



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ
ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ
ΣΥΣΚΕΥΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΘΙΩΤΗ ΜΑΡΙΑ – ΑΓΓΕΛΙΚΗ



ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



**Ανάλυση και Προσομοίωση Υδραυλικής Εξισορρόπησης Δικτύου
Σωληνώσεων Συστημάτων HVAC σε Εργαστηριακή Συσκευή**

Η Διπλωματική Εργασία της
Βαθιώτης Μαρίας – Αγγελικής

Επιβλέπων Καθηγητής:

Νάζος Αντώνιος

Τριμελής Επιτροπή	
Μουστρήs Κωνσταντίνος, Αναπλ.Καθηγητής	
Νάζος Αντώνιος, Λέκτορας Εφαρμογών	
Τσίτσης Χρήστος, ΕΔΙΠ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η ΜΑΡΙΑ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΒΑΘΙΩΤΗ κάτωθι υπογεγραμμένος/η
του ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, με αριθμό μητρώου
45031 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της
Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται την έννοια της υδραυλικής εξισορρόπησης συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού. Αυτή αφορά στην ανάλυση και προσομοίωση της υδραυλικής εξισορρόπησης ενός δικτύου σωληνώσεων τέτοιας μορφής συστημάτων, σε διάταξη εργαστηρίου. Ένα σωστά ισορροπημένο σύστημα ορίζεται ως εξής: «Ένα σωστά ισορροπημένο υδραυλικό σύστημα είναι αυτό, το οποίο παρέχει συνεχώς τον κατάλληλο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας σε κάθε χώρο, ο οποίος εξυπηρετείται από αυτό, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η θερμική άνεση των ενοίκων». Επιπλέον, σκοπός της εξισορρόπησης είναι η αποφυγή προβλημάτων που δημιουργούνται από τη μη σωστή κατανομή της θερμότητας στους διάφορους εξυπηρετούμενους χώρους, όπως είναι οι ρωγμές που μπορεί να εμφανιστούν στις σωληνώσεις, η εμφάνιση υγρασίας στην τοιχοποιία, τα προβλήματα υγείας στους ενοίκους κλπ. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε εξομοιώνει υδραυλικό μονοσωλήνιο σύστημα θέρμανσης με τέσσερις κλάδους, οι οποίοι αφορούν τέσσερις ξεχωριστούς θερμαινόμενους χώρους. Από το απαιτούμενο θεωρητικό θερμικό φορτίο του κάθε χώρου, υπολογίζεται η παροχή θερμού νερού που απαιτείται για τον κάθε χώρο. Η υδραυλική εξισορρόπηση του συστήματος πραγματοποιείται με τη χρήση της θεωρητικά υπολογιζόμενης απαιτούμενης παροχής θερμού νερού του κάθε κλάδου. Στο πείραμα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της πτώσης πίεσης των κλάδων στη στραγγαλιστική βαλβίδα καθενός από αυτούς, των παροχών για τις διάφορες θέσεις ρύθμισης των στραγγαλιστικών βαλβίδων χωρίς εξισορρόπηση του συστήματος. Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων του εξισορροπημένου και μη εξισορροπημένου συστήματος. Η χρήση αυτοματοποιημένου συστήματος εξισορρόπησης ελεγχόμενου από κεντρική μονάδα, συμβάλλει στην εύρυθμη λειτουργία του συστήματος, την εξοικονόμηση ενέργειας, την άνεση των ενοίκων και την αποτροπή της αυθαίρετης παρέμβασης για τη ρύθμιση αυτού από τους χρήστες.

ABSTRACT

This diploma thesis deals the concept of hydraulic balancing of heating, ventilation and air conditioning systems. This concerns the analysis and simulation of the hydraulic balancing of a network of piping of such systems, in a laboratory layout. properly balanced system is defined as follows: "A properly balanced hydraulic system is this, which continuously provides the appropriate rate of heat transfer in each area, which is served by it, so as to ensure the thermal comfort of the occupants." In addition, the purpose of balancing is to avoid problems created by the improper distribution of heat in the various areas served, such as cracks that may appear in the pipes, the appearance of moisture in the masonry, health problems in the occupants, etc. The experimental device used simulates a hydraulic monotube heating system with four branches, which concern four separate heated areas. From the required theoretical thermal load of each area, the hot water supply required for each area is calculated. The hydraulic balancing of the system is carried out using the theoretically calculated required hot water supply of each branch. In the experiment, measurements were made of the pressure drop of the branches in the ballast valve of each of them, the benefits for the various adjustment positions of the ballasts without balancing the system. Finally, the results of the balanced and unbalanced system were compared. The use of an automated balancing system controlled by a central unit, contributes to the proper functioning of the system, energy savings, the comfort of the occupants and the prevention of arbitrary intervention for its regulation by the users.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Νάζο καθηγητή του ΠΑΔΑ τομέα των Μηχανολόγων Μηχανικών, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για τη βοήθειά του για την ολοκλήρωσή της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του συνεργάτες του τομέα για τη συμβολή και τη βοήθειά τους στη διεξαγωγή της μελέτης μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... 10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Βασικές έννοιες της Μηχανικής των Ρευστών και εξισώσεις.....

12

1.1 Ορισμός ρευστού.....

12

1.2 Ιδιότητες των ρευστών..... 14

1.3 Είδη της ροής.....

16

1.4 Εξίσωση συνεχείας.....

18

1.5 Εξίσωση Euler.....

19

1.6 Εξίσωση Bernoulli.....

20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Κλειστοί αγωγοί υπό πίεση.....

21

2.1 Βασικές εξισώσεις μόνιμης ροής.....

21

2.2 Αριθμός Reynolds.....

23

2.3 Σωλήνες εν σειρά.....

25

2.4 Σωλήνες εν παραλλήλω.....

26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Συστήματα HVAC με νερό..... 27

3.1 Έννοια συστημάτων HVAC.....

27

3.2 Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων HVAC.....

28

3.3 Συστήματα θέρμανσης χώρων.....

31

3.4 Τεχνικές επιλογές συστημάτων κλιματισμού.....

33

3.4.1 Κεντρικά συστήματα αέρα.....

33

3.4.2 Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού.....

35

3.4.3 Μονάδες κλιματισμού νερού (fancoils).....

37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Εξοικονόμηση ενέργειας σε συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού με νερό....

38

4.1 Λειτουργία συστήματος θέρμανσης.....

38

4.2 Λειτουργία συστήματος ψύξης.....

39

4.3 Απλά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας.....

40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Σχεδίαση συστήματος HVAC με νερό.....

42

5.1 Συστήματα διανομής και βαλβίδες (Δομή συστήματος).....

42

5.2 Εξισορρόπηση.....

45

5.2.1 Η επίδραση της χαμηλότερης ισορροπημένης διαφοράς πίεσης.....

46

5.2.2 Χαρακτηριστική καμπύλη των εκπομπών θερμότητας.....

47

5.2.3 Κατηγοριοποίηση συστημάτων.....

49

5.3 Συστήματα ελέγχου HVAC.....

50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Υδραυλική εξισορρόπηση.....

52

6.1 Εξισορρόπηση υδραυλικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης.....

52

6.2 Συνέπειες μη ισορροπημένων υδραυλικών συστημάτων.....

53

6.3 Σκοπός της υδραυλικής εξισορρόπησης.....

55

6.4 Τι χρειάζεται για ένα ισορροπημένο υδραυλικό σύστημα.....

56

6.5 Υδραυλική εξισορρόπηση και σταθεροποίηση των διαφορικών πιέσεων..... 57

6.5.1 Η χαρακτηριστική καμπύλη της βαλβίδας ελέγχου.....

58

6.5.2 Αρχή λειτουργίας βαλβίδας ελέγχου.....

59

6.5.3 Η επίδραση της πτώσης πίεσης λόγω της αντίστασης του σωλήνα.....

60

6.5.4 Η διαφορική πίεση αλλάζει με το μέσο φορτίο στην εγκατάσταση.....

62

6.5.5 Λύσεις για την αντιμετώπιση τοπικών προβλημάτων.....

63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

Πειραματική διαδικασία.....
64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

Αποτελέσματα και σχολιασμοί.....
73

8.1 Μετρήσεις.....
73

8.1.1 Πλήρως ανοιχτές βαλβίδες.....
73

8.1.2 Υπολογισμός θεωρητικών παροχών..... 74

8.1.3 Πραγματοποίηση υδραυλικής εξισορρόπησης.....
75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

Συμπεράσματα και προτάσεις.....
89

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....
94

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις διάφορες εγκαταστάσεις θέρμανσης παρουσιάζονται παράπονα εκ μέρους των ενοίκων. Τα προβλήματα που προκύπτουν είναι :

- κάποιοι χώροι ποτέ να μην φτάνουν την επιθυμητή θερμοκρασία, ή
- η θερμοκρασία των χώρων να μεταβάλλεται κυρίως στα μεσαία και χαμηλά φορτία, ακόμα κι αν χρησιμοποιούνται εξειδικευμένοι αυτοματοποιημένοι ελεγκτές, ή
- όσο επαρκείς κι αν είναι οι μονάδες παραγωγής θερμότητας (π.χ. λέβητες), να μην επιτυγχάνεται η μετάδοση του απαιτούμενου θερμικού φορτίου, κυρίως μετά από διακοπή λόγω σαββατοκύριακου/αργιών ή ωρών μη λειτουργίας των χώρων.

Για να επιτευχθούν οι επιθυμητές παροχές χρειάζεται να γίνει υδραυλική εξισορρόπηση του συστήματος και αυτό για τρεις λόγους:

1. Οι μονάδες παραγωγής θερμότητας πρέπει να είναι εξισορροπημένες για να επιτευχθεί η παροχή σχεδιασμού, και για να είναι οικονομική η παροχή αυτή χρειάζεται να τηρείται σταθερή.
2. Το σύστημα διανομής (κυκλοφορητής κλπ) πρέπει να είναι εξισορροπημένο για να εξασφαλίζεται ότι όλοι οι εκπομποί θερμότητας θα λαμβάνουν την απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας σχεδιασμού.
3. Οι βρόγχοι ελέγχου πρέπει να είναι εξισορροπημένοι προκειμένου οι συνθήκες λειτουργίας των βαλβίδων ελέγχου να είναι οι απαιτούμενες.

Η χρήση των στραγγαλιστικών βαλβίδων για την εξισορρόπηση έχουν το πλεονέκτημα της σταθεροποίησης της διαφοράς πίεσεως και την αποφυγή προβλημάτων αλληλεπίδρασης. Αυτό έχει σαν όφελος τα εξής: σταθεροποιημένο και ακριβή έλεγχο διαμόρφωσης, ελαχιστοποίηση θορύβου από τις βαλβίδες ελέγχου, απλοποιημένη εξισορρόπηση και θέση σε λειτουργία της εγκατάστασης.

Σε ένα μη εξισορροπημένο σύστημα σε περίοδο χαμηλών θερμοκρασιών, οι χώροι κοντά στο λέβητα λαμβάνουν υψηλό θερμικό φορτίο και είναι πολύ θερμοί, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στους πιο απομακρυσμένους χώρους που είναι ψυχροί. Οι ένοικοι των ψυχρών απομακρυσμένων χώρων αυξάνουν τη θερμοκρασία, οπότε σταματούν οι διαμαρτυρίες, σε αντίθεση με τους ενοίκους των κοντινότερων χώρων που ανοίγουν τα παράθυρα. Κατά τη διάρκεια υψηλών θερμοκρασιών ισχύει το αντίστροφο.

Η διαφορά της θερμοκρασίας κατά $+1^{\circ}\text{C}$ σε ένα χώρο σε σχέση με την επιθυμητή, σπάνια δημιουργεί διαφορά στο αίσθημα άνεσης των ενοίκων ή στην κατανάλωση ενέργειας. Στην περίπτωση ενός κτηρίου, η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό, π.χ. ένας βαθμός πάνω από τους 20°C , αυξάνει το κόστος θέρμανσης τουλάχιστον κατά 5% έως 8% .

Κάποιοι πιστεύουν ότι αρκεί η ένδειξη των παροχών στα σχέδια για να επιτευχθούν αυτές και στις πραγματικές σωληνώσεις του συστήματος. Προκειμένου να συμβεί αυτό πρέπει να γίνει μέτρηση ή ρύθμιση των παροχών. Για αυτό το λόγο, η υδραυλική εξισορρόπηση καθίσταται απαραίτητη.

Δεν επαρκεί μόνο ο σχεδιασμός ενός συστήματος θέρμανσης (λέβητας, σωληνώσεις, αντλίες κλπ.), προκειμένου να καλυφθούν οι μέγιστες θερμικές ανάγκες. Πάντα μία λάθος διαστασιολόγηση ενός εξαρτήματος ή βαλβίδας κλπ., έχει σαν αποτέλεσμα τη μη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος κα κατ'επέκταση της μη βέλτιστης θερμικής άνεσης στο χώρο. Και ένας επιπλέον παράγοντας που δημιουργεί προβλήματα, όσο σωστή και αν είναι η σχεδίαση, είναι ότι υπάρχει συμβιβασμός στην επιλογή των διαφόρων συσκευών από τις παρεχόμενες στο εμπόριο.

Η διαδικασία της υδραυλικής εξισορρόπησης εξασφαλίζει ότι τα όποια προβλήματα που μπορούν να προκύψουν διορθώνονται πριν την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης. Τα όργανα υδραυλικής εξισορρόπησης, τα οποία μπορούν να μετρούν τις διάφορες πιέσεις και τις παροχές του νερού, λειτουργούν σαν εργαλεία αντιμετώπισης προβλημάτων καθ'όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.

Κατόπιν τούτων το σύστημα καθίσταται ικανό να παρέχει τα μέγιστα θερμικά φορτία σε όλους του χώρους και υπό όλες τις συνθήκες : είτε όταν όλοι οι χώροι χρειάζονται το μέγιστο φορτίο υπολογισμού (οπότε οι διάφορες βαλβίδες στραγγαλισμού είναι πλήρως ανοιχτές) είτε όταν κάποιοι χώροι χρειάζονται μερικό φορτίο και ίσως κάποιοι μηδενικό (οπότε κάποιες βαλβίδες είναι μερικώς και κάποιες πλήρως κλειστές). Με τον τρόπο αυτό να επιτυγχάνεται, σε όλες τις συνθήκες, η θερμική άνεση των ενοίκων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

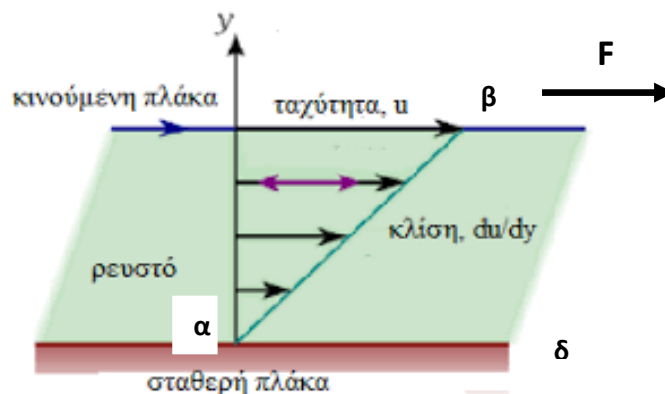
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Η Μηχανική των Ρευστών αποτελεί τη βάση πολλών τεχνικών επιστημών και αποτελείται από διάφορα ειδικότερα θέματα, όπως είναι η αεροδυναμική, η ναυπηγική, υδραυλική και η δυναμική των αερίων. Είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη στατική, κινηματική και δυναμική των ρευστών. Οι νόμοι σύμφωνα με τους οποίους εφαρμόζεται, είναι ο Νόμος του Νεύτωνα, ο πρώτος και δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής, οι εξισώσεις καταστάσεως, ο νόμος ιξώδους του Νεύτωνα, η αρχή διατήρησης της ύλης.

Επίσης, στις μελέτες ροής των ρευστών σε κλειστούς ή ανοιχτούς αγωγούς σημαντικοί παράγοντες είναι το ιξώδες και η πυκνότητα. Οι επιδράσεις επιφανειακής τάσης είναι σημαντικές στο σχηματισμό σταγονιδίων στη ροή μικρής δέσμης ακόμα και όταν εμφανίζονται διαχωριστικές επιφάνειες υγρών, στερεών και αερίων, καθώς επίσης και στο σχηματισμό τριχοειδών κυμάτων.

1.1 Ορισμός Ρευστού

Το ρευστό είναι η ουσία εκείνη που όταν δεχθεί μία διατμητική τάση, είτε μικρή είτε μεγάλη, συνεχώς παραμορφώνεται, δηλαδή δεν μπορεί να παραμείνει σε κατάσταση στατικής ισορροπίας. Διατμητική δύναμη είναι η δύναμη που δρα κατά την επαφόμενη μιας επιφάνειας, και η οποία αν διαιρεθεί με το εμβαδό της επιφάνειας αποτελεί τη διατμητική τάση που επιδρά στην επιφάνεια. Και τελικά, διατμητική τάση σε ένα σημείο είναι το όριο του λόγου της διατμητικής δύναμης προς το εμβαδό, όταν αυτό τείνει στο μηδέν. Το ρευστό που είναι σε άμεση επαφή με το τοίχωμα ενός στερεού έχει την ίδια ταχύτητα με το τοίχωμα, δηλαδή στο τοίχωμα δεν έχουμε ολίσθηση. Αυτό αποτελεί πειραματικό δεδομένο που έχει επαληθευθεί με διάφορα ρευστά και τοιχώματα.



Σχήμα 1.1 Ορισμός ρευστού

Στο παραπάνω σχήμα 1.1 παρουσιάζεται η εικόνα μίας ουσίας που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο πλάκες, η άνω κινούμενη και η κάτω σταθερή, με την μεταξύ τους απόσταση να είναι μικρή. Η εφαρμογή της δύναμης F στην άνω κινούμενη πλάκα δημιουργεί μία διατμητική τάση $\tau = F/A$, η οποία ασκείται στην ουσία που είναι μεταξύ των πλακών, όπου A είναι το εμβαδό της άνω πλάκας. Αν η άνω πλάκα εξαιτίας της δύναμης F , όσο μικρή και αν είναι αυτή, κινηθεί με μία σταθερή ταχύτητα που δεν είναι μηδέν συμπεραίνεται ότι η ουσία μεταξύ των πλακών είναι ένα ρευστό. Επίσης, αυτό που έχει μελετηθεί σύμφωνα με το συγκεκριμένο πείραμα, είναι η μετακίνηση κάθε μορίου του ρευστού από τη μία θέση στην επόμενη, καθώς αυτό κινείται παράλληλα στην πλάκα, με την ταχύτητα να μεταβάλλεται ομοιόμορφα, έχοντας τιμή 0 στην κάτω πλάκα και καταλήγοντας στην άνω με τιμή U .

Είναι αποδεδειγμένο από τα πειράματα που έχουν διεξαχθεί ότι η δύναμη F είναι ανάλογη του εμβαδού A και αντιστρόφως ανάλογη του πάχους t , με άλλες παραμέτρους όντας σταθερές. Συγκεκριμένα, ο τύπος που το εκφράζει είναι ο κάτωθι:

$$F = \mu \frac{A \cdot U}{t} \quad (1.1.1)$$

Όπου μ είναι ένας συντελεστής διαφορετικός για κάθε ρευστό. Με $\tau = F/A$ να είναι η διατμητική τάση, τότε προκύπτει ότι:

$$\tau = \mu \frac{U}{t} \quad (1.1.2)$$

Ο λόγος U/t είναι η γωνιακή ταχύτητα (du/dy , μεταβολή ταχύτητας ως προς το μήκος) της γραμμής ab ή η ταχύτητα γωνιακής παραμορφώσεως του ρευστού, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία η γωνία β μειώνεται. Η εξίσωση:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.1.3)$$

δίνει τη σχέση διατμητικής τάσης και της γωνιακής ταχύτητας παραμορφώσεως για μία μονοδιάστατη ροή ρευστού. Ο συντελεστής μ ονομάζεται ιξώδες ρευστού και η παραπάνω διαφορική εξίσωση είναι ο νόμος ιξώδους του Νεύτωνα.

Τα ρευστά διαίρονται σε Νευτώνεια και μη Νευτώνεια. Στα Νευτώνεια ρευστά η διατμητική τάση και η ταχύτητα παραμορφώσεως έχουν γραμμική σχέση, με τον συντελεστή του ιξώδους μ να είναι σταθερός, ενώ στα μη Νευτώνεια η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική. Όταν το ιξώδες είναι μηδενικό τότε προκύπτει και η διατμητική τάση μηδέν, ανεξαρτήτως κίνησης του ρευστού. Εάν θεωρηθεί και ασυμπίεστο τότε ονομάζεται ιδανικό ρευστό.

1.2 Ιδιότητες των ρευστών

Στη Μηχανική των Ρευστών οι τρεις βασικές θερμοδυναμικές ιδιότητες είναι η θερμοκρασία T , η πυκνότητα ρ και η πίεση p . Κατά τη μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς των ρευστών αξιοποιούνται η εσωτερική ενέργεια u , η ενθαλπία h , η ειδική θερμότητα s και η τάση των ατμών p_u . Τέλος, η ιδιότητα που παίζει σημαντικότερο ρόλο στη ροή των ρευστών είναι το ιξώδες μ . Οι παραπάνω τιμές των ιδιοτήτων της ροής των ρευστών, σχετίζονται μεταξύ τους, όπου αν είναι γνωστές οι τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσης, είναι εφικτή και η εύρεση των αντίστοιχων τιμών και των υπόλοιπων ιδιοτήτων των ρευστών.

Παρ'όλα αυτά, όταν πραγματοποιείται αλλαγή στη συμπεριφορά του ρευστού, για παράδειγμα από υγρό να γίνει αέριο (βρασμός) ή αντίστροφα (υγροποίηση), τότε η εξάρτηση από τη θερμοκρασία και την πίεση παύει να υπάρχει. Για παράδειγμα, το νερό όταν βράζει έχει σταθερή θερμοκρασία και πίεση ($T=373\text{K}$ και $P=101,3\text{kPa}$), ενώ όλες οι υπόλοιπες ιδιότητες παρουσιάζουν μεταβολές. Γενικά, αυτό που έχει παρατηρηθεί είναι ότι το κάθε ρευστό έχει διαφορετικές ιδιότητες. Στις περιπτώσεις αυτές, το ρευστό σύστημα αποτελείται από δύο φάσεις, για αυτό είναι απαραίτητο να είναι γνωστές οι ιδιότητες και των δύο φάσεων. Γενικά, αν δε διευκρινίζεται η περιεκτικότητα των διαλυμάτων, δεν είναι ομογενή, τότε θεωρείται ότι το ρευστό σύστημα είναι μίας φάσης.

Το ιξώδες

Το ιξώδες μ είναι η ιδιότητα του ρευστού να αντέχει στη διάτμηση. Από το νόμο ιξώδους του Νεύτωνα, ορίζεται ότι η διατμητική τάση είναι ανάλογη του ιξώδους για δεδομένη γωνιακή ταχύτητα παραμορφώσεως. Από πειράματα που έχουν διεξαχθεί έχει παρατηρηθεί ότι όταν η θερμοκρασία αυξάνεται το ιξώδες του αερίου αυξάνεται, σε αντίθεση με αυτό των υγρών που μειώνεται. Η διαφορετική αυτή αντιμετώπιση απέναντι στην αλλαγή της θερμοκρασίας οφείλεται στη συνοχή του ρευστού και τη μεταφορά της μοριακής ορμής. Στα υγρά οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων είναι πιο μικρές, με αποτέλεσμα οι δυνάμεις συνοχής να είναι πιο μεγάλες από αυτές των αερίων. Το ιξώδες των υγρών εξαρτάται από τις δυνάμεις αυτές και συνεπώς με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η τιμή του, εφόσον και οι δυνάμεις αυτές μειώνονται εξίσου. Αντιθέτως, στα αέρια οι δυνάμεις συνοχής είναι πολύ μικρές και η αντίσταση σε διάτμηση οφείλεται περισσότερο στη μοριακή ορμή.

Πέρα από το μ που αποτελεί το απόλυτο ή δυναμικό ιξώδες, υπάρχει και το κινηματικό ιξώδες ν , το οποίο εξαρτάται από το δυναμικό ιξώδες και την πυκνότητα της μάζας. Το ν συναντάται σε πολλές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στον υπολογισμό του αριθμού Reynolds.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Πυκνότητα και Ειδικό Βάρος

Ως πυκνότητα ρ ενός ρευστού ορίζεται η μάζα του ανά μονάδα όγκου. Για τον ορισμό της πυκνότητας σε ένα σημείο, διαρείται η μάζα του ρευστού Δm διά του όγκου ΔU , από τον οποίο περικλείεται, και χρησιμοποιείται το όριο όταν το ΔU τείνει στο ε^3 , όπου το ε είναι μεγάλο σε σχέση με την μεταξύ απόσταση των μορίων. Σε πίεση 1 ατμόσφαιρας και για 4°C, η πυκνότητα του νερού είναι 1000 kg/m³.

$$\rho = \lim_{\Delta U \rightarrow \varepsilon^3} \frac{\Delta m}{\Delta U} \quad (1.2.1)$$

Το αντίστροφο της πυκνότητας ρ ορίζεται ως ο ειδικός όγκος u , δηλαδή ο όγκος που καταλαμβάνει η μονάδα μάζας του ρευστού.

$$u = \frac{1}{\rho} \quad (1.2.2)$$

Το ειδικό βάρος γ ενός σώματος είναι το βάρος ανά μονάδα όγκου, το οποίο διαφέρει από τόπο σε τόπο λόγω του ότι εξαρτάται από τη βαρύτητα.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1.2.3)$$

Είναι μία χρήσιμη ιδιότητα όσον αφορά τη στατική ρευστών ή υγρών με ελεύθερη επιφάνεια.

Συμπιεστότητα

Έχοντας κατηγοριοποιήσει τα ρευστά σε ασυμπίεστα – υγρά και συμπίεστα – αέρια, έχει διευκρινιστεί ότι δεν υπάρχει απόλυτα ασυμπίεστο υλικό, κάτι που αν υπήρχε θα σήμαινε ότι υπάρχει έλλειψη ελαστικότητας. Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται μέσα από τα συνεκτικά στερεά και υγρά, κάτι το οποίο αποδεικνύει ότι τα σώματα παρουσιάζουν ελαστικότητα.



Σχήμα 1.2.1 Συμπιεστότητα σε αέρια και υγρά

Σε ένα συνεκτικό στερεό όπου θα ασκηθεί επαρκής δύναμη, τα μόριά του υφίστανται μία μικρή μετακίνηση. Αυτά δεν εγκαταλείπουν την αρχική τους θέση, αλλά μετακινούνται ελάχιστα πραγματοποιώντας το φαινόμενο της ελαστικής ή της πλαστικής παραμόρφωσης.

Επίσης, ανάλογα με τη φορά της ασκούμενης δύναμης δημιουργούνται οι εξής παραμορφώσεις: κάμψη, θλίψη, εφελκυσμός, λυγισμός, ακόμα και στρέψη στην περίπτωση που υπάρχει ροπή στρέψης.

Στα ρευστά σώματα τα μόρια κινούνται χωρίς να έχουν μία συγκεκριμένη θέση στο χώρο. Με την αύξηση της πίεσης, μίας θλιπτικής δύναμης στη μονάδα της επιφάνειας, η απόσταση μειώνεται μεταξύ των μορίων, και κατ' επέκταση ο όγκος τους. Η αύξηση του όγκου στα αέρια είναι πιο έντονη σε σχέση με αυτή των υγρών, η οποία είναι ελάχιστη. Η μείωση του όγκου των ρευστών εξαρτάται από την απόσταση των μορίων, η οποία διαφέρει από σώμα σε σώμα. Αυτή η συμπεριφορά των σωμάτων ως προς την αύξηση της πίεσης εκφράζεται με την συμπίεσιότητα.

1.3 Είδη της ροής

Η ροή μπορεί να χαρακτηριστεί με διάφορους τρόπους ανάλογα τη μορφή της, όπως στρωτή ή τυρβώδης, αντιστρεπτή ή μη αντιστρεπτή, μόνιμη ή μεταβαλλόμενη, ομοιόμορφη ή ανομοιόμορφη.

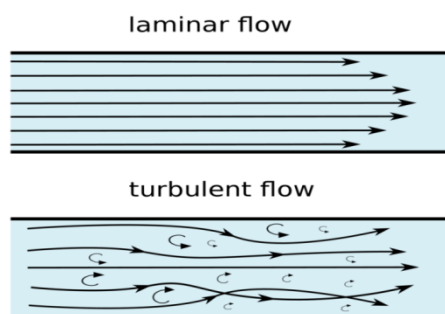
Η στρωτή ροή υπόκειται στο νόμο ιξώδους του Νεύτωνα που συνδέει τις διατμητικές τάσεις με την ταχύτητα γωνιακής παραμορφώσεως και όλα τα σωματίδια του ρευστού κινούνται σε ομαλές διαδρομές. Οποιαδήποτε αλλαγή της διαδρομής των σωματιδίων απορροφάται από το ιξώδες.

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \quad (1.3.1)$$

Στην πράξη συναντάται περισσότερο η τυρβώδης ροή. Κατά την τυρβώδη ροή τα στοιχεία του ρευστού έχουν ακανόνιστες διευθύνσεις μεταξύ τους. Η δημιουργία των διευθύνσεων αυτών έχει σαν αποτέλεσμα να πραγματοποιείται μία ανταλλαγή ορμής από το ένα μέρος του ρευστού στο άλλο, όπως γίνεται και μεταξύ των μορίων. Η διαφορά είναι ότι η ορμή σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερης κλίμακας και το μέγεθος των σωματιδίων του ρευστού κυμαίνεται από μερικές χιλιάδες μόρια και φθάνει μέχρι και εκατοντάδες κυβικά μέτρα. Η τυρβώδης ροή είναι δυνατό να αναλυθεί σε μία μέση ταχύτητα και μία υπό μορφή ταλαντώσεων διαφόρων συχνοτήτων.

$$\tau = (\mu + \varepsilon) \frac{dV}{dy} \quad (1.3.2)$$

όπου ε είναι το ιξώδες της τύρβης.



