

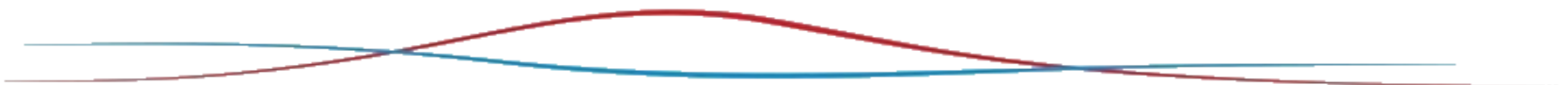


Σχεδιασμός μονοσωλήνιου κυκλώματος θέρμανσης

Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός I
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Δρ. Γεώργιος Μιχ. Σταυρακάκης
Χημ. Μηχανικός PhD, MSc ΕΜΠ

Εαρινό εξάμηνο 2020-21





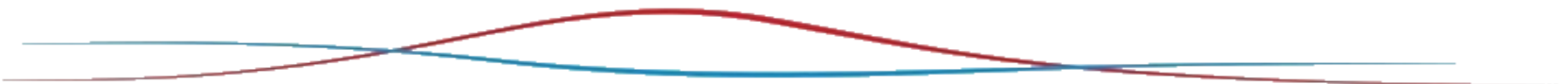
Εισαγωγικά

Όταν αναφερόμαστε στον «σχεδιασμό» ενός δικτύου διανομής εννοούμε την εκπόνηση των απαιτούμενων υπολογισμών ισοζυγίων μάζας και ενέργειας για την διαπίστωση των τεχνικών προδιαγραφών του δικτύου. Συνολικά, για το δίκτυο διανομής μας ενδιαφέρει να προδιαγράψουμε:

- Τις κατάλληλες σωληνώσεις (υλικό και διαστάσεις) της κατακόρυφης στήλης και των οριζόντιων τμημάτων διανομής στα θερμαντικά σώματα.
- Τα κατάλληλα εξαρτήματα (διασύνδεσης, ρύθμισης και κατεύθυνσης ροής, κτλ.) που παρεμβάλλονται στις σωληνώσεις του δικτύου.
- Το απαραίτητο μανομετρικό ύψος του κυκλοφορητή για την άριστη εξυπηρέτηση του δικτύου.

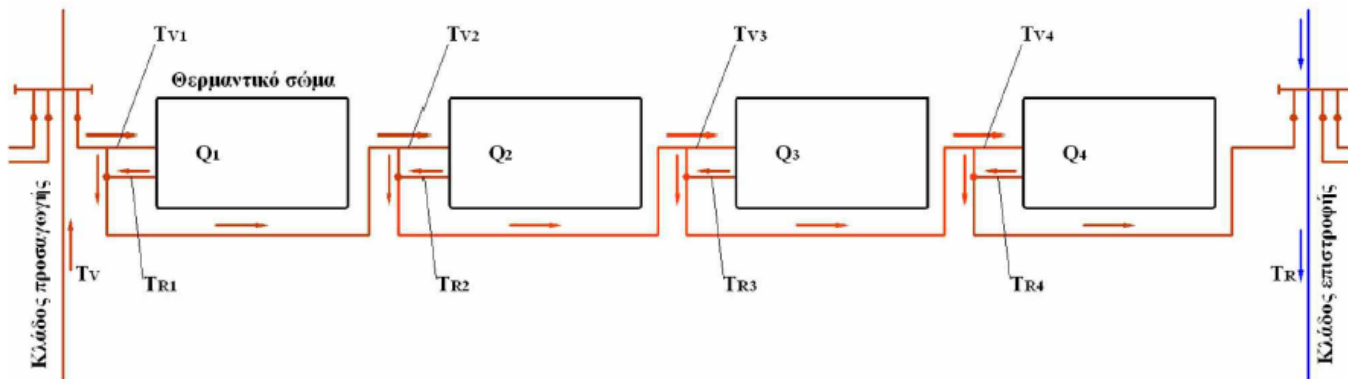
Τα παραπάνω προϋποθέτουν την εκτίμηση θεμελιωδών παραμέτρων της ροής/κυκλοφορίας του θερμού ρευστού στο κύκλωμα θέρμανσης που βασίζονται σε:

1. **Υπολογισμούς του θερμικού ισοζυγίου (θερμικούς υπολογισμούς)** για την εκτίμηση των διάφορων θερμοκρασιακών πτώσεων στα θερμαντικά σώματα και συνεπώς την επιλογή των κατάλληλων θερμαντικών σωμάτων.
2. **Υδραυλικούς υπολογισμούς** για την εκτίμηση των πτώσεων πίεσης κατά μήκος των σωλήνων και των διαφόρων εξαρτημάτων αλλά και του ολικού μανομετρικού ύψους.



Εισαγωγικά

Όπως έχει αναφερθεί, η επιλογή των θερμαντικών σωμάτων βασίζεται στις θερμικές απώλειες που προσπαθούμε να αντισταθμίσουμε (η οποία μας δίνει την απαιτούμενη θερμική ισχύ του θερμαντικού σώματος) και στη μέση ενεργό θερμοκρασία του θερμαντικού σώματος. Η τελευταία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας νερού προσαγωγής και επιστροφής. Στο μονοσωλήνιο σύστημα, λόγω της μη άμεσης σύνδεσης του κάθε σώματος με την κατακόρυφη στήλη προσαγωγής και επιστροφής (βλ. παρακάτω τυπικό διάγραμμα ροής), η θερμοκρασία προσαγωγής σε κάθε σώμα είναι διαφορετική από αυτή της θερμοκρασίας προσαγωγής συνολικά στον μελετούμενο βρόγχο θέρμανσης. Το ίδιο ισχύει και για τη θερμοκρασία επιστροφής δηλ. εξόδου του νερού, από κάθε σώμα. **Συμβαίνουν δηλαδή θερμοκρασιακές πτώσεις σε κάθε θερμαντικό σώμα, τις οποίες καλούμαστε να υπολογίσουμε ώστε να εκτιμήσουμε ορθώς την μέση ενεργό θερμοκρασία για κάθε σώμα και άρα να προδιαγράψουμε τα σωστά θερμαντικά σώματα.**

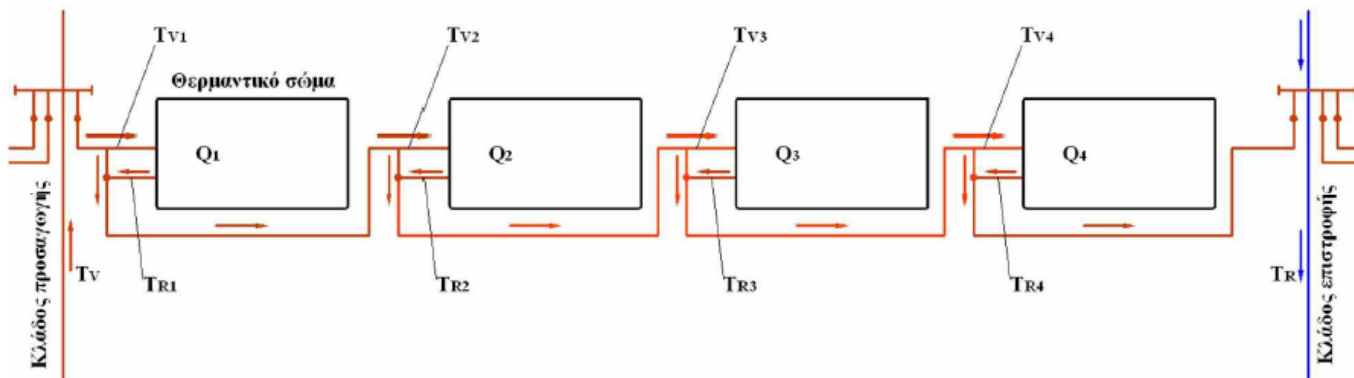


Θερμικοί υπολογισμοί

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής (σύνδεση σε σειρά), η **θερμοκρασία εξόδου από το κάθε σώμα συνεισφέρει στη θερμοκρασία εισόδου στο επόμενο σώμα**. Ισχύει πάντως ότι η θερμοκρασία προσαγωγής T_{v1} στο πρώτο σώμα είναι ίση με τη θερμοκρασία προσαγωγής συνολικά στον εξεταζόμενο βρόγχο T_v .

