

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ II

Αντώνιος Ασημακόπουλος
Κωνσταντίνος Διακουμάκος
Νικόλαος Σεκεριάδης

Γ' ΤΑΞΗ ΕΠΑ.Λ.

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ:
ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΨΥΞΗΣ
ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ



ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ II

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

- Ασημακόπουλος Αντώνιος, Τεχνολόγος Ηλεκτρολόγος, Επίτιμος Σχολικός Σύμβουλος Β/μιας Εκπ/σης
- Διακουμάκος Κωνσταντίνος, Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.
- Σεκεριάδης Νικόλαος, Τεχνολόγος Μηχανολόγος, Καθηγητής Β/μιας Εκπ/σης

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ

- Πάγκαλος Σταύρος, Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π. Καθηγητής Β/μιας Εκπ/σης

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

- Δαλαβάγκας Δημήτριος, Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος Μηχανικός
- Μπαρούτη Ζωή, Τεχνολόγος Μηχανολόγος, Καθηγήτρια Β/μιας Εκπ/σης
- Κρυσταλλίδης Ελευθέριος, Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

- Αστεριάδης Νικόλαος, Φιλολόγος

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Μαυρογόνατου Γεωργία

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ:

Σταμάτης Αλαχιώτης

*Καθηγητής Γενετικής Πανεπιστημίου Πατρών
Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου*

- Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου:

Γεώργιος Βούτσινος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

- Υπεύθυνος του Μηχανολογικού Τομέα

Δαφέρμος Ολύμπιος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

**ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ • ΔΙΑΚΟΥΜΑΚΟΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ
ΣΕΚΕΡΙΑΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ II

Γ' ΤΑΞΗ ΕΠΑ.Λ.

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

***Ειδικότητα: Τεχνικός Εγκαταστάσεων Ψύξης
Αερισμού και Κλιματισμού***

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο κλιματισμός είναι από τους ταχύτερα εξελισσόμενους κλάδους της σύγχρονης τεχνολογίας. Είναι κυριολεκτικά μία επιστήμη χωρίς τέλος. Όσα χρόνια και αν ασχολείται κανείς με τον κλιματισμό, δεν θα φτάσει ποτέ η στιγμή που θα αισθανθεί ότι είναι πλήρης, ότι τα γνωρίζει σχεδόν όλα.

Στο βιβλίο αυτό προσπαθήσαμε να συγκεντρώσουμε όλα όσα χρειάζονται στον επαγγελματία ψυκτικό που σκοπεύει να ασχοληθεί σοβαρά με την τεχνολογία του κλιματισμού και κάναμε ό,τι καλύτερο μπορούσαμε μέσα στο χρόνο που μας διατέθηκε.

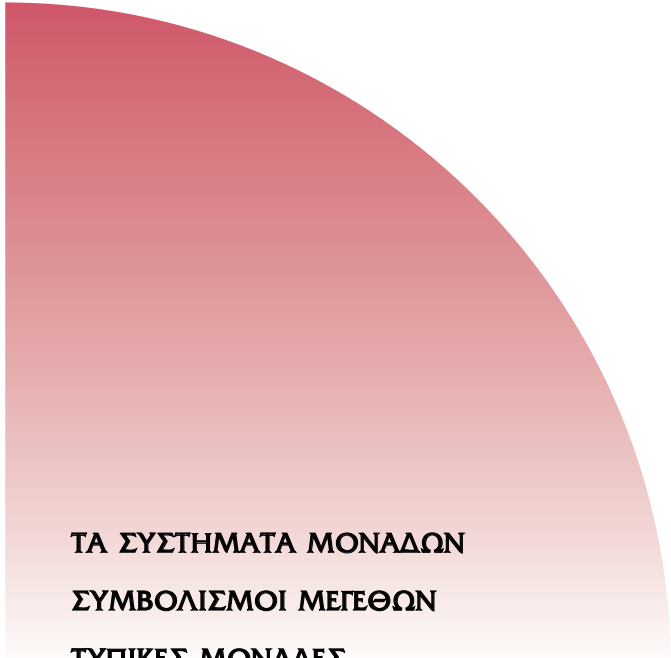
Τα τμήματα εκείνα της ύλης που δεν θεωρούμε απαραίτητο να διδαχτούν έχουν τυπωθεί με διαφορετικό τρόπο από την υπόλοιπη ύλη. Η διδασκαλία τους εναπόκειται στην κρίση του εκπαιδευτικού.

Συστάσεις ή παρατηρήσεις από συναδέλφους που διδάσκουν το αντικείμενο είναι ευπρόσδεκτες για τη μελλοντική βελτίωση του βιβλίου.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε και τις **θερμές μας ευχαριστίες** στις εταιρείες που μας προσέφεραν φωτογραφικό υλικό, σχήματα, τεχνικές οδηγίες κλπ. Ο πλήρης κατάλογος των εταιρειών αυτών φαίνεται στο τέλος του βιβλίου, μαζί με τη βιβλιογραφία.

Αντώνης Ασημακόπουλος
Κωνσταντίνος Διακουμάκος
Νίκος Σεκεριάδης

ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ



ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΜΕΤΕΘΩΝ
ΤΥΠΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ



- ✓ Να εξοικειωθούν οι μαθητές με το σύστημα μονάδων SI.
- ✓ Να μάθουν τη μετατροπή μονάδων από άλλα συστήματα στο σύστημα SI και αντιστρόφως.
- ✓ Να μάθουν να χρησιμοποιούν τους τυποποιημένους συμβολισμούς.
- ✓ Να μάθουν τι είναι η τυπική μονάδα και να προσπαθούν να εργάζονται με τις τυπικές μονάδες.
- ✓ Να γνωρίσουν τα σημεία που θα πρέπει να προσέχουν όταν χρησιμοποιούν μονάδες του συστήματος SI.

0-1. Το σύστημα μονάδων SI

Το τελειότερο σύστημα μονάδων είναι αυτό που χρησιμοποίησε ο Θεός όταν έφτιαχνε τον κόσμο. Μόνο που αυτό το σύστημα μπορεί να μην το μάθουμε ποτέ. Το σίγουρο πάντως είναι ότι η φύση δουλεύει με μονάδες.

Για να μπορέσουν οι τεχνικοί να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα μέτρησης επινόησαν κατά καιρούς διάφορα συστήματα μονάδων. Κανένα δεν είναι τέλειο, όλα έχουν τα υπέρ και τα κατά τους. Η τάση είναι να χρησιμοποιούμε το σύστημα μονάδων που το ονομάζουμε **SI** και το οποίο είναι το σύστημα που θα πρέπει να εφαρμόζεται και στη χώρα μας. Τα συστήματα μονάδων που είναι σήμερα σε χρήση ανά τον κόσμο βασικά είναι τα εξής δύο:

- Το διεθνές σύστημα που συμβολίζεται **SI** (**S**ystem **I**nternational), το οποίο χρησιμοποιεί ως μονάδα μήκους το μέτρο (m) και ως μονάδα μάζας το χιλιόγραμμα (kg).

- Το αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων που συμβολίζεται ως **I-P** (Inch-Pound) το οποίο χρησιμοποιεί ως μονάδα μήκους την ίντσα (συμβολισμός in ή ") και ως μονάδα μάζας το round (συμβολισμός lb). Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται κυρίως στην Αγγλία και τις ΗΠΑ, αλλά και σ' αυτές τις χώρες υπάρχει μία τάση στροφής προς το σύστημα SI.

Παλαιότερα υπήρχε σε χρήση και το λεγόμενο μετρικό σύστημα. Το σύστημα αυτό ήταν αρκετά όμοιο με το SI και η κυριότερη διαφορά του, σε ό,τι τουλάχιστον έχει σχέση με τον κλιματισμό, είναι πως χρησιμοποιούσε ως μονάδα θερμότητας το kcal. Αυτό είχε το πλεονέκτημα ότι η ειδική θερμότητα του νερού ήταν $c_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$, που διευκόλυνε σε ορισμένους υπολογισμούς. Π.χ. αν θέλαμε θερμική απόδοση 15000 kcal/h και η πτώση της θερμοκρασίας του νερού από όπου θα παίρναμε αυτή την ενέργεια ήταν 15°C , τότε μπορούσαμε να βρούμε εύκολα την απαιτούμενη παροχή νερού: $15000 / 15 = 1000 \text{ kg/h} \approx 1 \text{ m}^3/\text{h}$ νερό.

Αντίθετα στο σύστημα SI η μονάδα θερμότητας καθώς και κάθε άλλης μορφής ενέργειας είναι το kJ (κιλοτζάουλ). Το νερό στο σύστημα SI παρουσιάζει $c_p = 4,2 \text{ kJ/kgK}$. Προσέξτε ότι αντί για $^\circ\text{C}$, όταν προσδιορίζουμε μονάδες, στο σύστημα SI, χρησιμοποιούμε το K (βαθμός Κέλβιν), που ως μέγεθος είναι απόλυτα ίσο με τον $^\circ\text{C}$. Έτσι αν έχουμε πάλι παροχή νερού $1000 \text{ kg/h} \approx 1 \text{ m}^3/\text{h}$, με την ίδια θερμοκρασιακή πτώση 15°C , τότε στο σύστημα SI θα έχουμε θερμότητα $4,2 \times 1000 \times 15 = 63000 \text{ kJ/h} = 63000 \text{ kJ} / 3600 \text{ s} = 17,5 \text{ kW} = 17500 \text{ W}$. Το ποσό των 17500 W ισοδυναμεί ως ισχύς με το ποσό των 15000 kcal/h . Προφανώς:

$$15000 \text{ kcal/h} = 17500 \text{ W} \Rightarrow 1 \text{ kcal/h} \approx 1,17 \text{ W} \Rightarrow$$

$$1 \text{ W} = 0,86 \text{ kcal/h}$$

Σίγουρα πάντως, όταν δουλεύουμε με νερό, το μετρικό σύστημα έχει κάποια πλεονεκτήματα έναντι του SI. Αλλά στο σύστημα SI, στον κλιματισμό έχουμε ένα πολύ πιο μεγάλο πλεονέκτημα:

Η ειδική θερμότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στο σύστημα SI είναι
 $c_p = 1 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

Στον κλιματισμό δουλεύουμε κυρίως με τον αέρα. Η ευκολία που μας παρέχει η τιμή του c_p του αέρα στους υπολογισμούς είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα που παρουσιάζει αυτό το σύστημα και ένας πρόσθετος λόγος για να επιμένουμε να χρησιμοποιούμε το SI στον κλιματισμό.

0-2. Η μετατροπή μονάδων από άλλα συστήματα

Όπως είπαμε η τάση χρησιμοποίησης του SI υπάρχει ακόμη και στις χώρες που παραδοσιακά χρησιμοποιούν το I-P. Το μετρικό σύστημα έχει σχεδόν καταργηθεί. Όμως ο απόηχος από τη χρήση αυτών των συστημάτων υπάρχει ακόμη και σήμερα. Έτσι προς το παρόν και απ' ό,τι φαίνεται για αρκετό καιρό ακόμη, θα πρέπει ο τεχνικός να γνωρίζει να μετατρέπει ορισμένες βασικές μονάδες από το ένα σύστημα στο άλλο. Το πρόβλημα παρουσιάζεται κυρίως σε παλαιότερους τεχνικούς που έχουν μάθει να σκέπτονται σε κάποιο άλλο σύστημα μονάδων και που έχουν πλέον αδυναμία να προσαρμοστούν στη νέα τεχνολογία. Επίσης πολλά πράγματα έχει καθιερωθεί να τα μετράμε με μονάδες του συστήματος I-P, όπως η ισχύς στα αυτόνομα κλιματιστικά που δίδεται σε Btu/h, η παροχή του αέρα στα Fan Coil Units (FCU) που δίδεται σε cfm (κυβικά πόδια ανά λεπτό) κλπ.

Σε όλο το βιβλίο, θα δείτε συχνά να σας θυμίζουμε την αντιστοιχία μονάδων. Δυστυχώς είναι αναγκαίο κακό, αλλιώς θα συναντήσετε προβλήματα συνεννόησης. Οι βασικότερες σχέσεις μετατροπής που θα πρέπει να θυμάστε είναι οι εξής:

- Τα **kcal** γίνονται **kJ**, αν πολλαπλασιαστούν με το 4,2.
- Τα **Kg** γίνονται **lb**, αν πολλαπλασιαστούν με το 2,2.
- Τα **kcal/h** γίνονται **W**, αν διαιρεθούν με το 0,86 ($1000 \text{ W} = 860 \text{ Kcal/h}$), ή αν πολλαπλασιαστούν με το 1,17.
- Τα **Btu/h** γίνονται **W**, αν διαιρεθούν με το 3,41 (κατά προσέγγιση, για να το θυμάστε: $1000 \text{ W} \approx 3500 \text{ Btu/h}$) ή αν πολλαπλασιαστούν με το 0,3 ($9000 \text{ Btu/h} \approx 2700 \text{ W}$).
- Για να μετατρέψουμε τα **m³/h** σε **L/s**, τα διαιρούμε με 3,6. Στο σύστημα SI η παροχή συνήθως δίνεται σε λίτρα ανά s (L/s).
- Για να μετατρέψουμε τα **cfm** (κυβικά πόδια ανά λεπτό) σε **L/s**, τα διαιρούμε με 2,13 (κατά προσέγγιση, για να το θυμάστε: $1 \text{ L/s} = 2 \text{ cfm}$).

Τα cfm τα χρησιμοποιούμε στο I-P μόνο για παροχή αέρα, σε αντίθεση με το σύστημα SI που χρησιμοποιούμε γενικά το L/s, είτε πρόκειται για υγρό είτε για αέρα.

- Για να μετατρέψουμε τα **gpm** (γαλόνια ανά λεπτό) σε **L/s**, τα διαιρούμε με 0,063 ή τα πολλαπλασιάζουμε με 15,84 (κατά προσέγγιση, για να το θυμάστε: $16 \text{ L/s} \approx 1 \text{ gpm}$). Τα gpm τα χρησιμοποιούμε στο I-P μόνο για παροχή υγρών.
- Για να μετατρέψουμε τα **mm στήλης ύδατος** (mm Σ.Υ. ή mm W) σε **Pa**, πολλαπλασιάζουμε με 9,8 (≈ 10).
- Για να μετατρέψουμε τα **psi** σε **kPa**, τα πολλαπλασιάζουμε με 6,9 (≈ 7).
- Για να μετατρέψουμε τα **psi** σε **bar**, τα διαιρούμε με 14,5 (≈ 15).

Αν μπορείτε να θυμάστε τα παραπάνω, τότε είναι σίγουρο ότι ελάχιστα προβλήματα θα αντιμετωπίσετε στην πράξη (ή ακόμη και καθόλου προβλήματα), στη συνεργασία σας με συναδέλφους σας που χρησιμοποιούν ακόμη τα άλλα συστήματα μονάδων. Τις παραπάνω σχέσεις θα τις επαναλαμβάνουμε συχνά στο βιβλίο, με σκοπό να τις απομνημονεύσετε.

0-3. Οι τυπικές μονάδες

Στο σύστημα SI έχει καθιερωθεί να χρησιμοποιούμε για κάθε μέγεθος μία τυπική μονάδα. Π.χ. την παροχή, μπορούμε να την εκφράσουμε σε m^3/s ή σε L/s. Έχει καθιερωθεί όμως να χρησιμοποιούμε το L/s ($1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$), το οποίο είναι η τυπική μονάδα της παροχής.

Άλλη περίπτωση που μας ενδιαφέρει στον κλιματισμό είναι η ισχύς που μπορεί να μετρηθεί σε kW ή σε W. Η τυπική μονάδα είναι το kW όταν πρόκειται για ισχύ μηχανημάτων και το W όταν πρόκειται για θερμικά φορτία (θερμικές απώλειες) ή για ψυκτικά φορτία. Στον πίνακα (0-1) δίνουμε όλες τις τυπικές μονάδες που χρησιμοποιούνται.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Είναι λάθος όταν δεν χρησιμοποιούμε τυπικές μονάδες;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Όχι, απλώς είναι κάτι που δεν συνηθίζεται. Η χρήση των τυπικών μονάδων είναι σύσταση, όχι υποχρέωση. Λάθος, εφ' όσον έχετε επιλέξει να δουλεύετε στο σύστημα SI, είναι μόνο αν δεν χρησιμο-

ποιήσετε τις σωστές μονάδες του συστήματος SI, ή αν μπερδέψετε τις μονάδες του SI με μονάδες διαφορετικών συστημάτων. Εξάλλου, όπως θα δείτε και στο κεφάλαιο 4, στον υπολογισμό των αεραγωγών, την παροχή του αέρα συχνά τη δίνουμε σε m^3/s , επειδή στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτή η μονάδα μας διευκολύνει καλύτερα. Το τελικό αποτέλεσμα καλό είναι να το μετατρέπουμε πάντα στην τυπική μονάδα.

Οι τυπικές μονάδες είναι σαφές ότι δεν έχουν επιλεγεί τυχαία. Οι πράξεις που γίνονται μεταξύ τυπικών μονάδων στις περισσότερες περιπτώσεις δίνουν αποτέλεσμα επίσης σε τυπική μονάδα. Αυτό θα αρχίσουμε να το βλέπουμε από το κεφάλαιο 2 (ψυχομετρία). Έτσι ο τρόπος που κάναμε τις πράξεις σε άλλα συστήματα μονάδων, στα οποία γράφαμε δίπλα από τα νούμερα και τις μονάδες, δεν είναι πλέον απαραίτητος για να αποφύγουμε το λάθος. Γράφουμε απλά τις ποσότητες σε τυπικές μονάδες και το αποτέλεσμα είναι συνήθως σε τυπική μονάδα. Στις ελάχιστες περιπτώσεις που δεν προκύπτει σαν αποτέλεσμα η τυπική μονάδα, η μετατροπή είναι πολύ απλή, π.χ. είναι φανερό ότι χρειάζεται ένας πολλαπλασιασμός με το 1000.

0-4. Οι συμβολισμοί

Οι συμβολισμοί που κανονικά θα πρέπει να χρησιμοποιούμε είναι αυστηρά καθορισμένοι από το πρότυπο **ISO-31** και από το πρότυπο **ISO-7345** που συμπληρώνει ορισμένους συμβολισμούς στη θέρμανση.

Ας δούμε όμως με λίγα λόγια τι είναι τα πρότυπα. Τα πρότυπα είναι κανονισμοί που ισχύουν σε μία ή περισσότερες χώρες. Τα **ISO** είναι διεθνή πρότυπα που ισχύουν υποχρεωτικά και στην Ελλάδα. Πρότυπα υπάρχουν επίσης και άλλα, που ισχύουν στη χώρα μας, όπως είναι τα ευρωπαϊκά **EN** (που προφέρεται Euro Norma) και φυσικά τα ελληνικά **ΕΛΟΤ**. Όταν ένα θέμα υπάρχει σε ένα πρότυπο ΕΛΟΤ, αυτό υπερισχύει στη χώρα μας της αντίστοιχης EN μόνο αν είναι **μεταγενέστερο** της EN και οι EN κατά τον ίδιο τρόπο υπερισχύουν των ISO. Δεν επιτρέπεται όμως να συνταχθεί ένα Εθνικό πρότυπο που να έρχεται σε αντίθεση με την αντίστοιχη EN (μπορεί όμως να τη συμπληρώνει σε ότι αφορά τις ελληνικές συνθήκες) και ούτε μία EN μπορεί να έρχεται σε αντίθεση με το αντίστοιχο πρότυπο ISO.

Μόνο στις περιπτώσεις στις οποίες δεν υπάρχει κανένα πρότυπο που να καλύπτει το θέμα, το οποίο να είναι υποχρεωτικό για τη χώρα μας, μπο-

ρούμε να καταφύγουμε σε πρότυπα άλλων χωρών, π.χ. στα Γερμανικά (DIN) ή στα Αμερικάνικα πρότυπα (ANSI).

Ο κλιματισμός, δυστυχώς είναι ένα θέμα με το οποίο τα πρότυπα ISO και EN δεν έχουν ακόμη ασχοληθεί. Η τεχνική βασίζεται σε πρότυπα **ANSI** καθώς και πρότυπα αμερικάνικων οργανισμών, ιδίως της **ASHRAE** (**American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers**) και της **ARI** (**Air Conditioning & Refrigeration Institute**). Το οικοδόμημα συμπληρώνεται από πλήθος δημοσιεύσεων και τεχνικών οδηγιών, οι πλέον γνωστές των οποίων είναι στα εγχειρίδια της **ASHRAE**.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η χρήση των προτύπων ISO-31 και ISO-7345 για τους συμβολισμούς δεν ήταν δυνατό να γίνει. Επίσης υπάρχουν σύμβολα που χρειάζονται στον κλιματισμό τα οποία είναι αδιευκρίνιστα στα παραπάνω πρότυπα. Το ευτύχημα πάντως είναι ότι οι διαφορές μεταξύ των συμβολισμών κατά ISO και των προτεινόμενων από την ASHRAE είναι πολύ περιορισμένες.

Για τους παραπάνω λόγους, στο βιβλίο αυτό επελέγησαν να χρησιμοποιηθούν οι συμβολισμοί που προτείνονται από την ASHRAE, οι οποίοι είναι βάσει αμερικανικών προτύπων ANSI. Αν αργότερα τα πρότυπα ISO ή EN ή κάποιο εθνικό πρότυπο καλύψει με άλλο τρόπο το θέμα, τότε αυτό το βιβλίο θα πρέπει να υποστεί μία σειρά από διορθώσεις στους συμβολισμούς του, οι οποίες, ευτυχώς, λόγω των πολλών ομοιοτήτων μεταξύ των συμβολισμών κατά ASHRAE και κατά ISO, θα είναι πολύ λίγες.

Στον πίνακα (0-1) φαίνονται όλοι οι συμβολισμοί κατά ASHRAE, οι αντίστοιχοι κατά ISO (όπου υπάρχουν) καθώς και οι τυπικές μονάδες που ισχύουν για το κάθε σύμβολο.

0-5. Προσοχή στη διάκριση μεταξύ πεζών και κεφαλαίων γραμμάτων

Τόσο στους συμβολισμούς όσο και στις μονάδες έχει μεγάλη σημασία να γράφουμε με το σωστό πεζό ή κεφαλαίο γράμμα. Π.χ. W σημαίνει Watt και δεν επιτρέπεται να το γράψουμε με w (πεζό γράμμα). Με W επίσης συμβολίζουμε την ειδική υγρασία, αλλά με w συμβολίζουμε την παροχή μάζας.

Όταν μία μονάδα θέλουμε να τη δείξουμε πολλαπλασιασμένη επί 1000 φορές, χρησιμοποιούμε μόνο το k και ουδέποτε το K. Για να δείξουμε την ίδια μονάδα διαιρεμένη με το 1000 χρησιμοποιούμε το m και πολλαπλασιασμένη με το 1.000.000 το M (προφέρεται “μέγα”, π.χ. το MJ προφέρεται

μεγατζάουλ). Έτσι π.χ. για τη μονάδα J έχουμε τις εξής διαβαθμίσεις:

$$1 \text{ mJ} = 1/1000 \text{ J}$$

$$1 \text{ J}$$

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 1.000.000 \text{ J}$$

Αυτό που καμιά φορά μπορεί να προκαλέσει σύγχυση είναι το σύμβολο m που εκτός από υποδιαίρεση 1/1000, σημαίνει και μέτρο μήκους. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε την τελεία για διάκριση. Π.χ.

- m·J σημαίνει μέτρο x Joule, ενώ mJ σημαίνει 1/1000 του Joule
- m·K σημαίνει μέτρο x βαθμό Κέλβιν, ενώ mK σημαίνει 1/1000 του βαθμού Κέλβιν

0-6. Ο βαθμός Κελσίου (°C) και ο βαθμός Κέλβιν (K)

Στο σύστημα SI χρησιμοποιούνται και τα δύο σύμβολα. Οι °C γίνονται K αν προσθέσουμε το 273. Π.χ.

$$27 \text{ } ^\circ\text{C} = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$$

Με τους βαθμούς Κέλβιν δεν χρησιμοποιούμε το σύμβολο °, **είναι δηλαδή λάθος αν γράψουμε °K**. Όταν έχουμε °C, όπως βλέπουμε και στον πίνακα (0-1), χρησιμοποιούμε το σύμβολο t, δηλαδή γράφουμε $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Όταν έχουμε K χρησιμοποιούμε το σύμβολο T, π.χ. γράφουμε $T = 293 \text{ K}$.

Η διαφορά συμβολίζεται με το Δ. Για τη διαφορά θερμοκρασίας, είτε Δt γράψουμε είτε ΔT, είναι προφανώς αριθμητικά το ίδιο, επειδή η διαφορά θερμοκρασίας, είτε τη μετράμε σε °C είτε σε K δίνει το ίδιο αποτέλεσμα. Έχει όμως σημασία πώς θα δώσουμε τον πλήρη συμβολισμό. Όταν χρησιμοποιούμε Δt γράφουμε π.χ. $\Delta t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, ενώ όταν χρησιμοποιούμε ΔT γράφουμε $\Delta T = 20 \text{ K}$.

Για τη διευκόλυνση των μαθητών, στη λύση των ασκήσεων βιβλίου, χρησιμοποιούμε συνήθως το σύμβολο Δt (μονάδες σε °C).

Πίνακας 0-1: Συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται στη Θέρμανση και στον Κλιματισμό

Περιγραφή συμβόλου	Συμβολισμός κατά ISO	Συμβολισμός κατά ASHRAE	Τυπική μονάδα
Επιφάνεια	A	A	m ²
Ειδική θερμότητα	c _p	c _p	kJ/kg·K
Ενεργός Θερμοχωρητικότητα	C	-	kJ/K
Συντελεστής, γενικά	C	C	-
Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	U	U	W/m ² K
(Συντελεστής) θερμικής αγωγιμότητας	k	k	W/m·K
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	h	h	W/m ² K
Ειδική ενθαλπία	h	h	kJ/kg
Ενθαλπία	H	H	kJ
Μήκος	L ή l	L ή l	m
Διάκενο ή μικρό πάχος	δ	-	mm
Μάζα	m	m	kg
Αριθμός, γενικά	N ή n	N ή n	-
Πίεση	p	p	kPa
Ισχύς	P	P	kW
Θερμικό ή ψυκτικό φορτίο	Φ	q	W
Θερμότητα	Q	Q	kJ
Παροχή σε όγκο	q _v	Q	L/s
Παροχή σε μάζα	q _m	w	g/s
Θερμοκρασία σε °C	t	t	°C
Θερμοκρασία σε K	T	T	K
Ειδικός όγκος	v	v	m ³ /kg
Όγκος	V	V	m ³
Ταχύτητα	v	V	m/s
Βάρος	W	W	kg
Ειδική υγρασία	-	W	g/kg
Σχετική Υγρασία	-	φ	%
Διαφορά δύο μεγεθών	Δ	Δ	-
Χρόνος	t	θ	s
Βαθμός απόδοσης	η	η	%
Πυκνότητα	ρ	ρ	kg/m ³
Ακτίνα	R ή r	R ή r	m
Διάμετρος	D ή d	D ή d	m
Ενέργεια (γενικά)	E	E	kJ
Πυκνότητα μεταφερόμενης ενέργειας	φ		W/m ²



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα συστήματα μονάδων σε χρήση βασικά είναι δύο: το SI (Διεθνές) και το I-P (Αγγλοσαξονικό). Παλαιότερα ήταν σε χρήση και το μετρικό σύστημα που σήμερα τείνει να καταργηθεί.
- Θα πρέπει να μάθουμε πάντα να χρησιμοποιούμε το σύστημα μονάδων SI.
- Το σύστημα SI έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τον κλιματισμό: Ο αέρας παρουσιάζει $c_p = 1 \text{ kJ/kgK}$.
- Ο απόηχος από τη χρήση άλλων συστημάτων μας υποχρεώνει να γνωρίζουμε ορισμένες σχέσεις μετατροπής μονάδων. Οι βασικότερες από αυτές είναι:

Πίνακας 0-2: Οι πλέον συνήθεις μετατροπές μονάδων

Μετατρέπουμε	σε	πολλαπλασιάζοντας	ή διαιρώντας με
kcal	kJ	4,2	
kg	lb	2,2	
kcal/h	W	1,17	0,86
Btu/h	W	0,3	3,41 ($\approx 3,5$)
m ³ /h	L/s		3,6
cfm	L/s		2,13 (≈ 2)
gpm	L/s	15,84 (≈ 16)	
mm	Pa	9,8 (≈ 10)	
psi	kPa	6,9 (≈ 7)	
psi	bar	14,5 (≈ 15)	

- Για το κάθε μέγεθος υπάρχουν δύο πράγματα που είναι καθορισμένα: ένας συμβολισμός και μία τυπική μονάδα.
- Δεν είναι λάθος όταν δεν χρησιμοποιούμε τυπικές μονάδες. Με τη χρήση τους όμως έχουμε πλεονεκτήματα. Το τελικό αποτέλεσμα καλό είναι να το μετατρέπουμε στην τυπική μονάδα.

- Οι συμβολισμοί που ακολουθούμε καθορίζονται μέσα από πρότυπα.
- Έχει σημασία αν στους συμβολισμούς ή στις μονάδες χρησιμοποιήσουμε το πεζό ή το κεφαλαίο γράμμα. Επίσης πρέπει να προσέχουμε όταν χρησιμοποιούμε το m (μέτρο) επειδή μπορεί να σημαίνει και 1/1000 κάποιας άλλης μονάδας.
- Στο σύστημα SI χρησιμοποιούνται τόσο ο °C όσο και ο K με αντίστοιχα σύμβολα t και T.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι τα συστήματα μονάδων; Ποιο σύστημα μονάδων θα πρέπει να χρησιμοποιούμε;
2. Ποιο είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος SI για τον κλιματισμό;
3. Γιατί θα πρέπει να γνωρίζουμε ορισμένες βασικές μετατροπές από άλλα συστήματα μονάδων;
4. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα. Αν κάνετε μέχρι 2 λάθη είσατε ήδη πολύ καλοί.

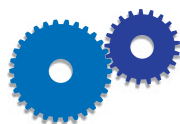
Πίνακας 0-3: Οι πλέον συνήθεις μετατροπές μονάδων

Μετατρέπουμε	σε	πολλαπλασιάζοντας	ή διαιρώντας με
kcal	kJ		
kg	lb		
kcal/h	W		
Btu/h	W		
m ³ /h	L/s		
cfm	L/s		
gpm	L/s		
mm	Pa		
psi	kPa		
psi	bar		

5. Τι είναι η τυπική μονάδα και γιατί μας συμφέρει να τη χρησιμοποιούμε;
6. Είναι λάθος όταν δεν χρησιμοποιούμε τις τυπικές μονάδες;
7. Γιατί θα πρέπει να χρησιμοποιούμε συγκεκριμένους συμβολισμούς για το κάθε μέγεθος; Πώς είναι καθορισμένα τα σύμβολα που θα χρησιμοποιούμε;
8. Γιατί πρέπει να χρησιμοποιούμε το σωστό γράμμα σε πεζό ή κεφαλαίο; Ποια διαφορά υπάρχει; Δώστε ένα παράδειγμα.
9. Πώς δείχνουμε ότι μία μονάδα είναι διαιρεμένη με το 1000 ή πολλαπλασιασμένη με το 1000 ή με το 1.000.000;
10. Γιατί πρέπει να προσέχουμε όταν χρησιμοποιούμε το σύμβολο m (μέτρο μήκους); Δώστε ένα παράδειγμα.
11. Ποια είναι η διαφορά °C και K; Τι διαφέρει στο συμβολισμό τους και στο συμβολισμό της θερμοκρασιακής διαφοράς;
12. Βγάλτε φωτοτυπίες τον πίνακα (0-4). Προσπαθήστε να τον συμπληρώσετε όσο μπορείτε καλύτερα. Κάντε και δεύτερη και τρίτη προσπάθεια. Αν στην τρίτη προσπάθεια έχετε κάνει μόνο 5 λάθη, τότε είσαστε πολύ καλοί.

Πίνακας 0-4: Εξάσκηση στους συμβολισμούς και τις μονάδες

Περιγραφή συμβόλου	Συμβολισμός κατά ISO	Συμβολισμός κατά ASHRAE	Τυπική μονάδα
Επιφάνεια			
Ειδική θερμότητα			
Ενεργός Θερμοχωρητικότητα			
Συντελεστής, γενικά			
Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας			
(Συντελεστής) θερμικής αγωγιμότητας			
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας			
Ειδική ενθαλπία			
Ενθαλπία			
Μήκος			
Διάκενο ή μικρό πάχος			
Μάζα			
Αριθμός, γενικά			
Πίεση			
Ισχύς			
Θερμικό ή ψυκτικό φορτίο			
Θερμότητα			
Παροχή σε όγκο			
Παροχή σε μάζα			
Θερμοκρασία σε °C			
Θερμοκρασία σε K			
Ειδικός όγκος			
Όγκος			
Ταχύτητα			
Βάρος			
Ειδική υγρασία			
Σχετική Υγρασία			
Διαφορά δύο μεγεθών			
Χρόνος			
Βαθμός απόδοσης			
Πυκνότητα			
Ακτίνα			
Διάμετρος			
Ενέργεια (γενικά)			
Πυκνότητα μεταφερόμενης ενέργειας			



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Μετατρέψτε τα παρακάτω:

- ↔ 750 kcal σε kJ
- ↔ 1450 kg σε lb
- ↔ 22500 kcal/h σε W
- ↔ 12000 Btu/h σε W
- ↔ 4200 m³/h σε L/s
- ↔ 800 cfm σε L/s
- ↔ 12 gpm σε L/s
- ↔ 26 psi σε bar

2. Μετατρέψτε τα παρακάτω:

- ↔ 4000 kJ σε kcal
- ↔ 8500 lb σε kg
- ↔ 3250 W σε kcal/h και σε Btu/h
- ↔ 2450 L/s σε m³/h, σε cfm και σε gpm
- ↔ 2 bar σε psi

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

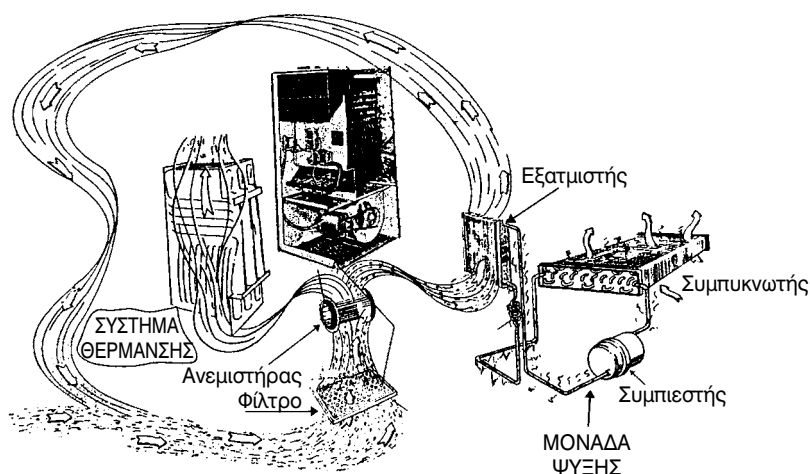
ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ



- ✓ Να εξοικειωθούν οι μαθητές με τους όρους κλιματισμός και κλιματιστική μονάδα.
- ✓ Να διδαχθούν τα στοιχεία του αέρα που πρέπει να ελέγχει ο κλιματισμός.
- ✓ Να γνωρίσουν την ιστορική εξέλιξη του κλιματισμού.
- ✓ Να ξαναθυμηθούν οι μαθητές τα είδη των κλιματιστικών μονάδων και εγκαταστάσεων (οικιακού, επαγγελματικού και βιομηχανικού τύπου) και την κατάταξή τους σε κατηγορίες.

1-1. Τι είναι ο κλιματισμός

Είναι γνωστό ότι ο σύγχρονος άνθρωπος περνάει ένα μεγάλο μέρος της ζωής του μέσα σε κλειστούς χώρους εργασίας, ψυχαγωγίας ή κατοικίας. Γι' αυτό, σ' αυτούς τους χώρους, θα πρέπει να εξασφαλίζονται υγιεινές συνθήκες διαβίωσης, να είναι ευχάριστοι και να παρέχουν άνεση. Ο κλιματισμός έχει σήμερα μεγάλες δυνατότητες προσφοράς στην άνεση και στην παραγωγικότητα του ανθρώπου λόγω της σύγχρονης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στις εφαρμογές αυτού του κλάδου. Ας δούμε όμως πώς μπορούμε να ορίσουμε τον κλιματισμό με απλά λόγια. Κλιματισμός είναι η διαδικασία με την οποία μπορούμε να επιτύχουμε και να διατηρήσουμε τεχνητές **συνθήκες υγιεινής και άνεσης σε έναν κλειστό χώρο**. Η διαδικασία κλιματισμού ενός χώρου κατοικίας ή εργασίας γίνεται με ειδικά μηχανήματα που τα λέμε **κλιματιστικά μηχανήματα ή μονάδες κλιματισμού**.



Σχήμα 1-1. Σχηματική παράσταση μονάδας κλιματισμού για θέρμανση και ψύξη.

Κάθε μονάδα κλιματισμού (μικρή ή μεγάλη) θα πρέπει να ελέγχει ταυτόχρονα τα ακόλουθα στοιχεία του αέρα:

- Τη θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου.
- Την υγρασία.
- Την καθαρότητα του αέρα.
- Την κίνηση του αέρα στο χώρο.

Μια κλιματιστική μονάδα ή εγκατάσταση θεωρείται επιτυχημένη μόνον όταν ικανοποιούνται όλοι οι παραπάνω όροι και **η στάθμη θορύβου** στην παροχή του αέρα είναι στα επιτρεπόμενα όρια που ορίζουν διεθνείς οργανισμοί και ιδιαίτερα η **Ευρωπαϊκή Ένωση**.

Η στάθμη θορύβου ή ηχοστάθμη μετριέται σε db (ντεσιμπέλ) και η επιτρεπόμενη τιμή της εξαρτάται από το είδος του κλιματιζόμενου χώρου (στούντιο ράδιο TV, μουσεία, εστιατόρια, εργοστάσια κλπ.).

1-2. Ιστορική εξέλιξη του κλιματισμού

Ο πρώτος άνθρωπος που επεχείρησε να κλιματίσει ένα χώρο ήταν ο **W. Carrier** το 1902. Η πρώτη κλιματιστική εγκατάσταση, που έγινε από τον Carrier, ήταν σε βιομηχανικό χώρο και συγκεκριμένα σε χαρτοβιομηχανία. Αργότερα ο Carrier βελτίωσε την εγκατάστασή του προσθέτοντας και σύστημα ύγρανσης του αέρα.

Η πρώτη σοβαρή προσπάθεια παραγωγής μηχανημάτων κλιματισμού για τον έλεγχο των συνθηκών ενός χώρου έγινε το 1930 και δέκα χρόνια αργότερα η παραγωγή μονάδων κλιματισμού κάνει πλέον την παρουσία της σε επίπεδο επιστημονικής οργάνωσης, έρευνας και εφαρμογής.



Σχήμα 1-2. Κεντρική μονάδα επεξεργασίας του αέρα, Ελληνικής κατασκευής.

Το 1911 ο **Carrier** και οι συνεργάτες του επινόησαν τη γραφική παράσταση των ψυχομετρικών στοιχείων του αέρα και δημιούργησαν τον πρώτο **ψυχομετρικό χάρτη**. Με τον ψυχομετρικό χάρτη του Carrier απλοποιήθηκε σημαντικά η λύση των πολύπλοκων προβλημάτων που παρουσίαζε ο κλιματιζόμενος αέρας. Στις μέρες μας, όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 2 αυτού του βιβλίου, η χρήση του ψυχομετρικού χάρτη στις μελέτες κλιματισμού και στην εξήγηση των φαινομένων που παρουσιάζονται στην επεξεργασία του αέρα έχει γενικευτεί.

Σήμερα όλοι σχεδόν οι επαγγελματικοί χώροι, αλλά και μεγάλος αριθμός κατοικιών, έχουν κλιματισμό για όλο το χρόνο (θέρμανση-ψύξη). Ο κλιματισμός πλέον και στην Ελλάδα δεν θεωρείται πολυτέλεια αλλά ανάγκη ή συμπλήρωμα στην άνεση που πρέπει να έχει ο σύγχρονος άνθρωπος στο σπίτι του ή στην εργασία του.

Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή (κατασκευή ή συναρμολόγηση) κλιματιστικών μονάδων και στην Ελλάδα αυξάνεται ραγδαία και η ποιότητα των παραγόμενων μονάδων είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα. Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας είναι να δημιουργούνται σοβαρές προϋποθέσεις και για εξαγωγές Ελληνικών κλιματιστικών μονάδων προς την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και προς γειτονικές μας χώρες, με ικανοποιητικά οφέλη για την εθνική μας οικονομία.

1-3. Κατάταξη των μονάδων κλιματισμού

Η κατάταξη των μονάδων κλιματισμού και των κλιματιστικών εγκαταστάσεων γενικότερα γίνεται με βάση το σκοπό που εξυπηρετούν, αλλά και με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Έτσι μπορούμε να χωρίσουμε τις κλιματιστικές μονάδες στις ακόλουθες κατηγορίες, με βάση:

- Το σκοπό που εξυπηρετούν
- Την εποχή κατά την οποία λειτουργούν
- Την έκταση των χώρων που εξυπηρετούν
- Τον τρόπο ή τη διαδικασία και το «μέσο» που χρησιμοποιείται για τον πλήρη κλιματισμό ενός χώρου

1-4. Κατάταξη των μονάδων ως προς το σκοπό

Όταν σχεδιάζεται και πραγματοποιείται μια εγκατάσταση κλιματισμού έχει κάποιες απαιτήσεις οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται. Έτσι, αναλόγως του σκοπού για τον οποίο γίνεται ο κλιματισμός ενός χώρου, οι εγκαταστάσεις κλιματισμού χωρίζονται

- Σε εγκαταστάσεις **άνεσης**
- Σε εγκαταστάσεις **επαγγελματικού ή βιομηχανικού τύπου**

Στην κατηγορία **άνεσης** εντάσσονται οι εγκαταστάσεις που στόχος τους είναι η άνετη και υγιεινή διαμονή του ανθρώπου σε ένα χώρο μη εργασιακό. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι ο κλιματισμός κατοικιών, βιβλιοθηκών, σχολικών αιθουσών κλπ.