Σχήμα 1.3.1 Γραμμική – Στρωτή Ροή και Τυρβώδης Ροή

Ένα ιδανικό ρευστό δεν έχει τριβές και είναι ασυμπίεστο, κάτι που το ξεχωρίζει από το τέλειο αέριο. Η παραδοχή ότι υπάρχει ιδανικό αέριο αποσκοπεί στην ανάλυση περιπτώσεων, όπου παρουσιάζεται εκτεταμένη μάζα ρευστού. Ένα ρευστό χωρίς τριβές δεν έχει ιξώδες και η ροή του είναι αντιστρεπτή.

Οριακό στρώμα ονομάζεται το στρώμα του ρευστού που προσπίπτει πάνω σε ένα τοίχωμα και του οποίου η ταχύτητα, σε σχέση με το τοίχωμα αυτό, επηρεάζεται από τις ιξώδεις διατμητικές τάσεις. Τα οριακά στρώματα δύναται να είναι στρωτά ή τυρβώδη, κάτι που οφείλεται στο μήκος τους, το ιξώδες, την ταχύτητα ροής και την τραχύτητα του τοιχώματος.

Αδιαβατική ροή είναι εκείνη κατά την οποία δεν σημειώνεται καμία μεταφορά θερμότητας από ή προς το ρευστό. Η αντιστρεπτή και αδιαβατική παράλληλα ροή καλείται ισεντροπική.

Μόνιμη ροή είναι η ροή που εμφανίζεται σε ένα ρευστό όταν οι υπάρχουσες σε αυτό συνθήκες είναι αμετάβλητες στο χρόνο. Στην τυρβώδη ροή παρατηρούνται πάντα μικρές μεταβολές σε κάθε σημείο, εξαιτίας της ακανόνιστης κίνησης των σωματιδίων.

Ομοιόμορφη ροή παρουσιάζεται όταν σε όλα τα σημεία η ταχύτητα είναι ίδια, σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, με το χρόνο να παραμένει σταθερός.

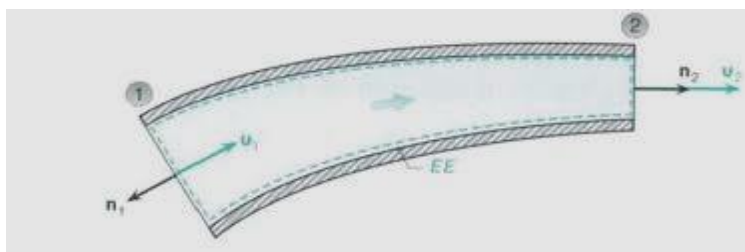
Γραμμή ροής είναι μία συνεχής γραμμή που σε κάθε σημείο της δίνει τη διεύθυνση της ταχύτητας του ρευστού, ενώ δεν μπορεί να υπάρξει κάθετη σε αυτή ροή. Λόγω του ότι ένα σωματίδιο κινείται κατά τη διεύθυνση της γραμμής ροής στο χρόνο, η μετατόπιση αυτού δs, με συνιστώσες dx, dy και dz, έχει τη διεύθυνση της ταχύτητας q όπου έχει συνιστώσες u, v και w αντίστοιχα. Δηλαδή:

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \Rightarrow \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$$

Κάτι που δείχνει ότι οι συνιστώσες είναι ανάλογες και επομένως τα δs και q έχουν την ίδια διεύθυνση. Σε μόνιμη ροή, η γραμμή ροής έχει σταθερή κλίση και είναι σταθερή στο χώρο, η οποία ταυτίζεται με την τροχιά ενός σωματιδίου, κάτι που δε συμβαίνει στη μεταβαλλόμενη ροή.

1.4 Εξίσωση συνεχείας

Αρχικά, θεωρείται μόνιμη ροή σε ένα τμήμα ροηφόρου σωλήνα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σύμφωνα με το σχ. 1.3.1, ο όγκος ελέγχου περικλείεται από τα τοιχώματα του σωλήνα, μεταξύ 1 και 2, όπως επίσης και από τις επιφάνειες των διατομών τους.



Σχήμα 1.4.1

Για μόνιμη ροή από την εξίσωση 1.3.2 (επειδή η διατμητική τάση $\tau = 0$) για τις δύο διατομές του ροηφόρου σωλήνα, προκύπτει ότι:

$$\rho_1 V_1 dA_1 = \rho_2 V_2 dA_2 \quad (1.4.1)$$

η οποία εξίσωση εκφράζει το νόμο συνέχειας δύο διατομών ροηφόρου σωλήνα σε μόνιμη ροή, που για πλήθος ροηφόρων σωλήνων διατομών A_1 και A_2 και πυκνοτήτων ρ_1 και αντίστοιχα ρ_2 , τότε η ροή μάζας:

$$\dot{m} = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (1.4.2)$$

Και αντίστοιχα επειδή η ογκομετρική παροχή είναι $Q = VA$, τότε ο νόμος συνεχείας γράφεται και ως εξής:

$$\dot{m} = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (1.4.3)$$

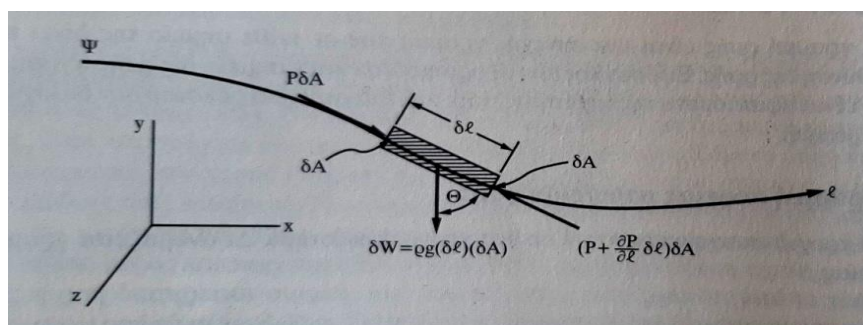
Στην περίπτωση της ασυμπίεστης μόνιμης ροής, όπου $\rho = \text{σταθερό}$:

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (1.4.4)$$

1.5 Εξίσωση Euler

Εκτός από το νόμο συνέχειας, άλλες εξισώσεις που εφαρμόζονται είναι ο πρώτος και δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, η εξίσωση ορμής, η εξίσωση Euler και η εξίσωση Bernoulli.

Έστω ένα πρισματικό στοιχείο ρευστού, μήκους δl και τομής δA . Το στοιχείο αυτό κινείται κατά μήκος μιας γραμμής ροής Ψ . Με την παραδοχή ότι το ιξώδες είναι 0 ή ότι το ρευστό δεν έχει τριβές, οι μόνες δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο στοιχείο είναι το βάρος δW που είναι ίσο με $\rho g \delta l \delta A$, και οι δυνάμεις επιφανείας που ασκούνται στις έδρες του στοιχείου.



Σχήμα 1.5.1

Επίσης, οι δυνάμεις που ενεργούν στις έδρες του στοιχείου είναι και αυτές της πίεσεως. Η δύναμη της πίεσης στην αριστερή έδρα είναι $P\delta A$ και η δύναμη πίεσης στη δεξιά έδρα είναι $(P + \frac{\partial P}{\partial l})\delta A$. Βέβαια υπάρχουν και οι κάθετες δυνάμεις πίεσης που ενεργούν στις πλευρές του στοιχείου, οι οποίες δεν λαμβάνουν μέρος στο άθροισμα των δυνάμεων κατά τη διεύθυνση l . Στην περίπτωση μόνιμης ροής και για μη συνεκτικό ρευστό, η εξίσωση του Euler κατά μήκος μίας γραμμής ροής είναι:

$$\frac{1}{\rho} dP + g dy + \frac{1}{2} d(U^2) = 0 \quad (1.5.1)$$

1.6 Εξίσωση Bernoulli

Από την εξίσωση του Euler (1.5.1) για ασυμπίεστο ρευστό (πυκνότητα ρ σταθερή), προκύπτει η εξίσωση Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + gy + \frac{U^2}{2} = \text{σταθερό} \quad (1.6.1)$$

Η οποία ($\gamma = \rho g$) μπορεί να γραφεί για την περίπτωση υγρών με ελεύθερη επιφάνεια ως εξής:

$$\frac{P}{\gamma} + y + \frac{U^2}{2g} = \text{σταθερό} \quad (1.6.2)$$

Όταν η σχέση Bernoulli χρησιμοποιείται για τη ροή αερίων, επειδή οι διαφορές λόγω στάθμης είναι αμελητέες, γίνεται:

$$\gamma y + \frac{\rho U^2}{2} + P = \text{σταθερό} \quad (1.6.3)$$

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Η ροή σε κλειστούς αγωγούς που είναι υπό πίεση αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της υδραυλικής. Για τη μελέτη υδροδυναμικών εγκαταστάσεων είναι απαραίτητη η ανάλυση της συμπεριφοράς του ρευστού που κινείται μέσα στον αγωγό. Σε αυτές τις μελέτες, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος, ζητούνται είτε οι απώλειες ενεργείας κατά μήκος του δικτύου ροής είτε η ισχύς της αντλίας ή του στροβίλου. Στα περισσότερα προβλήματα εμφανίζεται η τυρβώδης ροή.

2.1 Βασικές εξισώσεις μόνιμης ροής

Για τη σωστή μελέτη των υδραυλικών εγκαταστάσεων, αρχικά είναι απαραίτητο να είναι γνωστές οι βασικές εξισώσεις που διέπουν τη μόνιμη ροή.

Αρχική βασική εξίσωση είναι η αρχή διατήρησης μάζας, αρχή της συνέχειας, όπου το άθροισμα των εισερχόμενων παροχών είναι ίσο με το άθροισμα των παροχών που εκρέουν.

$$Q_{\text{total,in}} = Q_{\text{total,out}} \quad (2.1.1)$$

Οι έννοιες της γραμμής ενεργείας και της αντίστοιχης γραμμής υδραυλικής κλίσης αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων ροής. Αν σε ένα σύστημα σωληνώσεων σε κάθε σημείο οριστεί ο όρος $\frac{p}{\gamma}$ (η υδροστατική πίεση p διαιρεμένη με το ειδικό βάρος) και αυτός παρασταθεί σε κατακόρυφη απόσταση από το κέντρο του σωλήνα, τότε ο γεωμετρικός τόπος των άκρων είναι η γραμμή υδραυλικής κλίσης. Συνεπώς, η γραφική παράσταση δίνει τη γραμμή υδραυλικής κλίσης με τεταγμένη $\frac{p}{\gamma} + z$ και τετμημένη την απόσταση κατά μήκος του σωλήνα.

Η γραμμή υδραυλικής κλίσης αποτελεί το γεωμετρικό τόπο των υψών όπου θα έφθανε το υγρό μέσα σε γυάλινους σωλήνες συνδεδεμένους με πιεζομετρικά ανοίγματα του σωλήνα. Όταν η πίεση στο σωλήνα είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική, τότε το $\frac{p}{\gamma}$ προκύπτει αρνητικό και η γραμμή υδραυλικής κλίσης βρίσκεται κάτω από τη γραμμή του σωλήνα.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

Εν συνεχεία, η γραμμή ενεργείας συνδέεται με ένα σύνολο σημείων που σημειώνουν την ενέργεια για το κάθε σημείο του σωλήνα σαν τεταγμένη, αλλά και την απόσταση κατά μήκος του σωλήνα σαν τετημημένη. Είναι η γραφική παράσταση του υδραυλικού ύψους για κάθε σημείο κατά μήκος του σωλήνα.

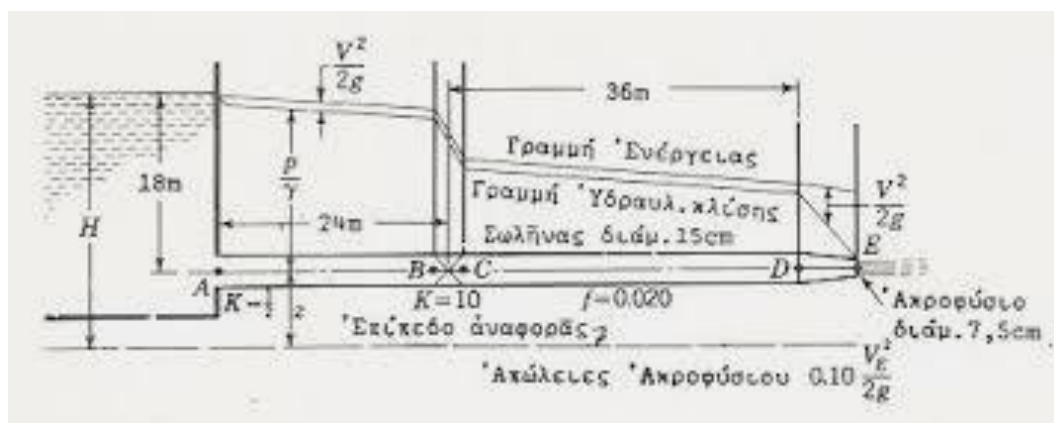
$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z \quad (2.1.2)$$

υψόμετρο θέσης z

ύψος πίεσης $\frac{p}{\rho g} = \frac{p}{\gamma}$

ύψος κινητικής ενέργειας $\frac{v^2}{2g}$

Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η διάταξη μίας απλής σωλήνωσης, οι γραμμές υδραυλικής κλίσης και ενεργείας, όπου έχει είσοδο με ακμές οξείες, μία βάνα και ένα ακροφύσιο στο τέλος του σωλήνα.



Σχήμα 2.1.1. Γραφική παράσταση των γραμμών υδραυλικής κλίσης και ενεργείας, απλή σωλήνωση με βάνα και ακροφύσιο

Στην αρχή για την κατασκευή των γραμμών, θα πρέπει να εφαρμοσθεί η εξίσωση της ενεργείας για τη δεξαμενή και την έξοδο, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις απώλειες και τις απώλειες τριβής, και επιλύοντας τελικά ως προς το ύψος κινητικής ενέργειας $\frac{v^2}{2g}$. Για την εύρεση του πιεζομετρικού ύψους σε τυχαίο σημείο, χρησιμοποιείται η εξίσωση της ενεργείας μεταξύ της δεξαμενής και του σημείου αυτού, περιλαμβάνοντας τις απώλειες μεταξύ αυτών. Λύνεται η εξίσωση ως προς $\frac{p}{\gamma} + z$ και για να βρεθεί το ύψος της γραμμής ενεργείας λύνεται τελικά η εξίσωση ως προς το υδραυλικό ύψος H (σχέση 2.1.2).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, όπως και το παράδειγμα του σχήματος, η διατήρηση ενέργειας προκύπτει από τον τύπο:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h_{f,1 \rightarrow 2} \quad (2.1.3)$$

όπου $\sum h_{f,1 \rightarrow 2}$ οι συνολικές απώλειες.

2.2 Αριθμός Reynolds

Στη μηχανική των ρευστών, ο αριθμός Reynolds (Re) αποτελεί έναν αδιάστατο, δηλαδή καθαρό, αριθμό που σε κάθε ροή εκφράζεται από το πηλίκο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις τριβής. Οι δυνάμεις αυτές υπολογίζονται σύμφωνα από τη γεωμετρία και τη φυσική κατάσταση, όπου τελικά προκύπτει:

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho U^2}{\frac{\mu}{L}} = \rho \frac{UL}{\mu} \quad (2.2.1)$$

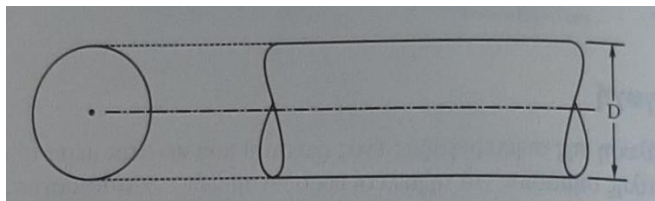
$$\mathbf{Re} = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{UL}{\nu} \quad (2.2.2)$$

ρ : η πυκνότητα του ρευστού
 U : ταχύτητα ροής
 L : χαρακτηριστικό μήκος ροής
 μ : ιξώδες
 ν : (μ/ρ) κινηματικό ιξώδες

Για τη ροή σε κυλινδρικούς αγωγούς, το χαρακτηριστικό μήκος ροής που ορίζεται είναι η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα. Στην περίπτωση που ο κλειστός αγωγός δεν είναι κυλινδρικός, σαν χαρακτηριστικό μήκος L ορίζεται το τετραπλάσιο της τιμής της υδραυλικής ακτίνας R_h , η οποία είναι ίση με το πηλίκο του εμβαδού της διατομής του αγωγού προς το μήκος της περιμέτρου του.

Για τους κυκλικούς αγωγούς ισχύει:

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho UD}{\mu} = \frac{UD}{\nu} \quad (2.2.3)$$

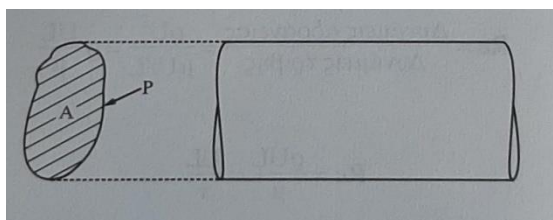


Σχήμα 2.2.1 Κυκλικός αγωγός

Ενώ στην περίπτωση των μη κυλινδρικών αγωγών, ισχύει η εξής σχέση:

$$\text{Re} = \frac{4U\rho R_h}{\mu} = \frac{4R_h U}{\nu} \quad (2.2.4)$$

Όπου $R_h = \frac{A}{p}$ και το p είναι η υγρή περίμετρος.



Σχήμα 2.2.2 Μη κυλινδρικός αγωγός

Ο αριθμός Reynolds είναι αυτός που προσδιορίζει αν η ροή μέσα σε έναν αγωγό είναι στρωτή ή τυρβώδης.

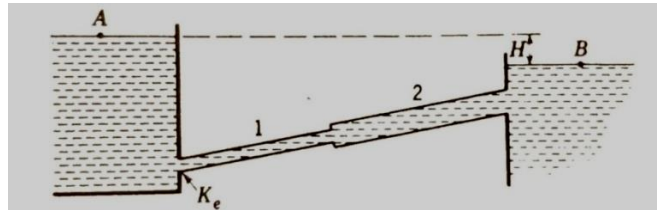
Στην πρώτη περίπτωση, όπου η μοριακή διάχυση της βαφής είναι ευθύγραμμη, η ροή χαρακτηρίζεται ως στρωτή, ενώ στη δεύτερη περίπτωση όπου παρατηρούνται δίνες και η κίνηση των μορίων είναι στροβιλώδης, η ροή χαρακτηρίζεται ως τυρβώδης. Επίσης, η ταχύτητα που έχει το ρευστό στην πρώτη εμφάνιση δινών ονομάζεται κρίσιμη ταχύτητα (U_{cr}), και αντίστοιχα ο Re ονομάζεται κρίσιμος αριθμός Reynolds (Re_{cr}).

$$\text{Re} = \frac{\rho U_{cr} D}{\mu} = \frac{U_{cr} D}{\nu} \quad (2.2.5)$$

Για τιμές του αριθμού Re μέχρι και 2.000 έχουμε στρωτή ροή, ενώ στη μεταβατική περιοχή δηλαδή εκεί που πρωτοεμφανίζονται στροβιλισμοί, συνήθως ο αριθμός Re κυμαίνεται από 2.000 έως και 4.000, όπου πάνω από 4.000 η ροή είναι τυρβώδης. Για τιμή κάτω από 2.000 δε διατηρούνται οι στροβιλώδεις ιδιότητες της ροής, επομένως η τιμή των 2.000 είναι ο κρίσιμος αριθμός Re για ροή μέσα από σωλήνες.

2.3 Σωλήνες εν σειρά

Δύο σωλήνες λέμε ότι είναι συνδεδεμένοι σε σειρά όταν, παρ' όλη τη διαφορά μεγέθους, δηλαδή διαμέτρου και μήκους, ή/και της τραχύτητας, περνάει από τον έναν σωλήνα ρευστό και εν συνεχεία να ρέει στον άλλον. Ένα σχετικό πρόβλημα σωλήνων συνδεδεμένων σε σειρά είναι όταν ζητάται να υπολογισθεί το H για δεδομένη παροχή Q , όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.3.1 Σωλήνες εν σειρά όπου ρέει ρευστό από τον έναν στον άλλον

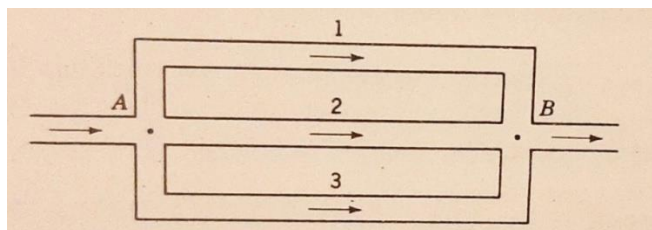
Εφαρμόζοντας τη σχέση της ενέργειας μεταξύ των A και B, έχοντας και τις απώλειες ως δεδομένο προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$H = \frac{V_1^2}{2g} \left[K_e + \frac{f_1 L_1}{D_1} + \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 + \frac{f_2 L_2}{D_2} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 + \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right] \quad (2.3.1)$$

Στην περίπτωση που η παροχή είναι γνωστή, όπως επίσης και μεγέθη των σωλήνων, είναι εφικτό να βρεθεί και ο αριθμός Reynolds Re και οι συντελεστές f από το σχετικό διάγραμμα Moody. Τέλος, υπολογίζεται το H με απευθείας αντικατάσταση.

2.4 Σωλήνες εν παραλλήλω

Οι σωλήνες που συνδέονται παράλληλα είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο ή περισσότερους σωλήνες συνδεδεμένους μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η ροή του ρευστού να χωρίζεται σε αυτούς και στη συνέχεια να ενώνεται πάλι, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.4.1 Σύστημα συνδεδεμένων παράλληλων σωλήνων

Στη συνδεσμολογία εν σειρά των σωλήνων το ρευστό ρέει μέσα σε όλους τους σωλήνες, με τις παροχές να είναι ίσες, και οι απώλειες αθροίζονται. Αντιθέτως, στο σύστημα παράλληλων σωλήνων οι απώλειες είναι ίδιες και οι παροχές είναι αυτές που αθροίζονται.

Στην ανάλυση ενός συστήματος παράλληλων σωλήνων, οι δευτερεύουσες απώλειες προστίθενται στα μήκη των σωλήνων. Οι συνθήκες που ισχύουν είναι οι κάτωθι:

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} = \frac{p_A}{\gamma} + z_A - \left(\frac{p_B}{\gamma} + z_B \right) \quad (2.4.1)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.4.2)$$

Όπου το z_A και το z_B αποτελούν τα ύψη των σημείων A και B που απεικονίζονται στο σχήμα (3.4.1) και η Q είναι η παροχή που ρέει από την είσοδο και έπειτα από την έξοδο του συστήματος των σωλήνων.

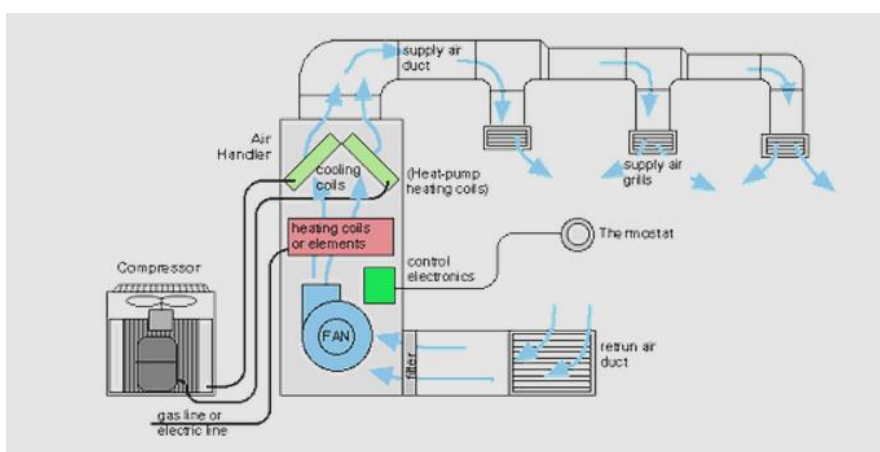
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ HVAC ΜΕ ΝΕΡΟ

3.1 Έννοια συστημάτων HVAC

Το HVAC είναι το ακρονύμιο των λέξεων θέρμανση (**H**eating), αερισμός (**V**enting) και κλιματισμός (**A**ir**C**onditioning) και αναφέρεται σε ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για το θερμικό έλεγχο των κτηρίων (γραφείων, κατοικιών κλπ.). Ο θερμικός έλεγχος στα παλαιότερα χρόνια είχε ως στόχο να εξασφαλίσει την επιβίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, σε αντίθεση με τη σημερινή εποχή όπου οι προσδοκίες του περιλαμβάνουν περαιτέρω σύνθετες θεωρήσεις για την μικροκλιματική άνεση του χώρου και ποιότητα αέρα που επηρεάζουν την υγεία, την ικανοποίηση, αλλά και την παραγωγικότητα των ανθρώπων που βρίσκονται στα κτήρια.

Βασικός στόχος ενός συστήματος θέρμανσης (H), είναι η κάλυψη των θερμικών απωλειών προς το εξωτερικό περιβάλλον προκειμένου να διατηρείται η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα και του χώρου σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο. Ένα σύστημα αερισμού (V) αποσκοπεί στην κυκλοφορία του αέρα σε ένα χώρο πάντα να απαιτείται αλλαγή της θερμοκρασίας του, και επιπλέον βελτιώνει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (καθαρισμός με φίλτρα, παροχή καθαρού εξωτερικού αέρα κλπ.), εάν αυτό απαιτείται, έτσι ώστε να βελτιώνεται το επίπεδο άνεσης των ενοικούντων.

Η χρήση ενός συστήματος ψύξης αποσκοπεί στην αφαίρεση θερμικής ενέργειας από ένα χώρο ή κτήριο. Αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται για να διατηρείται η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου σε ανεκτά επίπεδα για τους ανθρώπους, συγκριτικά με αυτή που θα επικρατούσε λόγω της ροής θερμότητας τόσο από το εσωτερικό περιβάλλον (λειτουργία μηχανημάτων, φωτισμός κλπ.), όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 3.1.1 Απεικόνιση ενός συστήματος HVAC

Οι ψυκτικές διατάξεις εξετάζονται ως τμήμα του κλιματισμού (AC). Ένα σύστημα κλιματισμού, σύμφωνα με τον ορισμό της ASHRAE (Αμερικάνικη Ένωση

Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού), αποτελείται από ένα σύνολο συνιστωσών, με καθορισμένη δομή και λειτουργία που εκπληρώνει τέσσερις στόχους. Αυτοί οι στόχοι είναι:

- ο έλεγχος της θερμοκρασίας του αέρα
- ο έλεγχος της υγρασίας του αέρα
- ο έλεγχος της κυκλοφορίας του αέρα
- ο έλεγχος της ποιότητας του αέρα

Η έννοια “κλιματισμός” περιλαμβάνει διάφορες υπηρεσίες: από το μηχανικό εξαερισμό μέχρι τα σύνθετα συστήματα που παρέχουν και τους τέσσερις προαναφερθέντες ελέγχους.

3.2 Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων HVAC

Τα συστήματα HVAC εκτός από τη σπουδαιότητα που έχουν για τα επίπεδα άνεσης στο εσωτερικό ενός κτηρίου, έχουν μεγάλη σπουδαιότητα και στον τρόπο σχεδιασμού ενός κτηρίου για τέσσερις βασικούς λόγους:

1. Συχνά απαιτούν σημαντική επιφάνεια ή και όγκο εγκατάστασης του εξοπλισμού και των διατάξεων διανομής, το οποίο σημαίνει ότι πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού.
2. Τα συστήματα HVAC αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο για πολυάριθμους τύπους κτηρίων και απαιτούν ένα σημαντικό κομμάτι του προϋπολογισμού τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κακή επιλογή ενός συστήματος κατά τη φάση του σχεδιασμού μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αρχικού κόστους της εγκατάστασης και τη σημαντική επιβάρυνση του κόστους λειτουργίας του.
3. Ένας ακόμη βασικός λόγος που τα συστήματα HVAC έχουν μεγάλη σπουδαιότητα στο σχεδιασμό ενός κτηρίου, είναι το γεγονός ότι η αποτυχία ή η επιτυχία της εφαρμογής του σχεδιασμού των συστημάτων αυτών έχει άμεσο αντίκτυπο στην επιτυχημένη ή αποτυχημένη θερμική άνεση του κτηρίου. Η επίδοσή τους αξιολογείται σε καθημερινή βάση από τους ενοίκους, το οποίο σημαίνει ότι ένα επιτυχημένο σύστημα HVAC κατέχει μεγάλο ποσοστό στον επιτυχή σχεδιασμό ενός κτηρίου.

Στον πίνακα 3.2.1 εμφανίζονται οι αιτίες που προκαλούν την ενόχληση των ενοίκων σε υπάρχοντα εμπορικά κτήρια, από τον οποίο βγαίνει ότι τα προβλήματα των συστημάτων HVAC είναι διπλάσια σε συχνότητα αυτών των ανελκυστήρων και πενταπλάσια της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και των υπηρεσιών καθαριότητας.