Ισχύει επίσης ότι σε κάθε σώμα δεν εισέρχεται ολόκληρη η ποσότητα νερού που έρχεται από τον κεντρικό σωλήνα προσαγωγής αρχικά ή από κάθε προηγούμενο σώμα, αλλά μικρότερη, συνήθως ένα ποσοστό περίπου 50% της ολικής παροχής του βρόγχου. Αυτό καλείται «**προρύθμιση**». Η προρύθμιση είναι ο λόγος παροχής του νερού σε κάθε σώμα προς την **συνολική παροχή του κυκλώματος**. Για το παρακάτω, αν με G (lt/h) συμβολίζεται η ογκομετρική παροχή του νερού, και σε κάθε σώμα προρύθμιση (σε %) $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$, τότε η παροχή σε κάθε σώμα θα είναι:

$$G_1 = \pi_1 * G, G_2 = \pi_2 * G, G_3 = \pi_3 * G \text{ και } G_4 = \pi_4 * G \quad (1)$$





Θερμικοί υπολογισμοί

Το θερμικό φορτίο συνολικά του κυκλώματος θα είναι (συχνά σε kcal/h):

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2)$$

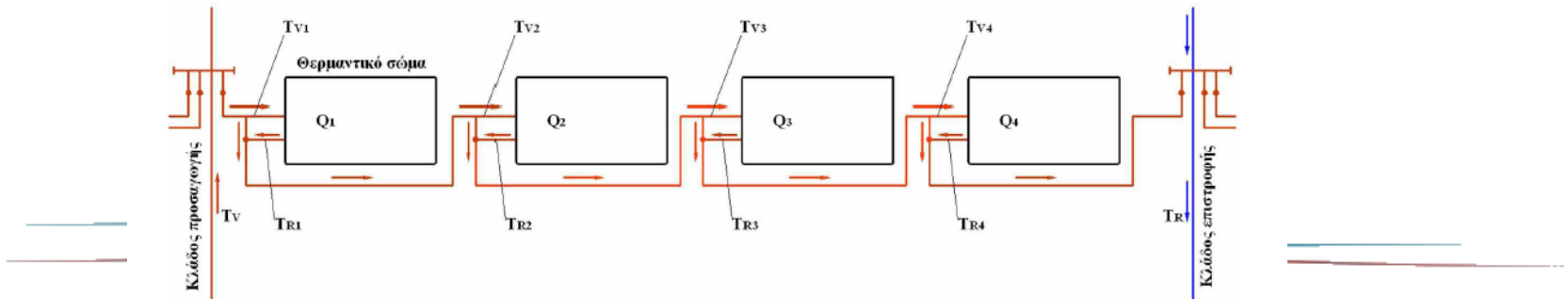
Επίσης, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας (μεταφερόμενο θερμικό φορτίο ρεύματος ρευστού) είναι γενικά:

$$Q = G * (T_v - T_R) \quad (3)$$

όπου T_v, T_R είναι η θερμοκρασία προσαγωγής και επιστροφής, αντίστοιχα (σε °C). Άρα, λόγω της (3), η **θερμοκρασιακή πτώση ΔT** σε κάθε σώμα θα είναι:

$$\Delta T_1 = T_{v1} - T_{R1} = \frac{Q_1}{G_1}, \dots, \Delta T_4 = T_{v4} - T_{R4} = \frac{Q_4}{G_4} \quad (4)$$

Από τη σχέση (4), μέσω της (1), με γνωστή την παροχή του κυκλώματος (από σχέση (3) συνολικά για το κύκλωμα), μπορούν να βρεθούν οι θερμοκρασιακές πτώσεις ΔT σε κάθε σώμα.



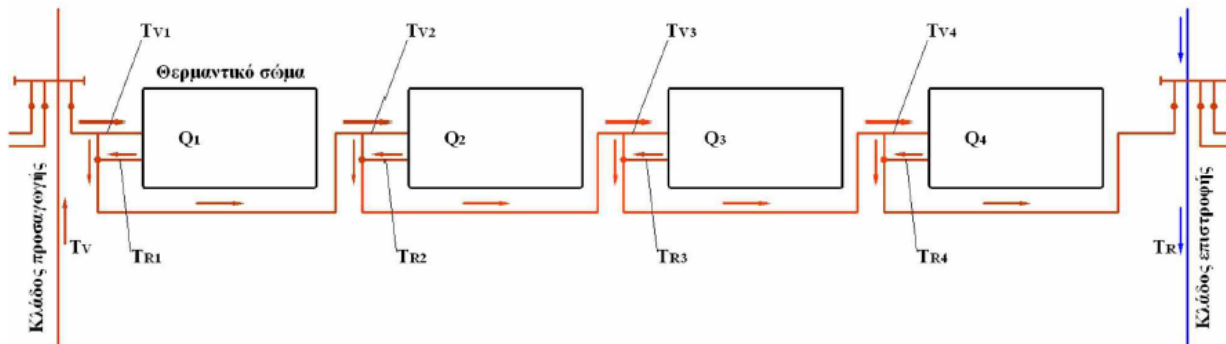
Θερμικοί υπολογισμοί

Οι ΔT σε κάθε σώμα μας χρειάζονται διότι υπεισέρχονται στον υπολογισμό της θερμοκρασίας προσαγωγής και επιστροφής ξεχωριστά για κάθε σώμα, που με τη σειρά τους χρειάζονται για να μπορούμε να υπολογίσουμε την μέση ενεργό θερμοκρασία του κάθε θερμαντικού σώματος. Η θερμοκρασία επιστροφής του κάθε σώματος μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (λόγω της (4)):

$$T_{R1} = T_{v1} - \Delta T_1, \dots, T_{R4} = T_{v4} - \Delta T_4 \quad (5)$$

Όμως, για να μπορέσει να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της σειράς εξισώσεων (5) παραπάνω πρέπει να βρούμε τη θερμοκρασία προσαγωγής σε κάθε σώμα.

Στο πρώτο σώμα (το εύκολο) είναι: $T_{v1} = T_v$ (η θερμοκρασία προσαγωγής στο 1^ο σώμα ισούται με αυτήν του κυκλώματος).





Θερμικοί υπολογισμοί

Η εκτίμηση της θερμοκρασίας προσαγωγής σε κάθε σώμα μετά το 1^ο, βασίζεται στη διατύπωση του θερμικού ισοζυγίου (αρχή διατήρησης της ενέργειας) σε κάθε σώμα. Π.χ. για το 1^ο σώμα ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, που είναι και η θερμική ισχύς του σώματος, ικανοποιεί και τις 2 παρακάτω εκφράσεις:

$$Q_1 = G_1 * (T_{v1} - T_{R1}) \quad (6)$$

$$Q_1 = G * (T_{v1} - T_{v2}) \quad (7)$$

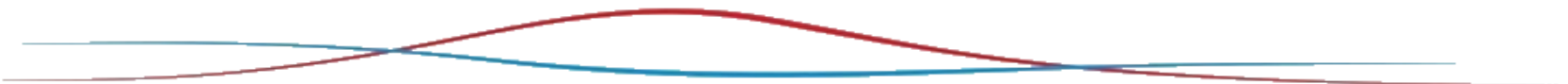
Δηλ.:

$$G_1 * (T_{v1} - T_{R1}) = G * (T_{v1} - T_{v2}) \Leftrightarrow T_{v2} = \frac{G_1}{G} T_{R1} + \frac{G - G_1}{G} T_{v1} \text{ (όπου } T_{R1} \text{ από σχέση (4))} \Leftrightarrow$$

$$T_{v2} = T_{v1} - \frac{Q_1}{G} \quad (8)$$

Η (8) προφανώς ισχύει για όλα τα λοιπά εν σειρά θερμαντικά σώματα του μονοσωλήνιου κυκλώματος, δηλ.:

$$T_{v3} = T_{v2} - \frac{Q_2}{G} \text{ και } T_{v4} = T_{v3} - \frac{Q_3}{G} \quad (8.1)$$



Θερμικοί υπολογισμοί

Με γνωστή πλέον τη θερμοκρασία προσαγωγής σε κάθε σώμα (από σχέση (8) και (8.1)) μπορεί πλέον εύκολα, από σχέση (4), να υπολογιστεί η θερμοκρασία εξόδου (επιστροφής) του νερού από κάθε σώμα.

