήματα θερμότητας είναι τα συστήματα που ενσωματώνονται στα οικοδομικά στοιχεία των χώρων.

Τέτοιο σύστημα είναι η θέρμανση δαπέδου (Σχ. 1.8) που λόγω της ήπιας ακτινοβολίας μας προσφέρει αίσθηση καλύτερης ποιότητας θέρμανσης. Η λειτουργία αυτού του συστήματος είναι πιο οικονομική από τα σώματα υψηλών θερμοκρασιών επίσης προσφέρει αύξηση χώρων. Ακόμη προσφέρει την δυνατότητα χρήσης για ήπια ψύξη

Η θέρμανση δαπέδου σε άλλες χώρες αποτελεί ήδη το κυρίαρχο σύστημα θέρμανσης με μεγάλο πλεονέκτημα την δυνατότητα χρήσης πληθώρας συστημάτων παραγωγής θερμότητας όπως αντλίες θερμότητας που μπορούν να προσφέρουν και θέρμανση και ψύξη, έχοντας παράλληλα χαμηλό λειτουργικό κόστος.

Μειονέκτημα των ενδοδαπέδιων συστημάτων αποτελεί το υψηλό κόστος εγκατάστασης που είναι από 20-40% ακριβότερο από τα θερμαντικά σώματα και η αδυναμία τροποποίησης της εγκατάστασης στο μέλλον (ΤΕΕ, 2011).

1.5 Παραγωγή θερμότητας

1.5.1 Λέβητες



Σχήμα 1.9 λέβητας με καυστήρα

(ΠΗΓΗ: <https://www.thermogroup.gr>)

Οι λέβητες είναι το συνηθέστερο σύστημα θέρμανσης χώρων. Ο λέβητας είναι το στοιχείο που γίνεται η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ των καυσαερίων του καυσίμου και του θερμού νερού που κυκλοφορεί στο δίκτυο και καταλήγει στις τερματικές μονάδες.

Οι συνήθεις λέβητες που χρησιμοποιούνται σε κτηριακές εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων προορίζονται για θέρμανση νερού μέχρι 110 °C και πίεση μέχρι 6 bar.

Διάκριση λεβήτων

Η διάκριση των λεβήτων (Κατσαπρακάκης Και Μονιάκης, 2015; ΤΕΕ, 2011) μπορεί να γίνει ανάλογα με:

- Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο.
- Το υλικό κατασκευής .
- Τις διαδρομές καυσαερίων .
- Την δυνατότητα αξιοποίησης θερμότητας των καυσαερίων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Χρησιμοποιούμενο καύσιμο

Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο με το οποίο προορίζεται να λειτουργήσει ο λέβητας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του θαλάμου καύσης και στα υπόλοιπα κατασκευαστικά στοιχεία του ανάλογα με την θερμογόνο δύναμη και προϊόντα καύσης όπως θερμοκρασία ποσότητα καυσαερίων και τέφρα.

Έτσι τους διακρίνουμε σε λέβητες στερεών ,υγρών και αέριων καυσίμων.

Υλικό κατασκευής

Μπορούμε να διακρίνουμε τους λέβητες ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους σε:

- Λέβητες χυτοσίδηρου
- Χαλύβδινους λέβητες

Λέβητες χυτοσίδηρου



Σχήμα 1.10 Λέβητας χυτοσίδηρου

(ΠΗΓΗ:ΤΕΕ, 2011)

Αρχικά όλοι οι λέβητες κατασκευάζονταν από χυτοσίδηρο αλλά με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι χαλύβδινους λέβητες άρχισαν να τους ανταγωνίζονται. Οι χυτοσίδηροι λέβητες αποτελούνται από ανεξάρτητα, ομοιόμορφα στοιχεία τα οποία ενώνονται μεταξύ τους. Το πρώτο και το τελευταίο στοιχείο διαφέρουν από τα υπόλοιπα. Ο λέβητας καλύπτεται με θερμομονωτικά υλικά και ανακλαστικό φύλλο αλουμινίου. Από την εσωτερική κοιλότητα των

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

στοιχείων διέρχεται νερό το οποίο θερμαίνεται από τα καυσαέρια τα οποία διέρχονται από τους σχηματιζόμενους αυλούς περιμετρικά των στοιχείων.

Χαλύβδινοι λέβητες



Σχήμα 1.11 Λέβητας χάλυβα

(ΠΗΓΗ:ΤΕΕ, 2011)

Οι χαλύβδινοι λέβητες κατασκευάζονται με συγκόλληση κατάλληλα διαμορφωμένων ελασμάτων και αυλών και παραδίδονται ως έτοιμα τεμάχια. Το περίβλημα είναι κατασκευασμένο από χαλύβδινο έλασμα και περιβάλλει όλο τον λέβητα. Η διαμόρφωση τους είναι κυλινδρική, κατακόρυφη σε μικρές εφαρμογές, είτε οριζόντια σε μεγαλύτερες. Ανάλογα με την μορφή του φλογοθαλάμου και του υδροθαλάμου, διακρίνονται σε αεριαυλωτούς ή υδραυλωτούς .

Αν τα καυσαέρια διέρχονται διαμέσω αυλών και περιβάλλονται από νερό έχουμε αεριαυλωτούς λέβητες. Αντίθετα αν μέσα στους αυλούς κυκλοφορεί νερό και περιβάλλονται από καυσαέρια έχουμε υδραυλωτούς λέβητες. Συνήθως σε κεντρικές θερμάνσεις έχουμε αεριαυλωτούς λέβητες.

Διαδρομές καυσαερίων



Σχήμα 1.12 Λέβητας τριών διαδρομών καυσαερίων

(ΠΗΓΗ: ΤΕΕ, 2011)

Ο μεγαλύτερος αριθμός διαδρομών καυσαερίων στους λέβητες έχει ως αποτέλεσμα να παραμένουν τα καυσαέρια για μεγαλύτερο χρόνο μέσα στον λέβητα, επιτυγχάνοντας καλύτερες συνθήκες μετάδοσης θερμότητας, με συνέπεια την βελτίωση του βαθμού απόδοσης και τελικά εξοικονόμηση ενέργειας. Για αυτόν τον λόγο τα καυσαέρια πρέπει να κάνουν δύο ή περισσότερες διαδρομές πριν εξέλθουν από τον λέβητα.

Δυνατότητα αξιοποίησης θερμότητας καυσαερίων

Η έρευνα για την καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας και τεχνικών που είναι πιο φιλικές στο περιβάλλον οδήγησαν στην ανάπτυξη του λέβητα συμπύκνωσης. Στους συμβατικούς λέβητες κατά την λειτουργία τους επιθυμούμε η υδρατμοί των καυσαερίων να παραμείνουν σε αέρια φάση και να μην υπάρχει συμπύκνωση μέσα στον λέβητα επειδή προκαλούν διάβρωση και μείωση του χρόνου ζωής του λέβητα.

Στους λέβητες συμπύκνωσης επιτυγχάνεται εκμετάλλευση της ανώτερης θερμογόνου δύναμης του καυσίμου, δηλαδή η θερμότητα που απελευθερώνεται από την πλήρη καύση του καυσίμου συμπεριλαμβανομένης της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης των υδρατμών, οπότε το νερό στο τέλος της καύσης θεωρείται ότι βρίσκεται σε υγρή φάση. Στην περίπτωση αυτήν η επιφάνειες συναγωγής είναι μεγαλύτερες από τους συμβατικούς λέβητες, ώστε να αξιοποιείται η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών. Τα συμπυκνώματα καταλήγουν σε κατάλληλη διάταξη συλλογής και αποχέτευσης και μάλιστα αυτά των υγρών καυσίμων που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο θα πρέπει να εξουδετερώνονται.

1.5.2 Καυστήρες



Σχήμα 1.13 Καυστήρας πετρελαίου

(ΠΗΓΗ: <https://www.kalogiropoulos.gr>)

Καυστήρες είναι οι συσκευές με τη βοήθεια των οποίων γίνεται η καύση του καυσίμου μίγματος στο χώρο της εστίας του λέβητα. Ο καυστήρας δημιουργεί το κατάλληλο μίγμα για την πλήρη και ασφαλή καύση του καυσίμου, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου, σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Η διάκριση των καυστήρων μπορεί να γίνει με βάση το είδος καυσίμου που χρησιμοποιούν (ΤΕΕ, 2011) και διακρίνονται σε:

- Καυστήρες κονιοποιημένων στερεών καυσίμων .
- Καυστήρες υγρών καυσίμων.
- Καυστήρες αέριων καυσίμων.
- Καυστήρες μικτού τύπου.

Καυστήρες στερεών καυσίμων

Στην κατηγορία αυτήν ανήκουν καυστήρες που αναφέρονται ως καυστήρες βιομάζας και αναφέρονται σε συστήματα καύσης καυσίμων όπως τυποποιημένη βιομάζα (pellets), καυσόξυλα και άλλων τύπων βιομάζας (πυρήνας ελιάς ,ροκανίδια κτλ).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καυστήρες υγρών καυσίμων

Οι καυστήρες υγρών καυσίμων μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το σύστημα διασκορπισμού του πετρελαίου (Κατσαπρακάκης Και Μονιάκης, 2015; Recknagel - Sprenger, 1992):

- Εξαμηστικοί καυστήρες
- Περιστροφικοί/φυγοκεντρικοί καυστήρες
- Καυστήρες διασκορπισμού

Εξαμηστικοί καυστήρες

Χρησιμοποιούνται κυρίως για τοπική χρήση ,όπως στις θερμάστρες πετρελαίου και λειτουργούν με ανεμιστήρα ή χωρίς.

Περιστροφικοί /φυγοκεντρικοί καυστήρες

Οι καυστήρες αυτοί είναι κατάλληλη για την καύση όλων των τύπων πετρελαίου, κυρίως μαζούτ και χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Το καύσιμο στεγανοποιείται με την επίδραση φυγοκεντρικής δύναμης. Υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της παροχής καυσίμου αλλά είναι πολύ θορυβώδεις.

Καυστήρες διασκορπισμού

Στους καυστήρες διασκορπισμού το καύσιμο εγχέεται, μέσω ακροφυσίου ,στην εστία καύσης όπου σταγονιδιοποιείται. Όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια τόσο καλύτερη είναι η ανάμιξη με τον αέρα καύσης. Ο αέρας προσάγεται με την βοήθεια ανεμιστήρα που έχει αποτέλεσμα την βελτίωση της καύσης.

Οι καυστήρες διασκορπισμού χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά σε κεντρικές θερμάνσεις λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν από πλευράς χειρισμού, ασφάλειας λειτουργίας και συντήρησης.

Καυστήρες αερίων

Οι καυστήρες αερίων διακρίνονται σε:

- Ατμοσφαιρικούς καυστήρες

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Υψηλής πίεσης καυστήρες

Όπου ο τρόπος λειτουργίας τους παρουσιάζει παρόμοια στοιχεία με τους καυστήρες διασκορπισμού.

Βαθμίδες καυστήρα

Οι καυστήρες μπορούν ακόμη να διακριθούν σε μονοβάθμιους ,διβάθμιους ή πολυβάθμιους.

Μονοβάθμιοι είναι οι καυστήρες στους οποίους υπάρχει μόνο ένα σημείο έγχυσης καυσίμου αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο καυστήρας να μπορεί να λειτουργήσει με συγκεκριμένη παροχή καυσίμου άρα και ισχύ.

Διβάθμιοι είναι οι καυστήρες στους οποίους υπάρχουν δύο σημεία έγχυσης με δύο ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ή ένα σημείο με δύο ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ώστε να μεταβάλλεται η παροχή. Στους καυστήρες αυτούς θα πρέπει η πρώτη βαθμίδα να βρίσκεται σε ήδη σε λειτουργία για να εκκινήσει η δεύτερη επειδή το σύστημα ανάφλεξης βρίσκεται στην πρώτη βαθμίδα.

2 ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο αυτόματος έλεγχος μιας κεντρικής εγκατάστασης θέρμανσης είναι απαραίτητος ώστε να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος βαθμός άνεσης με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Για τον λόγο αυτό ελέγχονται και προσαρμόζονται μια σειρά μεταβλητών όπως η παροχή ζεστού νερού, η θερμοκρασία προσαγωγής, η θερμοκρασία του χώρου κ.α.

Κάθε εγκατάσταση θέρμανσης, διαστασιολογείται έτσι ώστε να παρέχει πάντα την απαιτούμενη Θερμότητα σε πλήρες φορτίο, δηλαδή σε συνθήκες εμφάνισης των ελάχιστων εξωτερικών θερμοκρασιών. Αυτό συμβαίνει σε λίγες περιπτώσεις με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του χώρου να αυξάνεται πάνω από την θερμοκρασία άνεσης, με συνέπειες το αυξημένο κόστος λειτουργίας, τις αυξημένες απώλειες ενέργειας και μεγαλύτερη καταπόνηση του συστήματος (ΤΕΕ, 2011).

2.1 Στοιχεία ενός συστήματος ελέγχου

Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου αποτελείται από:

- Αισθητήρες ή στοιχεία μέτρησης που μετρούν ορισμένες ρυθμιζόμενες μεταβλητές όπως είναι η θερμοκρασία, πίεση κ.α.
- Όργανα ρύθμισης που ενεργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταβάλλουν την τιμή μεταβλητών, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία προσαγωγής στα θερμαντικά σώματα.
- Ο ελεγκτής που συγκρίνει την τιμή μέτρησης με την επιθυμητή και δίνει εντολή στα όργανα ρύθμισης να προσαρμοστούν αναλόγως.

Κάθε σύστημα ελέγχου θέρμανσης μπορεί να ρυθμίζεται με ανοικτό ή κλειστό βρόχο. Στα συστήματα κλειστού βρόχου γίνεται μέτρηση κάποιας μεταβλητής, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία του χώρου και η τιμή της μέτρησης μεταβιβάζεται στον ρυθμιστή όπου συγκρίνεται με την επιθυμητή τιμή. Αν διαπιστωθεί διαφορά μεταξύ των τιμών, ο ρυθμιστής θα δώσει σήμα διόρθωσης στα όργανα ρύθμισης με στόχο την εξίσωση της επιθυμητής με την μετρούμενη τιμή. Εάν η ρύθμιση δεν γίνεται με βάση την θερμοκρασία του χώρου, αλλά την εξωτερική θερμοκρασία δηλαδή η θερμοκρασία του χώρου δεν επηρεάζει την ρύθμιση, ο βρόχος θα είναι ανοικτού τύπου. Οπότε στην διαδικασία αυτή απουσιάζει η ανάδραση.

2.2 Αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας

Η αντιστάθμιση είναι η διαδικασία κατά την οποία μεταβάλλουμε την θερμότητα που παρέχουμε στις θερματικές μονάδες ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Η λειτουργία αυτή μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους. Ο πρώτος είναι με προσαρμογή της παροχής ζεστού νερού και ο δεύτερος με προσαρμογή της θερμοκρασίας προσαγωγής του νερού. Στην εργασία αυτή θα εστιάσουμε στην αντιστάθμιση με την μεταβολή θερμοκρασίας του νερού προσαγωγής.

Σε περιπτώσεις που η εγκατάσταση θέρμανσης δεν είναι αυτόνομη, κατά τις περιόδους που η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλή, η εσωτερική θερμοκρασία υπερβαίνει τα όρια άνεσης διότι η υψηλή θερμοκρασία νερού προσαγωγής προσφέρει θερμότητα πολλαπλάσια των απωλειών του κτηρίου.

Σε εγκαταστάσεις με αυτονομία όπου η θερμοκρασία του χώρου ρυθμίζεται με έναν απλό θερμοστάτη, χωρίς την λειτουργία αντιστάθμισης, η υψηλή θερμοκρασία προσαγωγής έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί, όταν η θερμοκρασία του χώρου γίνει η επιθυμητή ο θερμοστάτης δίνει σήμα για την διακοπή λειτουργίας του κυκλοφορητή. Παρά την διακοπή λειτουργίας του κυκλοφορητή, η μεγάλη θερμοκρασία του νερού στα σώματα έχει ως αποτέλεσμα αυτά να συνεχίσουν να εκπέμπουν θερμότητα.

Με την μείωση της θερμοκρασίας προσαγωγής αυτό που επιτυγχάνουμε είναι η συνεχής μεταβολή της ισχύς των θερμαντικών σωμάτων αναλόγως με τις εξωτερικές συνθήκες.

2.2.1 Καμπύλες θερμοκρασίας προσαγωγής

Η κάθε εγκατάσταση χρειάζεται, αναλόγως με την εξωτερική θερμοκρασία, διαφορετικές θερμοκρασίες προσαγωγής ζεστού νερού. Η θερμοκρασία του νερού προσαγωγής εξαρτάται από τον σχεδιασμό της εγκατάστασης και τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που βρίσκεται η εγκατάσταση.

Οι καμπύλες θέρμανσης χρησιμοποιούνται για την αντιστοίχιση της εξωτερικής θερμοκρασίας με την θερμοκρασία προσαγωγής. Η αντιστοίχιση αυτή γίνεται μέσω καμπύλης γιατί τα θερμαντικά σώματα δεν εμφανίζουν γραμμική συμπεριφορά. Η θερμότητα που δίνουν

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

τα θερμαντικά σώματα μεταβάλλεται εκθετικά σε συνάρτηση με την θερμοκρασία προσαγωγής και δίνεται από τον τύπο:

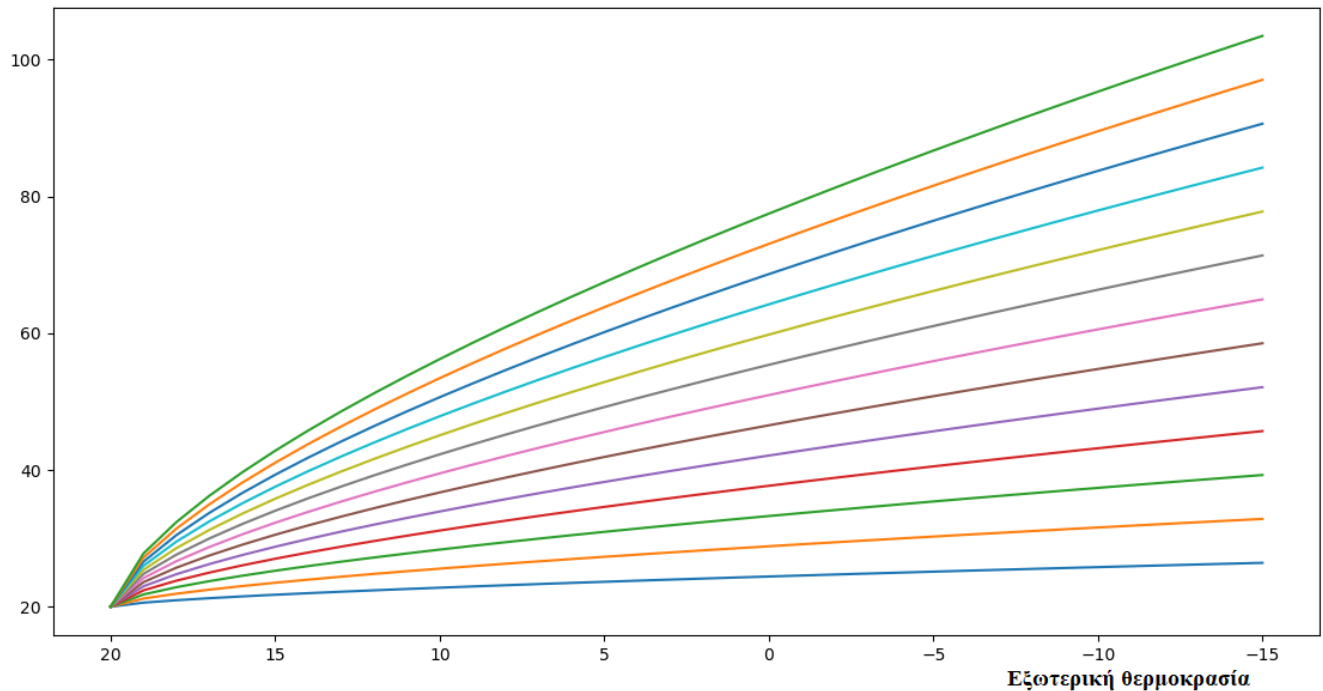
$$T_s = 20 + 3 * s * (20 - T_{out})^{2/3} \text{ (Εξίσωση 2.1)}$$

Όπου T_s =θερμοκρασία προσαγωγής σε °C , s η κλίση της καμπύλης και T_{out} =Εξωτερική θερμοκρασία σε °C. (Κουτσοθήκης, 2015; Φαντάκης).

Ο παραπάνω τύπος (Εξίσωση 2.1) ισχύει για θερμοκρασία του χώρου ίση με 20 °C.

Για να βρούμε την κλίση που θα πρέπει να έχουμε στην εγκατάσταση μας θα πρέπει να λύσουμε την εξίσωση 2.1 ως προς το s με θερμοκρασία προσαγωγής αυτήν του σχεδιασμού και εξωτερική θερμοκρασία αυτή των δυσμενών συνθηκών σχεδιασμού.

Θερμοκρασία προσαγωγής



Σχήμα 2.1 Καμπύλες θέρμανσης για $s=0.2$ έως 2.8 με βήμα 0.2

2.3 Τρόποι ελέγχου εγκαταστάσεων θέρμανσης

Ο σκοπός του αυτομάτου ελέγχου είναι να διατηρεί σταθερή την θερμοκρασία που επιλέχθηκε για τον χώρο, ανεξαρτήτως της εξωτερικής θερμοκρασίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τους ακόλουθους τρόπους ή και με τον συνδυασμό τους:

- Με επίδραση στην θερμότητα που παρέχεται στον λέβητα.
- Με επίδραση στην θερμότητα που παρέχει ο λέβητας στην εγκατάσταση.
- Με επίδραση στην παροχή του νερού στα θερμαντικά σώματα με θερμοστατική δικλείδα.
- Με μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού προσαγωγής στα θερμαντικά σώματα με χρήση βάνας ανάμιξης.
- Με επίδραση στην παροχή του νερού στα Θερμαντικά σώματα μέσω τρίοδης βάνας ή πολλαπλών κυκλοφορητών.

2.3.1 Με επίδραση στην θερμότητα που παρέχει η μονάδα παραγωγής θερμότητας

Θερμοστάτης λειτουργίας – ασφαλείας καυστήρα



Σχήμα 2.2 Θερμοστάτης καυστήρα

(ΠΗΓΗ: <http://liatsos.eu/>)

Ο θερμοστάτης αυτός διατηρεί την θερμοκρασία του νερού του λέβητα μέσα στα επιθυμητά όρια, ώστε να εξασφαλίζεται λειτουργία με καλό βαθμό απόδοσης και η σωστή λειτουργία της εγκατάστασης. Ο θερμοστάτης αυτός θα πρέπει βέβαια να ρυθμίζεται χειροκίνητα με αποτέλεσμα να μπορεί η θερμοκρασία λειτουργίας του λέβητα να μην μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς. Η συσκευή αυτή, σε περίπτωση εγκατάστασης αυτοματισμού με αντιστάθμιση,

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

αποτελεί περισσότερο δικλείδα ασφαλείας σε περίπτωση που δεν απενεργοποιηθεί έγκαιρα κάποιος λέβητας ή υπάρχει κάποιο σφάλμα στον ελεγκτή.

2.3.2 Με επίδραση στην θερμότητα που παρέχει η μονάδα μετάδοσης θερμότητας

Θερμοστάτης λειτουργίας κυκλοφορητή

Ο θερμοστάτης αυτός, τοποθετείται στον σωλήνα προσαγωγής του νερού και παρέχει την εντολή έναρξης κυκλοφορίας του νερού στον κυκλοφορητή. Η εντολή δίνεται σε κάποια προκαθορισμένη θερμοκρασία, ώστε να συνεχίζει η κυκλοφορία του νερού μετά την διακοπή λειτουργίας του καυστήρα. Η λειτουργία του κυκλοφορητή συνεχίζεται μέχρι η θερμοκρασία του νερού να φτάσει σε κάποιο κατώτερο όριο, με σκοπό την εκμετάλλευση όλης της διαθέσιμης θερμότητας που βρίσκεται στο δίκτυο. Επίσης, σε περιπτώσεις που δεν είναι ενεργή η θέρμανση και η θερμοκρασία στο κύκλωμα του νερού είναι πολύ χαμηλή, υπάρχει κίνδυνος να παγώσει το νερό. Σε αυτήν την περίπτωση, ο θερμοστάτης θέτει σε λειτουργία τον κυκλοφορητή.

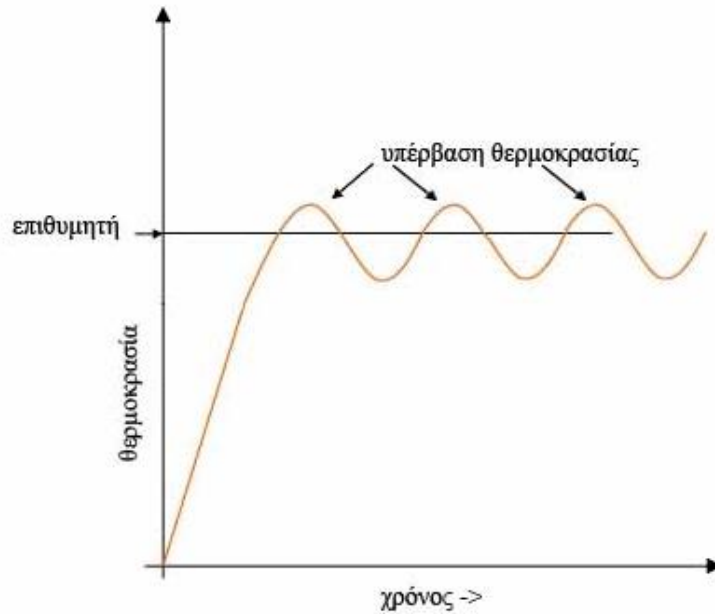
Θερμοστάτης χώρου



Σχήμα 2.3 Θερμοστάτης χώρου

(ΠΗΓΗ: <https://www.multiclimate.gr>)

Η οικονομική λειτουργία μιας κεντρικής εγκατάστασης μπορεί να ελεγχθεί εύκολα ,σε κάποιον βαθμό από θερμοστάτη ή θερμοστάτες χώρου (Σχ. 2.3). Με τον θερμοστάτη η λειτουργία αρχίζει μόνο όταν υπάρχει ανάγκη θέρμανσης και διακόπτεται όταν δεν χρειάζεται περισσότερη θέρμανση. Οι κοινοί θερμοστάτες χώρου, αγνοούν την πραγματική θερμοκρασία στο χώρο και το μόνο που αντιλαμβάνονται, είναι το αν ο χώρος έχει ή όχι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Μάλιστα το αντιλαμβάνονται αφού η θερμοκρασία έχει ξεπεράσει τη συγκεκριμένη τιμή, όταν δηλαδή είναι αργά.



Σχήμα 2.4 διάγραμμα θερμοκρασίας χώρου-χρόνου με χρήση θερμοστάτη.

(ΠΗΓΗ: <https://wikipedia.com>)

Εκτός από ενοχλητικό, το φαινόμενο αυτό είναι και δαπανηρό διότι η επιπλέον ενέργεια, που καταναλώνεται για να ανέβει η θερμοκρασία πέρα από το επιθυμητό όριο, ξοδεύεται άσκοπα και όχι μόνο δε μας ευχαριστεί αλλά αντίθετα μας ταλαιπωρεί.

Θερμοστατικές κεφαλές



Σχήμα 2.5 Θερμοστατική κεφαλή

(ΠΗΓΗ: <https://www.bioestia.gr>)

Σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις ο έλεγχος των τερματικών μονάδων μπορεί να γίνει εύκολα με την εγκατάσταση χειροκίνητης ή θερμοστατικής βαλβίδας. Η θερμοστατική βαλβίδα ρυθμίζει την κυκλοφορία του ζεστού νερού στο καλοριφέρ αναλόγως με την επιθυμητή θερμοκρασία.

2.3.3 Έλεγχος με μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού προσαγωγής στα θερμαντικά σώματα με χρήση βάνας ανάμιξης.

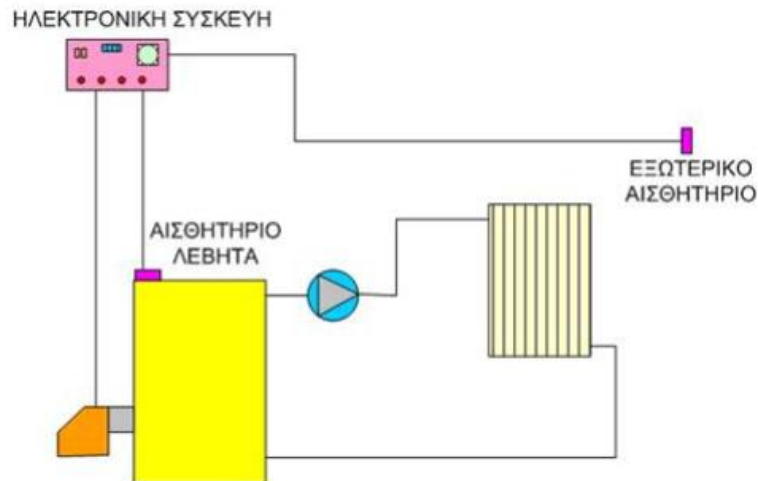
Για να πετύχουμε την θερμοκρασία προσαγωγής που επιθυμούμε θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάποιες διατάξεις ελέγχου του κυκλώματος ζεστού νερού (ΤΕΕ , 2011; Φαντάκης). Αυτές οι διατάξεις είναι οι εξής:

- Έλεγχος λειτουργίας του καυστήρα
- Έλεγχος μέσω τρίοδης βάνας
- Έλεγχος μέσω τετράοδης βάνας

Έλεγχος λειτουργίας του καυστήρα

Με αυτήν την διάταξη ο ελεγκτής ελέγχει την λειτουργία του καυστήρα ξεκινώντας και διακόπτοντας την λειτουργία του. Ο ελεγκτής συγκρίνει την επιθυμητή θερμοκρασία προσαγωγής με την θερμοκρασία στον λέβητα ,μέσω ενός αισθητήρα που βρίσκεται στο λέβητα.

Αυτή όμως η διαμόρφωση απαιτεί προστασία του καυστήρα από διαδοχικές ενεργοποιήσεις για αυτό πρέπει να υπάρχει κάποιο χρονικό διάστημα μεταξύ τους. Επίσης αυτός ο τρόπος ελέγχου, σε περιπτώσεις που ο λέβητας δεν είναι χαμηλών θερμοκρασιών, απαιτείται επιπλέον κύκλωμα παράκαμψης των τερματικών μονάδων, για να μην υπάρχει ενδεχόμενο λειτουργίας του λέβητα σε χαμηλές θερμοκρασίες επιστροφής. Γιατί οι χαμηλές θερμοκρασίες προσαγωγής προκαλούν δημιουργία συμπυκνωμάτων των καυσαερίων, με αποτέλεσμα μείωση του βαθμού απόδοσης και του χρόνου ζωής. Έτσι, για την αποφυγή των πολύπλοκων κυκλωμάτων του νερού, αυτός ο τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται κυρίως σε συνδυασμό με λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών.



Σχήμα 2.6. Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης θέρμανσης με διακοπτόμενη λειτουργία λέβητα.

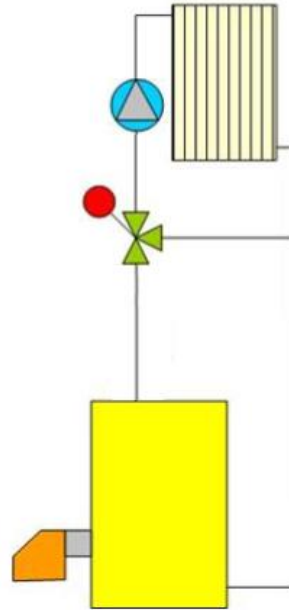
(ΠΗΓΗ: Φαντάκης)

Έλεγχος μέσω τρίοδης βάνας

Με αυτό τον τρόπο ελέγχου η τρίοδη βάνα ελέγχεται από τον ελεγκτή έτσι ώστε ο άξονας της βάνας να βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε, το ποσοστό ανάμιξης να μας επιτρέπει να πετύχουμε την θερμοκρασία προσαγωγής που επιθυμούμε. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχου η παροχή στα τερματικά σώματα παραμένει σταθερή και ανεξάρτητη από την θέση της βάνας. Ο ελεγκτής παίρνει την θερμοκρασία για τον έλεγχο της βάνας σε θέση ανάμεσα της βάνας και του κυκλοφορητή. Έτσι μπορούμε να ελέγχουμε με μεγάλη ακρίβεια την θερμοκρασία προσαγωγής του νερού.