Πίνακας 3.2.1 Προβλήματα διαχείρισης, λειτουργίας ή σχεδιασμού στα εμπορικά κτήρια

Πηγή του προβλήματος	Σχετική συχνότητα
HVAC	5,4
Ανελκυστήρες	2,7
Σχέδιο κτηρίου	1,5
Αποβάθρες φόρτωσης	1,2
Ποιότητα εσωτερικού αέρα	1,0
Υπηρεσίες καθαρισμού	1,0

Πηγή: Ο πίνακας αυτός προέρχεται από το ερευνητικό πρόγραμμα "Office Tenant Moves and Changes", που διευθύνεται από τη Διεθνή Ένωση Ιδιοκτητών και Διαχειριστών Κτηρίων

4. Και τέλος, ο σχεδιασμός ενός συστήματος HVAC, εκτός από τη διατήρηση των κατάλληλων θερμικών συνθηκών, έχει αντίκτυπο και στη χαμηλή ή υψηλή κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου. Στο σχήμα 3.2.1 απεικονίζονται τα ποσοστά των ενεργειακών χρήσεων για διάφορα κτήρια τόσο σε θερμά όσο και σε ψυχρά κλίματα. Η ενέργεια που καταναλώνεται στα κτήρια για θέρμανση, φωτισμό και παροχή υπηρεσιών φτάνει μέχρι και τη μισή από την καταναλισκόμενη ενέργεια μιας χώρας. Οπότε, υπάρχει ένα σημαντικό πεδίο για τη μείωσή της.



Σχήμα 3.2.1 Ποσοστό συνολικής ενεργειακής χρήσης ενός κτηρίου που αποδίδεται στη λειτουργία των συστημάτων HVAC για κατοικίες και χώρους γραφείων σε θερμά και κρύα κλίματα

Από το παραπάνω σχήμα (σχήμα 3.2.1), βλέπουμε ότι τα γραφεία που κλιματιζονται, το 30% – 40% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας οφείλεται

στον κλιματισμό τους. Η κατανάλωση αυτή δεν αντιπροσωπεύει μόνο ένα σημαντικό κόστος για τον κάθε χρήστη, αλλά συνολικά σε εθνικό επίπεδο, ενώ παράλληλα εξαιτίας του εκπέμπονται εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, τα CFC που έχουν χρησιμοποιηθεί ως εργαζόμενα ψυκτικά μέσα, όταν αποδεδυμούνται/διαφεύγουν, προκαλούν τη μείωση του στρώματος του όζοντος, με σημαντική επίπτωση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Λόγω του ότι σε μεγάλο αριθμό κτηρίων, ο πλήρης κλιματισμός τους δεν είναι απαραίτητος, είναι σωστό να μελετάται η χρήση μηχανικού ή φυσικού εξαερισμού ή του μερικού κλιματισμού (λειτουργία μεικτού τρόπου). Έτσι, με τον τρόπο αυτόν, μπορούν να επιτευχθούν μεγάλα ενεργειακά οφέλη. Όπως προκύπτει από διάφορες μελέτες μπορεί να εξοικονομηθεί μέχρι και το 30% του ενεργειακού κόστους αν ληφθεί πρόνοια για :

- Την κατάλληλη επιλογή του συστήματος
- Τον ενεργειακό σχεδιασμό της εγκατάστασης
- Τον καλό έλεγχο του συστήματος
- Την αποτελεσματική λειτουργία και συντήρηση του συστήματος

Πρέπει να σημειωθεί ότι και το καταλληλότερα επιλεγμένο σύστημα κλιματισμού μπορεί να αποβεί ακριβό στη λειτουργία του αν δεν είναι σωστά εγκατεστημένο, ρυθμισμένο, ελεγχόμενο και συντηρούμενο.

Προκειμένου η λειτουργία ενός συστήματος HVAC να είναι επιτυχημένη, είναι σημαντικό να πραγματοποιείται συνεχής έλεγχος αυτού. Για αυτό, αρχικά, είναι απαραίτητος ο χωρισμός των χώρων των κτηρίων σε θερμικές ζώνες. Οπότε κατά το σχεδιασμό του συστήματος ο χώρος ενός κτηρίου που χρειάζεται ξεχωριστό έλεγχο για την άνεση των ενοικούντων, αποτελεί μία θερμική ζώνη.

Όταν καθορίζεται μία θερμική ζώνη πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν διάφορες παράμετροι, όπως:

- Αρχιτεκτονικά στοιχεία για τις λειτουργίες που επιτελούνται στο χώρο και τον αριθμό των ενοικούντων που χρησιμοποιούν το χώρο, έτσι ώστε να υπολογίζονται τα θερμικά φορτία, αερισμός κλπ.
- Ο προσανατολισμός του χώρου για υπολογισμό των θερμικών φορτίων από το περιβάλλον (σκίαση, ηλιακή ακτινοβολία κλπ.).
- Οι ώρες χρήσης του χώρου κλπ.

Με τον τρόπο αυτό η κάθε θερμική ζώνη ελέγχεται ξεχωριστά με βάση τις απαιτήσεις της από το σύστημα κάνοντας έτσι τον έλεγχο ευκολότερο. Επιπλέον με τη

χρήση ενός αυτοματοποιημένου κέντρου ελέγχου των διαφόρων ζωνών του κτηρίου που κατανέμει κατάλληλα την παροχή του εργαζόμενου μέσου μεταφοράς θερμικής/ψυκτικής ενέργειας σε κάθε ζώνη, επιτυγχάνεται σημαντικότερη βελτίωση στην κατανάλωση ενέργειας. Και αυτό συμβαίνει επειδή ζώνες που δε χρησιμοποιούνται συνεχώς μπορούν να μην τροφοδοτούνται και να είναι κλειστές, όταν άλλες ζώνες χρησιμοποιούνται.

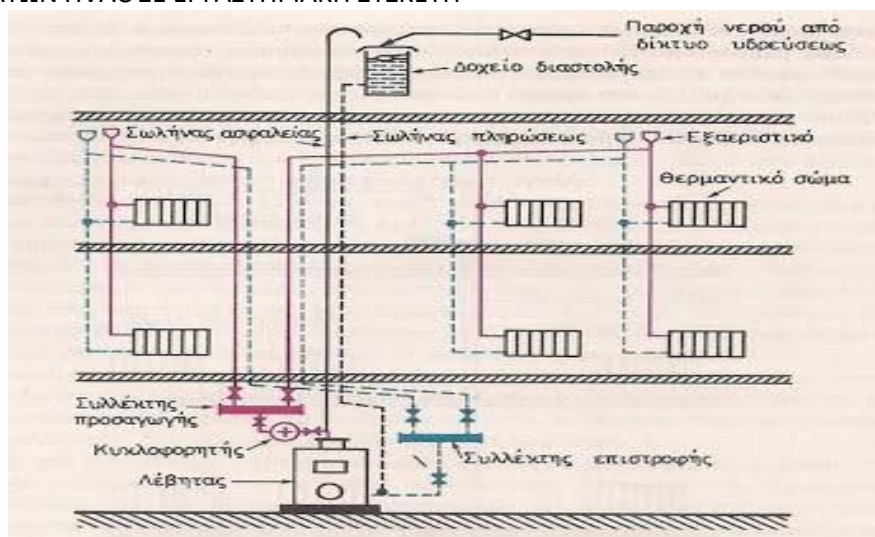
Τα συστήματα HVAC χωρίζονται σε τρία τμήματα: το τμήμα παραγωγής του εργαζόμενου μέσου στις κατάλληλες συνθήκες, το τμήμα διανομής (π.χ. σωληνώσεις κλπ.) και το τμήμα απόδοσης της θερμικής/ψυκτικής ενέργειας. Το κάθε τμήμα παίζει το ρόλο του στην απόδοση του συστήματος HVAC με σημαντικότερο ρόλο να παίζει το τμήμα παραγωγής του εργαζόμενου μέσου.

3.3 Συστήματα θέρμανσης χώρων

Τα συστήματα HVAC διακρίνονται σε συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού, δροσισμού ή σε συστήματα κλιματισμού, όπου τα συστήματα κλιματισμού είναι εκείνα που παρέχουν τον ελάχιστο δροσισμό του αέρα, με τα περισσότερα κτήρια να κάνουν χρήση αυτών των συστημάτων, λόγω των απαιτήσεων των ενοίκων.

Τα συστήματα θέρμανσης χώρων λειτουργούν με κεντρική θερμαντική μονάδα, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χώρων. Πλέον, όλα τα κτήρια χρησιμοποιούν σύστημα κεντρικής θέρμανσης, η οποία αποτελείται από τα εξής κύρια υποσυστήματα:

- Μονάδα παραγωγής ή ομάδα από τέτοιες μονάδες, όπου μπορεί να είναι ένας λέβητας ορυκτού καυσίμου, μία αντλία θερμότητας ή ένας υποσταθμός εναλλαγής θερμότητας, συνδεδεμένος σε σύστημα περιφερειακής θέρμανσης.
- Δίκτυο αγωγών διανομής, για τη μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου στους προς θέρμανση χώρους, το οποίο μπορεί να είναι νερό ή ατμός. Το δίκτυο μπορεί να είναι κατασκευασμένο από χαλκοσωλήνες (αν και λόγω κόστους αποφεύγονται), χαλυβδοσωλήνες (έχουν εγκαταλειφθεί στην πράξη), πλαστικοί και πολυπροπυλενίου που προτιμώνται λόγω της ευκολίας της οικονομίας και της αντοχής που παρουσιάζουν.
- Συσκευές απόδοσης θερμότητας στο χώρο που επιλέγονται σύμφωνα με τις ανάγκες του θερμαινόμενου χώρου (θερμαντικά σώματα, μεταγωγείς, θερμαντήρες πατώματος χαμηλής θερμοκρασίας).



Σχήμα 3.3.1 Δισωλήνιο σύστημα – Κεντρική θέρμανση

Στα συστήματα θέρμανσης χώρων η μονάδα παραγωγής τροφοδοτείται με νερό, το οποίο θερμαίνεται μέσω ενός λέβητα, που καίει ορυκτό καύσιμο, και μετατρέπεται σε ζεστό νερό ή ατμό (για τα μεγαλύτερα συστήματα). Το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την καύση μέσα σε κατάλληλη συσκευή, μπορεί να είναι πετρέλαιο, αέριο ή ξύλο. Η συσκευή αυτή είναι ο καυστήρας, ο οποίος βρίσκεται μέσα στον λέβητα, αποτελώντας σημαντικό παράγοντα για τη σωστή λειτουργία του συστήματος.

Εκτός από τη χρήση λέβητα, ελάχιστες είναι και οι φορές που χρησιμοποιούνται και κλίβανοι, οι οποίοι στηρίζονται στην ίδια βασική λειτουργία με τον λέβητα. Η διαφορά τους εντοπίζεται στο μέσο μεταφοράς της θερμότητας που είναι αέρας ο οποίος διανέμεται μέσω κατάλληλων αγωγών στους προς θέρμανση χώρους.

Ένα άλλο εξίσου γνωστό και ανερχόμενο είδος θερμαντικών μονάδων, είναι και οι αντλίες θερμότητας. Ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας σε αυτό το είδος μονάδων γίνεται στο εργαζόμενο μέσο από μία δεξαμενή θερμότητας χαμηλής ποιότητας μέσω ενός κύκλου συμπίεσης/απορρόφησης.

3.4 Τεχνικές επιλογές συστημάτων κλιματισμού

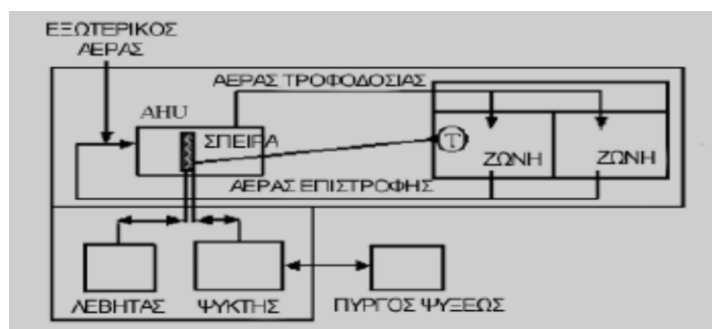
Οι τύποι συστημάτων κλιματισμού είναι οι τρεις παρακάτω και χρησιμοποιούνται μεμονωμένα ή συνδυαστικά, ανάλογα με τη μορφή και τα χαρακτηριστικά του χώρου.

- Κεντρικά συστήματα αέρα. Τα φορτία θέρμανσης ή/και ψύξης παράγονται σε κεντρικό χώρο εγκαταστάσεων και διαμοιράζονται στους κλιματιζόμενους χώρους μέσω δικτύου αγωγών.
- Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού. Ο αρχικά ψυχόμενος ή θερμαινόμενος αέρας, ψύχεται ή θερμαίνεται περαιτέρω, κατά την είσοδό του στους διάφορους χώρους.
- Τοπικά συστήματα. Όλες οι διεργασίες εκτελούνται σε τοπικές μονάδες κλιματισμού.

3.4.1 Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα

Τα κεντρικά συστήματα αέρα υλοποιούνται γύρω από μία ολοκληρωμένη μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU), αποτελούμενη από ανεμιστήρα, σπείρες θέρμανσης ή δροσισμού, φίλτρα, υγραντές και αποσβεστήρες ελέγχου. Η τοποθέτηση και εγκατάσταση της μονάδας διαχείρισης του αέρα γίνεται σε κεντρικό χώρο εγκαταστάσεων, με τις ψυκτικές μονάδες και τους λέβητες να είναι εγκατεστημένες σε παράπλευρο δωμάτιο.

Τα συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου, είναι συστήματα χαμηλού κόστους που εγκαθίστανται εύκολα. Το μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι η έλλειψη επαρκούς ελέγχου όταν οι διάφοροι χώροι της ενιαίας ζώνης παρουσιάζουν διαφορετικές ανάγκες.

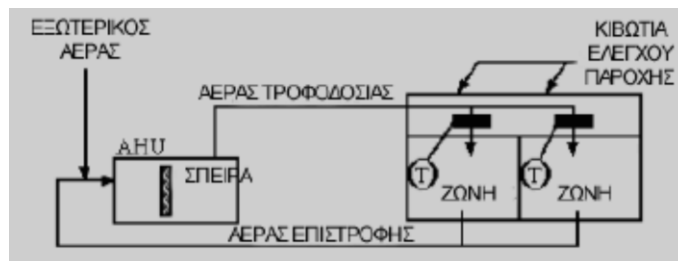


Σχήμα 3.4.1. Σύστημα HVAC ενιαίας ζώνης

Πηγή: Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

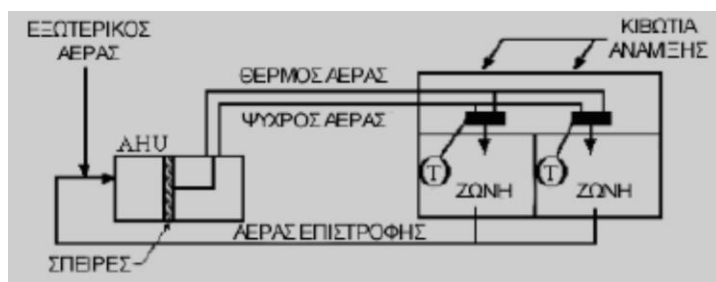
Το μειονέκτημα των συστημάτων ενιαίας ζώνης, μπορούν και αντιμετωπίζονται με τα συστήματα μεταβλητού όγκου (VAV), τα οποία τροφοδοτούν τους χώρους με διαφορετικές απαιτήσεις, με διαφορετικές παροχές αέρα. Αυτό γίνεται μέσω θερμοστατικά ελεγχόμενων μονάδων απόσβεσης, τα κιβώτια VAV (σχήμα 3.4.2).



Σχήμα 3.4.2. Σύστημα VAV

Πηγή: Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

Με τα συστήματα διπλού αγωγού πραγματοποιείται ένας συγκερασμός των τρόπων λειτουργίας των δύο προηγούμενων συστημάτων. Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται δύο αγωγοί θερμού και ψυχρού αέρα και ο προς χρήση αέρας προκύπτει από την ανάμειξη των δύο ρευμάτων σε θερμοστατικά ελεγχόμενο κιβώτιο ανάμειξης που βρίσκεται στο υπόψιν χώρο. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ακριβής με αυτό το σύστημα, οι δαπάνες όμως και οι απαιτήσεις είναι υψηλές εξαιτίας των δύο αγωγών.



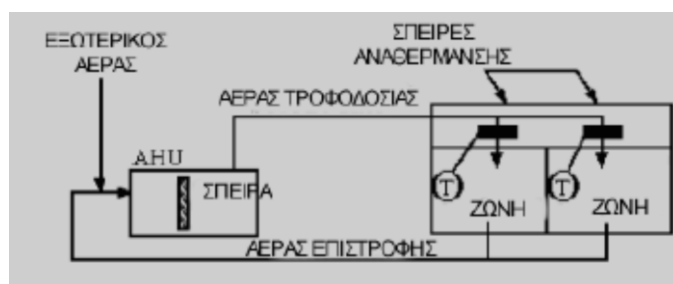
Σχήμα 3.4.4. Σύστημα διπλού αγωγού

Πηγή: Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

3.4.2 Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού

Το κοινό στοιχείο στα συστήματα αυτά είναι ότι γίνεται χρήση μίας κεντρικής μονάδας διαχείρισης του αέρα (ΑΗΥ), και ο κλιματισμός είναι τοπικά ελεγχόμενος.

Τα συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση, αυτά του σταθερού και του μεταβλητού όγκου (σχήμα 3.4.4), είναι κατάλληλα όταν, για την κάλυψη των απαιτήσεων του χώρου, πρέπει να θερμαίνεται ή να δροσίζεται επιπλέον ο αέρας που προέρχεται από τον κεντρικό ανεφοδιασμό. Αυτό γίνεται μέσω πρόσθετων σπειρών εναλλακτών. Η λειτουργία αυτή βελτιώνει τον έλεγχο του συστήματος, και το δίκτυο των αγωγών διαμορφώνεται, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται οι χώροι με διαφορετικές απαιτήσεις. Στα συστήματα σταθερού όγκου, η λειτουργία αυτή βελτιώνει την αποδοτικότητά τους (σχήμα 3.4.5).



Σχήμα 3.4.4. Σύστημα τερματικής αναθέρμανσης

Πηγή: Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

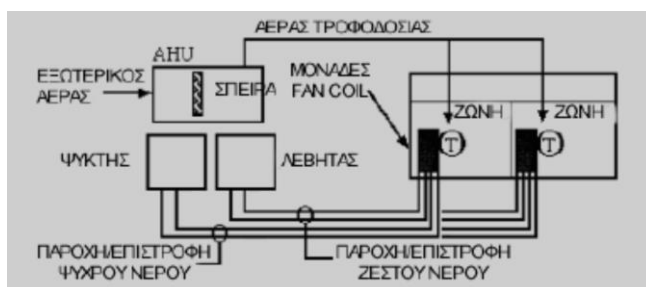


Σχήμα 3.4.5. Σύστημα πολλαπλών ζωνών

Πηγή: Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

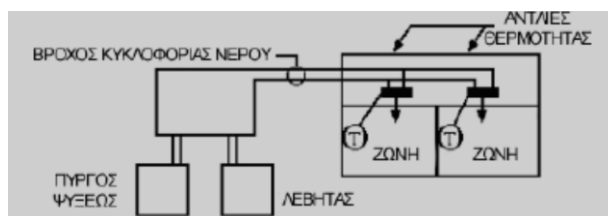
Τα συστήματα επαγωγής χρησιμοποιούν πρωτογενή αέρα από την κεντρική μονάδα, ο οποίος εγχέεται από ακροφύσια αφού πρώτα περάσουν γύρω από σπείρα, έτσι ώστε να δημιουργηθεί κυκλοφορία του αέρα εντός του χώρου. Τα συστήματα αυτά έχουν περιορισμένες δυνατότητες ψύξης και ελέγχου της υγρασίας, επειδή ο πρωτογενής αέρας που χρησιμοποιείται είναι ο ελάχιστος δυνατός. Τα συστήματα fan-coil είναι όμοια με τις μονάδες επαγωγής, με τη διαφορά ότι σε αυτά ο αέρας κινείται με τη βοήθεια ανεμιστήρα. Δύναται ο φρέσκος αέρας να προέρχεται από το περιβάλλον και να διέρχεται μέσω ανεμιστήρα ή ακόμα και να πραγματοποιείται η παροχή του από μία μονάδα διαχείρισης (σχήμα 3.4.6). Τα συστήματα fan-coil εγκαθίστανται στην περίμετρο ή στην οροφή των χώρων.



Σχήμα 3.4.6. Διάγραμμα μιας μονάδας fan-coil νερού-αέρα

Πηγή: Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

Στα μοναδιαία συστήματα αντλιών θερμότητας χρησιμοποιείται ένας βρόχος νερού σταθερής θερμοκρασίας (δύο σωλήνων) για το θερμό και το ψυχρό μέσο (σχήμα 3.4.7). Η θέρμανση μέσω του λέβητα ή η ψύξη παρέχεται στο βρόχο νερού μέσα στον κεντρικό χώρο εγκαταστάσεων. Οι μονάδες αντλιών θερμότητας, με ενσωματωμένες μονάδες fan-coil, χρησιμοποιούν αυτόν το βρόχο για την πρόσδοση ή αφαίρεση θερμότητας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις για θέρμανση ή δροσισμό του κλιματιζόμενου χώρου.



Σχήμα 3.4.7. Διάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας πηγής νερού

Πηγή: Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

3.4.3 Μονάδες κλιματισμού νερού (fancoils)

Οι μονάδες fan coil αποτελούν τις εσωτερικές μονάδες χώρου ενός συστήματος κλιματισμού, το οποίο έχει ως πηγή για την παραγωγή θερμότητας ή ψύξης μπορεί να χρησιμοποιεί αντλία θερμότητας, ψύκτη ή λέβητα και ως μέσο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας χρησιμοποιείται το νερό.

Η δομή των fan coil είναι απλή και η ποικιλία τους σε τύπους, διαστάσεις και ενεργειακή απόδοση τα καθιστούν ικανά να εφαρμοσθούν σε μικρές οικίες έως βιομηχανίες ή νοσοκομεία ακόμα και στο ναυτιλιακό τομέα. Στα fancoil υπάρχει η δυνατότητα εξοπλισμού τους με σύστημα καθαρισμού και απιονισμού του αέρα.

Τα κύρια μέρη ενός fan coil νερού:

- Ο εναλλάκτης θερμότητας (στοιχείο νερού) κατασκευάζεται από χαλκοσωλήνες και πτερύγια αλουμινίου. Το μήκος του εναλλάκτη και το πλήθος των σειρών του είναι βασικοί παράγοντες της αποδιδόμενης ισχύος.
- Ο ανεμιστήρας, που συνήθως είναι φυγοκεντρικός ή μικτής ροής.
- Ο κινητήρας του ανεμιστήρα, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) ή κινητήρας χωρίς ψύκτρες συνεχούς ρεύματος (DC).

Έλεγχος μονάδας. Η μονάδα μπορεί να χειριστεί μέσω ηλεκτρομηχανικού ή ηλεκτρονικού χειριστηρίου ή μέσω συνολικού συστήματος διαχείρισης, συνδέοντας αυτή με αισθητήρια θερμοκρασίας αέρος και νερού καθώς και με αισθητήρια ανάγνωσης ανάγνωσης επιπέδου υγρασίας (αν απαιτείται η ρύθμιση της).

Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες: δίοδες ή τρίοδες που συνδέονται στο υδραυλικό κύκλωμα της μονάδας επιτρέποντας την παροχή θερμού ή ψυχρού νερού (δίοδες) ή το by-pass αυτής (τρίοδες).

Διάφοροι τύποι fan coil είναι:

Με κάλυμμα ή χωρίς: Ανάλογα με την εγκατάσταση οι μονάδες μπορεί να είναι εμφανούς ή μη εμφανούς τύπου.

Με το επίπεδο τοποθέτησης: Διακρίνονται σε μονάδες δαπέδου, οροφής ή τοίχου.

Με το είδος του συστήματος, στο οποίο εφαρμόζονται: Δισωλήνιο ή τετρασωλήνιο (τα τετρασωλήνια συστήματα επιτρέπουν την ταυτόχρονη ψύξη και θέρμανση διαφορετικών θερμικών ζωνών ενός κτηρίου).

Είδη εφαρμογών:

- Οικιακές
- Εμπορικές
- Βιομηχανικές
- Νοσοκομειακές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

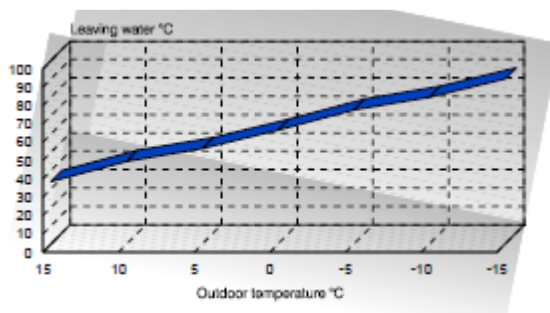
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΝΕΡΟ

4.1 Λειτουργία συστήματος θέρμανσης

Για τη ρύθμιση της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης χώρων, χρειάζεται να γίνουν τα εξής:

1. Ρύθμιση κεντρικής μονάδας παραγωγής ζεστού νερού ή ατμού. Η θερμοκρασία του μέσου εναλλαγής θερμότητας καθορίζεται από ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου και ρυθμίζεται μέσω μηχανοκίνητης βαλβίδας ανάμιξης.
2. Ρύθμιση μονάδων απόδοσης προς χρήση
3. Οι θερμαινόμενοι χώροι να χωρισθούν σε ζώνες ομοίων θερμοκρασιών.

Συσχετίζοντας τις θερμοκρασίες εξόδου του μέσου εναλλαγής θερμότητας και του εξωτερικού περιβάλλοντος αυτής, μπορούν να επιτευχθούν υψηλά επίπεδα απόδοσης του συστήματος θέρμανσης. Στο παρακάτω σχήμα 4.1.1, φαίνεται μία χαρακτηριστική καμπύλη που συσχετίζει τις προαναφερθείσες θερμοκρασίες.



Σχήμα 4.1.1 Καμπύλη συσχέτισης θερμοκρασίας εξόδου μέσου εναλλαγής και εξωτερικού περιβάλλοντος

Πηγή: Το σχήμα προέρχεται από τον Οδηγό εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC

Εξίσου σημαντική καθίσταται και η ρύθμιση των ωρών λειτουργίας και της λειτουργίας υπό μερικό φορτίο. Για την αποφυγή των περιττών ενάρξεων και διακοπών λειτουργίας του λέβητα, θα πρέπει αυτός να ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε αυτές να ελαχιστοποιούνται.

Σε κάθε θερμαινόμενο χώρο θα πρέπει οι θερμοστατικές βαλβίδες των θερμαντικών σωμάτων (TRV) και οι θερμοστάτες αυτών (των χώρων) να ρυθμίζονται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η άνεση των ενοίκων ή των εργαζομένων στους χώρους αυτούς. Με την κατάλληλη ρύθμιση αυτή των βαλβίδων και των θερμοστατών αποφεύγονται είτε υψηλές είτε χαμηλές θερμοκρασίες στους χώρους και κατ'επέκταση αποφεύγονται ηθελημένες ή αθέλητες παρεμβάσεις των ενοίκων. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται και η θερμική άνεση των ενοίκων, αλλά και η εξοικονόμηση ενέργειας στο κτήριο. Στους διάφορους χώρους του κτηρίου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα θερμοκρασιακά επίπεδα του παρακάτω πίνακα 4.1.1.

Πίνακας 4.1.1 Θερμοκρασιακά επίπεδα χώρων κτηρίου

Είδος θέρμανσης	Συνιστώμενη θερμοκρασία
Κανονική θέρμανση	20-22°C
Θέρμανση ετοιμότητας	12-18°C

Εκτός των ανωτέρω, επιπλέον, οι θερμαινόμενοι χώροι πρέπει να χωρίζονται σε ζώνες με βάση τις ώρες χρήσης και τα θερμοκρασιακά επίπεδα προκειμένου ο έλεγχος του συστήματος να είναι πιο αποδοτικός.

4.2 Λειτουργία συστήματος ψύξης

Προτεραιότητα του ενεργειακού διαχειριστή ενός κτηρίου για τη σωστή ρύθμιση της λειτουργίας ενός συστήματος, είναι η άνεση των ενοίκων, χωρίς να δίνει ιδιαίτερη προσοχή στην υπερβολική εξοικονόμηση ενέργειας. Επομένως, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, χωρίς αυτό να επηρεάσει την άνεση των ενοίκων που εργάζονται ή κατοικούν στους χώρους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η συνιστώμενη θερμοκρασία για τους κατειλημμένους χώρους κυμαίνεται μεταξύ 25°C και 26°C, αφού οι χαμηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, χωρίς να συνεπάγονται και τη βελτίωση των συνθηκών άνεσης. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, είναι αναγκαία η εγκατάσταση διάφορων αισθητήρων, θερμοστατών, χρονοδιακόπτων και ανιχνευτών κίνησης.

Λόγω του ότι οι εγκαταστάσεις ψύξης και εξαερισμού αποτελούνται από πολλά μηχανικά στοιχεία, η συντήρησή τους είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται ακολουθώντας αυστηρό προγραμματισμό, όπως αυτός συνιστάται από τον κατασκευαστή.

Ο ολοκληρωμένος καθαρισμός διασφαλίζει τόσο την καλύτερη ποιότητα του αέρα, όσο και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας που τελικώς μπορεί να εξοικονομηθεί 10 έως και 30% της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Παρ'όλα αυτά, η άνεση των ενοίκων πρέπει πάντα να αποτελεί προτεραιότητα κατά τη διαχείριση του συστήματος ψύξης και εξαερισμού.

4.3 Απλά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας

Ο στόχος της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό εκ των προτέρων της κάθε δράσης που θα αναληφθεί προς την κατεύθυνση αυτή. Πρέπει να υλοποιούνται όσο γίνεται πιο σύντομα τα μέτρα χαμηλού ή μηδενικού κόστους που είναι δυνατό να εφαρμοσθούν. Τα μέτρα μεγαλύτερης επένδυσης αξιολογούνται με μεγαλύτερη προσοχή, προκειμένου να εκτιμηθούν τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή τους. Εν τω μεταξύ θα πρέπει η υλοποίησή τους να γίνεται το συντομότερο δυνατόν, εάν αυτά κριθούν επικερδή. Επίσης, προγραμματισμό και οργάνωση απαιτούν τόσο η συντήρηση του εξοπλισμού, όσο και η ετοιμότητα και διατήρηση του επιπέδου του προσωπικού σε υψηλά επίπεδα.

Τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν σε κάθε περίπτωση, είναι τα εξής:

Θέρμανση Χώρων

- Εξέταση του ενδεχομένου αλλαγής καυσίμου (εάν ο λέβητας μπορεί να λειτουργήσει με περισσότερα από ένα καύσιμα).
- Έλεγχος των χρονοδιακοπών ότι έχουν ρυθμιστεί στην ελάχιστη περίοδο και επιβεβαίωση ότι οι θερμοστάτες των διαφόρων χώρων και τα συστήματα ελέγχου των θερμαντικών σωμάτων είναι ρυθμισμένα στα ελάχιστα δυνατά επίπεδα, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες των ενοίκων.
- Βεβαίωση ότι θερμαίνονται μόνο οι κατειλημμένοι χώροι και ότι η θέρμανση είναι κλειστή ή σε μειωμένο επίπεδο τις ώρες που αυτοί είναι άδειοι.
- Αν διατίθεται σύστημα κεντρικής ενεργειακής διαχείρισης, χρειάζεται να πραγματοποιείται έλεγχος ανά τακτά χρονικά διαστήματα για τη σωστή λειτουργία.
- Μείωση της θερμοκρασίας του νερού για τη θέρμανση των χώρων σε μία ελάχιστη τιμή, σύμφωνα με τις ανάγκες.
- Η λειτουργία των αντλιών μόνο όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Κλιματισμός

- Ρύθμιση της θερμοκρασίας ψύξης του χώρου στους 24°C ή ψηλότερα. Η χαμηλότερη ρύθμιση απαιτεί κατανάλωση περισσότερης ενέργειας.
- Να μην εφαρμόζεται ψύξη και θέρμανση ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο ενός κτηρίου.
- Να μη λειτουργούν άσκοπα οι ψυκτικές μονάδες.
- Οι φυσητήρες και οι αντλίες δε θα λειτουργούν όταν το σύστημα δε χρησιμοποιείται.

Εξοπλισμός

- Το προσωπικό θα πρέπει να είναι ενήμερο, έτσι ώστε να σβήνει τον οποιοδήποτε εξοπλισμό που δε χρησιμοποιείται.

Συστήματα Ελέγχου

- Τα συστήματα ελέγχου να είναι σηματοδοτημένα, ώστε να υποδηλώνεται η λειτουργία τους και οι μειωμένες ρυθμίσεις τους.
- Ανάθεση ευθυνών για τη ρύθμιση των συστημάτων ελέγχου, την επιθεώρησή τους και τη βαθμονόμησή τους.

Συντήρηση εξοπλισμού

Ο εξοπλισμός ενός συστήματος θέρμανσης ή ψύξης πρέπει να συντηρείται κατάλληλα και να ελέγχεται σε τακτά διαστήματα, δηλαδή να γίνεται προληπτική συντήρηση αυτού. Η συντήρηση αυτή διατηρεί το κόστος λειτουργίας χαμηλό, το σύστημα αποδίδει σωστά και τα επίπεδα άνεσης των ενοίκων επιτυγχάνονται χωρίς διακοπές, καθυστερήσεις ή άλλες παρεμβολές.

Υλικά Κτηρίου

- Πραγματοποίηση ελέγχου ότι όλες οι μονώσεις και τα στεγανωτικά βρίσκονται σε καλή κατάσταση.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ HVAC ΜΕ ΝΕΡΟ

Η αλληλεπίδραση του σχεδιασμού ενός συστήματος και του ελέγχου του έχει αντίκτυπο στη λειτουργία και την απόδοση αυτού. Για αυτό πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό του συστήματος, ενώ ο έλεγχος πρέπει να προσαρμόζεται στο ελεγχόμενο σύστημα. Ένα σύστημα ελέγχου δεν πρέπει να εφαρμόζεται με την ελπίδα αντιστάθμισης ενός ανεπαρκώς σχεδιασμένου συστήματος, και ούτε μπορεί να το κάνει αυτό. Όσο καλύτερος είναι ο σχεδιασμός, τόσο πιο απλός είναι ο απαραίτητος έλεγχος και τόσο καλύτερα θα λειτουργεί το σύστημα.

Ο σχεδιασμός του συστήματος αναφέρεται στα επιλεγόμενα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτό, το πώς θα διευθετηθούν σε σχέση το ένα με το άλλο και τα χαρακτηριστικά τους. Ο σχεδιασμός του συστήματος χρειάζεται να γίνεται με βάση τις ακόλουθες τρεις πτυχές:

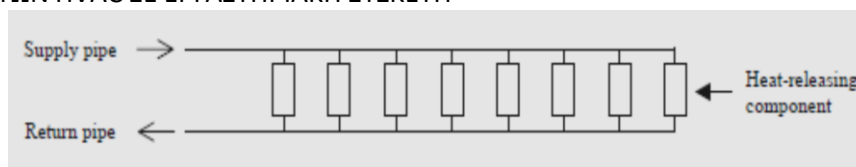
- Δομή (αρχιτεκτονική κ.λπ.)
- Εξισορρόπηση
- Βαλβίδες ελέγχου

Η συμπερίληψη της εξισορρόπησης ως μέρος του σχεδιασμού ίσως δεν μπορεί να θεωρηθεί ως η γενική ιδέα προσέγγισης και αυτό επειδή η επιλογή της μεθόδου εξισορρόπησης είναι ένα έμμεσο μέτρο στο σχεδιασμό συστήματος, με τη μορφή των επιπέδων θερμοκρασίας και ρυθμού ροής.

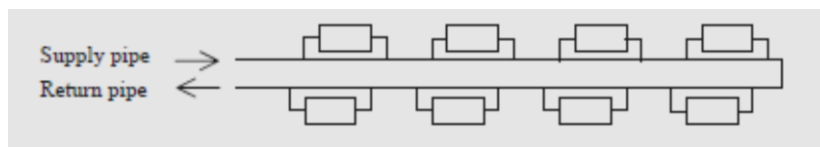
5.1 Συστήματα διανομής και βαλβίδες (Δομή συστήματος)

Η δομή ενός συστήματος περιγράφει το σχεδιασμό του τμήματος διανομής του συστήματος. Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των συστημάτων διανομής είναι ότι η θερμότητα, δηλαδή το θερμό νερό, διανέμεται στο κτήριο μέσω ενός σωλήνα τροφοδοσίας. Αφού αυτό διανεμηθεί στους εκπομπούς θερμότητας, το κρύο νερό επιστρέφει στην πηγή θερμότητας μέσω ενός σωλήνα επιστροφής. Η πιο κοινή μορφή των συστημάτων διανομής είναι αυτή του δισωλήνιου συστήματος, στο οποίο κάθε εκπομπός θερμότητας συνδέεται άμεσα με τον σωλήνα τροφοδοσίας και τον σωλήνα επιστροφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.1.

Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μονοσωλήνιο σύστημα, όπου ο σωλήνας τροφοδοσίας του κάθε εκπομπού είναι ο σωλήνας του προηγούμενου (εκπομπού), όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.2.



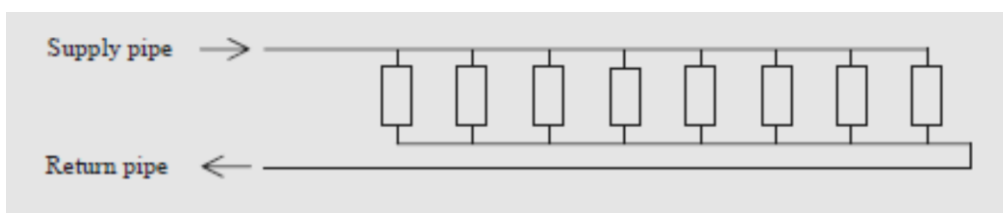
Σχήμα 5.1.1 Δισωλήνιο σύστημα



Σχήμα 5.1.2 Μονοσωλήνιο σύστημα

Το μονοσωλήνιο σύστημα αποτελείται από ένα μόνο σωλήνα, σχηματίζοντας βρόχο διανομής που ξεκινά και τερματίζει στην πηγή θερμότητας. Από τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το μονοσωλήνιο σύστημα, η θερμοκρασία τροφοδοσίας από εκπομπό σε εκπομπό μειώνεται, οπότε προκειμένου να ρυθμιστεί αυτό είτε οι εκπομποί γίνονται προοδευτικά μεγαλύτεροι είτε η ροή προς τον κάθε εκπομπό προοδευτικά αυξάνεται, όσο πιο απομακρυσμένος είναι αυτός από την πηγή θερμότητας.

Μια περαιτέρω εξέλιξη του δισωλήνιου συστήματος, είναι το τρισωλήνιο σύστημα ή η συνδεσμολογία Tischelmann, στην οποία ο σωλήνας επιστροφής είναι αντίστροφα συνδεδεμένος, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.3.



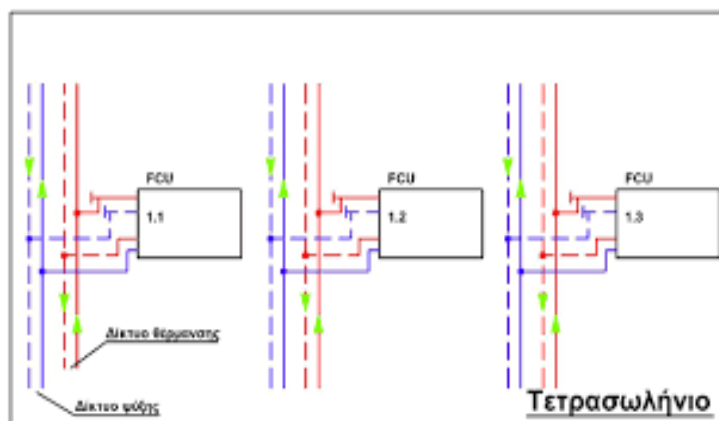
Σχήμα 5.1.3 Τρισωλήνιο σύστημα

Το τρισωλήνιο σύστημα λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως και το δισωλήνιο, με τη διαφορά ότι ο σωλήνας επιστροφής είναι ανάστροφα συνδεδεμένος. Ο λόγος που πραγματοποιείται αυτή η μορφή συνδεσμολογίας είναι για να μειωθούν οι διαφορές της πτώσης πίεσης των εκπομπών, όπως αυτό συμβαίνει σε ένα δισωλήνιο σύστημα. Σε ένα δισωλήνιο σύστημα όσο μακρύτερα είναι ένας εκπομπός από την πηγή θερμότητας η διαθέσιμη διαφορά πίεσης σε αυτόν είναι μικρότερη, και επομένως και η απόδοσή του είναι χειρότερη. Έτσι, με τη χρήση του τρισωλήνιου

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

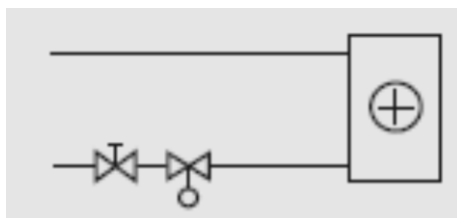
συστήματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.3, γίνεται εφικτό η διαφορά πίεσης των εκπομπών να μη διαφέρει μεταξύ τους τόσο πολύ, όπως συμβαίνει στο δισωλήνιο σύστημα.

Τα τετρασωλήνια συστήματα συνήθως εγκαθίστανται σε μεγάλα συγκροτήματα και οι τερματικές συσκευές (fancoils) χρησιμοποιούνται και για τη θέρμανση και για την ψύξη στο χώρο. Στην πραγματικότητα, είναι συστήματα που αποτελούνται από δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους δισωλήνια δίκτυα που καταλήγουν στα fancoils. Ανάλογα με την απαίτηση ψύξεως ή θερμάνσεως του χώρου, χρησιμοποιείται το αντίστοιχο δισωλήνιο δίκτυο και η εναλλαγή γίνεται με τη χρήση τριόδων βαλβίδων.



Σχήμα 5.1.4. Σύστημα τεσσάρων σωλήνων

Στα συστήματα διανομής περιλαμβάνονται, επίσης, και ομάδες βαλβίδων, οι οποίες παρέχουν τοπικό έλεγχο των εκπομπών θερμότητας. Ο σχεδιασμός τέτοιων ομάδων βαλβίδων, επηρεάζει την αρχή ελέγχου. Η απλούστερη περίπτωση δεν αποτελείται καθόλου από ομάδα βαλβίδων, πράγμα που σημαίνει ότι η θερμότητα που παρέχεται από τον εκπομπό ελέγχεται μόνο με την αλλαγή της ροής μέσω του εξαρτήματος. Η ρύθμιση αναφέρεται εδώ ως άμεση σύνδεση (σχήμα 5.1.5).



Σχήμα 5.1.5 Απευθείας σύνδεση

5.2 Εξισορρόπηση

Ο σκοπός της εξισορρόπησης είναι η δημιουργία μιας ισορροπημένης ροής στο σύστημα. Ωστόσο, η υδραυλική εξισορρόπηση επηρεάζει όχι μόνο την κατανομή των ροών μέσω του συστήματος, αλλά και την αλληλεπίδραση μεταξύ των εκπομπών θερμότητας και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους.

Προκειμένου να ρέει ένα υγρό, πρέπει να υπάρχει διαφορά πίεσης. Το ποσό της ροής περιορίζεται από την αντίσταση, η οποία οφείλεται στις απώλειες ενέργειας λόγω τριβής, απώλειες που προκαλούνται από αλλαγές κατεύθυνσης (π.χ. κάμψεις σωλήνων κ.λπ.) ή απώλειες λόγω της απότομης αλλαγής της ταχύτητας. Η σχέση μεταξύ της αντίστασης ροής και της διαφοράς πίεσης καθορίζει το μέγεθος της ροής. Αυτό φαίνεται από την ακόλουθη σχέση (ισχύει μόνο για πλήρη τυρβώδη ροή):

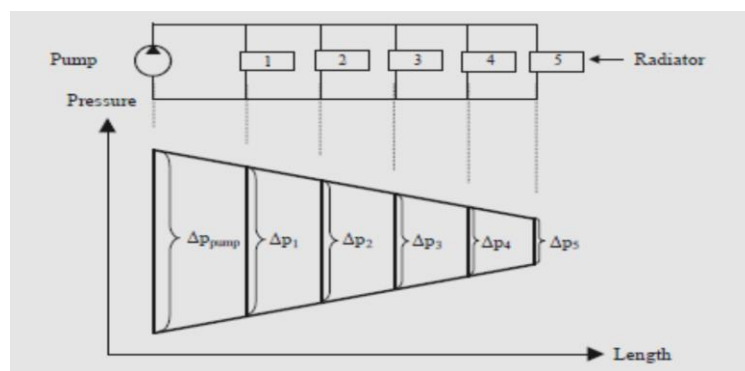
$$\dot{V} = \sqrt{\frac{\Delta p}{k}} \quad (5.2.1)$$

\dot{V} = Παροχή (m³/s)

Δp = Διαφορά πίεσης (Pa)

k = συντελεστής αντίστασης (Pa/(m³/s)²)

Ο σκοπός της αντλίας στο σύστημα κυκλοφορίας είναι να δημιουργήσει διαφορά πίεσης. Αυτή η διαφορά πίεσης, η οποία είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από τη ροή, σταδιακά μειώνεται από πτώσεις πίεσης στο σύστημα διανομής όσο αυξάνεται η απόσταση από την αντλία (κυκλοφορητής). Αυτό σημαίνει ότι η διαφορά πίεσης σε έναν εκπομπό κοντά στην αντλία είναι μεγαλύτερη από αυτήν σε έναν εκπομπό που βρίσκεται μακριά, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.1.



Σχήμα 5.2.1 Διαθέσιμη διαφορά πίεσης ενός συστήματος κυκλοφορίας με πέντε εκπομπούς. Η διαφορά πίεσης του εκπομπού 1 είναι μεγαλύτερη από του εκπομπού 5

Εάν η ροή μέσω κάθε εκπομπού πρέπει να είναι η ίδια, πρέπει να υπάρχει μεγαλύτερη ροή αντίστασης μέσω του εκπομπού 1 και χαμηλότερη αντίσταση μέσω του εκπομπού 5. Αυτό επιτυγχάνεται κατά την εξισορρόπηση μέσω των βαλβίδων εξισορρόπησης. Αλλάζοντας τα ανοίγματα των βαλβίδων, αλλάζει και η ροή αντίστασης. Ωστόσο, δεν είναι η ροή αντίστασης των βαλβίδων που καθορίζεται κατά την εξισορρόπηση, αλλά η χωρητικότητά τους.

Η μέγιστη ταχύτητα V_w του νερού μέσα στους σωλήνες δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,5 m/s στους επιμέρους κλάδους ή τα 2,5 m/s στους κεντρικούς κλάδους. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα του νερού μέσα σε σωλήνα επιφάνειας A , δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V_w = \frac{Q}{A} \quad (5.2.2)$$

Q: παροχή μέσω του σωλήνα (m^3/s)

A: διατομή του σωλήνα (m^2)

5.2.1 Η επίδραση της χαμηλότερης ισορροπημένης διαφοράς πίεσης

Το μέγεθος της παροχής του συστήματος δεν επιλέγεται εντελώς αυθαίρετα, καθώς συνδέεται με τη θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας και τα μεγέθη των εκπομπών θερμότητας. Όσο υψηλότερη είναι η πιθανή θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας, τόσο χαμηλότερη είναι η απαιτούμενη παροχή. Αυτό σημαίνει ότι άλλοι παράγοντες, όπως η επιλογή πηγής θερμότητας και το μέγεθος των εκπομπών μπορεί να επηρεάσει τη ρύθμιση του μεγέθους της παροχής. Για το λόγο αυτό, η πτώση πίεσης λόγω σωλήνα δεν μπορεί να ρυθμιστεί αυθαίρετα σε σχέση με την εξισορρόπηση. Ωστόσο, υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες σε ελιγμούς, από τεχνική άποψη, για να επιλεγεί η χαμηλότερη ισορροπημένη διαφορά πίεσης.

Καθώς η παροχή μέσω ενός εξαρτήματος εξαρτάται τόσο από τη διαθέσιμη διαφορά πίεσης κατά μήκος αυτού όσο και από την αντίστασή του, μία υψηλή διαφορά πίεσης μπορεί να αντισταθμιστεί για μία υψηλή αντίσταση στη ροή και αντιστρόφως, χωρίς αυτή να επηρεάζει την ροή. Όταν γίνεται εξισορρόπηση του συστήματος, καθορίζεται μια χαμηλότερη διαφορά πίεσης σχεδιασμού για το εξάρτημα του συστήματος (ή τη βαλβίδα εξισορρόπησης αυτού), το οποίο έχει τη χαμηλότερη διαφορά πίεσης. Αυτό το στοιχείο, το οποίο ορίζει τη χαμηλότερη διαφορά πίεσης, είναι συνήθως το πιο απομακρυσμένο από την αντλία.

Η υψηλότερη διαφορά πίεσης, βοηθά στη μείωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των εκπομπών σε ένα σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι, αν το σύστημα είναι ρυθμισμένο να έχει μία υψηλή διαφορά πίεσης, η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται από έναν εκπομπό δεν αλλάζει τόσο πολύ λόγω των αλλαγών στην παροχή που προκαλούνται από άλλα στοιχεία του συστήματος. Το μειονέκτημα μιας μεγάλης

πτώσης πίεσης είναι ότι χάνεται ενέργεια με τη μορφή πτώσης πίεσης μέσω των βαλβίδων, πράγμα το οποίο αυξάνει το λειτουργικό κόστος του συστήματος.

5.2.2 Χαρακτηριστική καμπύλη των εκπομπών θερμότητας

Η εξισορρόπηση παρέχει ένα έμμεσο μέτρο της ικανότητας σχεδιασμού του συστήματος, με τη μορφή επιπέδων θερμοκρασίας και παροχών. Είναι σημαντικό, όταν αναλύεται η λειτουργία και η απόδοση του συστήματος, να γνωστοποιούνται οι χαρακτηριστικές καμπύλες των εκπομπών θερμότητας, με τη μορφή της σχέσης μεταξύ παροχής και απελευθερούμενης θερμότητας (ή θερμοκρασία αέρα εξόδου). Αυτή η χαρακτηριστική καμπύλη εξαρτάται από το μέγεθος και το σχεδιασμό του εκπομπού και τα επίπεδα θερμοκρασίας.

Ο προσδιορισμός του μεγέθους ενός εκπομπού, όπως ένα σώμα καλοριφέρ, περιλαμβάνει εξασφάλιση ότι ο εκπομπός είναι κατάλληλου μεγέθους για να παρέχει την απαραίτητη ισχύ θέρμανσης. Αυτό το μέγεθος εξαρτάται, επίσης, από τα επίπεδα θερμοκρασίας σχεδιασμού του συστήματος θέρμανσης και τις συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες λειτουργεί το εξάρτημα, όλα σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση που περιγράφει τη μεταφορά θερμότητας σε έναν εναλλάκτη θερμότητας:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta t_m \quad (5.2.2.1)$$

\dot{Q} = Μεταφορά θερμικής ισχύος (W)

U = Συντελεστής θερμικής μετάδοσης (W / m²K)

A = Το εμβαδόν της συνιστώσας απελευθέρωσης θερμότητας (m²)

Δt_m = Η μέση διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου από τον εναλλάκτη θερμότητας (° C)

Επιπλέον, αν δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας, τότε ισχύει η ακόλουθη σχέση, με το i να αντιπροσωπεύει το θερμό (εισαγωγή) ή κρύο (εξαγωγή) μέσο.

$$\dot{Q} = \rho_i \cdot \dot{V}_i \cdot c_i \cdot (t_{in,i} - t_{out,i}) = C_i \cdot \Delta t_i \quad (5.2.2.2)$$

\dot{Q} = Μεταφορά θερμικής ισχύος (W)

ρ_i = Πυκνότητα (kg / m³)

\dot{V}_i = Ροή (m³ / s)

c_i = Ειδική θερμική χωρητικότητα (J / kg ° C)

$t_{in,i}$ = Θερμοκρασία εισόδου (° C)

$t_{out,i}$ = Θερμοκρασία εξόδου (° C)

C_i = Ροή θερμικής χωρητικότητας (= $\rho_i \cdot \dot{V}_i \cdot c_i$) (W / ° C)

Δt_i = διαφορά θερμοκρασίας (° C)

Θερμαντικά σώματα

Για τα θερμαντικά σώματα, ισχύει ότι ο συντελεστής θερμικής μετάδοσης U συνίσταται από τον συντελεστή θερμικής μόνωσης της επιφάνειας στο εξωτερικό του σώματος του θερμαντικού σώματος. Αυτός ο συντελεστής εξαρτάται από τα επίπεδα θερμοκρασίας, τα οποία επιτρέπουν την εφαρμογή της ακόλουθης σχέσης:

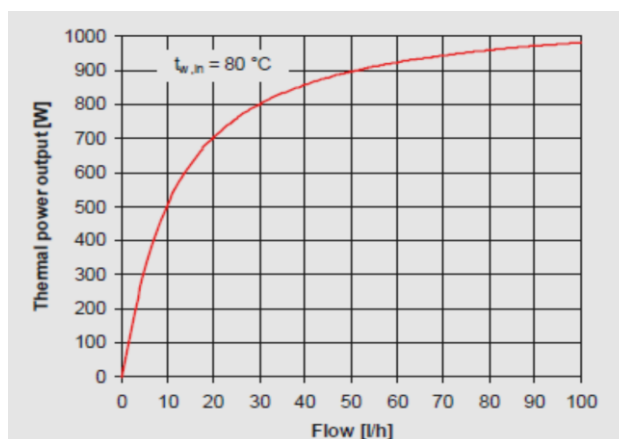
$$\dot{Q}_{\text{rad}} = K_{\text{rad}} \cdot \Delta t_m^n \quad (5.2.2.3)$$

\dot{Q}_{rad} = Θερμική ισχύς εξόδου από το θερμαντικό σώμα (W)

K_{rad} = σταθερά θερμαντικού σώματος, ανάλογα με το μέγεθος και το σχεδιασμό αυτού (W/ °Cⁿ)

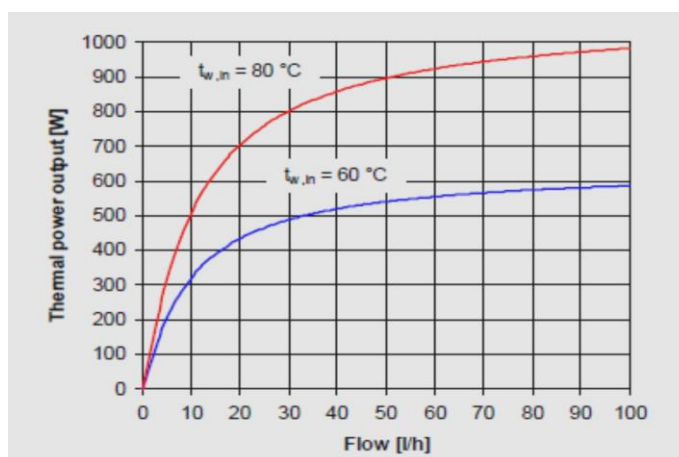
n = Εκθετής θερμαντικού σώματος, ανάλογα με το μέγεθος και το σχεδιασμό του

Το μέγεθος της ροής μέσω του εκπομπού έχει σημαντική επίδραση στην απελευθερούμενη ποσότητα θερμότητας. Για χαμηλό ρυθμό παροχής, η θερμοκρασία του νερού μειώνεται γρήγορα καθώς αυτό διέρχεται μέσα από το θερμαντικό σώμα και αποδίδει θερμότητα. Το αποτέλεσμα είναι μία χαμηλή θερμοκρασία επιστροφής και σχετικά χαμηλή μέση θερμοκρασία επιφάνειας στο καλοριφέρ, που συνεπάγεται μείωση της απελευθερούμενης ποσότητας θερμότητας. Για υψηλό ρυθμό παροχής, η θερμοκρασία του νερού στην έξοδο δε μειώνεται πολύ, το οποίο συνεπάγεται υψηλότερη θερμοκρασία επιστροφής, υψηλότερη μέση επιφανειακή θερμοκρασία του καλοριφέρ και μεγάλη απελευθέρωση θερμότητας. Το σχήμα 5.2.5.1 δείχνει, με θερμοκρασία τροφοδοσίας 80°C και θερμοκρασία δωματίου 20°C, πως η θερμική ισχύς εξόδου ποικίλλει ανάλογα με την παροχή για έναν δεδομένο εκπομπό. Αυτή η καμπύλη δημιουργήθηκε με βάση τις παραπάνω σχέσεις. Η καμπύλη του σχήματος είναι χαρακτηριστική τόσο των θερμαντικών σωμάτων όσο και των θερμαντήρων αέρα.



Σχήμα 5.2.2.1. Χαρακτηριστική καμπύλη παροχής ενός θερμαντικού σώματος

Καθώς η καμπύλη δεν είναι ευθεία, μια δεδομένη αλλαγή παροχής θα έχει διαφορετικά αποτελέσματα στη θερμική ισχύ εξόδου, ανάλογα με το σημείο της καμπύλης στο οποίο εμφανίζεται. Σε χαμηλό ρυθμό παροχής, μια αλλαγή στη παροχή έχει σημαντική επίδραση στη θερμότητα εξόδου, ενώ μία αλλαγή σε υψηλό ρυθμό παροχής, δεν έχει σαν αποτέλεσμα μία μεγάλη μεταβολή στην αποδιδόμενη θερμική ισχύ. Από αυτή την άποψη, η εξισορρόπηση έχει ενδιαφέρον, καθώς καθορίζει η το σημείο λειτουργίας του θερμαντικού σώματος επί της χαρακτηριστικής καμπύλης. Ωστόσο, η πραγματική χαρακτηριστική καμπύλη εξαρτάται από τη θερμοκρασία εισόδου του νερού, τη θερμοκρασία δωματίου και το μέγεθος του θερμαντικού σώματος. Αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, το οποίο δίνει τις χαρακτηριστικές ενός και του αυτού θερμαντικού σώματος, αλλά για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου, 80°C και 60°C.



Σχήμα 5.2.2.2. Χαρακτηριστικές καμπύλες ενός και του αυτού καλοριφέρ, με θερμοκρασίες εισόδου 80°C και 60°C.

5.2.3 Κατηγοριοποίηση συστημάτων

Ένα σύστημα θέρμανσης που είναι σχεδιασμένο για μία μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας των 50°C (δηλαδή τη μέση τιμή των θερμοκρασιών του σωλήνα τροφοδοσίας και επιστροφής), αναφέρεται ως σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, ενώ συστήματα με υψηλότερες μέγιστες μέσες θερμοκρασίες αναφέρονται ως συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Οι θερμοκρασίες του συστήματος συνήθως δηλώνονται με σκοπό να καθορίσουν τον τύπο του συστήματος: π.χ. ένα 75/35 σύστημα (θερμοκρασία τροφοδοσίας 75°C, θερμοκρασία επιστροφής 35°C) ή σύστημα 60/40 κ.λπ.

Μια κοινή μορφή εξισορρόπησης βασίζεται στην εξής αρχή: κάθε βαλβίδα ενός συστήματος ή κλάδου ρυθμίζεται ανεξάρτητα αναφορικά με τη σχέση του με όλες τις βαλβίδες του συστήματος ή του κλάδου. Η ροή είναι σχετικά υψηλή, πράγμα

που σημαίνει ότι η πτώση πίεσης σε κάθε βαλβίδα είναι σημαντική για την εξισορρόπηση, καθώς η διαθέσιμη διαφορά πίεσης μέσω των βαλβίδων πέφτει όσο απομακρυνόμαστε από την αντλία.