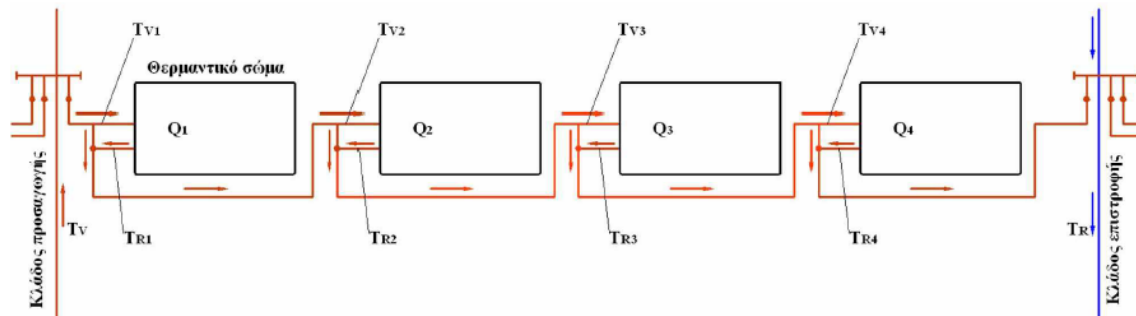
Με γνωστές πλέον όλες τις θερμοκρασίες μπορεί να υπολογιστεί **η μέση ενεργός θερμοκρασία για κάθε σώμα** από τη γνωστή γενική σχέση (βλ. διάλεξη «Θερμαντικά σώματα»):

$$T_m = \frac{T_v + T_R}{2} - T_i \quad (\text{όπου } T_i \text{ είναι η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου}) \quad (9)$$

$$\text{Π.χ. για το 1}^\circ \text{ σώμα: } T_{m1} = \frac{T_{v1} + T_{R1}}{2} - T_i = \frac{T_{v1} + T_{v1} - \Delta T_1}{2} - T_i = T_{v1} - \Delta r_1 - T_i \quad (10)$$

Όπου $\Delta r_1 = \frac{\Delta T_1}{2}$ καλείται **«Ημι-πτώση θερμοκρασίας» του σώματος 1**. Έτσι, οι T_m των σωμάτων θα είναι:

$$T_{m1} = T_{v1} - \Delta r_1 - T_i, \dots, T_{m4} = T_{v4} - \Delta r_4 - T_i \quad (11)$$



Θερμικοί υπολογισμοί

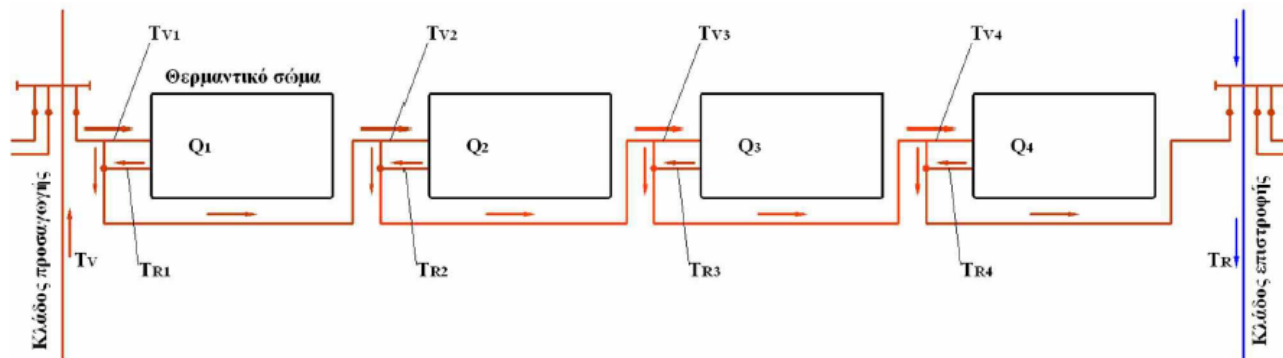
Πλέον με γνωστές τις μέσες ενεργές θερμοκρασίες των σωμάτων μπορεί να επιλεγεί το κάθε θερμαντικό σώμα, **μέσω της εξίσωσης αναγωγής της θερμικής ισχύος του κάθε σώματος σε Q_{60}** (βλ. διάλεξη «Θερμαντικά σώματα»):

$$\text{Για το 1}^\circ \text{ σώμα: } Q_{60,1} = Q_1 * \left(\frac{60}{T_{m1}} \right)^{1,33} \quad (12)$$

.....

$$\text{Για το 4}^\circ \text{ σώμα: } Q_{60,4} = Q_4 * \left(\frac{60}{T_{m4}} \right)^{1,33}$$

Τέλος, από Πίνακες Θερμαντικών σωμάτων (π.χ. ΑΚΑΝ ή πάνελ) με δεδομένο το Q_{60} του κάθε σώματος μπορεί να επιλεγεί το κάθε κατάλληλο σώμα του βρόγχου/κυκλώματος θέρμανσης λαμβάνοντας υπόψη χωροταξικούς περιορισμούς και γενικά τις βασικές αρχές τοποθέτησης σωμάτων.





Υδραυλικοί υπολογισμοί

Υπολογισμός πτώσης πίεσης δικτύου

Η συνολική πτώση πίεσης του δικτύου H (σε mH_2O ή mΥΣ που σημαίνει «μέτρα στήλης ύδατος») υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H = \sum_{i=1}^{\nu} (R_i * L_i) + Z_i \quad (13)$$

Όπου:

ν είναι ο συνολικός αριθμός των τμημάτων του δικτύου, με διαφορετική παροχή νερού το καθένα

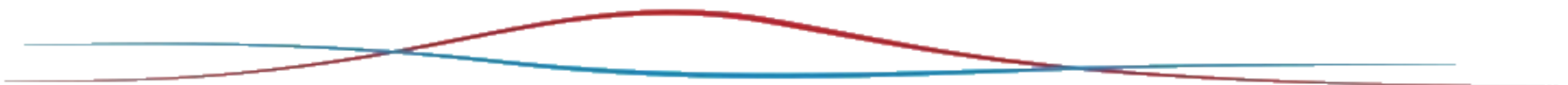
R_i η ανηγμένη ανά m μήκους πτώση πίεσης του τμήματος i του δικτύου ($\text{mmΥΣ}/\text{m}$)

L_i το μήκος του τμήματος i του δικτύου (m)

Z_i η πτώση πίεσης λόγω τοπικών αντιστάσεων (εξαρτημάτων) του τμήματος i του δικτύου (mmΥΣ). Προκύπτει από τη σχέση:

$$Z_i = \sum_{i=1}^{\nu} (R_i * L'_i) \quad (14)$$

Όπου L'_i είναι το ισοδύναμο μήκος εξαρτήματος (σε m).





Υδραυλικοί υπολογισμοί

Υπολογισμός πτώσης πίεσης δικτύου

Δηλ. από σχέσεις (13) και (14) προκύπτει η συνολική πτώση πίεσης του δικτύου:

$$H = \sum_{i=1}^n R_i * (L_i + L'_i) \quad (15)$$

Άρα, για να κατορθώσουμε να υπολογίσουμε την πτώση πίεσης του δικτύου πρέπει να έχουμε την επιμέρους πτώση πίεσης R_i για κάθε ευθύγραμμο τμήμα του δικτύου αλλά και για κάθε εξάρτημα του κάθε ευθυγράμμου τμήματος. Αυτό βρίσκεται από Πίνακες/βάσεις δεδομένων κατασκευαστών ή στη βιβλιογραφία.

Το μήκος L_i του κάθε τμήματος (σωλήνα) λαμβάνεται από τα Σχέδια της σχετικής μελέτης θέρμανσης. Το ισοδύναμο μήκος L'_i των εξαρτημάτων λαμβάνεται από βάσεις δεδομένων κατασκευαστών ή από πρότυπους Πίνακες που βρίσκονται στη βιβλιογραφία.

Για ποιο λόγο υπολογίζουμε την πτώση πίεσης??? Διότι η πτώση πίεσης εκπροσωπεί ένα μανομετρικό ύψος, εκλαϊκευμένα το ύψος που θέλουμε να ανεβάσουμε το θερμό νερό για να κυκλοφορήσει στα θερμαντικά σώματα με τις ελάχιστες απώλειες και χωρίς θορύβους. Η μηχανή που χρησιμοποιεί το κύκλωμα για να ανεβάσει το νερό στους βρόγχους θέρμανσης μέσω του δικτύου είναι ο Κυκλοφορητής (αντλία). Άρα, η **συνολική πτώση πίεσης μας δίνει το λεγόμενο Μανομετρικό Ύψος Κυκλοφορητή - συχνά $H_{\text{κυκλοφορητή}} = 1,15 * H$** . Αυτό αποτελεί τιμή αναφοράς για να αναζητήσουμε στο εμπόριο τον κυκλοφορητή που χρειαζόμαστε.