Στις εγκαταστάσεις **επαγγελματικού τύπου** ο κλιματισμός στοχεύει στην άνετη παραμονή του πελάτη σε έναν επαγγελματικό χώρο για να αγοράσει προϊόντα που διαθέτει και να αυξηθούν έτσι τα κέρδη της επιχείρησης. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι ο κλιματισμός *super market*, εστιατορίων κλπ.

Ο **βιομηχανικός κλιματισμός** εξυπηρετεί την ποιότητα της παραγωγής και την παραγωγικότητα της επιχείρησης και όχι απαραίτητα την άνεση των εργαζομένων σ' αυτή. Βέβαια πολλές φορές ο βιομηχανικός κλιματισμός μπορεί να παρέχει άνεση και στους εργαζόμενους (π.χ. σ' ένα εμπορικό κέντρο, αλλά αυτό είναι εντελώς συμπτωματικό). Όμως στο χώρο συσκευασίας της σοκολάτας στις βιομηχανίες σοκολάτας απαιτείται κλιματισμός που εξασφαλίζει θερμοκρασία χώρου 17°C. Η θερμοκρασία αυτή είναι καλή για τη συσκευασία της σοκολάτας, αλλά δεν εξασφαλίζει και άνεση στους εργαζόμενους στο χώρο συσκευασίας (κρυώνουν). Τέτοιου είδους εγκαταστάσεις κλιματισμού συναντούμε συνήθως σε χαρτοποιίες, υφαντουργεία, εργοστάσια παραγωγής γλυκισμάτων κλπ.

1-5. Ως προς την εποχή

Ανάλογα με την εποχή που εξυπηρετεί μια εγκατάσταση κλιματισμού χαρακτηρίζεται ως:

- Εγκατάσταση **χειμερινού** κλιματισμού
- Εγκατάσταση **καλοκαιρινού** κλιματισμού
- Εγκατάσταση κλιματισμού **για όλο το χρόνο**

Οι εγκαταστάσεις χειμερινού κλιματισμού αναφέρονται βασικά στη θέρμανση ενός χώρου (κατοικίας ή επαγγελματικού χώρου) και στους τρόπους δημιουργίας άνεσης κατά το χειμώνα. Η θέρμανση ενός χώρου μπορεί να εξασφαλίζεται:

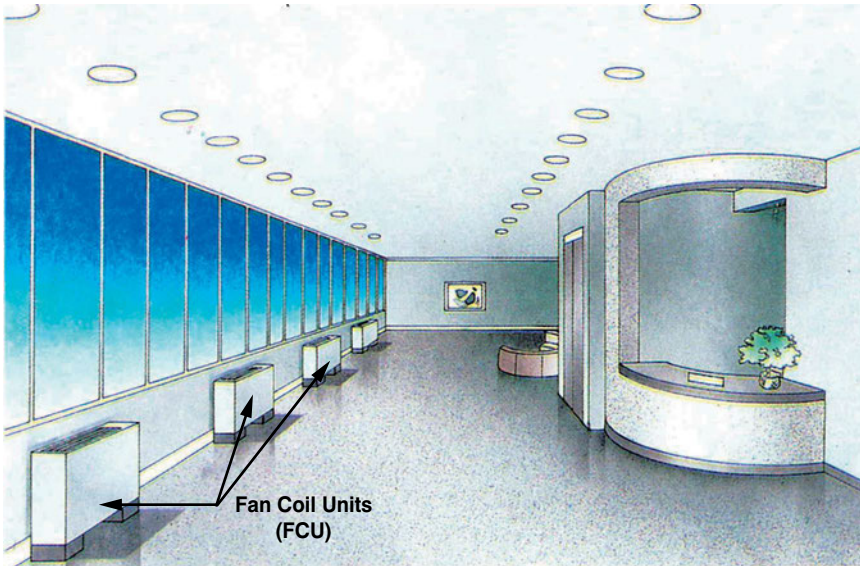
- **Από κλασσική εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης** (με ζεστό νερό).
- **Από κεντρική μονάδα** επεξεργασίας (θέρμανσης) αέρα και την προσαγωγή του στο χώρο με αεραγωγούς.
- **Από μικρές τοπικές κλιματιστικές μονάδες** Fan Coils (δαπέδου, τοίχου ή οροφής).
- **Από αντλίες θερμότητας** (heat pumps), δηλαδή με αντιστροφή του κύκλου λειτουργίας ψυκτικής μονάδας. Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας και οι εφαρμογές της θα αναπτυχθούν σε επόμενο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου.

Το μεγάλο πρόβλημα που παρουσιάζεται στις εγκαταστάσεις χειμερινού κλιματισμού είναι ο **έλεγχος της σχετικής υγρασίας** και η διατήρησή της στα επιθυμητά επίπεδα. Στα κεφάλαια αυτού του βιβλίου θα αναφερθούν οι τρόποι αντιμετώπισης της υγρασίας στους θερμαινόμενους χώρους.

Ο **θερινός κλιματισμός** στοχεύει στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Αντίθετα με το χειμερινό κλιματισμό (θέρμανση), στο θερινό κλιματισμό το πρόβλημα είναι η αφαίρεση της υπερβολικής ποσότητας υγρασίας που περιέχει ο κλιματιζόμενος αέρας, όταν ψύχεται στη θερμοκρασία που επιθυμούμε.

Όμως η ολοκληρωμένη μορφή της έννοιας του κλιματισμού δίνεται με την ικανοποίηση όλων των στόχων του, όπως αυτοί αναφέρθηκαν στην παράγραφο (1-1) αυτού του κεφαλαίου. Γι' αυτό, όταν μιλάμε για κλιματιστι-

κή εγκατάσταση μιας οικοδομής, θα εννοούμε πάντα **κλιματισμό για όλο το χρόνο** (χειμερινό - θερινό και εξαερισμό).



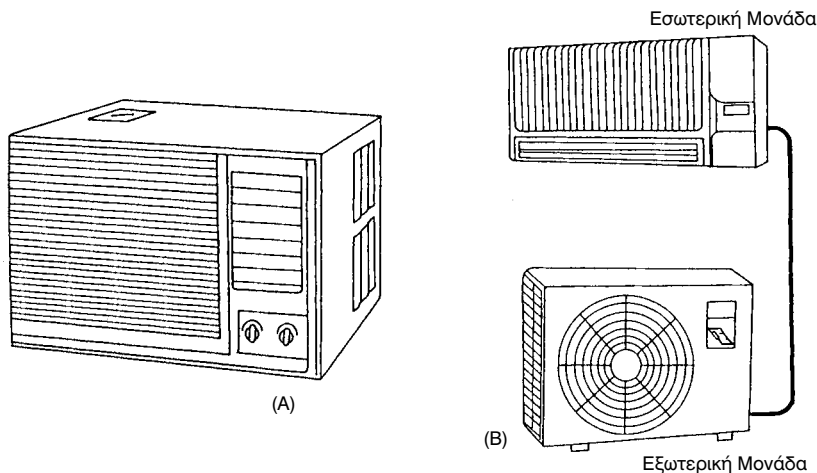
Σχήμα 1-3. Κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού με Fan-Coils δαπέδου.

1-6. Κατάταξη των μονάδων κλιματισμού ως προς την έκταση των χώρων που εξυπηρετούν

Οι κλιματιστικές μονάδες ή εγκαταστάσεις, ανάλογα με τους χώρους που εξυπηρετούν, κατατάσσονται:

- Σε μονάδες δωματίου (τοίχου ή διαιρούμενες)
- Σε ημικεντρικές μονάδες
- Σε κεντρικές μονάδες

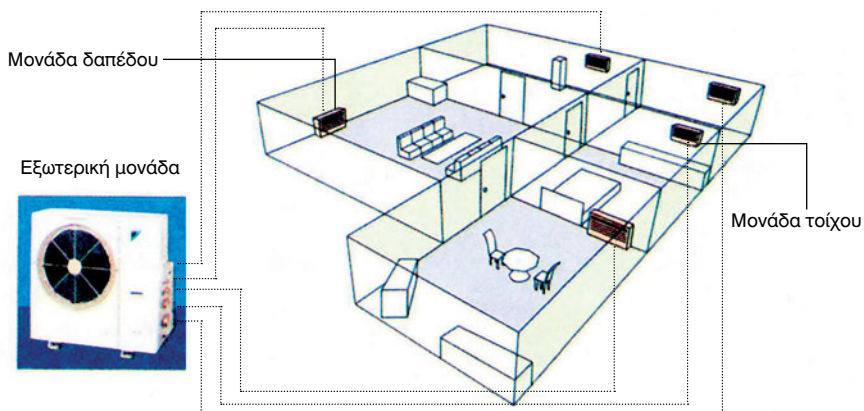
Οι κλιματιστικές μονάδες δωματίου είναι μονάδες μικρής ισχύος και εξυπηρετούν τις ανάγκες μόνο ενός συγκεκριμένου χώρου. Τέτοιες μονάδες κλιματισμού είναι οι **μονάδες τοίχου ή παραθύρου**, οι οποίες τοποθετούνται σε τρύπα που ανοίγεται σε εξωτερικό τοίχο ενός δωματίου, καθώς επίσης και οι **μονάδες διαιρούμενου τύπου (Split Type)**. Οι μονάδες τοίχου ή παραθύρου τείνουν να καταργηθούν λόγω των πολλών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν (έλλειψη καλαισθησίας, θόρυβος κλπ.)



Σχήμα 1-4. (Α) Κλιματιστική μονάδα δωματίου που τοποθετείται σε τρύπα που ανοίγεται σε τοίχο.
(Β) Μονάδα διαιρούμενου τύπου (Split type).

Αντίθετα, οι μονάδες δωματίου διαιρούμενου τύπου (Split) προτιμούνται γιατί παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των μονάδων τοίχου. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των διαιρούμενων μονάδων είναι:

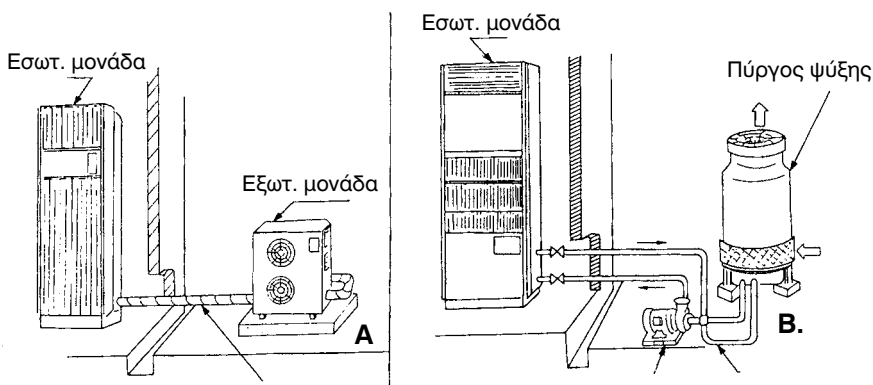
- Εύκολη και χωρίς ζημιές τοποθέτηση των μονάδων.
- Τοποθετούνται σε οποιοδήποτε σημείο του κλιματιζόμενου χώρου και όχι μόνο σε εξωτερικούς τοίχους.
- Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη μια και ο συμπιεστής και ο συμπυκνωτής, που προξενούν το θόρυβο, βρίσκονται έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο. Στην κατηγορία των διαιρούμενων μονάδων (Split) κατατάσσονται και οι πολυδιαιρούμενες (Multi unit), στις οποίες μια εξωτερική μονάδα (συμπιεστής - συμπυκνωτής) μπορεί να συνδεθεί με περισσότερες από δυο εσωτερικές μονάδες (μέχρι και πέντε), που λειτουργούν ανεξάρτητα.



Σχήμα 1-5. Πολυδιαρρούμενη (Multi) μονάδα κλιματισμού με μία εξωτερική και πέντε εσωτερικές μονάδες.

Οι διαιρούμενες μονάδες μπορούν να παρέχουν **μόνο ψύξη ή ψύξη και θέρμανση** (αντλίες θερμότητας) που είναι και ο συνηθέστερος τύπος που κυκλοφορεί στο εμπόριο.

Οι **ημικεντρικές μονάδες** κλιματισμού εξυπηρετούν κατά κανόνα περισσότερους από έναν χώρους (δωμάτια) ή μεγάλους ενιαίους χώρους. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι ένα διαμέρισμα ή ένας επαγγελματικός χώρος (π.χ. ένα εστιατόριο, σούπερ μάρκετ κλπ.) Οι ημικεντρικές μονάδες μπορεί να είναι **διαρρούμενου τύπου ή και αυτοτελείς (μονομπλόκ)**.



Σχήμα 1-6. (Α) Ημικεντρική μονάδα διαιρούμενου τύπου (Split Type) με αερόψυκτο συμπυκνωτή.
(Β) Ημικεντρική μονάδα διαιρούμενου τύπου με υδρόψυκτο συμπυκνωτή.

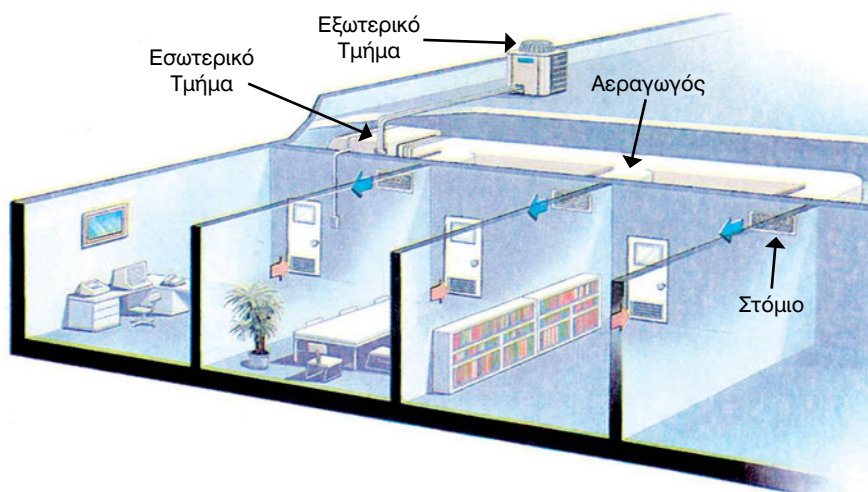
Οι ημικεντρικές μονάδες μπορεί να είναι **αερόψυκτες ή υδρόψυκτες**, ανάλογα με το μέσο ψύξης του συμπυκνωτή. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών, προτιμούνται οι αερόψυκτες μονάδες λόγω του μικρού κόστους αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησής τους.

Οι ημικεντρικές μονάδες διαιρούμενου τύπου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- Στις ημικεντρικές μονάδες στις οποίες **συνδέεται δίκτυο αεραγωγών** και
- Στις μονάδες οι οποίες προσάγουν τον κλιματισμένο αέρα απευθείας στο χώρο που κλιματίζουν (**τύπος «ντουλάπας»**).

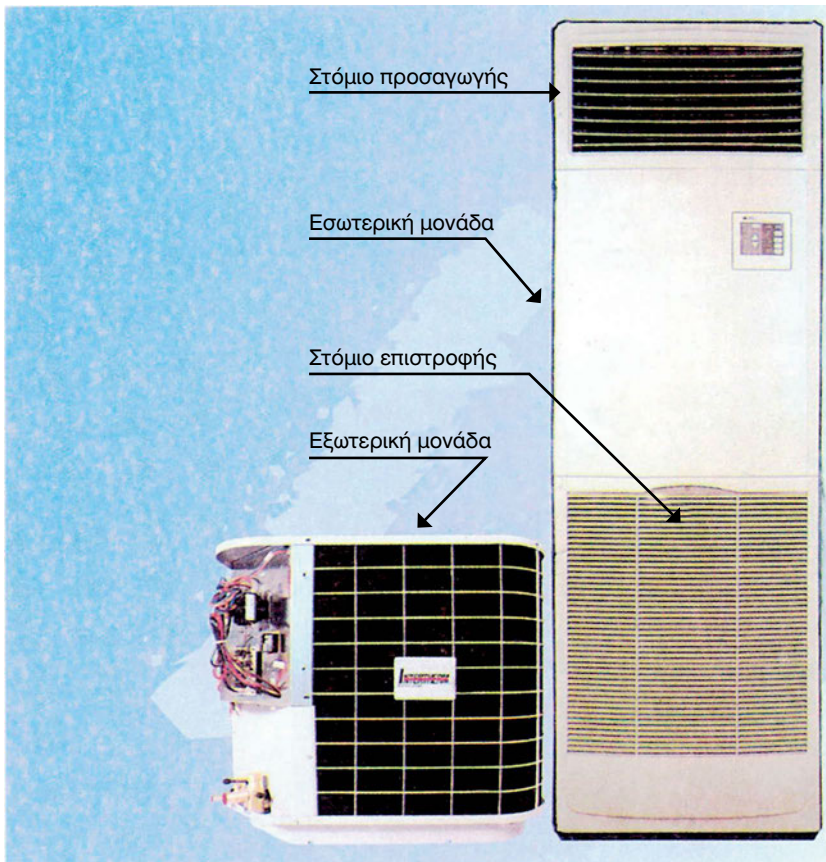
Στην πρώτη κατηγορία η κατανομή του αέρα στο χώρο γίνεται με μικρό δίκτυο αεραγωγών και στομίων προσαγωγής, μέσω των οποίων γίνεται ισοκατανομή του κλιματισμένου αέρα στους διάφορους χώρους.

Οι μονάδες **τύπου «ντουλάπας»** προσάγουν τον αέρα από ένα μόνο στόμιο προσαγωγής αέρα, που είναι τοποθετημένο στις μονάδες από το εργοστάσιο κατασκευής τους.



Σχήμα 1-7. Ημικεντρική μονάδα συνδεδεμένη σε δίκτυο αεραγωγών.

Στις **αυτοτελείς μονάδες κλιματισμού**, όλα τα τμήματα της μονάδας αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο και περικλείονται σε κοινή μεταλλοκατασκευή. Μια τέτοια μονάδα φαίνεται στο σχήμα (1-9). Η μονάδα αυτή τοποθετείται στην οροφή του κτιρίου που κλιματίζει, γι' αυτό και είναι γνωστή στους τεχνικούς του κλιματισμού ως μονάδα **τύπου οροφής (roof top)**.

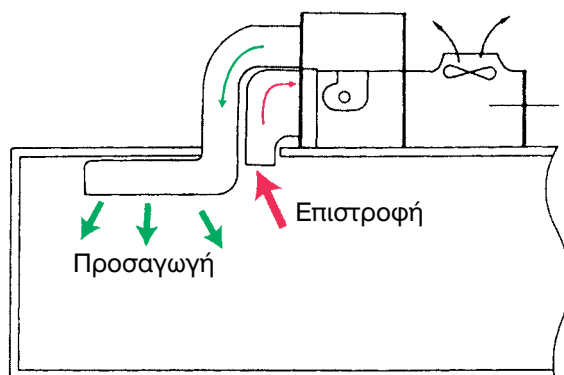


Σχήμα 1-8. Κλιματιστική μονάδα τύπου ντουλάπας.

Οι κεντρικές μονάδες κλιματισμού κλιματίζουν ολόκληρο το κτίριο στο οποίο είναι εγκατεστημένες και είναι κατά κανόνα μονάδες για όλο το χρόνο (ψύξη και θέρμανση).

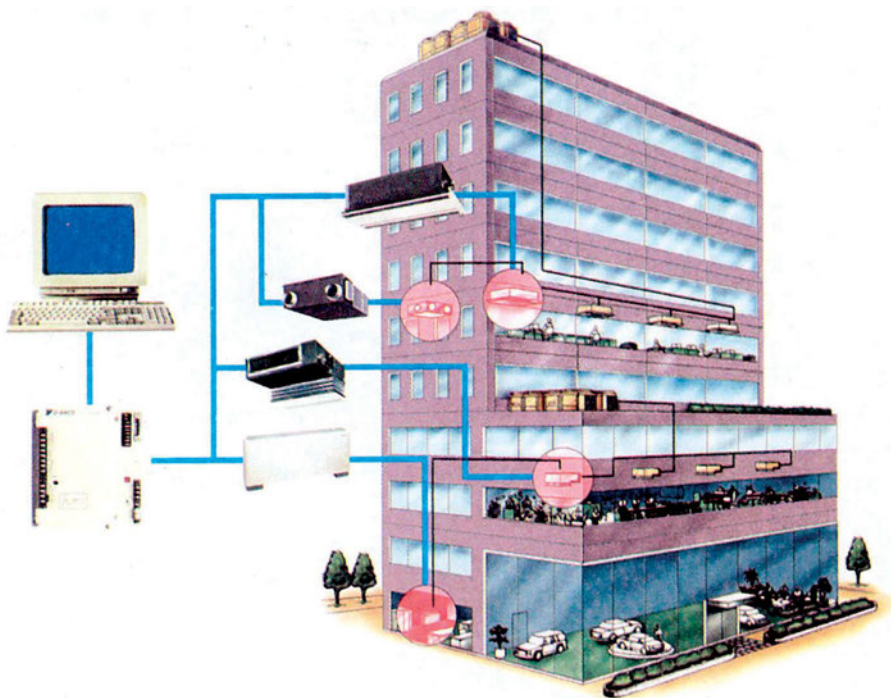
Οι κεντρικές μονάδες διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Στις μονάδες ή εγκαταστάσεις ψύξης - θέρμανσης με **ψύκτη** νερού και **κλασσικό λέβητα** ζεστού νερού ή ατμού και
- Στις μονάδες που δίνουν ψύξη - θέρμανση με **αναστροφή** του κύκλου λειτουργίας, γνωστές ως αντλίες θερμότητας (**Heat pumps**).



Σχήμα 1-9. Σχηματική παράσταση μονάδας τύπου οροφής (Roof top).

Τα τελευταία χρόνια σε μοντέρνα συγκροτήματα κτιρίων εφαρμόζεται σύστημα κεντρικού κλιματισμού, με τοπικό έλεγχο της ποσότητας του εξατμιζόμενου ψυκτικού ρευστού. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό στους τεχνικούς που ασχολούνται με τον κλιματισμό ως σύστημα μεταβαλλόμενου όγκου ψυκτικού ρευστού ή **VRV system (Variable Refrigerant Volume)**.



Σχήμα 1-10. Εγκατάσταση κεντρικού κλιματισμού με σύστημα VRV, που ελέγχεται από κεντρικό υπολογιστή.

Λεπτομερής περιγραφή της λειτουργίας, αλλά και των εφαρμογών κάθε είδους κλιματιστικής μονάδας και ειδικότερα των εγκαταστάσεων κεντρικού κλιματισμού, θα γίνει σε επόμενα κεφάλαια αυτού του βιβλίου.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Κλιματισμός είναι η διαδικασία με την οποία μπορούμε να πετύχουμε και να διατηρήσουμε τεχνητές συνθήκες υγιεινής και άνεσης σ' έναν κλειστό χώρο.
- Ο κλιματισμός γίνεται με ειδικά μηχανήματα που τα λέμε κλιματιστικά μηχανήματα ή κλιματιστικές μονάδες.
- Τα κύρια στοιχεία που ελέγχει ο κλιματισμός είναι η **θερμοκρασία**, η **σχετική υγρασία**, η **καθαρότητα** του αέρα και η **κίνηση** του αέρα στο χώρο.
- Πρώτος που ασχολήθηκε με τον κλιματισμό ήταν ο **Carrier**. Αυτός επινόησε και τον **ψυχομετρικό χάρτη**.
- Όταν στόχος μίας εγκατάστασης κλιματισμού είναι η άνεση, ονομάζεται κλιματισμός άνεσης, ενώ όταν στόχος είναι η ποιότητα της παραγωγής και η παραγωγικότητα της επιχείρησης, ονομάζεται βιομηχανικός κλιματισμός.
- Οι μονάδες κλιματισμού μπορεί να δίνουν μόνο ψύξη ή ψύξη και θέρμανση, οπότε τις ονομάζουμε αντλίες θερμότητας (heat pumps).

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Τι εννοούμε με τον όρο «κλιματισμός»;
2. Ποια στοιχεία του αέρα πρέπει να ελέγχει ο κλιματισμός;
3. Ποια η διαφορά μεταξύ κλιματισμού άνεσης και βιομηχανικού κλιματισμού;
4. Τι μειονεκτήματα παρουσιάζουν οι κλιματιστικές μονάδες τοίχου (ή παραθύρου);
5. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των διαιρούμενων μονάδων κλιματισμού (split units);
6. Αναφέρετε τρεις τουλάχιστον τύπους ημικεντρικών και κεντρικών μονάδων κλιματισμού.
7. Τι είναι οι αντλίες θερμότητας;

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

- ✓ Να εξοικειωθούν οι μαθητές με τις έννοιες και τους τεχνικούς όρους της ψυχομετρίας.
- ✓ Να γνωρίσουν τη δομή και τη σημασία του ψυχομετρικού χάρτη.
- ✓ Να γνωρίσουν τις ψυχομετρικές μεταβολές του αέρα στον κλιματισμό.
- ✓ Να μάθουν να αποτυπώνουν τις ψυχομετρικές μεταβολές του αέρα πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη.
- ✓ Να κάνουν, με τον ψυχομετρικό χάρτη, απλούς αλλά πρακτικούς υπολογισμούς.
- ✓ Να μπορούν να επιλέγουν τις κατάλληλες κλιματιστικές μονάδες, βάσει τεχνικής μελέτης που θα τους δοθεί.

2-1. Το Αντικείμενο της ψυχομετρίας

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται ως γνωστόν κατά 21% από οξυγόνο, 78% από άζωτο και 1% από άλλα αέρια. Επιπλέον στον ατμοσφαιρικό αέρα υπάρχουν διαλυμένοι υδρατμοί. Οι υδρατμοί είναι νερό το οποίο έχει εξατμιστεί και σε αέρια πλέον κατάσταση περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η δυνατότητα του αέρα να διαλύει υδρατμούς είναι πολύ μικρή, μόλις λίγα γραμμάρια στο κάθε κιλό αέρα και μειώνεται όσο πέφτει η θερμοκρασία.

Η περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς (υγρασία) αν και εκ πρώτης όψεως φαίνεται τελείως ασήμαντη, εντούτοις είναι η αιτία που προκαλεί διάφορα καιρικά φαινόμενα (ομίχλη, νέφωση, βροχή κλπ.). Συγχρόνως

αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διαμόρφωση συνθηκών άνεσης σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο.

Κλιματισμένος αέρας ονομάζεται γενικότερα ο αέρας που έχει υποστεί μία σειρά από τροποποιήσεις των βασικών χαρακτηριστικών του (θερμοκρασίας, υγρασίας, αφαίρεση σκόνης κλπ.) με σκοπό να περιέλθει στις επιθυμητές συνθήκες. Ποιες όμως τροποποιήσεις έχει υποστεί και για ποιο λόγο; Χρησιμοποιώντας μόνο τον όρο “κλιματισμένος αέρας” δεν τις ξέρουμε. Αν στην κεντρική θέρμανση πούμε θερμός αέρας έχουμε περιγράψει σχεδόν τα πάντα και ξέρουμε για τι αέρα περίπου μιλάμε. Αν όμως στον κλιματισμό πούμε απλά “κλιματισμένος αέρας”, δεν έχουμε περιγράψει και πολλά πράγματα, είμαστε σχεδόν στο σκοτάδι.

Όταν σε μία εγκατάσταση μας χρειάζεται να διευκρινίσουμε για το τι υπονοούμε πίσω από τον γενικό και ασαφή όρο “κλιματισμένος αέρας”, τότε αρχίζουμε να μπαίνουμε στο χώρο που ονομάζεται **Ψυχρομετρία**. Για να αποκτήσει δηλαδή ο όρος “κλιματισμένος αέρας” κάποιο σαφέστερο νόημα, θα πρέπει να πούμε λίγα πράγματα παραπάνω για τις ιδιότητές του, π.χ. τι θερμοκρασία έχει, ποια είναι η περιεκτικότητά του σε υγρασία κλπ. Στις περισσότερες εφαρμογές αρκεί να δώσουμε τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα. Αντί δηλαδή να πούμε απλά “κλιματισμένος αέρας”, λέμε: “αέρας θερμοκρασίας 22°C και σχετικής υγρασίας 50%”. Τότε έχουμε προδιαγράψει **σχεδόν τα πάντα**. Ο αέρας έχει και άλλα χαρακτηριστικά, τα οποία, βάσει αυτών των δύο (θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας) βρίσκονται εύκολα από πίνακες ή από ένα διάγραμμα που ονομάζεται **Ψυχρομετρικός Χάρτης**.

Παραπάνω χρησιμοποιήσαμε την έκφραση “σχεδόν τα πάντα”. Και αυτό επειδή με την ψυχρομετρία δεν προδιαγράφουμε τα πάντα σχετικά με τον κλιματισμένο αέρα. Συγκεκριμένα, δεν αναφερόμαστε καθόλου σε χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα του αέρα, η περιεκτικότητα του αέρα σε σκόνη (αφαιρείται με συνήθη φίλτρα), σε καπνό (αφαιρείται με ηλεκτροστατικά φίλτρα) και σε οσμές (αφαιρείται με φίλτρα ενεργού άνθρακα).

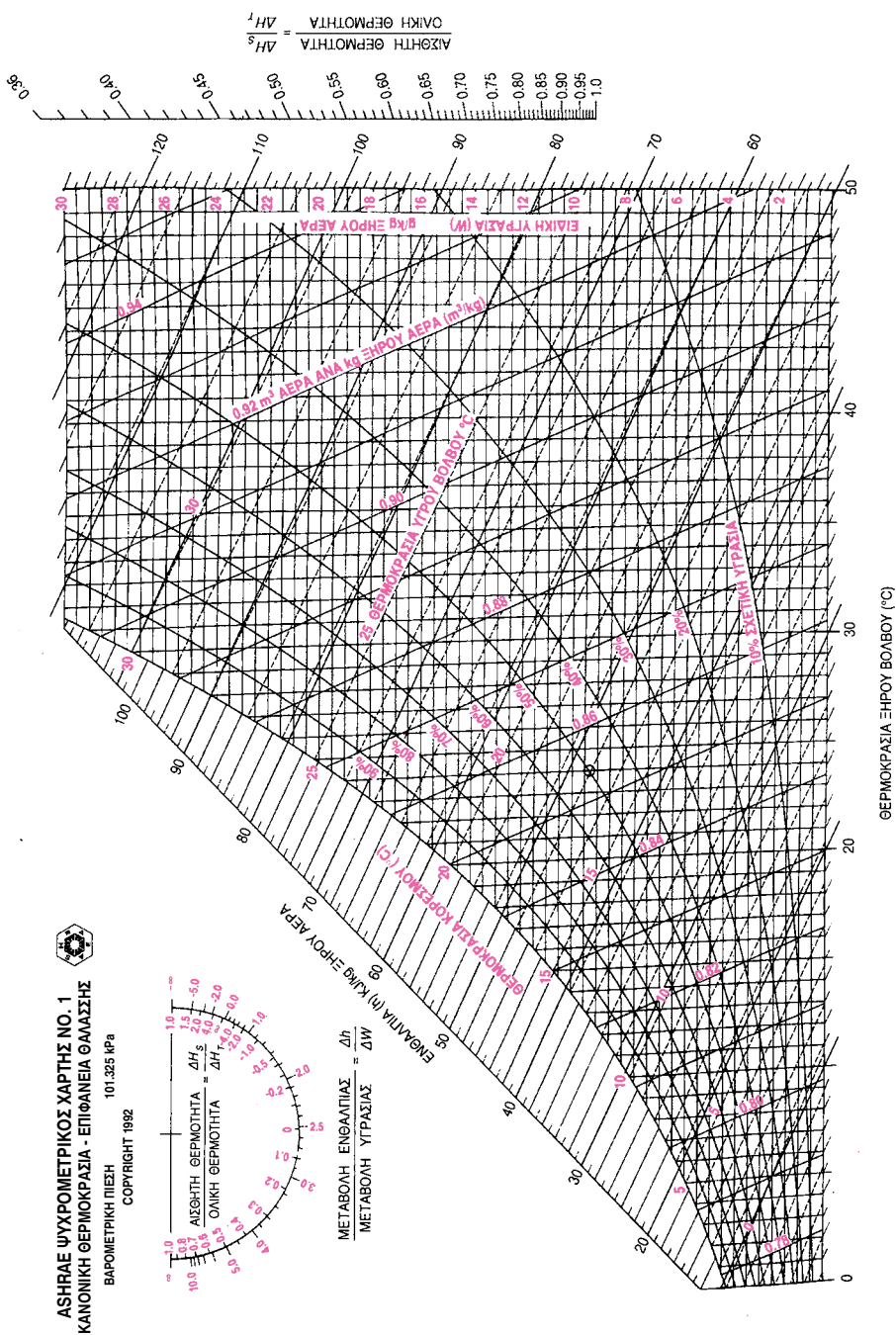
Με την ψυχρομετρία προσδιορίζουμε μόνο τα **Θερμοδυναμικά Χαρακτηριστικά** του αέρα, τα οποία συνηθίζεται να ονομάζονται και **Ψυχρομετρικά Χαρακτηριστικά**. Ο όρος αυτός συμπεριλαμβάνει μόνο τα χαρακτηριστικά που έχουν να κάνουν με τη **θερμοκρασία** και την **υγρασία** του αέρα.

2-2. Ο ψυχομετρικός χάρτης

Ο ψυχομετρικός χάρτης είναι μία επινόηση, που έγινε από τον Carrier, με την οποία τα ψυχομετρικά χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα παρουσιάζονται όλα μαζί πάνω σε μία σελίδα. Αλλά η σημασία του ψυχομετρικού χάρτη δεν περιορίζεται μόνο στο ότι μπορούμε να βρούμε πολύ εύκολα, πάνω σ' αυτόν, τα οποιαδήποτε χαρακτηριστικά του αέρα, τα οποία υπάρχουν και σε πίνακες, που είναι σχεδόν εξίσου εύχρηστοι. Εκείνο που έχει τη μεγαλύτερη σημασία είναι ότι με αυτόν γίνονται πολύ εύκολα όλοι οι θερμοδυναμικοί υπολογισμοί των μεταβολών του αέρα. Οι υπολογισμοί αυτοί, αν δεν είχε επινοηθεί ο ψυχομετρικός χάρτης, θα ήταν μεν δυνατόι, αλλά θα παρουσίαζαν πολύ μεγάλη δυσκολία στην εκτέλεσή τους.

Πάνω στον κάθε ψυχομετρικό χάρτη αναγράφεται πάντοτε το υψόμετρο για το οποίο έχει συνταχθεί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο ανεβαίνουμε στο ύψος, τόσο ο αέρας γίνεται αραιότερος. Το αποτέλεσμα είναι να μεταβάλλονται τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του αέρα. Αν χρησιμοποιήσετε π.χ. σε υψόμετρο 1500 m έναν ψυχομετρικό χάρτη που έχει συνταχθεί για υψόμετρο μηδέν, τότε θα έχετε λάθος αποτελέσματα. Ψυχομετρικοί χάρτες, μετά τον πρώτο που συνέταξε ο Carrier, έχουν συνταχθεί πολλοί ακόμη από διάφορες εταιρείες και οργανισμούς. Εδώ επιλέξαμε έναν από τους πλέον έγκυρους ψυχομετρικούς χάρτες που υπάρχουν, ο οποίος έχει συνταχθεί από την **ASHRAE** (**American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers**). Ο ψυχομετρικός αυτός χάρτης φέρει τον αριθμό «1» και αναφέρεται σε υψόμετρο μηδέν, δηλαδή στην επιφάνεια της θάλασσας. Καλύπτει την περιοχή θερμοκρασιών από 0 μέχρι 50 °C.

Η ASHRAE διαθέτει άλλους 6 ψυχομετρικούς χάρτες με αριθμούς από «2» μέχρι και «7». Από αυτούς οι πιο χρήσιμοι για τον κλιματισμό είναι ο 3 που καλύπτει την περιοχή από 10 μέχρι 120 °C και οι 5, 6, 7 που είναι για τα υψόμετρα 750 m, 1500 m, 2250 m, αντίστοιχα. Επίσης υπάρχουν ο 2 για τις χαμηλές θερμοκρασίες (-35 μέχρι +10 °C) και ο 4 για τις υψηλές θερμοκρασίες (100-200 °C). Αν τυχόν βρεθείτε, σαν επαγγελματίες πλέον, στην ανάγκη να χρησιμοποιήσετε τον ψυχομετρικό χάρτη σε μεγάλο υψόμετρο, θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε αυτόν που είναι πλησιέστερα στο υψόμετρο που βρίσκεστε. Στην πράξη, ο ψυχομετρικός χάρτης της ASHRAE με αριθμό «1» χρησιμοποιείται, με καλά αποτελέσματα, μέχρι και σε υψόμετρο 400 m. Γι' αυτό και καλύπτει ικανοποιητικά τις περισσότερες εφαρμογές.



Η σελίδα αυτή έχει αφεθεί λευκή για τις σημειώσεις του μαθητή.
Μη σημειώνετε πάνω στον ψυχρομετρικό χάρτη.

2-3. Τα θερμοδυναμικά (ψυχομετρικά) χαρακτηριστικά του αέρα

Αν και τα περισσότερα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του αέρα είναι ήδη γνωστά, θα τα επαναλάβουμε όλα, για να τα θυμηθούμε. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι συνολικά επτά, τα εξής:

- 1. Η θερμοκρασία.** Ονομάζεται επίσης θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου ή ξηρού βολβού και συμβολίζεται ως t_{db} . Ο δείκτης db προέρχεται από τον Αγγλικό όρο dry bulb που μεταφράζεται «ξηρός βολβός». Είναι η θερμοκρασία που δείχνει ένα κοινό θερμόμετρο, όταν εκτεθεί στον αέρα.
- 2. Η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου.** Συμβολίζεται ως t_{wb} . Ο δείκτης wb προέρχεται από τον Αγγλικό όρο wet bulb που μεταφράζεται «υγρός βολβός». Είναι η θερμοκρασία που θα δείξει ένα θερμόμετρο όταν ο βολβός του είναι εμβαπτισμένος σε νερό που υποβάλλεται σε έντονη εξάτμιση. Θα τη δούμε αυτή τη θερμοκρασία αν π.χ. τυλίξουμε το βολβό του θερμομέτρου με ένα υγρό κομμάτι ύφασμα και το βάλουμε στο ρεύμα αέρα που δημιουργείται από έναν ανεμιστήρα.
- 3. Ο ειδικός όγκος του αέρα.** Συμβολίζεται με το γράμμα v . Είναι το αντίθετο ακριβώς του ειδικού βάρους. Μετριέται σε m^3/kg . Εκφράζει πόσα κυβικά μέτρα καταλαμβάνει το 1 kg αέρα σε ορισμένη θερμοκρασία και υψόμετρο. Έτσι π.χ. αν έχουμε 100 kg αέρα, με $v = 0,90$, τότε αυτά έχουν όγκο $90 m^3$.
- 4. Η ειδική ενθαλπία.** Συμβολίζεται με το γράμμα h . Είναι το ποσό θερμότητας που περιέχεται σε 1 Kg αέρα. Μετριέται σε kJ/kg . Για συντομία θα την αποκαλούμε απλά **ενθαλπία**. Όπου στη συνέχεια αυτού του κειμένου συναντάμε τον όρο **ενθαλπία**, θα εννοούμε την **ειδική ενθαλπία**.
- 5. Η ειδική υγρασία.** Συμβολίζεται με το γράμμα W . Είναι τα γραμμάρια νερού ανά kg ξηρού αέρα, δηλαδή σε g/Kg .
ΔΙΕΥΚΡΙΝΗΣΗ: Η ειδική υγρασία είναι στην πραγματικότητα ένα αδιάστατο μέγεθος, επειδή διαιρούμε μάζα (g) με μάζα ($kg = 1000 g$). Δηλαδή όταν λέμε $1 g/Kg = 1 g/(1000 g) = 0,001$. Με την τελευταία μορφή χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στους υπολογισμούς, όπως θα δούμε στα παραδείγματα.
- 6. Η σχετική υγρασία.** Δεν έχει μονάδες μέτρησης και συμβολίζεται με το Ελληνικό γράμμα ϕ . Θα τη συναντήσετε και με το συμβολισμό RH ή rh

(Relative Humidity). Εκφράζει το ποσοστό που ο αέρας είναι κορεσμένος με υδρατμούς.