Η εξισορρόπηση χαμηλής ροής χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Östen Sandberg στη δεκαετία του 1960, και συνεπάγεται σημαντική μείωση της ροής σε σύγκριση με ένα σύστημα υψηλής ροής. Αυτό μειώνει τις πτώσεις πίεσης μεταξύ ενός κλάδου βαλβίδων (υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούνται κανονικά μεγέθη σωλήνων), με αποτέλεσμα ότι η διαφορά πίεσης είναι σχεδόν ίδια κατά μήκος όλων των βαλβίδων. Η εξισορρόπηση μπορεί να επικεντρωθεί σε κάθε βαλβίδα κάθε φορά, με την αλληλεπίδραση μεταξύ των βαλβίδων να παραβλέπεται αισθητά. Για τον ίδιο λόγο, αυτοί οι οποίοι συνιστούν αυτή τη μέθοδο πιστεύουν ότι δεν υπάρχει ανάγκη για οποιαδήποτε ομάδα βαλβίδων ή διακλάδωσης, καθώς η διαφορά πίεσης είναι πρακτικά ίδια απέναντι σε κάθε ομάδα ή διακλάδωση. Οι συνήθεις θερμοκρασίες του συστήματος σε συστήματα χαμηλής ροής είναι συνήθως κάπου μεταξύ 70/30 και 80/40 °C.

Τα υδραυλικά συστήματα θέρμανσης μπορούν, επομένως να κατηγοριοποιηθούν σε συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας και συστήματα υψηλής θερμοκρασίας, καθώς και σε χαμηλής και υψηλής ροής συστήματα. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει παραδείγματα συστημάτων που κατηγοριοποιούνται, με τις αντίστοιχες μεθόδους. Μία υψηλή πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί σε χαμηλή ροή, ενώ σε υψηλό μέσο όρο η θερμοκρασία είναι ενδεικτική μιας σχετικά μικρής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας του εκπομπού θερμότητας.

Πίνακας 5.2.3.1. Κατηγοριοποίηση διαφορετικών τύπων συστημάτων

	Υψηλό	Χαμηλό
Υψηλό	80/60	80/40
Χαμηλό	60/40	70/30

5.3 Συστήματα ελέγχου HVAC

Οι εξοπλισμοί θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού διαθέτουν λειτουργίες έναρξης, παύσης και αυτόματο. Στη λειτουργία έναρξης λειτουργούν συνεχώς οι ανεμιστήρες αερισμού, ενώ παραμένει απενεργοποιημένος ο εξοπλισμός θέρμανσης/ψύξης. Στην αυτόματη λειτουργία αισθητήρες θερμοκρασίας ελέγχουν αυτόματα το σύστημα θέρμανσης/ψύξης, ενώ ο ανεμιστήρας κυκλοφορίας του αέρα λειτουργεί συνεχώς.

Ο εξοπλισμός ελέγχου περιλαμβάνει, κυρίως, αισθητήρες θερμοκρασίας για:

- χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα
- παροχή αέρα, μικτός αέρας (ανακυκλωμένος και εξωτερικός), φρέσκος αέρας
- αισθητήρες μέσης θερμοκρασίας, αισθητήρες υγρασίας
- βαλβίδες ελέγχου και χειριστήρια

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος HVAC πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

1. Απλότητα. Σχεδιασμός του συστήματος όσο το δυνατόν πιο απλό ώστε να υπάρχει αξιοπιστία και ευκολία συντήρησης και επισκευών.
2. Ανάκτηση ενέργειας. Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος HVAC χρειάζεται να γίνεται αξιολόγηση κατά πόσο είναι οικονομοτεχνικά αποδοτικό να πραγματοποιείται εξοικονόμηση ή ανάκτηση ενέργειας.
3. Μέση θερμοκρασία. Σε εγκαταστάσεις που έχουν μεγάλους ενιαίους χώρους παρουσιάζονται πολλές φορές υψηλά φορτία θερμότητας. Κατά τη σχεδίαση του συστήματος είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται περισσότεροι του ενός αισθητήρες θερμοκρασίας μέσα στο χώρο, προκειμένου να εξάγεται η μέση θερμοκρασία του χώρου που θα χρησιμοποιείται για τη διαδικασία ελέγχου.
4. Βηματικοί και Αναλογικοί Ελεγκτές. Σε περίπτωση που διακοπεί η κυκλοφορία του αέρα, οι ελεγκτές αυτοί σταματούν την παροχή του μέσου μεταφοράς θερμικής ενέργειας.
5. Ολοκληρωμένοι έλεγχοι. Ο ολοκληρωμένος έλεγχος επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση προγραμματιζόμενων ελεγκτών με βάση μικροεπεξεργαστές για τον αυτόματο έλεγχο και παρακολούθηση του εκοπλισμού.
6. Ανεξάρτητα χειριστήρια. Έναρξη διακοπής της λειτουργίας του συστήματος ή προσαρμογής στις διάφορες συνθήκες της εγκατάστασης (χειροκίνητη επέμβαση όπου και όποτε απαιτείται).
7. Πίνακες ένδειξης. Για την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος και του εξοπλισμού HVAC.
8. Θερμοστάτης. Οι καταστάσεις θέρμανσης, αερισμού και ψύξης μιας κύριας μονάδας κλιματισμού ελέγχονται μέσω αισθητήρα (θερμοστάτη).

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ

6.1 Εξισορρόπηση υδραυλικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης

Τα συστήματα υδραυλικής θέρμανσης/ψύξης έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν τον ακριβή ρυθμό θερμότητας, όταν και όποτε αυτός απαιτείται μέσα στο κτήριο. Χωρίς τον κατάλληλο σχεδιασμό και την κατάλληλη εξισορρόπηση, αυτή η δυνατότητα σπάνια γίνεται πραγματικότητα.

Στο πλαίσιο των συστημάτων της υδραυλικής θέρμανσης, η εξισορρόπηση αναφέρεται στη ρύθμιση των βαλβίδων στην άμεση ροή μέσα σε ένα σύστημα θέρμανσης ή ψύξης, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά επίπεδα άνεσης στον εσωτερικό χώρο και να διατηρούνται αυτά σε όλες τις περιοχές που εξυπηρετούνται από το σύστημα.

Ιδανικά, κάθε ζώνη ή πομπός θερμότητας σε τέτοια συστήματα θα ήταν πανομοιότυπος με τους άλλους, οπότε η κάθε διακλάδωση θα πρέπει να παρέχει τον ίδιο ρυθμό ροής θερμότητας του ολικού συστήματος, και κατά συνέπεια να έχει πανομοιότυπους κλάδους σωληνώσεων.

Τέτοια ιδανικά συστήματα σπάνια υφίστανται. Αντ' αυτού, ένα τυπικό σύστημα περιέχει πολλούς διαφορετικούς τύπους εκπομπών θερμότητας, οι οποίοι συνδέονται με τον λέβητα, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους, μεγέθη και μήκη σωλήνωσης.

Όταν ένα τέτοιο σύστημα τίθεται σε λειτουργία, ο ρυθμός ροής που επιτυγχάνεται σε κάθε διακλάδωση καθορίζεται από την υδραυλική της αντίσταση σε σχέση με τις άλλες διακλαδώσεις και τον χρησιμοποιούμενο κυκλοφορητή. Δεν υπάρχει εξασφάλιση ότι ο ρυθμός ροής σε κάθε δεδομένη διακλάδωση θα τροφοδοτεί ικανοποιητικά με την απαραίτητη ροή θερμότητας τον κάθε εκπομπό. Ένα τέτοιο σύστημα όσο σωστά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο και αν είναι, χωρίς την κατάλληλη εξισορρόπηση η αποδοτικότητά του θα είναι μικρότερη της αναμενόμενης.

6.2 Συνέπειες μη ισορροπημένων υδραυλικών συστημάτων

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

Κάθε φορά που σχεδιάζεται ένα υδρονικό σύστημα, η πρόθεση είναι να μεταφερθεί η κατάλληλη ποσότητα θερμότητας, ακριβώς όταν και όποτε χρειάζεται μέσα σε ένα κτήριο. Χωρίς κατάλληλη εξισορρόπηση αυτός ο στόχος δεν επιτυγχάνεται σχεδόν ποτέ. Η πιο προφανής συνέπεια ενός ακατάλληλα ισορροπημένου συστήματος, είναι η έλλειψη άνεσης. Με άλλα λόγια: «Η αδυναμία προμήθειας του πλέον επιζητούμενου οφέλους της υδραυλικής θέρμανσης». Η έλλειψη άνεσης συνήθως αποδίδεται στη θερμοκρασία του αέρα του δωματίου που είναι πολύ χαμηλή, πολύ υψηλή ή και τα δύο.

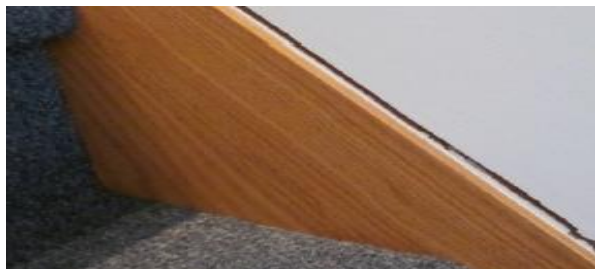
Οι μεγάλες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του εσωτερικού, συχνά οδηγούν σε προβλήματα πέρα από την έλλειψη άνεσης. Όταν ορισμένες περιοχές ενός κτηρίου δεν μπορούν να θερμανθούν, ώστε να φτάσουν την επιθυμητή θερμοκρασία αέρα δωματίου, μπορούν να εμφανισθούν διάφορα προβλήματα όπως παρακάτω:

- Παγωμένες σωληνώσεις στο σύστημα διανομής του νερού του κτηρίου



Πηγή: Hydronic balancing, GALEFFI

- Ρωγμές συρρίκνωσης σε ξύλο και γυψοσανίδες



Πηγή: Hydronic balancing, GALEFFI

- Παρουσία συμπυκνωμάτων υγρασίας στα παράθυρα

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΥΑΚ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ



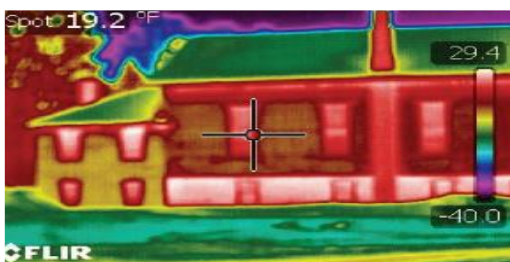
Πηγή: *Hydronic balancing, GALEFFI*

- Ανάπτυξη μούχλας και ωιδίου



Πηγή: *Hydronic balancing, GALEFFI*

- Σπατάλη θερμαντικής ενέργειας λόγω υψηλών απωλειών θερμότητας



Πηγή: *Hydronic balancing, GALEFFI*

- Αργή αφύγρανση ή βρεγμένες επιφάνειες
- Αυξημένη πιθανότητα αναπνευστικών ασθενειών και επιδείνωση άλλων παθήσεων υγείας, όπως αρθρίτιδα
- Δωμάτια που παραμένουν σε υψηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία, δημιουργούν επίσης προβλήματα, όπως κακή νοητική εγρήγορση
- Αυξημένη διαρροή αέρα μέσα από το κέλυφος του κτηρίου

- Αυξημένη πιθανότητα χαμηλής υγρασίας στο εσωτερικό
- Πρόωρη αλλοίωση τροφίμων

Άλλες ανεπιθύμητες συνθήκες που μπορεί να προκύψουν από ακατάλληλα ισορροπημένα συστήματα:

- Υψηλές ταχύτητες ροής στη δημιουργία εξαρτημάτων σωληνώσεων δημιουργώντας θόρυβο και πιθανή διάβρωση.
- Υπερβολική χρήση ενέργειας από τους κυκλοφορητές λόγω υπερχείλισης συνθηκών.
- Κυκλοφορητές που λειτουργούν με χαμηλή απόδοση.
- Κυκλοφορητές που λειτουργούν σε υψηλή διαφορά πίεσης, αυξανόμενο δυναμικό προκαλώντας ζημιά των δακτυλίων ή ρουλεμάν.
- Κυκλοφορητές που λειτουργούν σε υψηλούς ρυθμούς ροής και χαμηλή διαφορά πίεσης μπορεί να υποστούν υπερφόρτωση στον κινητήρα.
- Πιθανή ροή λόγω διαρροής σε ζώνες, οι οποίες υποτίθεται ότι είναι κλειστές.

6.3 Σκοπός της υδραυλικής εξισορρόπησης

Στην υδραυλική θέρμανση είναι επιθυμητό να υπάρχει ένα ισορροπημένο σύστημα, ωστόσο οι απόψεις ποικίλλουν. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις συνηθέστερες περιγραφές ενός σωστά ισορροπημένου συστήματος:

- Το σύστημα είναι σωστά ισορροπημένο εάν όλα τα ταυτόχρονα τα λειτουργικά κυκλώματα έχουν την ίδια πτώση θερμοκρασίας.
- Το σύστημα είναι σωστά ισορροπημένο εάν ο λόγος του ρυθμού ροής μέσα από έναν κλάδο διαιρούμενος με τον ολικό ρυθμό ροής, είναι ο ίδιος με το λόγο της απαιτούμενης θερμότητας εξόδου από αυτόν τον κλάδο, διαιρουμένης από τη συνολική παραγωγή θερμότητας του συστήματος.
- Το σύστημα είναι σωστά ισορροπημένο αν όλα τα κυκλώματα διακλάδωσης είναι πανομοιότυπα κατασκευασμένα (π.χ. ίδιο είδος, μέγεθος και μήκος σωληνώσεων, ίδια εξαρτήματα και βαλβίδες, ίδιοι εκπομποί θερμότητας).
- Το σύστημα είναι κατάλληλα εξισορροπημένο αν ο εγκαταστάτης δεν λαμβάνει παράπονα για δωμάτια που είναι πολύ θερμά, ενώ άλλα είναι πολύ ψυχρά.

Ενώ μερικοί από αυτούς τους ορισμούς της σωστής εξισορρόπησης σχετίζονται, κανένα από αυτούς δεν είναι απολύτως σωστός ή πλήρης. Συνεπώς, κάθε προσπάθεια εξισορρόπησης ενός συστήματος είναι άσκοπη χωρίς έναν σωστό ορισμό και «τελικό στόχο» για τη διαδικασία εξισορρόπησης. Ο ορισμός του σωστού ισορροπημένου συστήματος έχει ως εξής: «Ένα σωστά ισορροπημένο υδραυλικό σύστημα είναι αυτό που παρέχει συνεχώς τον κατάλληλο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας σε κάθε χώρο που εξυπηρετείται από το σύστημα».

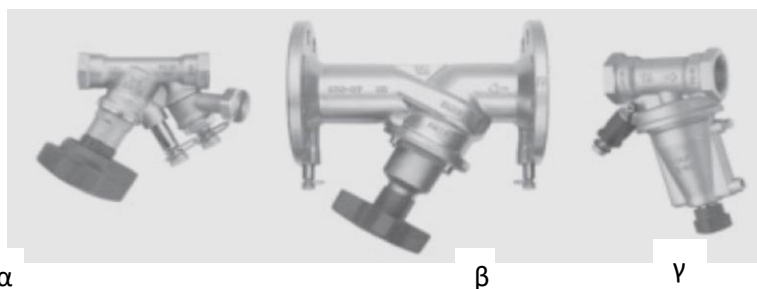
6.4 Τι χρειάζεται για ένα ισορροπημένο υδραυλικό σύστημα

Για την υδραυλική εξισορρόπηση χρειάζονται να πραγματοποιούνται τρεις διαδικασίες:

- Να μετράται και να ρυθμίζεται καταλλήλως η ροή
- Συσκευές, δηλαδή όργανα μέτρησης
- Ακολουθούμενη διαδικασία για την εξισορρόπηση

Συσκευές μέτρησης και ρύθμισης της ροής

Για τη μέτρηση και ρύθμιση της ροής χρησιμοποιούνται βαλβίδες μεταβλητού ανοίγματος, ρυθμιστικές βαλβίδες ή συσκευές στομίου με ανεξάρτητη ρυθμιστική βαλβίδα. Στο σχήμα 6.4.1 φαίνονται διάφορα είδη στραγγαλιστικών βαλβίδων. Αυτό μεταφράζεται σε μεγάλη διαφορά στην ακρίβεια του εσωτερικού κλιματισμού, στην εξοικονόμηση ενέργειας και στο χρόνο, το κόστος και την προσπάθεια που απαιτείται για να γίνει μία εργασία εξισορρόπησης.



Σχήμα 6.4.1 Είδη στραγγαλιστικών βαλβίδων α) STAD βαλβίδα εξισορρόπησης 15 με 50 mm β) STAF βαλβίδα εξισορρόπησης 20 300 mm γ) STAP ελεγκτής διαφοράς πίεσης 15 100 mm

Οι δυναμικές βαλβίδες εξισορρόπησης λειτουργούν ως περιοριστές της ροής. Αυτές ρυθμίζονται στον επιθυμητό ρυθμό ροής, προκειμένου να μην ξεπεραστεί ο θεωρητικά ορισμένος ρυθμός ροής. Έτσι εάν η πίεση πριν από τη βαλβίδα αυξηθεί αυτή θα κλείσει λίγο περισσότερο με συνέπεια η απώλεια πίεσης στη βαλβίδα να αυξηθεί αντίστοιχα και να έχουμε κατά αυτό τον τρόπο τον επιθυμητό ρυθμό ροής (βαλβίδες τύπου STAD και STAF).

Το STAF είναι ένας ελεγκτής διαφορικής πίεσης υψηλής απόδοσης, ο οποίος διατηρεί τη διαφορική πίεση στο κύκλωμα σταθερή. Αυτό παρέχει ακριβή και σταθερό έλεγχο διαμόρφωσης και εξασφαλίζει έτσι μικρότερο κίνδυνο θορύβου από τις βαλβίδες ελέγχου (STAD και STAF) και προκύπτει έτσι ευκολότερη εξισορρόπηση του συστήματος και θέση σε λειτουργία αυτού.

Η υδραυλική εξισορρόπηση των δικτύων θέρμανσης επιτυγχάνεται με την χρήση ρυθμιστών διαφορικής πίεσεως στη αρχή των επιμέρους κατακόρυφων κλάδων διανομής. Με τον έλεγχο της διαφορικής πίεσης μεταξύ του νερού προσαγωγής και του νερού επιστροφής ελέγχεται στην ουσία η παροχή του νερού θέρμανσης στα επιμέρους κυκλώματα και διασφαλίζεται ότι ουδέν κύκλωμα αντιμετωπίζει πρόβλημα ελλειπούς παροχής νερού. Η απαιτούμενη δαπάνη σε ρυθμιστικές βαλβίδες διαφορικής πίεσης είναι μικρή και η απόσβεση της δαπάνης συνήθως επέρχεται εντός της επομένης περιόδου θέρμανσης.

Συσκευές - Όργανα μέτρησης

Προκειμένου να εξακριβώνεται ότι επιτυγχάνονται οι ροές σχεδιασμού της εγκατάστασης καθώς και ποιες διαφορικές πιέσεις εμφανίζονται στα διάφορα σημεία της εγκατάστασης, απαιτείται να γίνονται μετρήσεις. Προς το σκοπό αυτό υπάρχουν όργανα μέτρησης, τα οποία βοηθούν στην ανάλυση των διαφόρων συστημάτων/κυκλωμάτων και την αντιμετώπιση προβλημάτων. Τα όργανα μέτρησης έχουν τη δυνατότητα να μετρούν διαφορική πίεση, παροχή και θερμοκρασία των διαφόρων βαλβίδων εξισορρόπησης και των ελεγκτών διαφορικής πίεσης.

6.5 Υδραυλική εξισορρόπηση και σταθεροποίηση των διαφορικών πιέσεων

Μέσω του ελέγχου ενός συστήματος μπορούν να ικανοποιηθούν οι απαιτητικές ανάγκες για την άνεση των εσωτερικών χώρων και την ενεργειακή απόδοση μίας εγκατάστασης. Βέβαια ακόμη και οι πιο εξελιγμένοι ελεγκτές δεν μπορούν να επιτύχουν πάντα τα επιθυμητά αποτελέσματα, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα και η άνεση και η εξοικονόμηση κόστους να τεθούν εκτός προδιαγραφών. Έτσι σε εγκαταστάσεις HVAC παρουσιάζονται προβλήματα, όπως:

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

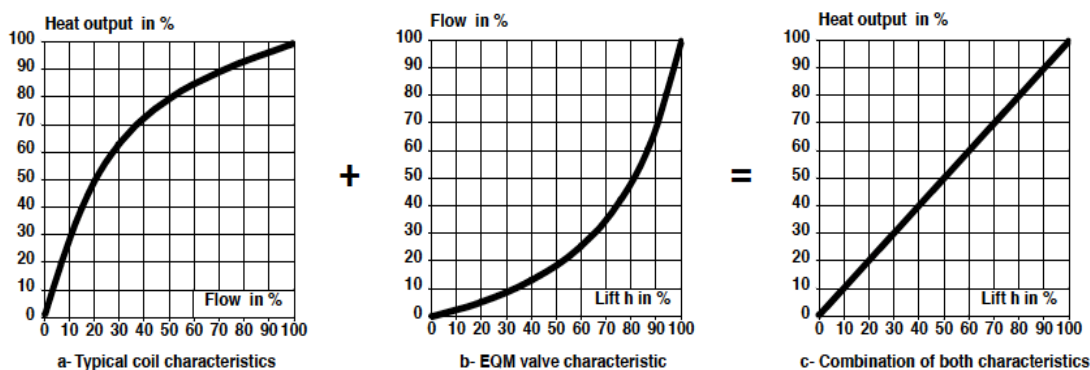
- Μη επιθυμητή θερμοκρασία χώρου, ιδίως όταν υπάρχει μεγάλη διακύμανση φορτίου μεταξύ των διαφόρων χώρων.
- Ακόμα και αν επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία χώρου, αυτή έχει διακυμάνσεις ακόμη και στη χρήση εξελεγμένων ελεγκτών.
- Αν και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας έχουν επαρκή ικανότητα, δεν μπορούν να μεταδώσουν την παραγόμενη ενέργεια όταν απαιτούνται μεγάλα φορτία και, κυρίως, κατά τη διάρκεια της έναρξης λειτουργίας του συστήματος.

Οι παραπάνω δυσλειτουργίες συμβαίνουν, επειδή κάποια από τις τρεις βασικές προϋποθέσεις δεν πληρείται:

- Η παροχή σχεδιασμού πρέπει να είναι η αντίστοιχη σε όλους τους εκπομπούς.
- Η διαφορική πίεση στις βαλβίδες ελέγχου δεν πρέπει να διαφέρει πολύ από την προϋπολογισθείσα κατά το σχεδιασμό του συστήματος.
- Οι ροές πρέπει να είναι συμβατές στα συνδετικά στοιχεία της εγκατάστασης.

6.5.1 Η χαρακτηριστική καμπύλη της βαλβίδας ελέγχου

Η χαρακτηριστική καμπύλη μιας βαλβίδας ελέγχου που προκύπτει, αποτελεί συνάρτηση της παροχής του νερού μέσω της βαλβίδας και του ανοίγματος της βαλβίδας σε σταθερή διαφορική πίεση, οι οποίες εκφράζονται ως ποσοστό των μέγιστων τιμών τους.



Σχήμα 6.5.1. Η υιοθέτηση ενός αντίστροφου μη γραμμικού χαρακτηριστικού για τη βαλβίδα ελέγχου αντισταθμίζει τη μη γραμμικότητα ενός χαρακτηριστικού πηνίου

Για μια βαλβίδα με γραμμική χαρακτηριστική καμπύλη, η παροχή του νερού είναι ανάλογη με το άνοιγμα αυτής. Λόγω της μη γραμμικής χαρακτηριστικής της τερματικής μονάδας (Σχήμα 6.5.1α), ανοίγοντας ελαφρά τη βαλβίδα ελέγχου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά η εκπομπή ενέργειας σε μικρά και μεσαία φορτία, το οποίο σημαίνει ασταθής λειτουργία σε μικρά φορτία.

Με κατάλληλη επιλογή της χαρακτηριστικής της βαλβίδας ελέγχου, μπορεί να αντισταθμιστεί η μη γραμμικότητα και έτσι να επιλυθεί το πρόβλημα αυτό. Αυτό συμβάλλει στη διασφάλιση ότι η εκπομπή από την τερματική μονάδα είναι ανάλογη με το άνοιγμα της βαλβίδας.

Συμπεραίνεται ότι ο συνδυασμός αυτών των δύο διαφορετικών τύπου βαλβίδας, της γραμμικής και της μη γραμμικής χαρακτηριστικής, μπορούν να αποδώσουν μία χαρακτηριστική ευθείας μορφής. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.5.1c, ο συνδυασμός των δύο διαφορετικού τύπου βαλβίδων που έχουν γραμμική και μη γραμμική χαρακτηριστική, μπορούν τελικά να μας δώσουν μία χαρακτηριστική καμπύλη ευθείας γραμμής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η λειτουργία του συστήματος να είναι πιο ομαλή και, επομένως, ο κυκλοφορητής μπορεί να λειτουργεί σε μικρότερη ταχύτητα στροφών.

Για να συμβεί αυτό, πρέπει να πληρούνται δύο προϋποθέσεις:

- Η διαφορική πίεση στη βαλβίδα ελέγχου να είναι σταθερή.
- Η ροή σχεδιασμού να επιτυγχάνεται όταν η βαλβίδα ελέγχου είναι πλήρως ανοιχτή.

Εάν η διαφορική πίεση στη βαλβίδα ελέγχου δεν είναι σταθερή, ή εάν η βαλβίδα είναι υπερβολικά μεγάλη, η χαρακτηριστική της βαλβίδας ελέγχου παραμορφώνεται και ο έλεγχος, τελικά, είναι αναποτελεσματικός, προκαλώντας προβλήματα.

6.5.2 Αρχή λειτουργίας βαλβίδας ελέγχου

Ένα μέτρο της χωρητικότητας της βαλβίδας δίνεται από τον συντελεστή k_v , ο οποίος ορίζεται ως:

$$k_v = \frac{\dot{V}}{\sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \cdot \frac{\rho_0}{\rho}}} \quad (6.5.2.1)$$

\dot{V} = Παροχή όγκου μέσω της βαλβίδας (m^3/h)

Δp = Διαφορά πίεσης μέσω της βαλβίδας (bar)

Δp_0 = Πτώση πίεσης αναφοράς = 1 bar

ρ = Πυκνότητα του υγρού που διέρχεται από τη βαλβίδα (kg/m^3)

ρ_0 = Πυκνότητα αναφοράς = 1000 kg/m^3 (νερό)

Η τιμή k_v δείχνει το μέγεθος της ροής σε m^3/h που διέρχεται από τη βαλβίδα για διαφορά πίεσης 1 bar.

Όσο μεγαλύτερο είναι το άνοιγμα, τόσο υψηλότερη είναι η χωρητικότητα της βαλβίδας και τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής k_v . Το κλείσιμο της βαλβίδας δίνει μηδενική τιμή k_v . Το υγρό στα υδραυλικά συστήματα θέρμανσης είναι γενικά νερό, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως ασυμπίεστο ρευστό, έτσι ώστε ο συντελεστής διόρθωσης ρευστού (ρ/ρ_0) μπορεί να εκφραστεί ως μονάδα. Επιπλέον, καθώς η πτώση πίεσης αναφοράς είναι 1, η έκφραση για την τιμή k_v απλοποιείται ως εξής:

$$k_v = \frac{\dot{V}}{\sqrt{\Delta p}} \quad (6.5.2.2)$$

6.5.3 Η επίδραση της πτώσης πίεσης λόγω της αντίστασης του σωλήνα

Η αλληλεπίδραση, παραδείγματος χάριν το πώς οι τοπικές αλλαγές της παροχής επηρεάζουν την ισορροπία της παροχής του όλου συστήματος, εξαρτάται από την πτώση πίεσης στους σωλήνες του συστήματος και από το μέγεθος της πτώσης πίεσης λόγω των χαρακτηριστικών στοιχείων αυτού (βαλβίδες, καμπύλες, γωνίες κ.λπ.). Η πτώση πίεσης στους σωλήνες εξαρτάται από το μέγεθός τους και τη ροή τους (παροχή) ως αποτέλεσμα της εξισορρόπησης του συστήματος. Η πτώση πίεσης σωλήνα μπορεί να περιγραφεί με την ακόλουθη σχέση, η οποία ακολουθεί την ίδια αρχή με αυτήν της εξίσωσης (5.5.1):

$$\Delta p_{\text{pipe}} = k_{\text{pipe}} \cdot \dot{V}^x \quad (6.5.3.1)$$

Δp_{pipe} = πτώση πίεσης σωλήνα (kPa)

k_{pipe} = Ο συντελεστής αντίστασης ροής στο σωλήνα ($\text{kPa}/(\text{m}^3/\text{s})^x$)

\dot{V} = Ροή (m^3/s)

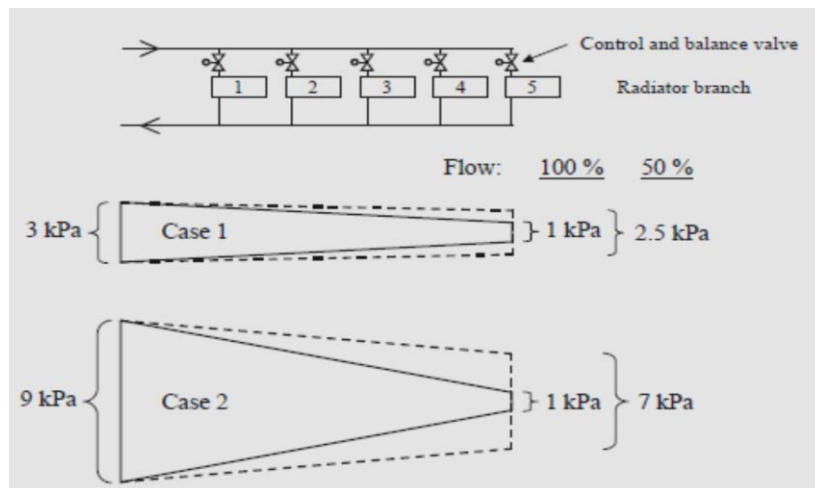
x = Ένας εκθέτης, ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο της ροής

Για πλήρως στρωτή ροή, ο εκθέτης ισούται με 1, ενώ για πλήρως τυρβώδη ροή ισούται με έως 2. Αυτά αντιπροσωπεύουν τις δύο περιοριστικές περιπτώσεις συνθηκών ροής. Ο εκθέτης ποικίλλει μεταξύ 1 και 2, ανάλογα με τις συνθήκες ροής.