Υδραυλικοί υπολογισμοί

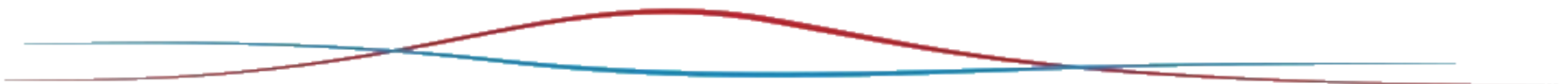
Α) Υπολογισμός κατακόρυφης στήλης

Με την έννοια κατακόρυφη στήλη εννοείται το **δίκτυο των σωληνώσεων** («ζεύγη σωληνώσεων», τουλάχιστον ένα ζεύγος στα μικρά κτήρια, περισσότερα στα μεγαλύτερα, που αποτελείται από δύο σωλήνες, την προσαγωγή και την επιστροφή) **που αρχίζει από το λέβητα και καταλήγει στον ακραίο συλλέκτη του μονοσωληνίου συστήματος**. Οι κατακόρυφες αυτές στήλες συνήθως κατασκευάζονται από σιδηροσωλήνες με ραφή ή χαλκοσωλήνες, μέχρι διαμέτρου 2'' ή DN54 αντίστοιχα, ενώ για μεγαλύτερες διατομές από χαλυβδοσωλήνες χωρίς ραφή (tubo).

Κριτήρια υπολογισμού της κατακόρυφης στήλης:

- Η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 0,60m/s σε σιδηροσωλήνες και το 1m/s σε χαλκοσωλήνες, γιατί σε μεγαλύτερες ταχύτητες προκύπτει μεγάλη πτώση πίεσης, άρα και σπατάλη ενέργειας με αντίστοιχο κυκλοφορητή, αλλά και θόρυβος στις σωληνώσεις.
- Η συνολική πτώση πίεσης του κατακόρυφου δικτύου να μην υπερβαίνει τα 2mH₂O.

Η συνολική πτώση πίεσης περιλαμβάνει τις γραμμικές αντιστάσεις στα ευθύγραμμα τμήματα των σωληνώσεων και τις τοπικές αντιστάσεις που οφείλονται στα τοπικά εξαρτήματα όπως, καμπύλες, βάννες, γωνίες, διακόπτες κλπ.





Υδραυλικοί υπολογισμοί

Α) Υπολογισμός κατακόρυφης στήλης

Αναζήτηση των παραμέτρων R_i των ευθυγράμμων τμημάτων της κατακόρυφης στήλης:

Στους **πίνακες 7.11 – 7.13** του συγγράμματος «Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός](#)» δίνεται η πτώση πίεσης και η ταχύτητα, συναρτήσει της παροχής και της διαμέτρου των σωλήνων, για διέλευση θερμού νερού σε δίκτυα σιδηροσωλήνων μαύρων με ραφή, χαλυβδοσωλήνων και χαλκοσωλήνων.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στους προηγούμενους πίνακες συντάσσεται ο πίνακας 7.14 για την αρχική επιλογή των διαμέτρων των σιδηροσωλήνων και χαλυβδοσωλήνων χωρίς ραφή, με κριτήριο η ταχύτητα του νερού να μην υπερβαίνει τα 0,50m/s, σε συνάρτηση με το μεταφερόμενο θερμικό φορτίο σε kW και για μια θερμοκρασιακή πτώση του νερού ίση με 15oC (80-65oC), δηλαδή για τις συνηθισμένες τιμές σχεδιασμού για τα περισσότερα μονοσωλήνια δίκτυα.

<i>Πίνακας 7.14: Επιλογή διαμέτρου σωλήνων για $u < 0,50\text{m/s}$.</i>			
Φορτίο (kW)	Διάμετρος	Φορτίο (kW)	Διάμετρος
0 – 5,4	½"	78,5 – 96,5	64/70
5,4 – 9,6	¾"	96,5 – 114	70/76
9,6 – 15,7	1"	114 – 139,5	76/82
15,7 – 27,9	1 ¼"	139,5 – 162,8	82/89
27,9 – 39,2	1 ½"	162,8 – 209,3	95/102
39,2 – 61,0	2"	209,3 – 267,4	106/114
61,0 – 78,5	57/63mm	267,4 – 372,0	125/133



Υδραυλικοί υπολογισμοί

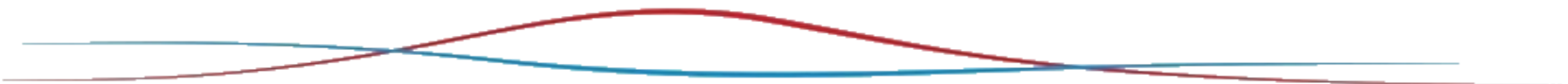
Α) Υπολογισμός κατακόρυφης στήλης

Αναζήτηση του ισοδύναμου μήκους L'_i εξαρτημάτων:

Στους πίνακες 7.9 και 7.10 του συγγράμματος «Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός](#)» δίδονται τα ισοδύναμα μήκη των τοπικών αντιστάσεων, σε m, για διάφορες βαλβίδες και εξαρτήματα σωληνώσεων, που ισχύουν για σιδηροσωλήνες, χαλυβδοσωλήνες και χαλκοσωλήνες.

Πίνακας 7.9: Απώλειες πίεσης στα εξαρτήματα σωλήνων (ισοδύναμο μήκος σωλήνα σε m).										
Ονομαστική Διάμετρος Σωλήνα		Καμπ. 90°	Καμπ. 90° / μεγάλη ακτίνα καμπ/τας	Καμπ. 90° Αρσ. / Θηλ.	Καμπ. 45°	Καμπ. 45° Αρσ. / Θηλ.	Καμπ. 180°	Ταυ διακλ. /διελ.	Συστολικό 1:4	Συστολικό 1:2
in	mm									
3/8	10,0	0,42	0,27	0,70	0,21	0,33	0,70	0,80	0,36	0,42
1/2	12,5	0,48	0,30	0,75	0,24	0,39	0,75	1,00	0,42	0,48
3/4	20,0	0,60	0,42	0,96	0,27	0,48	0,96	1,20	0,57	0,60
1	25,0	0,78	0,51	1,20	0,39	0,63	1,20	1,50	0,70	0,80
1 ¼	32,0	1,00	0,69	1,70	0,51	0,90	1,70	2,10	0,90	1,00
1 ½	40,0	1,20	0,78	1,90	0,63	1,02	1,90	2,40	1,10	1,20
2	50,0	1,50	1,00	2,50	0,78	1,35	2,50	3,00	1,40	1,50
2 ½	65,0	1,80	1,20	3,00	0,96	1,56	3,00	3,60	1,70	1,80
3	75,0	2,25	1,50	3,60	1,20	1,90	3,60	4,50	2,10	2,20
3 ½	90,0	2,70	1,77	4,50	1,40	2,20	4,50	5,40	2,40	2,70
4	100	3,00	2,00	5,10	1,56	2,50	5,10	6,30	2,70	3,00
5	125	3,90	2,50	6,30	1,95	3,30	6,30	7,50	3,60	3,90
6	150	4,80	3,00	7,50	2,40	3,90	7,50	9,00	4,20	4,80
8	200	6,00	3,90	-	3,00	-	9,90	12,00	5,40	6,00
10	250	7,50	4,80	-	3,90	-	12,5	15,00	6,90	7,50
12	300	9,00	5,70	-	4,80	-	15,00	18,00	7,80	9,00