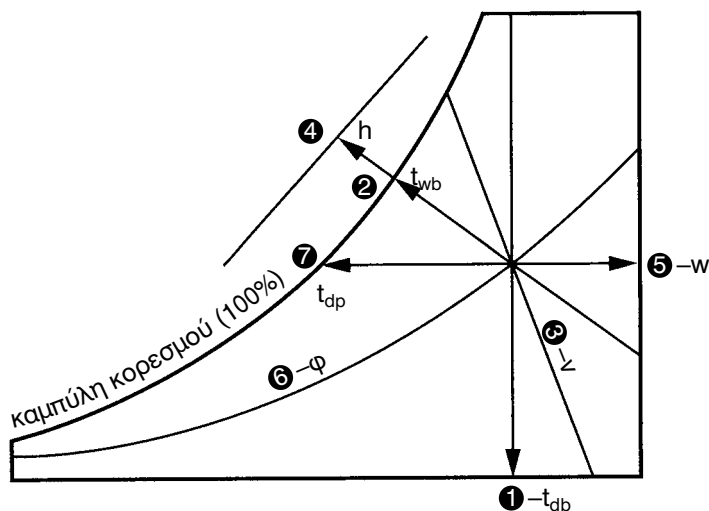
- Παράδειγμα ορισμού του ϕ : ο αέρας σε θερμοκρασία $t_{db} = 25^\circ\text{C}$ είναι σε θέση να διαλύσει πλήρως υγρασία μέχρι 20 γραμμάρια ανά kg (20 g/kg). Αν έχει διαλύσει τη μισή ποσότητα, δηλαδή τα 10 g/Kg τότε λέμε ότι έχει σχετική υγρασία $\phi = 50\%$. Αν έχει διαλύσει 8 g/Kg, τότε έχουμε $(8/20) \times 100 = 40$, οπότε $\phi = 40\%$.
 - Μόνο σε πολύ μεγάλα ύψη ή σε τροπικές περιοχές, καμιά φορά μπορεί να παρουσιαστεί $t_{db} \approx t_{wb}$. Δηλαδή σε μία τέτοια περίπτωση, όταν $t_{db} = 25^\circ\text{C}$, θα είναι $t_{wb} \approx 25^\circ\text{C}$ και $\phi \approx 100\%$.
 - Υπάρχει πολύ στενός δεσμός μεταξύ ϕ και t_{wb} . Για μία συγκεκριμένη τιμή του t_{db} , όσο μειώνεται το ϕ , τόσο μειώνεται και το t_{wb} και αντιστρόφως. Αν π.χ. έχουμε $t_{db} = 25^\circ\text{C}$, τότε για $\phi = 50\%$ προκύπτει $t_{wb} = 18,1^\circ\text{C}$, ενώ για $\phi = 40\%$ το $t_{wb} = 16,2^\circ\text{C}$. Τα στοιχεία θα τα βρίσκουμε πολύ εύκολα, όπως θα δούμε, από τον ψυχομετρικό χάρτη.
7. Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου, ή απλά, για συντομία, σημείο δρόσου. Συμβολίζεται ως t_{dp} και μετριέται σε $^\circ\text{C}$. Ο δείκτης dp προέρχεται από τον Αγγλικό όρο dew point που σημαίνει «σημείο δρόσου». Είναι η θερμοκρασία του αέρα στην οποία αρχίζει η υγροποίηση των υδρατμών που περιέχει. Η σχετική υγρασία στο σημείο δρόσου είναι πάντοτε 100%.
- Το t_{dp} εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από την ποσότητα υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Π.χ. αν έχουμε υγρασία $W = 15 \text{ g/Kg}$ (δηλαδή 15 g υδρατμών στο κάθε Kg αέρα), τότε το t_{dp} του αέρα θα είναι $20,2^\circ\text{C}$, ανεξάρτητα από τα άλλα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά (t_{db} , t_{wb} , ϕ).
 - Για να καταλάβουμε τι σημαίνει στην πράξη ο όρος “σημείο δρόσου”, ας θυμηθούμε το καλοκαίρι όταν ρίχνουμε κρύο νερό σ’ ένα ποτήρι. Στην επιφάνεια του ποτηριού θα δημιουργηθούν δροσοσταλίδες, δηλαδή υγροποίηση υδρατμών. Για να συμβεί αυτό πρέπει το ποτήρι να έχει θερμοκρασία μικρότερη ή το πολύ ίση με τη t_{dp} . Δηλαδή η t_{dp} είναι η μεγαλύτερη δυνατή τιμή της θερμοκρασίας που μπορεί να έχει ένα σώμα, για να υγροποιούνται οι υδρατμοί στην επιφάνειά του.

2-4. Η αποτύπωση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του αέρα πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη

Στο σχήμα (2-1) βλέπουμε απλοποιημένες όλες τις γραμμές που υπάρχουν στον ψυχομετρικό χάρτη. Χρησιμοποιήθηκαν οι αριθμοί που αναφέρθηκαν προηγουμένως κατά την απαρίθμηση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών. Συνοπτικά έχουμε:

Πίνακας 2-1: Συμβολισμοί και Μονάδες

Γραμμή	Περιγραφή	Συμβολισμός	Μονάδες
1	Θερμοκρασία ξηρού βολβού	t_{db}	$^{\circ}\text{C}$
2	Θερμοκρασία υγρού βολβού	t_{wb}	$^{\circ}\text{C}$
3	Ειδικός όγκος	v	m^3/kg
4	Ενθαλπία	h	kJ/kg
5	Ειδική υγρασία	W	g/Kg
6	Σχετική υγρασία	ϕ	%
7	Σημείο δρόσου	t_{dp}	$^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 2-1: Οι γραμμές πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη.

Επίσης, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (2-1), η καμπύλη με $\phi = 100\%$, έχει επιπλέον και την ονομασία **καμπύλη κορεσμού**. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία που διαβάζουμε πάνω σ' αυτήν ονομάζεται **θερμοκρασία κορεσμού**. Είναι η μοναδική καμπύλη του ψυχομετρικού χάρτη που έχει μία ιδιαίτερη ονομασία. Πάνω σ' αυτή βρίσκονται τα **σημεία δρόσου** του αέρα.



ΣΥΜΒΟΥΛΗ

Μη γράφετε ποτέ πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη που περιέχεται στο βιβλίο. Προτιμήστε να τον βγάλετε φωτοτυπία, σε μέγεθος A3 για να δουλεύετε άνετα και να τον πλαστικοποιήσετε. Προμηθευτείτε το ειδικό στυλό με το οποίο γράφετε πάνω σε πλαστικοποιημένες επιφάνειες. Επίσης, όταν δουλεύετε στον ψυχομετρικό χάρτη, σας είναι απαραίτητο ένα ειδικό τρίγωνο ή χάρακας, για να χαράσσετε παράλληλες γραμμές.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Συχνά στην πράξη θα συναντήσετε τα ψυχομετρικά χαρακτηριστικά με τους αντίστοιχους αγγλικούς τεχνικούς όρους ή την αγγλική συντομογραφία τους. Γι' αυτό, καλό είναι να γνωρίζετε την αντιστοιχία των τεχνικών όρων και τις αγγλικές συντομογραφίες που έχουν ως εξής:

Ελληνικός Τεχνικός όρος	Αγγλικός Τεχνικός όρος	Συντομογραφία
Θερμοκρασία ξηρού βολβού	Dry bulb temperature	DBT
Θερμοκρασία υγρού βολβού	Wet bulb temperature	WBT
Ειδικός όγκος	Specific volume	-
Ενθαλπία	Enthalpy	-
Ειδική υγρασία	Humidity ratio	-
Σχετική υγρασία	Relative humidity	RH
Σημείο δρόσου	Dew point temperature	DPT
Καμπύλη κορεσμού	Saturation curve	-

2-5. Εξάσκηση πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη

Ας προσπαθήσουμε, βάσει του σχήματος (2-1) και του ψυχομετρικού χάρτη, να βρούμε τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του σημείου $t_{db} = 27^\circ\text{C}$ και $\phi = 50\%$.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

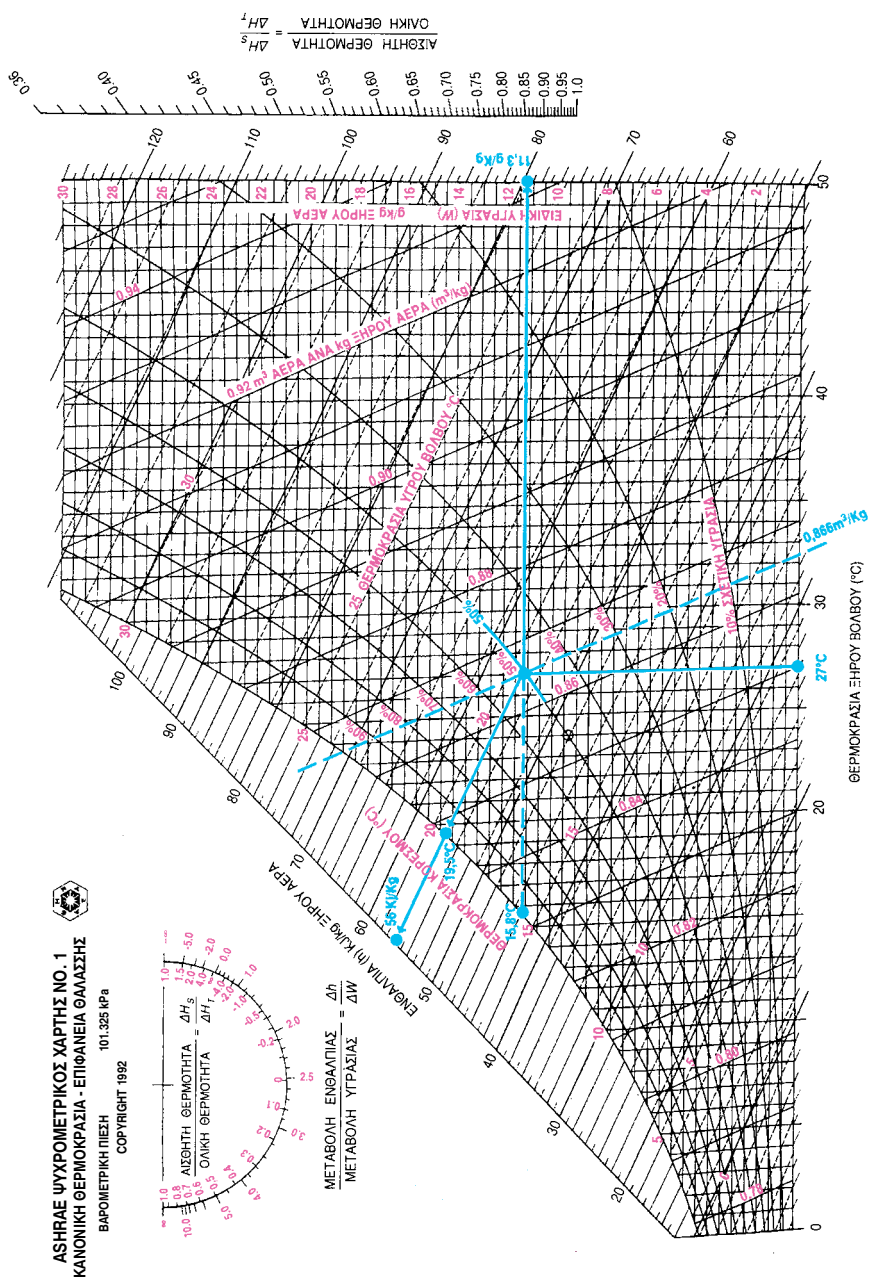
Τα σημεία, όπως το παραπάνω, τα συμβολίζουμε συνήθως, για συντομία $27^\circ\text{C}/50\%$. Αντίστοιχα, ένα σημείο με $t_{db} = 27^\circ\text{C}$ και $t_{wb} = 19^\circ\text{C}$, το γράφουμε $27/19^\circ\text{C}$.

Η λύση είναι στο σχήμα (2-2), αλλά σας προτείνουμε να προσπαθήσετε μόνοι σας και να βλέπετε το σχήμα μόνο αν δυσκολεύεστε ή στο τέλος για επαλήθευση. Αν δεν έχετε αντιληφθεί πώς πρέπει να ξεκινήσετε, σας λέμε να βρείτε πρώτα την καμπύλη “6” όπως στο σχήμα (2-1), που έχει $\phi = 50\%$ και την ευθεία “1” που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 27°C . Η τομή αυτών των δύο είναι το σημείο $27^\circ\text{C}/50\%$. Συνεχίστε εντοπίζοντας τις άλλες καμπύλες πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη.

ΑΣΚΗΣΗ: Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 2-2: Εξάσκηση στον ψυχομετρικό χάρτη

Γραμμή	Σύμβολο	1	2	3	4	5	6	7	8
1	t_{db}	33	23		35	20			
2	t_{wb}		18					25	
3	v				0.89				
4	h						50		60
5	W			12,5			0,86		
6	ϕ	50%		30%				20%	
7	t_{dp}					10			15



Σχήμα 2-2: Η απεικόνιση του σημείου 27°C/50% στον ψυχομετρικό χάρτη.

2-6. Ολική, Αισθητή και Λανθάνουσα θερμότητα

(α) Λανθάνουσα Θερμότητα

Στο σχήμα (2-3), το σημείο “1” έχει συνθήκες $33^{\circ}\text{C}/40\%$. Η περιεχόμενη υγρασία, είναι $12,8 \text{ g/Kg}$. Έστω ότι θέλουμε να κατεβάσουμε την υγρασία του στα $10,4 \text{ g/Kg}$ χωρίς να αλλάξουμε τη θερμοκρασία. Τότε θα ακολουθήσουμε την ευθεία $1 \rightarrow 2$ με τελικές συνθήκες αυτές του σημείου “2”.

Όπως βλέπουμε στον ψυχομετρικό χάρτη, η ενθαλπία στο σημείο “1” είναι $h_1 = 66 \text{ kJ/Kg}$ ενώ στο σημείο “2” είναι $h_2 = 60 \text{ kJ/Kg}$. Διαπιστώνουμε ότι κατά τη μετάβασή μας από το σημείο “1” στο σημείο “2”, παρ’ όλον ότι η θερμοκρασία του αέρα δεν μεταβλήθηκε ούτε στο ελάχιστο, η ενθαλπία μειώθηκε κατά $66 - 60 = 6 \text{ kJ/Kg}$. Δηλαδή απομακρύνθηκε θερμότητα 6 kJ από το κάθε Kg αέρα.

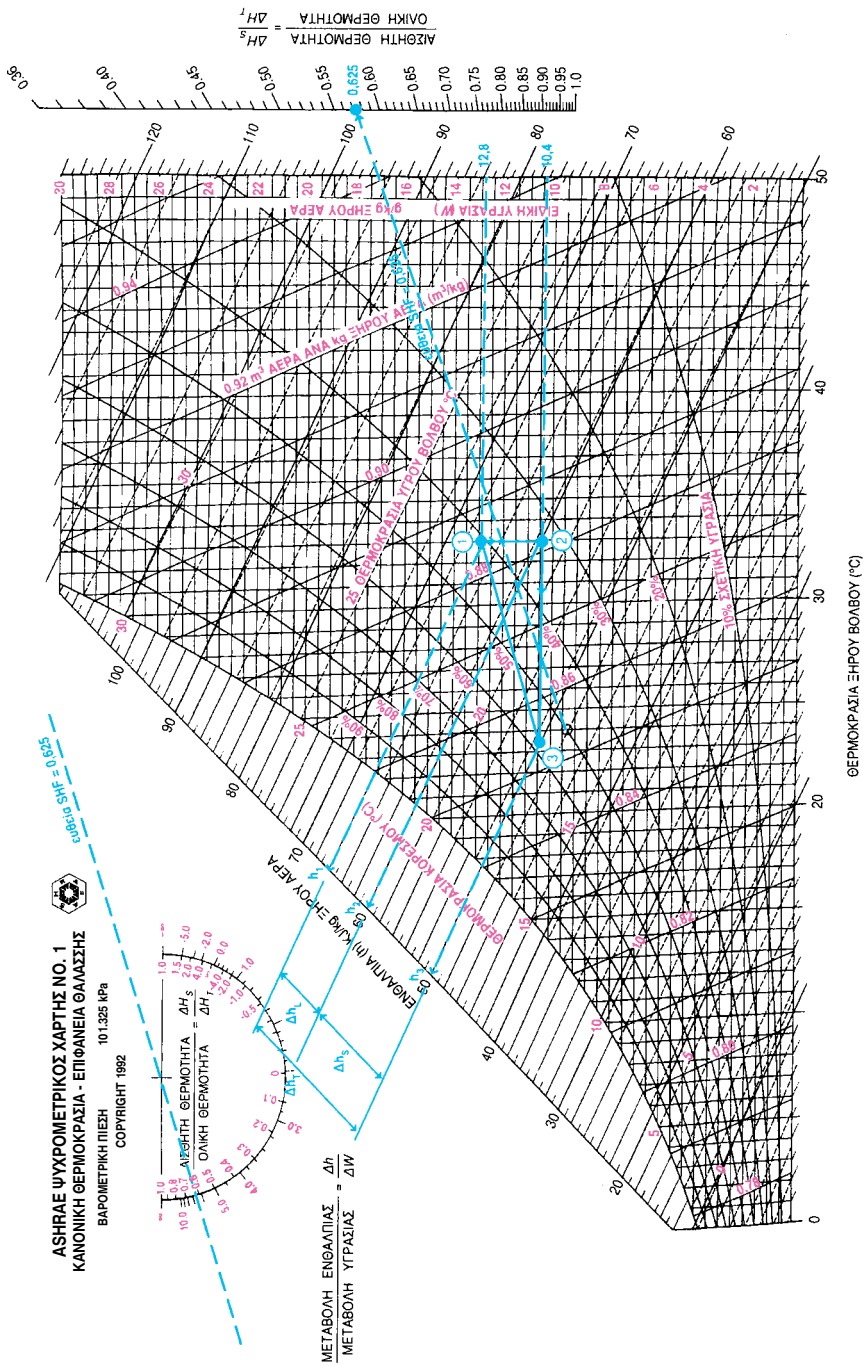
$\Rightarrow$ Το ποσό θερμότητας που απομακρύνεται κατά την υγροποίηση των υδρατμών μίας ποσότητας αέρα, αλλά χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα** και συμβολίζεται με το Q_L . Η αντίστοιχη μεταβολή της ενθαλπίας ονομάζεται **λανθάνουσα διαφορά ενθαλπίας** και συμβολίζεται με το Δh_L .

Ο δείκτης L στα σύμβολα Q_L και Δh_L προέρχεται από το πρώτο γράμμα του αντίστοιχου αγγλικού όρου που είναι **Latent** (λανθάνον). Πρέπει να είσαστε σε θέση να κάνετε τη διάκριση μεταξύ των Q_L και Δh_L . Προσέξτε ότι από τον ψυχομετρικό χάρτη βρίσκουμε μόνο το Δh_L , ενώ το Q_L το υπολογίζουμε πολλαπλασιάζοντας το Δh_L με τη μάζα του αέρα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω ότι έχουμε ένα χώρο, όγκου 500 m^3 , με αέρα του οποίου η ψυχομετρική κατάσταση είναι όπως του σημείου “1” του σχήματος (2-3). Τότε, όπως διαβάζουμε στον ψυχομετρικό χάρτη το $v = 0,884 \text{ m}^3/\text{kg}$, έχουμε ότι η μάζα του αέρα του χώρου είναι: $m = 500 / 0,884 = 565 \text{ kg}$. Από το σχήμα (2-3) έχουμε $\Delta h_L = 6 \text{ kJ/Kg}$. Οπότε $Q_L = m \Delta h_L = 565 \times 6 = 3390 \text{ kJ}$.



Σχήμα 2-3: Ολικό, Αισθητό, Λανθάνον Φορτίο.

(β) Αισθητή Θερμότητα

Έστω τώρα ότι τον αέρα του σημείου “2” θέλουμε να τον ψύξουμε και από 33°C να τον κατεβάσουμε στους $23,3^{\circ}\text{C}$. Η υγρασία θέλουμε να παραμείνει σταθερή, όση στο σημείο “2”, δηλαδή $10,4\text{ g/Kg}$. Τότε η μεταβολή θα ακολουθήσει την ευθεία $2 \rightarrow 3$ μέχρι να καταλήξει στο σημείο “3”. Η ενθαλπία στο σημείο “2” είναι $h_2 = 60\text{ kJ/Kg}$ ενώ στο σημείο “3” είναι $h_3 = 50\text{ kJ/Kg}$. Άρα, κατά τη μετάβασή μας από το σημείο “2” στο σημείο “3”, η ενθαλπία μειώθηκε κατά $60 - 50 = 10\text{ kJ/Kg}$. Δηλαδή απομακρύνθηκε θερμότητα 10 kJ από το κάθε Kg αέρα.

⇒ Το ποσό θερμότητας που απομακρύνεται κατά την ψύξη μίας ποσότητας αέρα, χωρίς να λαμβάνει χώρα υγροποίηση υδρατμών, ονομάζεται **αισθητή θερμότητα** και συμβολίζεται με το Q_S . Η αντίστοιχη μεταβολή της ενθαλπίας ονομάζεται **αισθητή διαφορά ενθαλπίας** και συμβολίζεται με το Δh_S .

Η αισθητή θερμότητα έχει ως αποτέλεσμα τη αλλαγή της θερμοκρασίας του χώρου γι’ αυτό και την αισθανόμαστε αμέσως. Αντίθετα, επειδή ο ανθρώπινος οργανισμός δεν είναι τόσο ευαίσθητος στην αλλαγή της υγρασίας, η λανθάνουσα θερμότητα δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή, παρά μόνο αν υπάρξει πολύ μεγάλη μεταβολή υγρασίας. Οπότε αντιλαμβάνεστε καλύτερα το λόγο που τους έχουν δοθεί αυτές οι ονομασίες.

Ο δείκτης S στα σύμβολα Q_S και Δh_S προέρχεται από το πρώτο γράμμα του αντίστοιχου αγγλικού όρου που είναι **Sensible** (αισθητός). Στον ψυχομετρικό χάρτη διαβάζουμε μόνο το Δh_S ενώ το Q_S το υπολογίζουμε πολλαπλασιάζοντας το Δh_S με τη μάζα του αέρα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε πάλι την ίδια ποσότητα αέρα, που είδαμε στο προηγούμενο παράδειγμα, η οποία στην κατάσταση “1” καταλάμβανε όγκο 500 m^3 και είχε μάζα 565 kg . Κατά τη μεταβολή της κατάστασης του αέρα από το σημείο “1” στο “2” και από εκεί στο “3”, η μάζα του αέρα, προφανώς, παραμένει η ίδια, όση ήταν στο “1”. Οπότε, έχουμε $\Delta h_S = 10\text{ kJ/Kg}$ και $Q_S = m \Delta h_S = 565 \times 10 = 5650\text{ kJ}$.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Η μάζα του αέρα παραμένει σταθερή σε οποιαδήποτε μεταβολή στον ψυχομετρικό χάρτη. Αυτό που αλλάζει είναι ο όγκος του αέρα. Έτσι, στο σημείο “1” είχαμε όγκο 500 m^3 , βάσει του οποίου υπολογίσαμε ότι η μάζα του είναι 565 kg . Στο σημείο “3”, η μάζα είναι φυσικά η ίδια, αλλά διαβάζουμε στον ψυχομετρικό χάρτη του σχήματος (2-3) ότι $v_3 = 0,853 \text{ m}^3/\text{kg}$. Οπότε ο όγκος του αέρα είναι $565 \times 0,853 = 482 \text{ m}^3$.

(γ) Ολική Θερμότητα

Αν τώρα κάνουμε απευθείας μετάβαση από το σημείο “1” στο σημείο “3”, χωρίς να περάσουμε από το “2”. Τότε, αυτή η μεταβολή για το κάθε kg αέρα, θα παρουσιάζει λανθάνουσα θερμότητα 6 kJ και αισθητή θερμότητα 10 kJ . Το άθροισμα αυτών των δύο είναι 16 kJ και είναι η ολική θερμότητα που απομακρύνθηκε από το κάθε kg αέρα.

⇒ Το άθροισμα της Αισθητής και της Λανθάνουσας θερμότητας $Q_S + Q_L$, ονομάζεται **ολική θερμότητα** και συμβολίζεται με το Q_T . Αντίστοιχα το άθροισμα $\Delta h_s + \Delta h_L$ ονομάζεται **ολική διαφορά ενθαλπίας** και συμβολίζεται με το Δh_T .

Ο δείκτης T στα σύμβολα Q_T και Δh_T προέρχεται από το πρώτο γράμμα του αντίστοιχου αγγλικού όρου που είναι **Total** (ολικός).



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στο παράδειγμα των προηγούμενων παραγράφων, με την ποσότητα αέρα των 500 m^3 στην κατάσταση “1”, μάζας 565 kg , έχουμε $\Delta h_T = \Delta h_s + \Delta h_L = 10 + 6 = 16 \text{ kJ/Kg}$. Αντίστοιχα $Q_T = Q_S + Q_L = 5650 + 3390 = 9040 \text{ kJ/kg}$. Στα ίδια αποτελέσματα θα μπορούσαμε να καταλήξουμε χρησιμοποιώντας απευθείας τα μεγέθη του ψυχομετρικού χάρτη. Η ενθαλπία στο σημείο “1” είναι $h_1 = 66 \text{ kJ/kg}$ και στο “3” είναι $h_3 = 50 \text{ kJ/kg}$. Άρα $\Delta h_T = 66 - 50 = 16 \text{ kJ/Kg}$. Η συνολική ποσότητα του αέρα, όπως υπολογίστηκε, είναι 565 kg οπότε έχουμε $Q_T = m \Delta h_T = 565 \times 16 = 9040 \text{ kJ}$.

2-7. Ολικό, Αισθητό και Λανθάνον Φορτίο

Όταν αναφερόμαστε στον κλιματισμό ενός χώρου, τότε αντί για τον όρο **Θερμότητα**, χρησιμοποιούμε τον όρο **Φορτίο**. Αν και εκ πρώτης όψεως φαίνεται να πρόκειται για το ίδιο σχεδόν πράγμα, υπάρχει μία βασική διαφορά. Το φορτίο είναι η θερμότητα που απάγεται ή προσάγεται μέσα σ' ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Στο σύστημα μονάδων SI τα φορτία δίνονται ανά δευτερόλεπτο. Δηλαδή, με άλλα λόγια, η θερμότητα είναι ενέργεια και μετριέται σε kJ ενώ το φορτίο είναι ισχύς και μετριέται σε W. Να έχετε υπόψη σας ότι στο σύστημα SI, όταν αναφερόμαστε στα φορτία κλιματισμού, ως τυπική μονάδα προβλέπεται το W και όχι το kW.

Έτσι, η αισθητή θερμότητα που θα πρέπει να απομακρυνθεί ανά δευτερόλεπτο από ένα χώρο, ονομάζεται **Αισθητό Φορτίο**, η λανθάνουσα θερμότητα **Λανθάνον Φορτίο** και η ολική θερμότητα **Ολικό Φορτίο**. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται για τα φορτία είναι αντίστοιχα q_s , q_L , q_T . Δηλαδή μοιάζουν με τους συμβολισμούς της θερμότητας, αλλά με το σύμβολο q αντί του Q. Προφανώς ισχύει $q_T = q_s + q_L$.

Η διαδικασία υπολογισμού, όταν έχουμε να κάνουμε με φορτία, είναι η ίδια. Η μόνη διαφοροποίηση που υπάρχει είναι ως προς τις μονάδες. Στο παράδειγμα του σχήματος (2-3), είχαμε θεωρήσει μία ποσότητα αέρα στο σημείο "1" ίση με 500 m^3 , που αντιστοιχούσε σε 565 kg αέρα. Η μεταβολή $1 \rightarrow 3$ βρήκαμε ότι απαιτούσε θερμότητα $Q_T = 9040 \text{ kJ}$. Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά, όταν δουλεύουμε με φορτία, ας δούμε την υπολογιστική διαδικασία στο ίδιο παράδειγμα. Αντί για τη στάσιμη ποσότητα αέρα των 500 m^3 , έστω ότι έχουμε ένα ρεύμα αέρα παροχής $Q = 140 \text{ L/s}$. Τότε δουλεύουμε ως εξής:

Στο σημείο 1, ο ειδικός όγκος είναι $v_1 = 0,884$, οπότε η παροχή μάζας είναι $w = Q / v_1 = 140 / 0,884 = 158,37 \text{ g/s}$. Επίσης είχαμε $h_1 = 66 \text{ kJ/kg}$, $h_3 = 50 \text{ kJ/kg}$, οπότε $\Delta h_T = 66 - 50 = 16 \text{ kJ/kg}$. Το ολικό φορτίο του αέρα είναι $q_T = 158,37 \times 16 \Rightarrow q_T = 2534 \text{ W}$. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας προκύπτει πάντοτε σε W, όπως ακριβώς είναι η τυπική μονάδα στο σύστημα SI για τα ψυκτικά φορτία. Αντίστοιχα δουλεύουμε για να υπολογίσουμε το q_s ή q_L . Προκύπτουν $q_s = 1584 \text{ W}$ και $q_L = 950 \text{ W}$. Επαληθεύστε τα μόνοι σας, σαν άσκηση.

Στο επόμενο κεφάλαιο του βιβλίου θα δούμε πώς υπολογίζονται τα φορτία. Για τα παραδείγματα αυτού του κεφαλαίου θα θεωρήσουμε ότι τα φορτία του χώρου έχουν με κάποιο τρόπο υπολογιστεί.

2-8. Προσοχή στους συμβολισμούς και στις μονάδες

Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στο παρόν βιβλίο ακολουθούν αυστηρά τη διεθνώς αποδεκτή τυποποίηση την οποία χρησιμοποιεί η ASHRAE. Συχνά, ένα γράμμα χρησιμοποιείται σε περισσότερα από ένα διαφορετικά μεγέθη, όπως συμβαίνει με τους συμβολισμούς που αναφέρουμε παρακάτω. Προσέξτε τους, μην τυχόν και σας προκαλέσουν σύγχυση.

- Η ειδική υγρασία συμβολίζεται με W και έχει τυπική μονάδα το g/kg , ενώ η παροχή μάζας με w και έχει τυπική μονάδα το g/s . Επίσης με W συμβολίζεται και η μονάδα της ισχύος (Watt).
- Η θερμότητα συμβολίζεται με Q και το φορτίο με q . Με Q συμβολίζεται επίσης και η παροχή όγκου. Όμως οι δύο συμβολισμοί Q δεν είναι δυνατόν να συνυπάρχουν στην ίδια εφαρμογή, επειδή όταν έχουμε παροχή όγκου (Q), θα έχουμε στους υπολογισμούς φορτίο (q) και όχι θερμότητα.

Γενικά χρησιμοποιούμε τις μονάδες του Διεθνούς Συστήματος που για συντομία αναφέρεται ως SI (System International). Να θυμάστε ότι στο σύστημα μονάδων SI, τα φορτία κλιματισμού αναφέρονται σε W , η παροχή όγκου σε L/s (λίτρα ανά δευτερόλεπτο) και η παροχή μάζας σε g/s .

Δυστυχώς, εξακολουθεί στην πράξη η χρήση μερικών μονάδων άλλων συστημάτων, που κατά κάποιο τρόπο έχουν καθιερωθεί. Μέχρι να μπορέσουν να επικρατήσουν πλήρως οι μονάδες του συστήματος SI, θα πρέπει να είσαστε σε θέση να αντιλαμβάνεστε και μερικές από τις μονάδες άλλων συστημάτων. Οι πλέον συνηθισμένες χρήσεις άλλων μονάδων είναι στα φορτία κλιματισμού, όπου αντί για W , αυτά συχνά αναφέρονται σε Btu/h ή σε kcal/h και στην παροχή αέρα όπου αντί για L/s συναντάμε τα cfm ή m^3/h . Ο τρόπος μετατροπής τους σε μονάδες του συστήματος SI υπενθυμίζουμε ότι έχει ως εξής:

- Τα kcal/h γίνονται W αν διαιρεθούν με το 0,86 ($1000\text{ W} = 860\text{ kcal/h}$).
- Τα Btu/h γίνονται W αν διαιρεθούν με το 3,41 (κατά προσέγγιση, για να το θυμάστε: $1000\text{ W} \approx 3500\text{ Btu/h}$) ή αν πολλαπλασιαστούν με το 0,3 ($9000\text{ Btu/h} \approx 2700\text{ W}$).
- Για να μετατρέψουμε τα m^3/h σε L/s , τα διαιρούμε με 3,6.
- Για να μετατρέψουμε τα cfm σε L/s , τα διαιρούμε με 2,13 (κατά προσέγγιση, για να το θυμάστε: $1\text{ L/s} \approx 2\text{ cfm}$).

2-8. Ο ορισμός του Συντελεστή Αισθητής Θερμότητας (SHR ή SHF)

Ο λόγος $\Delta h_s / \Delta h_T$ ονομάζεται **Συντελεστής Αισθητής Θερμότητας** και για συντομία τον γράφουμε ως **SHR** από τα αρχικά του αντίστοιχου αγγλικού όρου (**Sensible Heat Ratio**). Συχνά αντί για SHR βρίσκουμε το συμβολισμό **SHF** (**Sensible Heat Factor**). Από τα παραδείγματα των παραγράφων 2-6 και 2-7 καθώς και από το σχήμα (2-3) διαπιστώνουμε εύκολα ότι:

$$\text{SHR ή SHF} = \frac{\Delta h_s}{\Delta h_T} = \frac{Q_s}{Q_T} = \frac{q_s}{q_T} = \frac{10}{16} = 1,625$$

Στο κέντρο περίπου του ψυχομετρικού χάρτη θα δείτε ένα μικρό κύκλο. Δεξιά θα δείτε την κλίμακα του συντελεστή SHR. Εντοπίστε στην κλίμακα αυτή το σημείο 0,625. Ενώστε το κέντρο του μικρού αυτού κύκλου με το σημείο 0,625. Η ευθεία που χαράξατε είναι παράλληλη της ευθείας 1-3. Αν μας δώσουν τα φορτία ενός χώρου, μπορούμε να δουλέψουμε και αντίθετα και να χαράξουμε την ευθεία του συντελεστή SHR και μετά την ευθεία 1-3, που θα είναι παράλληλη με την προηγούμενη. Η τεχνική αυτή είναι πολύ χρήσιμη όταν εργαζόμαστε πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη. Θα δούμε πώς εφαρμόζεται στα επόμενα παραδείγματα.

Ένας άλλος τρόπος για να χαράξουμε την ευθεία του SHR είναι χρησιμοποιώντας το ημικύκλιο που υπάρχει στην πάνω αριστερή γωνία του ψυχομετρικού χάρτη. Στην εσωτερική πλευρά του ημικύκλιου υπάρχουν οι τιμές του SHR. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με αυτή τη μέθοδο είναι μικρότερη. Επίσης η ευθεία που αντιστοιχεί στην τιμή του SHR, συνήθως είναι αρκετά μακριά από το σημείο “1” και ως εκ τούτου γίνεται δυσκολότερη η χάραξη μίας σωστής παράλληλης ευθείας.

Το ημικύκλιο αυτό όμως περιλαμβάνει όλες τις δυνατές τιμές του SHR, ακόμη και τις αρνητικές, ενώ η κλίμακα του SHR, στα δεξιά του ψυχομετρικού χάρτη, περιορίζεται μόνο στην περιοχή 0,36 - 1,0. Κατά συνέπεια για κάθε τιμή μικρότερη του SHR μικρότερη από 0,36 θα χρησιμοποιήσουμε αναγκαστικά το ημικύκλιο. Υπάρχουν ψυχομετρικοί χάρτες που διαθέτουν μόνο αυτό το ημικύκλιο για να δουλέψετε και άλλοι που δεν το περιέχουν καθόλου. Διευκρινίζεται επίσης ότι αρνητικές τιμές του SHR παρουσιάζονται στην ψύξη με ύγρανση αλλά η τεχνική αυτή δεν θα αναπτυχθεί στο παρόν βιβλίο, επειδή δεν είναι στους στόχους μας να επεκταθούμε σε περίπλοκους ψυχομετρικούς υπολογισμούς, που εκτός των άλλων σπάνια χρησιμοποιούνται.

Αυτό όμως που έχει περισσότερη σημασία στο ημικύκλιο είναι ότι στην εξωτερική του πλευρά αναφέρονται οι τιμές ενός άλλου συντελεστή, που είναι ο $\Delta h/\Delta W$, δηλαδή ο λόγος μεταξύ της διαφοράς ενθαλπίας και της διαφοράς ειδικής υγρασίας. Κάθε τιμή του SHR αντιστοιχεί σε μία και μοναδική τιμή του λόγου $\Delta h/\Delta W$ (μονάδες kJ/g) και αντιστρόφως. Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε από το σχήμα (2-3) ότι $W_1 - W_3 = 12,8 - 10,4 = 2,4$ g/kg οπότε $\Delta h/\Delta W = 16/2,4 = 6,67$. Πράγματι βλέπουμε από το ημικύκλιο στο σχήμα (2-3) ότι το $SHR = 0,625$ αντιστοιχεί σ' αυτή την τιμή του $\Delta h/\Delta W$.

Σε ορισμένες εφαρμογές που έχουμε ύγρανση, χρησιμοποιείται μία μέθοδος υπολογισμού που βασίζεται στο λόγο $\Delta h/\Delta W$. Η χρήση αυτής της μεθόδου είναι σχετικά σπάνια και γι' αυτό δεν θα ασχοληθούμε ιδιαίτερα με αυτήν. Αντίθετα θα επιμείνουμε στην επίλυση απλών, πρακτικών προβλημάτων που βασίζονται στη χρήση του συντελεστή SHR που είναι και η πλέον συνήθης εφαρμογή στην πράξη.

2-10. Αποτύπωση μεταβολών του αέρα στο στοιχείο μίας κλιματιστικής μονάδας (KM)

Το κυριότερο εξάρτημα της κάθε κλιματιστικής μονάδας (KM) είναι ο εναλλάκτης θερμότητας, που στην ελληνική γλώσσα τον έχουμε αποδώσει με τον όρο **στοιχείο**. Ο αντίστοιχος αγγλικός όρος είναι **coil** και έχει τελείως διαφορετική σημασία. Ο όρος στοιχείο έχει επικρατήσει στην ελληνική τεχνική ορολογία και αυτόν θα χρησιμοποιούμε και εμείς στη συνέχεια. Στο στοιχείο γίνεται η εναλλαγή της θερμότητας μεταξύ του αέρα και του ψυκτικού υγρού που μπορεί να είναι νερό ή κάποιο άλλο από τα πολλά είδη ψυκτικών υγρών που υπάρχουν. Το πώς είναι κατασκευασμένο το στοιχείο θα το δούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούμε μόνο στη λειτουργία του σαν εναλλάκτη θερμότητας και θα αποτυπώσουμε τις μεταβολές του αέρα, που γίνονται με αυτό, πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη.



ΑΣΗΡΑΕ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1
ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

Σχήμα 2-4: Η λειτουργία του στοιχείου μίας κλιματιστικής μονάδας.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε κλιματιζόμενο χώρο οι συνθήκες είναι $27^{\circ}\text{C}/50\%$. Η παροχή αέρα του ανεμιστήρα της ΚΜ είναι 270 L/s . Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ψυκτική ισχύς της μονάδας είναι 4210 W σε αισθητό φορτίο και 6240 W σε ολικό. Αυτό για συντομία το συμβολίζουμε $4210/6240\text{ W}$. Να ευρεθούν:

- (α) Τα v_1 , h_1 , W_1 του αέρα που εισέρχεται στην ΚΜ (σημείο 1)
- (β) Οι συνθήκες του αέρα που εξέρχεται από την ΚΜ (σημείο 2) καθώς και τα v_2 , h_2 , W_2
- (γ) Η ποσότητα του νερού που συμπυκνώνεται ανά ώρα

Όπως βλέπετε στο σχήμα (2-4), προσδιορίζουμε πρώτα το σημείο 1, που είναι το $27^{\circ}\text{C}/50\%$. Βρίσκουμε τα v_1 , h_1 , W_1 και συμπληρώνουμε με αυτά την πρώτη γραμμή του παρακάτω πίνακα.

Σημείο	Συνθήκες	v	H	W
1	$27^{\circ}\text{C}/50\%$	0,866	56	11,3
2	$13,4/90\%$	0,823	36	8,7

Από την παροχή του αέρα και τον ειδικό όγκο v_1 βρίσκουμε την παροχή μάζας αέρα:

$$w = 270 / 0,866 = 312\text{ g/s}$$

Η σχέση αισθητό / ολικό φορτίο είναι:

$$\text{SHR} = 4210/6240 = 0,675$$

Τώρα για να βρούμε το σημείο 2, θα μάθουμε να χειριζόμαστε μία ιδιαίτερη τεχνική του ψυχομετρικού χάρτη. Πρόκειται για τη χάραξη της ευθείας του SHR, την οποία είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Εντοπίστε πάνω στην κλίμακα του SHR το σημείο $\text{SHR} = 0,675$ που μόλις υπολογίσαμε. Ενώστε το κέντρο του μικρού κύκλου, που τη θέση του την εντοπίσατε στην προηγούμενη παράγραφο, με το σημείο $\text{SHR} = 0,675$, όπως φαίνεται στο σχήμα (2-4). Στη συνέχεια, από το σημείο 10, τραβήξτε μία ευθεία παράλληλη με την προηγούμενη, που να φθάνει μέχρι το σημείο 3, στο οποίο αυτή η ευθεία τέμνει την καμπύλη κορεσμού. Η ευθεία 1-3 είναι η **γραμμή λειτουργίας της ΚΜ**. Πάνω σ' αυτή βρίσκεται το σημείο 2 που αναζητούμε και που απεικονίζει τις συνθήκες του εξερχόμενου αέρα.

Για να βρούμε ποιο σημείο της ευθείας 1-3 είναι το σημείο 2, χρειαζόμαστε να έχουμε ακόμη κάποιο δεδομένο. Στην προκειμένη περίπτωση, από την εκφώνηση του παραδείγματος, ξέρουμε ότι η ολική ισχύς της ΚΜ είναι 6240 W. Επίσης υπολογίσαμε προηγουμένως ότι η παροχή μάζας αέρα είναι $w = 312 \text{ g/s}$ και το $h_1 = 56 \text{ kJ/kg}$. Οπότε έχουμε:

$$6240 = 312 (56 - h_2) \Rightarrow h_2 = 36 \text{ kJ/kg}$$

Βρίσκουμε στην κλίμακα της ενθαλπίας το σημείο 36 kJ/kg και βάσει αυτού ορίζουμε το σημείο 2, όπως φαίνεται στο σχήμα (2-4). Συμπληρώνουμε τον πίνακα με τα χαρακτηριστικά του σημείου 2.

Για να βρούμε την ποσότητα του συμπυκνώματος υδρατμών, χρησιμοποιούμε τις τιμές W του πίνακα που συντάξαμε. Έχουμε $W_1 = 11,3 \text{ g/Kg} = 11,3 / 1000 = 0,0113$ και $W_2 = 8,7 \text{ g/Kg} = 8,7/1000 = 0,0087$, οπότε:

$$\Delta W = 312 [0,0113 - 0,0087] = 0,81 \text{ g/s}$$

Μέσα σε μία ώρα, τα συμπυκνώματα που θα συγκεντρώνονται θα είναι $0,81 \times 3600 = 2916 \text{ g} = 2,916 \text{ Kg} \approx 3 \text{ L}$ νερό.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Στην πραγματικότητα, η γραμμή λειτουργίας μίας ΚΜ δεν είναι ευθεία γραμμή αλλά μία καμπύλη. Αυτό όμως σε τίποτε δεν διαφοροποιεί τη διαδικασία των υπολογισμών.