Από τις προηγούμενες εξισώσεις, μπορούμε να εξάγουμε την ακόλουθη σχέση, η οποία περιγράφει πώς μια αλλαγή ροής επηρεάζει την πτώση πίεσης. Ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι ούτε οι παράμετροι του σωλήνα ούτε το εκθετικό x αλλάζουν. Ο δείκτης 1 δείχνει την τιμή της ποσότητας πριν από την αλλαγή και ο δείκτης 2 δείχνει την τιμή του μετά την αλλαγή.

$$\frac{\Delta p_{pipe,2}}{\Delta p_{pipe,1}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^x \quad (6.5.3.2)$$

Το μέγεθος της αλληλεπίδρασης εξαρτάται από το μέγεθος της πτώσης πίεσης μέσα στους εκπομπούς θερμότητας, σε ανταπόκριση σε μία αλλαγή της ισορροπίας της ροής στο σύστημα. Αυτό απεικονίζεται από ένα παράδειγμα με μια ομάδα εκπομπών θερμότητας (σχήμα 5.2.3.1). Το σχήμα δείχνει την επίδραση δύο διαφορετικών πτώσεων πίεσης στους σωλήνες, όπως θα μπορούσε να προκύψει, για παράδειγμα, από διαφορετικές ροές ή από διαφορετικά μεγέθη σωλήνων (ή θα μπορούσαν να συμβούν και τα δύο ταυτόχρονα).



Σχήμα 6.5.3.1. Η αύξηση της πτώσης πίεσης σε απόκριση με τη μείωση της ροής μέσω της ομάδας των εκπομπών θερμότητας. Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών πτώσεων πίεσης στους σωλήνες (2 kPa και 8 kPa)

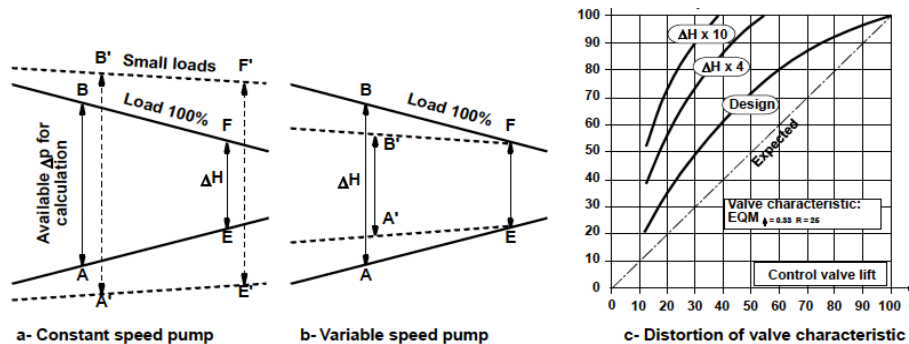
Στην πρώτη περίπτωση, η πτώση της πίεσης στους σωλήνες τροφοδοσίας και επιστροφής είναι 2 kPa, όταν η χαμηλότερη εξισορροπημένη διαφορά πίεσης (στον εκπομπό 5) είναι 1 kPa. Μία μείωση κατά 50% της παροχής μέσω του συστήματος σημαίνει ότι η πτώση πίεσης λόγω του σωλήνα πέφτει στο 25% της αρχικής τιμής, σύμφωνα με την εξίσωση (5.2.3.1) (υπό την προϋπόθεση ότι η ροή είναι πλήρως τυρβώδης). Η διαφορά πίεσης στον εκπομπό 5 αυξάνεται στη συνέχεια στα 2,5 kPa, η οποία θα οδηγήσει σε αύξηση της ροής κατά 58% αν δεν αλλάξει η ρύθμιση της βαλβίδας στον εκπομπό.

Στη δεύτερη περίπτωση, η πτώση πίεσης λόγω του σωλήνα κατά 8 kPa είναι τέσσερις φορές υψηλότερη από την πρώτη περίπτωση, ενώ η χαμηλότερη διαφορά πίεσης ισορροπίας παραμένει στο 1 kPa, στον εκπομπό 5. Μία μείωση της παροχής κατά 50% οδηγεί σε μία νέα διαφορά πίεσης 7 kPa στον εκπομπό 5, που έχει σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί η παροχή κατά 164% μέσα από αυτόν.

Επομένως, μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι η αλληλεπίδραση αυξάνεται με την πτώση πίεσης του σωλήνα, η οποία μπορεί να επηρεαστεί από τη λειτουργία της εξισορρόπησης και, πιθανών πρωτίστως, από το μέγεθος των σωλήνων. Τα μεγάλα μεγέθη σωλήνων έχουν επίσης το πλεονέκτημα ότι όχι μόνο μειώνεται η αλληλεπίδραση, αλλά μειώνεται επίσης και το κόστος λειτουργίας της αντλίας, καθώς υπάρχει χαμηλότερη πτώση πίεσης στο σύστημα. Ωστόσο, τα μεγάλα μεγέθη σωλήνων συνεπάγονται του υψηλότερου επενδυτικού κόστους. Επιπλέον, δεν είναι πάντα ωφέλιμη η ελαχιστοποίηση της πτώσης πίεσης στο σύστημα.

6.5.4 Η διαφορική πίεση αλλάζει με το μέσο φορτίο στην εγκατάσταση

Σε μια διανομή άμεσης επιστροφής (Εικ. 6.5.2α), τα απομακρυσμένα κύκλωμα υπόκεινται τις υψηλότερες μεταβολές της διαφορές διαφορικής πίεση. Σε χαμηλές ροές ενδιάμεσων φορτίων, όταν η βαλβίδα ελέγχου υπόκειται σε όλη την πίεση της αντλίας, αυτή λειτουργεί ανεπαρκώς.



Σχήμα 6.5.2. Όταν αλλάζει το μέσο φορτίο της εγκατάστασης, η διαφορική πίεση στο κύκλωμα αυξάνεται δραματικά. Αυτό παραμορφώνει τη χαρακτηριστική της βαλβίδας ελέγχου.

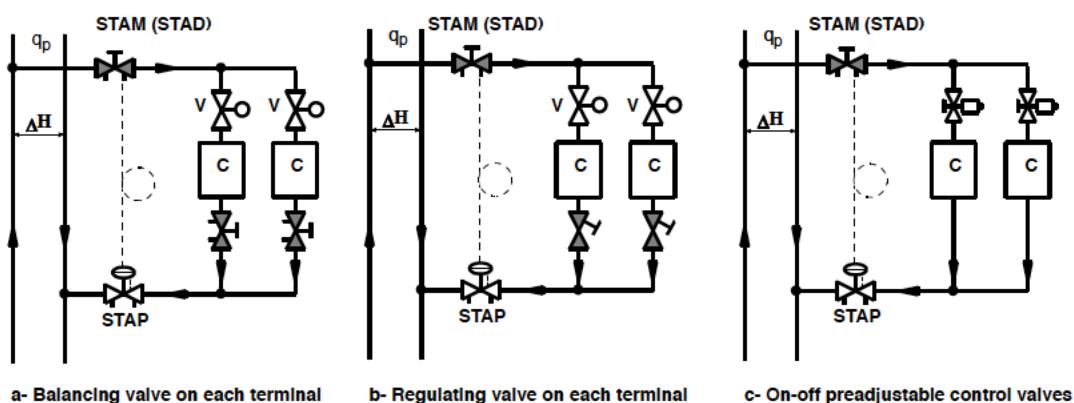
Με αντλία μεταβλητής ταχύτητας είναι σύνηθες να διατηρείται η διαφορική πίεση σταθερή κοντά στο τελευταίο κύκλωμα (Εικ. 6.5.2b). Στη συνέχεια, το πρόβλημα της μεταβολής της πίεσης αναφέρεται στο πρώτο κύκλωμα.

Τοποθετώντας τον αισθητήρα της διαφορικής πίεσης για αντλία μεταβλητής ταχύτητας κοντά στο τελευταίο κύκλωμα, θεωρητικά επέρχεται μείωση του κόστους λειτουργίας της αντλίας, το οποίο όμως προκαλεί προβλήματα στα κυκλώματα κοντά σε αυτή. Αν η βαλβίδα ελέγχου έχει επιλεγεί σύμφωνα με τη διαθέσιμη μεταβολή της πίεσης βάσει σχεδιασμού, το κύκλωμα θα έχει μικρότερη παροχή σε περίπτωση μικρότερης μεταβολής πίεσης. Αν η βαλβίδα ελέγχου έχει επιλεγεί με βάση την ελάχιστη πτώση πίεσης σύμφωνα με το σχεδιασμό, το κύκλωμα θα βρίσκεται σε κατάσταση υπερβολικής ροής και η βαλβίδα ελέγχου θα έχει κακή λειτουργία. Ως συμβιβαστική λύση, ο αισθητήρας της διαφορικής πίεσης θα πρέπει να βρίσκεται στη μέση της εγκατάστασης. Αυτό μπορεί να μειώσει τις μεταβολές της διαφορικής πίεσης περισσότερο από 50% σε σύγκριση με αυτές που λαμβάνονται με χρήση αντλίας σταθερής ταχύτητας.

6.5.5 Λύσεις για την αντιμετώπιση τοπικών προβλημάτων

Όταν το κύκλωμα υποβάλλεται σε σημαντικές αλλαγές στη διαφορική πίεση, ένα τοπικός ελεγκτής διαφορικής πίεσης μπορεί να σταθεροποιήσει τη διαφορική πίεση σε ολόκληρο τον έλεγχο.

Η αρχή είναι απλή. Όταν η διαφορική πίεση αυξάνεται, η δύναμη στη μεμβράνη αυξάνεται και κλείνει αναλογικά το STAP. STAP διατηρεί τη διαφορική πίεση για τον έλεγχο κατά ΔH σχεδόν σταθερή. Αυτή η διαφορική πίεση επιλέγεται για να ληφθεί η ροή σχεδιασμού, μετρήσιμη στο STAM, όταν η βαλβίδα ελέγχου είναι πλήρως ανοιχτή. Όλη η πρόσθετη διαφορική πίεση εφαρμόζεται στο STAP. Ο έλεγχος της διαφορικής πίεσης είναι αρκετά εύκολο σε σύγκριση με τον έλεγχο της θερμοκρασίας και μια επαρκή αναλογική ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή παρεκκλίσεων.



Σχήμα 6.5.5.1 Η STAP διατηρεί τη διαφορική πίεση σταθερή

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Περιγραφή εργαστηριακής διάταξης

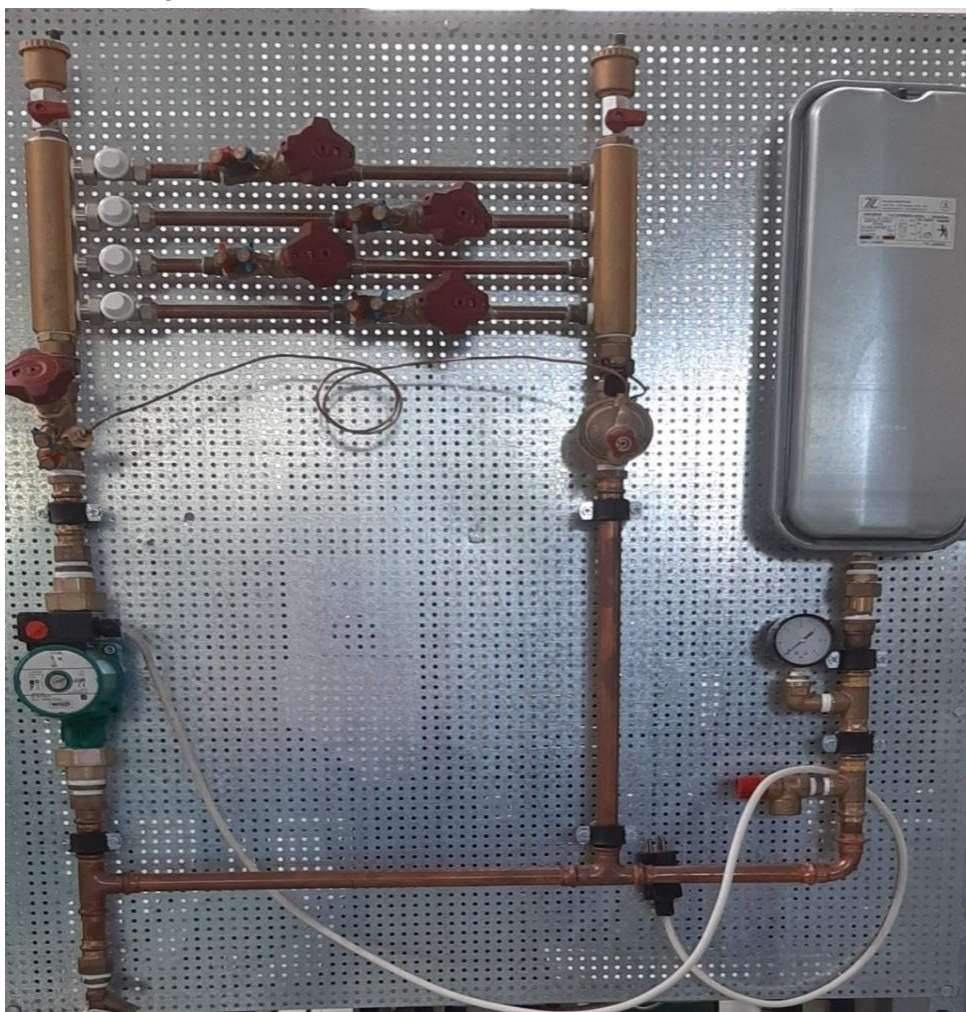
Η παρούσα διπλωματική εργασία, πλέον της θεωρητικής ανάπτυξης και ανάλυσης της υδραυλικής εξισορρόπησης, περιλαμβάνει και την πραγματοποίηση πειράματος σε εργαστηριακή διάταξη. Τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με αντίστοιχα θεωρητικά.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος, στην αρχή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις έχοντας πλήρως ανοιχτή την κεντρική βαλβίδα στραγγαλισμού (STAD 20), καθώς επίσης και τις στραγγαλιστικές βαλβίδες (STAD 15) των τεσσάρων κλάδων. Για κάθε ταχύτητα του κυκλοφορητή (2200 rpm, 1900 rpm και 1200 rpm) μετρήθηκε αντίστοιχα η παροχή μέσω της κεντρικής βαλβίδας και η διαφορά πιέσεως Δp αυτής, και επιπλέον λαμβάνονται οι μετρήσεις (για κάθε ταχύτητα) των παροχών και της διαφοράς πιέσεως Δp των τεσσάρων βαλβίδων, των τεσσάρων κλάδων, έχοντας και αυτές πλήρως ανοιχτές.

Στη συνέχεια, για τον κάθε κλάδο λαμβάνεται μία υποθετική κατανάλωση θερμικής ενέργειας, βάσει της οποίας υπολογίζεται η θεωρητική παροχή του εργαζόμενου μέσου (θερμό νερό) για κάθε έναν από αυτούς. Αφού ληφθούν οι μετρήσεις των παροχών των κλάδων με πλήρως ανοιχτές τις στραγγαλιστικές βαλβίδες τους, συγκρίνονται οι πειραματικά βρεθείσες τιμές με τις αντίστοιχες θεωρητικές που υπολογίστηκαν, έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες ρυθμίσεις των βαλβίδων του κάθε κλάδου, προκειμένου να γίνει η εξισορρόπηση του συστήματος. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για όλες τις ταχύτητες του κυκλοφορητή, δηλαδή λήψη πειραματικών μετρήσεων και σύγκριση με τις αντίστοιχες θεωρητικές και, αντίστοιχα πραγματοποίηση ή μη εξισορρόπησης του συστήματος, στην κάθε ταχύτητα.

Η διάταξη, η οποία χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση του πειράματος, περιλαμβάνει:

1. Κυκλοφορητή
2. Δοχείο διαστολής
3. Μανόμετρο
4. Κεντρική βαλβίδα στραγγαλισμού
5. Τέσσερις τοπικές βαλβίδες στραγγαλισμού, μία για κάθε κλάδο
6. Χαλκοσωλήνες δικτύου διανομής
7. Μετρητικό όργανο TA-SCOPE
8. Αυτόματα εξαεριστικά εισαγωγής και εξαγωγής
9. Ρυθμιστικές βάνες κλάδων



Εικόνα 7.1 Εργαστηριακή διάταξη

1.Κυκλοφορητής

Ο κυκλοφορητής είναι της εταιρείας WILO (Εικ. 7.2) τριών ταχυτήτων, STAR – RS 25/6 με αριθμό Art. – No. 4032956/07w20. Η ισχύς του κυκλοφορητή, ανάλογα με τις στροφές ταχύτητας που λειτουργεί, είναι 84, 61 και 43 Watt αντίστοιχα. Τέλος, η τάση είναι 1 – 230 V/ 50 Hz και η μέγιστη ένταση ρεύματος είναι 0,36 A, μονοφασικό. Χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις θέρμανσης όλων των συστημάτων, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, συστημάτων ψυχρού νερού και κλιματισμού.



Εικόνα 7.2 Κυκλοφορητής WILLO

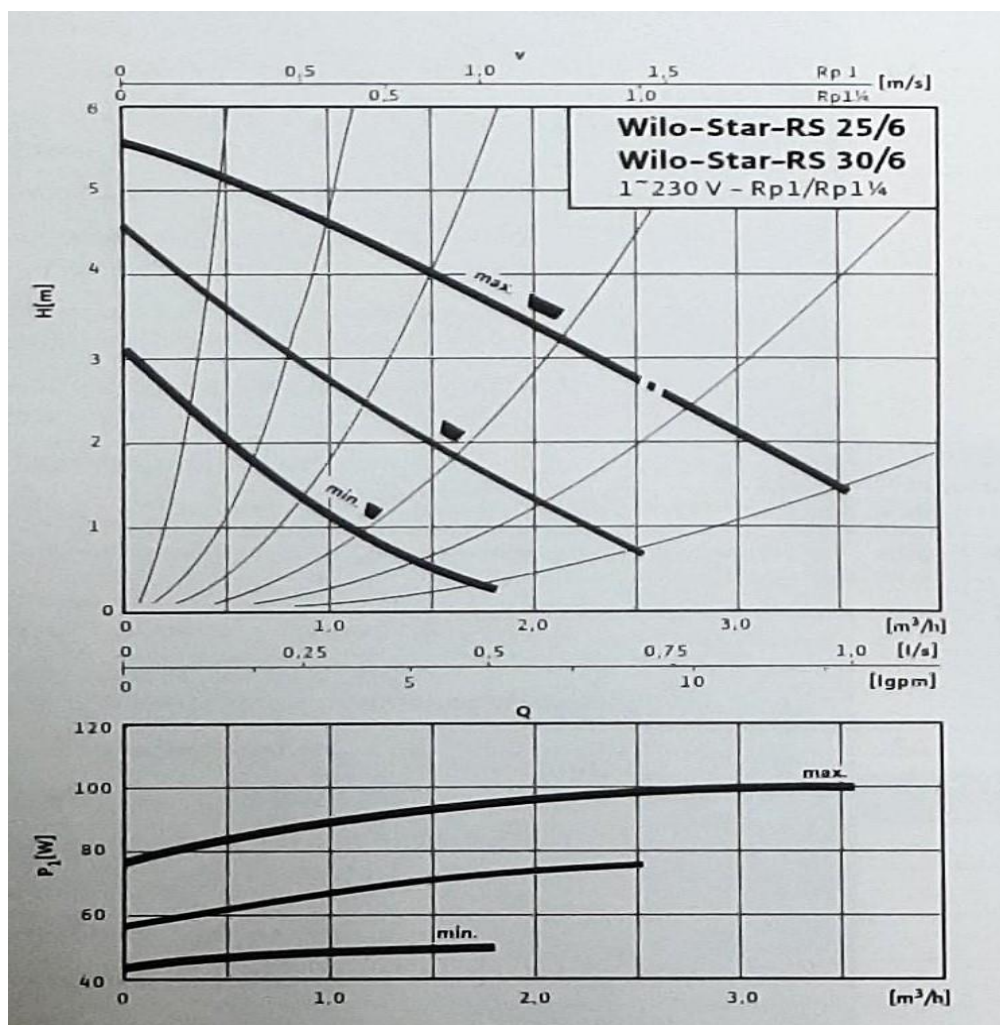
Ιδιαιτερότητες/Πλεονεκτήματα κυκλοφορητή

- Ενδείκνυται για κάθε τρόπο τοποθέτησης με οριζόντιο άξονα. Κουτί ακροδεκτών σε θέση 3--6--9--12 του ρολογιού
- Τρεις προεπιλεγμένες βαθμίδες στροφών για προσαρμογή του φορτίου
- Απλή και ασφαλής συναρμολόγηση, χάρη στην πρακτική θέση κλειδιού στο σώμα της αντλίας
- Απλοποιημένη ηλεκτρική εγκατάσταση, χάρη στο κουτί ακροδεκτών με αφαιρούμενο και αμφίπλευρα αξιοποιήσιμο στυπιοθλίπτη καλωδίου.
- Γρήγορη σύνδεση με ακροδέκτες ελατηρίου

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΒΑΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

Τεχνικά στοιχεία

- Επιτρεπόμενο εύρος θερμοκρασίας $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Ηλεκτρική σύνδεση $1\sim 230\text{ V}$, 50 Hz
- Βαθμός προστασίας IP 44
- Σύνδεση με ρακόρ Rp $\frac{1}{2}$, Rp 1 ή Rp $1\frac{1}{4}$
- Μέγιστη πίεση λειτουργίας 10 bar



Σχήμα 7.1 Χαρακτηριστική καμπύλη του κυκλοφορητή

Πίνακας 7.1 Στοιχεία του κυκλοφορητή

Μέγιστη παροχή Q_{max} (m ³ /h)	Μέγιστο ύψος άντλησης	Σπείρωμα	Βιδωτή σύνδεση σωλήνων	Ονομαστική ή πίεση	Μήκος κατασκευής	Σύνδεση ηλεκτρικού δικτύου	Μεικτό βάρος	Τεμάχιο ανά παλέτα
4	6	G 1½	Rp 1	10	180	1~ 230V, 50 Hz	2,7	256

	Ονομαστική ισχύς P ₂ (W)	Αριθμός στροφών (1/min)	Απορρόφηση ισχύος P ₁ (W)	Ρεύμα I (A)	Προστασία κινητήρα	Πυκνωτής (μF/VDB)	Στυπιοθλίπτης PG
STAR RS25/6	37	2200	77-99	0,41	Δεν απαιτείται κινητήρας ανθεκτικός σε μπλοκάρισμα	2,6/400	11
	22	1900	56-75	0,31			
	12	1200	41-50	0,24			

2.3. Δοχείο διαστολής και Μανόμετρο (πίεση 1bar) **Εικ. 7.3**

Το δοχείο διαστολής έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Zilio INDUSTRIES, Flat Expansion Vessel
- ZIEGDOHZA32A5
- Category: Art. 3 Par. 3
- DIRECTIVE: 97/23/EC
- EN13831

FLUID GROUP 2

- (PS) MAX Pressure 3bar
- (PT) TEST Pressure 4,3bar
- (TS) +90°C -10°C
- PRE CHARGE 1bar

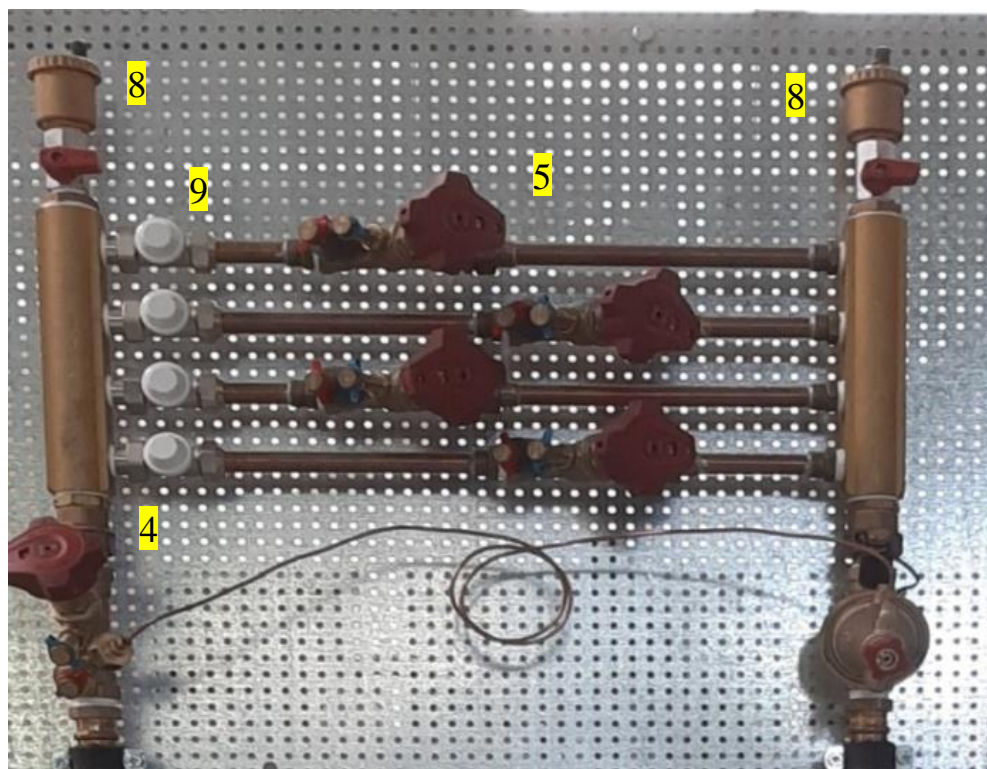
- SERIAL N° Z1404976 , Date: 27/03/2015



Εικόνα 7.3 Δοχείο διαστολής και Μανόμετρο (πίεση νερού 1bar)

4.5. Κεντρική βαλβίδα στραγγαλισμού και τέσσερις βαλβίδες στραγγαλισμού και τέσσερις ρυθμιστικές βάνες των τεσσάρων κλάδων **Εικ. 7.4**

- (4) Κεντρική βαλβίδα στραγγαλισμού STAD 20
- (5) Τέσσερις βαλβίδες στραγγαλισμού STAD 15
- (8) Αυτόματα εξαεριστικά εισαγωγής και εξαγωγής



Εικόνα 7.4 Κεντρική βαλβίδα στραγγαλισμού και τέσσερις βαλβίδες στραγγαλισμού και τέσσερις ρυθμιστικές βάνες των τεσσάρων κλάδων

6, Χαλκοσωλήνες δικτύου διανομής

Το δίκτυο διανομής αποτελείται από τους τέσσερις κλάδους με διαστάσεις $\Phi 15$ και μήκος 0,48 m. Το κάτω οριζόντιο μήκος είναι 0,52 m. Το κάθετο μήκος, μετρώντας από τον πρώτο κλάδο που βρίσκεται πάνω, έχει μήκος 0,64 m, όπως επίσης και ο κλάδος της κεντρικής βαλβίδας.

7, Μετρητικό όργανο TA SCOPE

Το TA-SCOPE είναι ένα αποτελεσματικό μέσο εξισορρόπησης για ακρίβεια μέτρησης και τεκμηρίωσης της διαφορικής πίεσης (Δp), της παροχής, της θερμοκρασίας και της ισχύος στα υδρονικά συστήματα. Η ασύρματη λειτουργία του και η εύχρηστη

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

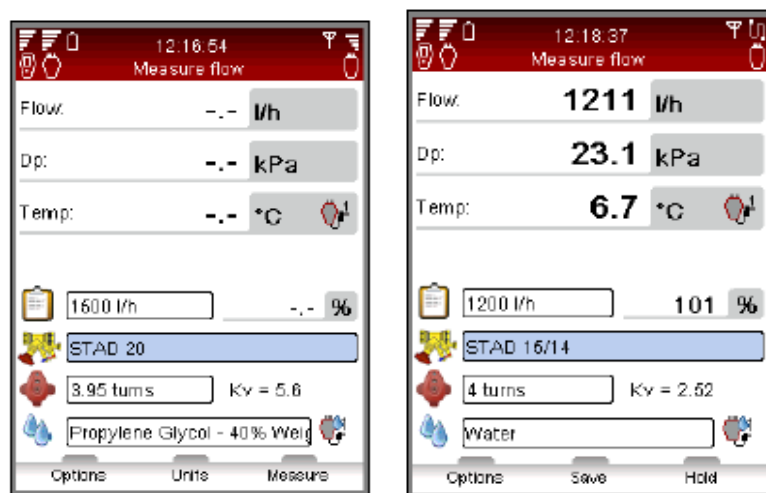
διασύνδεσή του εξασφαλίζουν γρηγορότερη και οικονομικότερη εξισορρόπηση και επίλυση προβλημάτων. Το TA-SCOPE συνδέεται εύκολα με υπολογιστή επιτυγχάνοντας το μέγιστο όφελος από τα καταγεγραμμένα δεδομένα.



Εικόνα 7.5 Μετρητικό όργανο TA-SCOPE



Εικόνα 7.6 Αρχικό menu και χειριστήριο λειτουργιών



Εικόνα 7.7 Οθόνη μετρήσεων



Εικόνα 7.8 Συνδεσμολογία οργάνου με βαλβίδα στραγγαλισμού STAD και σωλήνες μέτρησης με διπλή βελόνα 150 mm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΙ

8.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

8.1.1 Πλήρως ανοιχτές βαλβίδες

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 7, στην αρχή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παροχής και διαφοράς πίεσεως διαμέσου των βαλβίδων, όταν αυτές είναι πλήρως ανοιχτές. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εμφανίζονται στον κάτωθι πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.1 Μετρήσεις παροχών m³/h και διαφοράς πίεσης kPa σε πλήρως ανοικτή κατάσταση

	Κεντρική βαλβίδα	Βαλβίδα 4 ^ο κλάδου	Βαλβίδα 3 ^ο κλάδου	Βαλβίδα 2 ^ο κλάδου	Βαλβίδα 1 ^ο κλάδου
ΠΑΡΟΧΗ (m³/h)					
2200 (rpm)	1,48	0,377	0,372	0,356	0,383
1900 (rpm)	1,37	0,344	0,330	0,335	0,340
1200 (rpm)	1,04	0,260	0,240	0,250	0,251
ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (kPa)					
2200 (rpm)	8,32	1,59	2,12	1,94	2,25
1900 (rpm)	6,52	1,13	1,63	1,67	1,78
1200 (rpm)	3,71	0,907	0,819	0,949	0,958

8.1.2 Υπολογισμός θεωρητικών παροχών

Σύμφωνα με το σχήμα 7.1 της χαρακτηριστικής καμπύλης του κυκλοφορητή, το μέγιστο που μπορεί να λειτουργήσει ο κυκλοφορητής είναι τα 3,5 m³/h. Με βάση αυτό, χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος για τον υπολογισμό του συνολικού θεωρητικού θερμικού φορτίου.