Επίσης η συνεχής λειτουργία της βάνας θα πρέπει να μην υπερβαίνει τον συντελεστή χρήσης της. Δηλαδή, αν ο συντελεστής είναι 50% στα 8 δευτερόλεπτα θα πρέπει να σταματήσει ο κινητήρας της για 4 δευτερόλεπτα.

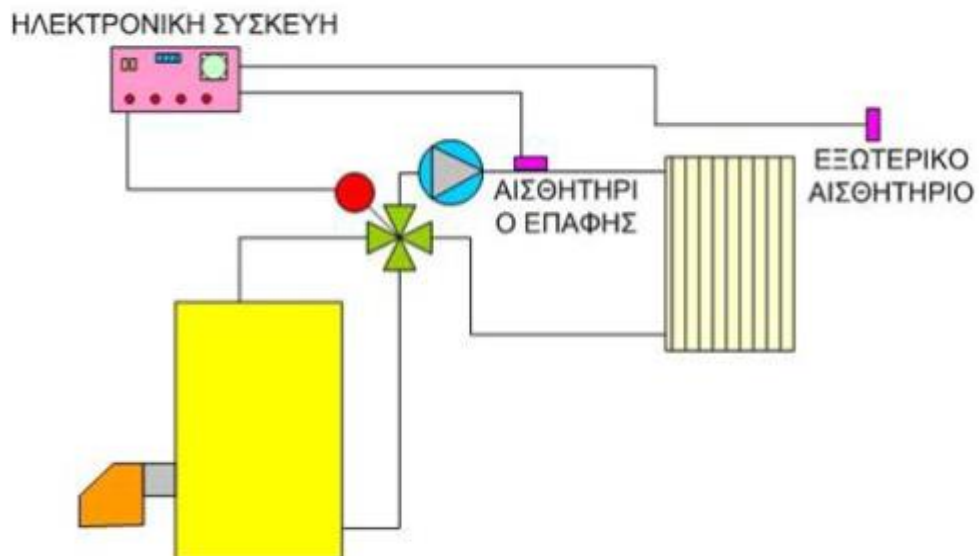
ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ



Σχήμα 2.7 Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης με τρίοδη βάνα για έλεγχο θερμοκρασίας

(ΠΗΓΗ: ΤΕΕ, 2011)

Έλεγχος μέσω τετράοδης βάνας



Σχήμα 2.8 Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης με τετράοδη βάνα

(ΠΗΓΗ: ΤΕΕ, 2011)

Με τον έλεγχο μέσω τετράοδης βάνας μπορούμε να ελέγξουμε την θερμοκρασία προσαγωγής του νερού με παρόμοιο τρόπο όπως και με την χρήση τρίοδης βάνας (2.3.3.1.2). Δεν μπορούμε όμως με κανένα τρόπο να επηρεάσουμε την παροχή.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

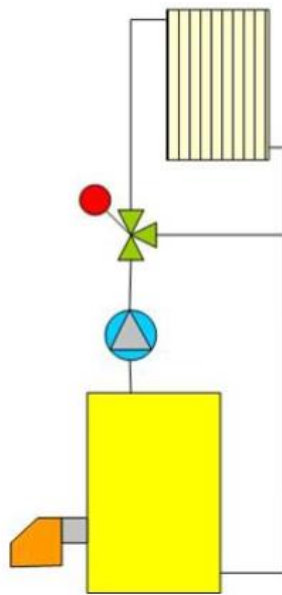
Με επίδραση στην παροχή του νερού στα Θερμαντικά σώματα μέσω τριόδου βάννας ή πολλαπλών κυκλοφορητών.

Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω δύο τρόπων:

- Μέσω τριόδου βάννας.
- Μέσω πολλαπλών κυκλοφορητών.

Έλεγχος παροχής μέσω τριόδου βάννας

Με αυτόν τον τρόπο ελέγχου ο κυκλοφορητής τοποθετείται ανάμεσα στον λέβητα και την τριόδη βάννα, έτσι ανάλογα με την θέση του άξονα της βάννας η παροχή αυξομειώνεται. Θα πρέπει ωστόσο να ελέγχεται η παροχή ώστε να είναι επαρκής για την λειτουργία των θερματικών μονάδων



Σχήμα 2.9 Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης με έλεγχο παροχής μέσω τριόδου βάννας.

(ΠΗΓΗ: Φαντάκης)

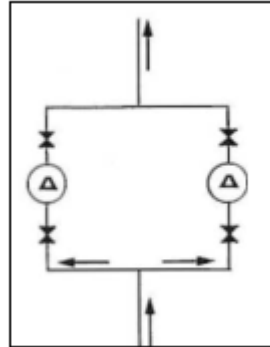
Έλεγχος παροχής μέσω πολλαπλών κυκλοφορητών

Με αυτό τον τρόπο ελέγχου μπορούμε να τοποθετήσουμε αντί για ένα κυκλοφορητή δύο με 50% της ονομαστικής ισχύς του.

Έτσι το σύστημα έχει την δυνατότητα να καλύψει ανά πάσα στιγμή το φορτίο για το οποίο σχεδιάστηκε όμως υπάρχει και η δυνατότητα να λειτουργεί μόνο ο ένας κυκλοφορητής

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

μειώνοντας την παροχή σε περίπου 60-70% της αρχικής. Αυτό συμβαίνει γιατί η ταχύτητα του νερού είναι μικρότερη από αυτήν του σχεδιασμού με αποτέλεσμα μικρότερες απώλειες άρα μεγαλύτερη παροχή από το 50%.



Σχήμα 2.10 Σχηματική αναπαράσταση δύο παράλληλων κυκλοφορητών

2.4 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες μετρούν μεγέθη του ελεγχόμενου μέσου, του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και παρέχουν στον ελεγκτή πληροφορίες που χρειάζεται για να λειτουργήσει με ακρίβεια και επαναλαμβανόμενα. Οι συνήθεις μετρούμενες μεταβλητές για συστήματα θέρμανσης είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση και η ροή.

Είναι κρίσιμο ο αισθητήρας να παρέχει σωστές μετρήσεις. Αυτό σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις το σημείο που έχει εγκατασταθεί θα πρέπει να προστατεύεται από τις καιρικές συνθήκες.

2.4.1 Τύποι αισθητήρων

Διαφορετικοί αισθητήρες παράγουν διαφορετικό σήμα (Fundamentals of HVAC Controls).

- Αναλογικοί αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση συνεχών μεταβαλλόμενων μεγεθών και παρέχουν στον ελεγκτή ένα σήμα, για παράδειγμα μια τάση από 0 έως 10 V.
- Ψηφιακοί αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση μεγεθών δύο τιμών, δηλαδή ανοιχτά ή κλειστά κυκλώματα. Ένα τέτοιο σήμα είναι το σήμα μιας αντλίας για εκκίνηση και διακοπή λειτουργίας. Ο αισθητήρας παρέχει ένα διακριτό σήμα ανοιχτής ή κλειστής επαφής.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Κάποιοι ηλεκτρονικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν ένα εγγενές χαρακτηριστικό του υλικού τους, για παράδειγμα αντίσταση ενός καλωδίου, για να παρέχουν ένα σήμα και συνδέονται κατευθείαν με τον ελεγκτή. Ένας αισθητήρας που μετράει πίεση χρειάζεται έναν μετατροπέα ή ένα πομπό για να μετατρέψει το σήμα της πίεσης που ασκείται σε τάση ή ρεύμα, τα οποία μπορούν να εισαχθούν σαν δεδομένα σε έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή. Κάποιοι αισθητήρες μετράνε μεταβλητές που χρειάζονται για τον λογικό έλεγχο του ελεγκτή, όπως θερμοκρασία, ώρα της ημέρας, δεδομένα ηλεκτρικού φορτίου. Ενώ άλλοι εισάγουν δεδομένα που χρειάζονται οι ελεγκτές για να λειτουργήσουν και για ασφαλή λειτουργία, όπως άνω και κάτω όρια θερμοκρασίας, παροχή νερού.

2.4.2 Ταξινόμηση αισθητήρων

Οι τύποι των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ηλεκτρονικού ελεγκτή είναι:

- Αισθητήρες αντίστασης είναι τα θερμόμετρα ηλεκτρονικής αντίστασης (Resistance Temperature detectors, RTD's) που μετράνε θερμοκρασία. Τέτοιος αισθητήρας είναι ο θερμίστορ.
- Αισθητήρες που μετράνε πίεση, θερμοκρασία, υγρασία. Οι οποίοι έχουν έξοδο μια τάση συνήθως από 0 έως 5 V, 1 έως 11 V και 0 έως 10 V.
- Αισθητήρες που μετράνε πίεση, θερμοκρασία, υγρασία. Οι οποίοι έχουν έξοδο μια παροχή ρεύματος από 4 έως 20 mA.

2.4.3 Θερμοζεύγος (thermocouple)

Τα θερμοζεύγη έχουν δύο ανόμοια μέταλλικά καλώδια συνδεδεμένα σε μια πλευρά. Η διαφορά θερμοκρασίας προκαλεί την ανάπτυξη μιας τάσης, της τάξεως του mV, η οποία μπορεί να μετρηθεί από έναν ελεγκτή. Η τάση που αναπτύσσεται είναι ανάλογη της θερμοκρασίας μεταξύ του συνδεδεμένου άκρου και των ελεύθερων άκρων των καλωδίων. Διατηρώντας το ένα άκρο σε μια δεδομένη θερμοκρασία μετρώντας την τάση μπορούμε να βρούμε την θερμοκρασία στο άλλο άκρο. Η τάση είναι ακριβώς ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας.

| Τύπος | Υλικό κατασκευής | Περιοχή λειτουργίας (σε °C) | Ακρίβεια | Παρατηρήσεις |
|-------|------------------|-----------------------------|----------------|--|
| E | Cr/Con | -200 έως 900 | ±1.5 °C ή 0.5% | Υψηλή ΗΕΔ (56mV στους 750°C) |
| J | Fe/Con | 0 έως 750 | ±3 °C ή 0.75% | Φθινό Μέτρια ΗΕΔ (42mV στους 750°C) |
| K | Cr/Al | -200 έως 1260 | ±3 °C ή 0.75% | Σταθερό, Μεγάλη γραμμικότητα Χαμηλή ΗΕΔ (30mV στους 750°C) |
| R | Rt/Rh & Pt | 0 έως 1400 | ±2 °C ή 0.3% | Πολύ σταθερό Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (7mV στους 750°C) |
| S | Rt/Rh & Pt | 0 έως 1400 | ±2 °C ή 0.3% | Πολύ σταθερό Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (6.6mV στους 750°C) |
| T | Cu/Con | -250 έως 400 | ±2 °C ή 0.75% | Οξειδώνεται στις υψηλές θερμοκρασίες Μέτρια ΗΕΔ (20mV στους 400°C) |
| B | Pt/Rh | 0 έως 1700 | ±3 °C ή 0.3% | Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (8.4mV στους 1000°C) |

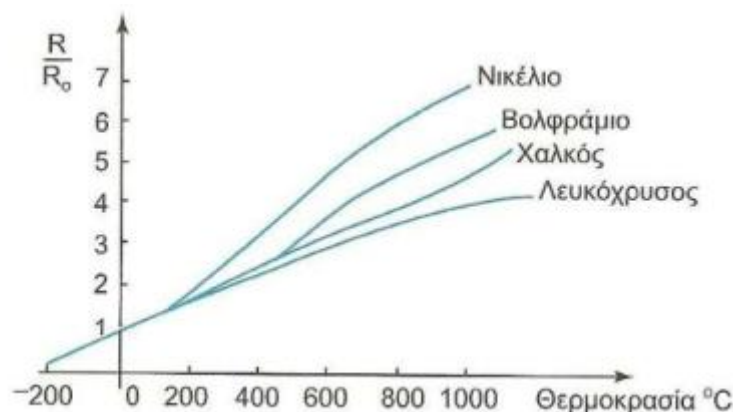
Σχήμα 2.11 Οι κυριότεροι τυποί θερμοζεύγων και οι περιοχές λειτουργίας τους

(ΠΗΓΗ: Πανάρας, 2018α).

Πλεονεκτήματα των θερμοστοιχείων είναι το μεγάλο εύρος λείτουργείας τους (90-870 °C), χαμηλό κόστος, δεν απαιτείται τροφοδοσία ρεύματος. Τα μειονεκτήματα είναι ότι δεν είναι γραμμική η λείτουργεία τους, χαμηλή σταθερότητα, θα πρέπει η θερμοκρασία που μετράμε να είναι μέσα στα όρια που παρέχει τάση το θερμοζεύγος.

2.4.4 θερμομέτρα ηλεκτρικής αντίστασης (Resistance Temperature detectors, RTD's)

Τα θερμομέτρα αυτά έχουν ως αρχή λείτουργείας την προβλέψιμη και ουσιαστικά γραμμική μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης που προκαλείται σε ένα μέταλλο με αλλαγές στην θερμοκρασία του. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της αντίστασης.



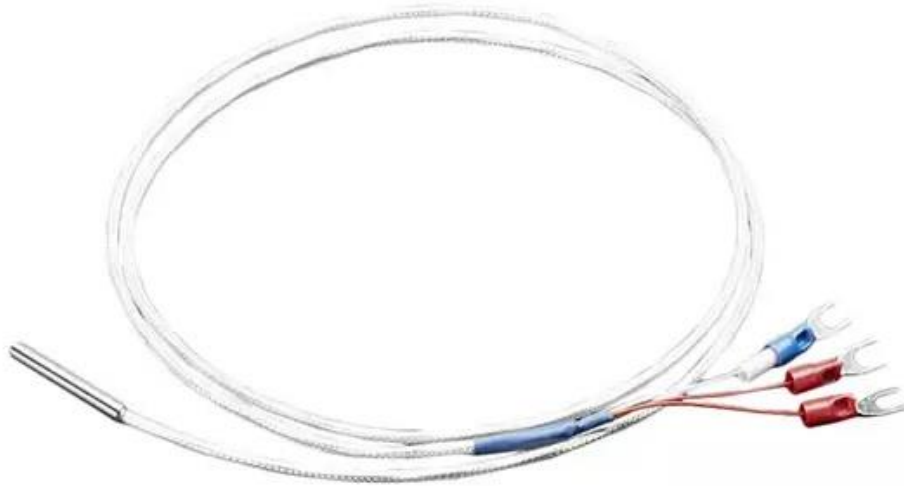
Σχήμα 2.12 Μεταβολή της ωμικής αντίστασης μετάλλων συνατήσει της θερμοκρασίας

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

(ΠΗΓΗ: <https://www.wikipedia.org>)

Πλεονεκτήματα των RTD's είναι η γραμμική μεταβολή της αντίστασης με την θερμοκρασία, η σταθερότητα, μεγάλο εύρος λειτουργίας.

Μειονεκτήματα είναι η χαμηλή αλλαγή της αντίστασης, μεγάλος χρόνος αντίδρασης, χρειάζεται παροχή ρεύματος για την λειτουργία του.



Σχήμα 2.13 Αισθητήρας Pt100 τριών αγωγών.

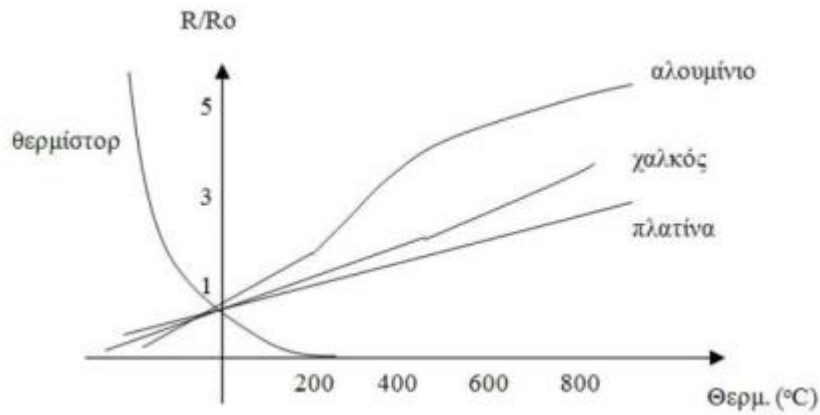
(ΠΗΓΗ: <https://grobotronics.com>)

2.4.5 Θερμίστορ

Πρόκειται για έναν ευαίσθητο ημιαγωγό που η μεταβολή θερμοκρασίας προκαλεί μεγάλη αλλαγή της ηλεκτρικής αντίστασης του. Υπάρχουν δύο κύρια ήδη θερμίστορ, οι θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (PTC) και οι αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC). Η αύξηση θερμοκρασίας στους NTC θερμίστορ έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της αντίστασης.

Αντίθετα με τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης η μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ δεν είναι γραμμική με την μεταβολή της θερμοκρασίας. Έτσι οι κατασκευαστές παρέχουν συσχέτιση θερμοκρασίας-αντίστασης με διαγράμματα, εξισώσεις, πίνακες.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ



Σχήμα 2.14 Καμπύλες μεταβολής της αντίστασης διαφόρων υλικών

(ΠΗΓΗ: <https://www.wikipedia.org>)

Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη μεταβολή της αντίστασης με την θερμοκρασία, γρήγορη απόκριση, σταθερότητα, χαμηλό κόστος.

Τα μειονεκτήματά είναι η μη γραμμική συμπεριφορά τους, το μικρό εύρος λειτουργίας, η υποβολή σε υπερθέρμανση προκαλεί την εμφάνιση ανακρίβειας, χρειάζεται παροχή ρεύματος για να λειτουργήσει.

| |
|--|
| Θερμίστορ |
| Αντίσταση |
| Σε 20 °C (περίπου): 2 kΩ Σε 25 °C (τυπικά): 1680 Ω ± 20% Σε 200 °C (περίπου): 37 Ω |
| Ελάχιστη αντίσταση λειτουργίας |
| 37Ω |
| Χαρακτηριστική θερμοκρασία |
| 25 °C έως 85 °C (τυπικά): 3050 K ± 5% |
| Διαστάσεις |
| Μήκος: 76.2 έως 3.2 mm Διάμετρος: 4 mm |
| Αυτοθέρμανση στον αέρα |
| Η θερμοκρασία του θερμίστορ αυξάνει κατά 1 °C για κάθε 1.3 mW καταναλισκόμενης ισχύος |
| Μέγιστη θερμοκρασία κάψουλας |
| 200 °C (εφόσον δεν η μέγιστη ισχύς δεν υπερβαίνεται) |
| Μέγιστη συνεχής κατανάλωση ισχύος στον ελεύθερο αέρα και θερμοκρασία 20 °C |
| 230 mW κατά μέσο όρο, σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 20 ms |
| Σταθερά χρόνου ψύξης T στον ελεύθερο αέρα από την κατάσταση αυτοθέρμανσης |
| 20 s |
| Μάζα (τυπική) |
| 1.8 g |

Σχήμα 2.15 Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμίστορ

(ΠΗΓΗ:Πανάρας, 2018α).

2.5 Όργανα ρύθμισης

Οι μονάδες παραγωγής (λέβητες, αντλίες θερμότητας) θα πρέπει να παράγουν την θερμότητα που χρειάζεται το σύστημα για να καλυφθούν οι ανάγκες θέρμανσης. Αυτή η θερμότητα όμως, μέσω οργάνων ρύθμισης (κυκλοφορητών-βανών) και των σωληνώσεων, θα πρέπει να καταλήξει στις ενεργές τερματικές μονάδες του συστήματος. Έτσι ο ελεγκτής του συστήματος, αναλόγως με τους ενεργούς χρήστες, επεμβαίνει στην λειτουργία βανών – κυκλοφορητών για να καταλήξει το ζεστό νερό στις απαραίτητες τερματικές μονάδες.

Τα όργανα ρύθμισης είναι:

- βάνες
- κυκλοφορητές

2.5.1 Βάνες

Οι βάνες μπορούν να πετύχουν τρεις λειτουργίες:

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

- Να σταματήσουν την ροή ρευστού
- Να επιτρέψουν την ροή
- Να αλλάξουν ροή του ρευστού

Αυτές οι τρεις λειτουργίες συνήθως συνδυάζονται. (<https://assuredautomation.com/>)

Τύποι βανών

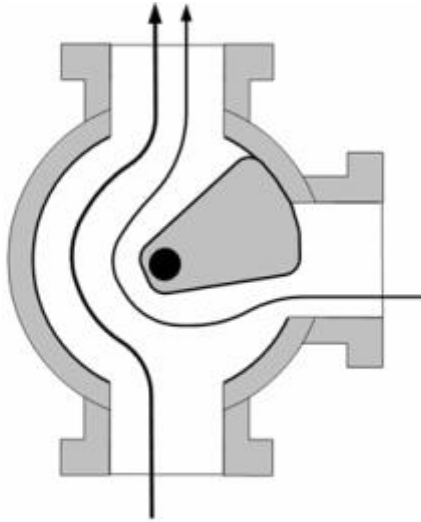
Ο πιο απλός τρόπος ελέγχου είναι η δίοδη βάνα. Η δίοδη βάνα σταματά και επιτρέπει την ροή αναλόγως με την θέση του άξονα της. Έχει δύο θύρες μια εισαγωγής και μια εξαγωγής. Όταν η εισαγωγή είναι κλειστή η ροή διακόπτεται, όταν είναι ανοιχτή όση είναι η ροή ρευστού στην εισαγωγή ίδια είναι και η ροή στην εξαγωγή. Σε όλες τις ενδιάμεσες θέσεις η ροή είναι ανάλογη της θέσης του άξονα της βάνας.



Σχήμα 2.16 Δίοδη βάνα με τον κινητήρα της

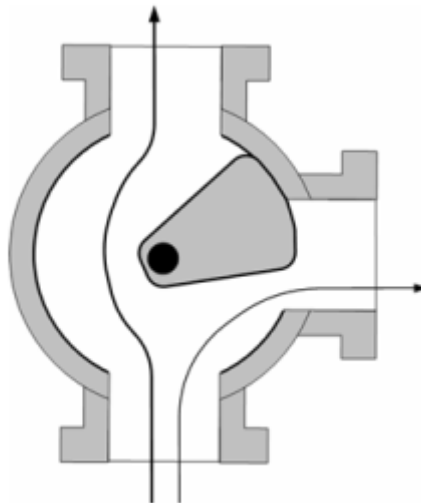
(ΠΗΓΗ: <http://viomtron.gr/>)

Η τρίοδη βάνα έχει τρεις θύρες. Αυτές είναι είτε η μια εισαγωγής και οι δύο εξαγωγής ή μια εξαγωγής και δύο εισαγωγής. Η τρίοδη βάνα χρησιμοποιείται για να διακόψει την ροή σε μια θύρα και να περνάει το ρευστό από τις δυο ανοιχτές θύρες, για την μίξη δύο ρευστού από δύο διαφορετικές σωλήνες σε μια, για τον διαχωρισμό του ρευστού από μια σωλήνα σε δύο.



Σχήμα 2.17 Τρίοδη βάννα με δύο θύρες εισαγωγής

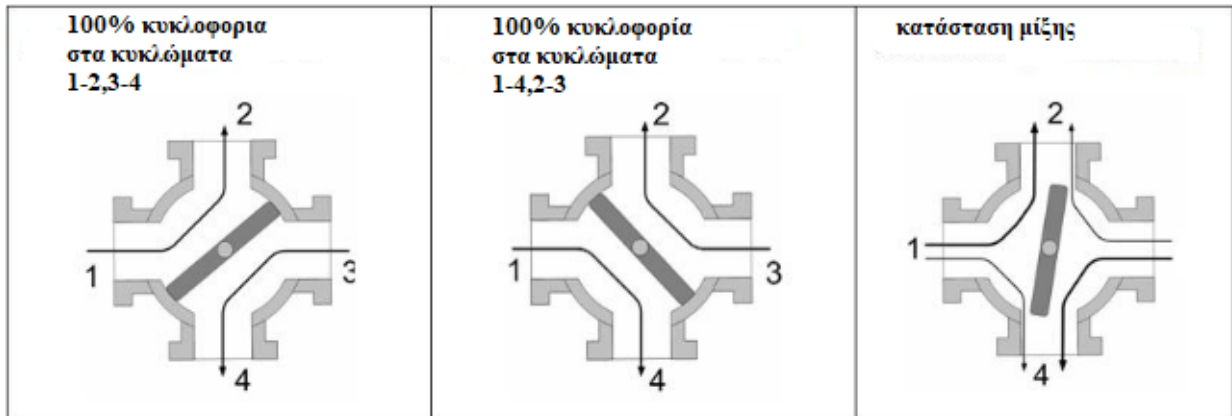
(ΠΗΓΗ: Πανάρας, 2018, β)



Σχήμα 2.18 Τρίοδη βάννα με δύο θύρες εξαγωγής

(ΠΗΓΗ: Πανάρας, 2018 β)

Η τετράοδη βάννα έχει δύο θύρες εισόδου και δύο εξόδου. Η λειτουργία της μας επιτρέπει να κάνουμε μίξη του ρευστού και παράλληλα να αποκόψουμε δύο κυκλώματα.



Σχήμα 2.19 Λειτουργία τετράοδης βάνας

(ΠΗΓΗ: Φαντάκης)

Ηλεκτρομηχανικά μέρη βανών

Οι ενεργοποιητές /κινητήρες βανών (Valve actuators) είναι μια μηχανολογική συσκευή που χρησιμοποιεί μια πηγή ενέργειας για να λειτουργήσει η βάνα. Η πηγή ενέργειας μπορεί να είναι ηλεκτρική, πνευματική(συμπιεσμένος αέρας) ή υδραυλική (ροή λαδιού). Υπάρχουν δύο κύρια ήδη ενεργοποιητών βανών, ένα για κάθε ένα από τα δύο ήδη βανών που χρησιμοποιούνται. Οι περιστροφικοί και οι γραμμικοί.

Η επιλογή του κατάλληλου ενεργοποιητή εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Τον τύπο της βάνας.
- Την διαθέσιμη πηγή ενέργειας.
- Τον τόπο εγκατάστασης.
- Την εγκατάσταση και τον τρόπο λειτουργίας της βάνας (χρόνος ζωής, συντελεστής χρήσης, ταχύτητα λειτουργίας, ανάγκη για χειροκίνητη παρέμβαση και κόστος).

Περιστροφικοί ενεργοποιητές

Οι περιστροφικοί ενεργοποιητές παρέχουν την περιστροφική κίνηση που χρειάζεται η βάνα για να λειτουργήσει. Τέτοιες βάνες είναι οι σφαιρικές τύπου ball και οι βάνες πεταλούδας. Οι περιστροφικοί ενεργοποιητές είναι διαθέσιμοι σε διαφορετικούς τύπους κάθε ένας με διαφορετικά οφέλη.



Σχήμα 2.20 Διάφοροι τύποι περιστροφικών ενεργοποιητών

(ΠΗΓΗ: <https://assuredautomation.com/>)

Γραμμικοί ενεργοποιητές

Οι γραμμικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται σε γραμμικές βάνες όπως βάνες διαφράγματος, βάνα σφαιρική τύπου Globe. Λόγω του τρόπου λειτουργίας τους οι γραμμικές βάνες απαιτούν ενεργοποιητές που είναι πολύ διαφορετικοί από τους περιστροφικούς. Οι ενεργοποιητές αυτοί δημιουργούν γραμμική κίνηση για να λειτουργήσει η βάνα.



Σχήμα 2.21 Διαφορετικοί τύποι γραμμικού ενεργοποιητή

(ΠΗΓΗ: <https://assuredautomation.com/>)

Ηλεκτρικοί ενεργοποιητές βανών

Οι περισσότεροι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούν έναν κινητήρα που λειτουργεί ως προς και τις δύο κατευθύνσεις. Επίσης έχουν διακόπτες να σταματήσει η λειτουργία του κινητήρα όταν φτάσουν στα άκρα του εύρους λειτουργίας της βάνας. Οι διακόπτες αυτοί ενεργοποιούνται μέσω φορέων που είναι τοποθετημένοι στον άξονα της βάνας. Οι φορείς αυτοί μπορούν να προσαρμοστούν για να διακόπτεται η λειτουργία στην κλειστή και ανοιχτή θέση.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές έχουν διαφορετικές ροπές και ταχύτητες ανεξάρτητα από το μέγεθος τους και εξαρτώνται κυρίως από την αναλογία της αλυσίδας κίνησης τους.

Οι συνηθισμένες τάσεις λειτουργίας των ηλεκτρικών ενεργοποιητών είναι 10, 12, 24, 48 Vdc και

24, 48, 120, 240 V ac.

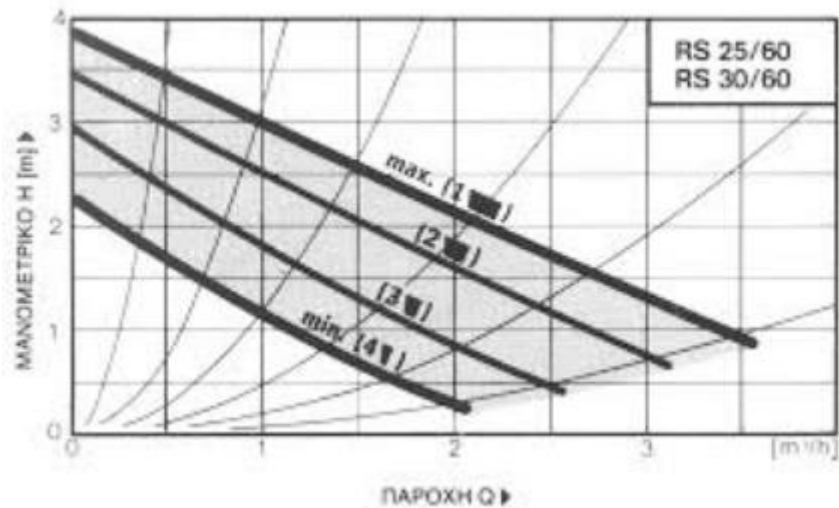
Ο συντελεστής χρήσης δεν μπορεί να είναι 100%. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να λειτουργούν συνεχόμενα αλλιώς ο κινητήρας θα καεί. Αυτό δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα γιατί οι ηλεκτροβάνες δεν λειτουργούν τις περισσότερες φορές για μεγάλο χρονικό διάστημα.

2.5.2 Κυκλοφορητές

Ο κυκλοφορητής είναι μια αντλία με αποστολή την κυκλοφορία του νερού σε ένα κύκλωμα. Δε χρησιμοποιείται για την άντληση ή ανύψωση του, αλλά μόνο για την υπέρβαση των αντιστάσεων του δικτύου.

Ο αυτόματος έλεγχος των κυκλοφορητών μπορεί να είναι απλή ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ή μεταβλητής ταχύτητας. Η διαστασιολόγηση των κυκλοφορητών γίνεται για παροχή σε μέγιστο φορτίο. Τις περισσότερες φορές το φορτίο όμως είναι μικρότερο από το μέγιστο και η ζήτηση μεταβάλλεται σε πολύ μικρότερα μεγέθη από την μέγιστη.

Ο πιο απλός τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι οι κυκλοφορητές μεταβλητών στροφών. Οι κυκλοφορητές αυτοί έχουν έναν διακόπτη ταχυτήτων που μας επιτρέπει σε περίπτωση μειωμένης ζήτησης να μειώσουμε τις στροφές του κυκλοφορητή.

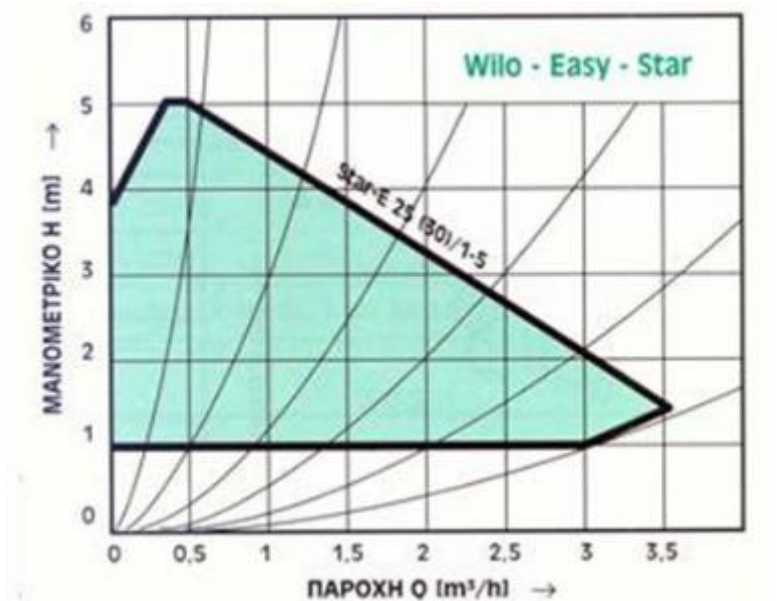


Σχήμα 2.22 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας κυκλοφορητή για 4 διαφορετικές ρυθμίσεις ταχύτητας.