2-11. Η Θερμοκρασία Ενεργού Επιφανείας της Κλιματιστικής Μονάδας

Η **Θερμοκρασία Ενεργού Επιφανείας** είναι το σημείο 3 του σχήματος (2-4). Στην προκειμένη περίπτωση είναι 11°C . Συμβολίζεται με το t_s . Ο αντίστοιχος αγγλικός όρος είναι **effective surface temperature**. Η πρακτική σημασία της θερμοκρασίας της ενεργού επιφανείας της ΚΜ είναι ότι αντιπροσωπεύει, κατά κάποιο τρόπο, τη μέση τιμή της θερμοκρασίας που έχει η επιφάνεια του ψυκτικού στοιχείου της ΚΜ.

Όταν έχουμε ψύξη με αφύγρανση, που είναι και η πλέον κοινή χρήση του ψυχομετρικού χάρτη, η t_s βρίσκεται πάντοτε πάνω την καμπύλη κορεσμού. Στην περίπτωση αυτή συχνά ονομάζεται **σημείο δρόσου της κλιματιστικής μονάδας** και συμβολίζεται με το t_{adp} (apparatus dew point). Αν προτιμάτε να χρησιμοποιείτε αυτό τον όρο, να προσέχετε ώστε να μην τον συγχέετε με το σημείο δρόσου του αέρα του χώρου. Όπως βλέπετε στο σχήμα (2-4), για το σημείο 1 (αέρας χώρου) το $t_{\text{dp}} = 15,8^{\circ}\text{C}$, ενώ για την ΚΜ το $t_s = 11^{\circ}\text{C} = t_{\text{adp}}$. Στο βιβλίο αυτό θα χρησιμοποιούμε γενικά τον όρο **Θερμοκρασία Ενεργού Επιφανείας** με μοναδικό συμβολισμό το t_s και η αναφορά μας στην t_{adp} έγινε απλά μόνο για να γνωρίζετε την παράλληλη χρήση και αυτού του όρου, ο οποίος στην πράξη είναι αρκετά διαδεδομένος. Θα πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι η ASHRAE, στα τεχνικά εγχειρίδιά της, δεν χρησιμοποιεί τον όρο “σημείο δρόσου ΚΜ”.

Η Θερμοκρασία Ενεργού Επιφανείας σε μία ΚΜ είναι πάντοτε ψηλότερα από τη μέση θερμοκρασία του νερού. Συνήθως βρίσκεται από $1-4^{\circ}\text{C}$ ψηλότερα από τη μέση θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί μέσα στο στοιχείο της ΚΜ. Αν π.χ. το νερό εισέρχεται στο ψυκτικό στοιχείο με θερμοκρασία 7°C και εξέρχεται με 12°C , τότε η μέση θερμοκρασία του νερού είναι $(7+12)/2 = 9,5^{\circ}\text{C}$ και το t_s το περιμένουμε κάπου μεταξύ $10,5^{\circ}\text{C}$ και $13,5^{\circ}\text{C}$, χωρίς φυσικά να αποκλείεται και μεγαλύτερη τιμή. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να έχει το t_s είναι μέχρι το t_{dp} του αέρα που εισέρχεται στο στοιχείο της ΚΜ. Στο παράδειγμά μας είναι $15,8^{\circ}\text{C}$. Στην πράξη, οι περισσότεροι συνηθισμένες τιμές του t_s είναι στην περιοχή **$10-14^{\circ}\text{C}$** .

Μπορούμε το t_s να το κατεβάσουμε πολύ χαμηλά κατεβάζοντας τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στην ΚΜ και ανεβάζοντας την παροχή του νερού (οπότε ελαττώνεται η θερμοκρασία εξόδου του νερού). Κατά κανόνα δεν κατεβάζουμε τη θερμοκρασία του κρύου νερού που εξέρχεται από τον ψύκτη κάτω των 4°C , για λόγους ασφάλειας. Όταν θέλουμε να κατεβάσουμε το t_s ακόμη πιο χαμηλά, συνήθως προσθέτουμε στο νερό

γλυκόλη, για να κατεβάσουμε το σημείο τήξης του νερού κάτω από 0°C . Ακόμη όμως και όταν προσθέτουμε γλυκόλη, στον κλιματισμό αποφεύγουμε θερμοκρασίες νερού τροφοδοσίας πολύ χαμηλές (κάτω του 0°C), για να αποτρέψουμε τη συγκέντρωση πάγου πάνω στο στοιχείο της ΚΜ.

Όσο μεγαλύτερη διαφορά υπάρχει μεταξύ του t_{dp} και του t_s , τόσο μεγαλύτερη είναι η αφύγρανση του αέρα που γίνεται στο στοιχείο της ΚΜ. Η περίπτωση κατά την οποία το t_s ταυτίζεται με το t_{dp} , λαμβάνει χώρα μόνο όταν υπάρχει ψύξη χωρίς αφύγρανση. Η περίπτωση αυτή ονομάζεται **ξηρά λειτουργία**.

Μία πρακτική σημασία του t_s είναι να μπορούμε να διαπιστώνουμε, μετά από τον υπολογισμό των φορτίων του χώρου (που θα δούμε πώς γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο), κατά πόσο η ΚΜ που προκύπτει, είναι δυνατόν να υλοποιηθεί από κάποιον κατασκευαστή. Για να είναι μία ΚΜ κατασκευάσιμη, θα πρέπει η ευθεία που φέρνουμε από το σημείο 1 (συνθήκες χώρου) παράλληλα προς την ευθεία του SHR (που προκύπτει από τα φορτία του χώρου) να τέμνει την καμπύλη κορεσμού σε σημείο t_s , που να είναι τουλάχιστον κατά 1°C ψηλότερα από τη μέση θερμοκρασία του νερού στο στοιχείο. Αν δεν συμβαίνει αυτό, τότε σημαίνει ότι το λανθάνον φορτίο του χώρου είναι πολύ υψηλό (δηλαδή έχουμε μεγάλη αφύγρανση). Η τεχνική λύση που ακολουθούμε στην περίπτωση αυτή είναι γνωστή ως **αναθέρμανση**.

2-12. Η λειτουργία κλιματιστικής μονάδας με αναθέρμανση

Με την αναθέρμανση θερμαίνουμε τον αέρα που εξέρχεται από την ΚΜ (με τη βοήθεια ηλεκτρικών αντιστάσεων ή ενός στοιχείου θέρμανσης) και κατά τον τρόπο αυτό μειώνουμε τη σχετική υγρασία του. Στην πραγματικότητα, αυτό που κάνουμε με την αναθέρμανση είναι να δημιουργούμε ένα επιπλέον αισθητό φορτίο για να μεγαλώσουμε την τιμή του SHR, ώστε να εμφανίζεται το t_s σε λογικό σημείο πάνω στην καμπύλη κορεσμού. Η δημιουργία όμως του ψεύτικου αυτού αισθητού φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα και το μέγλωμα του ψυκτικού στοιχείου (πρέπει να αυξηθεί η ισχύς του όση είναι η ισχύς αναθέρμανσης). Δηλαδή η ΚΜ γίνεται μεγαλύτερη και ακριβότερη, αλλά δεν υπάρχει άλλη τεχνική λύση. Ας το δούμε με ένα παράδειγμα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω ότι από τη μελέτη των ψυκτικών φορτίων προέκυψε ότι για τον κλιματισμό ενός χώρου, με επιθυμητές συνθήκες $27^{\circ}\text{C}/50\%$, χρειαζόμαστε $q_s/q_T = 15.700/31.400 \text{ W}$. Η παροχή του αέρα είναι $Q = 2470 \text{ L/s}$. Να ελεγχθεί αν η εν λόγω ΚΜ είναι κατασκευάσιμη. Αν δεν είναι, να υπολογιστεί η ισχύς του στοιχείου αναθέρμανσης q_R καθώς και η νέα ισχύς του ψυκτικού στοιχείου. Η μέση θερμοκρασία του νερού στο στοιχείο θεωρείται ότι είναι $9,5^{\circ}\text{C}$.

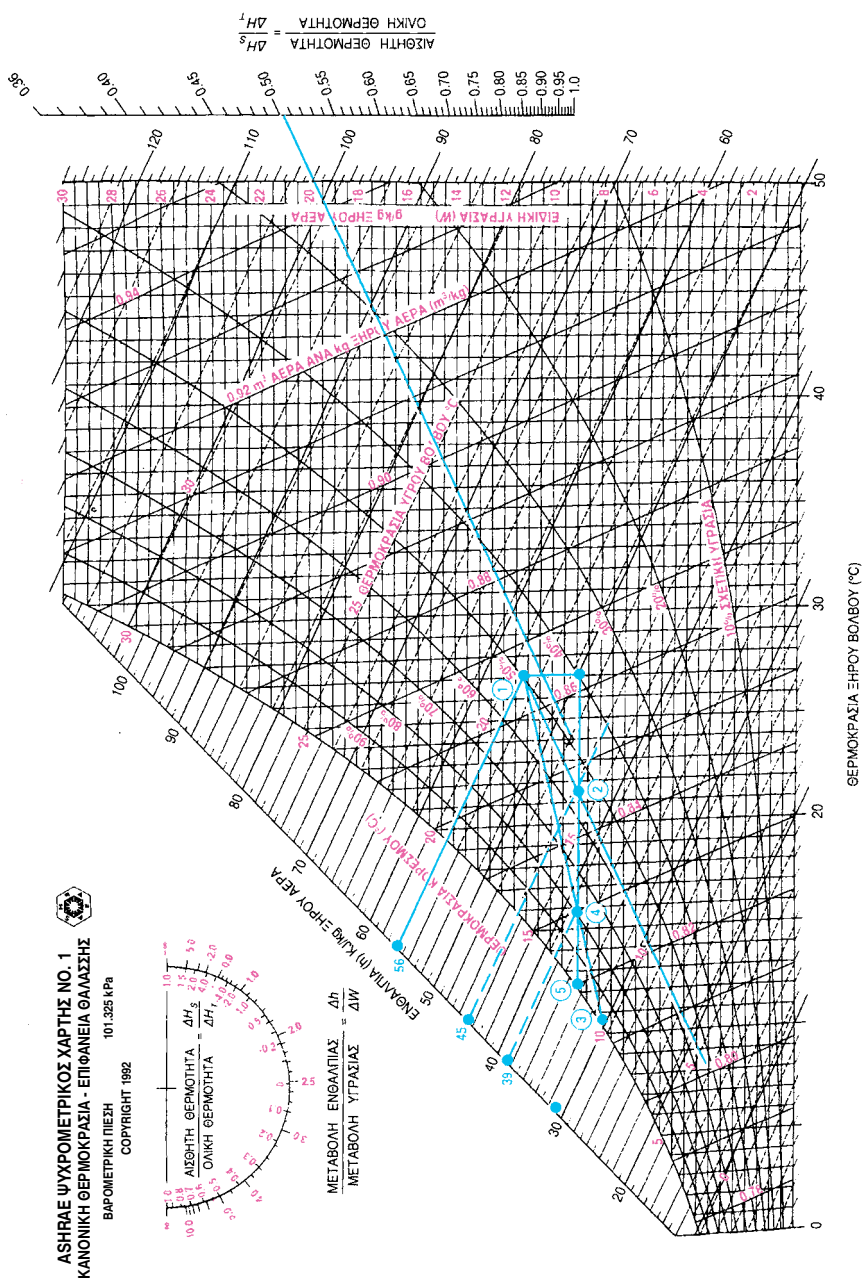
➔ Έχουμε $\text{SHR} = 15.700 / 31.400 = 0,5$. Χαράσσουμε την ευθεία του SHR και από το σημείο 1 φέρνουμε την παράλληλη. Βλέπουμε ότι η ευθεία αυτή δεν τέμνει την καμπύλη κορεσμού. **Άρα αυτή η ΚΜ δεν είναι κατασκευάσιμη.**

Από το σχήμα (2-5) βρίσκουμε ότι η παροχή μάζας είναι $2470 / 0,866 = 2852 \text{ g/s}$. Για τον προσδιορισμό της επιθυμητής (αλλά μη εφικτής) θέσης του σημείου 2 έχουμε $31.400 / 2852 = 11 \text{ kJ/kg}$. Επειδή $h_1 = 56 \text{ kJ/kg}$, προκύπτει $h_2 = 56 - 11 = 45 \text{ kJ/kg}$, οπότε προσδιορίζουμε το σημείο 2.

Το t_s θα πρέπει να επιλεγεί πιο πάνω από τη μέση θερμοκρασία του νερού, αλλά και κάτω από το t_{dp} του αέρα που εξέρχεται από την κλιματιστική μονάδα (σημείο 5). Έστω ότι επιλέγουμε $t_s = 10,5^{\circ}\text{C}$ (σημείο 3). Η οριζόντια ευθεία από το σημείο 2 συναντάει την 1-3 στο σημείο 4. Το τμήμα 2-4 αντιπροσωπεύει τη λειτουργία του στοιχείου αναθέρμανσης. Έχουμε $h_4 = 39$ οπότε $\Delta h_{2-4} = 45 - 39 = 6 \text{ kJ/kg}$ και $q_R = 2852 \times 6 = 17112 \text{ W} = 17100 \text{ W}$.

Αντίστοιχα, το τμήμα 1-4 αντιπροσωπεύει την ισχύ του ψυκτικού στοιχείου που είναι $\Delta h_{1-4} = 56 - 39 = 17$. Η συνολική ψυκτική ισχύς θα είναι $q_T = 2852 \times 17 = 48484 \approx 48500 \text{ W}$. Αυτή προκύπτει και απλούστερα ως $q_T = 31.400 + q_R = 31.400 + 17100 = 48500$. Αντίστοιχα, το αισθητό φορτίο είναι $q_s = 15700 + q_R = 15700 + 17100 = 32800 \text{ W}$.

ΑΣΚΗΣΗ: Επαναλάβετε την υπολογιστική διαδικασία δεχόμενοι όμως $t_s = 11,5^{\circ}\text{C}$ αντί $10,5^{\circ}\text{C}$ (σημείο 3).



Σχήμα 2-5: Η λειτουργία με αναθέρμανση του αέρα.

2-13. Συντελεστής παράκαμψης της κλιματιστικής μονάδας (BF)

Δείτε πάλι το σχήμα (2-4). Ίσως να αναρωτηθείτε: Αφού το ψυκτικό στοιχείο έχει θερμοκρασία 11°C γιατί ο αέρας στο σημείο 2 βγαίνει με $13,8^{\circ}\text{C}$; Δεν θα έπρεπε να βγαίνει με 11°C ;

Η απάντηση είναι ότι, κατά τον τρόπο που κατασκευάζονται και λειτουργούν τα στοιχεία, δεν μπορεί όλος ο αέρας να έρθει σε επαφή με την επιφάνειά τους. Έτσι, ένα ποσοστό του αέρα παρακάμπτει τις ψυχρές επιφάνειες του ψυκτικού στοιχείου. Ο αέρας συνεπώς, στο σημείο 2, προέρχεται από την ανάμιξη αέρα θερμοκρασίας 11°C (σημείο 3) και αέρα 27°C (σημείο 1). Το ποσοστό του αέρα με θερμοκρασία 11°C βρίσκεται από το λόγο των ευθυγράμμων τμημάτων $(2-1):(3-1) = 38/46,5 = 0,817 = 81,7\%$ (μετράτε τα τμήματα με ένα χάρακα και κάνετε τη διαίρεση). Αντίστοιχα το ποσοστό του αέρα με 27°C βρίσκεται από το λόγο των ευθυγράμμων τμημάτων $(3-2):(3-1) = 8,5/46,5 = 0,183 = 18,3\%$. Το αποτέλεσμα αυτής της ανάμιξης είναι ο αέρας να εξέρχεται του στοιχείου με θερμοκρασία $13,8^{\circ}\text{C}$.

Η τιμή του λόγου $(3-2):(3-1)$ είναι ο συντελεστής που μας δείχνει το ποσοστό του αέρα που παρέκαμψε το ψυκτικό στοιχείο. Συμβολίζεται ως **BF** (Bypass Factor). Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε **BF = 0,183** (η έκφραση του BF ως % δεν συνηθίζεται).

Ο συντελεστής BF υπάρχει και όταν η λειτουργία του στοιχείου δεν εμφανίζεται στον ψυχομετρικό χάρτη. Η σχέση που τον διέπει είναι πολύ απλή:

$$\text{BF} = \frac{t_2 - t_s}{t_1 - t_s} \quad (2-1)$$

Όπου t_1 και t_2 είναι οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του αέρα και t_s είναι η θερμοκρασία της ενεργού επιφάνειας της ΚΜ.

Στο σχήμα (2-4) η μέγιστη δυνατή τιμή του q_T , που αντιστοιχεί σε ένα υποθετικό $\text{BF} = 0$, είναι προφανώς η $h_1 - h_3 = q_{\max}$. Η θερμότητα που δεν προσδίδεται στον αέρα εξαιτίας της ύπαρξης του BF έστω ότι είναι q_{BF} . Τότε προφανώς ισχύουν οι σχέσεις:

$$q_{\text{BF}} = \text{BF} \cdot q_{\max} \quad (2-2)$$

$$q_T = (1 - \text{BF}) \cdot q_{\max} \quad (2-3)$$

Οι συνήθεις τιμές του BF στις μεγάλες κεντρικές κλιματιστικές μονάδες είναι από **0,02 - 0,35** και στις μικρές τοπικές μονάδες από **0,20 - 0,30**.

Για να είναι σε θέση ένας κατασκευαστής ΚΜ να υλοποιήσει εύκολα και σίγουρα μία επιθυμητή ΚΜ δεν αρκεί μόνο το t_s να προκύπτει σε λογικό σημείο. Θα πρέπει και ο BF να έχει μία λογική τιμή.

Ένας πολύ εύκολος συνδυασμός για τις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες είναι όταν το t_s είναι 2 - 3 °C ψηλότερα από τη μέση θερμοκρασία του νερού και το BF = 0,1 - 0,2.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Στο παράδειγμα της παραγράφου 2-12 (σχήμα 2-5) εξετάσαμε δύο επιλογές για τη θέση του t_s : (α) στους 10,5 °C (β) σαν άσκηση στους 11,5 °C. Ποια από τις δύο επιλογές ως προς τη θέση του t_s κρίνεται ότι είναι η πλέον κατάλληλη;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Όπως θα διαπιστώσατε, όσο ψηλότερα δεχτούμε το t_s για τον υπολογισμό του φορτίου αναθέρμανσης, τόσο μεγαλύτερο θα προκύψει το στοιχείο αναθέρμανσης. Οπότε εκ πρώτης όψεως φαίνεται να συμφέρει η λύση με το t_s στους 10,5 °C. Συγχρόνως όμως, όπως είπαμε, θα πρέπει να προκύπτει και μία λογική τιμή για το συντελεστή παρακαμψης, αλλιώς η ΚΜ που θα προδιαγράψετε θα έχει δυσκολία στο να κατασκευαστεί, ή ακόμη μπορεί και να μην κατασκευάζεται. Και από το σχήμα (2-5), με $t_s = 10,5^\circ\text{C}$ προκύπτει $\text{BF} = (3-4) / (3-1) = 15/47 = 0,32$ που είναι μία πολύ μεγάλη τιμή. Αντίθετα, όταν επιλέξετε $t_s = 11,5^\circ\text{C}$, τότε προκύπτει $\text{BF} = 0,21$ που είναι μία πολύ λογική τιμή. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να προτιμήσετε το $t_s = 11,5^\circ\text{C}$, παρ' όλον ότι τα στοιχεία αναθέρμανσης και ψύξης θα είναι μεγαλύτερα και η ΚΜ ακριβότερη.

Όταν η παροχή του αέρα μειώνεται, τότε μειώνεται και η ταχύτητα του αέρα στο στοιχείο και ο αέρας παραμένει περισσότερη ώρα μέσα σ' αυτό. Αποτέλεσμα είναι ότι βελτιώνεται η τιμή του BF (γίνεται μικρότερη). Αντίστροφα, η αύξηση της παροχής του αέρα οδηγεί σε αύξηση του BF.

Επίσης, όταν έχουμε αφύγρανση, το νέφος σταγονιδίων που δημιουργείται γύρω από το στοιχείο, βελτιώνει σημαντικά την εναλλαγή θερμότητας, οπότε ο BF λαμβάνει διαφορετικές τιμές. Όσο μεγαλύτερη είναι η αφύγρανση που γίνεται, τόσο μεγαλώνει η εναλλαγή της θερμότητας.

2-14. Χαρακτηριστικές ιδιότητες του συντελεστή BF^1

Ο συντελεστής BF έχει δύο ιδιότητες που επιτρέπουν την κατά προσέγγιση εκτίμηση της απόδοσης μίας ΚΜ κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Αυτές είναι:

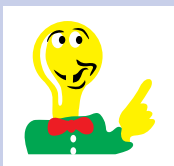
- (α) Όταν δεν υπάρχει αφύγρανση και όταν η παροχή του αέρα δεν μεταβάλλεται, να έχει τιμή η οποία εξαρτάται σχεδόν μόνο από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του στοιχείου. Και επειδή τα χαρακτηριστικά αυτά δεν μεταβάλλονται, η τιμή του BF , κάτω από αυτές τις συνθήκες, συμβαίνει να είναι σχεδόν σταθερή. Ως εκ τούτου, το κάθε στοιχείο έχει τη χαρακτηριστική ιδιότητα, ανάλογα και με τον τρόπο κατασκευής του, να παρουσιάζει συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή BF όταν δεν υπάρχει αφύγρανση και δεν μεταβάλλεται η παροχή του αέρα.
- (β) Οι συνθήκες εξόδου του αέρα από το στοιχείο βρίσκονται με σχετικά ικανοποιητική προσέγγιση, πάνω σε μία καμπύλη που είναι παράλληλη προς την καμπύλη κορεσμού.

2-15. Η επιλογή κλιματιστικών μηχανημάτων βάσει τεχνικής μελέτης²

Αποτέλεσμα των δύο χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των στοιχείων, τις οποίες αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι ότι, αν ξέρουμε έστω και ένα σημείο λειτουργίας κάποιου στοιχείου, μπορούμε να υπολογίσουμε με μία σχετικά ικανοποιητική προσέγγιση την απόδοση του στοιχείου κάτω από άλλες συνθήκες λειτουργίας. Αυτό μας επιτρέπει να επιλέξουμε τα σωστά μηχανήματα βάσει της τεχνικής μελέτης που έγινε κατά τον υπολογισμό των φορτίων. Ο υπολογισμός γίνεται με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη. Απαραίτητη προϋπόθεση, με όσα μάθαμε μέχρι τώρα, είναι να μην έχουμε αλλαγή της παροχής του αέρα. Ας το δούμε πώς γίνεται με ένα παράδειγμα.

¹ Η διδασκαλία κεφαλαίων με πλάγια γραφή εναπόκειται στην κρίση του διδάσκοντος.

² Η παράλειψη κάποιου κεφαλαίου έχει γίνει κυρίως με κριτήριο το βαθμό δυσκολίας του για τους μαθητές και δεν σημαίνει ότι το κεφάλαιο έχει μικρότερη σημασία από τα άλλα. Αυτό ειδικά το κεφάλαιο είναι πολύ χρήσιμο.



Αυτό που είναι το πλέον σημαντικό στην παρούσα παράγραφο δεν είναι ο τρόπος υπολογισμού της απόδοσης της κλιματιστικής μονάδας κάτω από άλλες συνθήκες, κάτι που ίσως να μην χρειαστεί ποτέ να κάνετε. Κυρίως θα πρέπει να θυμάστε ότι η **απόδοση μίας κλιματιστικής μονάδας εξαρτάται σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό από το φαινόμενο της αφύγρωσης, δηλαδή από την τιμή του συντελεστή SHR.**

Η άγνοια του παραπάνω οδηγεί σε τραγικά λάθη και ο λεπτομερής και κοπιαστικός υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων καθίσταται κυριολεκτικά άχρηστος. Για παράδειγμα αναφέρουμε ότι η επιλογή τοπικών κλιματιστικών μονάδων συχνά γίνεται βλέποντας μόνο το ολικό φορτίο και έχοντας υπόψη εσφαλμένους πρακτικούς κανόνες όπως: μέχρι ολικό φορτίο 2000 W βάζουμε Fan Coil 200 cfm (FCU-200), μέχρι 3000 W βάζουμε FCU-300, μέχρι 4000 W βάζουμε FCU-400, μέχρι 6000 W βάζουμε FCU-600 και μέχρι 8000 W βάζουμε FCU-800. Ένας τέτοιος τρόπος επιλογής αποτελεί μεγάλο λάθος και θέτει σε αχρηστία την τεχνική μελέτη.

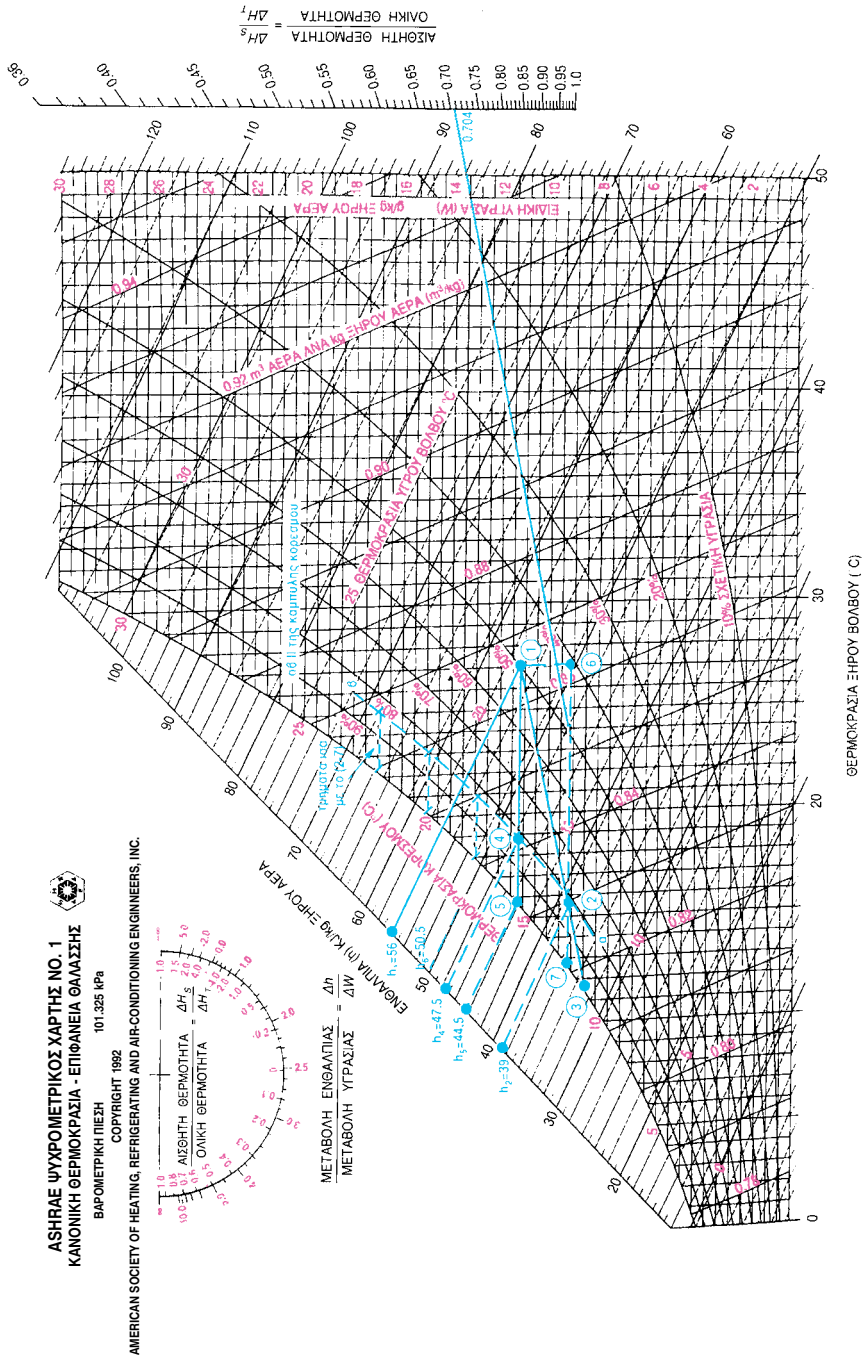


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ο κατασκευαστής μίας κλιματιστικής μονάδας την οποία την ονομάζει FCU-800, αναφέρει στον κατάλόγό του ότι η παροχή αέρα του μηχανήματος είναι 400 L/s και οι αποδόσεις του για εισερχόμενο αέρα 27 °C/50% είναι $q_s/q_T = 5370/7630$ W. Το εν λόγω μηχάνημα πρόκειται να λειτουργήσει σε ένα χώρο όπου οι συνθήκες πρέπει να είναι αυστηρά ελεγχόμενες 27 °C/50% αλλά δεν υπάρχει καθόλου λανθάνον φορτίο στο χώρο. Να βρεθούν:

- Η νέα απόδοση του στοιχείου
- Πόσες τέτοιες μονάδες θα χρειαστούν αν ο χώρος παρουσιάζει μέγιστο φορτίο $q_s = q_T = 45000$ W.

➡ Κάνοντας τους ψυχομετρικούς υπολογισμούς με τον τρόπο που γνωρίζουμε, έχουμε την ευθεία 1-2-3 του σχήματος (2-6). Τη διαδικασία σας την αφήνουμε σαν άσκηση. Από το σημείο 2 φέρνουμε παράλληλη καμπύλη προς την καμπύλη κορεσμού. Για να το κάνουμε αυτό, μετράμε το μήκος 2-7 με ένα υποδεκάμετρο και μετά, από διάφορα σημεία της καμπύλης κορεσμού, φέρουμε τμήματα ίσα με το 2-7 και ενώνουμε τα σημεία μεταξύ τους. Προκύπτει η καμπύλη α-β, που είναι η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης κορεσμού κατά το μήκος 2-7. Κοντά σ' αυτήν θα βρίσκο-



Σχήμα 2-6: Η απόδοση ΚΜ σε ξηρά λειτουργία.

νται οι συνθήκες εξόδου του αέρα για οποιαδήποτε άλλη τιμή του SHR.

Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε μόνο αισθητό φορτίο ($SHR=1$), οπότε η λειτουργία της μονάδας θα ακολουθήσει την ευθεία 1-4-5. Η απόδοση θα είναι:

$$q_s = q_T = w (h_1 - h_4) = (400 / 0,866)(56 - 47,5) = 3926 \text{ W}$$

Οπότε έχουμε $45000/3926 = 11,46$. Θα χρειαστούν 12 μονάδες.

Από το παραπάνω παράδειγμα αντιλαμβάνεστε πόσο τραγικό λάθος θα είχε γίνει αν η επιλογή των μηχανημάτων γινόταν με τον πρακτικό κανόνα που αναφέραμε, δηλαδή ότι μέχρι 8000 W βάζουμε ένα FCU-800. Ο τεχνικός θα τοποθετούσε μόνο έξη μονάδες ($45000/8 = 5,625$) ή δώδεκα μικρότερες και θα είχε εκτεθεί ανεπανόρθωτα.

Σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να ζητάτε τον **τύπο** και τον **κατασκευαστή** των κλιματιστικών μονάδων. Και αυτό επειδή τα κλιματιστικά μηχανήματα του κάθε κατασκευαστή, ακόμη και αν έχουν την ίδια ονομασία, έχουν διαφορετικές αποδόσεις. Οι μελετητές, επειδή το γνωρίζουν αυτό πολύ καλά, κατά κανόνα αναφέρουν ενδεικτικό τύπο, δηλαδή τον τύπο ενός τυχαίου κατασκευαστή. Ο τεχνικός όμως που θα του δοθεί η μελέτη για υλοποίηση, θα πρέπει να αποταθεί στον πραγματικό κατασκευαστή, με τις **αποδόσεις της μελέτης** και να ζητήσει από αυτόν τους τύπους των μηχανημάτων που θα τοποθετήσει.

ΑΣΚΗΣΗ: Βρείτε πόση περίπου θα είναι η απόδοση της παραπάνω μονάδας, όταν θα λειτουργήσει στις εξής συνθήκες:

- Σε υψόμετρο 1500 m (επειδή δεν έχετε τον αντίστοιχο ψυχομετρικό χάρτη, να αναφέρετε μόνο το σκεπτικό).
- Όταν η θερμοκρασία εισόδου του αέρα είναι $30^\circ\text{C}/60\%$ και $SHR = 0,55$.

ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Από την ευθεία 1-4-5 μπορείτε να βρείτε την τιμή του BF για ξηρά λειτουργία. Αυτή η τιμή είναι σταθερή (εφόσον δεν έχουμε αλλαγή της παροχής του αέρα) και θα σας βοηθήσει να βρείτε τη θέση της παράλληλης καμπύλης ως προς την καμπύλη κορεσμού, όπως είναι η καμπύλη α-β στο σχήμα (2-5).

Υπενθυμίζουμε ότι η μέθοδος αυτή είναι προσεγγιστική, αλλά η προσέγγιση είναι ικανοποιητική για τις συνήθεις πρακτικές εφαρμογές. Δεν υποκαθιστά όμως τον υπολογισμό που κάνει ένας κατασκευαστής ΚΜ και γι' αυτό, όταν χρειάζεστε καλύτερη ακρίβεια, θα πρέπει να ρωτήσετε τον κατασκευαστή της ΚΜ.

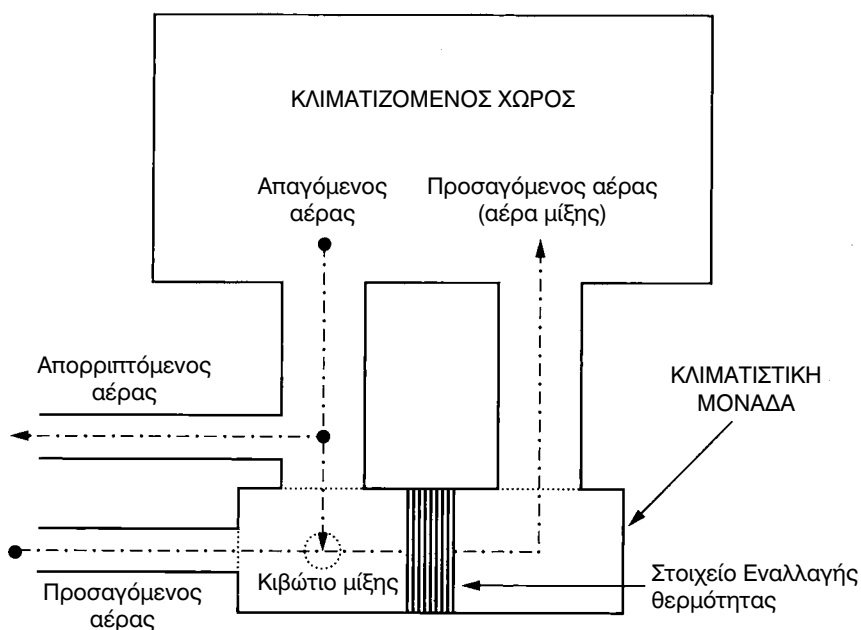
Η χρησιμότητα της μεθόδου συνίσταται στην περίπτωση που, όπως συχνά συμβαίνει στην πράξη, έχετε να δουλέψετε με μία ΚΜ της οποίας ο κατασκευαστής της

είναι άγνωστος, ή δεν υπάρχει πια, ή δεν είναι εύκολο να έρθετε σε επαφή μαζί του κλπ. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορείτε να εκτιμήσετε την απόδοση κάτω από άλλες συνθήκες λειτουργίας με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη.

2-16. Η λειτουργία κλιματιστικής μονάδας με αέρα ανακυκλοφορίας

Στον κεντρικό κλιματισμό, ένας συνήθης τρόπος λειτουργίας είναι να αναρροφούμε αέρα από το χώρο και ένα μέρος αυτού του αέρα να το απορρίπτουμε. Η υπόλοιπη ποσότητα του αέρα, που ονομάζεται αέρας ανακυκλοφορίας, αναμιγνύεται με νωπό αέρα που τραβάμε απευθείας από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο αέρας που προκύπτει από αυτή την ανάμειξη αποστέλλεται στο στοιχείο της ΚΜ, ψύχεται και μετά αποστέλλεται στο χώρο.

Τη διαδικασία αυτήν κλιματισμού τη βλέπουμε παραστατικά στο σχήμα (2-7). Όσον αφορά τον απαιτούμενο εξοπλισμό και τον τρόπο που υλοποιείται στην πράξη, θα τα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Εδώ θα περιοριστούμε στο να την αποτυπώσουμε στον ψυχομετρικό χάρτη.



Σχήμα 2-7: Σχηματική διάταξη της λειτουργίας ΚΜ με αέρα ανακυκλοφορίας.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ο κλιματιζόμενος χώρος έχει συνθήκες $27^{\circ}\text{C}/50\%$ (σημείο 1) και ο εξωτερικός χώρος $35^{\circ}\text{C}/45\%$ (σημείο 2). Ο αέρας που αποστέλλεται στο στοιχείο της ΚΜ (σημείο 3) προέρχεται από την ανάμειξη 1500 L/s νωπού αέρα και 3000 L/s αέρα ανακυκλοφορίας. Ο χώρος παρουσιάζει φορτία $q_s/q_T = 78.500/120.800 \text{ W}$. Το νερό που εισέρχεται στο στοιχείο έχει θερμοκρασία εισόδου / εξόδου $= 7/12^{\circ}\text{C}$. Να αποτυπωθούν οι αλλαγές στον ψυχομετρικό χάρτη και να βρεθούν:

- Αν είναι η ΚΜ κατασκευάσιμη κάτω από αυτές τις συνθήκες, χωρίς να απαιτείται στοιχείο αναθέρμανσης.
- Αν είναι κατασκευάσιμη, να υπολογιστούν οι συνθήκες του εξερχόμενου αέρα από το στοιχείο της ΚΜ. Επίσης να υπολογιστεί η παροχή του αέρα στην έξοδο του στοιχείου καθώς και η τιμή του συντελεστή BF.

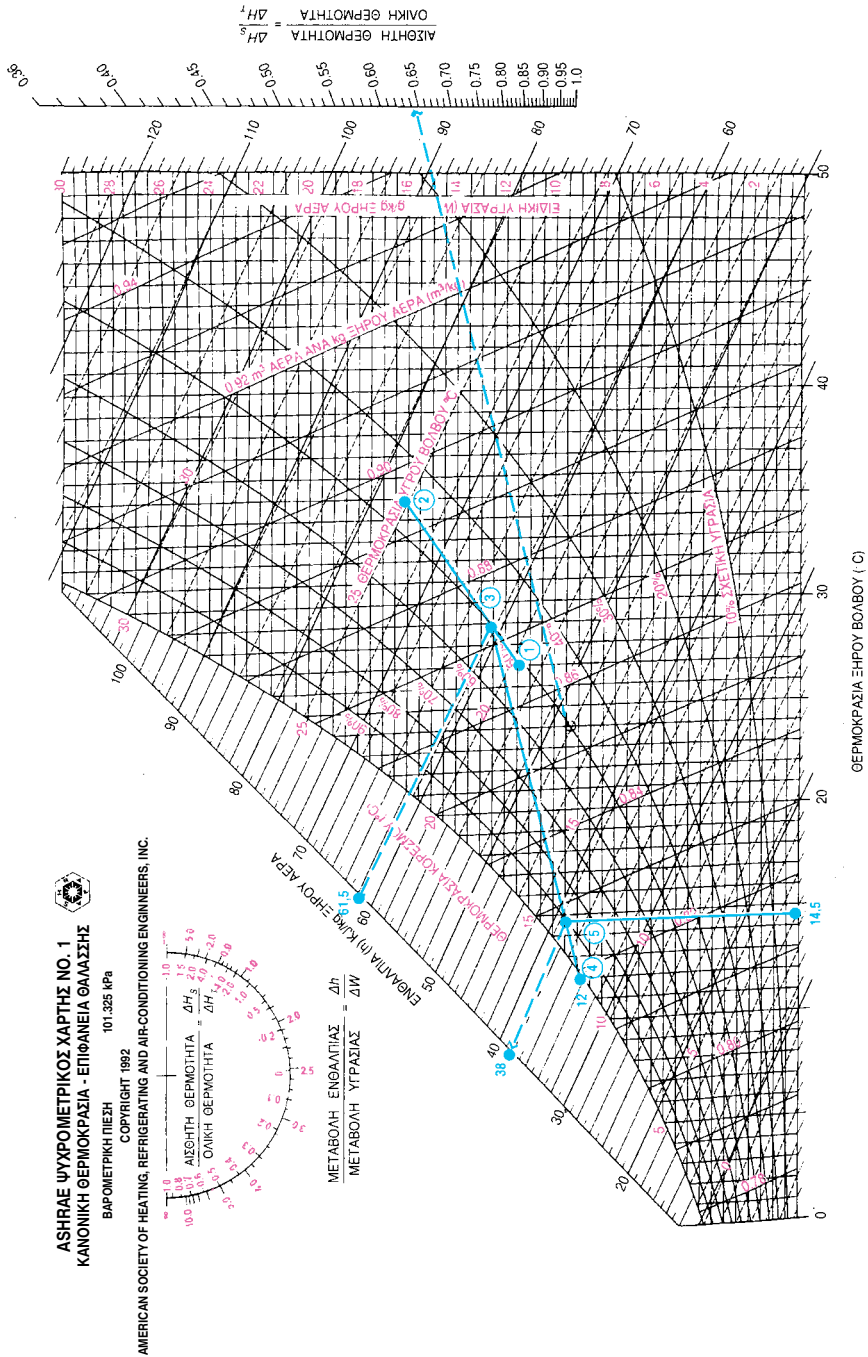
⇒ Βρίσκουμε τα σημεία 1 και 2 στον ψυχομετρικό χάρτη. Διαβάζουμε $w_1 = 0,866$ και $w_2 = 0,895$. Οπότε $w_1 = 3000 / 0,866 = 3464 \text{ g/s}$ και $w_2 = 1500 / 0,895 = 1676 \text{ g/s}$. Άρα $w_3 = 3464 + 1676 = 5140 \text{ g/s}$. Η θέση του σημείου 3 βρίσκεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που θα βρισκόταν το κέντρο βάρους της ευθείας 1-2, όταν στα σημεία 1 και 2 υπήρχαν μάζες 3464 και 1676 g. Δηλαδή:

$$(1-3):(1-2) = 1676 / 5140 = 0,326$$

Μετράμε το μήκος (1-2) με ένα υποδεκάμετρο και βρίσκουμε το (1-2) = 22mm. Το (1-3) ίσο με $0,326 \times (1-2) = 0,326 \times 22 \approx 7,2 \text{ mm} \approx 7,0 \text{ mm}$. Έτσι προσδιορίζουμε το σημείο 3. Το σημείο 3 έχει $h_3 = 61,5 \text{ kJ/kg}$. Η συνέχεια είναι γνωστή. Ο συντελεστής $\text{SHR} = 78.500 / 120.800 = 0,65$, οπότε χαράσσουμε την ευθεία 3-4 και βρίσκουμε ότι το $t_s = 12^{\circ}\text{C}$, δηλαδή κατά $2,5^{\circ}\text{C}$ μεγαλύτερο από τη μέση θερμοκρασία του νερού, που είναι $(7+12)/2 = 9,5^{\circ}\text{C}$. Άρα, στοιχείο αναθέρμανσης του αέρα δεν απαιτείται. Επίσης έχουμε:

$$q_T = 120.800 = 5140 (61,5 - h_5) \Rightarrow h_5 = 38 \text{ kJ/kg}$$

Βάσει του h_5 προσδιορίζουμε το σημείο 5 του εξερχόμενου αέρα. Έχει συνθήκες $14,5^{\circ}\text{C}/90\%$ και $w_5 = 0,827$. Η παροχή του αέρα, για τον υπολογισμό των αεραγωγών, είναι: $5140 \times 0,827 = 4250 \text{ L/s}$. Ο συντελεστής BF



Σχήμα 2-8: Η λειτουργία ΚΜ με ανακυκλοφορία του αέρα.