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot \Delta\theta \quad (8.1)$$

όπου

ρ : η πυκνότητα του νερού στους 17°C , η οποία είναι 998,5644 kg/m³
 C_p : η θερμοχωρητικότητα του νερού στους 17°C , η οποία είναι 4,185 kJ/(kgK)
 $\Delta\theta$: η θεωρητική διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του κάθε κλάδου, η οποία είναι 15°C

Από τον τύπο αυτόν προκύπτει ότι το μέγιστο θερμικό φορτίο που μπορεί να μεταφερθεί με το νερό από τον κυκλοφορητή, είναι $Q_{ολ} = 45.133$ kcal/h (για παροχή 3 m³/h και ρ , C_p , $\Delta\theta$ ως ανωτέρω). Για τη διαδικασία του πειράματος ελήφθη $Q = 21.400$ kcal/h. Το θεωρητικό θερμικό φορτίο που λαμβάνεται για την κάθε θερμική ζώνη είναι:

$$Q_1 = 3800 \text{ kcal/h}$$

$$Q_2 = 5100 \text{ kcal/h}$$

$$Q_3 = 6400 \text{ kcal/h}$$

$$Q_4 = 6100 \text{ kcal/h}$$

Για τον υπολογισμό της θεωρητικής παροχής των κλάδων, χρησιμοποιείται ο παραπάνω τύπος 8.1, λύνοντάς τον ως προς την παροχή V . Οπότε, η θεωρητική παροχή για κάθε θερμική ζώνη προκύπτει:

$$V_{\text{θεωρ},1} = 0,253 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{\text{θεωρ},2} = 0,339 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{\text{θεωρ},3} = 0,425 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{\text{θεωρ},4} = 0,405 \text{ m}^3/\text{h}$$

8.1.3 Πραγματοποίηση υδραυλικής εξισορρόπησης

Με βάση τις τιμές που προέκυψαν από το θεωρητικό υπολογισμό της παροχής των τεσσάρων θερμικών ζωνών, πραγματοποιήθηκαν επαναληπτικές δοκιμές προκειμένου να επιτευχθεί η εξισορρόπηση του συστήματος. Η εξισορρόπηση επιτεύχθηκε στη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής (2200 rpm) του κυκλοφορητή και για πλήρως ανοιχτή την κεντρική στραγγαλιστική βαλβίδα, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του πίνακα 8.2.

Πίνακας 8.2 Μετρήσεις παροχών m³/h και διαφοράς πίεσης kPa μετά από υδραυλική εξισορρόπηση στη μέγιστη ταχύτητα του κυκλοφορητή

	Κεντρική βαλβίδα	Βαλβίδα 4 ^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 3 ^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 2 ^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 1 ^{ου} κλάδου
ΠΑΡΟΧΗ (m³/h)					
2200 (rpm)	1,42	0,407	0,423	0,338	0,252
1900 (rpm)	1,34	0,378	0,399	0,314	0,236
1200 (rpm)	0,987	0,290	0,295	0,232	0,171
ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (kPa)					
2200 (rpm)	6,29	5,91	5,76	8,55	11,6
1900 (rpm)	5,34	4,97	4,81	7,23	9,35
1200 (rpm)	3,3	2,13	3,16	4,53	6,03

Οι τελικές ρυθμίσεις των στραγγαλιστικών βαλβίδων των τεσσάρων κλάδων, έπειτα από την εξισορρόπηση του συστήματος, ήταν για τον κάθε κλάδο οι εξής:

4^η θερμική ζώνη στη θέση 3,05

3^η θερμική ζώνη στη θέση 3,15

2^η θερμική ζώνη στη θέση 2,8

Έπειτα από την παροχή των μετρήσεων στη θέση ρύθμισης 4 (πλήρως ανοιχτή θέση) των τεσσάρων στραγγαλιστικών βαλβίδων, αλλά και τις μετρήσεις της εξισορρόπησης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις θέσεις ρύθμισης 3, 2 και 1 των βαλβίδων αυτών, όπως φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Σκοπός των μετρήσεων αυτών ήταν ο έλεγχος της συμπεριφοράς των βαλβίδων για τις διάφορες παροχές (αντίστοιχα για τις τρεις ταχύτητες του κυκλοφορητή), σε σχέση με τη μεταβολή της διαφορικής πίεσης.

Πίνακας 8.3 Μετρήσεις παροχών m³/h και διαφοράς πίεσης kPa σε θέση ρύθμισης της βαλβίδας εξισορρόπησης στο 3

	Βαλβίδα 4^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 3^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 2^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 1^{ου} κλάδου
ΠΑΡΟΧΗ (m³/h)				
2200 (rpm)	0,355	0,353	0,345	0,355
1900 (rpm)	0,320	0,320	0,312	0,325
1200 (rpm)	0,229	0,251	0,247	0,254
ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (kPa)				
2200 (rpm)	5,95	5,87	5,61	5,95
1900 (rpm)	4,84	4,84	4,60	4,98
1200 (rpm)	2,47	2,99	2,89	3,05

Πίνακας 8.4 Μετρήσεις παροχών m³/h και διαφοράς πίεσης kPa σε θέση ρύθμισης της βαλβίδας εξισορρόπησης στο 2

	Βαλβίδα 4^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 3^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 2^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 1^{ου} κλάδου
ΠΑΡΟΧΗ (m³/h)				
2200 (rpm)	0,265	0,265	0,264	0,260
1900 (rpm)	0,245	0,246	0,244	0,245

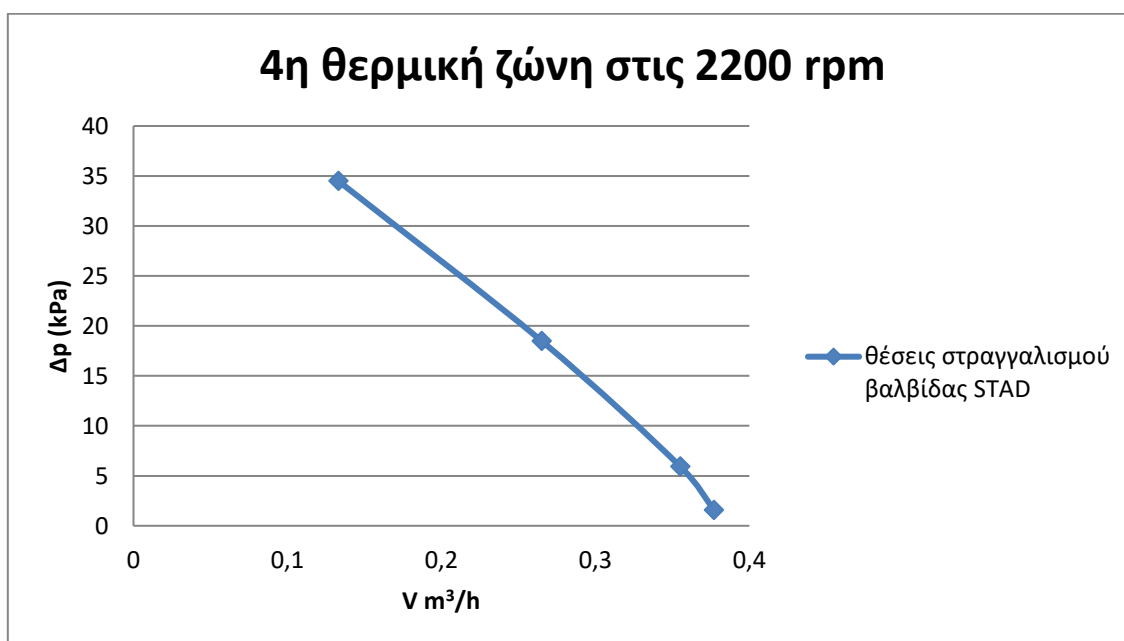
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΒΑΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

1200 (rpm)	0,200	0,202	0,194	0,200
ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (kPa)				
2200 (rpm)	18,5	18,5	17,9	17,8
1900 (rpm)	15,8	15,9	15,6	15,8
1200 (rpm)	10,5	10,8	9,82	10,6

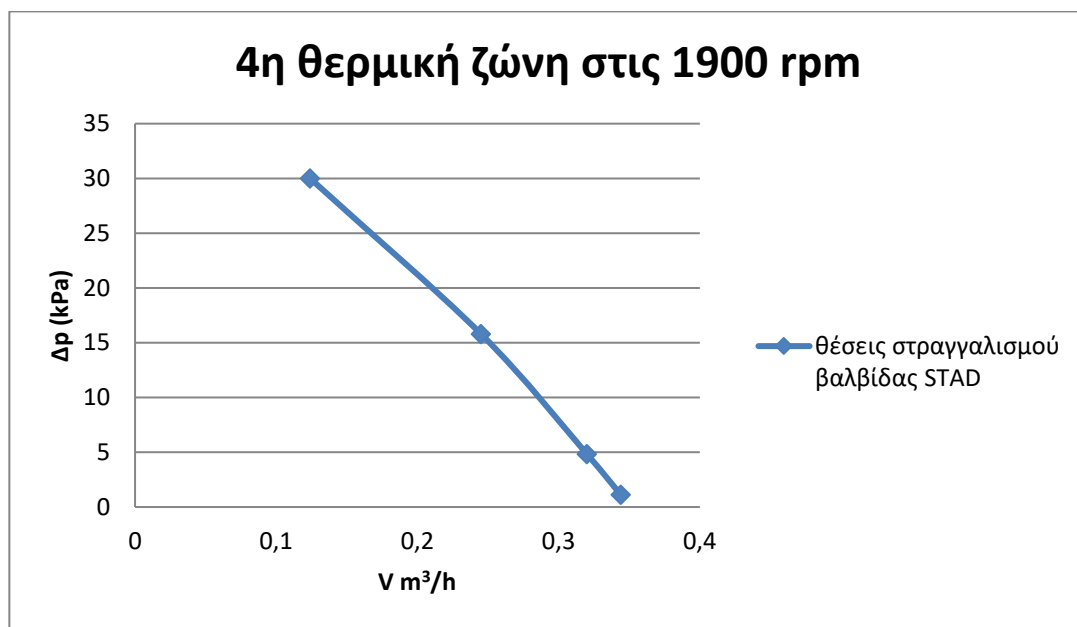
**Πίνακας 8.5 Μετρήσεις παροχών m³/h και διαφοράς πίεσης kPa σε θέση
ρύθμισης της βαλβίδας εξισορρόπησης στο 1**

	Βαλβίδα 4^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 3^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 2^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 1^{ου} κλάδου
ΠΑΡΟΧΗ (m³/h)				
2200 (rpm)	0,133	0,133	0,130	0,127
1900 (rpm)	0,124	0,129	0,124	0,124
1200 (rpm)	0,112	0,117	0,109	0,111
ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (kPa)				
2200 (rpm)	34,5	34,8	33,1	31,6
1900 (rpm)	30,0	32,4	30,2	30,0
1200 (rpm)	25,3	27,1	23,4	24,5

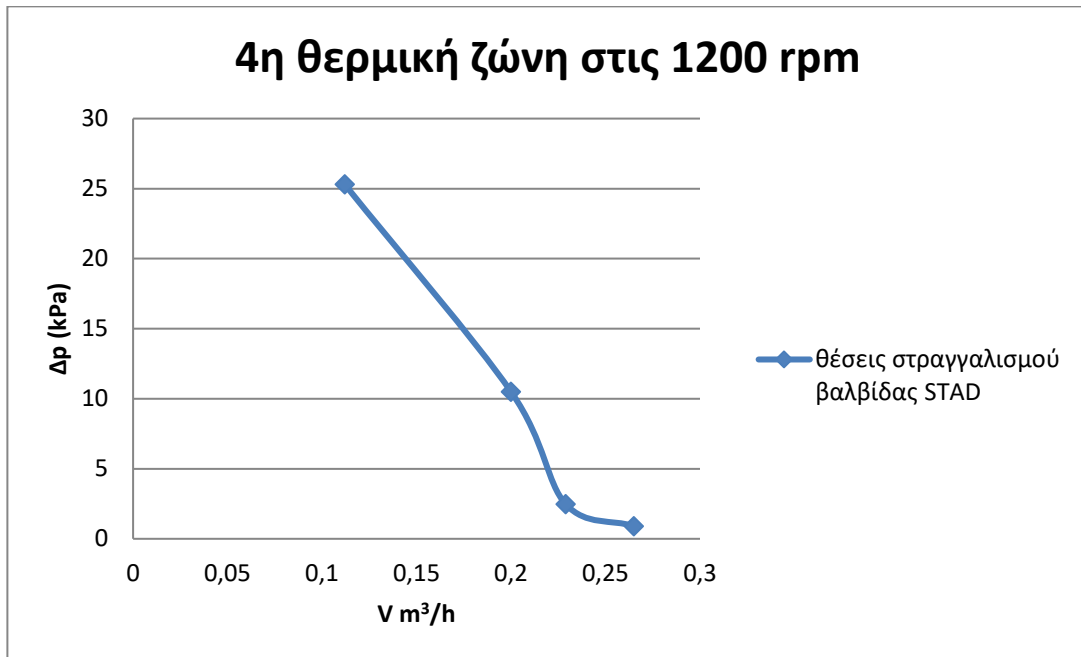
Από τις μετρήσεις αυτές που πραγματοποιήθηκαν (για τη μεταβολή της διαφορικής πίεσως και της αντίστοιχης παροχής των στραγγαλιστικών βαλβίδων των τεσσάρων θερμικών ζωνών, στις διάφορες θέσεις ρύθμισης από 1 έως και 4/πλήρως ανοιχτή), χαράχθηκαν τα διαγράμματα για τις τρεις ταχύτητες περιστροφής του κυκλοφορητή.



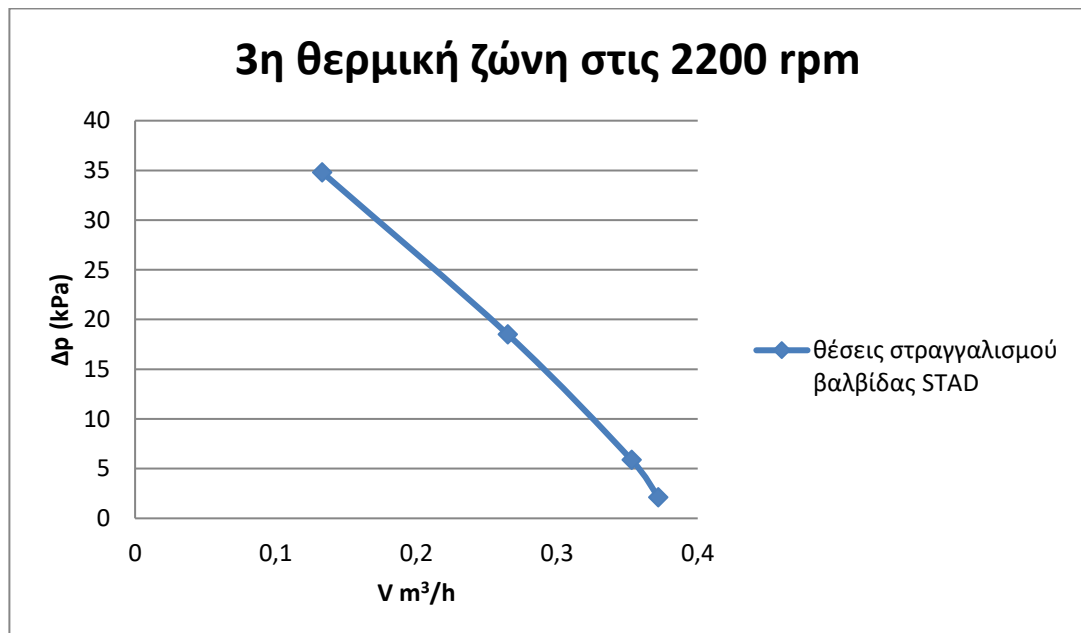
Διάγραμμα 8.1 Μεταβολή διαφορικής πίεσως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 4^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 2200 του κυκλοφορητή



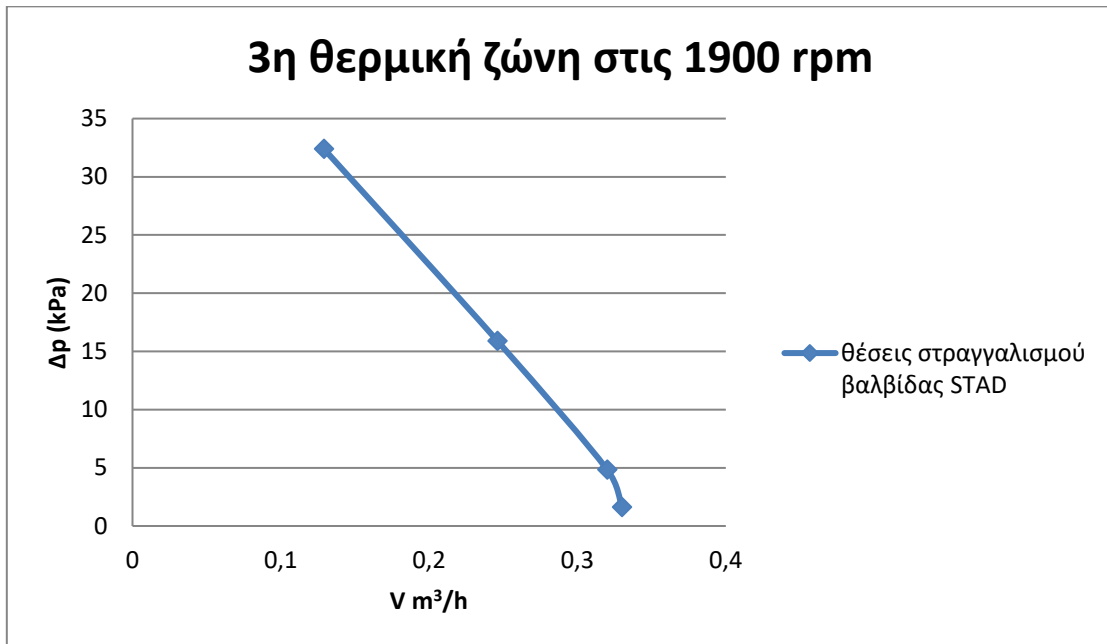
Διάγραμμα 8.2 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 4^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1900 του κυκλοφορητή



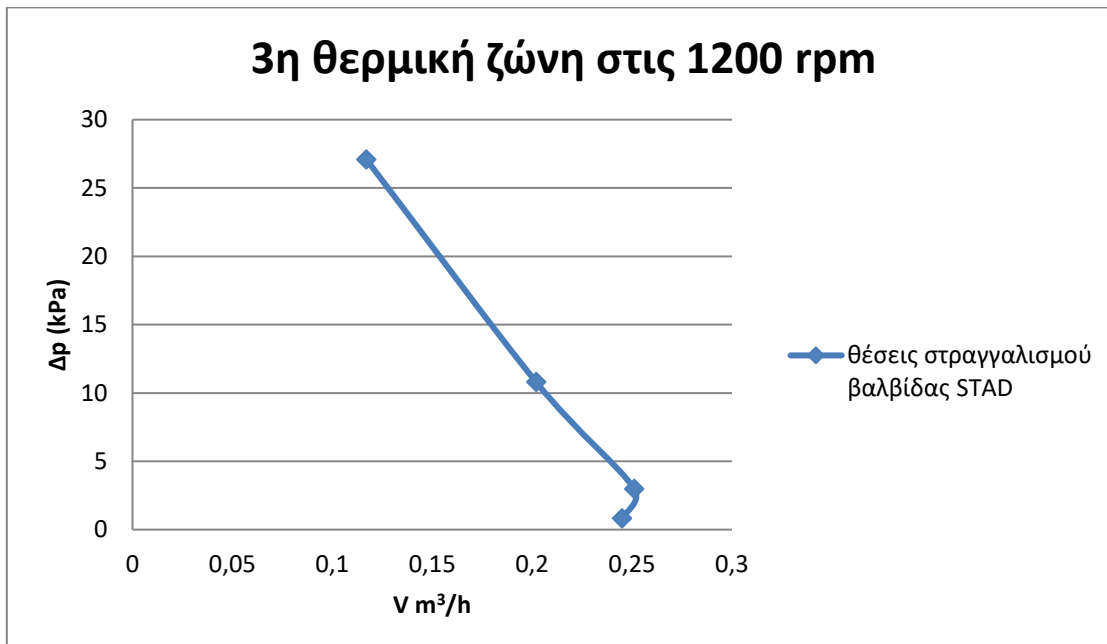
Διάγραμμα 8.3 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 4^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1200 του κυκλοφορητή



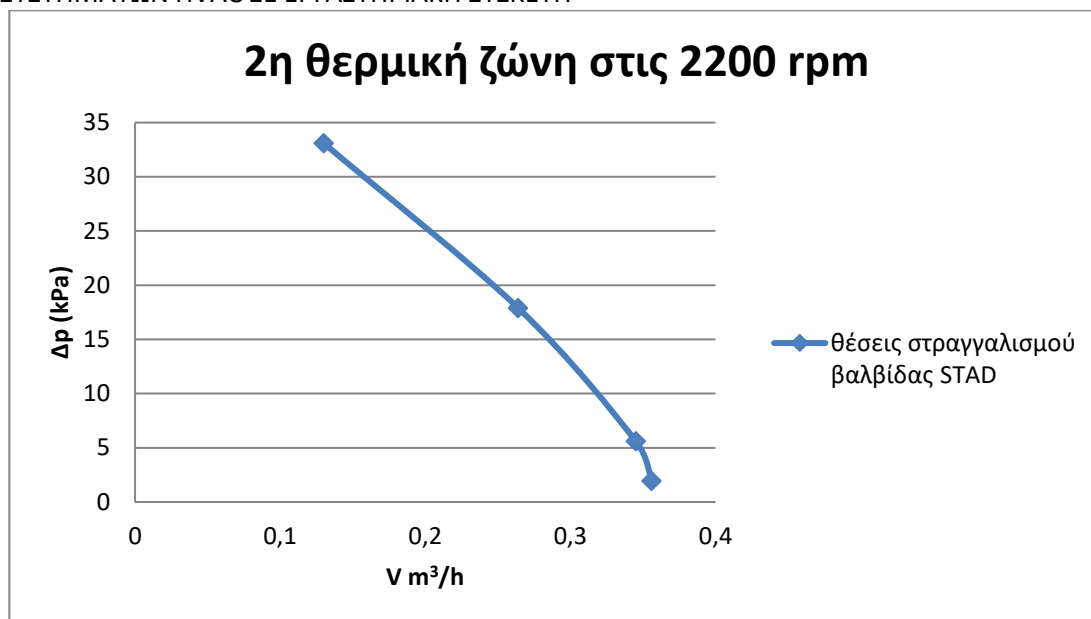
Διάγραμμα 8.4 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 3^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 2200 του κυκλοφορητή



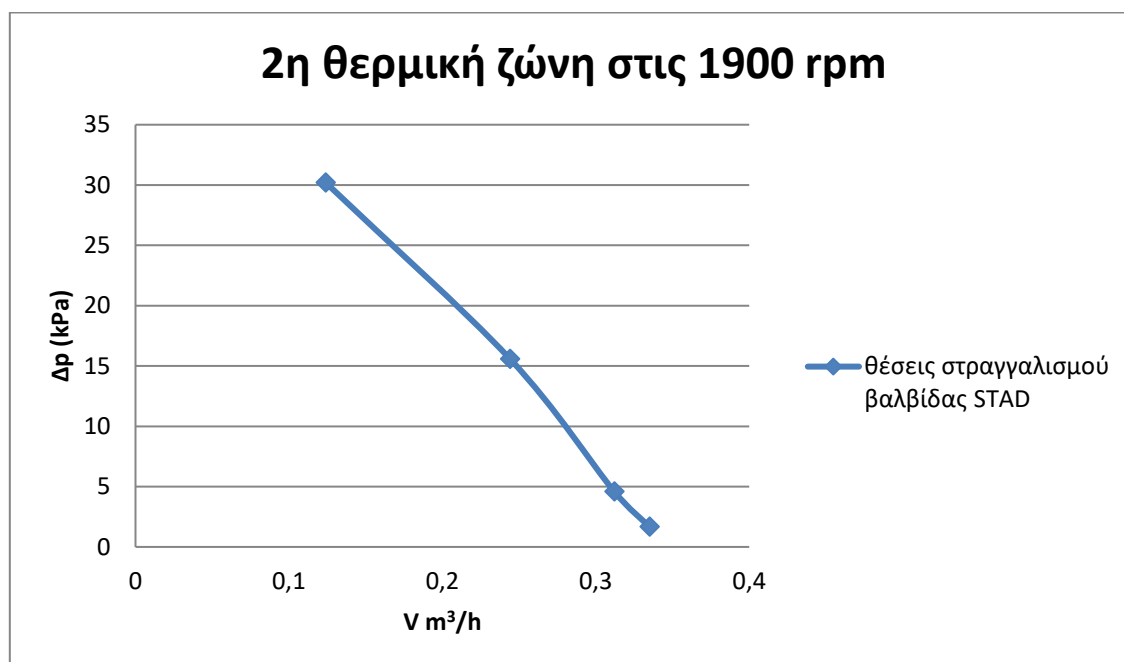
Διάγραμμα 8.5 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 3^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1900 του κυκλοφορητή



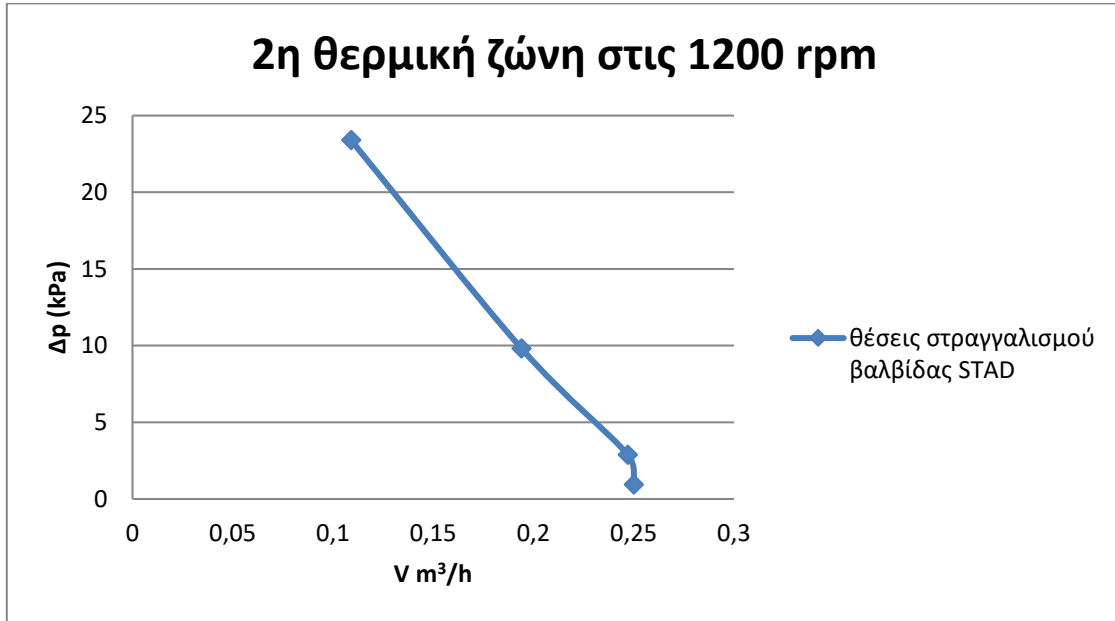
Διάγραμμα 8.6 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 3^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1200 του κυκλοφορητή



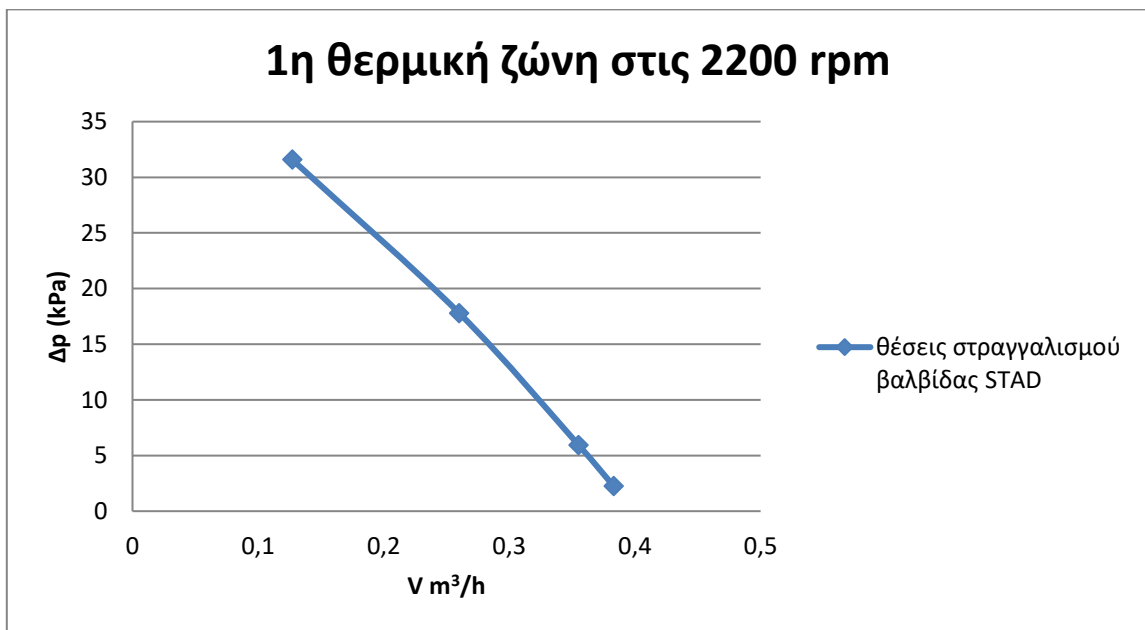
Διάγραμμα 8.7 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 2^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 2200 του κυκλοφορητή