Πίνακας 7.10: Απώλειες πίεσης στις βαλβίδες (ισοδύναμο μήκος σωλήνα σε m).									
Ονομαστική Διάμετρος Σωλήνα		Διακόπτης ευθύς	Διακόπτης 60° –Υ	Διακόπτης 45° –Υ	Διακόπτης γωνιακός	Βάννα	Βαλβίδα αντεπιστροφής	Φίλτρο νερού –Υ (Strainer)	
in	mm							Φλαντζωτό	Βιδωτό
3/8	10,0	5,10	2,40	1,80	0,18	0,15	-	-	-
1/2	12,5	5,40	2,70	2,10	2,10	0,21	1,80	-	0,90
3/4	20,0	6,60	3,30	2,70	2,70	0,27	2,40	-	1,20
1	25,0	8,70	4,50	3,60	3,60	0,30	3,00	-	1,50
1 ¼	32,0	11,40	6,00	4,50	4,50	0,45	4,20	-	2,70
1 ½	40,0	13,00	7,20	5,40	5,40	0,54	4,80	-	3,00
2	50,0	16,50	9,00	7,20	7,20	0,70	6,00	8,10	4,20
2 ½	65,0	21,00	10,5	8,70	8,70	0,84	7,50	8,40	6,00
3	75,0	25,00	12,90	10,50	10,50	0,96	9,00	12,60	12,00
3 ½	90,0	30,00	15,00	12,30	12,30	1,20	10,50	14,40	-
4	100	36,00	17,40	14,10	14,10	1,35	12,00	18,00	-
5	125	42,00	21,30	17,40	17,40	1,80	15,00	24,00	-
6	150	51,00	26,40	21,00	21,00	2,10	18,00	33,00	-
8	200	66,00	34,50	25,50	25,50	2,70	24,00	45,00	-
10	250	84,00	43,50	31,50	31,50	3,60	30,00	57,00	-



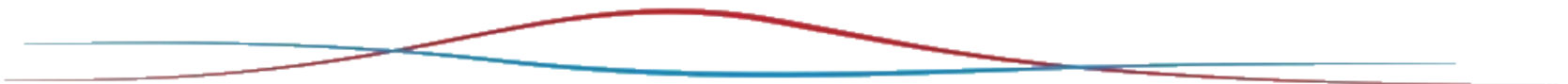


Υδραυλικοί υπολογισμοί

Β) Υπολογισμός οριζόντιου κυκλώματος (επιδαπέδιου συστήματος)

Στις σωληνώσεις του μονοσωληνίου συστήματος που διέρχονται από το δάπεδο χρησιμοποιούνται ως επί τω πλείστων:

- εύκαμπτοι χαλύβδινοι σωλήνες με πλαστική επένδυση διαμέτρου 15 x 1mm, 16 x 1mm, 18 x 1mm, όπου ο πρώτος αριθμός δηλώνει την εξωτερική διάμετρο του σωλήνα και ο δεύτερος το πάχος τοιχώματός του.
- εύκαμπτες χάλκινες σωληνώσεις με πλαστική επένδυση, με τις ίδιες όπως πιο πάνω αναφερόμενες διαμέτρους.
- πλαστικοί σωλήνες από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο διαμέτρου 16 x 2mm και 18 x 2mm (το πιο συνηθισμένο).



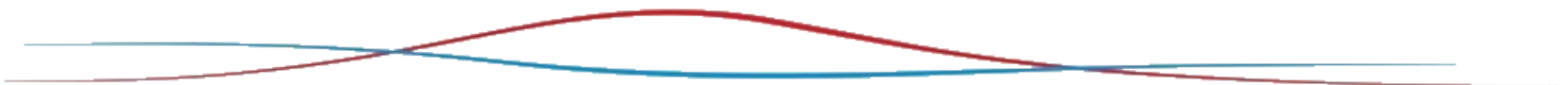


Υδραυλικοί υπολογισμοί

Β) Υπολογισμός οριζόντιου κυκλώματος (επιδαπέδιου συστήματος)

Η επιλογή και ο υπολογισμός διαμέτρου της αντίστοιχης ενδοδαπέδιας σωλήνωσης γίνεται με τα παρακάτω κριτήρια:

- Κάθε βρόγχος (κλάδος) να εξυπηρετεί σε σειρά το πολύ 5 σώματα (υπερβολικό), με συνιστώμενη τη σύνδεση 2 – 3 το πολύ σωμάτων.
- Η ταχύτητα του νερού να μην υπερβαίνει τα 0,60 – 0,70m/s (οριακά μέχρι 0,90 m/s).
- Το συνολικό μήκος του βρόγχου να μην υπερβαίνει τα 50m.
- Η συνολική πτώση πίεσης του βρόγχου από το συλλέκτη προσαγωγής μέχρι και το συλλέκτη επιστροφής να μην υπερβαίνει την τιμή των 3.500mmΥΣ.
- Η τοποθέτηση των σωληνώσεων μεταξύ των διαδοχικών σωμάτων να γίνεται κατά προτίμηση με καμπύλα τμήματα και όχι ευθύγραμμα, για να υπάρχει η δυνατότητα παραλαβής των αυξημένων, λόγω υλικού, συστολο-διαστολών.





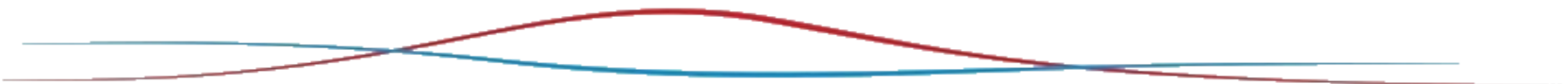
Υδραυλικοί υπολογισμοί

Β) Υπολογισμός οριζόντιου κυκλώματος (επιδαπέδιου συστήματος)

Μέγιστα μεταφερόμενα θερμικά φορτία για τα είδη σωληνώσεων και με βάση την απαίτηση σε ταχύτητα βρίσκονται στους πίνακες 7.15 και 7.16 του συγγράμματος «Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός](#)».

<i>Πίνακας 7.15: Μέγιστο θερμικό φορτίο για ενδοδαπέδιες χαλύβδινες και χάλκινες σωληνώσεις.</i>	
Διάμετρος (mm)	Μέγιστο θερμικό φορτίο (kcal/h)
15 x 1	6.000
16 x 1	7.500
18 x 1	11.000

<i>Πίνακας 7.16: Μέγιστο θερμικό φορτίο για ενδοδαπέδιες σωληνώσεις από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο.</i>	
Διάμετρος (mm)	Μέγιστο θερμικό φορτίο (kcal/h)
16 x 2	5.500
18 x 2	7.500





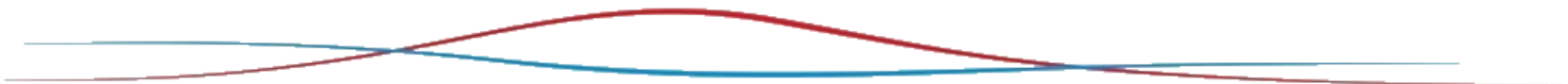
Υδραυλικοί υπολογισμοί

Β) Υπολογισμός οριζόντιου κυκλώματος (επιδαπέδιου συστήματος)

Αναζήτηση των παραμέτρων R_i των τμημάτων του οριζόντιου κυκλώματος:

Στους πίνακες 7.17 – 7.19 του συγγράμματος «Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός](#)» παρουσιάζεται ενδεικτικά η πτώση πίεσης και η ταχύτητα συναρτήσει της παροχής και της διαμέτρου των σωλήνων, για διέλευση ζεστού νερού σε δίκτυα χαλύβδινων και χάλκινων εύκαμπτων ενδοδαπέδιων σωληνώσεων, όπως και σωληνώσεων από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο.

Να σημειωθεί εδώ ότι οι αναφερόμενες τιμές ισχύουν για συγκεκριμένου τύπου σωληνώσεις και ο μελετητής θα πρέπει κάθε φορά να συμβουλευέται τον κατασκευαστή για τα δεδομένα τεχνικά χαρακτηριστικά των σωληνώσεων που προτείνει να χρησιμοποιηθούν.