μπορεί να βρεθεί γραφικά ή υπολογιστικά. Έχουμε:

$$BF = (t_5 - t_s) / (t_3 - t_s) = (14,5 - 12) / (29,0 - 12) \Rightarrow$$

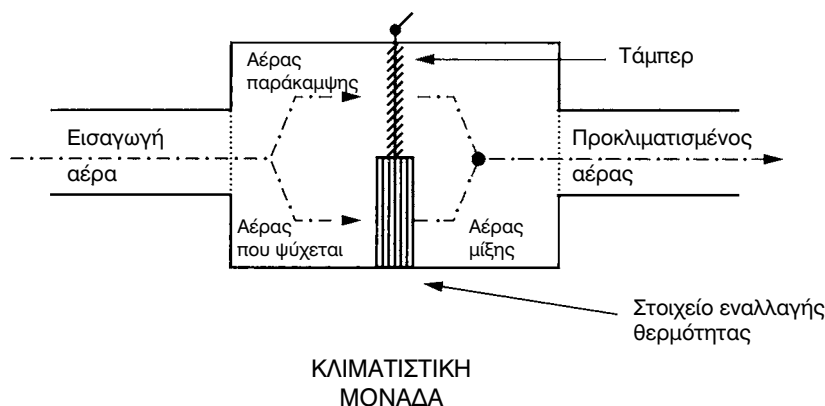
$$BF \approx 0,147 \text{ (λογική τιμή)}$$

Με τα παραπάνω στοιχεία, η ΚΜ είναι κατασκευάσιμη.

2-17. Η λειτουργία Κλιματιστικής μονάδας για παραγωγή προκλιματισμένου αέρα

Θα δούμε ένα ακόμη παράδειγμα αποτύπωσης της λειτουργίας ΚΜ στον ψυχομετρικό χάρτη. Πρόκειται για την περίπτωση που στέλνουμε στο χώρο προκλιματισμένο αέρα. Η λειτουργία συνοπτικά έχει ως εξής: Τα ψυκτικά φορτία τα αναλαμβάνουν τοπικές κλιματιστικές μονάδες που είναι μέσα στο χώρο. Όμως ο χώρος έχει ανάγκη και από ανανέωση του αέρα. Για να μη στέλνουμε απευθείας το ζεστό αέρα στο χώρο, τον προκλιματίζουμε, δηλαδή τον φέρνουμε σε μία θερμοκρασία περίπου όση και η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου ή και λίγο μικρότερη.

Για να παράγουμε αέρα με κάπως υψηλή θερμοκρασία, όπως π.χ. 23°C, ο ευκολότερος τρόπος είναι ένα μέρος του αέρα, μέσα στην κλιματιστική μονάδα, να παρακάμψει το στοιχείο της. Αυτό παραστατικά φαίνεται στο σχήμα (2-9). Τη λειτουργία αυτή, όσον αφορά τον εξοπλισμό, θα τη δούμε σ' επόμενο κεφάλαιο. Εδώ θα τη δούμε μόνο από πλευράς ψυχομετρικών υπολογισμών.



Σχήμα 2-9: Σχηματική διάταξη της λειτουργίας ΚΜ για προκλιματισμένο αέρα.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Οι λειτουργίες που περιγράφονται σ' αυτή και στην προηγούμενη παράγραφο δεν επιλέχτηκαν τυχαία. Αποτελούν τις δύο βασικές μεθόδους πάνω στις οποίες βασίζονται τα συστήματα κεντρικού κλιματισμού.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω ότι, στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου, θέλουμε ο αέρας που προσάγεται στο χώρο να είναι προκλιματισμένος, σε θερμοκρασία 23°C. Να βρεθεί η παροχή του αέρα που θα πρέπει να παρακάμπτει το στοιχείο της ΚΜ καθώς και η τιμή του συντελεστή BF της ΚΜ.

⇒ Η επίλυση βασικά είναι η ίδια με της προηγούμενης παραγράφου. Το επιθυμητό σημείο εξόδου του αέρα είναι το "6". Ο αέρας στο σημείο 6 προέρχεται από την ανάμειξη του αέρα που εξέρχεται από το στοιχείο και είναι στην κατάσταση 5, με τον αέρα μίξης που είναι στην κατάσταση 3. Μετράμε τα τμήματα (5-6) και (5-3) με ένα υποδεκάμετρο. Ο αέρας που παρακάμπτει το στοιχείο προκύπτει:

$$[(5-6):(5-3)] \times 5140 = (24/41) \times 5140 = 3000 \text{ g/s}$$

Αφού ο αέρας εξέρχεται από την ΚΜ στην κατάσταση 6, ο συντελεστής παράκαμψης της ΚΜ θα είναι:

$$BF = (t_6 - t_s) / (t_3 - t_s) = (23 - 12) / (29,0 - 12) \Rightarrow BF = 0,647$$

Η παραπάνω τεχνική είναι ο ευκολότερος τρόπος για να έχουμε μεγάλους συντελεστές παράκαμψης, δηλαδή υψηλές θερμοκρασίες εξόδου του αέρα από την ΚΜ και συγχρόνως να έχουμε τη δυνατότητα ρύθμισης της τιμής του BF, με την αλλαγή της θέσης του ρυθμιστικού τάμπερ.



2-18. Η θέρμανση και η ύγρανση του αέρα

Στο σχήμα (2-11) βλέπουμε τη διαδικασία της θέρμανσης. Πρόκειται για το αντίστοιχο σχήμα με το (2-3) στην ψύξη. Έστω ότι έχουμε $Q = 1000 \text{ L/s}$ αέρα περιβάλλοντος με συνθήκες $5^\circ\text{C}/50\%$ (σημείο 1) και θέλουμε να τον θερμάνουμε στις συνθήκες του χώρου που είναι 20°C (σημείο 2). Έχουμε $v_1 = 0,791$, οπότε η παροχή μάζας είναι $1000 / 0,791 = 1264 \text{ g/s}$. Επίσης $h_1 = 12 \text{ kJ/kg}$ και $h_2 = 27 \text{ kJ/kg}$. Η μεταβολή $1 \rightarrow 2$ ονομάζεται θέρμανση με σταθερή υγρασία. Οπότε η απαιτούμενη θερμότητα για την εν λόγω θέρμανση με σταθερή υγρασία είναι:

$$q_s = 1264 \times (27 - 12) = 18960 \text{ W}$$

Συχνά δεν γίνεται τίποτε περισσότερο στη θέρμανση. Παρατηρούμε όμως στο σχήμα (2-11) ότι η σχετική υγρασία πέφτει σε $\phi = 18\%$, δηλαδή θα έχουμε μία πολύ ξηρή ατμόσφαιρα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό θα πρέπει να προσθέσουμε υγρασία ώστε να φτάσουμε σε μία τιμή σχετικής υγρασίας περίπου 40% (σημείο 3 με συνθήκες $20^\circ\text{C}/40\%$). Η μεταβολή $2 \rightarrow 3$ ονομάζεται ύγρανση με σταθερή θερμοκρασία. Το $h_3 = 33 \text{ kJ/kg}$, οπότε έχουμε:

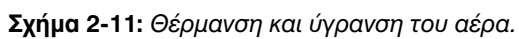
$$q_L = 1264 \times (33 - 27) = 7584 \text{ kJ/kg}$$

Αντί να ακολουθήσουμε τη διαδρομή $1 \rightarrow 2$ και μετά $2 \rightarrow 3$, μπορούμε να ακολουθήσουμε απευθείας τη διαδρομή $1 \rightarrow 3$. Το ολικό φορτίο θα είναι $q_T = q_s + q_L = 18960 + 7584 = 26544 \text{ kJ/kg}$. Μπορούμε να το υπολογίσουμε και απευθείας ως εξής:

$$q_T = 1264 \times (33 - 12) = 26544 \text{ kJ/kg}$$

Στη θέρμανση με ύγρανση, όπως αναφέρουμε και παρακάτω, η διαδικασία είναι διαφορετική από αυτή που λαμβάνει χώρα στην ψύξη με αφύγρανση. Συγκεκριμένα στην ψύξη, τα δύο φαινόμενα λαμβάνουν χώρα συγχρόνως. Αντίθετα στη θέρμανση, ο αέρας πρώτα θερμαίνεται και μετά υγραίνεται σε δύο διαφορετικά τελείως ανεξάρτητα μεταξύ τους στάδια. Η μεταβολή $2 \rightarrow 3$, έτσι όπως τη βλέπουμε στο σχήμα 2-11, ισχύει μόνο όταν δίνουμε έτοιμο ατμό (αν και πάλι υπάρχει μία μικρή απόκλιση, όπως θα δούμε παρακάτω, που όμως μπορεί να αγνοηθεί).

Όταν έχουμε ύγρανση με ψεκασμό νερού που ατμοποιείται απορροφώντας θερμότητα από τον αέρα του χώρου, τότε η θερμοκρασία του χώρου



πέφτει. Στην περίπτωση αυτή, η ποσότητα θερμότητας που εισέρχεται στο χώρο, αν δεν υπήρχε ο υγραντήρας, θα ήταν σε θέση να θερμάνει το χώρο μέχρι του σημείου 4, όπου $h_3 = h_4$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-11. Οι συνθήκες στο σημείο 4 είναι $28^\circ\text{C}/12\%$. Επειδή όμως ψεκάζεται το νερό, η εξάτμισή του οδηγεί τις συνθήκες του χώρου στο επιθυμητό σημείο 3 ($20^\circ\text{C}/40\%$).

2-19. Η λειτουργία Κλιματιστικής Μονάδας για θέρμανση και ύγρανση ³

Η θεώρηση της ύγρανσης με ψεκασμό, που έγινε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι πολύ απλουστευμένη. Στην πράξη, η ύγρανση με ψεκασμό γίνεται συνήθως μέσα σε κεντρική κλιματιστική μονάδα. Ο αέρας προσάγεται στο χώρο μετά την ύγρανσή του, με θερμοκρασία περίπου 40°C . Η πλήρης διαδικασία εκτέλεσης ψυχομετρικών υπολογισμών, όταν η εξάτμιση του νερού λαμβάνει χώρα μέσα στο ρεύμα του αέρα, είναι κάπως περίπλοκη και δεν θα αναπτυχθεί. Υπάρχει όμως η πολύ απλή εναλλακτική λύση να συνυπολογίσουμε το φορτίο για την ατμοποίηση του νερού μέσα στις θερμικές απώλειες. Αν η παροχή του υγραντήρα είναι w_u (σε g/s), τότε το φορτίο q_L που απαιτείται για την ατμοποίησή του, σε W, είναι:

$$q_L = 2500 \times w_u \quad (2-4)$$

Ο συντελεστής 2500 δεν είναι τίποτε άλλο από τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του νερού που είναι περίπου 2500 kJ/kg .

Κατά τα λοιπά, η εκτέλεση υπολογισμών για τη λειτουργία μίας ΚΜ σε συνθήκες θέρμανσης δεν έχει σοβαρές διαφορές από τη λειτουργία για ψύξη. Οι υπολογιστικές διαδικασίες είναι αρκετά όμοιες, με τη διαφορά ότι εκτελούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αντί για αφύγρανση του αέρα, στη θέρμανση έχουμε ύγρανση (ή ενδεχομένως και τίποτε). Είτε όμως έχουμε ύγρανση του αέρα είτε όχι, η λειτουργία του στοιχείου στη θέρμανση είναι ξηρά. Η προσθήκη της υγρασίας στον αέρα γίνεται μετά την έξοδο του αέρα από το στοιχείο. Αυτό απλοποιεί κάπως τους υπολογισμούς.

Η αποτύπωση στον ψυχομετρικό χάρτη διαφοροποιείται σημαντικά, επειδή στην ΚΜ η t_s (θερμοκρασία ενεργού επιφανείας) δεν βρίσκεται πάνω στην καμπύλη κορεσμού. Αντί αυτής έχουμε μία μέση θερμοκρασία της επιφανείας του στοιχείου, που είναι συνήθως $3-15^\circ\text{C}$ μικρότερη από τη μέση θερμοκρασία του νερού.

³ Η διδασκαλία κεφαλαίων με πλάγια γραφή εναπόκειται στην κρίση του διδάσκοντος.

Επειδή ο ψυχομετρικός χάρτης που έχετε περιορίζεται μέχρι τους 50°C , το σημείο που αντιπροσωπεύει τη μέση θερμοκρασία του νερού καθώς και τη θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας του στοιχείου μπορεί να βρίσκεται εκτός ψυχομετρικού χάρτη. Αυτό όμως δεν είναι πρόβλημα, επειδή για τους υπολογισμούς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση (2-1) του συντελεστή BF (βλ. παράγραφο 2-13). Στην προκειμένη περίπτωση, επειδή $t_s > t_2 > t_1$ είναι λογικότερο να τη χρησιμοποιούμε υπό τη μορφή:

$$BF = \frac{t_s - t_2}{t_s - t_1} \quad (2-5)$$

Αντίστοιχα ισχύουν οι σχέσεις (2-2) και (2-3):

$$q_{BF} = BF \cdot q_{max} \quad (2-6)$$

$$q = (1 - BF) \cdot q_{max} \quad (2-7)$$

Όπου t_1 και t_2 είναι οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του αέρα από το στοιχείο της ΚΜ. Σημασία έχει η τιμή της εξόδου του αέρα να βρίσκεται μέσα στην περιοχή του ψυχομετρικού χάρτη, πράγμα που σχεδόν πάντοτε συμβαίνει. Αν τυχόν συμβεί και η t_2 βρίσκεται εκτός ψυχομετρικού χάρτη, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάποιον άλλο ψυχομετρικό χάρτη που να καλύπτει μεγαλύτερη περιοχή θερμοκρασιών, όπως είναι ο No 3 της ASHRAE που καλύπτει την περιοχή $10 - 120^{\circ}\text{C}$.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Όταν έχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα, τότε βλέπουμε ότι η ενθαλπία πέφτει εκτός της κλίμακας του ψυχομετρικού χάρτη. Π.χ. αν έχουμε $2^{\circ}\text{C}/35\%$, θα δούμε ότι δεν μπορούμε να διαβάσουμε την τιμή του h . Όμως, στο σύστημα SI δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα επειδή το c_p του ατμοσφαιρικού αέρα είναι 1 kJ/kg . Αυτό σημαίνει π.χ. ότι η ευθεία που αντιστοιχεί σε $h = 20 \text{ kJ/kg}$ (βρείτε τη στον ψυχομετρικό χάρτη) τέμνει την οριζόντια κλίμακα του t_{db} στο σημείο 20°C . Αντίστοιχα, για το σημείο $2^{\circ}\text{C}/35\%$ η παράλληλη ευθεία με μία οποιαδήποτε ευθεία σταθερής ενθαλπίας τέμνει την κλίμακα του t_{db} στο σημείο 6°C . Άρα η ενθαλπία του σημείου $2^{\circ}\text{C}/35\%$ είναι 6 kJ/kg .



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Το στοιχείο ΚΜ τροφοδοτείται με νερό θερμοκρασίας $60/50^{\circ}\text{C}$ (είσοδος νερού 60°C , έξοδος 50°C). Δεχτείτε ότι η θερμοκρασία t_s είναι κατά 10°C χαμηλότερη από

τη μέση θερμοκρασία του νερού. Ο συντελεστής παράκαμψης του στοιχείου δίδεται ότι είναι 0,2. Η εν λόγω ΚΜ προορίζεται για τη θέρμανση ενός κτιρίου, όπου η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων προβλέπεται $20^{\circ}\text{C}/35\%$ (σημείο 1) ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι $5^{\circ}\text{C}/40\%$ (σημείο 2). Ο αέρας τροφοδοσίας της ΚΜ θα είναι 75% αέρας ανακυκλοφορίας και 25% νωπός αέρας. Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου, κάτω από αυτές τις συνθήκες, υπολογίστηκαν σε 130000 W (φορτίο θέρμανσης). Οι ανάγκες αερισμού των χώρων ανέρχονται σε 1200 L/s. Να ευρεθούν:

- α) Η απαιτούμενη παροχή του υγραντήρα και η επιβάρυνση του στοιχείου θέρμανσης σε φορτίο. Πόση θα πρέπει να είναι η ισχύς του στοιχείου της ΚΜ;
- β) Η απαιτούμενη παροχή του αέρα της ΚΜ.
- γ) Επαρκεί ο νωπός αέρας για τις ανάγκες αερισμού των χώρων; Αν ο αέρας προκύπτει ανεπαρκής ή αν είναι πολύ περισσότερος από όσος χρειάζεται, τι θα προτείνετε να γίνει;
- δ) Αν χαλάσει ξαφνικά ο υγραντήρας (ή αν δεν τοποθετηθεί υγραντήρας), ποιες θα είναι οι συνθήκες του χώρου; Δεχτείτε ότι η εσωτερική παραγωγή υγρασίας από άλλες πηγές είναι τελείως ασήμαντη.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Η επίλυση φαίνεται στο σχήμα 2-12. Για την ανανέωση του αέρα του χώρου απαιτούνται 1200 L/s με $v_1 = 0,837 \text{ m}^3/\text{kg}$, δηλαδή παροχή μάζας $w = 1200 / 0,837 = 1434 \text{ g/s}$. Ο αέρας αυτός από την κατάσταση 2, με $W_2 = 2,1 \text{ g/kg}$, πρέπει να φθάσει στην κατάσταση 1, με $W_1 = 5 \text{ g/kg}$. Άρα η παροχή του υγραντήρα είναι $w_v = 1434 \times (0,005 - 0,0021) = 4,16 \text{ g/s}$. Βάσει της σχέσης (2-4) έχουμε:

$$q_L = 4,16 \times 2500 = 10400 \text{ W} \approx 10000 \text{ W}.$$

Οπότε η ισχύς του στοιχείου θα πρέπει να είναι: .

$$q = 130000 + 10000 = 140000 \text{ W}$$



Σχήμα 2.12: Παράδειγμα θέρμανσης του αέρα σε ΚΜ.

Υπενθυμίζουμε ότι αν θέλουμε την παροχή του υγραντήρα σε kg/h πολλαπλασιάζουμε με το 3,6 (προκύπτει ότι η παροχή του υγραντήρα θα πρέπει να είναι περίπου 15 kg/h).

β) Από τον ψυχομετρικό χάρτη, βρίσκουμε ότι οι συνθήκες του αέρα μίξης, πριν το στοιχείο (σημείο 3), είναι 15 °C/38%. Η μέση θερμοκρασία του νερού είναι $(60+50)/2 = 55$ °C. Οπότε η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας είναι $t_s = 55 - 10 = 45$ °C. Η τιμή αυτή, συμπτωματικά, πέφτει μέσα στην περιοχή του ψυχομετρικού χάρτη και είναι στο σημείο 5. Το σημείο 4, απ' όπου εξέρχεται ο αέρας από το στοιχείο, προκύπτει από τον $BF = 0,2$ και είναι 39 °C. Η τιμή αυτή, αν η t_5 ήταν εκτός ψυχομετρικού χάρτη, θα μπορούσε να προκύψει και από την αναλυτική σχέση του BF , ως εξής:

$$BF = \frac{t_s - t_4}{t_s - t_5} = \frac{45 - t_4}{45 - 15} = 0,2 \Rightarrow t_4 = 39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Όπως είπαμε προηγουμένως, θα μας αρκούσε και μόνο η t_4 να βρίσκεται εντός του ψυχομετρικού χάρτη για να προχωρήσουμε στους υπολογισμούς μας.

Η ευθεία 3-4-5 είναι οριζόντια επειδή πρόκειται για θέρμανση χωρίς μεταβολή της υγρασίας (όπως είπαμε, η ύγρανση γίνεται μετά την έξοδο του αέρα από το στοιχείο). Από τον ψυχομετρικό χάρτη βρίσκουμε $h_4 = 50,5$ kJ/kg και $h_3 = 27$ kJ/kg. Υπολογίσαμε ότι $q = 140000$ W, οπότε η παροχή μάζας του αέρα w προκύπτει:

$$q = w (h_4 - h_3) \Rightarrow 140000 = w(50,5 - 27) \Rightarrow w = 5957 \text{ g/s}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα είναι στην κατάσταση 3, που παρουσιάζει $v_3 = 0,824$. Οπότε $Q = 5957 \times 0,824 = 4909$ L/s. .

γ) Ο όγκος του αέρα, όταν περιέλθει στην κατάσταση 1, θα είναι $5957 \times 0,837 = 4986$ L/s. Ο νωπός αέρας θα είναι $0,25 \times 4986 = 1247$ L/s. Το ποσό αυτό είναι πολύ κοντά στις απαιτήσεις εξαερισμού των χώρων που υπολογίστηκαν σε 1200 L/s. Αν η διαφορά ήταν μεγάλη, είτε προς τα επάνω είτε προς τα κάτω, θα έπρεπε να αλλάξουμε την αναλογία νωπού αέρα / αέρα ανακυκλοφορίας και να επαναλάβουμε την υπολογιστική διαδικασία.

δ) Αν δεν υπάρχει υγραντήρας, ούτε εσωτερικές πηγές υγρασίας στο χώρο, τότε η υγρασία θα σταθεροποιηθεί στην υγρασία του εξωτερικού χώρου ($W = 2,1$ g/kg). Οι μεταβολές θα βρίσκονται πάνω στη διακεκομμένη ευθεία του σχήματος 2-12 και αντί για τα σημεία 1, 3, 4, 5 θα έχουμε τα 1', 3', 4', 5'. Οι συνθήκες του χώρου θα είναι στο σημείο 1', δηλαδή 20 °C/15%. Θα έχουμε ως εκ τούτου μία πολύ ξηρή ατμόσφαιρα με υγρασία μόλις 15%.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι όταν γίνεται ύγρανση (θα δούμε ένα παράδειγμα παρακάτω), ο ατμός που προστίθεται ή το νερό που ψεκάζεται μπορεί να συνεισφέρει ή να αφαιρεί θερμότητα στο ρεύμα του αέρα.

Επειδή, όπως είπαμε, στις μεγάλες κλιματιστικές μονάδες, η προσθήκη της υγρασίας γίνεται συνήθως με ψεκασμό που πραγματοποιείται αμέσως μετά το στοιχείο. Το νερό που ψεκάζεται διαφοροποιεί κάπως την ψυχομετρική κατάσταση του αέρα που εξέρχεται από την ΚΜ. Αν θέλουμε να βρούμε την κατάσταση του εξερχόμενου αέρα από την ΚΜ, που είναι το σημείο 6, ενεργούμε ως εξής: Η παροχή του υγραντήρα υπολογίστηκε $w_u = 4,16 \text{ g/s}$ και η παροχή μάζας του αέρα σε $w = 5957 \text{ g/s}$. Η σχετική υγρασία $W_4 = 4,3 \text{ g/kg}$. Οπότε: $w_u = w \times (W_6 - W_4) \times 4,16 = 5957 \times (W_6 - 0,0043) \Rightarrow W_6 = 0,005 = 5 \text{ g/kg}$. Επειδή $h_4 = h_6$, από τον ψυχομετρικό χάρτη εύκολα προσδιορίζουμε το σημείο 6. Η μεταβολή βλέπουμε ότι δεν είναι σημαντική. Ο αέρας θα προσάγεται στους χώρους με συνθήκες $37,3^\circ\text{C}/13\%$.

2-20. Η ύγρανση ενός χώρου

Η τεχνική για την εκτέλεση υπολογισμών βασίζεται στο λόγο $\Delta h/\Delta W$ (μονάδες kJ/g), στον οποίο είχαμε αναφερθεί στην παράγραφο 2-9. Αυτό που επιπλέον χρειάζεται να γνωρίζουμε στην ύγρανση είναι η ενθαλπία h_w του νερού ή του υδρατμού, που εισέρχεται στο χώρο. Οι τιμές αυτές μας δίνονται στον πίνακα (2-3). Αν Q είναι το ποσό της θερμότητας που εισέρχεται σε ένα χώρο, μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και m_w η ποσότητα του νερού ή ατμού που εισέρχεται στο χώρο, μέσα στο ίδιο χρονικό διάστημα, τότε η σχέση που διέπει το λόγο $\Delta h/\Delta W$ είναι:

Πίνακας 2-3: Ενθαλπία κορεσμένου νερού και ατμού

T ($^\circ\text{C}$)	Νερό (kJ/kg)	Ατμός (kJ/kg)
10	42	2519
20	84	2537
30	126	2556
40	168	2574
50	209	2591
60	251	2809
70	293	2626
80	335	2643
90	377	2659
100	419	2675
110		2691

$$\frac{\Delta h}{\Delta W} = \frac{Q + m_w \cdot h_w}{m_w} \quad \text{σε kJ/g} \quad (2-7)$$

Αυτό που θα πρέπει να προσέξετε όταν χρησιμοποιείτε την παραπάνω σχέση είναι οι μονάδες. Το τελικό αποτέλεσμα είναι σε kJ/g . Για να μην υπάρχει περίπτωση λάθους, σας δίνουμε ένα παράδειγμα υπολογισμού του $\Delta h/\Delta W$.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε ένα χώρο θερμοκρασίας 30°C έχουμε θερμικό φορτίο $q = 10.000\text{ W}$ και επιπλέον έχουμε από τους ανθρώπους που βρίσκονται στο χώρο παραγόμενη υγρασία ίση με $2\text{ g/s} / 3 = 0,002\text{ kg/s}$. Να βρεθεί ο λόγος $\Delta h / \Delta W$.

➔ Εφόσον έχουμε $q = 10.000\text{ W}$, τότε σε χρονικό διάστημα 1 s εισέρχεται στο χώρο θερμότητα $Q = 10.000\text{ J} = 10\text{ kJ}$. Ο υδρατμός σε θερμοκρασία 30°C παρουσιάζει $h_w = 2556\text{ kJ/kg}$. Οπότε από τη σχέση (2-7) καταλήγουμε:

$$\frac{\Delta h}{\Delta W} = \frac{10 + 0,002 \times 2556}{0,002} = 7556\text{ kJ/kg} = 7,556\text{ kJ/g}$$

Δεν θα επεκταθούμε σε περαιτέρω υπολογισμούς, επειδή πρόκειται για μία περίπλοκη και δύσκολη διαδικασία που, εκτός των άλλων, στην πράξη ελάχιστα χρησιμοποιείται.

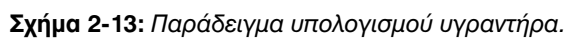
Η πλέον χρήσιμη και συγχρόνως εύκολη εφαρμογή της μεθόδου είναι για την επιλογή του κατάλληλου υγραντήρα ενός χώρου. Θα δούμε πώς γίνεται ο υπολογισμός με ένα πολύ απλό παράδειγμα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω ότι σε θερμαινόμενο χώρο στους 20°C μετρήσατε σχετική υγρασία 20% (σημείο 1). Ο χώρος αυτός αερίζεται με έναν απλό εξαεριστήρα παροχής 200 L/s που απορρίπτει αέρα στο περιβάλλον. Σας ζητάνε να τοποθετήσετε υγραντήρα για να ανεβάσετε την υγρασία, έτσι ώστε ο χώρος να έχει $\phi = 50\%$. Να βρείτε την παροχή του υγραντήρα αν αυτός παράγει ατμό 110°C . Ποια θα είναι η νέα θερμοκρασία του χώρου; Μπορείτε να δώσετε το ίδιο καλή λύση, αν αντί για ατμό ψεκάζετε νερό 80°C ;

➔ Από τον πίνακα βρίσκουμε ότι έχουμε $h_w = 2691\text{ kJ/kg} = 2,691\text{ kJ/g}$. Επειδή δεν έχουμε άλλα επιπλέον φορτία στο χώρο, παρά μόνο αυτά του υγραντήρα, έχουμε $\Delta h / \Delta W = 2,691\text{ kJ/g}$. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2-13, χαράσσουμε στο ημικύκλιο τη γραμμή 2,691 και από το σημείο 1 φέρουμε παράλληλη μέχρι αυτή να συναντήσει την καμπύλη $\phi = 50\%$. Έχουμε $w = 200 / 0,834 = 240\text{ g/s}$, $W_1 = 3,0\text{ g/kg} = 0,003$ και $W_2 = 7,5\text{ g/kg} = 0,0075$.



Οπότε η παροχή του υγραντήρα θα είναι: $240 \times (0,0075 - 0,003) = 1,08 \text{ g/s}$ ή $3,9 \text{ kg/h}$. Η θερμοκρασία του χώρου θα ανεβεί στο σημείο $T_{db} = 20,8^\circ\text{C}$.

Αν αντί για ατμό έχουμε νερό 80°C , τότε από τον πίνακα βλέπουμε ότι έχουμε $h_w = 335 \text{ kJ/kg}$, οπότε προκύπτει $\Delta h/\Delta W = 0,335$. Στην περίπτωση αυτή καταλήγουμε στο σημείο 3, το οποίο έχει $T_{db} = 15^\circ\text{C}$. Άρα δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε νερό επειδή θα πέσει η θερμοκρασία του χώρου.

2-21. Άλλες εφαρμογές της ψυχομετρίας και του ψυχομετρικού χάρτη ⁴

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύξαμε τη βασική θεωρία της ψυχομετρίας και μερικές απλές αλλά πολύ χρήσιμες εφαρμογές. Το ενδιαφέρον μας περιορίστηκε κυρίως στα εξής:

- Στη χάραξη της ευθείας που αντιπροσωπεύει τις μεταβολές μέσα σε μία ΚΜ, συμπεριλαμβανομένης της περίπτωσης που έχουμε ανανέωση του αέρα του χώρου.
- Στη διαπίστωση αν μία ΚΜ είναι κατασκευάσιμη χωρίς να απαιτείται στοιχείο αναθέρμανσης και τη μέθοδο που υπολογίζεται η θερμαντική απόδοση του στοιχείου αναθέρμανσης.
- Τον τρόπο που υπολογίζουμε την κατά προσέγγιση απόδοση μίας ΚΜ σε άλλες συνθήκες λειτουργίας και την επιλογή των ΚΜ και βάσει τεχνικής μελέτης.

Οι παραπάνω είναι οι πλέον χρήσιμες εφαρμογές της ψυχομετρίας και του ψυχομετρικού χάρτη. Όμως οι εφαρμογές του δεν περιορίζονται εδώ. Υπάρχουν πολλές ακόμη τις οποίες δεν αναπτύξαμε επειδή ξεφεύγουν από τους διδακτικούς στόχους του βιβλίου ⁵. Τέτοιες π.χ. είναι οι εξής:

- Στην εκτέλεση υπολογισμών σε ΚΜ που συμπεριλαμβάνουν εξάρτημα εξοικονόμησης ενέργειας.
- Στην ψύξη με ύγρανση του αέρα ή στην ψύξη με εναλλασσόμενες φάσεις ύγρανσης και αφύγρανσης (λαμβάνει χώρα κυρίως σε κλειστούς χώρους χωρίς ανανέωση αέρα).

4 Η διδασκαλία κεφαλαίων με πλάγια γραφή εναπόκειται στην κρίση του διδάσκοντος.

5 Για μεγαλύτερη εμβάθυνση στην τεχνική της ψυχομετρίας, υπάρχουν πολλά συγγράμματα (βλ. βιβλιογραφία).

- Σε υπολογισμούς που βασίζονται στη μεταβολή του λόγου $\Delta h/\Delta W$, όπως π.χ. είναι η ψύξη με ψεκασμό νερού ή η θέρμανση με ύγρανση μέσω υγραντήρα ψεκασμού σε μία ΚΜ (αναφερθήκαμε μόνο στον τρόπο υπολογισμού του μεγέθους ενός υγραντήρα που θα τοποθετηθεί για την ύγρανση του αέρα ενός συγκεκριμένου χώρου).
- Σε υπολογισμούς στους οποίους υπεισέρχεται και ο αυτοματισμός της λειτουργίας, όπως π.χ. στη ρύθμιση της θερμοκρασίας ενεργού επιφανείας με την παράκαμψη του αέρα επιστροφής (η ποσότητα του αέρα επιστροφής να ρυθμίζεται μέσω τάμπερ).

Αυτό που θα πρέπει να γίνει κατανοητό είναι ότι ο ψυχομετρικός χάρτης είναι ένα πολύ βασικό εργαλείο στα χέρια ενός ψυκτικού με εξειδίκευση στον κλιματισμό. Η γνώση τουλάχιστον των βασικών μεταβολών πάνω σ' αυτόν είναι προϋπόθεση για την κατανόηση και ερμηνεία των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στον κλιματισμό.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Η ψυχομετρία εξετάζει τις μεταβολές των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του αέρα.
- Ο ψυχομετρικός χάρτης περιέχει όλα τα θερμοδυναμικά ή ψυχομετρικά χαρακτηριστικά του αέρα σε μία και μοναδική σελίδα.
- Τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του αέρα, οι συμβολισμοί και οι μονάδες μέτρησης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιγραφή	Συμβολισμός	Μονάδες
Θερμοκρασία ξηρού βολβού	t_{db}	$^{\circ}\text{C}$
Θερμοκρασία υγρού βολβού	t_{wb}	$^{\circ}\text{C}$
Ειδικός όγκος	v	m^3/kg
Ενθαλπία	h	kJ/kg
Ειδική υγρασία	W	g/Kg
Σχετική υγρασία	ϕ	$\%$
Σημείο δρόσου	t_{dp}	$^{\circ}\text{C}$

- Το ψυκτικό φορτίο διακρίνεται σε ολικό, αισθητό και λανθάνον.
- Με τον ψυχομετρικό χάρτη γίνονται οι ψυχομετρικοί υπολογισμοί.
- Ο λόγος αισθητό φορτίο / ολικό φορτίο είναι ο συντελεστής SHR και έχει μεγάλη σημασία στην εκτέλεση ψυχομετρικών υπολογισμών.
- Η θερμοκρασία ενεργού επιφανείας της ΚΜ t_s , που λειτουργεί για την παροχή ψύξης, είναι το σημείο όπου η ευθεία που αντιπροσωπεύει τη λειτουργία της ΚΜ τέμνει την καμπύλη κορεσμού.
- Από το σημείο που τέμνεται η καμπύλη κορεσμού από την ευθεία λειτουργίας, καταλαβαίνουμε αν η ΚΜ χρειάζεται στοιχείο αναθέρμανσης. Αν το σημείο τομής είναι πάνω από τη μέση θερμοκρασία του νερού το στοιχείο αναθέρμανσης δεν χρειάζεται.
- Ο συντελεστής παράκαμψης BF είναι ο αέρας που παρακάμπτει το στοιχείο της Κλιματιστικής Μονάδας.
- Να γνωρίζετε καλά το παράδειγμα της παραγράφου 2-10 επειδή

αντιπροσωπεύει τον τρόπο λειτουργίας της κάθε κλιματιστικής μονάδας. Το παράδειγμα της παραγράφου 2-16 να το ξέρετε επίσης καλά επειδή απεικονίζει τη βασική μέθοδο επεξεργασίας του αέρα στον κεντρικό κλιματισμό.

- Ο υπολογισμός του απαιτούμενου μεγέθους του υγραντήρα γίνεται βάσει του λόγου $\Delta h/\Delta W$.
- ⁷Για μία συγκεκριμένη παροχή αέρα, ο *BF* παρουσιάζει σταθερή τιμή μόνο όταν δεν υπάρχει αφύγρανση. Αν είναι γνωστός ο *BF* σε ξηρά λειτουργία, μπορούμε να βρούμε τις κατά προσέγγιση αποδόσεις μίας *KM* κάτω από άλλες συνθήκες λειτουργίας.
- Η επιλογή των *KM*, βάσει των φορτίων που έχουν προκύψει από τεχνική μελέτη, δεν μπορεί να γίνεται με απλούς κανόνες, επειδή η απόδοσή τους εξαρτάται από την τιμή του *SHR*. Πρέπει, βάσει της τιμής του *SHR*, να γίνεται διόρθωση της απόδοσης των *KM*.

7 Αναφέρεται σε κεφάλαιο του οποίου η διδασκαλία έχει αφεθεί στην κρίση του διδάσκοντος.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

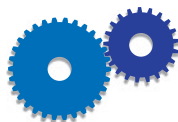
1. Τι είναι ο κλιματισμένος αέρας και τι επιπλέον προσδιορίζουμε γι' αυτόν μέσω της ψυχομετρίας;
2. Για ποια χαρακτηριστικά του αέρα χρησιμοποιούμε την ψυχομετρία;
3. Πού δεν επεμβαίνει καθόλου η ψυχομετρία; Δώστε τρία παραδείγματα για χαρακτηριστικά του αέρα που έχουν σημασία για τη διαμόρφωση συνθηκών άνεσης, αλλά που δεν έχουν σχέση με την ψυχομετρία.
4. Τι επιτυγχάνεται μέσω του ψυχομετρικού χάρτη;
5. Σε μία εγκατάσταση κλιματισμού, που έγινε σε υψόμετρο 1500 m, διαπιστώθηκε ότι η λειτουργία δεν ήταν ικανοποιητική. Εκτός από την πιθανότητα λάθους υπολογισμών της μελέτης ή κακής κατασκευής, τι άλλο θα μπορούσε να έχει συμβεί;
6. Πόσα είναι τα χαρακτηριστικά του αέρα που εμφανίζονται στον ψυχομετρικό χάρτη και ποια είναι αυτά;
7. Ποια είναι η διαφορά μεταξύ ειδικής ενθαλπίας, θερμότητας και φορτίου;
8. Τι είναι το λανθάνον, το αισθητό και το ολικό φορτίο;
9. Τι είναι η θερμοκρασία ενεργού επιφανείας μίας ΚΜ και πώς συμβολίζεται;
10. Είναι επιτυχής κατά τη γνώμη σας η ταύτιση του όρου *effective surface temperature* (θερμοκρασία ενεργού επιφανείας) με τον όρο σημείο Δρόσου ΚΜ;
11. Τι είναι ο συντελεστής παράκαμψης μίας ΚΜ;
12. Ποιες είναι οι πλέον συνηθισμένες τιμές για τη θερμοκρασία ενεργού επιφανείας μίας ΚΜ και ποιες για τον συντελεστή παράκαμψης;
13. Για να μπορεί ένας κατασκευαστής να κατασκευάσει την ΚΜ που του προδιαγράφετε, τι από τα παρακάτω θα πρέπει να ισχύει;

- (1) Να προκύπτει λογική η τιμή της θερμοκρασίας της ενεργού επιφανείας της ΚΜ.
 - (2) Να προκύπτει λογική τιμή για το συντελεστή παράκαμψης.
 - (3) Να ισχύουν συγχρόνως και τα δύο.
14. Αναφέρατε έναν καλό συνδυασμό τιμών της θερμοκρασίας της ενεργού επιφανείας της ΚΜ και του συντελεστή παράκαμψης, για να είναι εύκολη η κατασκευή της ΚΜ.
 15. Αν η ευθεία του SHR, όπως αυτή προκύπτει από τα φορτία του χώρου, δεν τέμνει την καμπύλη κορεσμού, η ΚΜ μπορεί να κατασκευαστεί; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
 16. Όταν η ευθεία του SHR δεν τέμνει την καμπύλη κορεσμού, τι χρειάζεται να γίνει για να είναι η ΚΜ κατασκευάσιμη;
 17. ⁸Κάτω από ποιες συνθήκες λειτουργίας, μπορούμε να δεχτούμε ότι ο συντελεστής παράκαμψης έχει σταθερή τιμή;
 18. Όταν μεταβάλλεται ο συντελεστής SHR, πάνω σε ποια καμπύλη θα αναζητήσετε τα σημεία που αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες εξόδου του αέρα από την ΚΜ;
 19. Αναφέρατε έναν πρακτικό κανόνα επιλογής τοπικών κλιματιστικών μονάδων (Fan Coil Units ή για συντομία FCU) ο οποίος είναι λάθος. Αιτιολογήσατε γιατί είναι λάθος.
 20. Σας δώσανε για υλοποίηση μία μελέτη που αναφέρει επάνω μόνο τους τύπους των τοπικών κλιματιστικών μονάδων, που τις ονομάζει FCU-200, FCU-300, FC-400, FC-600 κ.λπ. Η μελέτη δεν αναφέρει ούτε κατασκευαστή ούτε φορτία. Σημειώστε στον παρακάτω πίνακα ποιες από τις ενέργειες που αναγράφονται είναι σωστές και ποιες είναι λάθος, βάζοντας έναν αριθμό στο αντίστοιχο τετράγωνο. Την πιο σωστή λύση τη σημειώνετε με 1, την επόμενη με 2 κ.λπ. Αντίστοιχα την πιο λανθασμένη με 1, τη λιγότερο λανθασμένη με 2 κ.λπ. Θα είχατε να προτείνετε και τίποτε άλλο; Συζητήστε στην τάξη τις απόψεις σας.