(ΠΗΓΗ: Φαντάκης)

Ο τρόπος αυτός όμως αποτελεί λύση για εγκαταστάσεις με μεταβολές φορτιού για μεγάλο χρονικό διάστημα επειδή απαιτείται χειροκίνητη αλλαγή της ρύθμισης του κυκλοφορητή.

Σε εγκαταστάσεις που η παροχή μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς, ιδανική λύση του προβλήματος είναι ο κυκλοφορητής να έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει τις στροφές του αυτόνομα. Λύση σε αυτό το πρόβλημα έδωσαν οι ηλεκτρονικοί κυκλοφορητές με σύστημα inverter. Πρόκειται για κυκλοφορητές μεταβλητής ταχύτητας του ασύγχρονου κινητήρα τους. Η ταχύτητα αυτή ελέγχεται μέσω ενός αλγορίθμου με σκοπό την διατήρηση σταθερής πίεσης μεταξύ της θύρας αναρρόφησης και της θύρας κατάθλιψης του κυκλοφορητή, ανεξάρτητα με την παροχή του νερού στο δίκτυο.



Σχήμα 2.23 Διάγραμμα μανομετρικού ύψους-παροχής κυκλοφορητή με inverter.

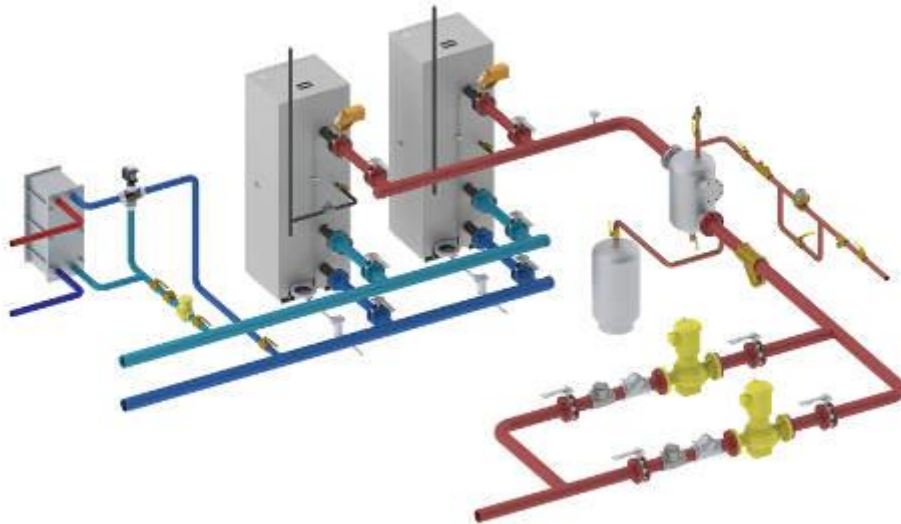
(ΠΗΓΗ: <https://wilo.com>)

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα οι κυκλοφορητές με inverter δεν ακολουθούν απλά μια καμπύλη αλλά ένα εμβαδό που μπορούν να λειτουργήσουν. Έτσι επιλέγουμε το μανομετρικό ύψος ή την διαφορά πίεσης που θέλουμε να λειτουργεί και ο κυκλοφορητής μεταβάλλει αυτόματα την παροχή.

Επίσης σε πολλούς κυκλοφορητές inverter υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της παροχής του νερού μέσω εξωτερικού ελεγκτή. Ο κυκλοφορητής δέχεται ένα μεταβαλλόμενο σήμα παλμού (PWM), συνήθως από 10 έως 15 V dn ή ένα αναλογικό σήμα 0 έως 10 V. Στην περίπτωση σήματος παλμού, μεταβάλλοντας την συχνότητα του από 100Hz έως 1 KHz, 100Hz έως 4KHz, αναλόγως τον κατασκευαστή, παρέχει την εντολή στην αντλία για την παροχή που χρειάζεται το κύκλωμα.

3 ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΛΕΒΗΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή



Σχήμα 3.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση αλληλουχίας λεβήτων

(ΠΗΓΗ: <https://theengineeringmindset.com>)

Η εξασφάλιση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε ένα κτήριο απαιτεί διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης σε δυσμενείς συνθήκες. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως έχουμε λιγότερες θερμικές απώλειες από αυτές του σχεδιασμού, επίσης έχουμε διακυμάνσεις και ετεροχρονισμό στα θερμικά φορτία. Ως αποτέλεσμα αυτού, σε μεγάλες εγκαταστάσεις, ενδείκνυται η εγκατάσταση πολλαπλών λεβήτων. Σκοπός αυτής της ενέργειας είναι να λειτουργεί αποδοτικά το σύστημα θέρμανσης στο μεγαλύτερο δυνατό εύρος θερμικών απαιτήσεων.

Η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος, συνίσταται σε κτήρια όπως μια πολυκατοικία, ένα εμπορικό κέντρο, μια εκκλησία, ένα κτήριο πανεπιστημίου όπου οι διακυμάνσεις των θερμικών φορτίων του συστήματος είναι μεγάλες. Για παράδειγμα στις εγκαταστάσεις ενός πανεπιστημίου, κάθε μέρα και κατά την διάρκεια της οι θερμικές απαιτήσεις είναι διαφορετικές ανάλογα με το πρόγραμμα μαθημάτων, την ημέρα κτλ. Σε μια τέτοια περίπτωση, η χρήση ενός μόνο λέβητα θα είχε ως αποτέλεσμα την μερική λειτουργία του συστήματος και

μεγάλο αριθμό διακοπών στην λειτουργία του. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν δεν απαιτείται θέρμανση όλων των χώρων, η θερμότητα που προσδίδεται στο κύκλωμα νερού είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών αναγκών. Η πιθανότητα να απαιτείται θέρμανση όλων των θερμαινόμενων χώρων ταυτόχρονα είναι πολύ μικρή. Επίσης πολλοί από αυτούς τους χώρους μπορεί να βρίσκονται ήδη σε συντήρηση θέρμανσης, που συνεπάγεται μικρότερη θερμική ζήτηση. Μοιράζοντας το φορτίο σε δυο ή τρεις λέβητες έχουμε την δυνατότητα κάλυψης των αναγκών στις δυσμενείς συνθήκες ανά πάσα στιγμή και ταυτόχρονα μπορούμε να παράγουμε όσο λιγότερη θερμότητα μας επιτρέπει η διάταξη για την κάλυψη των αναγκών. Επίσης, σε μια αλληλουχία λεβήτων, σε περίπτωση βλάβης έχουμε μια δικλείδα ασφαλείας γιατί θα συνεχίσουν να λειτουργούν οι υπόλοιποι λέβητες της εγκατάστασης.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράνουμε ότι μελετητής μπορεί να κρίνει αν σε μια εγκατάσταση ενδείκνυται η χρήση πολλών λεβήτων. Έτσι ο μελετητής καλείται να ελέγξει τα θερμικά φορτία και να διαπιστώσει αν απαιτείται σύστημα πολλών λεβήτων. Η εγκατάσταση αλληλουχίας λεβήτων, εκτός από το να μας προσφέρει μειωμένη σπατάλη όσον αφορά την κάλυψη των φορτίων θα πρέπει να είναι και οικονομικά συμφέρουσα επιλογή.

Αν κριθεί ότι η χρήση πολλαπλών λεβήτων είναι απαραίτητη τότε ο μελετητής θα πρέπει να διαστασιολογήσει τους λέβητες και να χρησιμοποιήσει κατάλληλο αυτοματισμό ελέγχου για την ορθή λειτουργία τους.

3.2 Διαστασιολόγηση λεβήτων

Για την διαστασιολόγηση των λεβήτων, μπορούμε να ακολουθήσουμε δύο μεθόδους αναλόγως με τον τύπο του κτηρίου και πως κατανέμονται τα φορτία. Η πρώτη μέθοδος είναι να μοιράσουμε το φορτίο σε λέβητες ισόποσα δηλαδή έχοντας ένα φορτίο για παράδειγμα 100 kW να τοποθετήσουμε δυο λέβητες των 50 kW. Η δεύτερη μέθοδος είναι να τοποθετήσουμε δύο λέβητες διαφορετικών φορτίων για παράδειγμα έχοντας ένα φορτίο 100 kW να τοποθετήσουμε ένα λέβητα 30 kW και έναν 70 kW. Οι δυο τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν και σε εγκατάσταση περισσοτέρων από δύο λέβητες.

Η κατάλληλη μεθοδολογία διαστασιολόγησης είναι διαφορετική σε κάθε περίπτωση κτηρίου και εξαρτάται από τα συνήθη φορτία και τον ετεροχρονισμό τους. Ο μελετητής θα πρέπει να καταλήξει σε λέβητες που θα συμφέρουν οικονομικά και θα καλύπτουν τα θερμικά φορτία σε κάθε περίπτωση ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κτήριο.

Με την μέθοδο όπου είναι διαφορετική η ισχύς των λεβήτων, επιδιώκεται με τον λέβητα μικρής ισχύος να καλύπτεται το συνηθέστερο χαμηλότερο φορτίο που θα ζητηθεί από το σύστημα. Αυτό δε σημαίνει ότι απαραίτητα θα είναι το φορτίο του μικρότερου σε θερμική ζήτηση χρήστη, καθώς, σε μια πολυκατοικία με δέκα διαμερίσματα το ελάχιστο φορτίο είναι αυτό ενός διαμερίσματος, αλλά η εγκατάσταση ενός λέβητα για την κάλυψη αυτού του φορτίου είναι πρακτικά ασύμφορη γιατί σχεδόν ποτέ δεν θα έχει θέρμανση μόνο ένα διαμέρισμα, συνήθως θα είναι τρία ή τέσσερα. Οπότε θα επιλέξουμε τον μικρό σε ισχύ λέβητα για την κάλυψη του αυτού του φορτίου. Με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε ανά πάσα στιγμή θερμική επάρκεια αλλά παράλληλα και οικονομία σε περιπτώσεις που έχουμε μειωμένη ζήτηση.

Η μέθοδος όπου η ισχύ μεταξύ λεβήτων είναι ίδια, αν θεωρήσουμε ότι ο λέβητας που δουλεύει σε συνθήκες μειωμένης ζήτησης είναι ο πρωτεύων και ο λέβητας που αναμένει να λειτουργήσει αν απαιτηθεί είναι ο δευτερεύων. Η μεθοδολογία αυτή μας επιτρέπει την εναλλαγή των λεβήτων σε πρωτεύων και δευτερεύων μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει γιατί η ισχύς των λεβήτων είναι ίδια οπότε δεν υπάρχει μεταβολή της ισχύς στο σύστημα. Το όφελος αυτής της ενέργειας είναι ότι οι ώρες λειτουργίας των λεβήτων θα είναι σχεδόν ίδιες οπότε θα χρειάζονται μαζί συντήρηση. Επίσης, αυτή η μέθοδος διαστασιολόγησης μας επιτρέπει να καλύψουμε μεγαλύτερα φορτία σε περίπτωση βλάβης.

3.3 Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης επιμέρους λεβήτων

Σε συστήματα θέρμανσης στα οποία κρίνεται κατάλληλη η εγκατάσταση περισσότερων από έναν λέβητα θα πρέπει να γίνει επιλογή της ισχύς του κάθε λέβητα. Το μέγεθος κάθε λέβητα θα πρέπει να συμβάλλει για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος. Η διαδικασία βελτιστοποίησης θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με κριτήρια που θα αποφασίσει ο μελετητής. Όπως για παράδειγμα ελαχιστοποίηση χρόνου λειτουργίας, ελαχιστοποίηση κόστους κτλ.

3.3.1 Κατανομή φορτίων θέρμανσης

Τα ποσοστό φορτίου θέρμανσης, δηλαδή το ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος που χρειάζεται κάθε καταναλωτής για την θέρμανση του, είναι ένας αριθμός από το 0 έως το 1. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από τις θερμικές απώλειες του κάθε καταναλωτή.

Μπορούμε να χωρίσουμε τις εγκαταστάσεις σε δυο κατηγορίες:

- Σε εγκαταστάσεις περίπου όμοιου φορτίου ανά καταναλωτή.

ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΛΕΒΗΤΩΝ

- Σε εγκαταστάσεις αύξοντα φορτίου ανά καταναλωτή.

Εγκαταστάσεις περίπου όμοιου φορτίου ανά καταναλωτή

Στις εγκαταστάσεις αυτές τα επιμέρους φορτία των επιμέρους καταναλώσεων έχουν την μορφή:

$$\text{Κατανάλωση}_1 \approx \text{Κατανάλωση}_2 \approx \text{Κατανάλωση}_n$$

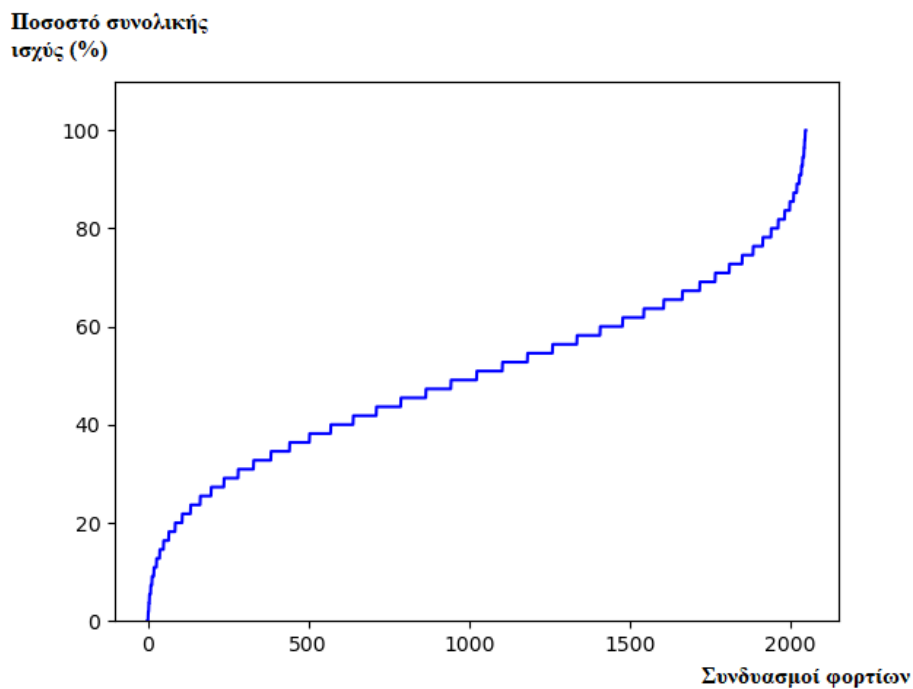
Τέτοιου είδους φορτία μπορούμε να έχουμε για παράδειγμα σε μια οικοδομή.

Εγκαταστάσεις αύξοντα φορτίου ανά καταναλωτή.

Στις εγκαταστάσεις αυτές τα επιμέρους φορτία των επιμέρους καταναλώσεων έχουν την μορφή:

$$\text{Κατανάλωση}_1 \approx 2 \text{ Κατανάλωση}_2 \approx n \text{ Κατανάλωση}_n$$

Τέτοιου είδους φορτία μπορούμε να έχουμε για παράδειγμα σε μια εγκατάσταση ενός πανεπιστημίου όπου οι χώροι θέρμανσης έχουν πολύ μεγάλη διασπορά επιφάνειας, όγκου αλλά και ωραρίου λειτουργίας.



Σχήμα 3.2 Καμπύλη Φορτίων αύξοντα φορτίου ανα καταναλωτή

Η καμπύλη Φορτίων (Σχ. 3.2) είναι η καμπύλη που προκύπτει από την συχνότητα εμφάνισης ενός φορτίου με βάση την ισχύ των επιμέρους καταναλωτών. Έτσι μπορούμε να βρούμε τον βέλτιστο συνδυασμό λεβήτων λαμβάνοντας υπόψη και πόσες φορές περισσότερο εμφανίζεται ένα φορτίο σε σχέση με ένα άλλο.

3.3.2 Βελτιστοποίηση με στόχο την ελαχιστοποίηση της περίσσειας ισχύος

Κατά την λειτουργία του, ένα σύστημα θέρμανσης καλείται να λειτουργήσει σε ένα εύρος θερμικών φορτίων και όχι μόνο σε συνθήκες σχεδιασμού. Το εύρος αυτό εξαρτάται από τα επιμέρους φορτία των καταναλώσεων της εγκατάστασης. Σε εγκαταστάσεις που ο αριθμός των λεβήτων είναι μεγαλύτερος από έναν μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση του επιμέρους μεγεθών των λεβήτων που θα μας δίνουν την συνδυαστική ισχύ που χρειαζόμαστε (συνθήκες σχεδιασμού), παράλληλα όμως θα λειτουργούν στον καλύτερο δυνατό βαθμό με την μικρότερη περίσσεια ισχύος που είναι δυνατόν. Κατα τον υπολογισμό θα θεωρήσουμε ότι ο αυτόματος έλεγχος των λεβήτων επιλέγει πάντα τον συνδυασμό των λεβήτων που πρέπει να είναι ενεργοί για την κάλυψη του φορτίου.

3.3.3 Βελτιστοποίηση εγκατάστασης λαμβάνοντας υπόψη και υπερδιαστασιολόγηση

Πολλές φορές σε εγκαταστάσεις θέρμανσης γίνεται υπερδιαστασιολόγηση των λεβήτων του συστήματος. Η υπερδιαστασιολόγηση αυτήν γίνεται εμπειρικά από τον μελετητή και εξαρτάται από:

- Την πτώση της ισχύος του λέβητα μετά από κάποια χρόνια λειτουργίας
- Το μήκος σωληνώσεων. Σε μεγάλα μήκη έχουμε μεγάλη θερμική αδράνεια στο κύκλωμα του νερού.
- Κάλυψη της θερμικής αδράνειας του κτηρίου λόγω του χρόνου θέρμανσης των δομικών του στοιχείων. Σε περιπτώσεις όπου η χρήση του κτηρίου είναι αραιή και διακοπτόμενη.

3.4 Συνδεσμολογία αλληλουχίας

Για την εγκατάσταση πολλών λεβήτων, στο κύκλωμα ζεστού νερού θα πρέπει να υπάρχουν διαφορετικά κυκλώματα για την κυκλοφορία του νερού στους καταλαναωτές και για την κυκλοφορία στον κάθε λέβητα. Τα κυκλώματα ζεστού νερού των καταναλωτών θα το ονομάσουμε πρωτεύοντα και τα κυκλώματα των λεβήτων δευτερεύοντα.

Αυτό το κάνουμε για την αποφυγή ροής νερού από λέβητα που δεν λειτουργεί και επίσης για την αποφυγή συμπύκνωσης καυσαερίων στον λέβητα κατά την έναρξη της λειτουργίας του.

3.5 Αυτόματος έλεγχος αλληλουχίας λεβήτων

Σκοπός του αυτομάτου ελέγχου είναι να λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης χρησιμοποιώντας όσο το δυνατόν λιγότερους πόρους (λέβητες, καύσιμα, κυκλοφορητές κτλ) παρέχοντας ταυτόχρονα στον χρήστη τις συνθήκες θερμικής άνεσης που χρειάζεται. Πολλές φορές οι αυτοματισμοί δεν χρησιμοποιούν στο έπακρο τις δυνατότητες του συστήματος με αποτέλεσμα την μείωση της οικονομίας, μείωση της αξιοπιστίας του συστήματος, μείωση του χρόνου ζωής.

Ο αυτόματος έλεγχος επιτυγχάνεται με έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή που δέχεται μια σειρά από αναλογικά ή ψηφιακά σήματα (αισθητήρες, ρυθμίσεις χρήστη) και μέσω ενός αλγορίθμου ελέγχει τα μέρη του συστήματος θέρμανσης (Ηλεκτροβάνες, καυστήρες, αντλίες κτλ) δίνοντας τους ένα σήμα (αναλογικό ή ψηφιακό).

Τρόποι ελέγχου αλληλουχίας λεβήτων (CIBSE, 1996) :

- Έλεγχος με βάση την θερμοκρασία επιστροφής
- Έλεγχος με βάση την θερμοκρασία προσαγωγής
- Έλεγχος με διακοπόμενη λειτουργία
- Έλεγχος με χρήση θερμοστατών
- Συνδυασμός των παραπάνω.

3.5.1 Έλεγχος με βάση την θερμοκρασία επιστροφής

Πρόκειται για έναν απλό και αποδοτικό τρόπο ελέγχου λεβήτων. Γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας επιστροφής του νερού η οποία συγκρίνεται με ένα ανώτερο και ένα κατώτερο όριο που έχουμε ορίσει. Μόλις η θερμοκρασία επιστροφής πέσει κάτω από το όριο ο αυτοματισμός θέτει σε λειτουργία τον επόμενο λέβητα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε φορά που η θερμοκρασία πέφτει κάτω από το όριο για όσους λέβητες έχει το σύστημά μας. Για την απενεργοποίηση των λεβήτων ακολουθεί αντίστροφη διαδικασία δηλαδή κάθε φορά που η θερμοκρασία επιστροφής ξεπερνάει το άνω όριο ο αυτοματισμός σταματά την λειτουργία ενός λέβητα. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχου απαιτείται συνεχής ροή του νερού στο σύστημα για απλή αναλογική λειτουργία. Επίσης με αυτόν τον τρόπο ελέγχου αποφεύγεται η

συμπύκνωση υδρατμών των καυσαερίων γιατί ελέγχουμε την θερμοκρασία που το νερό μπαίνει στον λέβητα.

3.5.2 Έλεγχος με βάση την θερμοκρασία προσαγωγής

Αυτός ο τρόπος ελέγχου χρειάζεται εκτεταμένο έλεγχο σωστής εγκατάστασης και συντήρησης. Είναι ιδιαίτερα αποδοτικός με πολυβάθμιους καυστήρες και πολλαπλούς λέβητες. Χρησιμοποιείται κυρίως για αντιστάθμιση της θερμοκρασίας προσαγωγής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με αυξομείωση της ροής νερού.

3.5.3 Έλεγχος με διακοπτόμενη λειτουργία

Με αυτόν τον τρόπο ελέγχου ο αυτοματισμός έχει ένα ενσωματωμένο πρόγραμμα για το πότε κάθε ζώνη θέρμανσης πρέπει να θερμαίνεται και αναλόγως θέτει σε λειτουργία τους λέβητες για να καλύψει τα φορτία σε κάθε χρονική στιγμή.

3.5.4 Έλεγχος με χρήση θερμοστατών

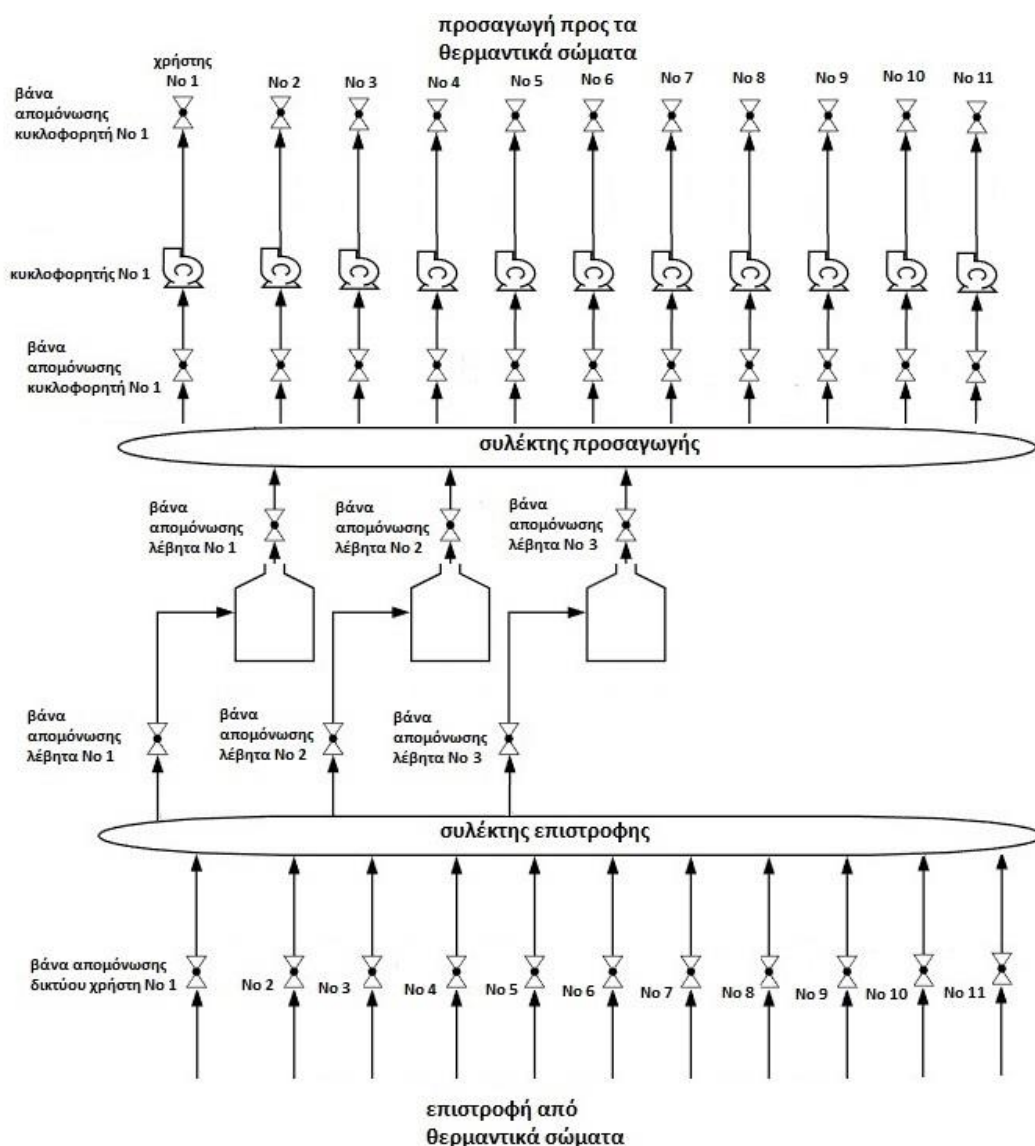
Ο έλεγχος των λεβήτων με θερμοστάτες χώρου μας προσφέρει απλή λειτουργία. Ο ελεγκτής δέχεται σαν είσοδο τους ενεργούς καταναλωτές και αναλόγως θέτει σε λειτουργία τους λέβητες που απαιτούνται για την κάλυψη των φορτίων. Με αυτή την μέθοδο ο ελεγκτής ελέγχει μόνο το πότε να θέσει σε λειτουργία ένα λέβητα και την ηλεκτροβάννα απομόνωσης του λέβητα. Ο κάθε λέβητας έχει δικό του θερμοστάτη για να ξεκινάει και να διακόπτει την λειτουργία του αυτόνομα.

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

4.1 Η εγκατάσταση

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης έγκειται στον προσδιορισμό της βέλτιστης ισχύος συγκεκριμένου αριθμού λεβήτων για την κάλυψη του σχετικού φορτίου. Η μέθοδος ανάλυσης αναπτύχθηκε με γνώμονα τα στοιχεία συγκεκριμένης εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση για την οποία θα γίνει η μελέτη είναι αυτή του πρώην Τ.Ε.Ι. της Κοζάνης. Η παρούσα εγκατάσταση αποτελείται από τρεις λέβητες 1000kW ο καθένας



Σχήμα 4,1 Μονογραμμικό διάγραμμα εγκατάστασης

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

Τα φορτία θέρμανσης της εγκατάστασης είναι:

| Καταναλωτές | Φορτίο (kW) | Ποσοστό συνολικού φορτίου (%) |
|----------------|-------------|-------------------------------|
| 1 | 298 | 11.8 |
| 2 | 35 | 1.4 |
| 3 | 30 | 1.2 |
| 4 | 116 | 4.6 |
| 5 | 360 | 14.3 |
| 6 | 284 | 11.3 |
| 7 | 557 | 22.1 |
| 8 | 566 | 22.5 |
| 9 | 30 | 1.2 |
| 10 | 105 | 4.2 |
| 11 | 140 | 5.6 |
| Σύνολο: | 2521 | 100 |

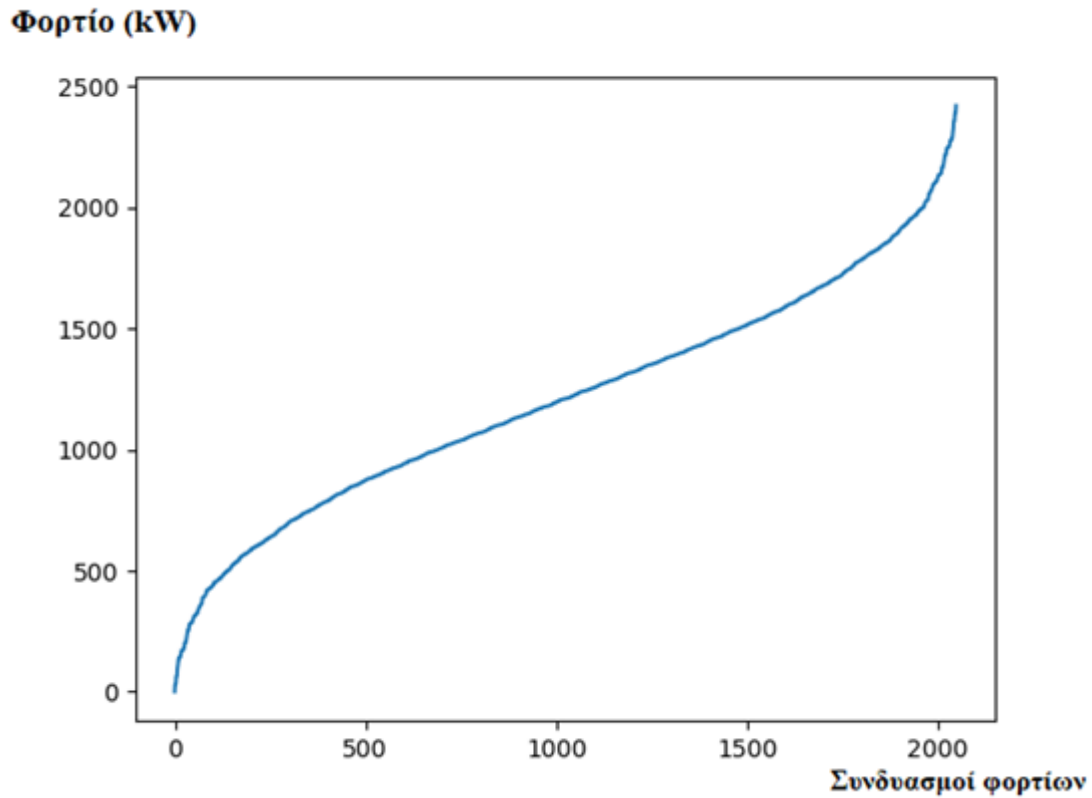
Πίνακας 4.1 Φορτία ανα καταναλωτή της εγκατάστασης

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να κάνουμε ένα διάγραμμα που μας δείχνει τα πιθανά φορτία σε kW που μπορούν να ζητηθούν από το σύστημα θέρμανσης, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω φορτία και τους συνδυασμούς τους.