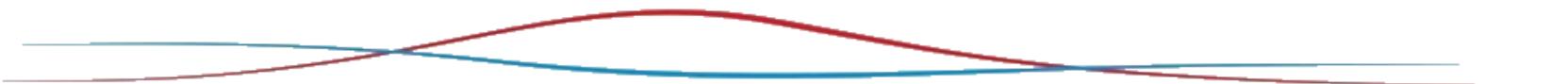
Υδραυλικοί υπολογισμοί

Β) Υπολογισμός οριζόντιου κυκλώματος (επιδαπέδιου συστήματος)

Αναζήτηση του ισοδύναμου μήκους L'_i εξαρτημάτων του οριζόντιου κυκλώματος:

Οι τοπικές αντιστάσεις του επιδαπέδιου δικτύου οφείλονται κυρίως στους διακόπτες των θερμαντικών σωμάτων, στις ρυθμιστικές βαλβίδες του κάθε κυκλώματος και στις καμπύλες του υδραυλικού δικτύου. Τα ισοδύναμα μήκη των παραπάνω εξαρτημάτων σε m δίδονται στον πίνακα 7.20 του συγγράμματος «Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός](#)» σε συνάρτηση με τη διάμετρο και το υλικό των σωλήνων (χαλύβδινοι, χάλκινοι, πλαστικοί).

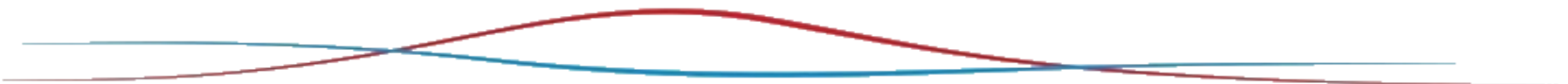
<i>Πίνακας 7.20: Ισοδύναμα μήκη τοπικών αντιστάσεων σε m για επιδαπέδιες σωληνώσεις μονοσωλήνιου συστήματος για χαλύβδινους, χάλκινους και πλαστικούς σωλήνες.</i>					
Είδος τοπικών αντιστάσεων	Χαλύβδινοι και χάλκινοι σωλήνες			Πλαστικοί σωλήνες	
	15 x 1mm	16 x 1mm	18 x 1mm	16 x 2mm	18 x 2mm
Διακόπτης θερμαντικού σώματος	5,0	7,0	9,0	3,0	5,0
Ρυθμιστικές βαλβίδες	7,0	9,0	11,0	3,0	5,0
Καμπύλες	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5





Βήματα υπολογισμών

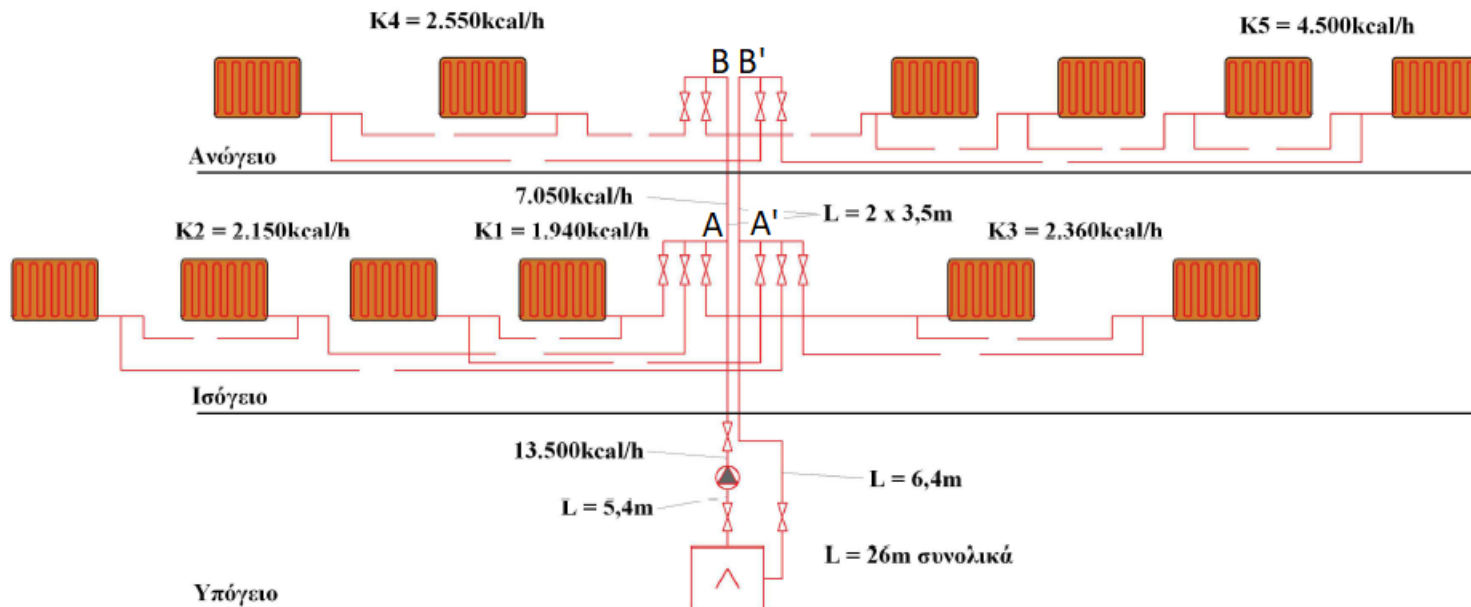
- Επιλογή του δυσμενέστερου βρόγχου θέρμανσης π.χ. σε πολυεπίπεδο κτίριο. Πρακτικά, ως δυσμενής βρόγχος επιλέγεται βρόγχος σε υψηλή στάθμη (ύψος), με τα πιο απομακρυσμένα θερμαντικά σώματα.
- Για τον δυσμενή βρόγχο εκτελούνται οι θερμικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση των θερμοκρασιακών πτώσεων και ημιπτώσεων, την επιλογή των κατάλληλων σωμάτων και την εκτίμηση της επιθυμητής παροχής νερού στα τμήματα του δικτύου.
- Εκτελούνται οι υδραυλικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση της πτώσης πίεσης της κατακόρυφης στήλης και του οριζόντιου επιδαπέδιου συστήματος. Προσδιορισμός προδιαγραφών απαιτούμενων σωληνώσεων.
- Εκτίμηση μανομετρικού ύψους κυκλοφορητή.
- Επανέλεγχος/ fine-tuning: Επαναυπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων για λοιπούς αντιπροσωπευτικούς βρόγχους θέρμανσης (σε άλλα επίπεδα) με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές σωλήνων και εξαρτημάτων που προέκυψαν από τον δυσμενέστερο βρόγχο και έλεγχος τήρησης περιορισμών μέγιστης παροχής νερού και πτώσης πίεσης του δικτύου.



Άσκηση – Εκφώνηση

Στο σχήμα 7.52 δίδεται το μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου σωληνώσεων μονοσωληνίου συστήματος κεντρικής θέρμανσης, στο οποίο δυσμενέστερος βρόγχος είναι ο K5 με τέσσερα σώματα. Δίδονται τα θερμικά φορτία των τεσσάρων σωμάτων, όπως υπολογίσθηκαν μετά τη μελέτη απωλειών του χώρου, οι θερμοκρασίες προσαγωγής – επιστροφής του νερού χωρίς απώλειες θερμότητας κατά τις διαδρομές στις κεντρικές σωληνώσεις και οι προρυθμίσεις για τους διακόπτες των τεσσάρων θερμαντικών σωμάτων. Πιο συγκεκριμένα:

- $Q_1 = 1.500\text{kcal/h}$, $Q_2 = 1.000\text{kcal/h}$, $Q_3 = 1.200\text{kcal/h}$, $Q_4 = 800\text{kcal/h}$
- $T_V = 90^\circ\text{C}$, $T_R = 75^\circ\text{C}$
- $\pi_1 = \pi_2 = \pi_3 = \pi_4 = 50\%$.