8 Οι ερωτήσεις σε πλάγια γραφή αφορούν αντίστοιχες παραγράφους, επίσης σε πλάγια γραφή, η διδασκαλία των οποίων είχε αφαιρεθεί στην κρίση του διδάσκοντος

Ενέργεια	Σωστή	Σωστή
Ζητάτε από το μελετητή τις αναλυτικές αποδόσεις για να τις στείλετε στον κατασκευαστή που προτιμάτε		
Στέλνετε το σχέδιο, όπως είναι στον προμηθευτή των FCU και του ζητάτε τη γνώμη του		
Ζητάτε να μάθετε ποιον κατασκευαστή FCU είχε υπόψη του ο μελετητής όταν καθόριζε τους τύπους και παραγγέλλετε τα FCU από αυτό τον κατασκευαστή		
Παραγγέλλετε σε έναν οποιονδήποτε κατασκευαστή τα μηχανήματα βάσει της ονομασίας τους		
Ζητάτε μόνο τα ολικά φορτία από το μελετητή και εφαρμόζετε κάποιον πρακτικό κανόνα επιλογής των FCU		
Δηλώνετε ότι έτσι όπως είναι η μελέτη δεν αναλαμβάνετε να την εκτελέσετε		
Ζητάτε τη βοήθεια κάποιου φίλου σας, μελετητή κλιματιστικών εγκαταστάσεων		
Τοποθετείτε FCU κατά ένα μέγεθος μεγαλύτερα για να είσαστε σίγουρος (δηλαδή αντί FCU-200 το FCU-300, αντί FCU-300 το FCU-400 κ.λπ.)		

21. Υποψιάζεστε ότι ο κατασκευαστής της κλιματιστικής μονάδα έχει κάνει ένα σοβαρό λάθος και σας έχει δώσει πολύ υψηλές αποδόσεις. Τι θα κάνετε για να τον ελέγξετε;
22. Με τον τρόπο που αναφέρατε παραπάνω μπορείτε, κατά τη γνώμη σας, να ελέγξετε μόνο τα σοβαρά λάθη ή και πολύ μικρά λάθη στην απόδοση; Αιτιολογήστε την απάντησή σας με ένα απλό παράδειγμα πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη.
23. Βρίσκεστε μπροστά από μία ΚΜ, που ο κατασκευαστής της έχει κλείσει από χρόνια. Σας ζητάνε να τη μεταφέρετε αλλού για τον κλιματισμό ενός μικρότερου χώρου, που έχει μόνο αισθητό φορτίο, το οποίο όμως σας είναι γνωστό. Αν η παροχή αέρα δεν μεταβληθεί, υπάρχει τρόπος να διαπιστώσετε κατά πόσο η μονάδα είναι κατάλληλη, βάσει των αποδόσεων που αναφέρει η πινακίδα της;



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Στους παρακάτω τεχνικούς όρους συμπληρώστε τις στήλες με τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα και τις μονάδες. Αν δεν υπάρχουν μονάδες να βάζετε παύλα (-).

Περιγραφή	Συμβολισμός	Μονάδες
Θερμοκρασία ξηρού βολβού		
Θερμοκρασία υγρού βολβού		
Ειδικός όγκος		
Ενθαλπία (ειδική ενθαλπία)		
Ειδική Υγρασία		
Σχετική υγρασία		
Σημείο δρόσου		
Θερμότητα (ολική, αισθητή, λανθάνουσα)		
Φορτίο (ολικό, αισθητό, λανθάνον)		
Μάζα		
Παροχή σε όγκο (αέρα, νερού κ.λπ.)		
Παροχή μάζας		
Συντελεστής αισθητής θερμότητας		
Συντελεστής παράκαμψης		
Θερμοκρασία ενεργού επιφανείας ΚΜ		

2. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα με τις μετατροπές μονάδων άλλων συστημάτων που συναντώνται στην πράξη:

Για μετατροπή από ... σε ...,	Διαιρούμε με τον αριθμό:	Εφαρμογή	
kcal/h → W		1000 kcal/h =	
Btu/h → W		10000 Btu/h =	
m ³ /h → L/s		540 m ³ /h =	
cfm → L/s		2000 cfm =	

3. Υπολογίστε με πόσα W αντιστοιχούν τα συνήθη μεγέθη αυτόνομων κλιματιστικών του εμπορίου: 9000, 12000, 18000 και 24000 Btu/h.

4. Τα τυποποιημένα μεγέθη των τοπικών κλιματιστικών μονάδων με τροφοδοσία νερού (Fan Coil Units) χαρακτηρίζονται βάσει της ονομαστικής παροχής του αέρα. Αυτά είναι: 200, 300, 400, 600, 800 και 1000 cfm. Πώς θα προτεινате να ονομαστούν, στο σύστημα SI, αν θα χρησιμοποιούσατε μία προσεγγιστική σχέση μεταξύ των cfm και των L/s;
5. Μία ποσότητα αέρα 8000 m³ έχει συνθήκες 37°C/35%. Θέλουμε να τη φέρουμε σε συνθήκες 21°C/50%. Να υπολογίσετε τη θερμότητα που θα πρέπει να αφαιρεθεί από την εν λόγω ποσότητα του αέρα (ολική, αισθητή, λανθάνουσα) καθώς και την ποσότητα νερού που θα συγκεντρωθεί εξ αιτίας της υγρασίας που θα απομακρυνθεί.
6. Μία ποσότητα αέρα 22000 m³ έχει συνθήκες 9°C/50%. Θέλουμε να τη φέρουμε σε συνθήκες 22°C/45%. Να υπολογίσετε τη θερμότητα που θα πρέπει να προστεθεί στην εν λόγω ποσότητα του αέρα (ολική, αισθητή, λανθάνουσα) καθώς και την ποσότητα νερού που θα πρέπει να ατμοποιηθεί για να προστεθεί στο χώρο.
7. Η παροχή του αέρα σε έναν αεραγωγό είναι 400 L/s και έχει συνθήκες 37°C/35%. Θέλουμε να τη φέρουμε σε συνθήκες 21°C/60%. Να υπολογίσετε πόσο είναι το ψυκτικό φορτίο (ολικό, αισθητό, λανθάνον) καθώς και το νερό εξ αιτίας της αφύγρανσης (σε g/s και σε kg/h) που θα καταλήγει στην αποχέτευση.
8. Η παροχή του αέρα σε έναν αεραγωγό είναι 1200 L/s και έχει συνθήκες 12°C/60%. Θέλουμε να τη φέρουμε σε συνθήκες 22°C/50%. Να υπολογίσετε πόσο είναι το θερμικό φορτίο (ολικό, αισθητό, λανθάνον) καθώς και η απαιτούμενη παροχή νερού του υγραντήρα (σε g/s και σε kg/h).
9. Έστω ότι σε περίοδο μεγάλης ζέσης, σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο, σας κάλεσαν και σας είπαν ότι δεν είναι ικανοποιημένοι από το κλιματιστικό τους μηχάνημα και χρειάζονται να βάλουν ένα μεγαλύτερο. Εσείς διαπιστώσατε από το τεχνικό εγχειρίδιο του μηχανήματος ότι το μηχάνημα είναι 9000 Btu/h και ότι η παροχή αέρα του ανεμιστήρα του είναι 210 cfm. Μετρήσατε επίσης και βρήκατε ότι στο χώρο επικρατούν συνθήκες, σε ώρα αιχμής του φορτίου, 30°C/48%. Δεδομένου ότι η ιδανική θερμοκρασία θα ήταν περί τους 26°C/50%, τι μέγεθος αυτόνο-

μου κλιματιστικού θα τους προτείνετε να αγοράσουν; Τα διατιθέμενα μεγαλύτερα μεγέθη είναι 12000, 18000 και 24000 Btu/h.

10. Το φορτίο ενός χώρου είναι $q_s/q_T = 8500 / 10500 \text{ W}$. Ο χώρος κλιματίζεται από μία τοπική μονάδα, χωρίς νωπό αέρα. Αν οι συνθήκες του αέρα του χώρου είναι $26^\circ\text{C}/55\%$, να βρεθεί το t_s της ΚΜ.
11. Σε κλιματιζόμενο χώρο οι συνθήκες του χώρου είναι $29^\circ\text{C}/60\%$ (σημείο 1). Η παροχή αέρα του ανεμιστήρα της ΚΜ είναι 850 L/s, ενώ δεν υπάρχει είσοδος νωπού αέρα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ψυκτική ισχύς της μονάδας είναι 11500/21000 W. Να ευρεθούν (α) τα v_1 , h_1 , W_1 του αέρα που εισέρχεται στην ΚΜ, (β) οι συνθήκες του αέρα που εξέρχεται από την ΚΜ (σημείο 2) καθώς και τα v_2 , h_2 , W_2 , (γ) η ποσότητα του νερού που συμπυκνώνεται ανά ώρα.
12. Ομοίως με την προηγούμενη άσκηση αν πρόκειται για βιομηχανικό κλιματισμό με συνθήκες χώρου $19^\circ\text{C}/70\%$, παροχή αέρα 4000 L/s και ψυκτική ισχύ της μονάδας 38000/64000 W.
13. Ομοίως με την προηγούμενη άσκηση αν οι συνθήκες του χώρου είναι $23^\circ\text{C}/60\%$, η παροχή αέρα 2700 L/s και η ψυκτική ισχύς της μονάδας είναι 25000/32000 W.
14. Έστω ότι σε θερμαινόμενο χώρο στους 24°C μετρήσατε σχετική υγρασία 25%. Ο χώρος αυτός αερίζεται με έναν εξαεριστήρα παροχής 300 L/s που απορρίπτει αέρα στο περιβάλλον. Σας ζητάνε να τοποθετήσετε υγραντήρα για να ανεβάσετε την υγρασία, έτσι ώστε ο χώρος να έχει $\phi = 50\%$. Να βρείτε την παροχή του υγραντήρα, αν αυτός παράγει ατμό 100°C . Ποια θα είναι η νέα θερμοκρασία του χώρου; Μπορείτε να δώσετε λύση, αν αντί για ατμό ψεκάζετε νερό 100°C ;
15. Έστω ότι από τη μελέτη των ψυκτικών φορτίων προέκυψε πως για τον κλιματισμό ενός χώρου, με επιθυμητές συνθήκες $26^\circ\text{C}/45\%$, χρειαζόμαστε $q_s/q_T = 30000/45000 \text{ W}$. Η παροχή του αέρα είναι $Q = 5160 \text{ L/s}$ ενώ δεν υπάρχει εισαγωγή νωπού αέρα. Να ελεγχθεί αν η εν λόγω ΚΜ είναι κατασκευάσιμη. Αν δεν είναι, να υπολογιστεί η ισχύς του στοιχείου αναθέρμανσης q_R καθώς και η νέα ισχύς του ψυκτικού στοιχείου. Η μέση θερμοκρασία του νερού στο στοιχείο θεωρείται ότι είναι 8°C . Το t_s να το επιλέξετε κατά την κρίση σας. Προσέξτε να προκύπτει λογική

η τιμή του t_s , καθώς και η τιμή του συντελεστή παράκαμψης που είναι προτιμότερο να βρίσκεται στην περιοχή 0,1-0,2.

16. Ομοίως, όπως στην παραπάνω άσκηση, αλλά με συνθήκες χώρου $22^\circ\text{C}/65\%$, $q_s/q_T = 5700/10000 \text{ W}$, παροχή αέρα $Q = 680 \text{ L/s}$ και μέση θερμοκρασία νερού $8,5^\circ\text{C}$.
17. Σε μία εγκατάσταση βιομηχανικού κλιματισμού, οι συνθήκες στο χώρο θα πρέπει να διατηρούνται $17^\circ\text{C}/60\%$. Το φορτίο είναι $35000/40000$. Το νερό που τροφοδοτεί το στοιχείο της ΚΜ είναι $4/8^\circ\text{C}$. Αιτιολογήστε γιατί δεν χρειάζεται στοιχείο αναθέρμανσης. Επιλέξτε μόνοι σας την τιμή για το συντελεστή παράκαμψης στην περιοχή 0,1-0,2. Υπολογίστε τις συνθήκες εξόδου του αέρα καθώς και την απαιτούμενη παροχή του αέρα.
18. Κλιματιζόμενος χώρος έχει συνθήκες $26^\circ\text{C}/55\%$ και ο εξωτερικός χώρος $40^\circ\text{C}/35\%$. Ο αέρας που αποστέλλεται στο στοιχείο της ΚΜ, προέρχεται από την ανάμειξη 2000 L/s νωπού αέρα και 8000 L/s αέρα ανακυκλοφορίας. Ο χώρος παρουσιάζει φορτία $q_s/q_T = 150000/210000 \text{ W}$. Το νερό που εισέρχεται στο στοιχείο έχει θερμοκρασία εισόδου / εξόδου = $7/12^\circ\text{C}$. Αιτιολογήστε γιατί δεν χρειάζεται στοιχείο αναθέρμανσης. Στη συνέχεια να αποτυπωθούν οι αλλαγές στον ψυχομετρικό χάρτη και να υπολογιστούν οι συνθήκες του εισερχόμενου και του εξερχόμενου αέρα στο στοιχείο της ΚΜ. Επίσης να υπολογιστεί η εξερχόμενη από την ΚΜ παροχή του αέρα σε L/s καθώς και η τιμή του BF.
19. Κλιματιζόμενος χώρος έχει συνθήκες $27^\circ\text{C}/50\%$ και ο εξωτερικός χώρος $37^\circ\text{C}/40\%$. Ο αέρας που αποστέλλεται στο στοιχείο της ΚΜ προέρχεται από την ανάμειξη 1500 L/s νωπού αέρα και 3500 L/s αέρα ανακυκλοφορίας. Έχουμε $q_s/q_T = 56000/95000 \text{ W}$. Να ελεγχθεί αν η εν λόγω ΚΜ είναι κατασκευάσιμη. Αν δεν είναι, να υπολογιστεί η ισχύς του στοιχείου αναθέρμανσης q_R καθώς και η νέα ισχύς του ψυκτικού στοιχείου. Η μέση θερμοκρασία του νερού στο στοιχείο θεωρείται ότι είναι $9,5^\circ\text{C}$. Το t_s να το επιλέξετε κατά την κρίση σας. Προσέξτε όμως ότι πρέπει να προκύπτει λογική και η τιμή του συντελεστή παράκαμψης, κατά προτίμηση στην περιοχή 0,1-0,2.
20. Κλιματιζόμενος χώρος έχει συνθήκες $26^\circ\text{C}/55\%$ και ο εξωτερικός χώρος $40^\circ\text{C}/35\%$. Ο αέρας που αποστέλλεται στο στοιχείο της ΚΜ προέρχεται

από την ανάμειξη 2000 L/s νωπού αέρα και 8000 L/s αέρα ανακυκλοφορίας. Θέλουμε στο χώρο να προσάγεται προκλιματισμένος αέρας, σε θερμοκρασία 21°C . Ο συντελεστής $\text{SHR} = 0,72$ και το στοιχείο παρουσιάζει $\text{BF} = 0,15$. Να βρεθεί η παροχή του αέρα που θα πρέπει να παρακάμπτει το στοιχείο της ΚΜ, καθώς και η τιμή του BF της ΚΜ.

21. Κλιματιζόμενος χώρος έχει συνθήκες $27^{\circ}\text{C}/50\%$ και ο εξωτερικός χώρος $37^{\circ}\text{C}/40\%$. Ο αέρας που αποστέλλεται στο στοιχείο της ΚΜ προέρχεται από την ανάμειξη 1500 L/s νωπού αέρα και 3500 L/s αέρα ανακυκλοφορίας. Θέλουμε στο χώρο να προσάγεται προκλιματισμένος αέρας, σε θερμοκρασία 25°C . Ο συντελεστής $\text{SHR} = 0,75$ και το στοιχείο παρουσιάζει $\text{BF} = 0,12$. Να βρεθεί η παροχή του αέρα που θα πρέπει να παρακάμπτει το στοιχείο της ΚΜ, καθώς και η τιμή του BF .
22. ⁹ Ένας συγκεκριμένος χώρος παρουσιάζει φορτίο 42000/50000 W. Οι επιθυμητές συνθήκες του χώρου είναι $27^{\circ}\text{C}/50\%$ και πρόκειται να κλιματιστεί με τοπικές μονάδες. Το κρύο νερό που θα τροφοδοτεί τις μονάδες θα είναι 7°C . Ο κατασκευαστής των κλιματιστικών μονάδων αναφέρει στον κατάλόγό του ότι η παροχή αέρα της κάθε μονάδας είναι 530 L/s αλλά οι συντελεστές SHR που προκύπτουν από τον πίνακα με τις αποδόσεις είναι αρκετά διαφορετικοί από τον SHR του χώρου. Η πλησιέστερη τιμή που υπάρχει στον πίνακα είναι για εισερχόμενο αέρα $27^{\circ}\text{C}/50\%$ και νερό 7°C με αντίστοιχη απόδοση της μονάδας $q_s/q_T = 6200/8500$ W. Να βρεθεί πόσες τέτοιες μονάδες θα χρειαστεί να παραγγελθούν.
23. Ο κατασκευαστής μίας κλιματιστικής μονάδας αναφέρει στον κατάλόγό του ότι η παροχή αέρα του μηχανήματος είναι 280 L/s και οι αποδόσεις για εισερχόμενο αέρα $29^{\circ}\text{C}/50\%$ είναι $q_s/q_T = 4170/5820$ W. Βρείτε τις κατά προσέγγιση αποδόσεις (α) σε ξηρά λειτουργία, (β) όταν $\text{SHR} = 0,83$, (γ) όταν $\text{SHR} = 0,65$.
24. Έστω ότι ζητάτε να αγοράσετε μία κλιματιστική μονάδα. Έχετε ορίσει στις προδιαγραφές σας ότι θέλετε συγκεκριμένες διαστάσεις, λόγω περιορισμένου χώρου, αλλά ζητάτε οι αποδόσεις να είναι κατά το δυνατόν μεγαλύτερες. Οι συνθήκες εισόδου του αέρα στο στοιχείο της ΚΜ είναι $30^{\circ}\text{C}/45\%$, το νερό είναι $7/12^{\circ}\text{C}$, η ελάχιστη αποδεκτή παροχή αέρα 6200 L/s και η ελάχιστη αποδεκτή

9 Οι ασκήσεις με πλάγια γραφή αναφέρονται σε κεφάλαια των οποίων η διδασκαλία έχει αφεθεί στην κρίση του διδάσκοντος.

απόδοση είναι 90000/130000 W. Στην πρόσκλησή σας ανταποκρίθηκαν πέντε κατασκευαστές και οι αποδόσεις τους ήταν ως εξής:

ΑΙΑ προσφοράς	Παροχή αέρα (L/s)	Απόδοση(W)
1	6300	144000/236000
2	6200	100000/141000
3	6400	103000/140000
4	6250	111000/148000
5	6300	147000/223200

Η προφανής ασυμφωνία των προσφορών σας βάζει σε υποψίες μήπως κάποιοι δεν είναι ειλικρινείς στις αποδόσεις τους και ισχυρίζονται ότι έχουν μεγάλες αποδόσεις για να πάρουν τη δουλειά. Ελέγξτε τη δυνατότητα να υπάρχουν πράγματι αυτές οι αποδόσεις με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη και απορρίψτε τις προσφορές που δεν σας φαίνονται σωστές, αιτιολογώντας το λόγο της απόρριψής τους. Από τις υπόλοιπες προσφορές βρείτε τη μονάδα που έχει πραγματικά την καλύτερη απόδοση.

ΥΠΟΔΕΙΞΗ: η καλύτερη μονάδα προφανώς είναι αυτή που με το ίδιο t_s παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση, δηλαδή το μικρότερο συντελεστή παράκαμψης (BF).

25. Το στοιχείο ΚΜ τροφοδοτείται με νερό θερμοκρασίας 65/55 °C (είσοδος νερού 65 °C, έξοδος 55 °C). Δεχτείτε ότι η θερμοκρασία ενεργού επιφανείας είναι κατά 8 °C χαμηλότερη από τη μέση θερμοκρασία του νερού. Ο συντελεστής παράκαμψης του στοιχείου δίδεται ότι είναι 0,15. Η εν λόγω ΚΜ προορίζεται για τη θέρμανση ενός κτιρίου, όπου η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων προβλέπεται 20 °C/40% ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος 3 °C/40% ($h = 7 \text{ kJ/kg}$). Ο αέρας τροφοδοσίας της ΚΜ θα είναι 65% αέρας ανακυκλοφορίας και 35% νωπός αέρας. Η ύγρανση γίνεται με ψεκασμό νερού. Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου, κάτω από αυτές τις συνθήκες, υπολογίστηκαν σε 260.000 W μαζί με τις ανάγκες για εξάτμιση νερού (φορτίο θέρμανσης + ύγρανσης). Να ευρεθούν (α) Η απαιτούμενη παροχή του αέρα (β) Η παροχή του υγραντήρα και το ποσοστό του συνολικού φορτίου που απαιτείται για την ατμοποίηση του νερού (γ) αν δεν τοποθετηθεί ο υγραντήρας ποιες θα είναι οι συνθήκες του χώρου (η εσωτερική παραγωγή υγρασίας από άλλες πηγές θεωρείται ως τελείως ασήμαντη).

26. Το στοιχείο ΚΜ τροφοδοτείται με νερό θερμοκρασίας 70 °C. Η εν λόγω ΚΜ προορίζεται για τη θέρμανση ενός κτιρίου, όπου η θερμοκρασία των εσωτερικών

χώρων προβλέπεται $22^{\circ}\text{C}/45\%$ ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος $2^{\circ}\text{C}/35\%$ ($h = 6 \text{ kJ/kg}$). Ο αέρας τροφοδοσίας της ΚΜ θα είναι 5000 L/s αέρας ανακυκλοφορίας και 2000 L/s νωπός αέρας. Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου, κάτω από αυτές τις συνθήκες, υπολογίστηκαν σε 235.000 W (φορτίο θέρμανσης). Η ύγρανση γίνεται με ψεκασμό νερού. Να ευρεθούν: (α) Η απαιτούμενη παροχή νερού του υγραντήρα (β) Το συνολικό φορτίο μαζί με την επιβάρυνση λόγω εξάτμισης του νερού του υγραντήρα (γ) Η θερμοκρασία του εξερχόμενου αέρα (δ) Η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας, αν ο συντελεστής παράκαμψης έχει τιμή $0,23$ (ε) Η θερμοκρασία που θα εξέρχεται το νερό από την ΚΜ, αν δεχτείτε ότι η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας είναι κατά 10°C χαμηλότερη από τη μέση θερμοκρασία του νερού (στ) Αν χαλάσει ξαφνικά ο υγραντήρας ποιες θα είναι οι συνθήκες του χώρου (η εσωτερική παραγωγή υγρασίας από άλλες πηγές θεωρείται ως τελείως ασήμαντη).

ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ



- ✓ Να αντιληφθούν οι μαθητές πώς είναι η θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου.
- ✓ Να γνωρίσουν οι μαθητές τα είδη των θερμικών φορτίων και να τα υπολογίζουν.
- ✓ Να περιγράφουν και να υπολογίζουν τα διάφορα είδη των ψυκτικών φορτίων.
- ✓ Να υπολογίζουν οι μαθητές το ποσό του απαιτούμενου κλιματισμένου αέρα για το κλιματισμό ενός χώρου.
- ✓ Να εξοικειωθούν με τη χρήση των ειδικών πινάκων για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.
- ✓ Να μπορούν να υπολογίζουν το μέγεθος μικρών αυτόνομων κλιματιστικών μηχανημάτων που απαιτούνται για τον κλιματισμό μικρών χώρων.
- ✓ Να συνδέσουν αυτά που έμαθαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (ψυχομετρία) με τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

3-1. Η θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου

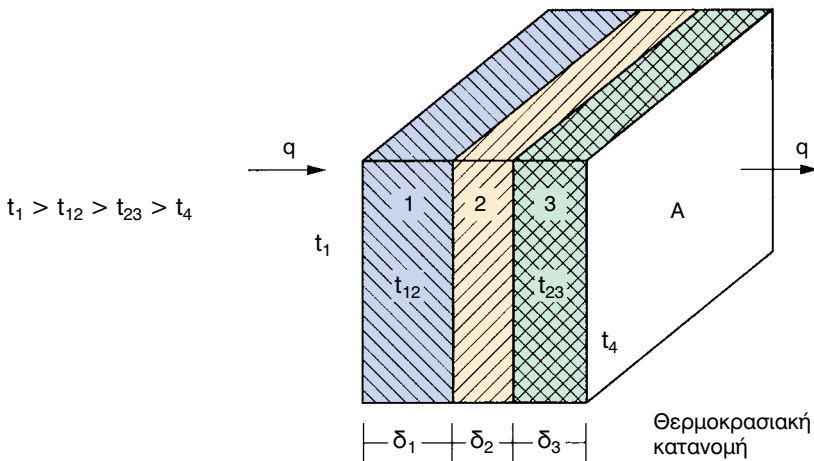
Δεν θα αναφερθούμε λεπτομερώς στη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου και ούτε θα επεκταθούμε σε δύσκολους υπολογισμούς. Θα αναφερθούμε μόνο περιγραφικά στα φαινόμενα και η ανάπτυξη θα περιοριστεί στο βαθμό που χρειάζεται για να γίνουν αντιληπτές κάποιες έννοιες που έχουν σημασία στον υπολογισμό των φορτίων και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια. Επίσης, με την ανάπτυξη που θα κάνουμε θα μπορείτε να ερμηνεύσετε κάποια περίεργα εκ πρώτης όψεως φαινόμενα που παρουσιάζονται στον κλιματισμό.

(α) Θερμικές απώλειες και Θερμικά κέρδη - Θερμικά φορτία και ψυκτικά φορτία

Οι θερμικές απώλειες και τα θερμικά κέρδη ενός θερμαινόμενου χώρου οφείλονται κυρίως στο δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής που μας λέει ότι:

Η θερμότητα ρέει πάντα από χώρους ή σώματα υψηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης προς χώρους ή σώματα χαμηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης.

Έτσι το χειμώνα, όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος (έξω από το θερμαινόμενο χώρο) είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του χώρου που θερμαίνουμε, έχουμε ροή θερμότητας από το θερμαινόμενο χώρο προς το εξωτερικό περιβάλλον. Τότε λέμε ότι έχουμε θερμικές απώλειες. Για να διατηρηθεί η θερμοκρασία ενός θερμαινόμενου χώρου στο επιθυμητό επίπεδο (περίπου 20°C), θα πρέπει οι **θερμικές απώλειες** του χώρου να αναπληρώνονται από κάποια εσωτερική πηγή θερμότητας. Τέτοιες πηγές θερμότητας μπορεί να είναι ένα θερμαντικό σώμα, ένα αερόθερμο, ένα αυτόνομο κλιματιστικό μηχάνημα, ο ζεστός αέρας που στέλνεται από μία κεντρική μονάδα θέρμανσης κλπ. Σε επόμενη παράγραφο θα εξετάσουμε από ποιους παράγοντες εξαρτάται το μέγεθος των απωλειών θερμότητας και πώς τις υπολογίζουμε.

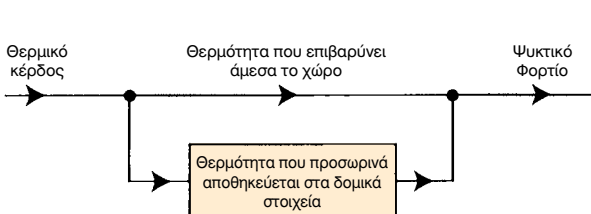


Σχήμα 3-1: Η ροή θερμότητας γίνεται από το χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας προς το χώρο χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Αντίθετα, το καλοκαίρι έχουμε εισροή θερμότητας από το περιβάλλον προς τους χώρους. Τότε λέμε ότι έχουμε **θερμικά κέρδη**. Για να διατηρηθεί η θερμοκρασία ενός κλιματιζόμενου χώρου στο επιθυμητό επίπεδο (περίπου 27°C), θα πρέπει τα θερμικά κέρδη του χώρου να αποβάλλονται από κάποιο κατάλληλο μηχανισμό. Τέτοιος μπορεί να είναι ένα αυτόνομο ψυκτικό μηχανήμα ή μία αντλία θερμότητας ή κάποιο σύστημα κεντρικού κλιματισμού κλπ.

Με τον τεχνικό όρο **ψυκτικά φορτία** εννοούμε το ποσό της θερμότητας που **προστίθεται** στον κλιματιζόμενο χώρο στη μονάδα του χρόνου, προερχόμενο από διάφορες πηγές και επιβαρύνει την κλιματιστική εγκατάσταση¹.

¹ Η διαφορά μεταξύ των όρων “κέρδη” - “απώλειες” και του όρου “φορτίο” είναι ότι τα “κέρδη” και οι “απώλειες” είναι αντίστοιχα η θερμότητα που εισέρχεται σε κάποιο χώρο ή που χάνεται από το χώρο. Δεν επιβαρύνουν κατ’ ανάγκη την κλιματιστική εγκατάσταση τη στιγμή που παρουσιάζονται. Αντίθετα, το “φορτίο” είναι η ισχύς που πραγματικά επιβαρύνει την κλιματιστική εγκατάσταση.



Παραστατικά τους όρους θερμικό κέρδος - ψυκτικό φορτίο και τη μεταξύ τους σχέση τη βλέπουμε στο σχήμα.

Η λεπτομερής επεξήγηση όμως τέτοιων εννοιών ξεφεύγει από τους στόχους του βιβλίου.

Αντίστοιχα, με τον τεχνικό όρο **θερμικά φορτία** εννοούμε το ποσό της θερμότητας που πρέπει να **αφαιρείται** από τον κλιματιζόμενο χώρο στη μονάδα του χρόνου, μέσω της κλιματιστικής εγκατάστασης.

Μόνο τους παραπάνω δύο όρους, δηλαδή ψυκτικά φορτία και θερμικά φορτία, θα χρησιμοποιούμε στη συνέχεια του βιβλίου.

Τα ψυκτικά φορτία λέγονται και φορτία θέρους ενώ τα θερμικά φορτία λέγονται και φορτία χειμώνα. Συνοψίζοντας έχουμε τις ονομασίες που φαίνονται στον πίνακα (3-1):

Πίνακας 3-1: Τεχνικοί όροι που χρησιμοποιούνται για την ονομασία των φορτίων

Εποχή του έτους	Είδος φορτίων	Συνώνυμες εκφράσεις
Καλοκαίρι	Ψυκτικά φορτία	Θερμικά κέρδη Φορτία θέρους
Χειμώνας	Θερμικά φορτία	Θερμικές απώλειες Φορτία χειμώνα

Αν και τα ψυκτικά φορτία συνδέονται με το καλοκαίρι, μπορεί καμιά φορά να συμβεί σε έναν κλιματιζόμενο χώρο να έχουμε ψυκτικά φορτία ακόμη και το χειμώνα αν έχουμε έκλυση θερμότητας από μηχανήματα μεγάλης ισχύος που βρίσκονται μέσα στο χώρο.

Τα ψυκτικά και τα θερμικά φορτία μετριούνται σε μονάδες ισχύος, δηλαδή σε W. Η τυπική μονάδα για τα φορτία στο σύστημα SI είναι το W, αλλά προσέξτε ότι για την ισχύ των μηχανημάτων, που θα πρέπει να εγκατασταθούν για να αντιμετωπίσουν τα φορτία, η τυπική μονάδα είναι το kW (βλ. το κεφάλαιο της εισαγωγής). Έτσι ο πιο σωστός τρόπος για να εκφραστούμε είναι π.χ. ότι ένας χώρος παρουσιάζει ψυκτικό φορτίο 2000 W και γι' αυτό η ψυκτική ισχύς του μηχανήματος που θα πρέπει να βάλουμε είναι 2 kW. Βέβαια, δεν είναι λάθος αν δεν χρησιμοποιήσουμε την τυπική μονάδα, όπως αναφέραμε στην αρχή του βιβλίου, στα συστήματα μονάδων.

(β) Η θερμότητα μεταφέρεται με πολύ αργό ρυθμό, μέσα από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου

Αυτό είναι το φαινόμενο της χρονικής καθυστέρησης στη μεταφορά της θερμότητας. Για να καταλάβουμε τι ακριβώς είναι, έστω ότι έχουμε μία τα-

ράτσα μίας κατοικίας και η ώρα είναι 07.00 το πρωί (οι αριθμοί παρακάτω είναι ενδεικτικοί χάριν του παραδείγματος και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές). Ο χώρος δεν είναι κλιματιζόμενος και η ταράτσα έχει θερμοκρασία 28°C . Την ίδια θερμοκρασία έστω ότι έχει και η οροφή του σπιτιού κάτω ακριβώς από την ταράτσα.

Καθώς περνάει η ώρα, ο ήλιος ανεβαίνει και προσβάλλει με τις ακτίνες του την ταράτσα ανεβάζοντας συνεχώς τη θερμοκρασία της επιφανείας της. Γύρω στις 11.00 η θερμοκρασία της πλάκας έστω ότι έχει ανέβει στους 40°C , αλλά μέσα στο σπίτι δεν νοιώθουμε καμία θερμοκρασιακή διαφορά και η οροφή παραμένει στους 28°C . Τι συμβαίνει; Η θερμότητα που εισέρχεται από την ταράτσα εισχωρεί στο εσωτερικό του σπιτιού με αργό ρυθμό. Περί την 13.00 η ταράτσα έχει θερμοκρασία περί τους 50°C και η θερμοκρασία της οροφής είναι 32°C . Έχουμε πλέον αρχίσει να αισθανόμαστε τη ζέστη. Το απόγευμα, γύρω στις 17.00, η ένταση των ακτινών του ηλίου έχει μειωθεί και η θερμοκρασία της ταράτσας έχει πέσει στους 35°C και το περιβάλλον έχει αρχίσει να γίνεται κάπως δροσερό. Όμως μέσα στο σπίτι υπάρχει φοβερή ζέστη και η οροφή έχει θερμοκρασία 40°C . Είναι επειδή ένα μεγάλο ποσό θερμότητας έφτασε, μετά από αρκετές ώρες, στο εσωτερικό του σπιτιού.

Η ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται η θερμότητα δεν είναι παντού η ίδια και διαφέρει ανάλογα με τα υλικά κατασκευής. Όταν παρεμβάλλεται θερμομόνωση, η ταχύτητα μεταφοράς της θερμότητας μέσα από τη θερμομόνωση είναι πολύ χαμηλή, οπότε το φαινόμενο μπορεί να εμφανίζεται αρκετές ώρες αργότερα και να έχουμε ένα πολύ ζεστό σπίτι, την ώρα που στο περιβάλλον επικρατεί δροσιά. Από την άλλη όμως, όταν υπάρχει θερμομόνωση, τα ποσά της θερμότητας που φθάνουν στο εσωτερικό του σπιτιού είναι μικρότερα.

(γ) Το κάθε κτίριο είναι μία τεράστια αποθήκη θερμότητας

Τα δομικά στοιχεία του κάθε κτιρίου αποθηκεύουν θερμότητα. Τα ποσά αυτά της θερμότητας που μπορούν να αποθηκευτούν είναι εξαιρετικά μεγάλα και ισοδυναμούν, σε ποσότητα ενέργειας, με τη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού επί αρκετές δεκάδες ώρες. Όταν ένα κτίριο μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλη ποσότητα θερμότητας, τότε λέμε ότι έχει μεγάλη **ενεργό θερμοχωρητικότητα** και αντιστρόφως.

Η πρακτική συνέπεια από τη δυνατότητα των δομικών στοιχείων να αποθηκεύουν θερμότητα είναι ότι το θερμικό ή το ψυκτικό φορτίο είναι μι-

κρότερο από το άθροισμα όλων των ποσοτήτων θερμότητας που εισέρχονται ή απομακρύνονται από ένα συγκεκριμένο χώρο σε μία ορισμένη χρονική στιγμή. Αν π.χ. σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή εισέρχεται ισχύς θερμότητας 4000 W, μόνο ένα μέρος της, π.χ. τα 1000 W, θα εμφανιστεί αμέσως υπό μορφή ψυκτικού φορτίου. Τα υπόλοιπα θα απορροφηθούν από τα δομικά στοιχεία της οικοδομής.

Ο τρόπος που κατασκευάζονται τα περισσότερα κτίρια στην Ελλάδα (βαρύς σκελετός από σκυρόδεμα, διπλοί τοίχοι από τούβλα κλπ.), έχει ως αποτέλεσμα οι ελληνικές οικοδομές να έχουν τη μέγιστη δυνατή ενεργό θερμοχωρητικότητα που θα μπορούσε να έχει ένα κτίριο. **Γι' αυτό και ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων, που θα αναπτυχθεί στο παρόν κεφάλαιο, θα είναι προσαρμοσμένος για κατασκευές μεγάλης θερμοχωρητικότητας.**

Για να καταλάβουμε πώς λειτουργεί αυτή η τεράστια ποσότητα θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένη στα δομικά στοιχεία, ας δούμε πρώτα τι γίνεται στη θέρμανση. Η θέρμανση δεν οφείλεται τόσο στα θερμαντικά στοιχεία του χώρου, αλλά κυρίως προέρχεται από την αποθηκευμένη ενέργεια στα δομικά στοιχεία της οικοδομής. Έτσι, όταν διακόπτεται η λειτουργία της θέρμανσης, θα παρατηρήσετε πως ο χώρος παραμένει ζεστός για πολλές ώρες. Αυτό οφείλεται στο ότι εξακολουθεί ο χώρος να θερμαίνεται από τη θερμότητα που βρίσκεται συσσωρευμένη στα δομικά στοιχεία. Όταν η θέρμανση αρχίσει πάλι να λειτουργεί, εκτός από τις απώλειες, θα αναπληρώσει και την ενέργεια των δομικών στοιχείων που εν τω μεταξύ χρησιμοποιήθηκε (χάθηκε).

Το αντίστροφο ακριβώς συμβαίνει όταν έχουμε τη λειτουργία της εγκατάστασης για ψύξη. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στα δομικά στοιχεία της οικοδομής βρίσκεται αποθηκευμένη μία πολλή μικρή ποσότητα θερμότητας και γι' αυτό το λόγο τα δομικά στοιχεία είναι σε θέση να απορροφούν πολύ εύκολα την εισερχόμενη θερμότητα στο χώρο. Η εγκατάσταση κλιματισμού λειτουργεί αφ' ενός για να εξισορροπεί τα ψυκτικά φορτία, αλλά και για να διατηρεί την επιφάνεια των τοίχων σε χαμηλή θερμοκρασία, δηλαδή την αποθηκευμένη θερμότητα στα δομικά στοιχεία σε χαμηλά επίπεδα. Η θερμοχωρητικότητα του αέρα του χώρου είναι ασήμαντη, όπως θα μπορούσατε να διαπιστώσετε κάνοντας τον υπολογισμό της βάσει του ψυχομετρικού χάρτη. Ο χώρος διατηρείται δροσερός με τη βοήθεια των δομικών στοιχείων που θα πρέπει να διατηρούνται δροσερά για να ψύχουν τον περιεχόμενο αέρα και να απορροφούν συγχρόνως ένα μέρος από την εισερχόμενη θερμότητα.

² Η ενεργός θερμοχωρητικότητα συμβολίζεται με το γράμμα **C**. Η αποθηκευμένη θερμότητα στο κτίριο δίδεται από τη σχέση:

$$Q_C = C \times (t_i - t_o) \quad (3-1)$$

Όπου:

Q_C = H αποθηκευμένη θερμότητα σε kJ

t_i = H εσωτερική θερμοκρασία των χώρων σε °C

t_o = H θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε °C

C = H ενεργός θερμοχωρητικότητα του κτιρίου σε kJ/K

Η ενεργός θερμοχωρητικότητα ενός δομικού στοιχείου βρίσκεται αν πολλαπλασιάσουμε την ειδική θερμοχωρητικότητα c_p του υλικού με την πυκνότητα ρ και με τον όγκο του V . Δηλαδή:

$$C = c_p \times \rho \times V \quad (3-2)$$

Το άθροισμα όλων των ενεργών θερμοχωρητικοτήτων των επί μέρους στοιχείων μας δίνει την ενεργό θερμοχωρητικότητα του κτιρίου.

Το Q_C αριθμητικά προκύπτει δεκάδες φορές μεγαλύτερο από την ποσότητα που χρειάζεται ένα κτίριο για τη θέρμανση ή την ψύξη του, μέσα σε μία ώρα. Ιδίως μάλιστα, αν είναι σωστά θερμομονωμένο, μπορεί να είναι ακόμη και σχεδόν εκατό φορές μεγαλύτερο. Για να γίνει αντιληπτό πόσο μεγάλη είναι η θερμότητα Q_C , σας δίνουμε το παρακάτω παράδειγμα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Διαμέρισμα έχει εμβαδόν 120 m^2 . Οι θερμικές του απώλειες για θερμοκρασία του περιβάλλοντος 0°C και εσωτερικών χώρων 20°C είναι $q = 12000 \text{ W}$. Η πλάκα της οροφής του είναι πάχους 18 cm . Να υπολογιστεί η θερμοχωρητικότητα της πλάκας και το ποσό της θερμότητας που είναι αποθηκευμένο σ' αυτήν. Επίσης να βρεθεί πόσες φορές είναι μεγαλύτερη από τις θερμικές απώλειες του διαμερίσματος.

➡ Η ειδική θερμοχωρητικότητα του μπετόν είναι $c_p = 0,65 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ και η ειδική πυκνότητά του 2400 kg/m^3 . Ο όγκος της πλάκας σε m^3 είναι $0,18 \times 120 = 21,6 \text{ m}^3$. Οπότε από την (3-2) έχουμε:

$$C = 0,65 \times 2400 \times 21,6 = 33696 \text{ kJ/K} \approx 33,7 \text{ MJ/K}$$

² Η διδασκαλία των τμημάτων του κειμένου που είναι σε πλάγια γραφή εναπόκειται στην κρίση του διδάσκοντος.