Συνολικά οι 11 καταναλωτές έχουν $2^{11}=2048$ συνδυασμούς φορτίων αναλόγως με το ποιοί είναι ενεργοί και ποιοί όχι.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

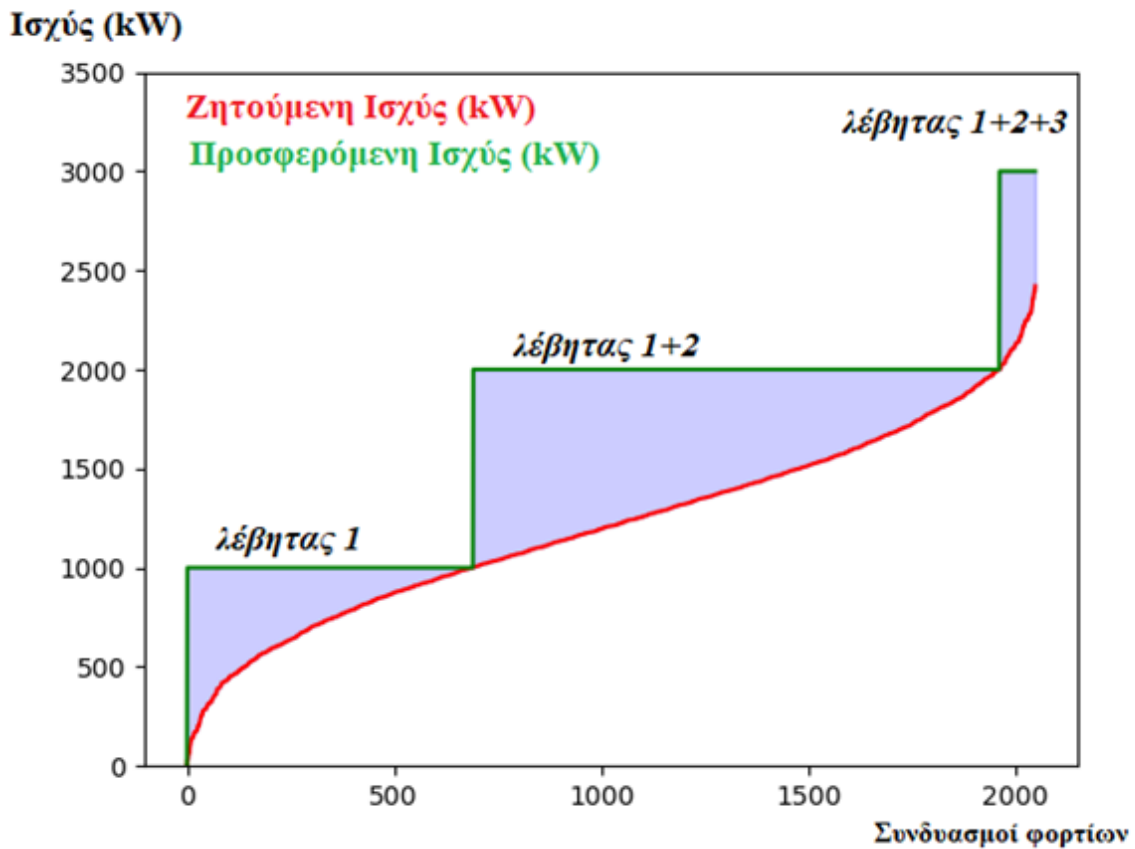
Έτσι, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια καμπύλη στην οποία προβάλουμε τους 2048 συνδυασμούς φορτίων με αύξουσα ταξινόμηση και να καταλήξουμε στην παρακάτω καμπύλη φορτίων:



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα φορτίου

Η υπάρχουσα εγκατάσταση λειτουργεί, όπως είπαμε, με τρεις λέβητες 1000kW ο καθένας. Έτσι λειτουργεί ο πρώτος λέβητας μέχρι το φορτίο να φτάσει 1000kW, όταν ξεπεράσει τα 1000kW ανάβει ο δεύτερος και όταν ξεπεράσει τα 2000kW ανάβει και ο τρίτος.

Με βάση το διάγραμμα φορτίων να δούμε πως λειτουργούν και οι λέβητες της εγκατάστασης.



Σχήμα 4.3 Διάγραμμα φορτίου-Λειτουργίας λέβητων

Στο Σχήμα 4.3 βλέπουμε την ζητούμενη ισχύ για την θέρμανση (κόκκινη γραμμή) και την προσφερόμενη ισχύ από τους λέβητες (πράσινη γραμμή). Στο μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας του συστήματος η εγκατάσταση υπολειτουργεί προσφέροντας πολύ μεγαλύτερη ισχύ από την ζητούμενη (μπλέ σκιαγράμμιση).

Αυτό συμβαίνει γιατί οι λέβητες είναι όλοι πολύ μεγαλύτεροι των μικρότερων φορτίων και επίσης επειδή οι τρεις λέβητες έχουν την ίδια ισχύ. Αν οι λέβητες είχαν διαφορετική ισχύ μεταξύ τους, θα επιτυγχάναμε μεγαλύτερη εξοικονόμηση.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

Αν για παράδειγμα οι λέβητες της εγκατάστασης είχαν ισχύ 400kW, 1000kW και 1600kW αντί για 1000kW έκαστος θα είχαμε ίδια συνολική ισχύ (Πίνακας 4.2).

| Λέβητας 1(kW) | Λέβητας 2(kW) | Λέβητας 3(kW) | Συνολική ισχύς(kW) |
|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 1000 | 1000 | 1000 | 3000 |
| 400 | 1000 | 1600 | 3000 |

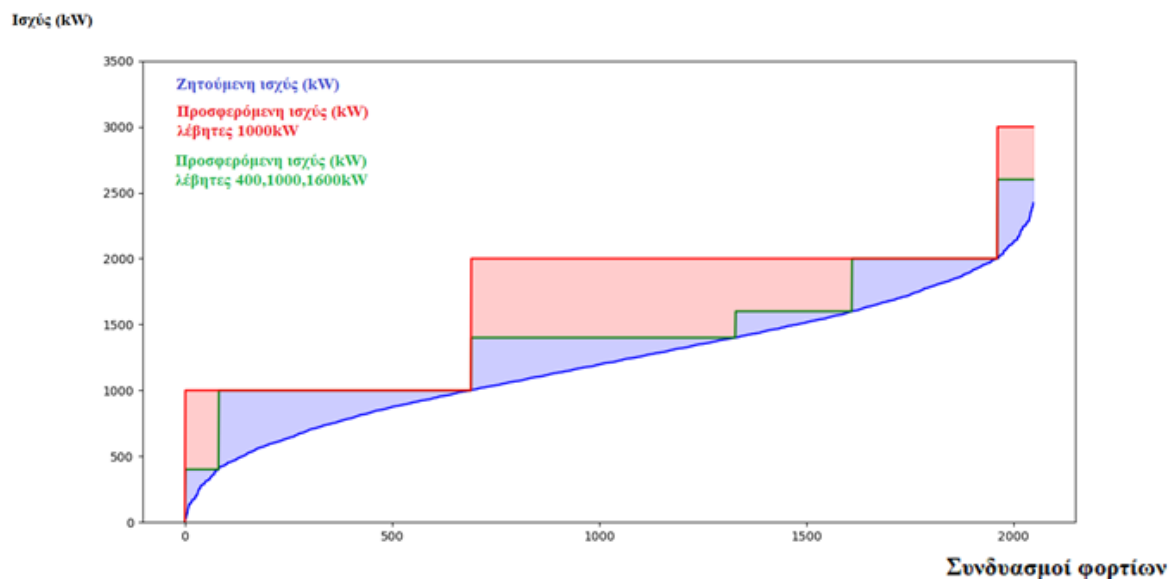
Πίνακας 4.2

Η ισχύς που μπορεί η αλληλουχία να παρέχει όμως, στο σύστημα, στις δυο περιπτώσεις είναι:

| Συνδυαστική ισχύς λεβήτων περίπτωση (1000,1000,1000) kW | Συνδυαστική ισχύς λεβήτων περίπτωση (400,1000,1600) kW |
|--|---|
| 1000 | 400 |
| 2000 | 1000 |
| 3000 | 1400 |
| - | 1600 |
| - | 1800 |
| - | 2000 |
| - | 2600 |
| - | 3000 |

Πίνακας 4.3 Συνδυαστική ισχύς λεβήτων για 1000,1000,1000 kW και 400,1000,1600 kW

Με την εγκατάσταση λεβήτων διαφορετικού μεγέθους εκτός από την μείωση της περίσσειας ισχύος που πετυχαίνουμε, μπορούμε παράλληλα με την χρήση κατάλληλου αυτομάτου ελέγχου να πετύχουμε αύξηση των συνδυασμών ισχύος που μπορούν να καλύψουν οι λέβητες μας.



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα φορτίου-Λειτουργίας λεβήτων δυο συνδυασμών

Όπως είναι εμφανές από το διάγραμμα (Σχήμα 4.4), η περίσσεια ισχύος στην περίπτωση των λεβήτων 400, 1000, 1600 kW (μπλε γραμμοσκίαση) είναι πολύ μικρότερη από αυτή των λεβήτων των 1000kW (κόκκινη γραμμοσκίαση).

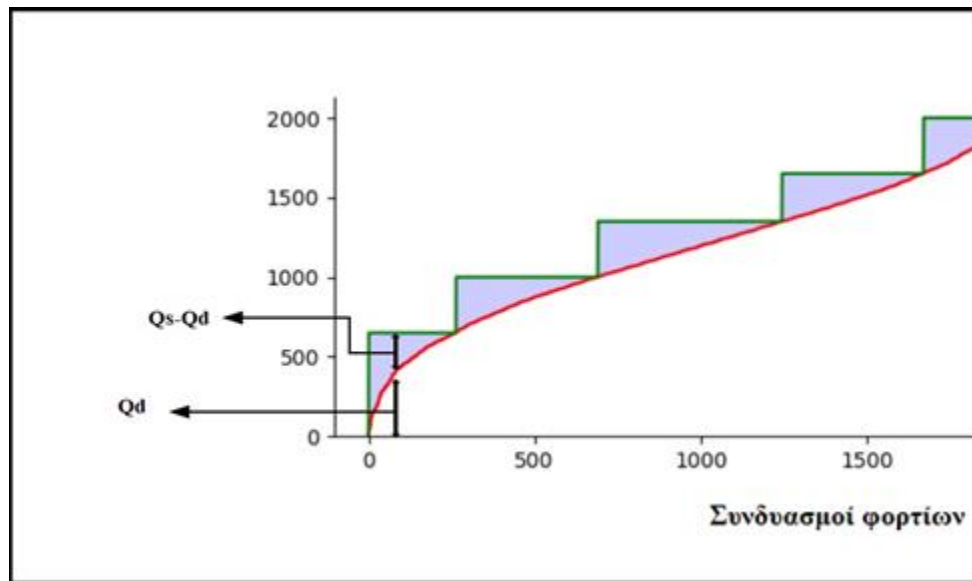
Οι λέβητες όμως με ισχύ 400, 1000, 1600kW παρόλο που παρουσιάζουν μικρότερη περίσσεια ισχύος στο εύρος λειτουργίας δεν αποτελούν την βέλτιστη λύση στο πρόβλημα μας. Για να βρεθεί η βέλτιστη λύση του προβλήματος θα πρέπει να υπολογιστεί η περίσσεια ισχύος για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των λεβήτων που μπορούν να τοποθετηθούν στην εγκατάσταση.

4.2 Επιλογή βέλτιστου συνδυασμού λεβήτων.

4.2.1 Μεθοδολογία υπολογισμού περίσσειας ισχύος

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα (4.1), η επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού δεν είναι εύκολη. Για να βρεθεί λοιπόν θα υπολογίσουμε, για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς λεβήτων, την μέση περίσσεια ισχύος χρησιμοποιώντας τον αριθμητικό μέσο όρο.

Ο υπολογισμός περίσσειας ισχύος γίνεται για κάθε έναν από τους πιθανούς συνδυασμούς φορτίων της εγκατάστασης και επειδή γνωρίζουμε την ισχύ των πιθανών λεβήτων μπορούμε να υπολογίσουμε την περίσσεια.



Σχήμα 4.5 Αναπαράσταση τρόπου υπολογισμών

Στο σχήμα 4.5 βλέπουμε, για έναν συνδυασμό φορτίων, τον τρόπο υπολογισμού του Q_d (ζητούμενη ισχύς) και του $Q_s - Q_d$ (διαφορά προσφερόμενης-ζητούμενης ισχύος).

Για κάθε έναν από τους συνδυασμούς θα υπολογίζουμε το ποσοστό της περίσσειας ισχύος δηλαδή:

$$P_{excess} = \frac{Q_s - Q_d}{Q_d} \cdot 100(\%) \text{ (Εξίσωση 4.1)}$$

Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε να συγκρίνουμε την αριθμητική τιμή της περίσσειας ανόμοιων φορτίων και την ορίζουμε ως ποσοστό.

Ο αριθμητικός μέσος θα έχει την μορφή:

$$P_{excess, total} = \left(\sum_{i=0}^n \frac{(Q_{s,i} - Q_{d,i})}{Q_{s,i}} \right) / n \text{ (Εξίσωση 4.2)}$$

Όπου n είναι ο αριθμός των συνδυασμών που εμφανίζονται.

Οι υπολογισμοί, για τους τρεις λέβητες, θα ξεκινήσουν για ισχύ του μικρότερου λέβητα ίση με 50kW και θα αυξάνεται 50kW την φορά. Με αυτόν τον τρόπο καταλήγουμε σε 300 συνδυασμούς λεβήτων που πρέπει να ελεγχθούν.

Στο σύστημα μας αντικειμενική συνάρτηση είναι είναι αυτή της περίσσειας ισχύος, δηλαδή η εξίσωση 4.2 και σκοπός μας είναι η ελαχιστοποίηση της.

Οι περιορισμοί του συστήματος είναι ο αριθμός των λεβήτων που είναι τρεις, η συνολική ισχύς των λεβήτων που είναι 3000kW και ότι η προσφερόμενη ισχύς πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση με την απαιτούμενη ισχύ για την θέρμανση της εγκατάστασης.

Η μορφή των αποτελεσμάτων παρατίθεται σε:

- Ισχύ ανά λέβητα
- Οι συνδυασμοί ισχύος που μπορούν να δώσουν οι λέβητες
- Το ποσοστό της περίσσειας ισχύος ανά συνδυασμό.

4.2.2 Βέλτιστη λύση για ισχύ 3000 kW με υπολογισμό όλων των πιθανών φορτίων.

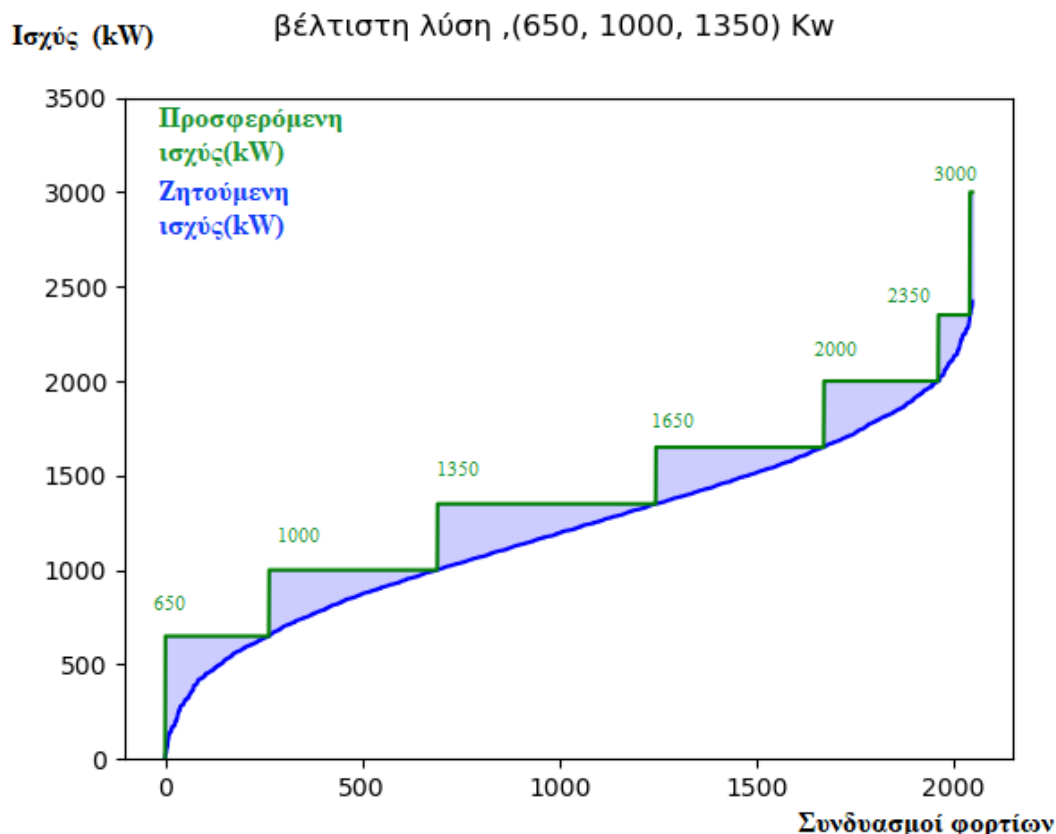
Όπως αναφέραμε στο [κεφάλαιο 4.1](#), η εγκατάσταση έχει 11 καταναλωτές με 2048 συνδυασμούς φορτίων. Υπολογίζοντας την περίσσεια ισχύος για αυτούς τους 2048 πιθανούς συνδυασμούς καταλήγουμε στις λύσεις που παρατίθενται στον [πίνακα Α](#) του παραρτήματος.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, η λύση που μας δίνει μικρότερη περίσσεια ισχύος είναι ο συνδυασμός λεβήτων:

650, 1000, 1350 kW

Με περίσσεια **14.37%**

Η λύση αυτή μας δίνει διάγραμμα λειτουργίας που φαίνεται στο Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6 Διάγραμμα φορτίου –συνδυασμών φορτίων λειτουργίας λεβήτων βέλτιστου συνδυασμού.

4.2.3 Εναλλακτικές λύσεις

Ανάλυση ευαισθησίας είναι η μελέτη των συνεπειών που υφίσταται το σύστημα, ως συνέπεια αλλαγών στις τιμές των παραμέτρων του. Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιήσουμε μια ανάλυση ευαισθησίας για μεταβολή του αριθμού λεβήτων και της συνολικής ισχύς (υπερδιαστασιολόγησης) των λεβήτων.

Σε περίπτωση που θα επιλέγαμε για την εγκατάσταση διαφορετική υπερδιαστασιολόγηση ή διαφορετικό αριθμό λεβήτων η βέλτιστη λύση του συστήματος θα είναι άλλη.

Τα αποτελέσματα βέλτιστης ισχύς για δυο λέβητες για διάφορες τιμές υπερδιαστασιολόγησης
Πίνακας 4.4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

| ΥΠΕΡ/ΛΟΓΗΣΗ (kW)-% | | ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΛΕΒΗΤΩΝ(Kw) | ΛΕΒΗΤΑΣ 1 (Kw) | ΛΕΒΗΤΑΣ 2 (Kw) | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ(kW) | | | Ποσοστό περίσσειας ισχύος(%) | |
|--------------------|------|-------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------|------|------|------------------------------|-------|
| 0 | 0.00 | 2550 | 1000 | 1550 | 0 | 1000 | 1550 | 2550 | 24.70 |
| 50 | 0.02 | 2600 | 1050 | 1550 | 0 | 1050 | 1550 | 2600 | 24.95 |
| 100 | 0.04 | 2650 | 1050 | 1600 | 0 | 1050 | 1600 | 2650 | 25.15 |
| 150 | 0.06 | 2700 | 1050 | 1650 | 0 | 1050 | 1650 | 2700 | 25.31 |
| 200 | 0.08 | 2750 | 1100 | 1650 | 0 | 1100 | 1650 | 2750 | 25.50 |
| 250 | 0.10 | 2800 | 1100 | 1700 | 0 | 1100 | 1700 | 2800 | 25.68 |
| 300 | 0.12 | 2850 | 1150 | 1700 | 0 | 1150 | 1700 | 2850 | 25.79 |
| 350 | 0.14 | 2900 | 1150 | 1750 | 0 | 1150 | 1750 | 2900 | 25.99 |
| 400 | 0.16 | 2950 | 1150 | 1800 | 0 | 1150 | 1800 | 2950 | 26.30 |
| 450 | 0.18 | 3000 | 1150 | 1850 | 0 | 1150 | 1850 | 3000 | 26.49 |
| 500 | 0.20 | 3050 | 1200 | 1850 | 0 | 1200 | 1850 | 3050 | 26.68 |

Πίνακας 4.4 βέλτιστες λύσεις για 2 λέβητες με διάφορες τιμές υπερδιαστασιολόγησης

Τα αποτελέσματα βέλτιστης ισχύος τριών λέβητων για διάφορες τιμές υπερδιαστασιολόγησης
Πίνακας 4.5

| ΥΠΕΡ/ΛΟΓΗΣΗ (kW)-% | | ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΛΕΒΗΤΩΝ(Kw) | ΛΕΒΗΤΑΣ 1 (Kw) | ΛΕΒΗΤΑΣ 2 (Kw) | ΛΕΒΗΤΑΣ 3 (Kw) | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ(Kw) | | | | | | | Ποσοστό περίσσειας ισχύος(%) | |
|--------------------|------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------------------------------|-------|
| 0 | 0.00 | 2550 | 550 | 850 | 1150 | 0 | 550 | 850 | 1150 | 1400 | 1700 | 2000 | 2550 | 12.98 |
| 50 | 0.02 | 2600 | 600 | 850 | 1150 | 0 | 600 | 850 | 1150 | 1450 | 1750 | 2000 | 2600 | 13.15 |
| 100 | 0.04 | 2650 | 600 | 900 | 1150 | 0 | 600 | 900 | 1150 | 1500 | 1750 | 2050 | 2650 | 13.31 |
| 150 | 0.06 | 2700 | 600 | 900 | 1200 | 0 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 | 2100 | 2700 | 13.51 |
| 200 | 0.08 | 2750 | 650 | 900 | 1200 | 0 | 650 | 900 | 1200 | 1550 | 1850 | 2100 | 2750 | 13.69 |
| 250 | 0.10 | 2800 | 600 | 950 | 1250 | 0 | 600 | 950 | 1250 | 1550 | 1850 | 2200 | 2800 | 13.76 |
| 300 | 0.12 | 2850 | 650 | 950 | 1250 | 0 | 650 | 950 | 1250 | 1600 | 1900 | 2200 | 2850 | 13.90 |
| 350 | 0.14 | 2900 | 600 | 1000 | 1300 | 0 | 600 | 1000 | 1300 | 1600 | 1900 | 2300 | 2900 | 14.17 |
| 400 | 0.16 | 2950 | 650 | 1000 | 1300 | 0 | 650 | 1000 | 1300 | 1650 | 1950 | 2300 | 2950 | 14.16 |
| 450 | 0.18 | 3000 | 650 | 1000 | 1350 | 0 | 650 | 1000 | 1350 | 1650 | 2000 | 2350 | 3000 | 14.37 |
| 500 | 0.20 | 3050 | 650 | 1050 | 1350 | 0 | 650 | 1050 | 1350 | 1700 | 2000 | 2400 | 3050 | 14.56 |

Πίνακας 4.5 βέλτιστες λύσεις για 3 λέβητες με διάφορες τιμές υπερδιαστασιολόγησης

Όπως παρατηρούμε (Πίνακας 4.4-4.5), η επιλογή των μεγεθών των λεβήτων εξαρτάται τόσο από τα επιμέρους φορτία των καταναλωτών (καμπύλη φορτίων) όσο και από την υπερδιαστασιολόγηση. Η μεταβολή των βέλτιστων λύσεων όπως είναι λογικό είναι μεγαλύτερη σε περιπτώσεις τριών λεβήτων επειδή έχουμε την δυνατότητα να καλύψουμε μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας.

Ο χρόνος που χρειάστηκε ο αλγόριθμος να υπολογίσει την βέλτιστη λύση για όλες τις πιθανές λύσεις σε περίπτωση δυο λεβήτων είναι 1.45 δευτερόλεπτα, ενώ για την περίπτωση τριών

λεβήτων 14.5 δευτερόλεπτα. Ο αλγόριθμος για την ολοκλήρωση των υπολογισμών χρειάζεται δεκαπλάσιο χρόνο με αύξηση του αριθμού λεβήτων από δυο σε τρεις.

Με τις παραπάνω λύσεις καταλήγουμε στο ότι η υπερδιαστασιολόγηση μπορεί να υπολογιστεί μετά την βελτιστοποίηση προσθέτοντας το ποσοστό προσαύξησης στην ισχύ των επιμέρους λεβήτων. Επίσης, η επιλογή κατάλληλης ισχύος και αριθμού των επιμέρους λεβήτων όπως είναι λογικό θα έχει μεγαλύτερες επιπτώσεις όσο μεγαλύτερη είναι η συνολική ισχύς του συστήματος θέρμανσης.

4.2.4 Μέθοδος Monte Carlo

Στο κεφάλαιο [4.4.2](#) έγινε βελτιστοποίηση με υπολογισμό φορτίων όλων των πιθανών συνδυασμών καταλανωτών, σε πραγματικές συνθήκες όμως τα φορτία δεν εμφανίζονται όλα με την ίδια πιθανότητα. Αν λάβουμε ως παράγοντα στους υπολογισμούς την πιθανότητα να είναι ενεργός κάποιος από τους καταναλωτές μπορούμε να δημιουργήσουμε μια πιο αντιπροσωπευτική καμπύλη φορτίων για την εγκατάσταση. Η δημιουργία της καμπύλης φορτίων, θα γίνει μέσω της μεθόδου Monte Carlo.

Η μέθοδος Monte-Carlo εμφανίστηκε την δεκαετία του 1940 από επιστήμονες, κατά την διάρκεια ανάπτυξης πυρηνικών όπλων (Manhattan project). Η μέθοδος αυτήν μας επιτρέπει να λύσουμε το πρόβλημα μας με την χρήση μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών. Για την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo, κατασκευάζουμε ένα μαθηματικό μοντέλο που προσομοιώνει ένα πραγματικό σύστημα. Εφαρμόζεται μεγάλος αριθμός τυχαίας δειγματοληψίας του μοντέλου αποδίδοντας μεγάλο αριθμό αποτελεσμάτων (Thomopoulos, 2013).

Η βελτιστοποίηση με υπολογισμό όλων των πιθανών συνδυασμών μας επιτρέπει να λύσουμε το πρόβλημα μας δημιουργώντας μια καμπύλη φορτίων με 2048 συνδυασμούς (κεφάλαιο [4.4.2](#)), δηλαδή μια καμπύλη όλων των πιθανών φορτίων. Για την λύση όμως του προβλήματος με την μέθοδο Monte-Carlo, θα χρειαστεί να αυξήσουμε τον αριθμό των φορτίων που υπολογίζουμε. Τα φορτία παραμένουν αυτά τα 2048 που υπολογίσαμε στην προηγούμενη μέθοδο απλά αλλάζει το πόσο συχνά εμφανίζονται. Η εισαγωγή όμως του τυχαίου παράγοντα από την γεννήτρια τυχαίων αριθμών απαιτεί αύξηση του αριθμού επαναλήψεων, μέχρι τα αποτελέσματα να είναι επαναλαμβανόμενα. Μετά από δοκιμές, αυτό συμβαίνει στο πρόβλημα μας στις 10.000 επαναλήψεις.

Ο χρόνος περάτωσης του κώδικα για 10.000 επαναλήψεις και για περίπτωση συνολικής ισχύος 3000kW είναι 10.2 δευτερόλεπτα. Στην περίπτωση του κεφαλαίου [4.3.2](#) οι χρόνοι είναι 1.45 και 14.5 δευτερόλεπτα για δυο και τρεις λέβητες αντίστοιχα σε περίπτωση εύρεσης βέλτιστης λύσης για συνολική ισχύ από 2550 έως 3050 δηλαδή, 11 συνδυασμούς συνολικής ισχύος. Αν ο υπολογισμός βέλτιστης ισχύος γινόταν για ενά μόνο συνδυασμού και στις περιπτώσεις του κεφαλαίου [4.3.2](#) ο χρόνος θα ήταν πολύ μικρότερος σε σχέση με αυτόν για τον υπολογισμό με Monte Carlo, αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της αύξησης των υπολογίσιμων φορτίων.

Ο τρόπος που δημιουργούμε την καμπύλη φορτίων με την μέθοδο Monte-Carlo είναι:

- Υπολογισμός της πιθανότητας να είναι ενεργός κάθε καταναλωτής.
- Δημιουργία μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών από 0 έως 1 για κάθε καταναλωτή.
- Έλεγχος αν ο τυχαίος αριθμός είναι μεγαλύτερος από την πιθανότητα του καταναλωτή
- Αν ο αριθμός είναι μεγαλύτερος, ο καταναλωτής είναι ενεργός και αν ο αριθμός είναι μικρότερος, ο καταναλωτής είναι ανενεργός.
- Προσθήκη του αθροίσματος των φορτίων ενεργών καταναλωτών σε πίνακα
- Επανάληψη της διαδικασίας

Επειδή η ακριβής πιθανότητα κάθε καταναλωτή είναι δύσκολο να υπολογιστεί θα χωρίσουμε τους καταναλωτές σε δυο κατηγορίες (A, B), σε αυτούς που το φορτίο τους είναι μεγαλύτερο από τον μέσο όρο και σε αυτούς που είναι μικρότερο. Στην συνέχεια θα γίνει μια ανάλυση ευαισθησίας, με διατήρηση της μιας κατηγορίας σε πιθανότητα ίση με 0.5 και μεταβάλλοντας την άλλη από 0.1 έως 0.9 με βήμα 0.1.

| Καταναλωτές | Φορτίο (kW) |
|----------------|-------------|
| 1 | 298 |
| 2 | 35 |
| 3 | 30 |
| 4 | 116 |
| 5 | 360 |
| 6 | 284 |
| 7 | 557 |
| 8 | 566 |
| 9 | 30 |
| 10 | 105 |
| 11 | 140 |
| Σύνολο: | 2521 |

Πίνακας 4.6 Φορτία της εγκατάστασης ανα καταναλωτή

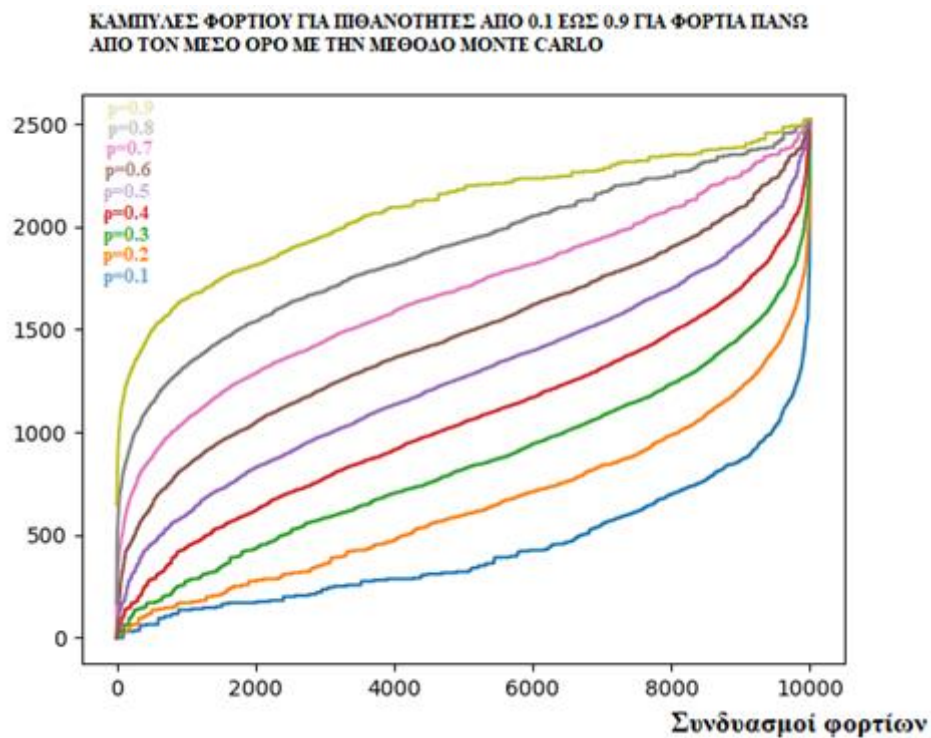
$$load_m = \frac{298+35+30+116+360+284+557+566+30+105+140}{11} = 229 \text{ kW (εξίσωση 4.3)}$$

Ο μέσος όρος των επιμέρους φορτίων, όπως προκύπτει από την ακόλουθη σχέση (Εξ. 4.3) και είναι 229 kW.