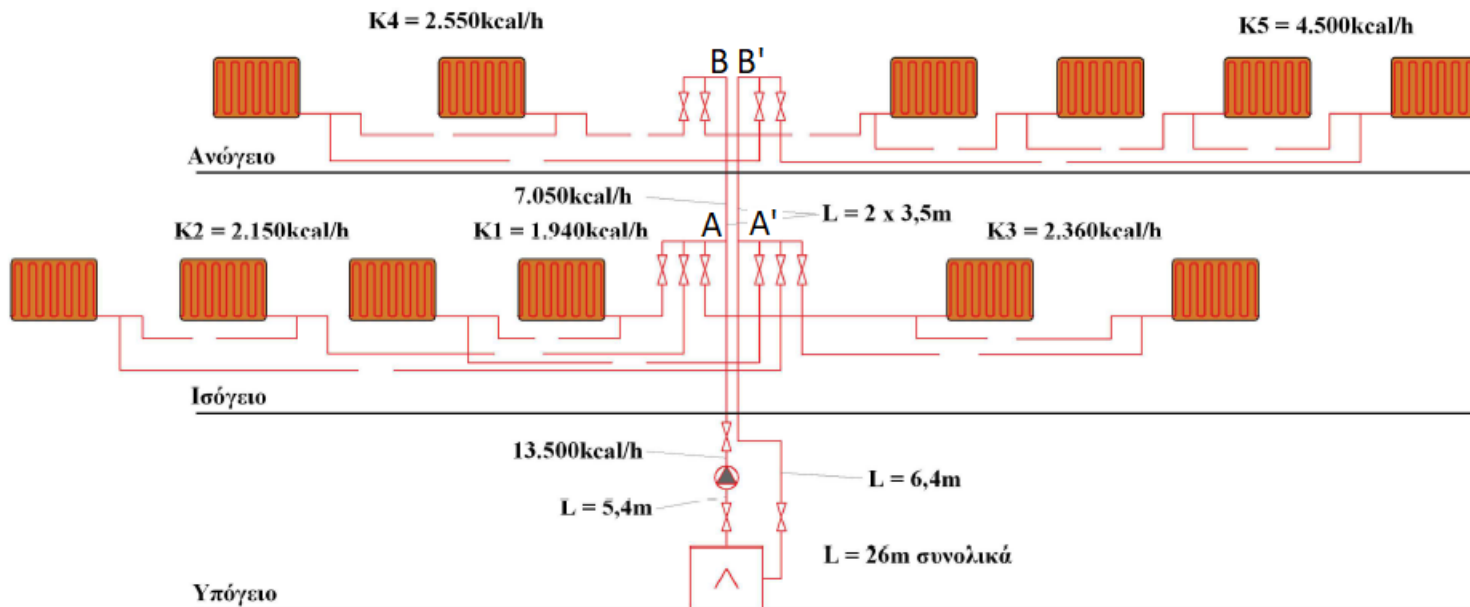


Σχήμα 7.52: Μονογραμμικό διάγραμμα Παραδείγματος 7.6.

Άσκηση - Εκφώνηση

Ζητούνται να υπολογιστούν:

- οι θερμοκρασιακές πτώσεις και οι θερμοκρασιακές ημιπτώσεις σε κάθε σώμα του βρόγχου,
- οι θερμοκρασίες εισαγωγής και επιστροφής σε κάθε σώμα του βρόγχου,
- η μέση ενεργός θερμοκρασία για τα τέσσερα σώματα,
- οι αντίστοιχοι συντελεστές αναγωγής για τη μέση ενεργό θερμοκρασία των 60°C ,
- οι διάμετροι των χάλκινων σωλήνων της κεντρικής στήλης,
- η διάμετρος του σωλήνα στον πλαστικό βρόγχο K5,
- το απαιτούμενο μανομετρικό ύψος του κυκλοφορητή.



Σχήμα 7.52: Μονογραμμικό διάγραμμα Παραδείγματος 7.6.



Άσκηση - Λύση

για το βρόγχο K5:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 1.500 + 1.000 + 1.200 + 800 = 4.500 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$\Delta T_N = T_v - T_R = 15^\circ \text{C}.$$

Η ολική παροχή του κυκλώματος επομένως θα είναι

$$G = \frac{Q_t}{(T_v - T_R)} = \frac{4.500}{15} = 300 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

και οι παροχές των σωμάτων με βάση την προ ρύθμιση 50% θα είναι:

$$G_1 = G_2 = G_3 = G_4 = 0,5 \cdot 300 = 150 \frac{\text{L}}{\text{h}}.$$

Ερώτημα α:

Οι θερμοκρασιακές πτώσεις στα σώματα θα είναι:

$$\Delta T_1 = \frac{Q_1}{G_1} = \frac{1.500}{150} = 10,00^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_2 = \frac{Q_2}{G_2} = \frac{1.000}{150} = 6,67^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_3 = \frac{Q_3}{G_3} = \frac{1.200}{150} = 8,00^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_4 = \frac{Q_4}{G_4} = \frac{800}{150} = 5,33^\circ \text{C}.$$

Οι θερμοκρασιακές ημιπτώσεις θα είναι:

$$\Delta_{r1} = \frac{\Delta T_1}{2} = 5,00^\circ \text{C}, \Delta_{r2} = \frac{\Delta T_2}{2} = 3,33^\circ \text{C}, \Delta_{r3} = \frac{\Delta T_3}{2} = 4,00^\circ \text{C}, \Delta_{r4} = \frac{\Delta T_4}{2} = 2,67^\circ \text{C}.$$

Ερώτημα β:

Οι θερμοκρασίες εισαγωγής στα σώματα θα είναι:

$$T_{v1} = T_v = 90^\circ \text{C}$$

$$T_{v2} = T_{v1} - \frac{Q_1}{G} = 90 - \frac{1.500}{300} = 90 - 5,00 = 85,00^\circ \text{C}$$

$$T_{v3} = T_{v2} - \frac{Q_2}{G} = 85,00 - \frac{1000}{300} = 85,00 - 3,33 = 81,67^\circ \text{C}$$

$$T_{v4} = T_{v3} - \frac{Q_3}{G} = 81,67 - \frac{1.200}{300} = 81,67 - 4,00 = 77,67^\circ \text{C}$$

ενώ οι θερμοκρασίες εξόδου από τα σώματα θα είναι:

$$T_{R1} = T_{v1} - \Delta T_1 = 90 - 10,00 = 80,00^\circ \text{C}$$

$$T_{R2} = T_{v2} - \Delta T_2 = 85,00 - 6,67 = 78,33^\circ \text{C}$$

$$T_{R3} = T_{v3} - \Delta T_3 = 81,67 - 8,00 = 73,67^\circ \text{C}$$

$$T_{R4} = T_{v4} - \Delta T_4 = 77,67 - 5,33 = 72,34^\circ \text{C}$$

Ερώτημα γ:

Οι μέσες ενεργές θερμοκρασίες θα είναι:

$$T_{m1} = T_{v1} - \Delta_{r1} - T_i = 90,00 - 5,00 - 20 = 65,00^\circ \text{C}$$

$$T_{m2} = T_{v2} - \Delta_{r2} - T_i = 85,00 - 3,33 - 20 = 61,67^\circ \text{C}$$

$$T_{m3} = T_{v3} - \Delta_{r3} - T_i = 81,67 - 4,00 - 20 = 57,67^\circ \text{C}$$

$$T_{m4} = T_{v4} - \Delta_{r4} - T_i = 77,67 - 2,67 - 20 = 55,00^\circ \text{C}$$



Άσκηση - Λύση

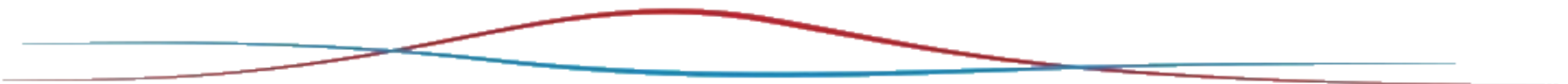
Ερώτημα δ:

$$k_1 = \left(\frac{60}{T_{m1}} \right)^{1,33} = \left(\frac{60}{65,00} \right)^{1,33} = 0,90 \Rightarrow Q_{60,1} = Q_1 * k_1 = 1350 \Rightarrow \text{AKAN II/905/16 (βλ. διάλεξη «Θερμαντικά σώματα»)}$$

$$k_2 = \left(\frac{60}{T_{m2}} \right)^{1,33} = \left(\frac{60}{61,67} \right)^{1,33} = 0,96 \Rightarrow Q_{60,2} = Q_2 * k_2 = 960 \Rightarrow \text{AKAN II/905/11}$$

$$k_3 = \left(\frac{60}{T_{m3}} \right)^{1,33} = \left(\frac{60}{57,67} \right)^{1,33} = 1,05 \Rightarrow Q_{60,3} = Q_3 * k_3 = 1260 \Rightarrow \text{AKAN II/905/15}$$

$$k_4 = \left(\frac{60}{T_{m4}} \right)^{1,33} = \left(\frac{60}{55,00} \right)^{1,33} = 1,12 \Rightarrow Q_{60,4} = Q_4 * k_4 = 896 \Rightarrow \text{AKAN II/905/11}$$





Άσκηση - Λύση

Ερώτημα ε:

Οι διάμετροι των χαλκοσωλήνων της κεντρικής στήλης υπολογίζονται με βάση τις αντίστοιχες παροχές και για ταχύτητα ροής $< 0,6\text{m/s}$, συμβουλευόμενοι τους πίνακες 7.13 και 7.14.