Από τη σχέση (3-1) προκύπτει:

$$Q_c = 33,7 \times (20 - 0) = 674 \text{ MJ}$$

Η ενέργεια που καταναλώνεται μέσα σε μία ώρα (3600 s) είναι:

$$Q_1 = q \times 3600 = (12000 / 1000) \times 3600 = 43200 \text{ kJ} = 43,2 \text{ MJ}$$

Οι υπολογισμοί διευκολύνονται αν γνωρίζουμε ότι $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$. Έτσι το Q_1 θα μπορούσαμε να το βρούμε πολύ πιο απλά και ως εξής:

$$Q_1 = 12 \times 3,6 = 43,2 \text{ MJ}$$

Η αποθηκευμένη θερμότητα, μόνο στην πλάκα της οροφής (η οποία αντιπροσωπεύει ένα τμήμα της θερμοχωρητικότητας του διαμερίσματος), ισοδυναμεί με λειτουργία της θέρμανσης κατά χρονικό διάστημα θ_c , το οποίο δίνεται από τη σχέση:

$$\theta_c = Q_c / Q_1 = 674 / 43,2 = 15,6 \text{ ώρες}$$

Όσο καλύτερα είναι θερμομονωμένο ένα σπίτι, τόσο μειώνονται οι απώλειες θέρμανσης. Αντίθετα, η ενεργός θερμοχωρητικότητα είναι ή ίδια, είτε υπάρχει θερμομόνωση είτε όχι. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, όσο μειώνονται οι απώλειες (λόγω καλύτερης θερμομόνωσης) τόσο μεγαλύτερος να προκύπτει ο χρόνος θ_c .

Τυπική τιμή της ενεργού θερμοχωρητικότητας για τις ελληνικές κατασκευές είναι $0,4\text{-}0,6 \text{ MJ/K}$ ανά m^2 της επιφανείας του διαμερίσματος. Δηλαδή ένα διαμέρισμα 120 m^2 συνήθως παρουσιάζει $C = 48\text{-}72 \text{ MJ/K}$.

Αντίθετα, η θερμοχωρητικότητα του αέρα ενός χώρου είναι τελείως ασήμαντη. Στο παραπάνω παράδειγμα, για ύψος χώρου $2,80 \text{ m}$, είναι μόλις $8000 \text{ kJ} = 8 \text{ MJ}$ (μπορείτε να το διαπιστώσετε εύκολα από τον ψυχομετρικό χάρτη), δηλαδή ισοδυναμεί με $\theta_a = 8/43,2 = 0,185 \text{ h} = 11'$ λειτουργίας της θέρμανσης.

(δ) Τα ψυκτικά φορτία δεν παρουσιάζονται συγχρόνως όλα μαζί

Το φαινόμενο κατά το οποίο τα ψυκτικά φορτία **δεν** παρουσιάζονται όλα μαζί ονομάζεται **μεταχρονισμός**. Για να καταλάβουμε τι ακριβώς είναι, ας σκεφτούμε την περίπτωση που έχουμε φορτία από ηλιακή ακτινοβολία 5000 W κατά την ημέρα και από φώτα 1000 W κατά τη νύχτα. Είναι λάθος αν πούμε ότι έχουμε ψυκτικό φορτίο $5000 + 1000 \text{ W} = 6000 \text{ W}$. Το κλιματιστικό μηχάνημα των 5000 W προφανώς αρκεί επειδή τα δύο αυτά είδη φορτίων δεν παρουσιάζονται συγχρόνως. Αν όμως πρόκειται για ηλεκτροφωτιζόμενο χώρο μέρα-νύχτα, τότε θα πρέπει να σκεφτούμε μήπως πράγματι έχουμε να κάνουμε με φορτίο 6000 W .

Το παραπάνω παράδειγμα αποτελεί μία απλή περίπτωση του φαινομένου και διατυπώθηκε με αυτό τον τρόπο, απλά και μόνο για να αντιληφθούμε περί τίνος πρόκειται. Όμως το φαινόμενο παρουσιάζεται πολύ πιο περί-

πλοκο στην πράξη, όπου συμμετέχουν στην εναλλαγή της θερμότητας και οι μάζες του κτιρίου και που απορροφούν συνήθως το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης θερμότητας, ενώ ένα μικρό μόνο τμήμα της εμφανίζεται άμεσα ως φορτίο. Αυτό, καταρχήν, είναι ευνοϊκό, επειδή έχει σαν αποτέλεσμα να χρειαζόμαστε μικρότερα κλιματιστικά μηχανήματα από τη μέγιστη στιγμιαία ισχύ που εισέρχεται στο κτίριο.

Όμως η ενέργεια που αποθηκεύεται στις μάζες του κτιρίου αποθηκεύεται εκεί προσωρινά. Πρόκειται για ενέργεια που θα πρέπει και αυτή να απομακρυνθεί αργότερα από το χώρο, οπότε θα αρχίσει να παρουσιάζεται ως φορτίο, πράγμα που θα συμβεί όταν η θερμοκρασία του αέρα του χώρου πέσει κάτω από τη θερμοκρασία των μαζών του κτιρίου. Την ίδια ώρα όμως μπορεί να παρουσιάζονται συγχρόνως και άλλα φορτία και να έχουμε ένα μεγαλύτερο φορτίο από αυτό που εκ πρώτης όψεως φαίνεται ότι θα είχαμε. Ενδεχομένως μάλιστα το φορτίο που θα παρουσιαστεί να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε τελικά να είναι αυτό που θα καθορίσει το μέγεθος των μηχανημάτων που θα χρειαστούν στο χώρο. Για το λόγο αυτό ο χειρότερος προσανατολισμός για το καλοκαίρι είναι ο Δυτικός, διότι το απόγευμα που βάλλεται το σπίτι από την ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζονται συγχρόνως και άλλα φορτία (μεταχρονισμένα), τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα να αυξάνεται πολύ το ψυκτικό φορτίο. Φυσικά, για τον ίδιο λόγο, ο Δυτικός προσανατολισμός είναι ευνοϊκός για το χειμώνα.

Παλαιότερα, που στον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων δεν λαμβανόταν υπόψη ο μεταχρονισμός, το αποτέλεσμα ήταν να προκύπτουν μεγάλα φορτία, γεγονός που οδηγούσε σε αδικαιολόγητα μεγάλες εγκαταστάσεις και εξοπλισμούς. Σήμερα οι μέθοδοι υπολογισμού είναι σαφώς βελτιωμένες και φυσικά λαμβάνουν υπόψη και το μεταχρονισμό των φορτίων. Όμως οι μέθοδοι υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων βελτιώνονται συνεχώς και γι' αυτό καλό είναι να αποφεύγουμε να χρησιμοποιούμε έναν παλιό τεχνικό οδηγό για τον υπολογισμό των φορτίων.

(ε) Ερμηνεία μερικών φαινομένων

Είναι πολλά τα φαινόμενα που μπορούν να ερμηνευτούν με αυτά που αναφέραμε παραπάνω. Παραθέτουμε μερικά, ενώ στη συνέχεια του κεφαλαίου θα συναντήσουμε και άλλα.

- Ένα φαινόμενο, που σίγουρα όλοι θα το έχετε παρατηρήσει, είναι ότι το χειμώνα, όταν ανοίγουμε τα παράθυρα για αερισμό, το σπίτι παγώνει, αλλά όταν τα κλείσουμε, το σπίτι σχεδόν αμέσως ζεσταί-

νεται πάλι, ακόμη και όταν το σύστημα θέρμανσης δεν λειτουργεί. Από πού προήλθε η θερμότητα που τόσο γρήγορα ζέστανε τον κρύο αέρα; Από τα δομικά στοιχεία της οικοδομής. Το ίδιο ακριβώς θα παρατηρήσετε αν ανοίξετε τα παράθυρα το καλοκαίρι σε έναν καλώς κλιματιζόμενο χώρο.

- Όταν ένας χώρος κλιματίζεται περιστασιακά, τότε χρειάζεται ένα πιο μεγάλο μηχάνημα, ενώ αν ο χώρος κλιματίζονταν συνεχώς, σε 24ωρη βάση, θα αρκούσε ένα πιο μικρό μηχάνημα. Ο λόγος είναι ότι αν ο κλιματισμός λειτουργεί σπάνια, θα έχει να αντιμετωπίσει και τα υψηλά ποσά θερμότητας που θα είναι συσσωρευμένα στα δομικά στοιχεία της οικοδομής.
- Αν σας διαμαρτυρηθούν ότι κάποιο κλιματιστικό μηχάνημα δεν αποδίδει ικανοποιητικά, θα πρέπει, προτού να βγάλετε το συμπέρασμα ότι χρειάζεται ένα μεγαλύτερο, να ρωτήσετε πρώτα τι ώρα το ξεκινάτε. Αν π.χ. το ξεκινάτε το απόγευμα, όταν η ζέστη είναι αφόρητη και η θερμοκρασία των εσωτερικών τοίχων είναι υψηλή, τότε είναι φυσικό να μην μπορεί να αποδώσει. Πρέπει να το ξεκινάτε πιο νωρίς.
- Οι εξοχικές κατοικίες αργούν να θερμανθούν το χειμώνα, όταν έχουν μείνει κλειστές για μεγάλο χρονικό διάστημα και η εγκατάσταση θέρμανσής τους θα πρέπει να λειτουργήσει πολλές ώρες μέχρι να αρχίσει να θερμαίνεται το σπίτι κάπως ικανοποιητικά. Εξαίρεση αποτελούν οι εξοχικές κατοικίες που έχουν κατασκευαστεί επίτηδες έτσι ώστε να έχουν μικρή θερμοχωρητικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της θερμομόνωσης στην εσωτερική πλευρά των τοίχων, π.χ. χρησιμοποιούνται θερμομονωτικά τούβλα ή σοβάδες. Επίσης χαμηλή θερμοχωρητικότητα έχουν οι κατοικίες από ελαφριά υλικά.

3-2. Γενικά για τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία

Τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία στο σύστημα SI τα μετράμε σε W. Παλαιότερα, όπως ήδη αναφέραμε, ήταν σε ευρεία χρήση οι μονάδες Kcal/h (μετρικό σύστημα) και Btu/h (σύστημα I-P ή αγγλοσαξονικό σύστημα). Η χρήση αυτών των δύο συστημάτων τείνει διαρκώς να μειωθεί, ακόμη και σε χώρες που ακολουθούν παραδοσιακά το σύστημα I-P, αλλά δυστυχώς υπάρχει ακόμη ο απόηχος από τη χρήση τους. Γι' αυτό, ο τεχνικός που

ασχολείται με τον κλιματισμό πρέπει, για **αρκετό καιρό ακόμη**, να ξέρει καλά και να θυμάται απέξω τουλάχιστον τις παρακάτω σχέσεις:

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 860 \text{ kcal/h} = 3410 \text{ Btu/h}$$

$$1 \text{ W} = 0,860 \text{ kcal/h} = 3,41 \text{ Btu/h}$$

$$300 \text{ W} \approx 1000 \text{ Btu/h}$$

Ένας πρακτικός τρόπος μετατροπής των Btu/h σε W είναι ότι τα W είναι περίπου το 30% των Btu/h. Δηλαδή ένα αυτόνομο κλιματιστικό μηχάνημα των 9000 Btu/h είναι $9000 \times 30\% = 2700 \text{ W}$.

Σε ένα σύστημα κλιματισμού **με νερό**, έχει μεγαλύτερη σημασία ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων. Τα κλιματιστικά μηχανήματα που τοποθετούνται για να καλύψουν το ψυκτικό φορτίο, κατά κανόνα σχεδόν επαρκούν για να καλύψουν και το θερμικό φορτίο. Αυτό στο οποίο συνήθως περιοριζόμαστε είναι, αφού τελειώσουμε με ό,τι έχει σχέση με το ψυκτικό φορτίο, να κάνουμε και έναν έλεγχο για να δούμε ότι πράγματι καλύπτεται και το θερμικό φορτίο. Το να μην καλύπτεται είναι μία σπανιότατη εξαίρεση. Οι κλιματιστικές μονάδες νερού έχουν μεγάλη απόδοση όταν λειτουργούν σε θέρμανση, οπότε η θερμοκρασία του νερού του λέβητα ρυθμίζεται πολύ χαμηλά (40-50°C). Πολύ συχνά μάλιστα, οι κλιματιστικές μονάδες έχουν ένα δεύτερο, πολύ μικρότερο στοιχείο θέρμανσης, που μπορεί να λειτουργεί στις συνήθεις θερμοκρασίες νερού λέβητα (70-90°C).

Στις μονάδες **άμεσης εκτόνωσης** (αντλίες θερμότητας κλπ.), το πρόβλημα συνήθως είναι το αντίθετο, ιδίως μάλιστα αν η οικοδομή είναι σωστά θερμομονωμένη. Η απόδοση των μονάδων άμεσης εκτόνωσης σε θέρμανση, σε σχέση με τα φορτία, συνήθως είναι σχετικά χαμηλή ενώ η απόδοσή τους σε ψύξη είναι σχετικά μεγάλη. Στις περιπτώσεις αυτές, αυτό που έχει σημασία είναι η αντιμετώπιση του θερμικού φορτίου, ενώ το ψυκτικό στις περισσότερες περιπτώσεις δεν αποτελεί πρόβλημα. Όταν όμως η οικοδομή δεν διαθέτει θερμομονωμένη οροφή ή κεραμοσκεπή, μπορεί το ψυκτικό φορτίο να προκύπτει μεγαλύτερο από το θερμικό. Το ίδιο μπορεί να συμβαίνει και όταν υπάρχουν πολλοί υαλοπίνακες. Όταν έχουμε πάντως μονάδες άμεσης εκτόνωσης, που πρόκειται να εγκατασταθούν σε χώρους χωρίς καμία άλλη πηγή θέρμανσης, είναι προτιμότερο να κάνουμε και τους δύο υπολογισμούς (θερμικού και ψυκτικού φορτίου) για να είμαστε σίγουροι. Αυτό θα το δούμε και παρακάτω στα παραδείγματα υπολογισμού.

Ο πλέον σοβαρός υπολογισμός στον κλιματισμό είναι του ψυκτικού φορτίου και κανονικά θα έπρεπε να ξεκινήσουμε την ανάπτυξη των φορτίων από αυτόν. Για καθαρά διδακτικούς όμως λόγους, επειδή ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων είναι πολύ πιο απλός, θα αναπτύξουμε πρώτα τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων και μετά των ψυκτικών.

3-3. Τα θερμικά φορτία

Για να υπολογιστούν τα θερμικά φορτία ενός κλιματιζόμενου χώρου, απαιτείται να έχουμε κάποιο πληροφοριακό υλικό που σχετίζεται με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή του κτιρίου που πρόκειται να κλιματιστεί. Πρέπει δηλαδή να γνωρίζουμε τη γεωγραφική θέση του κτιρίου (Αθήνα, Πάτρα, Λαμία, Κρήτη κλπ). Έτσι θα γνωρίζουμε και θα λάβουμε υπόψη τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία, ένταση και κατεύθυνση ανέμων κλπ).



Σχήμα 3-2: Θερμοκρασιακές ζώνες του ελληνικού γεωγραφικού χώρου.

Με βάση τις επικρατούσες μέσες ελάχιστες εξωτερικές θερμοκρασίες, ο ελληνικός γεωγραφικός χώρος χωρίζεται σε τρεις θερμοκρασιακές ζώνες, όπως φαίνεται και στο σχήμα (3-2).

Η ζώνη (Α) περιλαμβάνει περιοχές με τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες χειμώνα, ενώ η ζώνη (Γ) περιλαμβάνει περιοχές με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η ζώνη (Β) αναφέρεται σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες τους κυμαίνονται μεταξύ των θερμοκρασιών (Α) και (Γ). Η θερμομόνωση που θα εφαρμοστεί στο κτίριο εξαρτάται αποκλειστικά από τη ζώνη που αυτό βρίσκεται.

Όμως εάν ένας τόπος ανήκει γεωγραφικά στη ζώνη (Α) ή (Β) αλλά βρίσκεται σε υψόμετρο πάνω από 600 m από την επιφάνεια της θάλασσας, θεωρείται ότι ανήκει στην αμέσως δυσμενέστερη ζώνη. Έτσι εάν μία οικοδομή βρίσκεται στην Κρήτη (ζώνη Α), αλλά σε ορεινή περιοχή των Χανίων και σε υψόμετρο 700 m από τη θάλασσα, εντάσσεται στη ζώνη (Β).

Στον πίνακα (3-2) βλέπουμε τις ελάχιστες μέσες τιμές της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος για διάφορες ελληνικές πόλεις. Διαπιστώνουμε ότι στην Ελληνική Επικράτεια έχουμε μεγάλη διακύμανση της μέσης τιμής των θερμοκρασιών του εξωτερικού περιβάλλοντος που κυμαίνονται από -12°C μέχρι $+5^{\circ}\text{C}$. Το υψόμετρο αναφέρεται μόνο όταν είναι πάνω από 400 m, οπότε θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στους υπολογισμούς και, όπου χρειάζεται, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο ψυχομετρικός χάρτης των 750 m.

Αφού ληφθούν υπόψη τα παραπάνω στοιχεία, υπολογίζονται τα θερμικά φορτία, τα οποία στην πλέον απλή περίπτωση κλιματισμού, όταν δεν υπάρχει ανανέωση του αέρα μέσω ενός **δικτύου αεραγωγών**, είναι **δύο** ειδών:

- Θερμικά φορτία από **αγωγιμότητα**
- Θερμικά φορτία λόγω **εισροής εξωτερικού αέρα** από τις χαραμάδες που ονομάζεται **αέρας διείσδυσης**.

Στις σοβαρές εγκαταστάσεις κλιματισμού έχουμε και ένα δίκτυο αεραγωγών που σκοπό έχει την εισαγωγή του νωπού αέρα για την ανανέωση του αέρα του χώρου. Ο νωπός αέρας εισάγεται στο χώρο αφού υποστεί μία σειρά από επεξεργασίες, από τις οποίες, για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων, μας ενδιαφέρουν μόνο η θέρμανση και η ύγρανσή του. Στην περίπτωση αυτή το συνολικό θερμικό φορτίο διαμορφώνεται από τα εξής επί μέρους **τρία** είδη θερμικών φορτίων:

Πίνακας 3-2: Μέσες ελάχιστες εξ. θερμοκρασίες ελληνικών πόλεων. Το υψόμετρο αναφέρεται μόνο αν είναι μεγαλύτερο από 400 m.

Πόλη	t _o °C	Ζώνη	Υψόμετρο, m
Κάρπαθος	+5	A	
Σητεία	+4	A	
Νάξος	+4	A	
Ηράκλειο	+3	A	
Ρόδος	+3	A	
Χανιά	+3	A	
Χίος	+3	A	
Σάμος	+3	A	
Πειραιάς	+2	B	
Μυτιλήνη	+2	B	
Αθήνα	+1	B	
Κόρινθος	+1	B	
Λευκάδα	0	B	
Σπάρτη	0	B	
Κέρκυρα	0	B	
Πάτρα	-1	B	
Μεσολόγγι	-2	B	
Βόλος	-3	B	
Λαμία	-4	B	
Θεσσαλονίκη	-5	Γ	
Τρίπολη	-5	Γ	561
Ιωάννινα	-6	Γ	483
Καλάβρυτα	-6	Γ	731
Κόνιτσα	-6	Γ	542
Αλεξανδρούπολη	-7	Γ	
Λάρισα	-7	Γ	
Καβάλα	-8	Γ	
Δράμα	-8	Γ	
Σέρρες	-9	Γ	
Ορεστιάδα	-9	Γ	
Κοζάνη	-10	Γ	625
Φλώρινα	-11	Γ	661
Πτολεμαΐδα	-12	Γ	601

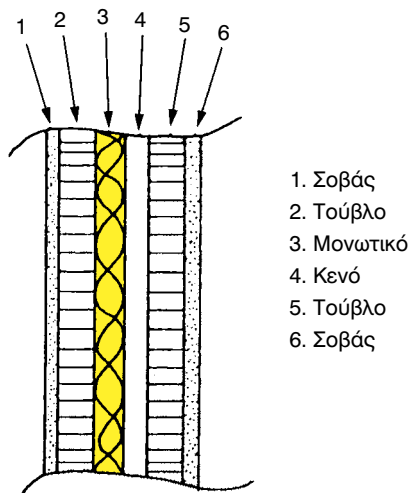
- Θερμικά φορτία από **αγωγιμότητα**
- Θερμικά φορτία λόγω **εισαγωγής εξωτερικού αέρα** μέσω του δικτύου των αεραγωγών
- Θερμικά φορτία λόγω της **ύγρυνσης** του θερμού αέρα

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η μεθοδολογία και γενικότερα ο τρόπος σκέψης όταν κάνουμε υπολογισμό των φορτίων, στις επόμενες παραγράφους 3-4, 3-5 και 3-6 θα αναφερθούμε μόνο στην απλή περίπτωση της θέρμανσης όταν **δεν** υπάρχει δίκτυο αεραγωγών ή σύστημα ύγρυνσης του αέρα. Στη γενικότερη περίπτωση όπου υπάρχει το δίκτυο αεραγωγών και γίνεται και ύγρυνση του αέρα θα αναφερθούμε αργότερα σ' αυτό το κεφάλαιο.

3-4. Θερμικά φορτία από αγωγιμότητα

Το ποσό της θερμότητας που διαρρέει προς το περιβάλλον από κάθε δομικό στοιχείο που περιβάλλει το θερμαινόμενο χώρο (τοίχοι, παράθυρα, δάπεδα, οροφές) εξαρτάται:

- Από το **μέγεθος** της επιφάνειας.
- Από το **είδος των υλικών** κατασκευής των δομικών στοιχείων του κτιρίου (τοίχοι, τζάμια, πόρτες κλπ.).
- Από τη **διαφορά θερμοκρασίας** μεταξύ της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας του θερμαινόμενου χώρου.



Σχήμα 3-3. Τυπική κατασκευή τοίχου οικοδομής.

Η σχέση που συνδέει τα παραπάνω και μας δίνει τις θερμικές απώλειες από αγωγιμότητα είναι:

$$q = A \times U \times \Delta t \quad (3-3)$$

Όπου:

q: Οι απώλειες θερμότητας από αγωγιμότητα σε W.

Επειδή ακόμη είναι σε χρήση μονάδες όπως το kcal/h και το BTU/h (έστω και αν αυτή είναι συνεχώς φθίνουσα), σας υπενθυμίζουμε, για ακόμη μία φορά, ότι:

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 860 \text{ kcal/h} = 3410 \text{ BTU/h}$$

A: Η επιφάνεια που περικλείει το θερμαινόμενο χώρο σε m².

U: Ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας (ή αγωγιμότητας) των επιμέρους υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένη η επιφάνεια (A), σε W/m²K.

Δt: Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του περιβάλλοντος t_o και του θερμαινόμενου χώρου t_i σε °C.

Πίνακας 3-3: Θερμοκρασία εσ. χώρων

Είδος χώρου	t_i (°C)
Δωμάτια κατοικιών	20
Λουτρά κατοικιών	22
Προθάλαμοι, διάδρομοι	15
Κλιμακοστάσια	15
Καταστήματα, γραφεία	20
Δωμάτια ξενοδοχείων	20
Αίθουσες διδασκαλίας	20
Χώροι εργαστηρίων	15-18

Η τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος t_o δίνεται στον πίνακα (3-2) ενώ οι συνιστώμενες τιμές της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων, ανάλογα με τη χρήση τους, δίνονται στον πίνακα (3-3).

Ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας **U** δίνεται επίσης από πίνακες. Ένας τέτοιος πίνακας είναι και ο (3-4).

Η θερμομονωτική ικανότητα ενός υλικού δίνεται με το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που παρουσιάζει, ο οποίος συμβολίζεται με το γράμ-

μα k . Όσο μικρότερη τιμή έχει ο k τόσο μεγαλύτερη θερμομονωτική ικανότητα έχει το υλικό. Οι τυπικές τιμές του k των υλικών θερμομόνωσης είναι $k = 0,032 - 0,05 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Πίνακας 3-4: Τιμές του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας (U) διαφόρων δομικών στοιχείων. Στις τιμές έχουν συνυπολογιστεί τα συνήθη υλικά φινιρίσματος (πλακάκια, σοβάδες κλπ.).

A/A	Περιγραφή	$U, \text{W/m}^2\text{K}$
	Α΄ Δομικά στοιχεία χωρίς θερμομόνωση	
1	Συνήθης εξωτερικός τοίχος από τούβλα, πάχους 20 cm	2,16
2	Τοίχος συρόμενων κουφωμάτων	2,86
3	Συνήθης εξωτερικός τοίχος με στεγανό διάκενο $>2 \text{ cm}$	0,79
4	Τοίχος από μπετόν, δοκάρια, υποστυλώματα	3,40
5	Οροφή ή δάπεδο (πλάκα από μπετόν) με πλάκες και υγρομόνωση	2,63
6	Δάπεδο πάνω στο χώμα	1,00
7	Μεσότοιχος, δρομικός	2,87
8	Πλάκα με κεραμοσκεπή αεριζόμενη από τα κενά των κεραμιδιών	3,26
9	Πλάκα με στεγανή κεραμοσκεπή (μέσω μονωτικού φύλλου)	2,24
	Β΄ Δομικά στοιχεία με θερμομόνωση, $k = 0,04 \text{ W/m} \cdot \text{K}$	
10	Συνήθης εξωτερικός τοίχος με μόνωση 5 cm	0,58
11	Τοίχος συρομένων κουφωμάτων με μόνωση 5 cm	0,63
12	Τοίχος από μπετόν, δοκάρια, υποστυλώματα με μόνωση 5 cm	0,65
13	Οροφή ή δάπεδο με πλάκα από μπετόν και με μόνωση 5 cm	0,61
14	Οροφή ή δάπεδο με πλάκα από μπετόν και με μόνωση 7 cm	0,47
15	Δάπεδο πάνω στο χώμα με μόνωση 3 cm	0,57
16	Κεραμοσκεπή στεγανή με μόνωση 5 cm πάνω στην πλάκα του μπετόν	0,66
17	Κεραμοσκεπή στεγανή με μόνωση 7 cm πάνω στην πλάκα του μπετόν	0,50
	Γ΄ Κουφώματα	
18	Κουφώματα αλουμινίου με απλά τζάμια	5,00
19	Κουφώματα αλουμινίου με διπλά τζάμια με κενό αέρα	3,00
20	Ξύλινα κουφώματα με απλά τζάμια	4,50
21	Ξύλινα κουφώματα με διπλά τζάμια με κενό αέρα	2,60
22	Ξύλινες επιφάνειες χωρίς υαλοπίνακα	3,00



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Να υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες σε W ενός εξωτερικού τοίχου θερμαινόμενου χώρου, πάχους 20 cm, κατασκευασμένου από τούβλα με τα ακόλουθα στοιχεία:

- Διαστάσεις τοίχου: Μήκος 6m και ύψος 3m
- Ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας U του τοίχου, βάσει του πίνακα (3-4), είναι: $2,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος: $t_o = 5^\circ\text{C}$
- Θερμοκρασία χώρου: $t_i = 20^\circ\text{C}$

Εφαρμόζοντας τη σχέση (3-3) έχουμε:

$$q = A \times U \times \Delta t = (3 \times 6) \times 2,16 \times (20 - 5) = 583 \text{ W}$$

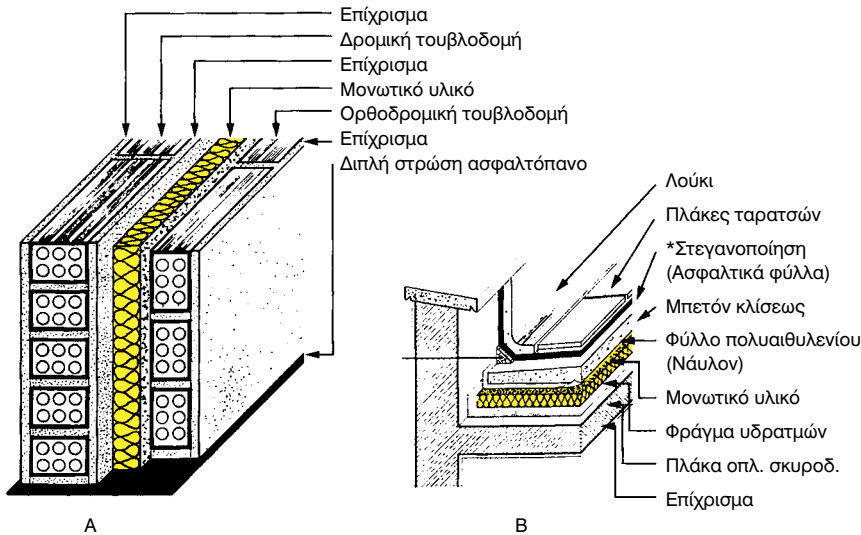
Στον πίνακα (3-5) δίνονται τιμές των ποσοστών μείωσης των απωλειών θερμότητας από αγωγιμότητα λόγω μόνωσης. Παρατηρούμε ότι η θερμομόνωση στις οροφές είναι λίγο πιο αποτελεσματική από ό,τι στους τοίχους. Επίσης παρατηρούμε ότι η ελάττωση των απωλειών θερμότητας από αγωγιμότητα δεν είναι ευθέως ανάλογη του πάχους της μόνωσης.

Πίνακας 3-5: Ενδεικτικά ποσοστά μείωσης των απωλειών θερμότητας από αγωγιμότητα λόγω θερμομόνωσης - Μονωτικό υλικό με $k = 0,04 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Πάχος μόνωσης	Στους τοίχους	Στις οροφές
2,5	57	62
5	73	77
7,5	80	83
10	84	87

Όπως διαπιστώνουμε από τον πίνακα (3-5), αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης στους τοίχους από 2,5 cm σε 5 cm, ελαττώνονται οι απώλειες θερμότητας κατά 16% (73-57), ενώ αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης από 7,5 cm σε 10 cm (πάλι κατά 2,5 cm), το ποσοστό μείωσης των απωλειών θερμότητας από αγωγιμότητα μειώνεται μόλις κατά 4% (84-80). Αξίζει επίσης να υπογραμμιστεί ότι τετραπλασιάζοντας το πάχος της μόνωσης από 2,5 σε 10 cm, οι απώλειες μειώνονται μόλις κατά το 1/4 (για την ακρίβεια 27%). Αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να ακολουθούμε ακραίες λύσεις μόνω-

σης, γιατί ανεβάζουν το κόστος της κατασκευής χωρίς αντίστοιχο αποτέλεσμα στον περιορισμό των απωλειών θερμότητας.



Σχήμα 3-4. Τυπική κατασκευή μόνωσης σε τοίχους (Α) και σε οροφές (Β).

Σήμερα η νομοθεσία επιβάλλει θερμομόνωση σε όλες τις νέες οικοδομές περιορίζοντας έτσι τις θερμικές απώλειες από αγωγιμότητα των υλικών κατασκευής της οικοδομής. Βάσει του ισχύοντος κανονισμού θερμομόνωσης (κατά το χρόνο έκδοσης του παρόντος βιβλίου), τα δομικά στοιχεία θα πρέπει να παρουσιάζουν μέγιστη τιμή του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας U σύμφωνα με τον πίνακα (3-6). Επίσης, άλλοι περιορισμοί του εν λόγω κανονισμού, ουσιαστικά επιβάλλουν στις ζώνες Β' και Γ' να χρησιμοποιούνται διπλοί υαλοπίνακες.

Πίνακας 3-6: Μέγιστες τιμές του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας U βάσει του ισχύοντος κανονισμού θερμομόνωσης σε $W/m^2 \cdot K$

Στοιχείο Κατασκευής	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ
Εξωτερικοί τοίχοι συμπεριλαμβανομένων των εξωτερικών δοκαριών και υποστρωμάτων	0,7		
Οριζόντιες επιφάνειες με ελεύθερο αέρα επάνω ή κάτω (οροφές - πυλωτές)	0,5		
Δάπεδα επί του εδάφους ή πάνω από κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	3,0	1,9	0,7
Διαχωριστικοί τοίχοι προς κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	3,0	1,9	0,7

3-5. Ο υπολογισμός του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας με διαφορετικό πάχος μόνωσης ή με διαφορετικά θερμομονωτικά υλικά³

Όταν γνωρίζουμε το συντελεστή U_1 ενός δομικού στοιχείου χωρίς θερμομόνωση και εφαρμόζουμε σ' αυτό θερμομονωτικό υλικό σε πλάκες πάχους d (m), με **συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας** k (W/m · K), τότε ο νέος συντελεστής U έχει την τιμή που προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_1} + \frac{d}{k} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (3-4)$$

Το δεύτερο μέρος του πίνακα (3-4), που αναφέρεται στα δομικά στοιχεία με θερμομόνωση, προέκυψε βάσει της παραπάνω σχέσης με συντελεστή $k = 0,04 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Αν θέλετε να έχετε ακριβέστερα αποτελέσματα θα πρέπει να ερωτηθεί ο κατασκευαστής του θερμομονωτικού υλικού όσον αφορά την τιμή του k . Θα πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι οι τιμές του πίνακα (3-4) είναι απόλυτα ικανοποιητικές για τους συνήθεις πρακτικούς υπολογισμούς.

Η προσθήκη αεριζόμενης κεραμοσκεπής πάνω από υπάρχουσα οροφή δεν προσφέρει σχεδόν τίποτα σε θερμομόνωση. Βελτιώνει όμως λίγο το συντελεστή U , επειδή περιορίζει την ταχύτητα του αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον, πάνω από την πλάκα του μπετόν. Επίσης μειώνει πάρα πολύ το ψυκτικό φορτίο, όπως θα δούμε αργότερα. Η σχέση βάσει της οποίας μπορούμε να εκτιμήσουμε τη νέα τιμή του συντελεστή U , αν η τιμή χωρίς την κεραμοσκεπή είναι U_1 , είναι η εξής:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_1} + 0,06 \quad (3-5)$$

Αν η κεραμοσκεπή είναι σχετικά στεγανή (επιτυγχάνεται μέσω μονωτικού φύλλου κάτω από τα κεραμίδια), τότε ο παγιδευμένος αέρας προσφέρει μία πρόσθετη μόνωση και ο νέος συντελεστής U βρίσκεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_1} + 0,2 \quad (3-6)$$



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Στα θερμομονωτικά υλικά που κατασκευάζονται επί τόπου, όπως το περλιτόδεμα, το αφρομπετόν κλπ., δεν είναι ποτέ με επαρκή ακρίβεια γνωστός ο συντελεστής θερμο-

3 Η διδασκαλία του κεφαλαίου μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος.

περατότητάς τους και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τον τρόπο κατασκευής τους. Σαν ενδεικτική τιμή αναφέρουμε ότι τα 3-5 cm πάχους από αυτά τα υλικά αντιστοιχούν σε 1 cm αφρώδους μονωτικού υλικού που διατίθεται στο εμπόριο σε έτοιμες πλάκες. Και φυσικά μία ενδεικτική τιμή μπορεί να διαφέρει αρκετά από την πραγματική.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να υπολογιστεί ο συντελεστής U εξωτερικού τοίχου με θερμομόνωση 3 cm και με θερμομονωτικό υλικό που παρουσιάζει $k = 0,032 \text{ W/m K}$.

Από τον πίνακα (3-4) βρίσκουμε ότι ο τοίχος, χωρίς θερμομόνωση, παρουσιάζει $k = 2,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Από τη σχέση (3-4) έχουμε:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2,16} + \frac{0,03}{0,032} = 1,40 \Rightarrow U = 0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Να υπολογιστεί ο συντελεστής U μίας οροφής που αποτελείται από πλάκα μπετόν χωρίς θερμομόνωση, αλλά με υγρομόνωση, όταν αργότερα τοποθετηθεί πάνω σ' αυτήν μία απλή αεριζόμενη κεραμοσκεπή.

Από τον πίνακα (3-4), βρίσκουμε ότι η οροφή παρουσιάζει $k = 2,63 \text{ W/m}^2\text{K}$. Από τη σχέση (3-5) έχουμε:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2,63} + 0,06 = 0,44 \Rightarrow U = 2,27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Η τιμή 8 του πίνακα (3-4) αφορά αεριζόμενη κεραμοσκεπή πάνω σε πλάκα ($U = 3,26$). Η διαφορά οφείλεται στο ότι αυτή η κεραμοσκεπή είναι κατασκευασμένη από την αρχή πάνω στην πλάκα, χωρίς υγρομόνωση (η υγρομόνωση συμμετέχει στην τιμή του U).

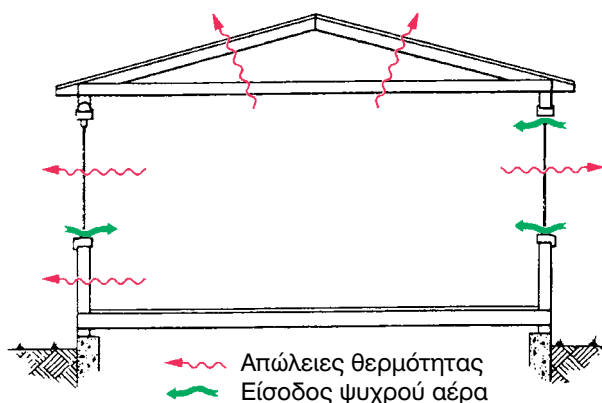
3-6. Θερμικά φορτία από είσοδο ψυχρού αέρα περιβάλλοντος

Όσο καλή και αν είναι η ποιότητα της κατασκευής των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα) ενός κτιρίου, δεν μπορεί να αποφευχθεί η είσοδος στο θερμαινόμενο χώρο κάποιας ποσότητας εξωτερικού αέρα, του οποίου η θερμοκρασία είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του χώρου και ίδια με εκείνη του περιβάλλοντος. Το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για

να θερμανθεί ο εισερχόμενος αέρας και να φτάσει στη θερμοκρασία του θερμαινόμενου χώρου θα πρέπει να υπολογιστεί, ώστε η παρεχόμενη θερμότητα στο συγκεκριμένο χώρο να καλύπτει την πρόσθετη αυτή απαίτηση για τη θέρμανση του εισερχόμενου από τις χαραμάδες ψυχρού αέρα. Το μέγεθος των θερμικών απωλειών, λόγω διείσδυσης ψυχρού αέρα από τις χαραμάδες των ανοιγμάτων, εξαρτάται:

- Από το **μήκος των χαραμάδων** των θυρών και παραθύρων.
- Από την **ποιότητα κατασκευής** των θυρών και των παραθύρων (αν κλείνουν καλά ή αφήνουν μεγάλα περιθώρια εισόδου εξωτερικού αέρα).
- Από τη **θέση του ανοίγματος** (σε προστατευόμενη θέση από άλλα κτίρια, σε ελεύθερη θέση ή σε άκρως προσβαλλόμενη θέση).
- Από τη **θερμοκρασία περιβάλλοντος**.
- Από την **ένταση και τη διεύθυνση των ανέμων** της περιοχής.

Οι απώλειες θερμότητας από τη διείσδυση αέρα υπολογίζονται χρησιμοποιώντας ειδικούς πίνακες που δίνουν τους συντελεστές απωλειών θερμότητας από διείσδυση αέρα περιβάλλοντος.



Σχήμα 3-5. Θερμικές απώλειες από την είσοδο ψυχρού αέρα περιβάλλοντος και από αγωγιμότητα των υλικών.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τον υπολογισμό των απωλειών θερμότητας από διείσδυση αέρα περιβάλλοντος και ορισμένοι από αυτούς είναι εξαιρετικά περίπλοκοι. Η μέθοδος που επιλέχθηκε γι' αυτό το βιβλίο, αν και πολύ απλή, είναι η πλέον έγκυρη μέθοδος που ισχύει σήμερα στον

Ευρωπαϊκό χώρο⁴ και δίνει με καλή προσέγγιση το ποσό του αέρα διείσδυσης και το μέγεθος των θερμικών απωλειών.

(α) Υπολογισμός της ποσότητας του αέρα που μπαίνει από τις χαραμάδες (αέρας διείσδυσης).

Μια εκτίμηση του αέρα διείσδυσης από τις χαραμάδες των ανοιγμάτων (πόρτες και παράθυρα) ενός θερμαινόμενου χώρου δίνει η παρακάτω σχέση:

$$Q = V \cdot N_{ac} / 3,6 \quad (3-7)$$

Όπου:

Q: Ο αέρας που εισέρχεται στο θερμαινόμενο χώρο σε L/s.

V: Ο όγκος του θερμαινόμενου χώρου σε m³.

N_{ac}: Ο αριθμός των αλλαγών, ανά ώρα, του αέρα του θερμαινόμενου χώρου (πίνακας 3-7).



ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1

Ο αριθμός 3,6 στον παρονομαστή είναι για τη μετατροπή των m³/h στην τυπική μονάδα παροχής στο σύστημα SI που είναι το L/s.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2

Ο συμβολισμός N_{ac} ίσως να σας φαίνεται κάπως παράξενος. Αυτό οφείλεται στο ότι οι αριθμοί γενικά συμβολίζονται με το γράμμα N (ή με το n) ενώ ο δείκτης προσδιορίζει το τι ακριβώς αντιπροσωπεύει ο αριθμός. Εν προκειμένω ο δείκτης ac προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων **air changes** (= αλλαγές αέρα).

4 Βάσει του Ευρωπαϊκού προτύπου EN-832.