Επομένως, οι δυο κατηγορίες των φορτίων που ανήκουν οι καταναλωτές είναι 2, 3, 4, 9, 10, 11 (κατηγορία Α) για φορτία κάτω του μέσου όρου και 1, 5, 6, 7, 8 (κατηγορία Β) για φορτία πάνω του μέσου όρου.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

Οι καμπύλες φορτίων με σταθερή πιθανότητα ίση με 0.5 για την κατηγορία Α και για πιθανότητα από 0.1 έως 0.9 για την κατηγορία Β είναι:



Σχήμα 4.7 Καμπύλες φορτίου για πιθανότητες από 0.1 έως 0.9 για φορτία της Κατηγορίας Β

Οι βέλτιστες λύσεις, ανα πιθανότητα, για τις καμπύλες του Σχήματος 4.7 είναι:

| Πιθανότητα | Λέβητας 1 (kW) | Λέβητας 2 (kW) | Λέβητας 3 (kW) |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| 0.1 | 300 | 600 | 2100 |
| 0.2 | 350 | 750 | 1900 |
| 0.3 | 450 | 800 | 1750 |
| 0.4 | 650 | 1000 | 1350 |
| 0.5 | 650 | 1000 | 1350 |
| 0.6 | 600 | 1050 | 1350 |
| 0.7 | 600 | 1050 | 1350 |

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

| | | | |
|-----|-----|------|------|
| 0.8 | 600 | 1050 | 1350 |
| 0.9 | 500 | 750 | 1750 |

Πίνακας 4.7 Βέλτιστοι συνδυασμοί λεβήτων για πιθανότητες από 0.1 έως 0.9 φορτίων πάνω του μέσου όρου

Παρατηρούμε, ότι η μεταβολή της πιθανότητας μεγάλων φορτίων από 0.1 έως 0.4 (Πίνακας 4.7) προκαλεί αύξηση της βέλτιστης ισχύς των δυο μικρότερων λεβήτων του συνδυασμού. Αυτό το φαινόμενο, είναι αποτέλεσμα της αύξησης της απαιτούμενης ισχύος των φορτίων που εμφανίζονται. Η αύξηση της ισχύς των φορτίων μπορεί να παρατηρηθεί από το Σχήμα 4.7 και είναι αποτέλεσμα της αύξησης της πιθανότητας. Όσο μεγαλύτερο είναι ένα φορτίο, με αύξηση της πιθανότητας να συμβεί, τα φορτία που εμφανίζονται είναι μεγαλύτερα. Ταυτόχρονα, παρατηρούμε μείωση της ισχύος του μεγαλύτερου λέβητα του συνδυασμού αυτό αποτελεί αποτέλεσμα του περιορισμού της συνδυαστικής ισχύς των λεβήτων.

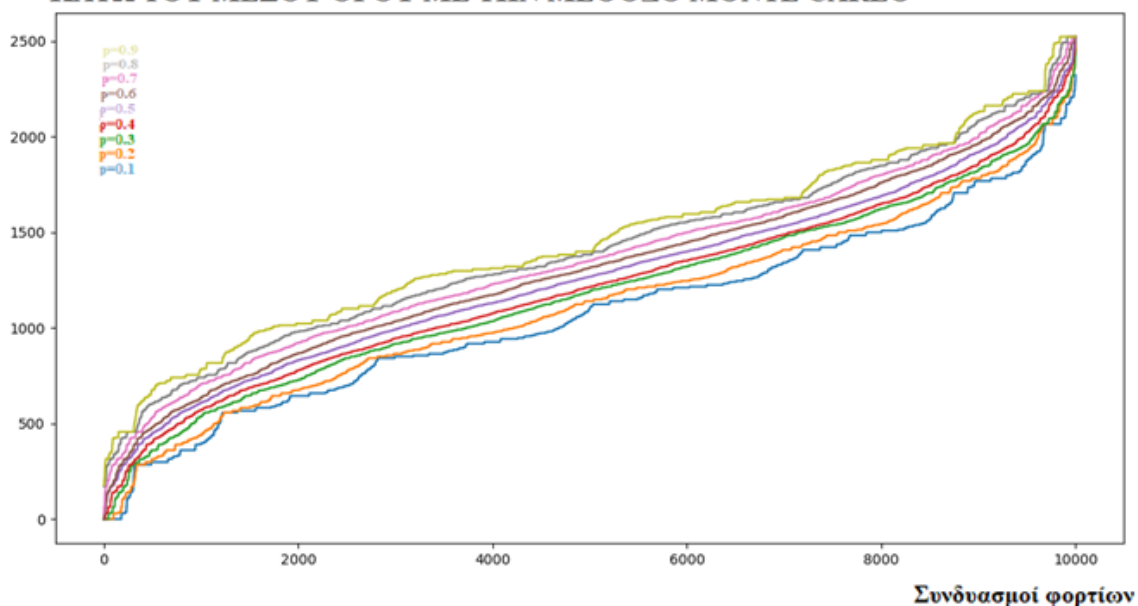
Παράλληλα παρατηρούμε ότι η βέλτιστη λύση για την περίπτωση πιθανότητας όλων των φορτίων ίση με 0.5, είναι όμοια με αυτή της περίπτωσης υπολογισμού όλων των πιθανών φορτίων (4.2.2), το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο διότι υπολογίζοντας όλα τα φορτία μια φορά, τα θεωρούμε ισοπίθανα.

Από πιθανότητα 0.6 έως 0.8, η ισχύς των λεβήτων δεν επηρεάζεται από της αλλαγές, αυτό συμβαίνει γιατί δεν υπερκαλύπτεται κάποιος από τους περιορισμούς και η περίσσεια παραμένει ελάχιστη για τον συνδυασμό 600,1050,1350.

Τέλος, βλέπουμε ότι σε πιθανότητα 0.9, ο μικρότερος λέβητας της αλληλουχίας έχει μικρότερη ισχύ από ότι σε μικρότερες πιθανότητες. Αυτό συμβαίνει, λόγω του περιορισμού της συνδυαστικής ισχύς των λεβήτων ,δηλαδή, ότι η συνολική ισχύς των λεβήτων πρέπει να είναι 3000kW. Επίσης η μεμονωμένη λειτουργία του λέβητα Νο1 μπορεί να συμβαίνει σπάνια, παρόλα αυτά ο λέβητας μπορεί να λειτουργεί αρκετά σε συνδυασμό με τους άλλους λέβητες της εγκατάστασης.

Οι καμπύλες φορτίων με σταθερή πιθανότητα ίση με 0.5 για την κατηγορία Β και για πιθανότητα από 0.1 έως 0.9 για την κατηγορία Α είναι:

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟ 0.1 ΕΩΣ 0.9 ΓΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΤΩ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΜΟΝΤΕ ΚΑΡΛΟ



Σχήμα 4.8 Καμπύλες φορτίου για πιθανότητες από 0.1 έως 0.9 για φορτία της κατηγορίας Α

Οι βέλτιστες λύσεις, ανα πιθανότητα, για τις καμπύλες του Σχήματος 4.8 είναι:

| πιθανότητα | Λέβητας 1 (kW) | Λέβητας 2 (kW) | Λέβητας 3 (kW) |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| 0.1 | 700 | 1000 | 1300 |
| 0.2 | 700 | 1000 | 1300 |
| 0.3 | 650 | 1000 | 1350 |
| 0.4 | 650 | 1000 | 1350 |
| 0.5 | 650 | 1000 | 1350 |
| 0.6 | 650 | 1000 | 1350 |
| 0.7 | 650 | 1000 | 1350 |
| 0.8 | 600 | 1050 | 1350 |
| 0.9 | 600 | 1050 | 1350 |

Πίνακας 4.8 Βέλτιστοι συνδυασμοί λεβήτων για πιθανότητες από 0.1 έως 0.9 φορτίων κάτω του μέσου όρου

Παρατηρούμε, ότι η μεταβολή της πιθανότητας μικρών φορτίων επηρεάζει την βέλτιστη λύση σε πολύ μικρότερο βαθμό (Πίνακας 4.8). Η μικρή διασπορά των βέλτιστων λύσεων είναι αποτέλεσμα της μικρής διαφοράς των συνδυασμών φορτίων που εμφανίζονται (Σχήμα 4.8).

Επίσης, φαίνεται ότι οι μόνες λύσεις που επηρεάζονται από τον περιορισμό συνδυαστικής ισχύος να είναι αυτές των περιπτώσεων πιθανότητας 0.1 και 0.2. Στις οποίες θα περιμέναμε μικρότερη ισχύ του λέβητα Νο1. Γνωρίζουμε ότι η βέλτιστη λύση επηρεάζεται από τον περιορισμό διότι με αύξηση της πιθανότητας, που συνεπάγεται αύξηση φορτίων, έχουμε μείωση της ισχύος του λέβητα.

Η βέλτιστη λύση φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά σε πολύ μεγάλες και πολύ μικρές τιμές των πιθανοτήτων των μεγάλων φορτίων και στις υπόλοιπες περιπτώσεις δε φαίνεται να έχει σημαντικές διαφορές αποτελεσμάτων από την μέθοδο στο κεφάλαιο [4.4.2](#), αυτό είναι αναμενόμενο καθώς υπάρχουν πολλοί περιορισμοί στο σύστημα και θα πρέπει να καλύπτονται σε κάθε περίπτωση.

Υπολογισμός πιθανοτήτων της εγκατάστασης μας

Ο υπολογισμός της πιθανότητας να είναι ενεργός ένας καταναλωτής, μπορεί να γίνει μέσω των ωρών λειτουργίας της εγκατάστασης σε συνδυασμό με καταγραφή των ωρών του ωρομετρητή της θέρμανσης κάθε καταναλωτή για τις μέρες θέρμανσης του έτους. Για παράδειγμα, μια εγκατάσταση Πανεπιστημίου που λειτουργεί 13 ώρες την ημέρα και 5 μέρες την εβδομάδα, με ζώνη θέρμανσης Γ' η περίοδος θέρμανσης είναι από 15 οκτωβρίου έως 30 απριλίου (ΤΕΕ, 2017). Επομένως οι ώρες λειτουργίας του κτηρίου, που υπολογίζονται μέσω της εξίσωσης 4.4, είναι 1690 ώρες.

$$Total\ heating\ hours = Workingmonths * \left(4 \frac{weeks}{month} * Working \frac{days}{week}\right) * Working \frac{hours}{day}$$

(Εξίσωση 4.4)

Στην συνέχεια, με μέτρηση των ωρών λειτουργίας κάθε καταναλωτή ,μέσω του ωρομετρητή θέρμανσης, για την διάρκεια αυτής της περιόδου μπορούμε να βρούμε την πιθανότητα λειτουργίας του που ισούται με την διάρκεια που μετρήσαμε στον ωρομετρητή προς τις συνολικές ώρες θέρμανσης.

Αν θεωρήσουμε ότι ένας καταναλωτής είχε 1000 ώρες λειτουργίας, τότε η πιθανότητα να είναι ενεργός είναι:

$$\text{Πιθανότητα} = \frac{1000}{1690} = 0,59$$

Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, όπως για παράδειγμα σε εγκαταστάσεις που δεν έχουν ολοκληρωθεί, η πιθανότητα μπορεί να εκτιμηθεί εμπειρικά αναλόγως με την εγκατάσταση.

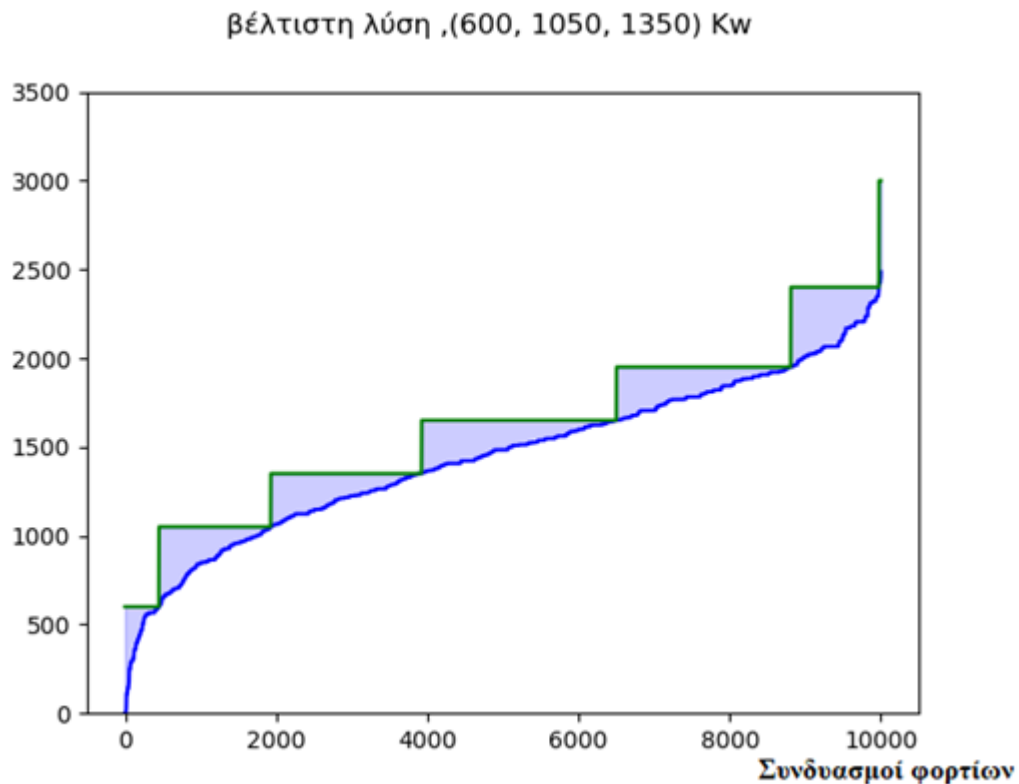
Πιθανότητες της εγκατάστασης μας

Οι πιθανότητες για την εγκατάσταση μας, εμπειρικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι:

| Καταναλωτές | Φορτίο (kW) | Πιθανότητα |
|-------------|-------------|------------|
| 1 | 298 | 0.5 |
| 2 | 35 | 0.1 |
| 3 | 30 | 0.1 |
| 4 | 116 | 0.3 |
| 5 | 360 | 0.5 |
| 6 | 284 | 0.5 |
| 7 | 557 | 0.7 |
| 8 | 566 | 0.8 |
| 9 | 30 | 0.1 |
| 10 | 105 | 0.3 |
| 11 | 140 | 0.4 |

Πίνακας 4.7 πιθανότητες της εγκατάστασης

Η βέλτιστη λύση για τις παραπάνω πιθανότητες είναι με την μέθοδο Monte-Carlo είναι:



Σχήμα 4.8 αναπαράσταση Βέλτιστης λύσης

Όπως παρατηρούμε η βέλτιστη λύση είναι σχεδόν ίδια με την λύση του κεφαλαίου [4.4.2](#) , αυτό συμβαίνει γιατί η βέλτιστη λύση μεταβάλλεται κυρίως για πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές τιμές πιθανοτήτων, σε μεγάλο αριθμό καταναλωτών. Επειδή στην εγκατάσταση μας δεν έχουμε τέτοιες πιθανότητες, η λύση είναι σχεδόν ίδια με αυτήν που υπολογίζουμε όλους τους συνδυασμούς φορτίων της εγκατάστασης.

5 ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

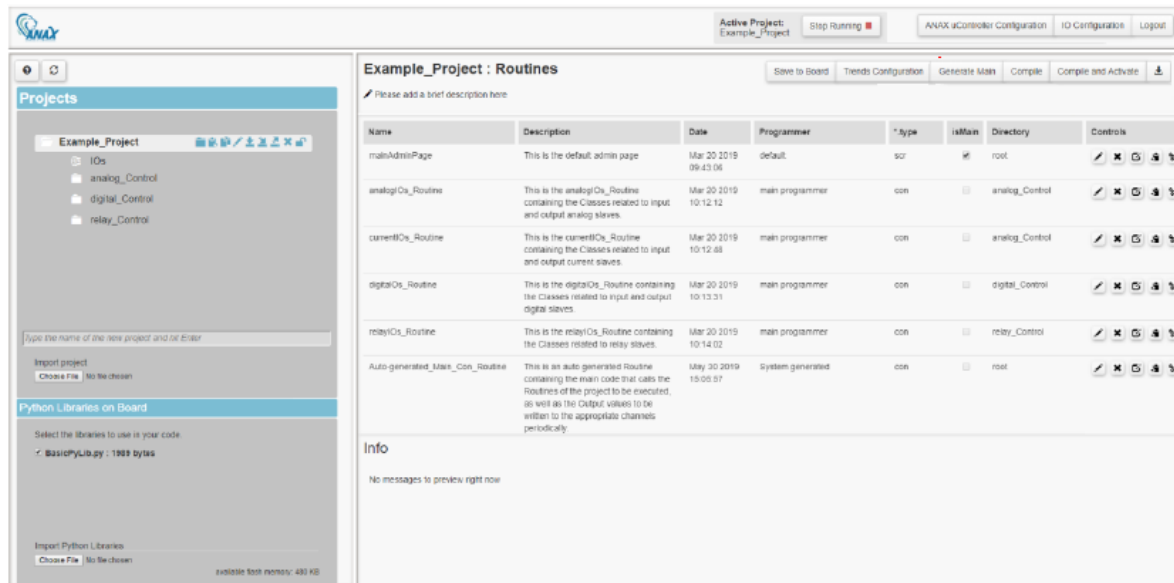
Στην ενότητα αυτή, έχοντας διαστασιολογήσει το σύστημα μας, θα προχωρήσουμε στην αναφορά των επιμέρους συσκευών που αποτελούν τον ελεγκτή, τις λειτουργίες τους και τον τρόπο προγραμματισμού. Στην συνέχεια θα γραφεί ο κώδικας μέσω του οποίου θα ελέγχεται η λειτουργία των λεβήτων της εγκατάστασης.

5.1 Αναχ προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής

Πρόκειται για έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC) κατάλληλο για εγκαταστάσεις θέρμανσης και μικρές αυτοματοποιήσεις. Ο ελεγκτής έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Hydronic P. Co. Η συσκευή αυτήν είναι ένα είδος ηλεκτρονικού υπολογιστή που αντικαθιστά τους κλασικούς πίνακες αυτοματισμού προσφέροντας υψηλή αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα για χρήση σε διάφορες εγκαταστάσεις, χωρίς να χρειάζονται ιδιαίτερες τροποποιήσεις στα εξαρτήματα του ελεγκτή παρά μόνο στον κώδικα του.

Η γλώσσα που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό είναι μία βελτιστοποιημένη έκδοση της micro-python. Ο προγραμματιστής μπορεί να χρησιμοποιεί την micro-python και τις έτοιμες βιβλιοθήκες της.

Η δομή γραφής του κώδικα είναι της μορφής ρουτίνων (υπόδειγμα δομημένου προγραμματισμού) που συνδυαστικά μας παρέχουν το συνολικό πρόγραμμα. Η διαδικασία αυτή γίνεται για εύκολη με το προγραμματιστικό περιβάλλον που διαθέτει. Η προσαρμογή αρχάριων χρηστών μέσω του περιβάλλοντος αυτού γίνεται εύκολα με σχόλια και παροχή σχεδιαστικού προτύπου. Παράλληλα όμως δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης κώδικα με πλήρη λειτουργική την γλώσσα Python παρέχοντας δυνατότητες ορισμού κλάσεων και αντικειμένων (υπόδειγμα αντικειμενοστραφή προγραμματισμού). Αυτόν τον τρόπο θα ακολουθήσουμε και στην παρούσα διπλωματική.



Σχήμα 5.1 Προγραμματιστικό περιβάλλον ελεγκτή

(ΠΗΓΗ: hydronic.gr)

Κάθε ρουτίνα γράφεται σε συντάκτη Python, όπου μπορεί να γραφεί ελεύθερα κώδικας Python. Αν φορτωθεί μία βιβλιοθήκη Python, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα όλες οι λειτουργίες της. Κατά την συγγραφή του κώδικα, μία λίστα όλων των καθολικών (global) μεταβλητών ανά ρουτίνα εμφανίζεται αριστερά σε στήλη, απ' όπου εύκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά βούληση. Κάθε μεταβλητή κατά την συγγραφή μιας ρουτίνας μπορεί να χαρακτηριστεί ως global και να είναι ορατή στις άλλες ρουτίνες. Το μέγεθος του κώδικα περιορίζεται μόνο από την συνολική μνήμη του controller. Τέλος θα απαιτηθεί να γίνει μεταγλώττιση (compilation) του συνολικού κώδικα των ρουτινών χωρίς εμφάνιση λαθών, ώστε να μπορεί να εκτελεστεί το κώδικας.

Παρόλο που διατηρήθηκαν όλες οι δυνατότητες και οι συναρτήσεις της Python, οι δυνατότητες να επεμβαίνουν απ' ευθείας στο υλισμικό απενεργοποιήθηκαν. Έτσι η εν λόγω επικοινωνία γίνεται μέσω του δομημένου συστήματος των μεταβλητών μεταξύ των ρουτινών και των επιμέρους θυρών εξόδων και εισόδων

Ο ελεγκτής διαθέτει ένα σύνολο συσκευών επέκτασης που παρέχουν δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ ελεγκτή και άλλων τμημάτων του συστήματος θέρμανσης μέσω μιας σειράς αναλογικών και ψηφιακών εισόδων και εξόδων.

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τα επιμέρους τμήματα του ελεγκτή που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

1. CON64A
2. DOUT8A
3. DIN8A
4. AOUT8A
5. AIN5A

5.1.1 CON64A



Σχήμα 5.1 Μονάδα CON64

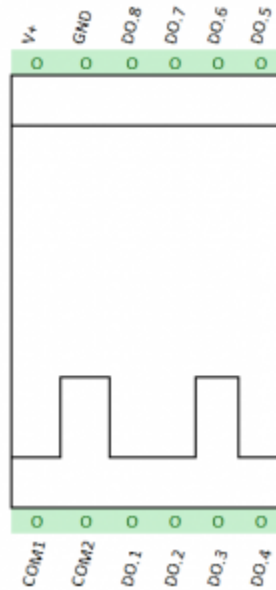
Προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής CON64A, σχεδιασμένος για μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις. Με διασύνδεση μέχρι και 64 συσκευών επέκτασης εισόδων και εξόδων.

5.1.2 DOUT8A

Η συσκευή DOUT8A είναι μια γρήγορη μονάδα μεταγωγής ψηφιακής εξόδου με 8 ενσωματωμένες εξόδους. Φέρει 2 απομονωμένες εισόδους που μπορούν να έχουν τάση ρεύματος έως 60 V dc. Η τάση αυτή παρέχεται στην κατάλληλη έξοδο μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και χωρίς εξωτερική παροχή. Οι εξοδοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σήματος PWM με προσαρμοσμένο εύρος και κύκλο λειτουργίας.

Τεχνικές προδιαγραφές:

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα εισόδων και εξόδων DOUT8A

8 ενσωματωμένες ψηφιακές εξοδοι

2 Κοινές εισοδοι

RS485 Interface

Τάση λειτουργίας: 9-14 V

Typ: 20mA @ 12V

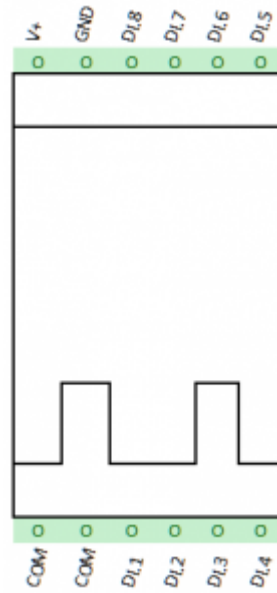
max: 30mA @ 12V

5.1.3 DIN8A

Η συσκευή DIN8A παρέχει 8 ενσωματωμένες εισόδους και 2 κοινές εισόδους με τάση 12 V. Οι εξοδοι χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιούν την επιθυμητή εξωτερική επαφή και να επιστέφουν την κοινή τάση σε κάθε ψηφιακή είσοδο. Τυπικά χρησιμοποιείται σε επαφές ρελέ.

Τεχνικές προδιαγραφές:

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Σχήμα 5.3 Διάγραμμα εισόδων και εξόδων DIN8A

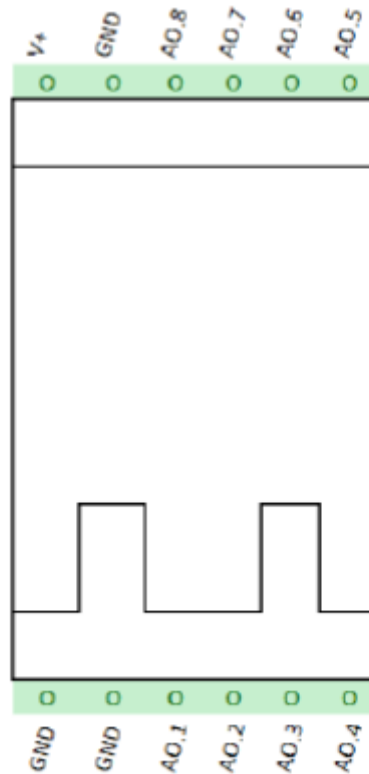
- 8 ενσωματωμένες ψηφιακές εισοδοι
- 2 Κοινοί έξοδοι τάσης 12V
- Typ: 20mA @ 12V
- max: 30mA @ 12V

5.1.4 ΑΟΥΤ8Α

Η συσκευή ΑΟΥΤ8Α επιτρέπει την σύνδεση 5 αναλογικών εξόδων με παροχή τάσης στις επιμέρους θύρες από 0 έως 10 Volt.

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τεχνικές προδιαγραφές:



Σχήμα 5.4 Διάγραμμα εισόδων και εξόδων AOOUT8A

- Παροχή τάσης: 9-14 V
- Typ: 20mA @ 12V
- max: 30mA @ 12V

προδιαγραφές εισόδων:

Τάση : 0 – [(V+) + 0.6V]

5.1.5 AIN5A

Η συσκευή AIN5A επιτρέπει την σύνδεση 5 εισόδων και σχεδιάστηκε να υποστηρίξει την πληθώρα των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στην αγορά. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με παθητικούς ή και ενεργούς αισθητήρες, με αντίσταση έως 800 kΩ. Η σύνδεση κάθε αισθητήρα στην είσοδο της συσκευής γίνεται με ζεύγη σε θετικό και αρνητικό όπου το αρνητικό είναι η κοινή γείωση. Όλοι οι αισθητήρες ανεξάρτητα από τον τύπο πρέπει να συνδέονται, με αυτόν τον τρόπο, έτσι ώστε να υπάρχει κοινή γείωση.

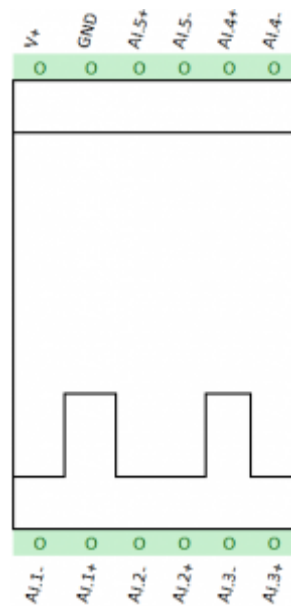
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τύποι υποστηριζόμενων αισθητήρων:

ενεργοί: 0-5V, 0-10V, 2-10V, 1.5-5.5V

παθητικοί : PT100, PT500, PT1000, Ni100, Ni1000, NTC1.8k, NTC10k, NTC20k, KTY81-210, PTC10k, LM2352

Τεχνικές προδιαγραφές



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα εισόδων και εξόδων AIN5A

- 5 ενσωματωμένες αναλογικές εισοδοί
- Supply Voltage: 9-14 V
- Typ: 20mA @ 12V
- max: 30mA @ 12V

προδιαγραφές εισόδων:

- Voltage : 0 – [(V+) + 0.6V]

5.2 Αλγόριθμος αυτοματισμού

Ο αποτελεσματικός έλεγχος της θερμοκρασίας της εγκατάστασης μας, προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλου εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την εξασφάλιση των διαδικασιών

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

λειτουργίας και των επιθυμητών ρυθμίσεων. Οι διαδικασίες και ρυθμίσεις αυτές αποτελούν σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας του συστήματος.

Στην δική μας εγκατάσταση, οι παράμετροι από τους οποίους ο αυτόματος έλεγχος θα λαμβάνει στοιχεία ή θα εξάγει αποτελέσματα είναι:

- 11 είσοδοι κατάστασης (ενεργών ή ανενεργών) καταναλωτών (ψηφιακή είσοδος).
- 1 θερμόμετρο εξωτερικής θερμοκρασίας (αναλογική είσοδος).
- 3 θερμόμετρα των λεβήτων (αναλογική είσοδος).
- 3 ηλεκτροβάνες απομόνωσης λεβήτων (ψηφιακή είσοδος).
- 3 επιστροφές απο ηλεκτροβάνες λεβήτων (ψηφιακή είσοδος).
- 3 έξοδοι ενεργοποίησης/απενεργοποίησης καυστήρων (ψηφιακή είσοδος).
- 3 είσοδοι σφάλματος καυστήρα (ψηφιακή είσοδος).
- 11 έξοδοι ενεργοποίησης/απενεργοποίησης κυκλοφορητών(ψηφιακή έξοδος).
- 11 έξοδοι αναλογικής ρύθμισης ταχύτητας κυκλοφορητών(αναλογική έξοδος).

Η διαδικασία κατά την οποία θα λειτουργεί ο αυτοματισμός της εγκατάστασης μας είναι η εξής:

1. Έλεγχος ενεργών καταναλωτών και εξωτερικής θερμοκρασίας.
2. Υπολογισμός των λεβήτων που πρέπει να είναι ενεργοί και ενεργοποίηση τους.
3. Μόλις η θερμοκρασία του νερού φτάσει στην απαραίτητη θερμοκρασία ενεργοποίηση των απαραίτητων κυκλοφορητών.
4. Διατήρηση της θερμοκρασίας των λεβήτων στην θερμοκρασία αντιστάθμισης με διακοπτόμενη λειτουργία.
5. Διατήρηση σταθερής διαφοράς θερμοκρασίας προσαγωγής και επιστροφής μεταξύ των επιμέρους δικτύων των καταναλωτών με μεταβολή της παροχής.

Ο αυτοματισμός στην εγκατάσταση μας θα ακολουθεί μια σειρά προκαθορισμένων ελέγχων τιμών μεταβλητών εισόδου, μέσω των οποίων θα καθορίζει τις τιμές των μεταβλητών εξόδου. Οι βασικές μεταβλητές που δέχεται ως είσοδο είναι, οι έντεκα (11) μεταβλητές που μας δείχνουν αν οι χρήστες έχουν ενεργή ή όχι την θέρμανση και μια (1) μεταβλητή το θερμόμετρο της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Μέσω των μεταβλητών εισόδου ο αυτοματισμός θα αποφασίζει πόσοι λέβητες πρέπει να λειτουργούν και την θερμοκρασία στην οποία θα πρέπει να βρίσκεται το νερό προσαγωγής.

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο έλεγχος των ενεργών καταναλωτών γίνεται σειριακά. Η ισχύς των λεβήτων που θα ενεργοποιηθούν είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση με την ζητούμενη ισχύ των καταναλωτών. Η εξωτερική θερμοκρασία καθορίζει την θερμοκρασία λειτουργίας των λεβήτων, η οποία είναι ίδια με την θερμοκρασία προσαγωγής, μέσω της εξίσωσης αντιστάθμισης ([Εξ. 2.1](#))

Η διαστασιολόγηση της εγκατάστασης, έγινε για T εξωτερική $= -10$ °C, θερμοκρασία προσαγωγής $T_s = 80$ °C και θερμοκρασία επιστροφής $T_r = 65$ °C. Επομένως το ΔT_{s-r} των επιμέρους κυκλωμάτων των καταναλωτών πρέπει να ισούται με 15 °C.

Λύνοντας την εξίσωση:

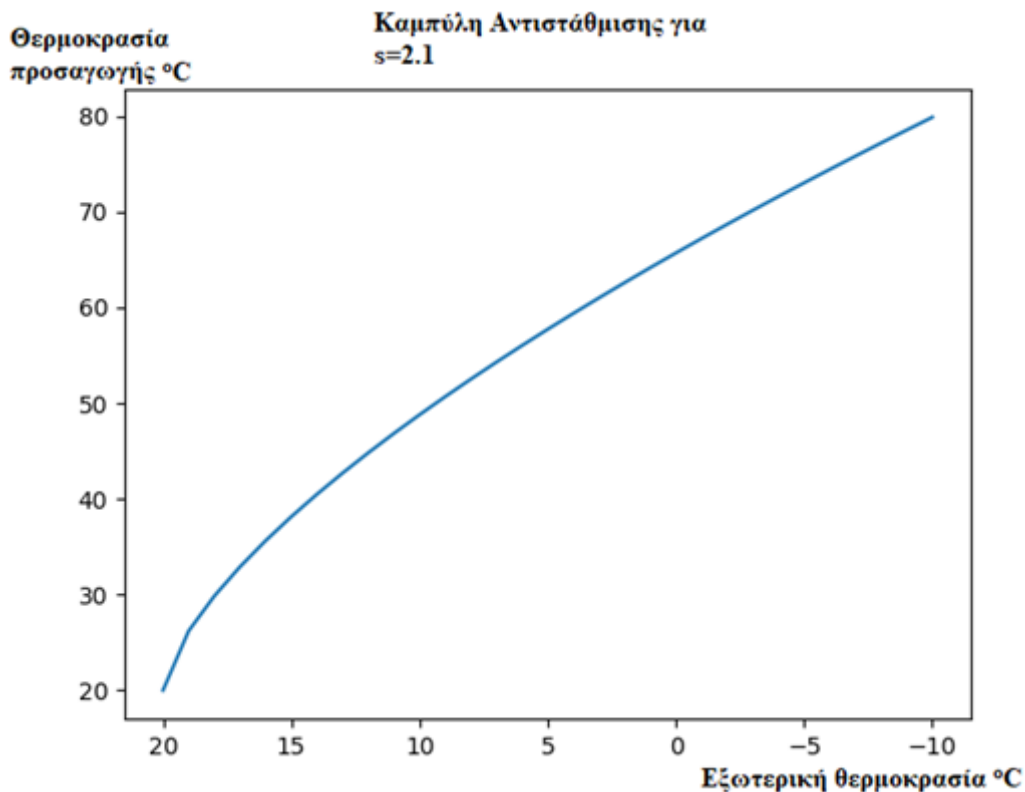
$$T_s = 20 + 3 * s * (20 - T_{out})^{2/3}$$

Η εξίσωση 2.1, για $T_{out} = -10$ και $T_s = 80$ έχει λύση $s \approx 2.1$.