- Τμήμα ΛΑ και Α'Λ:

$$Q_{\Lambda\Lambda} = 13.500\text{kcal/h}$$

και παροχή νερού:

$$G_{\Lambda\Lambda} = \frac{Q_{\Lambda\Lambda}}{(T_v - T_R)} = \frac{13.500}{15} = 900 \frac{\text{L}}{\text{h}}.$$

Επιλέγεται διάμετρος $\Phi 28$ ($\Phi 1\frac{1}{4}$ ") και βρίσκουμε $R = 8,50\text{mmH}_2\text{O/m}$ και $u = 0,53\text{m/s}$.

- Τμήμα ΑΒ και Β'Α:

$$Q_{\Lambda\text{B}} = 7.050\text{kcal/h}$$

και παροχή νερού

$$G_{\Lambda\text{B}} = \frac{Q_{\Lambda\text{B}}}{(T_v - T_R)} = \frac{7.050}{15} = 470 \frac{\text{L}}{\text{h}}.$$

Επιλέγεται διάμετρος $\Phi 22$ ($\Phi 1$ ") και βρίσκουμε: $R = 9,8\text{mmH}_2\text{O/m}$ και $u = 0,48\text{m/s}$.

Ερώτημα στ:

Η διάμετρος του πλαστικού σωλήνα του βρόγχου Κ5 υπολογίζεται με βάση την αντίστοιχη παροχή και για ταχύτητα ροής $< 0,6\text{m/s}$, συμβουλευόμενοι τον πίνακα 7.19.

Για το βρόγχο Κ5 έχει υπολογιστεί παροχή νερού: $G_{\text{K5}} = 300\text{L/h}$.

Επιλέγεται πλαστικός σωλήνας (πολυαιθυλενίου) $\Phi 18 \times 2$ και βρίσκουμε $R = 28\text{mmH}_2\text{O/m}$ και $u = 0,56\text{m/s}$.



Άσκηση - Λύση

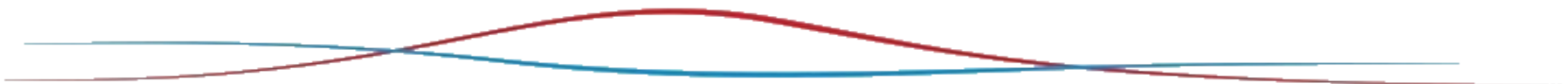
Ερώτημα (ζ) – Κατακόρυφη στήλη

Για τον υπολογισμό της συνολικής πτώσης πίεσης του δικτύου από το λέβητα έως και το δυσμενέστερο βρόγχο του δικτύου (K5) υπολογίζονται αρχικά τα ισοδύναμα μήκη των εξαρτημάτων κάθε τμήματος, χρησιμοποιώντας τους πίνακες 7.9 και 7.10 και κατόπιν τα ολικά μήκη $L_{ολ} = L_{πρ} + L_{ισοδ}$ και η πτώση πίεσης στο κάθε τμήμα.

- Τμήμα ΛΑ και Α'Λ – Φ1¼":
 - βάννες στο λέβητα: τεμάχια $3 \times 0,45 = 1,35\text{m}$
 - ταν διέλευσης στο λέβητα: τεμάχια $2 \times 2,1 = 4,2\text{m}$
 - καμπύλες 90° : $(2+4) \times 1,0 = 6,0\text{m}$
 - συνολικό ισοδύναμο μήκος εξαρτημάτων: $L_{ισοδ} = 1,35 + 4,2 + 6,0 = 11,55\text{m}$
 - μήκος προσαγωγής: $L_{πρ} = 5,4 + 6,4 = 11,8\text{m}$
 - συνολικό ισοδύναμο μήκος: $L_{ολ} = 11,8 + 11,55 = 23,35\text{m}$

Η αντίστοιχη πτώση πίεσης στο τμήμα είναι:

$$\Delta H_{\Lambda\Lambda} = R \cdot L_{ολ} = 8,5\text{mmH}_2\text{O/m} \cdot 23,35\text{m} = 198,48 \approx 199\text{mmH}_2\text{O}.$$





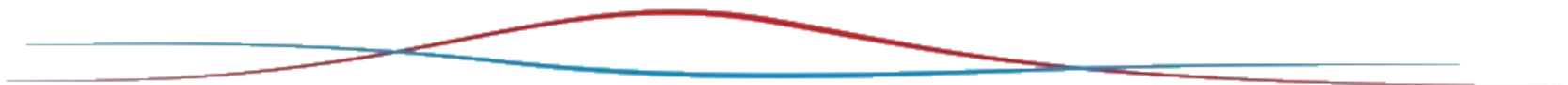
Άσκηση - Λύση

Ερώτημα (ζ) – Κατακόρυφη στήλη

- Τμήμα AB και B'A' – Φ1'':
 - των διακλάδωσης στους συλλέκτες: τεμάχια $2 \times 1,5 = 3,0\text{m}$
 - καμπύλες 90° στους συλλέκτες: τεμάχια $2 \times 0,78 = 1,56\text{m}$
 - συνολικό ισοδύναμο μήκος εξαρτημάτων: $L_{\text{ισοδ}} = 3,0 + 1,56 = 4,56\text{m}$
 - μήκος προσαγωγής: $L_{\text{πρ}} = 2 \times 3,5 = 7,0\text{m}$
 - συνολικό ισοδύναμο μήκος: $L_{\text{ολ}} = 7,0 + 4,56 = 11,56\text{m}$

Η αντίστοιχη πτώση πίεσης στο τμήμα είναι:

$$\Delta H_{AB} = R \cdot L_{\text{ολ}} = 9,8\text{mmH}_2\text{O/m} \cdot 11,56\text{m} = 113,3 \approx 113\text{mmH}_2\text{O}.$$





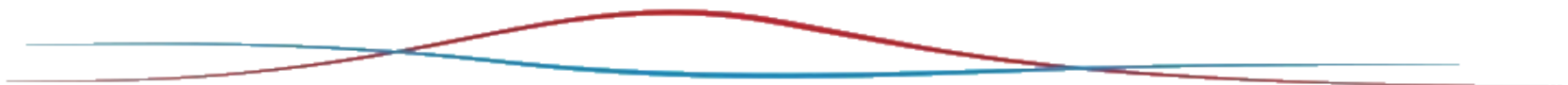
Άσκηση - Λύση

Ερώτημα (ζ) – Οριζόντιο επιδαπέδιο σύστημα

- Βρόγχος K5 – Φ18x2:
 - ρυθμιστικές βαλβίδες (βάνες) στους συλλέκτες: τεμάχια $2 \times 5 = 10\text{m}$
 - διακόπτες μονοσωληνίου: τεμάχια $4 \times 5 = 20\text{m}$
 - καμπύλες 90° στα σώματα: $(2 \times 4) \times 0,4 = 4\text{m}$
 - συνολικό ισοδύναμο μήκος εξαρτημάτων: $L_{\text{ισοδ}} = 10 + 20 + 4 = 34\text{m}$
 - μήκος προσαγωγής: $L_{\text{πρ}} = 26 \text{ m}$
 - συνολικό ισοδύναμο μήκος: $L_{\text{ολ}} = 26 + 34 = 60 \text{ m}$

Η αντίστοιχη πτώση πίεσης στο τμήμα είναι:

$$\Delta H_{K5} = R \cdot L_{\text{ολ}} = 28\text{mmH}_2\text{O/m} \cdot 60\text{m} = 1.680\text{mmH}_2\text{O}.$$





Άσκηση - Λύση

Ερώτημα (ζ) – Μανομετρικό ύψος Κυκλοφορητή

Τελικά, για τη συνολική πτώση πίεσης έχουμε:

$$H_K = \Delta H_{AA} + \Delta H_{AB} + \Delta H_{KS} = 199 + 113 + 1.680 = 1.992 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Συνήθως λαμβάνεται περιθώριο ασφαλείας 15% για το μανομετρικό του κυκλοφορητή, οπότε:
 $H_K = 1,15 \times 1.992 = 2.291 \text{ mmH}_2\text{O} \approx 2,3 \text{ mH}_2\text{O}.$