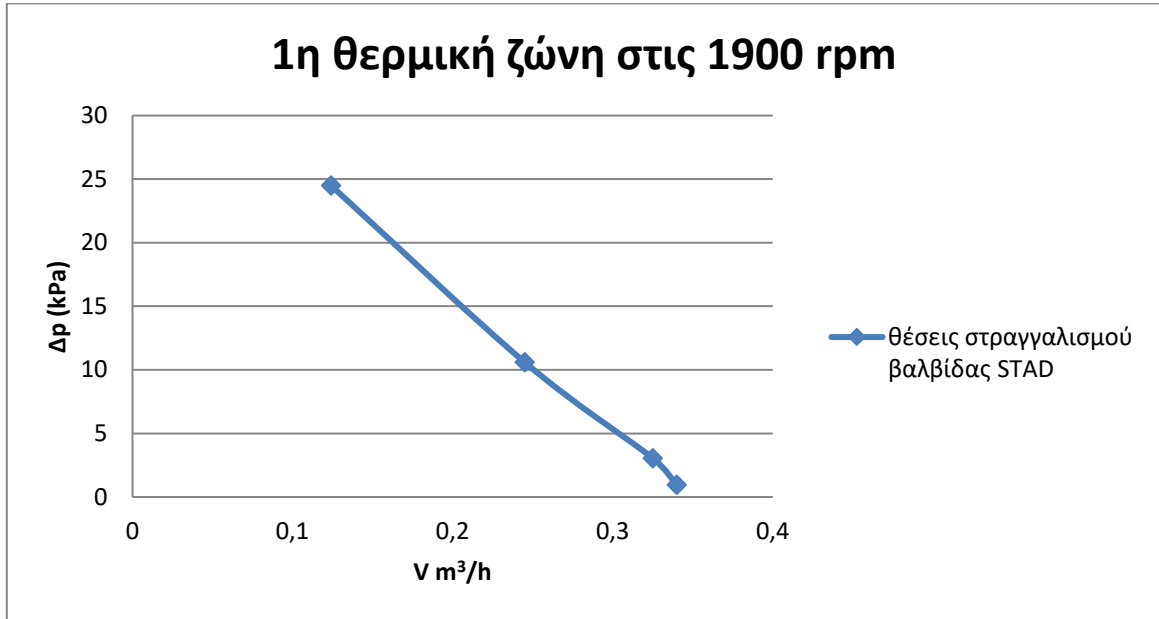
Διάγραμμα 8.8 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 2^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1900 του κυκλοφορητή



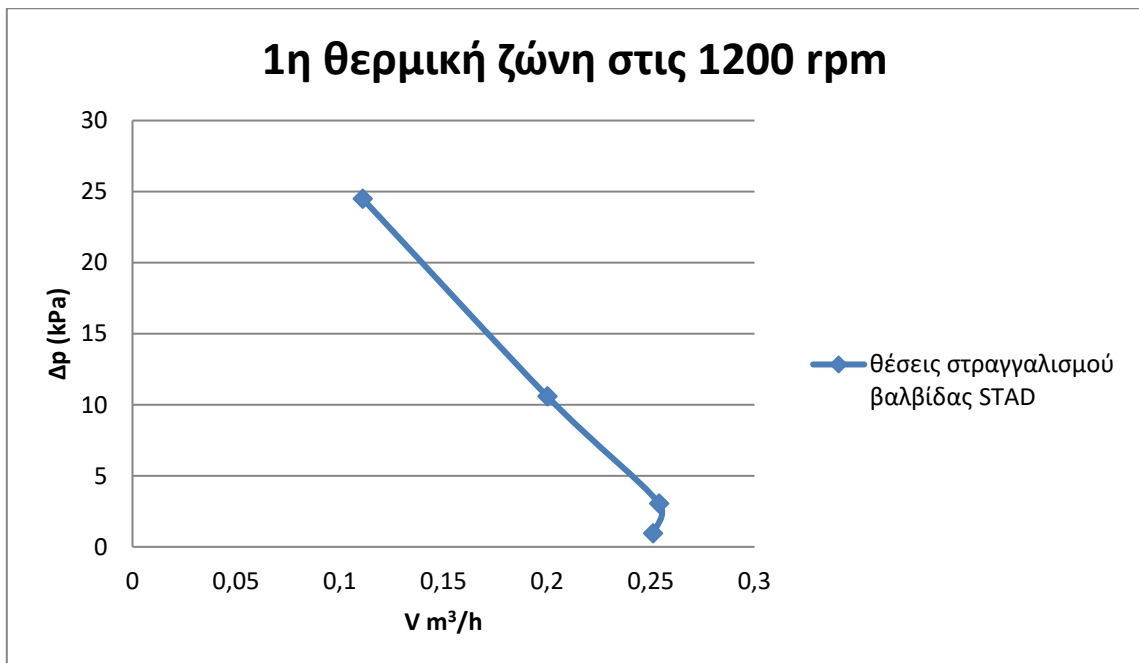
Διάγραμμα 8.9 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 2^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1200 του κυκλοφορητή



Διάγραμμα 8.10 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 1^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 2200 του κυκλοφορητή



Διάγραμμα 8.11 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 1^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1900 του κυκλοφορητή



Διάγραμμα 8.12 Μεταβολή διαφορικής πίεσεως – παροχής στην στραγγαλιστική βαλβίδα της 1^{ης} θερμικής ζώνης για ταχύτητα περιστροφής 1200 του κυκλοφορητή

Από τις μετρήσεις των παροχών στους διάφορους κλάδους για τις θέσεις στραγγαλισμού 3, 2 και 1 των βαλβίδων, μπορούν να υπολογισθούν οι αντίστοιχες ταχύτητες νερού σε αυτούς.

Η ταχύτητα νερού υπολογίζεται ως εξής:

$$u_w = \frac{V}{A} \text{ (m/s)}$$

V : η παροχή του νερού (m³/h)

A : η διατομή του κλάδου,

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,015^2}{4} = 0,000177 \text{ m (και για τους τέσσερις κλάδους)}$$

Πίνακας 8.6 Ταχύτητες νερού (m/s) στους τέσσερις κλάδους στις θέσεις 3, 2 και 1 των στραγγαλιστικών βαλβίδων

Ταχύτητα νερού				
	4^ο κλάδου	3^ο κλάδου	2^ο κλάδου	1^ο κλάδου
Θέση στραγγαλισμού στο 3				
2200 (rpm)	0,558	0,555	0,543	0,558
1900 (rpm)	0,503	0,503	0,491	0,511
1200 (rpm)	0,360	0,395	0,388	0,399

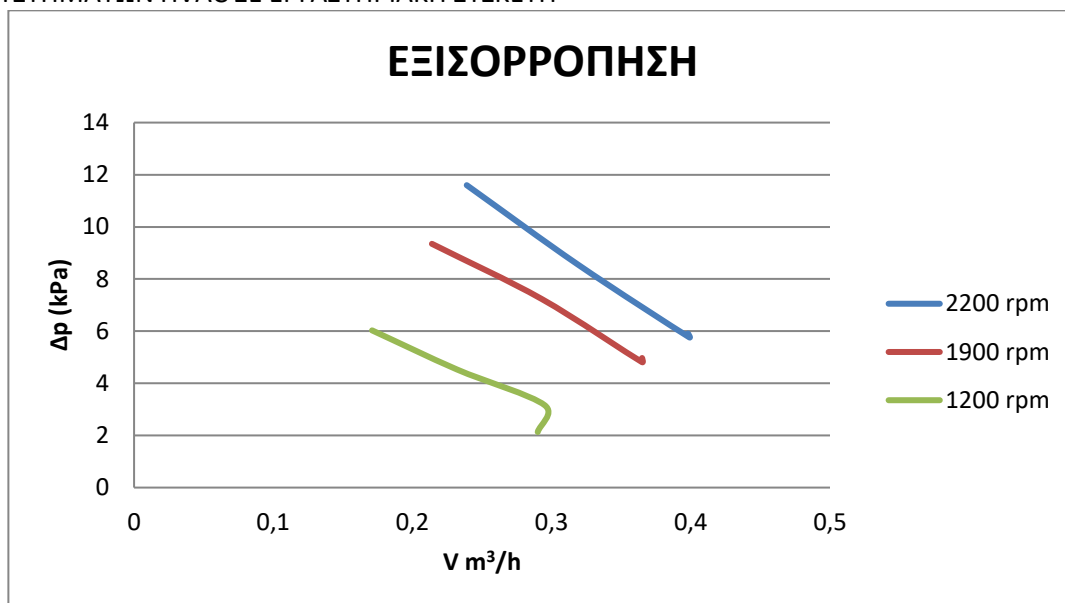
Ταχύτητα νερού				
	4^ο κλάδου	3^ο κλάδου	2^ο κλάδου	1^ο κλάδου
Θέση στραγγαλισμού στο 2				
2200 (rpm)	0,417	0,417	0,415	0,409

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

1900 (rpm)	0,385	0,387	0,384	0,385
1200 (rpm)	0,315	0,318	0,305	0,315

Ταχύτητα νερού				
	4^ο κλάδου	3^ο κλάδου	2^ο κλάδου	1^ο κλάδου
Θέση στραγγαλισμού στο 1				
2200 (rpm)	0,209	0,209	0,204	0,200
1900 (rpm)	0,195	0,203	0,195	0,195
1200 (rpm)	0,176	0,184	0,171	0,175

Έχοντας επιτύχει την εξισορρόπηση του συστήματος για τις θεωρητικές τιμές των θερμικών φορτίων, στη μέγιστη ταχύτητα μεριστροφής (2200 rpm) του κυκλοφορητή, έγιναν μετρήσεις και για τις άλλες δύο ταχύτητες (1900 και 1200 rpm). Από τις μετρήσεις αυτές δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα 8.4.



Διάγραμμα 8.13 Διάγραμμα διαφορικής πίεσως και παροχής των τεσσάρων θερμικών ζωνών για κάθε ταχύτητα του κυκλοφορητή, έπειτα από υδραυλική εξισορρόπηση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχουν μετρηθεί οι παροχές του νερού στις τέσσερις θερμικές ζώνες και για τις τρεις ταχύτητες περιστροφής του κυκλοφορητή, για τις τέσσερις θέσεις στραγγαλισμού (θέση 4/πλήρως ανοιχτή, 3, 2 και 1) των βαλβίδων στραγγαλισμού αυτών. Από τις μετρήσεις αυτές υπολογίστηκαν τα θεωρητικά θερμικά

φορτία, σύμφωνα με τον τύπο 8.1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους κάτωθι πίνακες 8.7 έως και 8.11, για τις θέσεις 4, 3, 2 και 1 αντίστοιχα.

Πίνακας 8.7 Θεωρητικά θερμικά φορτία για θέση στραγγαλισμού 4/πλήρως ανοιχτό

FULL OPEN				
	4^{ος} κλάδος	3^{ος} κλάδος	2^{ος} κλάδος	1^{ος} κλάδος
2200 (rpm)	5671,728	5596,506	5355,796	5761,994
1900 (rpm)	5175,264	4964,643	5039,864	5115,086
1200 (rpm)	3986,758	3685,871	3761,093	3776,137

Πίνακας 8.8 Θεωρητικά θερμικά φορτία για θέση στραγγαλισμού 3

ΘΕΣΗ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ 3				
	4^{ος} κλάδος	3^{ος} κλάδος	2^{ος} κλάδος	1^{ος} κλάδος
2200 (rpm)	5340,75	5310,66	5190,31	5340,75
1900 (rpm)	4814,20	4814,20	4693,84	4889,42
1200 (rpm)	3445,16	3776,14	3715,96	3821,27

Πίνακας 8.9 Θεωρητικά θερμικά φορτία για θέση στραγγαλισμού 2

ΘΕΣΗ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ 2				
--------------------------------------	--	--	--	--

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

	4 ^{ος} κλάδος	3 ^{ος} κλάδος	2 ^{ος} κλάδος	1 ^{ος} κλάδος
2200 (rpm)	3986,76	3986,76	3971,71	3911,54
1900 (rpm)	3685,87	3700,92	3670,83	3685,87
1200 (rpm)	3008,87	3038,96	2918,61	3008,87

Πίνακας 8.10 Θεωρητικά θερμικά φορτία για θέση στραγγαλισμού 1

ΘΕΣΗ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ 1				
	4 ^{ος} κλάδος	3 ^{ος} κλάδος	2 ^{ος} κλάδος	1 ^{ος} κλάδος
2200 (rpm)	2000,90	2000,90	1955,77	1910,64
1900 (rpm)	1865,50	1940,72	1865,50	1865,50
1200 (rpm)	1684,97	1760,19	1639,84	1669,93

Παρατίθεται επιπλέον τα θεωρητικά θερμικά φορτία για το εξισορροπημένο σύστημα στις 2200 rpm και τα υπολογισθέντα θεωρητικά φορτία για τις 1900 και 1200 rpm του κυκλοφορητή.

Πίνακας 8.11 Θεωρητικά θερμικά φορτία στο εξισορροπημένο σύστημα

ΜΕ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ				
	4 ^{ος} κλάδος	3 ^{ος} κλάδος	2 ^{ος} κλάδος	1 ^{ος} κλάδος
2200 (rpm)	6000	6000	4800	3600
1900 (rpm)	5491,196	5491,196	4408,001	3219,495
1200 (rpm)	4362,868	4438,09	3490,294	2572,587

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κατά την εκτέλεση του πειράματος προκειμένου να γίνει εξισορρόπηση της εγκατάστασης, σύμφωνα με τις υποθετικά ληφθείσες θερμικές καταναλώσεις, η διαδικασία ξεκίνησε μετρώντας τις παροχές και τις πτώσεις πίεσεως με πλήρως ανοιχτές την κεντρική βαλβίδα στραγγαλισμού και τις βαλβίδες στραγγαλισμού των τεσσάρων κλάδων.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τα αποτελέσματα του πίνακα 8.1 οι παροχές που πλησιάζουν τις θεωρητικές, είναι αυτές της μεσαίας (1900 rpm) και της μέγιστης ταχύτητας (2200 rpm). Επομένως, η υδραυλική εξισορρόπηση επιχειρήθηκε για αυτές τις δύο ταχύτητες περιστροφής του κυκλοφορητή, και τελικά επιτεύχθηκε στη μέγιστη (2200 rpm), όπως αυτό φαίνεται στον πίνακα 8.2.

Έχοντας μετρήσει τις πειραματικές παροχές για τα θεωρητικά θερμικά φορτία, υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον τύπο 8.1 και τα θερμικά φορτία για τις ταχύτητες περιστροφής 1900 και 1200 του κυκλοφορητή, όπως αυτές φαίνονται και στον κάτωθι πίνακα. Η παροχή του κάθε κλάδου για τις ταχύτητες αυτές του κυκλοφορητή είναι κάθε φορά η μετρηθείσα παροχή V του πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.11 Θερμικά φορτία στις ταχύτητες περιστροφής του κυκλοφορητή

	Βαλβίδα 4^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 3^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 2^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 1^{ου} κλάδου
2200 (rpm)	6100	6400	5100	3800
1900 (rpm)	5687	6003	4724	3551
1200 (rpm)	4363	4438	3490	2573

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές (μειώσεις) των θερμικών φορτίων στις 1900 και 1200 rpm, σε σχέση με τα θερμικά φορτία των 2200 rpm του πίνακα 8.11.

Πίνακας 9.1 Ποσοστιαίες μεταβολές στις ταχύτητες περιστροφής του κυκλοφορητή

	Βαλβίδα 4^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 3^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 2^{ου} κλάδου	Βαλβίδα 1^{ου} κλάδου
1900 (rpm)	6,77	6,21	7,37	6,55
1200 (rpm)	28,48	30,66	31,57	32,29

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 9.1, οι ποσοστιαίες μεταβολές των τεσσάρων θερμικών ζωνών στις 1900 και στις 1200 rpm του κυκλοφορητή είναι πρακτικά ίσες. Οι διαφορές που προκύπτουν είναι μικρές και οφείλονται και στον παράγοντα του σφάλματος μετρήσεως.

Αυτό δίνει μία ένδειξη ότι η άνοδος της εξωτερικής θερμοκρασίας, η οποία επιφέρει μείωση του απαιτούμενου θερμικού φορτίου, θα μπορούσε (η μείωση αυτή) να καλυφθεί με μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του κυκλοφορητή, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 8.13, όπου οι καμπύλες είναι περίπου «παράλληλες». Βέβαια, ακόμα και μόνο η χρήση ενός κυκλοφορητή μεταβλητής ταχύτητας δε θα μπορούσε να λύσει τα προβλήματα υδραυλικής εξισορρόπησης, καθώς η αλλαγή της ταχύτητας περιστροφής επιφέρει ποσοστιαίες μεταβολές των παροχών, αφού αλλάζει η πίεση εξόδου αυτού. Αυτό συνεπάγεται τη διαφοροποίηση, σε κάποιο βαθμό της πραγματικής εγκατάστασης από τη σχεδιασθείσα. Επομένως, με τη χρήση αυτοματοποιημένου συστήματος σε περιόδους που απαιτούνται χαμηλότερα θερμικά φορτία, το οποίο ρυθμίζει και τις βαλβίδες στραγγαλισμού μπορεί και ο κυκλοφορητής να λειτουργεί σε χαμηλότερες στροφές, ανάλογα, επιτυγχάνοντας και πάλι εξισορρόπηση με μικρότερη ηλεκτρική κατανάλωση (εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας).

Στον πίνακα 8.3 στη θερμική ζώνη 4, η παροχή και αντίστοιχα η ταχύτητα νερού (πίνακας 8.6) για τη μικρότερη ταχύτητα περιστροφής του κυκλοφορητή (1200 rpm), παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη απόκλιση από τις τιμές των άλλων θερμικών ζωνών, το οποίο πιθανότατα να οφείλεται σε σφάλμα μέτρησης. Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα 8.3, όπου παρουσιάζεται στη θερμική ζώνη 4 και για θέση ρύθμισης στραγγαλισμού 3 διαφοροποίηση της καμπύλης της θερμικής ζώνης αυτής σε σχέση με τις υπόλοιπες στις 1200 rpm.

Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στους πίνακες 8.3, 8.4 και 8.5 αφορούν τις στραγγαλιστικές θέσεις ρύθμισης 3, 2 και 1 των βαλβίδων των τεσσάρων θερμικών ζωνών. Με βάση τις μετρήσεις αυτές και τις μετρήσεις του πίνακα 8.1 (θέση ρύθμισης 4/πλήρως ανοιχτό), χαράχθηκαν τα διαγράμματα 8.1 έως και 8.12. Σκοπός των μετρήσεων αυτών και των αντίστοιχων διαγραμμάτων, ήταν ο έλεγχος της αναφοράς του κατασκευαστή των βαλβίδων, ότι για μικρές πτώσεις πίεσης στις βαλβίδες οι μετρήσεις που γίνονται δεν είναι ακριβείς.

Στα διαγράμματα 8.3, 8.6, 8.9 και 8.12 εμφανίζεται στο χαμηλότερο σημείο των καμπυλών που αντιστοιχεί στην πλήρως ανοιχτή θέση (θέση ρύθμισης 4 των στραγγαλιστικών βαλβίδων), μία «ανωμαλία» στη συνέχεια της καμπύλης για ταχύτητα περιστροφής του κυκλοφορητή στις 1200 rpm. Στις στροφές αυτές (1200 rpm) η παροχή του νερού είναι χαμηλή (χαμηλή ταχύτητα ροής του νερού), οπότε και οι τριβές που εμφανίζονται και επομένως και η διαφορική πίεση στη θέση 4 είναι μικρή, παρουσιάζοντας την εν λόγω «ανωμαλία». Αυτό επιβεβαιώνει την ανωτέρω υπόδειξη του κατασκευαστή, για τις εσφαλμένες μετρήσεις, για μικρά Δp .

Επιπλέον, παρατηρώντας τα διαγράμματα 8.1 έως και 8.12 για τις διάφορες τιμές περιστροφής του κυκλοφορητή, οι καμπύλες των κλάδων είναι ουσιαστικά ίδιες. Πράγμα που είναι λογικό, λόγω του ότι οι κλάδοι της πειραματικής διάταξης είναι ίδιας διαμόρφωσης (διάμετροι σωλήνων, βαλβίδες κλπ.).

Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί πείραμα στην υπόψη διάταξη και με αλλαγή των ρυθμίσεων των ρυθμιστικών βανών του κάθε κλάδου (εικόνα 7.4), έτσι ώστε να γίνει μία μορφή προσομοίωσης ενός πραγματικού συστήματος, όπου οι κλάδοι μπορούν να έχουν εκτός από διαφορετικά θερμαντικά φορτία και διαφορετικό αριθμό σωμάτων, βανών, καμπυλών, διακλαδώσεων κλπ.

Μία ακόμη ρύθμιση/μεταβολή που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί, οπότε να υπάρχει αλλαγή στις παραμέτρους της πειραματικής διάταξης και του πειράματος, είναι η αλλαγή ρύθμισης της βαλβίδας STAP.

Από τα θεωρητικά θερμικά φορτία που ελήφθησαν για να πραγματοποιηθεί το πείραμα, προέκυψε ότι αφού πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις με πλήρως ανοιχτές τις στραγγαλιστικές βαλβίδες, ο κυκλοφορητής θα έπρεπε να λειτουργεί στις 2200 rpm ή στις 1900 rpm προκειμένου να εξισορροπηθεί το σύστημα. Τελικώς, επιτεύχθηκε η εξισορρόπηση στις 2200 rpm.

Από τα θεωρητικά θερμικά φορτία που υπολογίστηκαν στους πίνακες 8.7 έως και 8.10, όπου το σύστημα δεν ήταν εξισορροπημένο, τα παρεχόμενα θερμικά φορτία παρουσίαζαν μεγάλες αποκλίσεις από τα θεωρητικώς απαιτούμενα φορτία (6100 kcal/h στην 4^η θερμική ζώνη, 6400 kcal/h στη 3^η θερμική ζώνη, 5100 kcal/h στην 2^η θερμική ζώνη και 3800 kcal/h στην 1^η θερμική ζώνη). Αυτό σημαίνει ότι η θερμική άνεση, χωρίς εξισορρόπηση δεν επιτυγχάνεται, αφού σε κάποιους κλάδους παρέχεται μικρότερη ποσότητα θερμότητας (οπότε οι ένοικοι κρυώνουν) και σε κάποιους παρέχεται μεγαλύτερη (οπότε οι ένοικοι ζεσταίνονται).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα επιπλέον κατανάλωση ενέργειας με χρήση άλλων μέσων από αυτούς που κρυώνουν (π.χ. ηλεκτρικές θερμάστρες κλπ.) και απόρριψη ενέργειας στο περιβάλλον από αυτούς που ζεσταίνονται (ανοιχτά παράθυρα κλπ.). Πέρα των ανωτέρω, είναι πιθανό οι ένοικοι να προσπαθήσουν να ρυθμίσουν αυθαίρετα το σύστημα (αλλαγή θερμοκρασίας του θερμοστάτη κλπ.), προκειμένου να πετύχουν τη ζητούμενη θερμική άνεση. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα αύξηση της κατανάλωσης της θερμικής ενέργειας πάνω από τα απαιτούμενα πραγματικά φορτία, και επομένως απώλεια χρημάτων. Στο εξισορροπημένο σύστημα και πολύ περισσότερο όταν αυτό είναι αυτοματοποιημένο, οπότε δεν επιδέχεται παρεμβάσεις από τους ενοίκους, η κατανάλωση ενέργειας είναι ελεγχόμενη, και επομένως στα σωστά πλαίσια και επιτυγχάνεται έτσι εξοικονόμηση θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και χρημάτων.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του κυκλοφορητή και με χρήση της χαρακτηριστικής καμπύλης αυτού, η μέγιστη παροχή του είναι $3 \text{ m}^3/\text{h}$, και επομένως το αντίστοιχο μέγιστο θερμικό φορτίο για τα δεδομένα του πειράματος ($\Delta\theta = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho = 998,5644 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 4,185 \text{ kJ/kgK}$) είναι 45.133 kcal/h . Για τη διεξαγωγή του πειράματος ελήφθη συνολικό θερμικό φορτίο για τις τέσσερις θερμικές ζώνες 21.400 kcal/h (δηλαδή 6100 kcal/h στην 4^η θερμική ζώνη, 6400 kcal/h στη 3^η θερμική ζώνη, 5100 kcal/h στην 2^η θερμική ζώνη και 3800 kcal/h στην 1^η θερμική ζώνη). Με βάση τα θεωρητικά φορτία υπολογίστηκαν και οι θεωρητικές παροχές των τεσσάρων κλάδων.

Όταν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις με πλήρως ανοιχτές τις στραγγαλιστικές βαλβίδες, η παροχή στις μέγιστες στροφές (2200 rpm) του κυκλοφορητή είναι $1,48 \text{ m}^3/\text{h}$, η οποία είναι το μισό της μέγιστης παροχής που μπορεί να δώσει ο κυκλοφορητής $3 \text{ m}^3/\text{h}$, όπως προκύπτει και από τη χαρακτηριστική καμπύλη του.

Με βάση τα δεδομένα της εταιρείας WILLO η διάμετρος του σωλήνα στην αναρρόφηση του κυκλοφορητή έπρεπε να είναι $D_n 1\frac{1}{2}$. Ο σωλήνας που έχει χρησιμοποιηθεί στην πειραματική διάταξη είναι $\frac{3}{4}$ της ίντσας ($\approx 20 \text{ mm}$). Αυτό έχει σαν πιθανό αποτέλεσμα, και ίσως και άλλοι παράμετροι στο σχεδιασμό της πειραματικής διάταξης (θέση λειτουργίας των ρυθμιστικών βανών), την πρόκληση απόκλισης από τη θεωρητική λειτουργία του κυκλοφορητή, δηλαδή πιθανώς υπάρχει στραγγαλισμός της ροής στο κύκλωμα. Διότι κανονικά θα έπρεπε ο κυκλοφορητής να δίνει μέγιστη παροχή περίπου $3 \text{ m}^3/\text{h}$ με πλήρως ανοιχτές τις στραγγαλιστικές βαλβίδες.

Τέλος, από τις διαφορικές πιέσεις που μετρήθηκαν στην πλήρως ανοιχτή κατάσταση και στην υδραυλική εξισορρόπηση, παρατηρείται ότι είναι χαμηλότερη μετά την εξισορρόπηση στην κεντρική βαλβίδα, το οποίο είναι λογικό λόγω της

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

χαμηλότερης παροχής και επομένως μικρότερης ταχύτητας που απαιτείται ($1,42 \text{ m}^3/\text{h}$ έναντι $1,48 \text{ m}^3/\text{h}$). Η αύξηση της διαφορικής πίεσης που παρατηρείται στους τέσσερις κλάδους οφείλεται στο ότι από την πλήρως ανοιχτή κατάσταση (θέση ρύθμισης 4 στραγγαλισμού), ρυθμίστηκαν οι τέσσερις στραγγαλιστικές βαλβίδες σε θέσεις από 3 έως και 2 περίπου αντίστοιχα, προκειμένου να επιτευχθεί η εξισορρόπηση. Αυτό συνεπάγεται ότι και η διαφορική πίεση μεταξύ των θέσεων ρύθμισης 4, 3 και 2 των στραγγαλιστικών βαλβίδων παρουσιάζει αντίστοιχα μεταβολή.

Συμπερασματικά , η χρήση της υδραυλικής εξισορρόπησης από την αρχή του σχεδιασμού του συστήματος όσο και αν αυξάνει κατά ένα μικρό ποσοστό το κόστος, εγγυάται τη σωστή λειτουργία και τη σωστή παροχή των θερμικών φορτίων σε όλους τους χώρους υπό όλες τις συνθήκες, εξασφαλίζοντας τη θερμική άνεση των ενοίκων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βιβλίο Μηχανικής Ρευστών Victor L. Streeter
2. Βιβλίο Μηχανικής Ρευστών Δρ. Περικλής Κορωνάκης Εκδ. ΙΩΝ, Βιβλίο ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ Β' ΕΚΔΟΣΗ Αγγέλου Θ. Παπαϊωάννου ΤΟΜΟΣ ΙΙ
3. ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση V, Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, Υπουργείο Εργασίας, Διεύθυνση Κοινωνικών Πρωτοβουλιών
4. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ Νικόλαου Παντζαλη Β' Έκδοση, Εκπαιδευτικό Κείμενο Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
5. HYDRONIC HEATING SYSTEMS The Effect Of Design On System Sensitivity Anders Trüschel
6. The effect of hydronic balancing on room temperature and heat pump efficiency of a building with underfloor heating, Martin Thalfeldta, Raimo Simsona, Jarek Kurnitski
7. BALANCING OPERATION FOR THE OPTIMISATION OF HYDRONIC NETWORKS, Couillaud Nicolas, Riederer Peter, Jandon Mireille, Diab Youssef
8. A Technical Journal from Caleffi Hydronic Solutions, CALEFFI NORTH AMERICA, INC
9. BALANCING OF CONTROL LOOPS, A manual for getting the correct function of 23 control loops used in hydronic heating and cooling systems
10. A New Procedure for Hydronic Balancing of Heating Circuits, Dipl.-Ing. Peter Pärish
11. IMI Engineering, Knowledge Centre, άρθρο Hydronic balancing & stabilisation of the differential pressures
12. TOTEE 2411/86
13. AIRCO line energy