Για $s = 2.1$ η εξίσωση γίνεται:

$$T_s = 20 + 6.2 * (20 - T_{out})^{2/3}$$

Και η καμπύλη της εξίσωσης είναι:



Σχήμα 6.2 Καμπύλη αντιστάθμισης εγκατάστασης

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η σταθερή διαφορά θερμοκρασία μεταξύ προσαγωγής και επιστροφής μας προσφέρει καλύτερο έλεγχο της θερμότητας που προσδίδουμε στο σύστημα. Η θερμότητα στα επιμέρους κυκλώματα των καταναλωτών μπορεί να οριστεί ως:

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \text{ (Εξίσωση 5.1)}$$

Όπου Q η προσδιδόμενη θερμότητα, \dot{m} η παροχή μάζας και ΔT η θερμοκρασιακή διαφορά σε °C μεταξύ νερού προσαγωγής και επιστροφής.

Το σταθερό ΔT μας επιτρέπει να έχουμε καλύτερο έλεγχο της θερμότητας στο κύκλωμα διότι η μόνη παράμετρος που επηρεάζει την θερμότητα είναι η παροχή μάζας. Με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουμε καλύτερη ποιότητα θέρμανσης των χρηστών. Για την σωστή λειτουργία όμως του συστήματος θέρμανσης με, αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, θα πρέπει οι ενεργοί λέβητες να μπορούν να παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα για να διατηρήσουν την θερμοκρασία προσαγωγής σταθερή, ανεξάρτητα από την παροχή του συστήματος, η οποία μεταβάλλεται για την διατήρηση του σταθερού ΔT .

Οι κυκλοφορητές του συστήματος λειτουργούν με στόχο την επίτευξη του ΔT που επιλέγουμε. Η παροχή μειώνεται για αύξηση του ΔT και αυξάνεται για μείωση του ΔT .

Ο αλγόριθμος λειτουργίας αποτελείται από τις κλάσεις-συναρτήσεις Ελέγχου:

- Ενεργών καταναλωτών
- Συνάρτηση Αντιστάθμισης
- Λεβήτων
- Λειτουργίας κυκλοφορητών
- Ταχύτητας κυκλοφορητών (P.I.D.)

5.2.1 Κλάση ενεργών καταναλωτών

Σε αυτήν την κλάση γίνεται έλεγχος των ενεργών καταναλωτών. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με αντιστοίχιση του κάθε καταναλωτή με το ποσοστό του φορτίου του σε σχέση συνολικό φορτίο της εγκατάστασης και υπολογίζεται το φορτίο που θα πρέπει να καλύψουν οι λέβητες. Η διαδικασία αυτή γίνεται ανεξάρτητα από την εξωτερική θερμοκρασία.

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

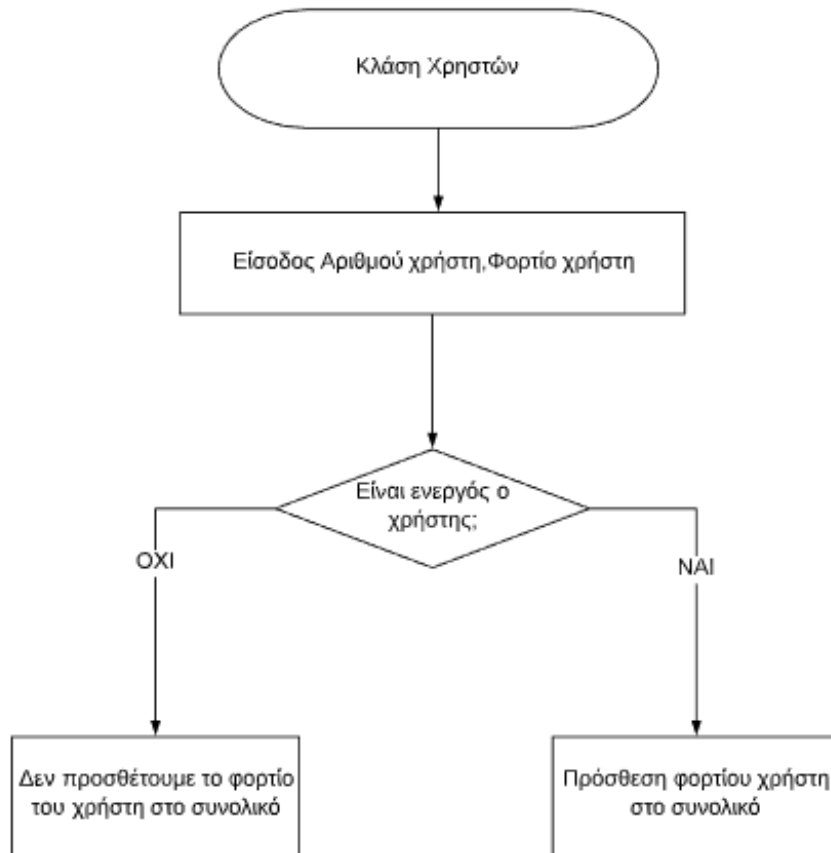
Οι καταναλωτές έχουν φορτία:

| Καταναλωτές | Φορτίο (kW) | Ποσοστό συνολικού φορτίου (%) |
|----------------|-------------|-------------------------------|
| 1 | 298 | 11.8 |
| 2 | 35 | 1.4 |
| 3 | 30 | 1.2 |
| 4 | 116 | 4.6 |
| 5 | 360 | 14.3 |
| 6 | 284 | 11.3 |
| 7 | 557 | 22.1 |
| 8 | 566 | 22.5 |
| 9 | 30 | 1.2 |
| 10 | 105 | 4.2 |
| 11 | 140 | 5.6 |
| Σύνολο: | 2521 | 100 |

Πίνακας 5.1 Φορτία εγκατάστασης

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο υπολογισμός του συνολικού φορτίου γίνεται με τον εξής τρόπο:



Σχήμα 6.3 Διάγραμμα ροής κλάσης χρηστών

Ο αριθμός χρήστη είναι ένα στοιχείο που μας επιτρέπει να δώσουμε μια ταυτότητα στον κάθε χρήστη και να συνδέσουμε μεταβλητές διαφόρων κλάσεων μεταξύ τους. Για παράδειγμα ο κυκλοφορητής του χρήστη No 1 θα είναι το Αντικείμενο PUMP1.

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο κώδικας της κλάσης είναι:

```
1. class Users():
2.     Totalload=[0,0,0,0,0,0,0,0,0]
3.     def __init__(self,userNo,userload):
4.         self.userNo=userNo
5.         self.userload=userload
6.     def load(self,activity):
7.         self.activity=activity
8.         Users.Totalload[self.userNo-1]=self.activity*self.userload
```

Συνάρτηση αντιστάθμισης:

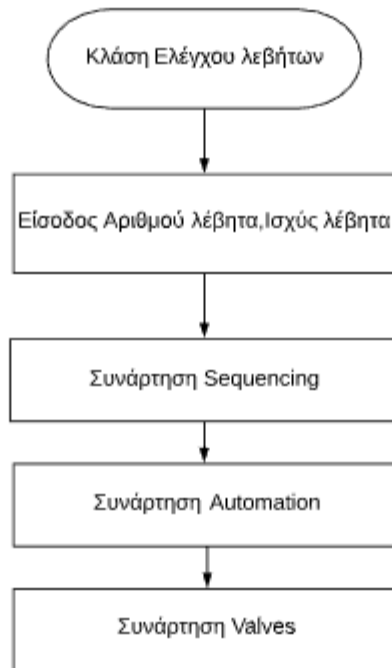
Στην συνάρτηση αυτήν έχουμε ως είσοδο την εξωτερική θερμοκρασία και ως έξοδο την θερμοκρασία προσαγωγής του συστήματος.

Ο κώδικας της συνάρτησης είναι:

```
1. def Comp(TempOut):
2.     s=2.1
3.     Tc=20+3*s*(20-TempOut)**(2/3)
4.     Tc=round(Tc,1)
5.     return Tcf.userload
```

5.2.2 Κλάση λεβήτων

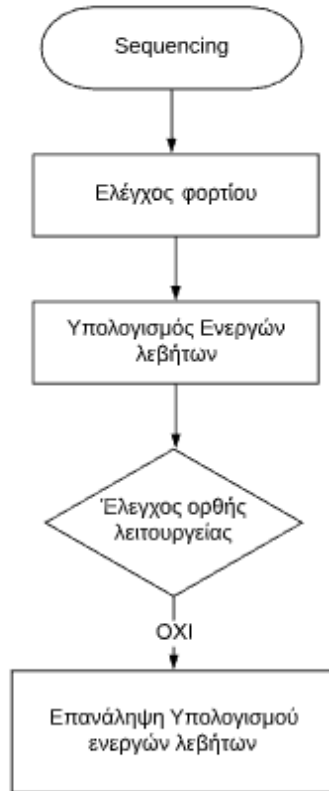
Στην κλάση αυτήν γίνεται ορίζεται η διαδικασία λειτουργίας των λεβήτων. Η κλάση αποτελείται από τρεις συναρτήσεις στις οποίες ορίζεται πλήρως η λειτουργία των λεβήτων.



Σχήμα 6.4 Διάγραμμα ροής κλάσης λέβητα

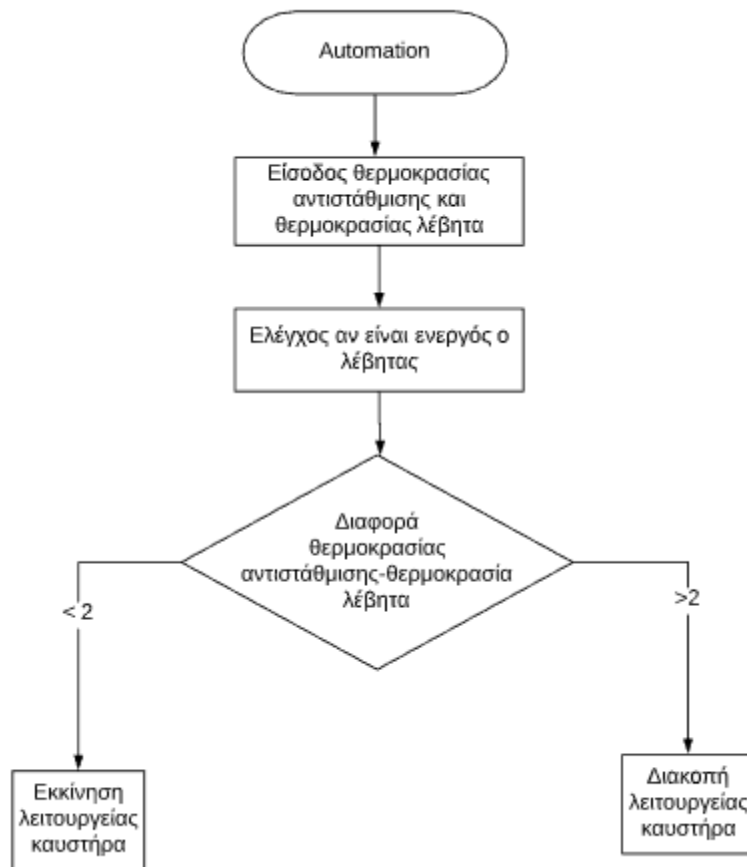
Ως εισόδους της κλάσης ορίζουμε την ισχύ του κάθε λέβητα και τον αριθμός του (ως ταυτότητα).

Η συνάρτηση Sequencing δέχεται ως είσοδο το φορτίο των καταναλωτών και ορίζει τους λέβητες που πρέπει να είναι ενεργοί για την κάλυψη του φορτίου. Σε περίπτωση που κάποιος από τους λέβητες έχει απενεργοποιηθεί χειροκίνητα ή δεν εκκινεί σωστά ο καυστήρας γίνεται αυτόματα εναλλαγή των ενεργών λεβήτων ώστε να λειτουργούν όσοι είναι απαραίτητοι για την κάλυψη του φορτίου. Σε περίπτωση που κάποιος λέβητας είναι εκτός λειτουργίας και το απαιτούμενο φορτίο είναι μεγαλύτερο από την ισχύ των διαθέσιμων λεβήτων, ενεργοποιούνται όλοι οι διαθέσιμοι λέβητες.



Σχήμα 6.5 Διάγραμμα ροής συνάρτησης Sequencing

Στη συνάρτηση Automation γίνεται έλεγχος των καυστήρων που πρέπει να είναι ενεργοί. Σε περίπτωση που η συνάρτηση Sequencing ορίζει έναν λέβητα ενεργό η πληροφορία αυτή περνάει στην συνάρτηση Automation και αναλόγως με την θερμοκρασία του νερού εντός του λέβητα εκκινεί η διακόπτει την λειτουργία του καυστήρα σε θερμοκρασίες ± 2 βαθμούς από την θερμοκρασία που ορίζεται από την αντιστάθμιση.

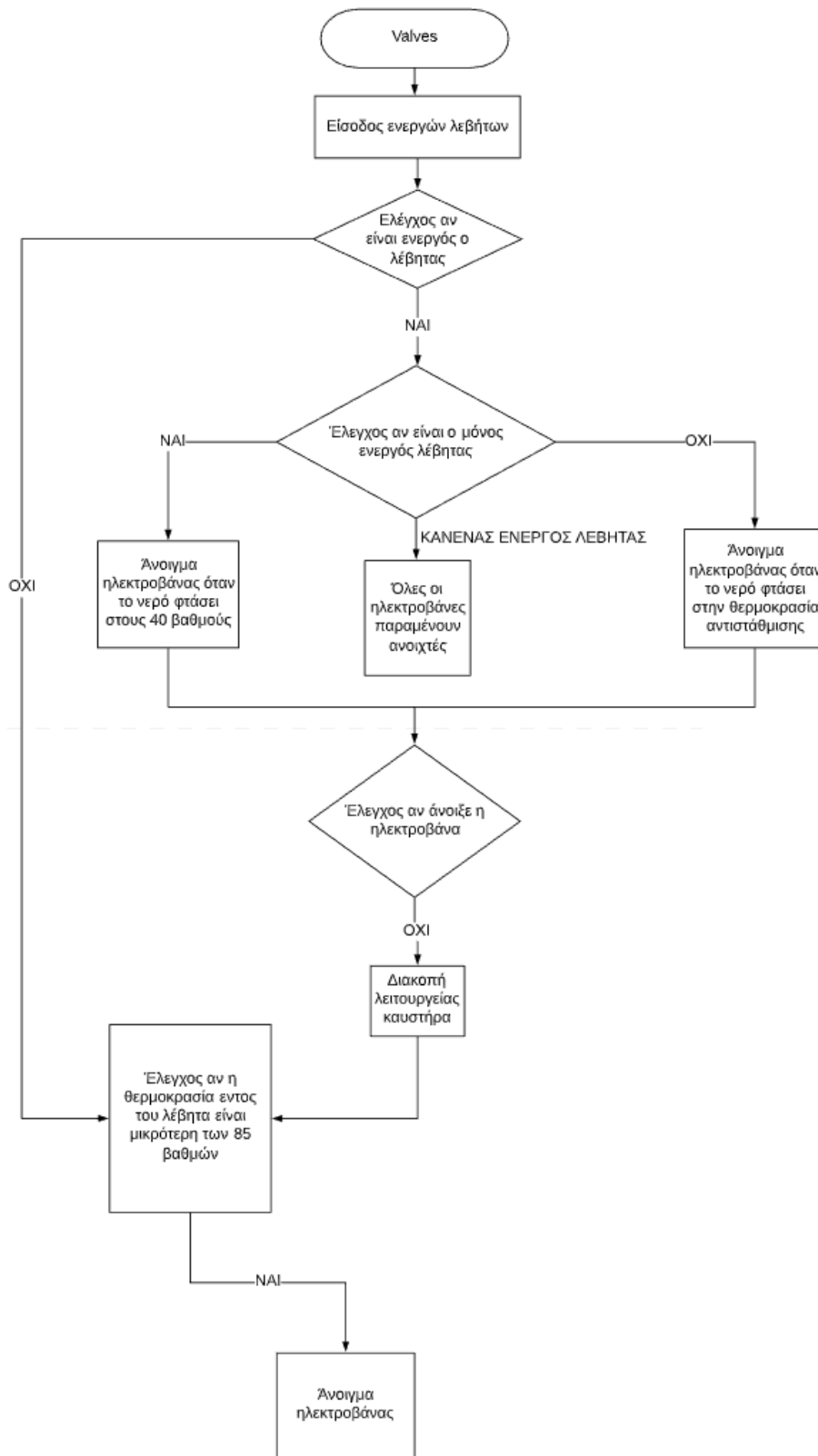


Σχήμα 6.6 Διάγραμμα ροής συνάρτησης Automation

Στη συνάρτηση Valves γίνεται υπολογισμός της θέσης των ηλεκτροβάνων απομόνωσης των λεβήτων. Σε περίπτωση που μόνο ένας λέβητας είναι ενεργός μόλις η θερμοκρασία του νερού στο λέβητα ξεπεράσει τους 40 βαθμούς ανοίγει η ηλεκτροβάννα. Σε περίπτωση που υπάρχει ένας ενεργός λέβητας στο σύστημα η ηλεκτροβάννα ανοίγει μόνο όταν το νερό στο λέβητα φτάσει την θερμοκρασία αντιστάθμισης.

Σε περίπτωση κάποιας βλάβης αν η θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από 85 °C μέσα στον λέβητα ανεξάρτητα αν είναι ενεργός ή όχι ανοίγει η ηλεκτροβάννα του για την εκτόνωση στο κύκλωμα. Σε περίπτωση που είναι όλοι οι λέβητες ανενεργοί οι ηλεκτροβάνες παραμένουν ανοιχτές ως μέτρο ασφαλείας. Αν δοθεί εντολή να ανοίξει μια ηλεκτροβάννα και η εντολή δεν πραγματοποιηθεί διακόπτεται δίνεται εντολή διακοπής λειτουργίας του καυστήρα.

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Σχήμα 6.7 Διάγραμμα ροής κλάσης Valves

Ο κώδικας της κλάσης είναι:

```

1.  class Boiler_Control:
2.      status=[1,1,1]
3.      firstStart=[1,1,1]
4.      def __init__(self,boilerNo):
5.          self.No=boilerNo
6.          self.outofservice=0
7.          self.activity=0
8.          self.Onoff=0
9.          self.valvecheck=0
10.         self.Valve=0
11.         def Sequencing(self,alarm,load):
12.             power=[0.22,0.34,0.44]
13.             Active_boilers=[[0,0,0],[1,0,0],[0,1,0],[0,0,1],[1,1,0],[1,0,1],[0,1,1],[1,1,1]]
14.             if Boiler_Control.status == [1,1,1]:
15.                 k=0
16.                 i=0
17.                 while k==0:
18.                     if load<(Active_boilers[i][0]*power[0]+Active_boilers[i][1]*power[1]+Active_boilers[i][2]*power[2]):
19.                         k=1
20.                         if Active_boilers[i][self.No-1]==1:
21.                             self.Type="On-duty"
22.                         else:
23.                             self.Type="Back-up"

```

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

```
24.         i+=1
25.     if self.Type=="Back-up":
26.         Boiler_Control.firstStart[self.No-1]=1
27.     if alarm==0 and self.activity==1:
28.         Boiler_Control.status[self.No-1] = 0
29.     if sum(Boiler_Control.status)!=3:
30.         if Boiler_Control.status[self.No-1]==0:
31.             self.Type="Back-up"
32.     else:
33.         k=0
34.         i=0
35.     while i<8 and k==0:
36.         if load<(Active_boilers[i][0]*power[0]*Boiler_Control.status[0]+Active_boilers[i][1]*power[1]*Boiler_Control.status[1]+Active_boilers[i][2]*power[2]*Boiler_Control.status[2]):
37.             if Active_boilers[i][self.No-1]==1:
38.                 self.Type="On-duty"
39.                 k=1
40.             else:
41.                 self.Type="Back-up"
42.                 k=1
43.             i+=1
44.         if k==8:
45.             self.Type="On-duty"
46.     def Automation(self,TempSetpoint,Temp):
47.         self.Temp=Temp
48.         self.TempSetpoint=TempSetpoint
```

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

```
49.     if self.Type=="On-duty":
50.         if self.Onoff==0 and Temp>TempSetpoint+2:
51.             self.Onoff=1
52.         elif self.Onoff==1 and Temp < TempSetpoint-2:
53.             self.Onoff=0
54.         else:
55.             self.Onoff=0
56.     if self.Type=="On-duty":
57.         if self.Onoff==0:
58.             self.activity=1
59.         else:
60.             self.activity=0
61.     def Valves(self,ValveCheck):
62.         self.valvecheck=ValveCheck
63.     if self.Type=="On-duty":
64.         if Boiler_Control.firstStart[self.No-1]==1:
65.             if sum(Boiler_Control.firstStart)==3:
66.                 if self.Temp>40:
67.                     self.Valve=1
68.                     Boiler_Control.firstStart[self.No-1]=0
69.                 else:
70.                     if self.Temp>self.TempSetpoint-2:
71.                         self.Valve=1
72.             if sum(Boiler_Control.firstStart)==3 and self.Type=="Back-up":
73.                 self.Valve=1
```

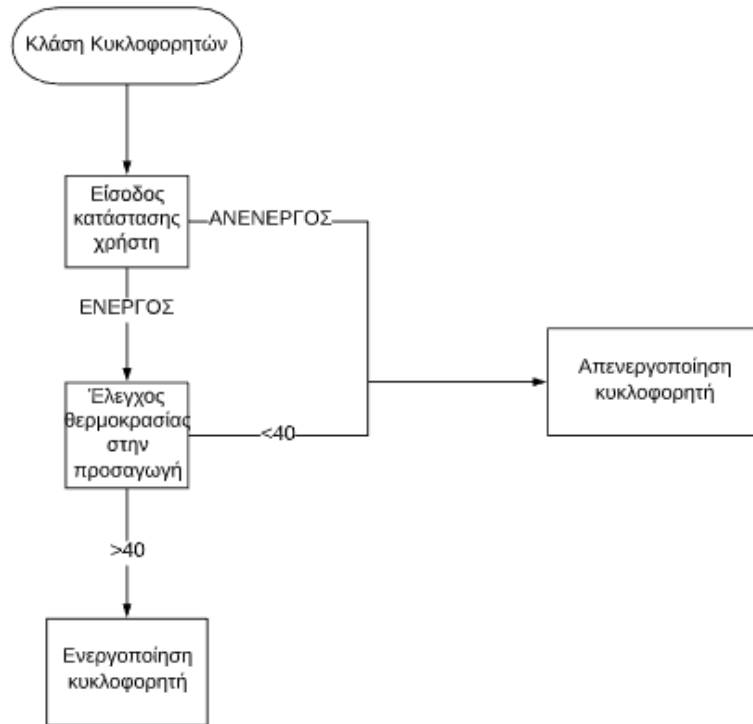
```

74.     if self.Type=="Back-up" and self.Temp<self.TempSetpoint and sum(Boiler_Control.firstStart)!=3:
75.         self.Valve=0
76.     if self.Temp>85:
77.         self.Valve=1
78.     if self.Valve==1 and self.valvecheck==0 and Boiler_Control.status[self.No-1]==1:
79.         if self.Temp>self.TempSetpoint+5:
80.             Boiler_Control.status[self.No-1]=0
    
```

5.2.3 Κλάση λειτουργίας κυκλοφορητών

Στην κλάση αυτήν γίνεται έλεγχος αν πρέπει να λειτουργεί ή όχι ένας κυκλοφορητής. Ο κάθε κυκλοφορητής ξεκινάει την λειτουργία του αν είναι ενεργός ο καταλανωτής και η θερμοκρασία του νερού στην προσαγωγή του καταναλωτή φτάσει τους 40 βαθμούς. Σε περίπτωση που η εγκατάσταση βρίσκεται σε λειτουργία το νερό θα βρίσκεται ήδη σε μεγαλύτερη θερμοκρασία αρα η εκκίνηση θα γίνεται απευθείας. Η κλάση δέχεται ως είσοδο, αν ο καταναλωτής είναι ενεργός, την θερμοκρασία του νερού στην προσαγωγή του και ορίζει αν πρέπει να ενεργοποιηθεί ή όχι ο κυκλοφορητής.

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



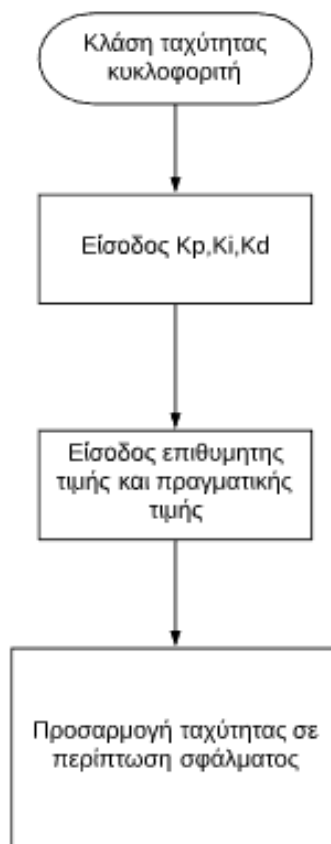
Σχήμα 6.8 Διάγραμμα ροής κλάσης Pumps

Ο κώδικας της κλάσης είναι:

```
1. class Pumps:
2.     def __init__(self,pumpNo):
3.         self.pumpNo=pumpNo
4.         self.User_Activity=0
5.         self.Pump=0
6.     def run(self,User_Activity,Temp):
7.         self.Temp=Temp
8.         if self.User_Activity==1 and self.Temp>40:
9.             self.Pump=1
10.        elif self.User_Activity==0:
11.            self.Pump=0
```


5.2.4 Κλάση ταχύτητας κυκλοφορητών

Η κλάση αυτή μας επιτρέπει να μεταβάλλουμε την παροχή του κυκλοφορητή χωρίς όμως να ορίζουμε την άμεσα την παροχή που θα πρέπει να έχει αλλά μέσω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του νερού προσαγωγής και επιστροφής. Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται μέσω ενός αλγόριθμου PID. Για την σωστή λειτουργία της κλάσης θα πρέπει να γίνει βαθμονόμηση των συντελεστών αναλογικής (K_p), ολοκληρωτικής (K_i) και διαφορικής (K_d) αντίδρασης.



Σχήμα 6.9 Διάγραμμα ροής κλάσης PID

Ο κώδικας της κλάσης είναι:

```
1. class PID:  
2.     def __init__(self,kp,ki,kd):  
3.         import time as dt  
4.
```

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

```
5.     self.kp=kp
6.     self.ki=ki
7.     self.kd=kd
8.
9.     self.Previous_error=0
10.    self.Error=0
11.    self.LastTime=dt.time()
12.    self.p=0
13.    self.i=0
14.    self.d=0
15.    self.LastOutput=0
16.    self.Start_time=dt.time()
17.
18.    def run(self,InputTemp,Set_Temp,pump_Activity):
19.        self.pump_Activity=pump_Activity
20.        if self.pump_Activity==1:
21.            import time as dt
22.            self.Now_time=dt.time()
23.
24.            self.Error=Set_Temp-InputTemp
25.            self.p=self.kp*self.Error
26.
27.            self.DeltaT=self.Now_time-self.Start_time
28.            self.d=self.kd*(self.Error-self.Previous_error)
```

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

```
29.     if self.DeltaT>0:
30.         self.i+=self.ki*(self.Error-self.Previous_error)/self.DeltaT
31.     else:
32.         self.i+=0
33.         self.Output=self.LastOutput+(self.p+self.d+self.i)
34.
35.     if self.Output>10:
36.         self.Output=10
37.     if self.Output<0:
38.         self.Output=0
39.         self.LastOutput=self.Output
40.         self.Start_time=self.Now_time
41.         self.Previous_error=self.Error
42.     else:
43.         self.Output=0
```

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε ολοκληρωμένη μελέτη αυτομάτου ελέγχου μιας εγκατάστασης θέρμανσης μεγάλου μεγέθους.

Ειδικότερα επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός αλγορίθμου ελέγχου τριών λεβήτων σε συνδυασμό με αντιστάθμιση. Αρχικός στόχος ήταν ο προσδιορισμός της βέλτιστης λύσης με την ελάχιστη δυνατή περίσσεια ισχύος καλύπτοντας παράλληλα το απαιτούμενο φορτίο στις δυσμενείς συνθήκες.

Στην εγκατάσταση υπάρχουν 11 χρήστες διαφορετικών φορτίων και η κάλυψη των θερμικών φορτίων θα γίνει από 3 λέβητες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα για την περίπτωση που η καμπύλη φορτίου αποτελείται από το σύνολο των συνδυασμών των φορτίων των καταναλωτών η λύση είναι 650 kW, 1000 kW και 1350 kW.

Επίσης, έγινε υπολογισμός περίσσειας ισχύος για περιπτώσεις δυο λεβήτων και τριών λεβήτων με μεταβολή της υπερδιαστασιολόγησης του συστήματος και διερευνήθηκε η επίδραση της στη βελτιστοποιημένη λύση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η υπερδιαστασιολόγηση μπορεί να προστεθεί μετά τον υπολογισμό της βέλτιστης ισχύος των λεβήτων ως το ποσοστό προσαύξησης στην ισχύ των επιμέρους λεβήτων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι λύσεις βελτιστοποίησης του συστήματος με την μέθοδο Monte Carlo. Κατα τις λύσεις, η βέλτιστη λύση φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά σε πολύ μεγάλες και πολύ μικρές τιμές των πιθανοτήτων των μεγάλων φορτίων και στις υπόλοιπες περιπτώσεις δε φαίνεται να έχει σημαντικές διαφορές αποτελεσμάτων από την μέθοδο στην οποία υπολογίζουμε απλά όλους τους συνδυασμούς. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς υπάρχουν πολλοί περιορισμοί στο σύστημα και θα πρέπει να καλύπτονται σε κάθε περίπτωση. Ειδικότερα, οι περιορισμοί αυτοί αναφέρονται στη συνολική ισχύ, η οποία θα πρέπει να είναι 3000 kW, καθώς και στην επίτευξη της ελάχιστης περίσσειας ισχύος. Επίσης, η βέλτιστη λύση για την περίπτωση πιθανότητας όλων των φορτίων ίση με 0.5, είναι όμοια με αυτή της περίπτωσης υπολογισμού όλων των πιθανών φορτίων, το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο διότι υπολογίζοντας όλα τα φορτία μια φορά, τα θεωρούμε ισοπίθανα.

Στη συνέχεια, διερευνήθηκαν οι παράμετροι ελέγχου λειτουργίας της εν λόγω διάταξης. Δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος για την περίπτωση λεβήτων 650,1000 και 1350 kW με εφαρμογή μιας σειράς λειτουργιών όπως αντιστάθμιση, έλεγχος παροχής κυκλοφορητών με PID, ρυθμίσεις διασφάλισης ασφαλούς λειτουργίας. Ο κώδικας αυτός με μικρές αλλαγές μπορεί να προσαρμοστεί και να λειτουργήσει σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις ακόμη και σε περιπτώσεις διαφορετικού αριθμού λεβήτων.

Οι κύριοι στόχοι που είχαμε θέσει, όσον αφορά την βελτιστοποίηση του συστήματος και την δημιουργία ενός κώδικα για το σύστημα ελέγχου, μπορούμε να πούμε ότι εκπληρώθηκαν με επιτυχία. Βέβαια, η σωστή λειτουργία ενός συστήματος με έλεγχο τόσο πολλών παραμέτρων δεν μπορεί να αποτιμηθεί πλήρως με προσομοιώσεις αλλά μετά από εφαρμογή του κώδικα στην εγκατάσταση υπό πραγματικές συνθήκες.

6.2 Μελλοντική έρευνα

Ο αλγόριθμος ο οποίος δημιουργήσαμε αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση για τον αυτόματο έλεγχο μιας αλληλουχίας λεβήτων. Ωστόσο για να λειτουργήσει σωστά σε μια εγκατάσταση, θα πρέπει να περάσει από στάδιο διόρθωσης πιθανών σφαλμάτων που θα εμφανιστούν κατά την διάρκεια λειτουργίας. Επίσης θα μπορούσαν να προστεθούν στον κώδικα και άλλες ρυθμίσεις ασφαλείας όπως για παράδειγμα το πως θα λειτουργεί ο αυτοματισμός σε περίπτωση βλάβης κυκλοφορητή, πως θα λειτουργήσει σε περίπτωση που οι λέβητες είναι κλειστοί και έχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στο νερό των κυκλωμάτων κ.α.

Ακόμη, αντικείμενο μελλοντικής ερεύνας θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη κατάλληλης διαδικασίας για την εύρεση των πιθανοτήτων των φορτίων κάθε εγκατάστασης. Στην παρούσα διπλωματική, έγινε μια προσπάθεια να αναπτυχθεί τρόπος για εύρεση πιθανοτήτων σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Σημαντικό είναι, να αναπτυχθεί τρόπος και για εγκαταστάσεις οι οποίες βρίσκονται στο στάδιο της μελέτης.

Επιπλέον, η χρήση της μεθόδου Monte Carlo για υπολογισμό φορτίων μπορεί, με κατάλληλη προσαρμογή, να χρησιμοποιηθεί για υπολογισμό καμπυλών φορτίων μεγάλου πλήθους καταναλωτών. Η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή κατάλληλης ισχύς λεβήτων για την συνέχιση λειτουργίας της τηλεθέρμανσης στην περιοχή μας, μετά το κλείσιμο των Ατμοηλεκτρικών σταθμών. Παρόμοιο έργο, πραγματοποιείται, για την συνέχιση λειτουργίας της τηλεθέρμανσης Αμυνταίου. Η βελτιστοποίηση σε λεβήτες τέτοιου μεγέθους, θα επιφέρει πολύ μεγάλη εξοικονόμηση σε καύσιμα και μείωση σπατάλης ενέργειας.

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7.1 Πίνακας Α

| Πίνακας φορτίων | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------------------------------------|
| A/A | ΛΕΒΗΤΑΣ 1 (Kw) | ΛΕΒΗΤΑΣ 2 (Kw) | ΛΕΒΗΤΑΣ 3 (Kw) | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ(Kw) | | | | | | | | Ποσοστό περίσσειας ισχύος(%) |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 250 | 850 | 1900 | 0 | 250 | 850 | 1100 | 1900 | 2150 | 2750 | 3000 | 21.29 |
| 2 | 300 | 1350 | 1350 | 0 | 300 | | 1350 | | 1650 | 2700 | 3000 | 26.20 |
| 3 | 50 | 1450 | 1500 | 0 | 50 | 1450 | | 1500 | 1550 | 2950 | 3000 | 32.23 |
| 4 | 150 | 800 | 2050 | 0 | 150 | 800 | 950 | 2050 | 2200 | 2850 | 3000 | 27.81 |
| 5 | 100 | 700 | 2200 | 0 | 100 | 700 | 800 | 2200 | 2300 | 2900 | 3000 | 34.84 |
| 6 | 200 | 1200 | 1600 | 0 | 200 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2800 | 3000 | 20.62 |
| 7 | 250 | 450 | 2300 | 0 | 250 | 450 | 700 | 2300 | 2550 | 2750 | 3000 | 38.79 |
| 8 | 300 | 950 | 1750 | 0 | 300 | 950 | 1250 | 1750 | 2050 | 2700 | 3000 | 17.53 |
| 9 | 350 | 1050 | 1600 | 0 | 350 | 1050 | 1400 | 1600 | 1950 | 2650 | 3000 | 17.13 |
| 10 | 50 | 1050 | 1900 | 0 | 50 | 1050 | 1100 | 1900 | 1950 | 2950 | 3000 | 25.33 |
| 11 | 150 | 400 | 2450 | 0 | 150 | 400 | 550 | 2450 | 2600 | 2850 | 3000 | 45.20 |
| 12 | 100 | 300 | 2600 | 0 | 100 | 300 | 400 | 2600 | 2700 | 2900 | 3000 | 50.77 |
| 13 | 900 | 900 | 1200 | 0 | | 900 | 1200 | 1800 | | 2100 | 3000 | 19.60 |
| 14 | 450 | 1200 | 1350 | 0 | 450 | 1200 | 1350 | 1650 | 1800 | 2550 | 3000 | 18.83 |
| 15 | 200 | 1300 | 1500 | 0 | 200 | 1300 | | 1500 | 1700 | 2800 | 3000 | 24.26 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 16 | 850 | 850 | 1300 | 0 | | 850 | 1300 | 1700 | | 2150 | 3000 | 18.42 |
| 17 | 250 | 1000 | 1750 | 0 | 250 | 1000 | 1250 | 1750 | 2000 | 2750 | 3000 | 18.13 |
| 18 | 200 | 900 | 1900 | 0 | 200 | 900 | 1100 | 1900 | 2100 | 2800 | 3000 | 21.70 |
| 19 | 500 | 900 | 1600 | 0 | 500 | 900 | 1400 | 1600 | 2100 | 2500 | 3000 | 16.60 |
| 20 | 150 | 950 | 1900 | 0 | 150 | 950 | 1100 | 1900 | 2050 | 2850 | 3000 | 22.64 |
| 21 | 350 | 750 | 1900 | 0 | 350 | 750 | 1100 | 1900 | 2250 | 2650 | 3000 | 20.73 |
| 22 | 100 | 850 | 2050 | 0 | 100 | 850 | 950 | 2050 | 2150 | 2900 | 3000 | 28.62 |
| 23 | 200 | 200 | 2600 | 0 | | 200 | 400 | 2600 | | 2800 | 3000 | 50.83 |
| 24 | 700 | 700 | 1600 | 0 | | 700 | 1400 | 1600 | | 2300 | 3000 | 21.50 |
| 25 | 50 | 750 | 2200 | 0 | 50 | 750 | 800 | 2200 | 2250 | 2950 | 3000 | 35.54 |
| 26 | 300 | 1100 | 1600 | 0 | 300 | 1100 | 1400 | 1600 | 1900 | 2700 | 3000 | 17.96 |
| 27 | 150 | 550 | 2300 | 0 | 150 | 550 | 700 | 2300 | 2450 | 2850 | 3000 | 38.83 |
| 28 | 900 | 1050 | 1050 | 0 | 900 | | 1050 | | 1950 | 2100 | 3000 | 24.56 |
| 29 | 100 | 450 | 2450 | 0 | 100 | 450 | 550 | 2450 | 2550 | 2900 | 3000 | 45.43 |
| 30 | 600 | 1050 | 1350 | 0 | 600 | 1050 | 1350 | 1650 | 1950 | 2400 | 3000 | 14.74 |
| 31 | 50 | 350 | 2600 | 0 | 50 | 350 | 400 | 2600 | 2650 | 2950 | 3000 | 50.93 |
| 32 | 600 | 650 | 1750 | 0 | 600 | 650 | 1250 | 1750 | 2350 | 2400 | 3000 | 19.41 |
| 33 | 250 | 700 | 2050 | 0 | 250 | 700 | 950 | 2050 | 2300 | 2750 | 3000 | 27.01 |
| 34 | 650 | 1150 | 1200 | 0 | 650 | 1150 | 1200 | 1800 | 1850 | 2350 | 3000 | 18.85 |
| 35 | 500 | 600 | 1900 | 0 | 500 | 600 | 1100 | 1900 | 2400 | 2500 | 3000 | 21.86 |
| 36 | 50 | 1300 | 1650 | 0 | 50 | 1300 | 1350 | 1650 | 1700 | 2950 | 3000 | 25.81 |
| 37 | 450 | 500 | 2050 | 0 | 450 | 500 | 950 | 2050 | 2500 | 2550 | 3000 | 27.92 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 38 | 100 | 550 | 2350 | 0 | 100 | 550 | 650 | 2350 | 2450 | 2900 | 3000 | 40.95 |
| 39 | 700 | 850 | 1450 | 0 | 700 | 850 | 1450 | 1550 | 2150 | 2300 | 3000 | 18.75 |
| 40 | 650 | 750 | 1600 | 0 | 650 | 750 | 1400 | 1600 | 2250 | 2350 | 3000 | 19.36 |
| 41 | 400 | 850 | 1750 | 0 | 400 | 850 | 1250 | 1750 | 2150 | 2600 | 3000 | 17.11 |
| 42 | 50 | 900 | 2050 | 0 | 50 | 900 | 950 | 2050 | 2100 | 2950 | 3000 | 29.66 |
| 43 | 150 | 250 | 2600 | 0 | 150 | 250 | 400 | 2600 | 2750 | 2850 | 3000 | 50.72 |
| 44 | 100 | 150 | 2750 | 0 | 100 | 150 | 250 | 2750 | 2850 | 2900 | 3000 | 54.82 |
| 45 | 250 | 300 | 2450 | 0 | 250 | 300 | 550 | 2450 | 2700 | 2750 | 3000 | 45.35 |
| 46 | 600 | 1200 | 1200 | 0 | 600 | | 1200 | | 1800 | 2400 | 3000 | 21.09 |
| 47 | 550 | 1100 | 1350 | 0 | 550 | 1100 | 1350 | 1650 | 1900 | 2450 | 3000 | 15.62 |
| 48 | 500 | 1150 | 1350 | 0 | 500 | 1150 | 1350 | 1650 | 1850 | 2500 | 3000 | 16.77 |
| 49 | 300 | 400 | 2300 | 0 | 300 | 400 | 700 | 2300 | 2600 | 2700 | 3000 | 38.96 |
| 50 | 450 | 1050 | 1500 | 0 | 450 | 1050 | | 1500 | 1950 | 2550 | 3000 | 18.68 |
| 51 | 600 | 800 | 1600 | 0 | 600 | 800 | 1400 | 1600 | 2200 | 2400 | 3000 | 18.00 |
| 52 | 700 | 950 | 1350 | 0 | 700 | 950 | 1350 | 1650 | 2050 | 2300 | 3000 | 15.00 |
| 53 | 100 | 1400 | 1500 | 0 | 100 | 1400 | | 1500 | 1600 | 2900 | 3000 | 29.34 |
| 54 | 500 | 750 | 1750 | 0 | 500 | 750 | 1250 | 1750 | 2250 | 2500 | 3000 | 17.51 |
| 55 | 450 | 650 | 1900 | 0 | 450 | 650 | 1100 | 1900 | 2350 | 2550 | 3000 | 21.10 |
| 56 | 350 | 1300 | 1350 | 0 | 350 | 1300 | 1350 | 1650 | 1700 | 2650 | 3000 | 23.25 |
| 57 | 200 | 750 | 2050 | 0 | 200 | 750 | 950 | 2050 | 2250 | 2800 | 3000 | 27.16 |
| 58 | 400 | 550 | 2050 | 0 | 400 | 550 | 950 | 2050 | 2450 | 2600 | 3000 | 27.33 |
| 59 | 350 | 600 | 2050 | 0 | 350 | 600 | 950 | 2050 | 2400 | 2650 | 3000 | 26.84 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 60 | 600 | 900 | 1500 | 0 | 600 | 900 | | 1500 | 2100 | 2400 | 3000 | 19.32 |
| 61 | 750 | 1050 | 1200 | 0 | 750 | 1050 | 1200 | 1800 | 1950 | 2250 | 3000 | 16.92 |
| 62 | 450 | 750 | 1800 | 0 | 450 | 750 | 1200 | 1800 | 2250 | 2550 | 3000 | 18.34 |
| 63 | 700 | 1100 | 1200 | 0 | 700 | 1100 | 1200 | 1800 | 1900 | 2300 | 3000 | 17.65 |
| 64 | 550 | 550 | 1900 | 0 | | 550 | 1100 | 1900 | | 2450 | 3000 | 23.21 |
| 65 | 650 | 1000 | 1350 | 0 | 650 | 1000 | 1350 | 1650 | 2000 | 2350 | 3000 | 14.37 |
| 66 | 950 | 1000 | 1050 | 0 | 950 | 1000 | 1050 | 1950 | 2000 | 2050 | 3000 | 25.15 |
| 67 | 400 | 1100 | 1500 | 0 | 400 | 1100 | | 1500 | 1900 | 2600 | 3000 | 19.15 |
| 68 | 50 | 1150 | 1800 | 0 | 50 | 1150 | 1200 | 1800 | 1850 | 2950 | 3000 | 24.20 |
| 69 | 250 | 550 | 2200 | 0 | 250 | 550 | 800 | 2200 | 2450 | 2750 | 3000 | 33.97 |
| 70 | 400 | 700 | 1900 | 0 | 400 | 700 | 1100 | 1900 | 2300 | 2600 | 3000 | 20.95 |
| 71 | 100 | 400 | 2500 | 0 | 100 | 400 | 500 | 2500 | 2600 | 2900 | 3000 | 47.17 |
| 72 | 300 | 650 | 2050 | 0 | 300 | 650 | 950 | 2050 | 2350 | 2700 | 3000 | 26.68 |
| 73 | 850 | 950 | 1200 | 0 | 850 | 950 | 1200 | 1800 | 2050 | 2150 | 3000 | 17.78 |
| 74 | 700 | 800 | 1500 | 0 | 700 | 800 | | 1500 | 2200 | 2300 | 3000 | 22.20 |
| 75 | 450 | 900 | 1650 | 0 | 450 | 900 | 1350 | 1650 | 2100 | 2550 | 3000 | 16.40 |
| 76 | 200 | 1000 | 1800 | 0 | 200 | 1000 | 1200 | 1800 | 2000 | 2800 | 3000 | 19.47 |
| 77 | 250 | 250 | 2500 | 0 | | 250 | 500 | 2500 | | 2750 | 3000 | 47.34 |
| 78 | 400 | 1250 | 1350 | 0 | 400 | 1250 | 1350 | 1650 | 1750 | 2600 | 3000 | 20.88 |
| 79 | 150 | 1350 | 1500 | 0 | 150 | 1350 | | 1500 | 1650 | 2850 | 3000 | 26.62 |
| 80 | 350 | 1150 | 1500 | 0 | 350 | 1150 | | 1500 | 1850 | 2650 | 3000 | 19.80 |
| 81 | 100 | 1250 | 1650 | 0 | 100 | 1250 | 1350 | 1650 | 1750 | 2900 | 3000 | 23.47 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 82 | 200 | 600 | 2200 | 0 | 200 | 600 | 800 | 2200 | 2400 | 2800 | 3000 | 33.85 |
| 83 | 300 | 1200 | 1500 | 0 | 300 | 1200 | | 1500 | 1800 | 2700 | 3000 | 21.16 |
| 84 | 350 | 450 | 2200 | 0 | 350 | 450 | 800 | 2200 | 2550 | 2650 | 3000 | 34.40 |
| 85 | 400 | 400 | 2200 | 0 | | 400 | 800 | 2200 | | 2600 | 3000 | 35.07 |
| 86 | 50 | 450 | 2500 | 0 | 50 | 450 | 500 | 2500 | 2550 | 2950 | 3000 | 47.40 |
| 87 | 300 | 800 | 1900 | 0 | 300 | 800 | 1100 | 1900 | 2200 | 2700 | 3000 | 20.90 |
| 88 | 600 | 750 | 1650 | 0 | 600 | 750 | 1350 | 1650 | 2250 | 2400 | 3000 | 18.07 |
| 89 | 50 | 50 | 2900 | 0 | | 50 | 100 | 2900 | | 2950 | 3000 | 57.98 |
| 90 | 800 | 1000 | 1200 | 0 | 800 | 1000 | 1200 | 1800 | 2000 | 2200 | 3000 | 16.91 |
| 91 | 100 | 1350 | 1550 | 0 | 100 | 1350 | 1450 | 1550 | 1650 | 2900 | 3000 | 26.73 |
| 92 | 250 | 1100 | 1650 | 0 | 250 | 1100 | 1350 | 1650 | 1900 | 2750 | 3000 | 18.38 |
| 93 | 200 | 1150 | 1650 | 0 | 200 | 1150 | 1350 | 1650 | 1850 | 2800 | 3000 | 19.48 |
| 94 | 400 | 950 | 1650 | 0 | 400 | 950 | 1350 | 1650 | 2050 | 2600 | 3000 | 16.45 |
| 95 | 250 | 400 | 2350 | 0 | 250 | 400 | 650 | 2350 | 2600 | 2750 | 3000 | 40.66 |
| 96 | 150 | 1050 | 1800 | 0 | 150 | 1050 | 1200 | 1800 | 1950 | 2850 | 3000 | 20.85 |
| 97 | 650 | 850 | 1500 | 0 | 650 | 850 | | 1500 | 2150 | 2350 | 3000 | 20.46 |
| 98 | 100 | 950 | 1950 | 0 | 100 | 950 | 1050 | 1950 | 2050 | 2900 | 3000 | 25.12 |
| 99 | 750 | 900 | 1350 | 0 | 750 | 900 | 1350 | 1650 | 2100 | 2250 | 3000 | 16.01 |
| 100 | 150 | 650 | 2200 | 0 | 150 | 650 | 800 | 2200 | 2350 | 2850 | 3000 | 34.20 |
| 101 | 300 | 500 | 2200 | 0 | 300 | 500 | 800 | 2200 | 2500 | 2700 | 3000 | 33.94 |
| 102 | 50 | 600 | 2350 | 0 | 50 | 600 | 650 | 2350 | 2400 | 2950 | 3000 | 41.33 |
| 103 | 750 | 1000 | 1250 | 0 | 750 | 1000 | 1250 | 1750 | 2000 | 2250 | 3000 | 15.38 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 104 | 50 | 200 | 2750 | 0 | 50 | 200 | 250 | 2750 | 2800 | 2950 | 3000 | 54.82 |
| 105 | 550 | 800 | 1650 | 0 | 550 | 800 | 1350 | 1650 | 2200 | 2450 | 3000 | 17.15 |
| 106 | 200 | 850 | 1950 | 0 | 200 | 850 | 1050 | 1950 | 2150 | 2800 | 3000 | 23.20 |
| 107 | 150 | 1200 | 1650 | 0 | 150 | 1200 | 1350 | 1650 | 1800 | 2850 | 3000 | 21.43 |
| 108 | 350 | 1000 | 1650 | 0 | 350 | 1000 | 1350 | 1650 | 2000 | 2650 | 3000 | 16.56 |
| 109 | 100 | 1100 | 1800 | 0 | 100 | 1100 | 1200 | 1800 | 1900 | 2900 | 3000 | 22.39 |
| 110 | 200 | 450 | 2350 | 0 | 200 | 450 | 650 | 2350 | 2550 | 2800 | 3000 | 40.48 |
| 111 | 50 | 300 | 2650 | 0 | 50 | 300 | 350 | 2650 | 2700 | 2950 | 3000 | 52.23 |
| 112 | 250 | 1350 | 1400 | 0 | 250 | 1350 | 1400 | 1600 | 1650 | 2750 | 3000 | 25.80 |
| 113 | 600 | 600 | 1800 | 0 | | 600 | 1200 | 1800 | | 2400 | 3000 | 21.09 |
| 114 | 500 | 1250 | 1250 | 0 | 500 | | 1250 | | 1750 | 2500 | 3000 | 22.14 |
| 115 | 800 | 850 | 1350 | 0 | 800 | 850 | 1350 | 1650 | 2150 | 2200 | 3000 | 17.79 |
| 116 | 100 | 1200 | 1700 | 0 | 100 | 1200 | 1300 | 1700 | 1800 | 2900 | 3000 | 22.70 |
| 117 | 550 | 950 | 1500 | 0 | 550 | 950 | | 1500 | 2050 | 2450 | 3000 | 18.75 |
| 118 | 750 | 750 | 1500 | 0 | | 750 | | 1500 | | 2250 | 3000 | 24.53 |
| 119 | 500 | 850 | 1650 | 0 | 500 | 850 | 1350 | 1650 | 2150 | 2500 | 3000 | 16.51 |
| 120 | 150 | 900 | 1950 | 0 | 150 | 900 | 1050 | 1950 | 2100 | 2850 | 3000 | 24.06 |
| 121 | 250 | 950 | 1800 | 0 | 250 | 950 | 1200 | 1800 | 2050 | 2750 | 3000 | 18.98 |
| 122 | 100 | 800 | 2100 | 0 | 100 | 800 | 900 | 2100 | 2200 | 2900 | 3000 | 30.61 |
| 123 | 400 | 800 | 1800 | 0 | 400 | 800 | 1200 | 1800 | 2200 | 2600 | 3000 | 18.16 |
| 124 | 650 | 700 | 1650 | 0 | 650 | 700 | 1350 | 1650 | 2300 | 2350 | 3000 | 19.72 |
| 125 | 300 | 1050 | 1650 | 0 | 300 | 1050 | 1350 | 1650 | 1950 | 2700 | 3000 | 17.34 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 126 | 550 | 1050 | 1400 | 0 | 550 | 1050 | 1400 | 1600 | 1950 | 2450 | 3000 | 15.42 |
| 127 | 150 | 500 | 2350 | 0 | 150 | 500 | 650 | 2350 | 2500 | 2850 | 3000 | 40.57 |
| 128 | 300 | 350 | 2350 | 0 | 300 | 350 | 650 | 2350 | 2650 | 2700 | 3000 | 40.84 |
| 129 | 550 | 650 | 1800 | 0 | 550 | 650 | 1200 | 1800 | 2350 | 2450 | 3000 | 19.50 |
| 130 | 400 | 1200 | 1400 | 0 | 400 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2600 | 3000 | 19.04 |
| 131 | 250 | 650 | 2100 | 0 | 250 | 650 | 900 | 2100 | 2350 | 2750 | 3000 | 29.09 |
| 132 | 350 | 1250 | 1400 | 0 | 350 | 1250 | 1400 | 1600 | 1750 | 2650 | 3000 | 20.75 |
| 133 | 200 | 700 | 2100 | 0 | 200 | 700 | 900 | 2100 | 2300 | 2800 | 3000 | 29.30 |
| 134 | 400 | 500 | 2100 | 0 | 400 | 500 | 900 | 2100 | 2500 | 2600 | 3000 | 29.71 |
| 135 | 500 | 1000 | 1500 | 0 | 500 | 1000 | | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 18.28 |
| 136 | 350 | 850 | 1800 | 0 | 350 | 850 | 1200 | 1800 | 2150 | 2650 | 3000 | 18.09 |
| 137 | 200 | 300 | 2500 | 0 | 200 | 300 | 500 | 2500 | 2700 | 2800 | 3000 | 46.94 |
| 138 | 300 | 750 | 1950 | 0 | 300 | 750 | 1050 | 1950 | 2250 | 2700 | 3000 | 22.57 |
| 139 | 600 | 1150 | 1250 | 0 | 600 | 1150 | 1250 | 1750 | 1850 | 2400 | 3000 | 17.59 |
| 140 | 550 | 1200 | 1250 | 0 | 550 | 1200 | 1250 | 1750 | 1800 | 2450 | 3000 | 19.79 |
| 141 | 50 | 150 | 2800 | 0 | 50 | 150 | 200 | 2800 | 2850 | 2950 | 3000 | 55.73 |
| 142 | 500 | 1100 | 1400 | 0 | 500 | 1100 | 1400 | 1600 | 1900 | 2500 | 3000 | 16.04 |
| 143 | 250 | 1200 | 1550 | 0 | 250 | 1200 | 1450 | 1550 | 1800 | 2750 | 3000 | 20.71 |
| 144 | 450 | 1000 | 1550 | 0 | 450 | 1000 | 1450 | 1550 | 2000 | 2550 | 3000 | 17.22 |
| 145 | 800 | 1100 | 1100 | 0 | 800 | | 1100 | | 1900 | 2200 | 3000 | 21.94 |
| 146 | 500 | 700 | 1800 | 0 | 500 | 700 | 1200 | 1800 | 2300 | 2500 | 3000 | 18.79 |
| 147 | 250 | 800 | 1950 | 0 | 250 | 800 | 1050 | 1950 | 2200 | 2750 | 3000 | 22.92 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 148 | 450 | 600 | 1950 | 0 | 450 | 600 | 1050 | 1950 | 2400 | 2550 | 3000 | 23.15 |
| 149 | 400 | 650 | 1950 | 0 | 400 | 650 | 1050 | 1950 | 2350 | 2600 | 3000 | 22.59 |
| 150 | 300 | 1300 | 1400 | 0 | 300 | 1300 | 1400 | 1600 | 1700 | 2700 | 3000 | 23.04 |
| 151 | 50 | 1400 | 1550 | 0 | 50 | 1400 | 1450 | 1550 | 1600 | 2950 | 3000 | 29.55 |
| 152 | 150 | 750 | 2100 | 0 | 150 | 750 | 900 | 2100 | 2250 | 2850 | 3000 | 29.86 |
| 153 | 100 | 650 | 2250 | 0 | 100 | 650 | 750 | 2250 | 2350 | 2900 | 3000 | 36.91 |
| 154 | 350 | 550 | 2100 | 0 | 350 | 550 | 900 | 2100 | 2450 | 2650 | 3000 | 29.30 |
| 155 | 300 | 900 | 1800 | 0 | 300 | 900 | 1200 | 1800 | 2100 | 2700 | 3000 | 18.39 |
| 156 | 50 | 1000 | 1950 | 0 | 50 | 1000 | 1050 | 1950 | 2000 | 2950 | 3000 | 26.28 |
| 157 | 150 | 350 | 2500 | 0 | 150 | 350 | 500 | 2500 | 2650 | 2850 | 3000 | 46.94 |
| 158 | 100 | 250 | 2650 | 0 | 100 | 250 | 350 | 2650 | 2750 | 2900 | 3000 | 52.13 |
| 159 | 250 | 900 | 1850 | 0 | 250 | 900 | 1150 | 1850 | 2100 | 2750 | 3000 | 19.84 |
| 160 | 450 | 1150 | 1400 | 0 | 450 | 1150 | 1400 | 1600 | 1850 | 2550 | 3000 | 17.35 |
| 161 | 950 | 950 | 1100 | 0 | | 950 | 1100 | 1900 | | 2050 | 3000 | 23.17 |
| 162 | 200 | 1250 | 1550 | 0 | 200 | 1250 | 1450 | 1550 | 1750 | 2800 | 3000 | 22.09 |
| 163 | 700 | 1050 | 1250 | 0 | 700 | 1050 | 1250 | 1750 | 1950 | 2300 | 3000 | 15.53 |
| 164 | 250 | 500 | 2250 | 0 | 250 | 500 | 750 | 2250 | 2500 | 2750 | 3000 | 36.23 |
| 165 | 350 | 1100 | 1550 | 0 | 350 | 1100 | 1450 | 1550 | 1900 | 2650 | 3000 | 18.16 |
| 166 | 50 | 1100 | 1850 | 0 | 50 | 1100 | 1150 | 1850 | 1900 | 2950 | 3000 | 24.43 |
| 167 | 150 | 450 | 2400 | 0 | 150 | 450 | 600 | 2400 | 2550 | 2850 | 3000 | 42.99 |
| 168 | 100 | 350 | 2550 | 0 | 100 | 350 | 450 | 2550 | 2650 | 2900 | 3000 | 49.17 |
| 169 | 350 | 700 | 1950 | 0 | 350 | 700 | 1050 | 1950 | 2300 | 2650 | 3000 | 22.53 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 170 | 50 | 700 | 2250 | 0 | 50 | 700 | 750 | 2250 | 2300 | 2950 | 3000 | 37.53 |
| 171 | 900 | 1000 | 1100 | 0 | 900 | 1000 | 1100 | 1900 | 2000 | 2100 | 3000 | 21.75 |
| 172 | 850 | 900 | 1250 | 0 | 850 | 900 | 1250 | 1750 | 2100 | 2150 | 3000 | 17.51 |
| 173 | 600 | 1000 | 1400 | 0 | 600 | 1000 | 1400 | 1600 | 2000 | 2400 | 3000 | 15.01 |
| 174 | 250 | 1050 | 1700 | 0 | 250 | 1050 | 1300 | 1700 | 1950 | 2750 | 3000 | 18.07 |
| 175 | 750 | 850 | 1400 | 0 | 750 | 850 | 1400 | 1600 | 2150 | 2250 | 3000 | 17.88 |
| 176 | 700 | 750 | 1550 | 0 | 700 | 750 | 1450 | 1550 | 2250 | 2300 | 3000 | 21.46 |
| 177 | 200 | 1400 | 1400 | 0 | 200 | | 1400 | | 1600 | 2800 | 3000 | 28.73 |
| 178 | 150 | 1300 | 1550 | 0 | 150 | 1300 | 1450 | 1550 | 1700 | 2850 | 3000 | 24.22 |
| 179 | 650 | 1100 | 1250 | 0 | 650 | 1100 | 1250 | 1750 | 1900 | 2350 | 3000 | 16.11 |
| 180 | 300 | 1150 | 1550 | 0 | 300 | 1150 | 1450 | 1550 | 1850 | 2700 | 3000 | 19.13 |
| 181 | 500 | 550 | 1950 | 0 | 500 | 550 | 1050 | 1950 | 2450 | 2500 | 3000 | 24.06 |
| 182 | 50 | 1250 | 1700 | 0 | 50 | 1250 | 1300 | 1700 | 1750 | 2950 | 3000 | 24.81 |
| 183 | 150 | 600 | 2250 | 0 | 150 | 600 | 750 | 2250 | 2400 | 2850 | 3000 | 36.44 |
| 184 | 100 | 500 | 2400 | 0 | 100 | 500 | 600 | 2400 | 2500 | 2900 | 3000 | 43.21 |
| 185 | 450 | 450 | 2100 | 0 | | 450 | 900 | 2100 | | 2550 | 3000 | 30.67 |
| 186 | 50 | 850 | 2100 | 0 | 50 | 850 | 900 | 2100 | 2150 | 2950 | 3000 | 31.43 |
| 187 | 150 | 200 | 2650 | 0 | 150 | 200 | 350 | 2650 | 2800 | 2850 | 3000 | 52.02 |
| 188 | 100 | 100 | 2800 | 0 | | 100 | 200 | 2800 | | 2900 | 3000 | 55.82 |
| 189 | 600 | 700 | 1700 | 0 | 600 | 700 | 1300 | 1700 | 2300 | 2400 | 3000 | 18.68 |
| 190 | 850 | 1050 | 1100 | 0 | 850 | 1050 | 1100 | 1900 | 1950 | 2150 | 3000 | 21.36 |
| 191 | 200 | 1100 | 1700 | 0 | 200 | 1100 | 1300 | 1700 | 1900 | 2800 | 3000 | 19.01 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 192 | 700 | 900 | 1400 | 0 | 700 | 900 | 1400 | 1600 | 2100 | 2300 | 3000 | 16.33 |
| 193 | 100 | 1050 | 1850 | 0 | 100 | 1050 | 1150 | 1850 | 1950 | 2900 | 3000 | 22.82 |
| 194 | 400 | 900 | 1700 | 0 | 400 | 900 | 1300 | 1700 | 2100 | 2600 | 3000 | 16.56 |
| 195 | 50 | 950 | 2000 | 0 | 50 | 950 | 1000 | 2000 | 2050 | 2950 | 3000 | 27.83 |
| 196 | 50 | 550 | 2400 | 0 | 50 | 550 | 600 | 2400 | 2450 | 2950 | 3000 | 43.58 |
| 197 | 600 | 850 | 1550 | 0 | 600 | 850 | 1450 | 1550 | 2150 | 2400 | 3000 | 18.38 |
| 198 | 500 | 800 | 1700 | 0 | 500 | 800 | 1300 | 1700 | 2200 | 2500 | 3000 | 16.81 |
| 199 | 450 | 700 | 1850 | 0 | 450 | 700 | 1150 | 1850 | 2300 | 2550 | 3000 | 19.54 |
| 200 | 650 | 950 | 1400 | 0 | 650 | 950 | 1400 | 1600 | 2050 | 2350 | 3000 | 15.35 |
| 201 | 400 | 1050 | 1550 | 0 | 400 | 1050 | 1450 | 1550 | 1950 | 2600 | 3000 | 17.62 |
| 202 | 150 | 1150 | 1700 | 0 | 150 | 1150 | 1300 | 1700 | 1850 | 2850 | 3000 | 20.60 |
| 203 | 350 | 950 | 1700 | 0 | 350 | 950 | 1300 | 1700 | 2050 | 2650 | 3000 | 16.68 |
| 204 | 200 | 400 | 2400 | 0 | 200 | 400 | 600 | 2400 | 2600 | 2800 | 3000 | 42.86 |
| 205 | 300 | 1000 | 1700 | 0 | 300 | 1000 | 1300 | 1700 | 2000 | 2700 | 3000 | 17.07 |
| 206 | 300 | 600 | 2100 | 0 | 300 | 600 | 900 | 2100 | 2400 | 2700 | 3000 | 29.06 |
| 207 | 250 | 1300 | 1450 | 0 | 250 | 1300 | 1450 | 1550 | 1700 | 2750 | 3000 | 23.48 |
| 208 | 200 | 1350 | 1450 | 0 | 200 | 1350 | 1450 | 1550 | 1650 | 2800 | 3000 | 25.74 |
| 209 | 400 | 1150 | 1450 | 0 | 400 | 1150 | 1450 | 1550 | 1850 | 2600 | 3000 | 18.30 |
| 210 | 250 | 600 | 2150 | 0 | 250 | 600 | 850 | 2150 | 2400 | 2750 | 3000 | 31.56 |
| 211 | 500 | 950 | 1550 | 0 | 500 | 950 | 1450 | 1550 | 2050 | 2500 | 3000 | 17.19 |
| 212 | 450 | 850 | 1700 | 0 | 450 | 850 | 1300 | 1700 | 2150 | 2550 | 3000 | 16.62 |
| 213 | 550 | 900 | 1550 | 0 | 550 | 900 | 1450 | 1550 | 2100 | 2450 | 3000 | 17.64 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 214 | 200 | 950 | 1850 | 0 | 200 | 950 | 1150 | 1850 | 2050 | 2800 | 3000 | 20.33 |
| 215 | 400 | 750 | 1850 | 0 | 400 | 750 | 1150 | 1850 | 2250 | 2600 | 3000 | 19.22 |
| 216 | 300 | 700 | 2000 | 0 | 300 | 700 | 1000 | 2000 | 2300 | 2700 | 3000 | 24.52 |
| 217 | 600 | 1100 | 1300 | 0 | 600 | 1100 | 1300 | 1700 | 1900 | 2400 | 3000 | 15.56 |
| 218 | 150 | 150 | 2700 | 0 | | 150 | 300 | 2700 | | 2850 | 3000 | 53.58 |
| 219 | 50 | 800 | 2150 | 0 | 50 | 800 | 850 | 2150 | 2200 | 2950 | 3000 | 33.56 |
| 220 | 200 | 550 | 2250 | 0 | 200 | 550 | 750 | 2250 | 2450 | 2800 | 3000 | 36.19 |
| 221 | 350 | 400 | 2250 | 0 | 350 | 400 | 750 | 2250 | 2600 | 2650 | 3000 | 36.87 |
| 222 | 850 | 1000 | 1150 | 0 | 850 | 1000 | 1150 | 1850 | 2000 | 2150 | 3000 | 18.81 |
| 223 | 300 | 300 | 2400 | 0 | | 300 | 600 | 2400 | | 2700 | 3000 | 43.40 |
| 224 | 50 | 400 | 2550 | 0 | 50 | 400 | 450 | 2550 | 2600 | 2950 | 3000 | 49.40 |
| 225 | 450 | 1250 | 1300 | 0 | 450 | 1250 | 1300 | 1700 | 1750 | 2550 | 3000 | 21.38 |
| 226 | 400 | 1300 | 1300 | 0 | 400 | | 1300 | | 1700 | 2600 | 3000 | 24.09 |
| 227 | 500 | 650 | 1850 | 0 | 500 | 650 | 1150 | 1850 | 2350 | 2500 | 3000 | 19.82 |
| 228 | 250 | 750 | 2000 | 0 | 250 | 750 | 1000 | 2000 | 2250 | 2750 | 3000 | 24.77 |
| 229 | 150 | 1400 | 1450 | 0 | 150 | 1400 | 1450 | 1550 | 1600 | 2850 | 3000 | 28.75 |
| 230 | 450 | 550 | 2000 | 0 | 450 | 550 | 1000 | 2000 | 2450 | 2550 | 3000 | 25.40 |
| 231 | 100 | 1300 | 1600 | 0 | 100 | 1300 | 1400 | 1600 | 1700 | 2900 | 3000 | 24.77 |
| 232 | 200 | 650 | 2150 | 0 | 200 | 650 | 850 | 2150 | 2350 | 2800 | 3000 | 31.53 |
| 233 | 800 | 950 | 1250 | 0 | 800 | 950 | 1250 | 1750 | 2050 | 2200 | 3000 | 16.11 |
| 234 | 250 | 350 | 2400 | 0 | 250 | 350 | 600 | 2400 | 2650 | 2750 | 3000 | 43.02 |
| 235 | 150 | 1000 | 1850 | 0 | 150 | 1000 | 1150 | 1850 | 2000 | 2850 | 3000 | 21.29 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 236 | 350 | 800 | 1850 | 0 | 350 | 800 | 1150 | 1850 | 2200 | 2650 | 3000 | 19.13 |
| 237 | 100 | 900 | 2000 | 0 | 100 | 900 | 1000 | 2000 | 2100 | 2900 | 3000 | 26.72 |
| 238 | 200 | 250 | 2550 | 0 | 200 | 250 | 450 | 2550 | 2750 | 2800 | 3000 | 49.16 |
| 239 | 150 | 300 | 2550 | 0 | 150 | 300 | 450 | 2550 | 2700 | 2850 | 3000 | 49.03 |
| 240 | 300 | 850 | 1850 | 0 | 300 | 850 | 1150 | 1850 | 2150 | 2700 | 3000 | 19.33 |
| 241 | 100 | 200 | 2700 | 0 | 100 | 200 | 300 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 53.43 |
| 242 | 650 | 800 | 1550 | 0 | 650 | 800 | 1450 | 1550 | 2200 | 2350 | 3000 | 19.59 |
| 243 | 50 | 100 | 2850 | 0 | 50 | 100 | 150 | 2850 | 2900 | 2950 | 3000 | 56.92 |
| 244 | 300 | 450 | 2250 | 0 | 300 | 450 | 750 | 2250 | 2550 | 2700 | 3000 | 36.47 |
| 245 | 800 | 1050 | 1150 | 0 | 800 | 1050 | 1150 | 1850 | 1950 | 2200 | 3000 | 18.72 |
| 246 | 550 | 1150 | 1300 | 0 | 550 | 1150 | 1300 | 1700 | 1850 | 2450 | 3000 | 17.00 |
| 247 | 400 | 1000 | 1600 | 0 | 400 | 1000 | 1400 | 1600 | 2000 | 2600 | 3000 | 16.66 |
| 248 | 750 | 950 | 1300 | 0 | 750 | 950 | 1300 | 1700 | 2050 | 2250 | 3000 | 15.19 |
| 249 | 550 | 750 | 1700 | 0 | 550 | 750 | 1300 | 1700 | 2250 | 2450 | 3000 | 17.52 |
| 250 | 100 | 1450 | 1450 | 0 | 100 | | 1450 | | 1550 | 2900 | 3000 | 32.01 |
| 251 | 200 | 800 | 2000 | 0 | 200 | 800 | 1000 | 2000 | 2200 | 2800 | 3000 | 25.02 |
| 252 | 400 | 600 | 2000 | 0 | 400 | 600 | 1000 | 2000 | 2400 | 2600 | 3000 | 24.75 |
| 253 | 50 | 1350 | 1600 | 0 | 50 | 1350 | 1400 | 1600 | 1650 | 2950 | 3000 | 27.35 |
| 254 | 300 | 550 | 2150 | 0 | 300 | 550 | 850 | 2150 | 2450 | 2700 | 3000 | 31.60 |
| 255 | 50 | 650 | 2300 | 0 | 50 | 650 | 700 | 2300 | 2350 | 2950 | 3000 | 39.70 |
| 256 | 600 | 950 | 1450 | 0 | 600 | 950 | 1450 | 1550 | 2050 | 2400 | 3000 | 16.63 |
| 257 | 50 | 250 | 2700 | 0 | 50 | 250 | 300 | 2700 | 2750 | 2950 | 3000 | 53.58 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 258 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | | | 1000 | | | 2000 | 3000 | 29.22 |
| 259 | 750 | 1100 | 1150 | 0 | 750 | 1100 | 1150 | 1850 | 1900 | 2250 | 3000 | 19.36 |
| 260 | 500 | 1200 | 1300 | 0 | 500 | 1200 | 1300 | 1700 | 1800 | 2500 | 3000 | 18.90 |
| 261 | 150 | 1250 | 1600 | 0 | 150 | 1250 | 1400 | 1600 | 1750 | 2850 | 3000 | 22.50 |
| 262 | 350 | 500 | 2150 | 0 | 350 | 500 | 850 | 2150 | 2500 | 2650 | 3000 | 31.77 |
| 263 | 100 | 1150 | 1750 | 0 | 100 | 1150 | 1250 | 1750 | 1850 | 2900 | 3000 | 22.18 |
| 264 | 200 | 500 | 2300 | 0 | 200 | 500 | 700 | 2300 | 2500 | 2800 | 3000 | 38.54 |
| 265 | 450 | 1100 | 1450 | 0 | 450 | 1100 | 1450 | 1550 | 1900 | 2550 | 3000 | 17.37 |
| 266 | 650 | 1050 | 1300 | 0 | 650 | 1050 | 1300 | 1700 | 1950 | 2350 | 3000 | 14.67 |
| 267 | 700 | 1000 | 1300 | 0 | 700 | 1000 | 1300 | 1700 | 2000 | 2300 | 3000 | 14.62 |
| 268 | 150 | 850 | 2000 | 0 | 150 | 850 | 1000 | 2000 | 2150 | 2850 | 3000 | 25.72 |
| 269 | 650 | 650 | 1700 | 0 | | 650 | 1300 | 1700 | | 2350 | 3000 | 20.17 |
| 270 | 100 | 750 | 2150 | 0 | 100 | 750 | 850 | 2150 | 2250 | 2900 | 3000 | 32.78 |
| 271 | 800 | 800 | 1400 | 0 | | 800 | 1400 | 1600 | | 2200 | 3000 | 20.07 |
| 272 | 900 | 950 | 1150 | 0 | 900 | 950 | 1150 | 1850 | 2050 | 2100 | 3000 | 20.01 |
| 273 | 350 | 650 | 2000 | 0 | 350 | 650 | 1000 | 2000 | 2350 | 2650 | 3000 | 24.34 |
| 274 | 800 | 900 | 1300 | 0 | 800 | 900 | 1300 | 1700 | 2100 | 2200 | 3000 | 16.40 |
| 275 | 550 | 1000 | 1450 | 0 | 550 | 1000 | 1450 | 1550 | 2000 | 2450 | 3000 | 16.36 |
| 276 | 750 | 800 | 1450 | 0 | 750 | 800 | 1450 | 1550 | 2200 | 2250 | 3000 | 20.66 |
| 277 | 450 | 800 | 1750 | 0 | 450 | 800 | 1250 | 1750 | 2200 | 2550 | 3000 | 17.25 |
| 278 | 700 | 1150 | 1150 | 0 | 700 | | 1150 | | 1850 | 2300 | 3000 | 20.79 |
| 279 | 550 | 600 | 1850 | 0 | 550 | 600 | 1150 | 1850 | 2400 | 2450 | 3000 | 21.04 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 280 | 500 | 500 | 2000 | 0 | | 500 | 1000 | 2000 | | 2500 | 3000 | 26.29 |
| 281 | 50 | 1200 | 1750 | 0 | 50 | 1200 | 1250 | 1750 | 1800 | 2950 | 3000 | 24.33 |
| 282 | 350 | 1200 | 1450 | 0 | 350 | 1200 | 1450 | 1550 | 1800 | 2650 | 3000 | 19.71 |
| 283 | 400 | 450 | 2150 | 0 | 400 | 450 | 850 | 2150 | 2550 | 2600 | 3000 | 32.49 |
| 284 | 50 | 500 | 2450 | 0 | 50 | 500 | 550 | 2450 | 2500 | 2950 | 3000 | 45.67 |
| 285 | 350 | 350 | 2300 | 0 | | 350 | 700 | 2300 | | 2650 | 3000 | 39.40 |
| 286 | 550 | 700 | 1750 | 0 | 550 | 700 | 1250 | 1750 | 2300 | 2450 | 3000 | 18.42 |
| 287 | 500 | 1050 | 1450 | 0 | 500 | 1050 | 1450 | 1550 | 1950 | 2500 | 3000 | 16.55 |
| 288 | 250 | 1150 | 1600 | 0 | 250 | 1150 | 1400 | 1600 | 1850 | 2750 | 3000 | 19.15 |
| 289 | 450 | 950 | 1600 | 0 | 450 | 950 | 1400 | 1600 | 2050 | 2550 | 3000 | 16.62 |
| 290 | 650 | 900 | 1450 | 0 | 650 | 900 | 1450 | 1550 | 2100 | 2350 | 3000 | 17.30 |
| 291 | 200 | 1050 | 1750 | 0 | 200 | 1050 | 1250 | 1750 | 1950 | 2800 | 3000 | 19.03 |
| 292 | 150 | 1100 | 1750 | 0 | 150 | 1100 | 1250 | 1750 | 1900 | 2850 | 3000 | 20.44 |
| 293 | 350 | 900 | 1750 | 0 | 350 | 900 | 1250 | 1750 | 2100 | 2650 | 3000 | 17.14 |
| 294 | 100 | 1000 | 1900 | 0 | 100 | 1000 | 1100 | 1900 | 2000 | 2900 | 3000 | 23.74 |
| 295 | 200 | 350 | 2450 | 0 | 200 | 350 | 550 | 2450 | 2650 | 2800 | 3000 | 45.07 |
| 296 | 300 | 1250 | 1450 | 0 | 300 | 1250 | 1450 | 1550 | 1750 | 2700 | 3000 | 21.35 |
| 297 | 150 | 700 | 2150 | 0 | 150 | 700 | 850 | 2150 | 2300 | 2850 | 3000 | 32.10 |
| 298 | 100 | 600 | 2300 | 0 | 100 | 600 | 700 | 2300 | 2400 | 2900 | 3000 | 39.19 |
| 299 | 250 | 1250 | 1500 | 0 | 250 | 1250 | | 1500 | 1750 | 2750 | 3000 | 22.64 |
| 300 | 550 | 850 | 1600 | 0 | 550 | 850 | 1400 | 1600 | 2150 | 2450 | 3000 | 17.19 |

7.2 Συνολικός Κώδικας

Ο συνολικός κώδικας του ελεγκτή είναι:

```
1. # =====
2. #           Created by System generated on May 11 2020 10:56:19
3. # =====
4. #
5. # Routine Name: Auto-generated_Main_Con_Routine
6. #
7. # In Variables: List your In variables here
8. #           <routine : name :: description>
9. #
10. # Out Variables: List your Out Variables here
11. #           <name :: description>
12. #
13. # =====
14. # Please follow the given template in order to ensure your code is working.
15. # =====
16.
17. from IDLE import *
18. from time import *
19. # =====
20.
```

```

21. # =====
22. #         Created by on May 11 2020 10:29:03
23. # =====
24. #
25. # Routine Name: Boiler_Control
26. #
27. # In Variables: List your In variables here
28. #         <routine : name :: description>
29. #
30. # Out Variables: List your Out Variables here
31. #         <name :: description>
32. #
33. # =====
34. # Please follow the given template in order to ensure your code is working.
35. # =====
36.
37. class Boiler_Control:
38.     status=[1,1,1]
39.     firstStart=[1,1,1]
40.     def __init__(self,boilerNo):
41.         self.No=boilerNo
42.         self.outofservice=0
43.         self.activity=0

```

```
44.     self.Onoff=0
45.     self.valvecheck=0
46.     self.Valve=0
47.     def Sequencing(self,alarm,load):
48.         power=[0.22,0.34,0.44]
49.         Active_boilers=[[0,0,0],[1,0,0],[0,1,0],[0,0,1],[1,1,0],[1,0,1],[0,1,1],[1,1,1]]
50.         if Boiler_Control.status == [1,1,1]:
51.             k=0
52.             i=0
53.             while k==0:
54.                 if load<(Active_boilers[i][0]*power[0]+Active_boilers[i][1]*power[1]+Active_boilers[i][2]*power[2]):
55.                     k=1
56.                     if Active_boilers[i][self.No-1]==1:
57.                         self.Type="On-duty"
58.                     else:
59.                         self.Type="Back-up"
60.                     i+=1
61.                 if self.Type=="Back-up":
62.                     Boiler_Control.firstStart[self.No-1]=1
63.                 if alarm==0 and self.activity==1:
64.                     Boiler_Control.status[self.No-1] = 0
65.                 if sum(Boiler_Control.status)!=3:
66.                     if Boiler_Control.status[self.No-1]==0:
67.                         self.Type="Back-up"
68.                     else:
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
69.         k=0
70.         i=0
71.         while i<8 and k==0:
72.             if load<(Active_boilers[i][0]*power[0]*Boiler_Control.status[0]+Active_boilers[i][1]*power[1]*Boiler_Control.status[1]+Active_boilers[i][2]*power[2]*Boiler_Control.status[2]):
73.                 if Active_boilers[i][self.No-1]==1:
74.                     self.Type="On-duty"
75.                     k=1
76.                 else:
77.                     self.Type="Back-up"
78.                     k=1
79.             i+=1
80.         if k==8:
81.             self.Type="On-duty"
82.     def Automation(self,TempSetpoint,Temp):
83.         self.Temp=Temp
84.         self.TempSetpoint=TempSetpoint
85.         if self.Type=="On-duty":
86.             if self.Onoff==0 and Temp>TempSetpoint+2:
87.                 self.Onoff=1
88.             elif self.Onoff==1 and Temp < TempSetpoint-2:
89.                 self.Onoff=0
90.         else:
91.             self.Onoff=0
92.         if self.Type=="On-duty":
93.             if self.Onoff==0:
```



```
94.         self.activity=1
95.     else:
96.         self.activity=0
97.     def Valves(self,ValveCheck):
98.         self.valvecheck=ValveCheck
99.         if self.Type=="On-duty":
100.             if Boiler_Control.firstStart[self.No-1]==1:
101.                 if sum(Boiler_Control.firstStart)==3:
102.                     if self.Temp>40:
103.                         self.Valve=1
104.                         Boiler_Control.firstStart[self.No-1]=0
105.                 else:
106.                     if self.Temp>self.TempSetpoint-2:
107.                         self.Valve=1
108.                 if sum(Boiler_Control.firstStart)==3 and self.Type=="Back-up":
109.                     self.Valve=1
110.                 if self.Type=="Back-up" and self.Temp<self.TempSetpoint and sum(Boiler_Control.firstStart)!=3:
111.                     self.Valve=0
112.                 if self.Temp>85:
113.                     self.Valve=1
114.                 if self.Valve==1 and self.valvecheck==0 and Boiler_Control.status[self.No-1]==1:
115.                     if self.Temp>self.TempSetpoint+5:
116.                         Boiler_Control.status[self.No-1]=0
117.
118.
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
119.         # endif
120.
121.         # endclass
122.
123.
124.         # =====
           =====
125.         #         Created by on May 11 2020 10:29:09
126.         # =====
           =====
127.         #
128.         # Routine Name: Pumps
129.         #
130.         # In Variables: List your In variables here
131.         #         <routine : name :: description>
132.         #
133.         # Out Variables: List your Out Variables here
134.         #         <name :: description>
135.         #
136.         # =====
           =====
137.         # Please follow the given template in order to ensure your code is working.
138.         # =====
           =====
139.
140.         class Pumps:
141.             def __init__(self,pumpNo):
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
142.         self.pumpNo=pumpNo
143.         self.User_Activity=0
144.         self.Pump=0
145.         def run(self,User_Activity,Temp):
146.             self.Temp=Temp
147.             if self.User_Activity==1 and self.Temp>40:
148.                 self.Pump=1
149.             elif self.User_Activity==0:
150.                 self.Pump=0
151.
152.
153.
154.         # endif
155.
156.     # endclass
157.
158.
159.     # =====
160.     #         Created by on May 11 2020 10:29:31
161.     # =====
162.     #
163.     # Routine Name: PID
164.     #
165.     # In Variables: List your In variables here
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
166.     #         <routine : name :: description>
167.     #
168.     # Out Variables: List your Out Variables here
169.     #         <name :: description>
170.     #
171.     # =====
172.     # Please follow the given template in order to ensure your code is working.
173.     # =====
174.
175.     class PID:
176.         def __init__(self,kp,ki,kd):
177.             import time as dt
178.
179.             self.kp=kp
180.             self.ki=ki
181.             self.kd=kd
182.
183.             self.Previous_error=0
184.             self.Error=0
185.             self.LastTime=dt.time()
186.             self.p=0
187.             self.i=0
188.             self.d=0
189.             self.LastOutpout=0
```

```
190.         self.Start_time=dt.time()
191.
192.     def run(self,InputTemp,Set_Temp,pump_Activity):
193.         self.pump_Activity=pump_Activity
194.         if self.pump_Activity==1:
195.             import time as dt
196.             self.Now_time=dt.time()
197.
198.             self.Error=Set_Temp-InputTemp
199.             self.p=self.kp*self.Error
200.
201.             self.DeltaT=self.Now_time-self.Start_time
202.             self.d=self.kd*(self.Error-self.Previous_error)
203.             if self.DeltaT>0:
204.                 self.i+=self.ki*(self.Error-self.Previous_error)/self.DeltaT
205.             else:
206.                 self.i+=0
207.             self.Output=self.LastOutput+(self.p+self.d+self.i)
208.
209.             if self.Output>10:
210.                 self.Output=10
211.             if self.Output<0:
212.                 self.Output=0
213.             self.LastOutput=self.Output
214.             self.Start_time=self.Now_time
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
215.         self.Previous_error=self.Error
216.     else:
217.         self.Output=0
218.
219.
220.
221.     # enddef
222.
223. # endclass
224.
225.
226. # =====
    =====
227. #         Created by on May 11 2020 10:29:49
228. # =====
    =====
229. #
230. # Routine Name: Users
231. #
232. # In Variables: List your In variables here
233. #         <routine : name :: description>
234. #
235. # Out Variables: List your Out Variables here
236. #         <name :: description>
237. #
238. # =====
    =====
```

```

239.     # Please follow the given template in order to ensure your code is working.
240.     # =====
241.
242.     class Users():
243.         Totalload=[0,0,0,0,0,0,0,0,0]
244.         def __init__(self,userNo,userload):
245.             self.userNo=userNo
246.             self.userload=userload
247.         def load(self,activity):
248.             self.activity=activity
249.             Users.Totalload[self.userNo-1]=self.activity*self.userload
250.
251.
252.         boiler1 = Boiler_Control(1)
253.         boiler2 = Boiler_Control(2)
254.         boiler3 = Boiler_Control(3)
255.         Pump1 = Pumps(1)
256.         Pump2 = Pumps(2)
257.         Pump3 = Pumps(3)
258.         Pump4 = Pumps(4)
259.         Pump5 = Pumps(5)
260.         Pump6 = Pumps(6)
261.         Pump7 = Pumps(7)
262.         Pump8 = Pumps(8)
263.         Pump9 = Pumps(9)

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | |
|------|---|
| 264. | Pump10 = Pumps(10) |
| 265. | User1 = Users(1,0.03) |
| 266. | User2 = Users(2,0.06) |
| 267. | User3 = Users(3,0.09) |
| 268. | User4 = Users(4,0.12) |
| 269. | User5 = Users(5,0.15) |
| 270. | User6 = Users(6,0.18) |
| 271. | User7 = Users(7,0.21) |
| 272. | User8 = Users(7,0.21) |
| 273. | User9 = Users(7,0.21) |
| 274. | User10 = Users(7,0.21) |
| 275. | PID1 = PID(9,3,10) |
| 276. | PID2 = PID(9,3,10) |
| 277. | PID3 = PID(9,3,10) |
| 278. | PID4 = PID(9,3,10) |
| 279. | PID5 = PID(9,3,10) |
| 280. | PID6 = PID(9,3,10) |
| 281. | PID7 = PID(9,3,10) |
| 282. | PID8 = PID(9,3,10) |
| 283. | PID9 = PID(9,3,10) |
| 284. | PID10 = PID(9,3,10) |
| 285. | |
| 286. | |
| 287. | # In this section all the functions of the project will run in a loop |
| 288. | # You can modify them with respect to the Python code rules |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
289.     if 1:
290.         User1.load(Slave.readChannel(1,0))
291.         User2.load(Slave.readChannel(2,0))
292.         User3.load(Slave.readChannel(3,0))
293.         User4.load(Slave.readChannel(4,0))
294.         User5.load(Slave.readChannel(5,0))
295.         User6.load(Slave.readChannel(6,0))
296.         User7.load(Slave.readChannel(7,0))
297.         User8.load(Slave.readChannel(8,0))
298.         User9.load(Slave.readChannel(9,0))
299.         User10.load(Slave.readChannel(10,0))
300.
301.     def Comp(TempOut):
302.         s=2.1
303.         Tc=20+3*s*(20-TempOut)**(2/3)
304.         Tc=round(Tc,1)
305.         return Tc
306.
307.     Tcomp=Comp(Slave.readChannel(1,0))
308.
309.
310.     boiler1.Sequencing(Slave.readChannel(1,0),sum(Users.Totalload))
311.     boiler2.Sequencing(Slave.readChannel(2,0),sum(Users.Totalload))
312.     boiler3.Sequencing(Slave.readChannel(3,0),sum(Users.Totalload))
313.     boiler1.Automation(Tcomp,Slave.readChannel(1,0))#AIN BOILER1
```

| | |
|------|---|
| 314. | boiler2.Automation(Tcomp,Slave.readChannel(2,0))#AIN BOILER2 |
| 315. | boiler3.Automation(Tcomp,Slave.readChannel(3,0))#AIN BOILER3 |
| 316. | boiler1.Valves(Slave.readChannel(8,0))#Din boiler1 valve |
| 317. | boiler2.Valves(Slave.readChannel(4,0))#Din boiler2 valve |
| 318. | boiler3.Valves(Slave.readChannel(5,0))#Din boiler3 valve |
| 319. | Pump1.run(User1.activity,Slave.readChannel(2,0))#AIN SUPPLY USER 1 |
| 320. | Pump2.run(User2.activity,Slave.readChannel(3,0))#AIN SUPPLY USER 2 |
| 321. | Pump3.run(User3.activity,Slave.readChannel(4,0))#AIN SUPPLY USER 3 |
| 322. | Pump4.run(User4.activity,Slave.readChannel(5,0))#AIN SUPPLY USER 4 |
| 323. | Pump5.run(User5.activity,Slave.readChannel(1,0))#AIN SUPPLY USER 5 |
| 324. | Pump6.run(User6.activity,Slave.readChannel(2,0))#AIN SUPPLY USER 6 |
| 325. | Pump7.run(User7.activity,Slave.readChannel(3,0))#AIN SUPPLY USER 7 |
| 326. | Pump8.run(User8.activity,Slave.readChannel(4,0))#AIN SUPPLY USER 7 |
| 327. | Pump9.run(User9.activity,Slave.readChannel(5,0))#AIN SUPPLY USER 7 |
| 328. | Pump10.run(User10.activity,Slave.readChannel(6,0))#AIN SUPPLY USER 7 |
| 329. | |
| 330. | PID1.run(Slave.readChannel(2,0)-Slave.readChannel(4,0),15,Pump1.Pump)#AIN SUPPLY- AIN RETURN USER1 |
| 331. | PID2.run(Slave.readChannel(3,0)-Slave.readChannel(5,0),15,Pump2.Pump)#AIN SUPPLY- AIN RETURN USER2 |
| 332. | PID3.run(Slave.readChannel(4,0)-Slave.readChannel(1,0),15,Pump3.Pump)#AIN SUPPLY- AIN RETURN USER3 |
| 333. | PID4.run(Slave.readChannel(5,0)-Slave.readChannel(2,0),15,Pump4.Pump)#AIN SUPPLY- AIN RETURN USER4 |
| 334. | PID5.run(Slave.readChannel(1,0)-Slave.readChannel(3,0),15,Pump5.Pump)#AIN SUPPLY- AIN RETURN USER5 |
| 335. | PID6.run(Slave.readChannel(2,0)-Slave.readChannel(4,0),15,Pump6.Pump)#AIN SUPPLY- AIN RETURN USER6 |

```

336.          PID7.run(Slave.readChannel(3,0)-Slave.readChannel(5,0),15,Pump7.Pump)#AIN SUPPLY-
      AIN RETURN USER7
337.          PID8.run(Slave.readChannel(3,0)-Slave.readChannel(5,0),15,Pump8.Pump)#AIN SUPPLY-
      AIN RETURN USER7
338.          PID9.run(Slave.readChannel(3,0)-Slave.readChannel(5,0),15,Pump9.Pump)#AIN SUPPLY-
      AIN RETURN USER7
339.          PID10.run(Slave.readChannel(3,0)-Slave.readChannel(5,0),15,Pump10.Pump)#AIN SUPPLY-
      AIN RETURN USER7
340.
341.
342.
343.
344.          # Output Variables section
345.          Slave.writeChannel(1,boiler1.activity)
346.          Slave.writeChannel(2,boiler2.activity)
347.          Slave.writeChannel(3,boiler3.activity)
348.          Slave.writeChannel(4,boiler1.Valve)
349.          Slave.writeChannel(5,boiler2.Valve)
350.          Slave.writeChannel(6,boiler3.Valve)
351.
352.          Slave.writeChannel(1,Pump1.Pump)
353.          Slave.writeChannel(2,Pump1.Pump)
354.          Slave.writeChannel(3,Pump1.Pump)
355.          Slave.writeChannel(4,Pump4.Pump)
356.          Slave.writeChannel(5,Pump5.Pump)
357.          Slave.writeChannel(6,Pump6.Pump)
358.          Slave.writeChannel(7,Pump7.Pump)

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | |
|------|-------------------------------------|
| 359. | Slave.writeChannel(8,Pump8.Pump) |
| 360. | Slave.writeChannel(9,Pump9.Pump) |
| 361. | Slave.writeChannel(10,Pump10.Pump) |
| 362. | |
| 363. | Slave.writeChannel(1,PID1.Outpout) |
| 364. | Slave.writeChannel(2,PID1.Outpout) |
| 365. | Slave.writeChannel(3,PID1.Outpout) |
| 366. | Slave.writeChannel(4,PID1.Outpout) |
| 367. | Slave.writeChannel(5,PID1.Outpout) |
| 368. | Slave.writeChannel(6,PID1.Outpout) |
| 369. | Slave.writeChannel(7,PID1.Outpout) |
| 370. | Slave.writeChannel(8,PID1.Outpout) |
| 371. | Slave.writeChannel(9,PID1.Outpout) |
| 372. | Slave.writeChannel(10,PID1.Outpout) |

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ANAX Controller Documentation, Hydronic P. Co., Κοζάνη, 2020
- CIBSE, Heating Systems and Their Control, General Information Report NO 40, 1996
- Nick Thomopoulos, Essentials of Monte Carlo Simulation: Statistical Methods for Building Simulation Models, 2013
- Recknagel-Sprenger, Θέρμανση και κλιματισμός, 59η έκδοση
- Κατσαπράκης Δημήτριος, Μονιάκης Μύρων, Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός, Εκδόσεις Κάλλιπος, 2015
- Κουτσουκέρης Ν.Μιχαήλ, Μελέτη και κατασκευή ελεγκτή θέρμανσης με λειτουργία αντιστάθμισης εξωτερικής θερμοκρασίας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, 2015
- Μ. Γκιόρδας, 1992
- Πανάρας Γ., Σημειώσεις Μαθήματος Εργαστήριο ΑΠΕ. ΠΔΜ, 2018
- Πανάρας Γ., Σημειώσεις Μαθήματος ΘΨΚ. ΠΔΜ, 2018
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών, Εκπαιδευτικό υλικό, Α' Έκδοση, 2011
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 Τεχνική Οδηγία, 2012
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 Τεχνική Οδηγία, 2017
- Φαντάκης Π., Αντιστάθμιση, Πλατφόρμα «ΑΙΣΩΠΟΣ», Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής
- <https://assuredautomation.com/> [Ηλεκτρονικό]
- <https://levitostasia.weebly.com/> [Ηλεκτρονικό]
- <https://phdcentre.com/>, Fundamentals of HVAC Controls [Ηλεκτρονικό]