Πίνακας 3-7: Αριθμός αλλαγών ανά ώρα λόγω αέρα διείσδυσης βάσει του Ευρωπαϊκού προτύπου EN-832

Περιγραφή του κτιρίου		Μονοκατοικίες, Διπλοκατοικίες και λοιπά μικρά			Μεγάλα κτίρια με δύο τουλάχιστον εκτεθειμένες			Μεγάλα κτίρια με μία μόνο εκτεθειμένη πλευρά		
Στεγανότητα κτιρίου X = Χαμηλή, M = Μεσαία, Y = Υψηλή		X	M	Y	X	M	Y	X	M	Y
Περιοχή που βρίσκεται το		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1)	Κτίρια σε ανοικτό χώρο και ψηλά κτίρια που υψώνονται πάνω από τις άλλες οικοδομές	1,5	0,8	0,5	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
(2)	Κτίρια στην εξοχή περιβαλλόμενα από δέντρα (όχι δάσος) ή σε περιοχές χωρίς πυκνή ανοικοδόμηση	1,1	0,6	0,5	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
(3)	Κτίρια μέσου ύψους, σε πυκνά δομημένες περιοχές, σε κέντρα πόλεων ή κτίρια μέσα σε δάσος.	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
(4)	Για κάθε περίπτωση, ελάχιστος δυνατός αριθμός ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα	0,5								

Σχετικά με τη **στεγανότητα του κτιρίου**, ενδεικτικές περιπτώσεις επιλογής είναι:

Χαμηλή: Απλά ξύλινα κουφώματα ή αλουμινίου χωρίς καλή στεγανοποίηση. Παλαιά κτίρια (άνω των 20 ετών) με χαμηλό επίπεδο συντήρησης. Ύπαρξη τζακιού χωρίς τάμπερ κλεισίματος της καμινάδας.

Μεσαία: Κουφώματα με καλή στεγανοποίηση, από αλουμίνιο ή ξύλο. Κτίρια 10-20 ετών με μέτριο επίπεδο συντήρησης.

Μονοκατοικίες με κουφώματα επιμελημένης κατασκευής.

Ύπαρξη τζακιού με τάμπερ κλεισίματος της καμινάδας.

Υψηλή: Μόνο για διαμερίσματα και χώρους σε μεγάλα κτίρια, που έχουν εμβαδόν το πολύ μέχρι 140 m², χωρίς τζάκι, με επιμελημένης κατασκευής στεγανά κουφώματα. Οι μονοκατοικίες και γενικότερα τα πανταχόθεν ελεύθερα οικήματα ουδέποτε εντάσσονται σ' αυτήν την κατηγορία.

Προφανώς, η πλέον συνηθισμένη περίπτωση είναι η Μεσαία στεγανότητα.

Στις περιπτώσεις εξωτερικών θυρών που ανοιγοκλείνουν πολύ συχνά (π.χ. καταστημάτων) στη μάζα του αέρα διείσδυσης που προκύπτει από τη σχέση (3-7) προσθέτουμε και **5-6 L/s** για κάθε άτομο που μπαίνει στο θερμαινόμενο χώρο. Η τιμή αυτή ισχύει για μέση ταχύτητα αέρα 3,5 m/s. Για μεγαλύτερες ταχύτητες αέρα αυξάνουμε αναλογικά. Σε ανοικτό χώρο π.χ. μπορεί να έχουμε μέση ταχύτητα αέρα ακόμη και διπλάσια, οπότε θα λάβουμε **10-12 L/s**. Οι μέσες ταχύτητες του αέρα, στον ελληνικό χώρο, κυμαίνονται από 5-7 m/s. Αντίστοιχα σε καλά προστατευμένες περιοχές (π.χ. κέντρα πόλεων κλπ.) μπορούμε να πάρουμε μικρότερες τιμές, π.χ. **3-4 L/s**. Τα παραπάνω συνοψίζονται στον πίνακα (3-8). Οι τιμές του πίνακα ισχύουν για τις συνήθεις πόρτες που με κάποιο τρόπο κλείνουν αμέσως μετά από κάθε άνοιγμα, π.χ. έχοντας έναν αυτόματο μηχανισμό επαναφοράς (καταστήματα, τράπεζες κλπ.). Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να έχουμε πολύ διαφορετικές τιμές.

Πίνακας 3-8: Συνιστώμενες τιμές ανανέωσης αέρα ανά άτομο που εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο μέσω θυρών που ανοιγοκλείνουν συχνά.

	Περιοχή που βρίσκεται το κτίριο	Αέρας/Ατομο, L/s
(1)	Κτίρια σε ανοικτό χώρο, πανταχόθεν ελεύθερα και εκτεθειμένα σε ανέμους	10-12
(2)	Κτίρια στην εξοχή περιβαλλόμενα από δέντρα (όχι δάσος) ή σε περιοχές χωρίς πυκνή ανοικοδόμηση.	5-6
(3)	Κτίρια μέσου ύψους, σε πυκνά δομημένες περιοχές, σε κέντρα πόλεων ή κτίρια μέσα σε δάσος.	3-4



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Οι διαστάσεις του θερμαινόμενου καταστήματος, του σχήματος (3-6), που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης είναι:

- Μήκος (L) = 15 m
- Πλάτος (W) = 12 m
- Ύψος (H) = 4 m

Ο χώρος είναι γωνιακός και φέρει ανοίγματα (πόρτα καλής κατασκευής και στεγανές μη ανοιγόμενες βιτρίνες) σε δύο πλευρές του, όπως φαίνεται στο σχήμα (3-6). Υποθέτουμε ότι μπαίνουν στο κατάστημα 10 άτομα την ώρα. Επίσης έστω ότι έχουμε:

- Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος: $t_{db} = 2^\circ\text{C}$
- Θερμοκρασία αέρα θερμαινόμενου χώρου: $t_{db} = 20^\circ\text{C}$

Να υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες από τη διείσδυση ψυχρού αέρα περιβάλλοντος.

➡ Ο αριθμός των αλλαγών που δημιουργεί η διείσδυση του εξωτερικού αέρα είναι 0,5, όπως προκύπτει από τον πίνακα (3-7) (γραμμή 3, στήλη 2). Επίσης ο όγκος του θερμαινόμενου χώρου είναι:

$$V = L \times W \times H = 15 \times 12 \times 4 = 720 \text{ m}^3$$

Εφαρμόζοντας τη σχέση (3-7) έχουμε:

$$Q_1 = V \times N_{ac} / 3,6 = 720 \times 0,5/3,6 = 100 \text{ L/s}$$

Για κάθε άτομο που μπαίνει στο κατάστημα προσθέτουμε 4 L/s, βάσει του πίνακα (3-8). Επομένως από την είσοδο ατόμων έχουμε:

$$Q_2 = 10 \text{ άτομα} \times 4 = 40 \text{ L/s}$$

Ο ολικός όγκος αέρα διείσδυσης (Q_i) θα είναι:

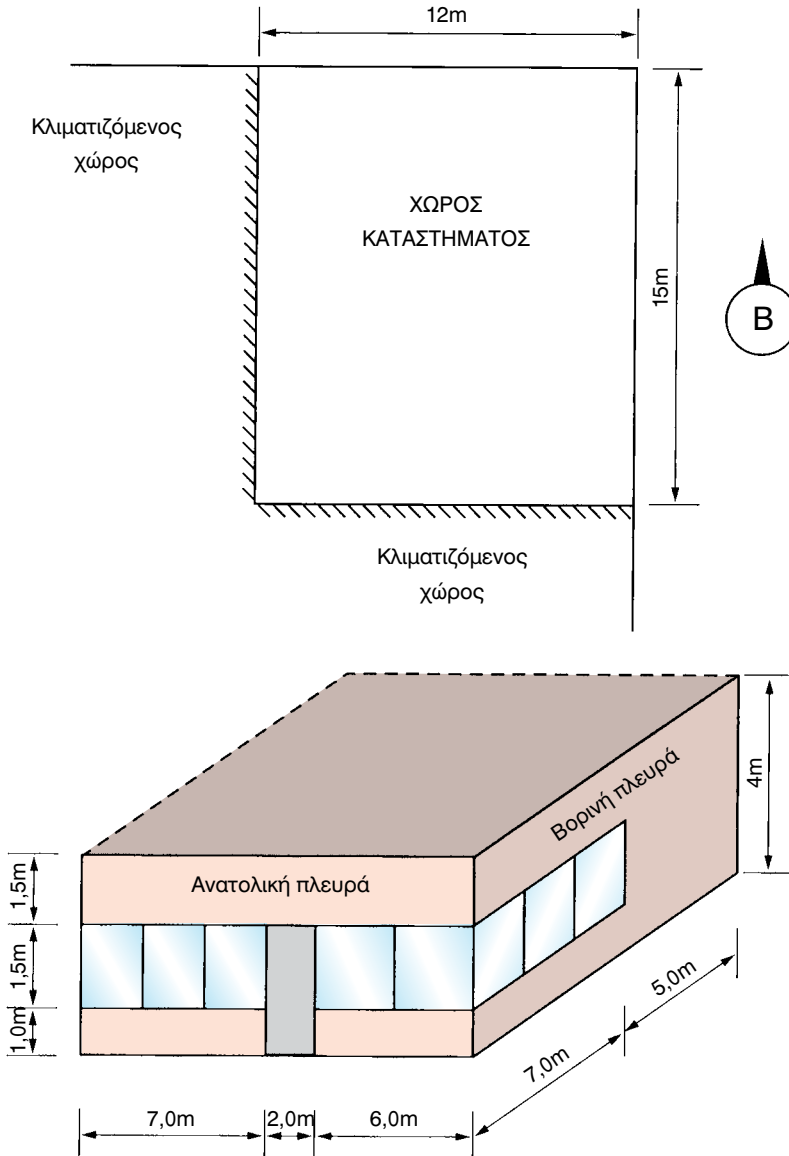
$$Q_i = Q_1 + Q_2 = 100 + 40 = 140 \text{ L/s}$$

(β) Υπολογισμός των θερμικών φορτίων από τον αέρα διείσδυσης.

Υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού των απωλειών θερμότητας από διείσδυση αέρα περιβάλλοντος. Ο ένας τρόπος είναι με τον ψυχομετρικό χάρτη (θέρμανση με σταθερή την ειδική υγρασία). Η διαδικασία υπολογισμού των απωλειών θερμότητας με τη βοήθεια της ψυχομετρίας (ψυχομετρικός χάρτης) αναπτύχθηκε λεπτομερώς στο δεύτερο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου, στην παράγραφο (2-18) στην οποία θα πρέπει να ανατρέξετε για τη σχετική υπενθύμιση.

Στις εφαρμογές καθημερινής πρακτικής, οι υπολογισμοί μας γίνονται με τα στοιχεία του αέρα **standard**, δηλαδή του αέρα ο οποίος στην επιφάνεια της θάλασσας (υψόμετρο 0 m, ατμοσφαιρική πίεση 101,3 kPa) έχει ειδική πυκνότητα $\rho = 1,2 \text{ Kg/m}^3$ που αντιστοιχεί σε ειδικό όγκο $v = 0,833 \text{ m}^3/\text{Kg}$. Σε υψόμετρα 750, 1500 και 2250 m, ο αέρας αυτός παρουσιάζει

αντίστοιχα $\rho = 1,1, 1,0$ και $0,9 \text{ kg/m}^3$ (περίπου), όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τους αντίστοιχους ψυχομετρικούς χάρτες.



Σχήμα 3-6. Το κατάστημα του παραδείγματος (θα χρησιμοποιηθεί και σε επόμενα παραδείγματα). Θεωρούμε ότι βρίσκεται στη ζώνη B, η ελάχιστη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 2°C και η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων 20°C , δηλαδή $\Delta t = 18^\circ\text{C}$.

Η χρήση του **standard** αέρα μας επιτρέπει να εκτελούμε απλούς υπολογισμούς χωρίς την ανάγκη να καταφεύγουμε συνεχώς στον ψυχομετρικό χάρτη. Φυσικά ο ψυχομετρικός χάρτης δεν παύει να είναι ένα πολύτιμο εργαλείο αλλά η χρήση του είναι απαραίτητη σε άλλους υπολογισμούς, τους οποίους αναλυτικά είδαμε στο κεφάλαιο 2.

Η σχέση που μας δίνει το ποσό της θερμότητας από την είσοδο του νωπού αέρα, για υψόμετρο 0, είναι η εξής:

$$q = 1,2 \times Q \times \Delta t \quad (3-8)$$

Όπου:

q : Οι απώλειες θερμότητας σε W.

Q : Αέρας διείσδυσης σε L/s.

Δt: Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ περιβάλλοντος και θερμαινόμενου χώρου.

Ο συντελεστής «**1,2**» στη σχέση (3-8) είναι το γινόμενο $c_p \times \rho$ = (ειδική θερμότητα του αέρα) $\times$ (ειδική πυκνότητα του **standard** αέρα) = $1,0 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K} \times 1,2 \text{ Kg/m}^3 = 1,2 \text{ kJ/m}^3\text{K}$.

Στο παράδειγμα που αναφέραμε προηγουμένως υπολογίστηκε ότι ο αέρας διείσδυσης είναι 140 L/s και η Δt είναι ίση με $20 - 2 = 18^\circ\text{C}$. Αντικαθιστώντας στη σχέση (3-8) τα στοιχεία που υπολογίσαμε έχουμε:

$$q_s = 1,2 \times Q \times \Delta t = 1,2 \times 140 \times 18 = 3024 \text{ W}$$

Για σύγκριση των αποτελεσμάτων, αν εργαζόμασταν με τον ψυχομετρικό χάρτη θα βρίσκαμε:

Συνθήκες αέρα διείσδυσης	Απώλειες σε W	Υπολογισμός σφάλματος	Σφάλμα %
2°C/90%	3214	(3214-3024)/3214	5,91
2°C/50%	3223	(3223-3024)/3223	6,17
2°C/15%	3231	(3231-3024)/3231	6,41

Διαπιστώνουμε δηλαδή ότι το σφάλμα είναι πολύ μικρό και χωρίς ουσιαστική σημασία για τις πρακτικές εφαρμογές. Επίσης η περιεχόμενη υγρασία του αέρα ελάχιστα επηρεάζει το αποτέλεσμα, πρακτικά είναι άνευ σημασίας.

Η σχέση (3-8) μπορεί να γενικευτεί στη μορφή (3-9) ώστε να δίνει αποτελέσματα για οποιοδήποτε υψόμετρο.

$$q = C \times Q \times \Delta t \quad (3-9)$$

Όπου $C = c_p \times \rho$. Οι τιμές του C , ανάλογα με το υψόμετρο, δίνονται στον πίνακα (3-9).

Στο θέμα του υπολογισμού του φορτίου από εισαγωγή εξωτερικού αέρα (περιβάλλοντος), θα επανέλθουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην παράγραφο (3-12).

Πίνακας 3-9: Τιμές του C

Υψόμετρο	C
0	1,2
750	1,1
1500	1,0
2250	0,9

3-7. Ο υπολογισμός του θερμικού φορτίου και η επιλογή των μηχανημάτων θέρμανσης

Αφού υπολογίσουμε τα επί μέρους θερμικά φορτία, τα αθροίζουμε και βρίσκουμε το συνολικό θερμικό φορτίο του χώρου. Αυτό όμως δεν είναι το φορτίο που θα λάβουμε υπ' όψη για την επιλογή των μηχανημάτων μας. Υπάρχει και η παράμετρος που ονομάζεται διακοπτόμενη λειτουργία.

Για να καταλάβουμε τι ακριβώς είναι η διακοπτόμενη λειτουργία, θυμηθείτε όσα είπαμε στην παράγραφο (3-1), περίπτωση (γ). Συγκεκριμένα, όταν το σύστημα θέρμανσης διακόπτει τη λειτουργία του (κατόπιν εντολής του θερμοστάτη χώρου), ο χώρος εξακολουθεί να θερμαίνεται από τη θερμότητα που είναι αποθηκευμένη στα δομικά στοιχεία της οικοδομής, των οποίων η θερμοκρασία φυσικά πέφτει.

Όταν θα ξαναρχίσει να λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης (με το άνοιγμα του θερμοστάτη), θα πρέπει αυτό όχι μόνο να αντιμετωπίσει τα θερμικά φορτία αλλά και να αναπληρώσει και τις απώλειες θερμότητας των δομικών στοιχείων. Για να γίνει η αναπλήρωση, στις **μη θερμομονωμένες οικοδομές**, κάνουμε μία προσαύξηση 20-25% επί του θερμικού φορτίου και βάσει αυτού επιλέγουμε τα μηχανήματα.

Πέραν της παραπάνω προσαύξησης μπορούμε να κάνουμε επιπλέον προσαύξηση 5% αν ο προσανατολισμός είναι βορινός, ΒΑ ή ΒΔ. Επίσης μπορούμε να κάνουμε μείωση κατά -5% αν είναι νότιος, ή ΝΑ ή ΝΔ. Η πολυετής εμπειρία που υπάρχει στη θέρμανση έχει αποδείξει ότι τα ποσοστά αυτά είναι απόλυτα ικανοποιητικά.

Αντίθετα, στις θερμομονωμένες οικοδομές, η πράξη έχει αποδείξει ότι η προσαύξηση 25% είναι ανεπαρκής, επειδή, λόγω των μικρών απωλειών, προκύπτουν μικρές οι μονάδες θέρμανσης. Το σύστημα θέρμανσης διακόπτει τη λειτουργία του κατόπιν εντολής του θερμοστάτη και παραμένει εκτός λειτουργίας μέχρις ότου η θερμοκρασία να πέσει στο σημείο εκείνο που θα δοθεί εντολή από το θερμοστάτη για την εκ νέου λειτουργία του. Το αποτέλεσμα θα είναι, στο χρονικό αυτό διάστημα, να χαθεί η ίδια θερμότητα από τα δομικά στοιχεία της θερμομονωμένης οικοδομής, όση θα χανόταν αν η οικοδομή δεν ήταν θερμομονωμένη. Χρειάζεται δηλαδή να αναπληρώσουμε την ίδια περίπου ποσότητα ενέργειας είτε η οικοδομή είναι θερμομονωμένη είτε όχι.

Για να επιτευχθεί η αναπλήρωση της θερμότητας που χάθηκε από τα δομικά στοιχεία της θερμομονωμένης οικοδομής δεν επαρκεί η προσαύξηση 25% επί των θερμικών φορτίων. Οι απώλειες στη θερμομονωμένη οικοδομή είναι μικρές, οπότε η ισχύς προσαύξησης λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας, ως ποσοστό επί του θερμικού φορτίου, χρειάζεται να είναι πολύ μεγαλύτερη. Μία τυπική τιμή είναι η προσαύξηση κατά 100% ⁵.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω ότι στο κατάστημα του σχήματος (3-6), σας ζήτησαν να κάνετε κλιματισμό (θέρμανση το χειμώνα, ψύξη το καλοκαίρι) με αντλίες θερμότητας. Ο χώρος δεν διαθέτει καμία άλλη πηγή θέρμανσης. Έχετε στη διάθεσή σας 4 τύπους αντλιών θερμότητας, θερμαντικής ισχύος αντίστοιχα 3,2 - 4,3 - 6,4 - 8,4 kW. Να επιλέξετε τον αριθμό και τα μεγέθη των μηχανημάτων που απαιτούνται, έχοντας υπόψη σας ότι οι διαθέσιμοι τοίχοι σας φθάνουν για να τοποθετήσετε το πολύ μέχρι 3 μηχανήματα. Να γίνει ο υπολογισμός τόσο στην περίπτωση που το κατάστημα διαθέτει θερμομόνωση, όσο και στην περίπτωση που δεν διαθέτει. Οι συντελεστές θερμοπερατότητας είναι βάσει του πίνακα (3-4), δηλαδή έχουν ως εξής:

⁵ Εναλλακτικά, η προσαύξηση αυτή μπορεί να γίνεται λαμβάνοντας στον υπολογισμό των φορτίων πολύ μεγαλύτερους συντελεστές αγωγιμότητας (U) από αυτούς που προβλέπει η μελέτη θερμομόνωσης (π.χ. διπλάσιες τιμές, πράγμα που ισοδυναμεί με προσαύξηση 100%). Οι περισσότεροι μελετητές εφαρμόζουν αυτό τον τρόπο.

Πίνακας 3-9: Τιμές του συντελεστή U για το παράδειγμα του κτιρίου του σχήματος (3-6)

Στοιχείο κατασκευής	U, W/m ² K Χωρίς θερμομόνωση	U, W/m ² K Με θερμομόνωση
Τοίχος εξωτερικός	2,16	0,58
Οροφή	2,63	0,47
Δάπεδο	1,0	0,57
Κουφώματα αλουμινίου μονών υαλοπινάκων	5,0	-
Κουφώματα αλουμινίου διπλών υαλοπινάκων	-	3,0

➡ Επειδή πρόκειται να εγκατασταθούν αντλίες θερμότητας, όπως ήδη αναφέραμε, δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε με βεβαιότητα αν το κρίσιμο σημείο είναι να καλύπτονται τα θερμικά φορτία ή τα ψυκτικά φορτία. Αν καλύπτονται τα θερμικά φορτία, τότε σε μία θερμομονωμένη οικοδομή, τα ψυκτικά φορτία κατά πάσα πιθανότητα θα καλύπτονται. Στο συγκεκριμένο όμως παράδειγμα του σχήματος (3-6), όπως θα δούμε αργότερα, λόγω των πολλών υαλοπινάκων, το ψυκτικό φορτίο θα προκύψει μεγαλύτερο.

Πίνακας 3-10: Υπολογισμός του θερμικού φορτίου του κτιρίου του σχήματος (3-6) στην περίπτωση που δεν διαθέτει θερμομόνωση

Περιγραφή στοιχείου	Επιφάνεια A (m ²)	U, W/m ² K	A x U x Δt
Τοίχος βορινός	12 x 4 = 48	2,16	1866
Τοίχος ανατολικός	15 x 4 = 60	2,16	2332
Οροφή	15 x 12 = 180	2,63	8521
Δάπεδο	15 x 12 = 180	1,0	3240
Βιτρίνες	(7+6+7) x 1,5=30	5,0-2,16 = 2,84	1534
Πόρτα	2 x 2,5=5	5,0-2,16 = 2,84	256
Σύνολο			17749
Προσαύξηση 25%			4437
Σύνολο από αγωγιμότητα			22186
Από αέρα διείσδυσης			3024
ΣΥΝΟΛΟ (W)			25210
ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ (W)			25200

Στο παράδειγμα της παραγράφου (3-6), υπολογίστηκε για τον εν λόγω χώρο ότι το φορτίο λόγω εξαερισμού ήταν 3024 W.

Στην περίπτωση που δεν έχουμε θερμομόνωση οι απώλειες από αγωγιμότητα έχουν ως εξής ($\Delta t = 18^\circ\text{C}$):



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Στα κουφώματα ελήφθη συντελεστής $U = 5,0 - 2,16 = 2,84$ επειδή οι τοίχοι παρουσιάζουν $U = 2,16$. Αυτό έγινε επειδή ένα τμήμα των απωλειών των κουφωμάτων ελήφθη υπόψη μαζί με τις απώλειες των τοίχων, αφού στο εμβαδόν του κάθε τοίχου συνυπολογίσαμε και το εμβαδόν των κουφωμάτων που είναι πάνω σ' αυτόν. Αν τα κουφώματα παρουσίαζαν και αυτά $U = 2,16 \text{ W/m}^2\text{K}$, όπως οι τοίχοι, δεν θα χρειαζόταν να τα λάβουμε περαιτέρω υπόψη μας στον υπολογισμό. Επειδή όμως το U των κουφωμάτων είναι $5 \text{ W/m}^2\text{K}$, δηλαδή κατά $2,84 \text{ W/m}^2\text{K}$ μεγαλύτερο από το U των τοίχων, πρέπει να συνυπολογίζουμε και το τμήμα αυτό των απωλειών που αντιστοιχεί στη διαφορά του $2,84 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Από τον παραπάνω υπολογισμό, το σύνολο των φορτίων προέκυψε περίπου 25200 W . Κατά συνέπεια θα επιλεγούν 3 μηχανήματα, θερμαντικής ισχύος $8,4 \text{ kW}$ έκαστο, δηλαδή και τα τρία μαζί θα έχουν ισχύ $3 \times 8,4 = 25,2 \text{ kW}$.

Στην περίπτωση που έχουμε θερμομονωμένη κατασκευή, τα φορτία διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 3-11: Υπολογισμός του θερμικού φορτίου του κτιρίου του σχήματος (3-6) στην περίπτωση που είναι θερμομονωμένο

Περιγραφή στοιχείου	Επιφάνεια $A \text{ (m}^2\text{)}$	$U, \text{ W/m}^2\text{K}$	$A \times U \times \Delta t$
Τοίχος βορινός	$12 \times 4 = 48$	0,58	501
Τοίχος ανατολικός	$15 \times 4 = 60$	0,58	626
Οροφή	$15 \times 12 = 180$	0,47	1523
Δάπεδο	$15 \times 12 = 180$	0,57	1847
Βιτρίνες	$(7+6+7) \times 1,5 = 30$	$3,0-0,58 = 2,42$	1307
Πόρτα	$2 \times 2,5 = 5$	$3,0-0,58 = 2,42$	218
Σύνολο			6022
Προσαύξηση 100%			6022
Σύνολο από αγωγιμότητα			12044
Από αέρα διείσδυσης			3024
ΣΥΝΟΛΟ (W)			15068
ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ (W)			15100

Στην περίπτωση αυτή θα επιλέξουμε ένα μηχάνημα θερμαντικής ισχύος 6,4 kW και ένα 8,4 kW, συνολικής ισχύος $6,4 + 8,4 = 14,8$ kW, ή ένα των 6,4 kW και δύο των 4,3 kW, συνολικής ισχύος $6,4 + (2 \times 4,3) = 15$ kW, ή ακόμη και ένα των 8,4 και δύο των 3,2 συνολικής ισχύος $8,4 + (2 \times 3,2) = 14,8$ kW. Η μικρή απόκλιση (0,3 kW) είναι άνευ πρακτικής σημασίας.

3-8. Ψυκτικά φορτία

Στις προηγούμενες παραγράφους, από (3-3) μέχρι και (3-7), αναφερθήκαμε στα θερμικά φορτία κλιματιζόμενου χώρου χωρίς όμως να υπάρχει δίκτυο αεραγωγών που να ανανεώνει τον αέρα των κλιματιζόμενων χώρων. Τα ίδια περίπου που είπαμε ότι ισχύουν και για τα ψυκτικά φορτία, με τη διαφορά ότι έχουμε επιπλέον είδη φορτίων, τα οποία θα δούμε πώς τα υπολογίζουμε. Μεταξύ αυτών θα συμπεριλάβουμε και τα φορτία από το νωπό αέρα που προσάγεται με τους αεραγωγούς.

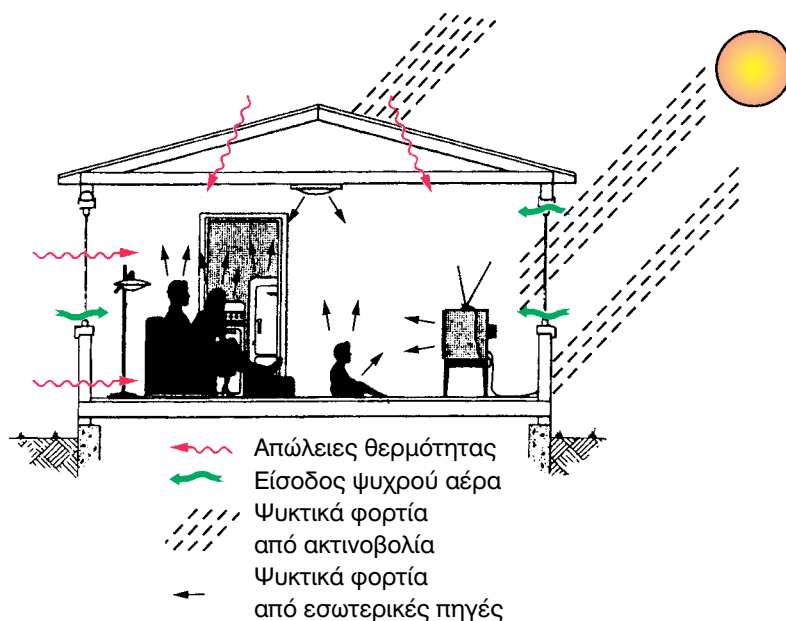
Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων. Οι πλέον γνωστές είναι αυτές που αναπτύχθηκαν από την ASHRAE και από διάφορες εταιρείες κλιματιστικών μηχανημάτων. Βασίζονται στον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου, ώρα με την ώρα και στο τέλος επιλέγονται τα μηχανήματα βάσει του ψυκτικού φορτίου που υπολογίστηκε για τη δυσμενέστερη ώρα. Ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων με αυτές τις μεθόδους είναι χρονοβόρος και γι' αυτό συνήθως γίνεται με H/Y. Θα πρέπει ακόμη να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί παρουσιάζουν αρκετή διαφορά μεταξύ τους. Η παρουσία τέτοιων μεθόδων ξεφεύγει από τους στόχους του παρόντος βιβλίου.

Επίσης, οι παραπάνω μέθοδοι δεν προσφέρονται για γρήγορους υπολογισμούς, π.χ. δεν μπορεί να υπολογίσει κανείς γρήγορα το μέγεθος ενός αυτόνομου κλιματιστικού που θα πρέπει να εγκατασταθεί σε ένα δωμάτιο. Γι' αυτό τα αυτόνομα κλιματιστικά, κατά κανόνα, επιλέγονται με το «μάτι», πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε τραγικά σφάλματα, όπως θα αντιληφθούμε από παραδείγματα που θα ακολουθήσουν.

Η μέθοδος που επιλέξαμε, για τις ανάγκες του βιβλίου, είναι πολύ απλή αλλά αρκετά αποτελεσματική. Τα σκεπτικό της δεν διαφέρει ουσιωδώς από τη μέθοδο υπολογισμού των θερμικών φορτίων που ήδη μάθαμε. Προσφέρεται ιδιαίτερα για γρήγορους υπολογισμούς.

Τα ψυκτικά φορτία όπως γνωρίζουμε είναι δύο ειδών, τα αισθητά και τα λανθάνοντα, με αντίστοιχους συμβολισμούς q_s και q_L . Οι πηγές των ψυκτικών φορτίων μπορεί να βρίσκονται έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο, οπότε χαρακτηρίζονται ως **εξωτερικές πηγές**, ενώ αυτές που βρίσκονται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο, τις λέμε **εσωτερικές πηγές** ψυκτικών φορτίων. Τα ψυκτικά φορτία από εξωτερικές πηγές είναι τριών ειδών, τα εξής:

- Τα ψυκτικά φορτία από **αγωγιμότητα**.
- Τα ψυκτικά φορτία από **ακτινοβολία**.
- Τα ψυκτικά φορτία από την **είσοδο εξωτερικού αέρα**.



Σχήμα 3-7. Σχηματική παράσταση των ψυκτικών φορτίων ενός χώρου.

Οι πηγές ψυκτικών φορτίων που βρίσκονται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο μάς δίνουν τα ακόλουθα τέσσερα είδη ψυκτικών φορτίων:

- Τα ψυκτικά φορτία από **ανθρώπους** που ζουν ή εργάζονται στο χώρο που κλιματίζεται.
- Τα ψυκτικά φορτία από **φωτισμό** του χώρου.
- Τα ψυκτικά φορτία από **ηλεκτροκινητήρες** που λειτουργούν στον κλιματιζόμενο χώρο.

- Τα ψυκτικά φορτία από **ηλεκτρικές συσκευές**.

Δηλαδή, συνολικά έχουμε **επτά (7)** είδη ψυκτικών φορτίων. Όλα τα παραπάνω είδη δίνουν αισθητό φορτίο. Λανθάνον φορτίο όμως δίνουν μόνο τα εξής **τρία (3)** από αυτά:

- Ο **εξωτερικός νωπός αέρας**, που είναι και η κύρια αιτία δημιουργίας του λανθάνοντος φορτίου.
- Οι **άνθρωποι**.
- Ορισμένες **ηλεκτρικές συσκευές**.

Για τον υπολογισμό του κάθε είδους από τα ψυκτικά φορτία που αναφέρονται παραπάνω, ακολουθείται ειδική διαδικασία η οποία θα αναπτυχθεί στις επόμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου.

3-9. Ψυκτικά φορτία από αγωγιμότητα

Όπως είδαμε και στην παράγραφο (3-4) που αναφέρεται στις θερμικές απώλειες από αγωγιμότητα, έτσι και στην περίπτωση των ψυκτικών φορτίων από αγωγιμότητα, έχουμε ροή θερμότητας μέσα από επιφάνειες που περιβάλλουν τον κλιματιζόμενο χώρο (τοίχοι, παράθυρα, οροφές, δάπεδα κλπ.).

Τα ψυκτικά φορτία από αγωγιμότητα αποτελούν εξ ολοκλήρου **αισθητά ψυκτικά** φορτία, γιατί δεν διαφοροποιούν την ειδική υγρασία του αέρα.

Το μέγεθος του ψυκτικού φορτίου από αγωγιμότητα εξαρτάται από τις ίδιες ακριβώς παραμέτρους που εξαρτάται και το θερμικό φορτίο από αγωγιμότητα, δηλαδή:

- Από το **μέγεθος της επιφάνειας**.
- Από την **αγωγιμότητα** των υλικών κατασκευής της επιφάνειας, μέσω της οποίας ρέει η θερμότητα.
- Από τη **διαφορά θερμοκρασίας** μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου και της θερμοκρασίας του χώρου. Προσέξτε ότι αυτή **δεν** είναι η διαφορά μεταξύ του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και του εσωτερικού χώρου. Ο λόγος είναι ότι οι εξωτερικοί τοίχοι, λόγω της προσβολής τους από τις ακτίνες του ηλίου, αναπτύσσουν θερμοκρασίες διαφορετικές από τον αέρα του περιβάλλοντος. Για

να αντιληφθείτε καλύτερα τι συμβαίνει θα πρέπει να θυμηθείτε την περίπτωση (β) της παραγράφου (3-1).

Η παραπάνω διαφορά θερμοκρασίας στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως **CLTD** (= **Cooling Load Temperature Difference**) και βρίσκεται από πίνακες. Στο παρόν βιβλίο, για ευκολία και για συντομία, θα τη συμβολίζουμε ως Δt_c . Πρόκειται για μία τιμή της θερμοκρασιακής διαφοράς που ισχύει για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, στην οποία έχουν ληφθεί υπόψη και όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου που αναφέραμε στην παράγραφο (3-1). Στις μεθόδους υπολογισμού υψηλής ακρίβειας, όπως αναφέραμε προηγουμένως, οι τιμές του Δt_c δίνονται ανά ώρα και ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για τις ανάγκες του παρόντος βιβλίου δίνει το Δt_c σαν μία τιμή που ισχύει για όλο το 24ωρο, πράγμα που απλοποιεί πάρα πολύ τους υπολογισμούς και τους κάνει να μοιάζουν με τους υπολογισμούς θερμικών φορτίων που ήδη έχουμε δει πώς γίνονται.

Η σχέση (3-3) που χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό των απωλειών θερμότητας ισχύει και στην περίπτωση υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων, με τη διαφορά ότι αντί του Δt έχουμε το Δt_c και αντί για το συμβολισμό του φορτίου με q , το συμβολίζουμε με q_s . Ο λόγος που χρησιμοποιούμε το q_s είναι ότι στον κλιματισμό κάνουμε διάκριση μεταξύ αισθητού και λανθάνοντος φορτίου (το φορτίο από αγωγιμότητα είναι αισθητό). Έτσι η σχέση (3-3) παίρνει τη μορφή:

$$q_s = A \times U \times \Delta t_c \quad (3-10)$$

Όπου:

q_s : Τα ψυκτικά φορτία από αγωγιμότητα σε W.

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας σε m^2 .

U: Ολικός συντελεστής αγωγιμότητας (θερμοπερατότητας) των υλικών από τα οποία αποτελείται η επιφάνεια σε W/m^2K .

Δt_c : Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου και της θερμοκρασίας του χώρου.

Τιμές του ολικού συντελεστή αγωγιμότητας δίνονται στον πίνακα (3-4). Επίσης τιμές του συντελεστή Δt_c δίνονται στον πίνακα (3-13).

Όπως βλέπετε και στον πίνακα (3-13), τα κτίρια και οι εντός αυτών χώροι, ανάλογα με το βαθμό ευκολίας που έχουν στο να αποβάλουν τη θερμότητα, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

(Α) Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν εύκολα θερμότητα⁶

Είναι αυτά που ενώ βάλλεται η μία πλευρά τους ή η μία γωνία τους από τις ηλιακές ακτίνες, η ακριβώς απέναντι παραμένει ελεύθερη, για να αποβάλει στο περιβάλλον την εν τω μεταξύ συσσωρευμένη θερμότητα.

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα κτίρια που είναι πανταχόθεν ελεύθερα ή που είναι ελεύθερες τουλάχιστον οι δύο απέναντι πλευρές τους. Τυπική περίπτωση είναι οι μονοκατοικίες και οι διπλοκατοικίες, στις οποίες ο κάθε όροφος αποτελεί ένα ανεξάρτητο διαμέρισμα υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει κλιματισμός σε ολόκληρο το διαμέρισμα.

Αν ο όροφος είναι χωρισμένος σε περισσότερα του ενός διαμερίσματα, τότε ένα διαμέρισμα που βρίσκεται μέσα σε ένα τέτοιο κτίριο, για να μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία αυτή θα πρέπει να έχει τις ίδιες ακριβώς προϋποθέσεις. Δηλαδή ένα οροφοδιαμέρισμα ή ένα διαμπερές διαμέρισμα ανήκει σ' αυτήν την κατηγορία. Αντίθετα ένα γωνιακό διαμέρισμα ανήκει στην επόμενη κατηγορία. Αν πρόκειται για κλιματισμό μόνο ενός μεμονωμένου δωματίου, δηλαδή αν δεν κλιματίζεται ολόκληρο το διαμέρισμα, τότε η περίπτωση αυτή ανήκει πάντα στην επόμενη κατηγορία.

(Α) Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν δύσκολα τη θερμότητα

Αυτά είναι τα κτίρια που έχουν μόνο μία ελεύθερη πλευρά ή δύο ελεύθερες συνεχόμενες πλευρές (γωνιακά κτίρια). Όλα τα διαμερίσματα που βρίσκονται μέσα σ' ένα τέτοιο κτίριο ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία.

Οι περισσότερες πολυκατοικίες που κατασκευάζονται στην Ελλάδα, διαθέτουν αίθριο στο πίσω μέρος, πράγμα που τις κάνει, σαν κτίρια, να **μην** ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία, αλλά στην προηγούμενη. Όμως τα επιμέρους διαμερίσματα, αν δεν είναι οροφοδιαμερίσματα ή διαμπερή διαμε-

6 Ο Αγγλικός τεχνικός όρος είναι Single Family buildings που καταρχήν φαίνεται ότι θα μπορούσε να αποδοθεί σωστά με τον όρο μονοκατοικία. Όμως αυτός ο όρος δεν ανταποκρίνεται αρκετά καλά στις ελληνικές κατασκευές, που, στην πλειονότητά τους, έχουν τουλάχιστον τις δύο απέναντι πλευρές τους ελεύθερες, είτε είναι μονοκατοικίες, είτε είναι πολυκατοικίες. Γι' αυτό προτιμήθηκε ο όρος «Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν εύκολα θερμότητα».

7 Ο αγγλικός τεχνικός όρος είναι Multi Family Buildings, και η καλύτερη απόδοσή του στα Ελληνικά θα ήταν πολυκατοικία. Ο τρόπος όμως που κατασκευάζονται οι ελληνικές πολυκατοικίες, όπου στο εσωτερικό υπάρχει σχεδόν πάντα αίθριο, μάλλον τις κάνει να προσομοιάζουν στη θερμική συμπεριφορά με τους χώρους που χαρακτηρίζονται ως Single Family Buildings (μονοκατοικίες). Γι' αυτό προτιμήθηκε ο όρος «Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν εύκολα θερμότητα».

ρίσματα, δηλαδή αν δεν έχουν πρόσβαση και στις δύο απέναντι πλευρές της οικοδομής, θα ανήκουν στην κατηγορία των κτιρίων που αποβάλλουν δύσκολα τη θερμότητα.

Για την επιλογή του Δt_c θα πρέπει να γνωρίζουμε και τη μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά Δt_c μεταξύ του περιβάλλοντος και εσωτερικού θερμαινόμενου χώρου. Π.χ. αν οι εσωτερικοί χώροι έχουν θερμοκρασία 27°C και η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία της ημέρας είναι 35°C , τότε έχουμε $\Delta t = 8^\circ\text{C}$, οπότε το Δt_c το επιλέγουμε από την αντίστοιχη στήλη του πίνακα (3-13) που έχει συνταχθεί για $\Delta t = 8^\circ\text{C}$.

Στο συνολικό φορτίο που προκύπτει, **δεν** κάνουμε προσαυξήσεις διακοπτόμενης λειτουργίας, όπως κάνουμε στη θέρμανση. Αυτό γίνεται, όχι επειδή δεν υπάρχει η διακοπτόμενη λειτουργία, αλλά επειδή οι προσαυξήσεις έχουν συνυπολογιστεί στην τιμή του Δt_c . Είναι δηλαδή σαν στη θέρμανση, να προσαυξάναμε το Δt κατά τόσο ποσοστό, όσο και οι προσαυξήσεις λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας.

Πίνακας 3-13: Τιμές του συντελεστή Δt_c για κτίρια με σκούρα χρώματα και για 24ωρη λειτουργία

Κατηγορία κτιρίου →	(Α) Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν εύκολα τη θερμότητα			(Β) Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν δύσκολα τη θερμότητα		
	8	11	14	8	11	14
Δt μεταξύ αέρα περιβάλλοντος και αέρα χώρου →						
Είδος επιφανείας ↓						
Τοίχοι και πόρτες προσανατολισμός βορινός	4	7	10	6	9	12
BA	8	11	13	9	12	14
ανατολικός	10	13	16	13	16	18
NA	9	12	14	12	15	17
νότιος	6	9	12	9	12	14
NΔ	9	12	14	13	17	19
δυτικός	10	13	16	15	18	21
ΒΔ	8	11	13	11	14	17
Οροφές						
πλάκα μπετόν χωρίς μόνωση	23	26	28	33	36	39
πλάκα μπετόν με βαριά μόνωση	12	13	14	12	13	14
σοφίτες	23	26	28	-	-	-
σκιαζόμενη πλάκα, κεραμοσκεπή	7	9	10	7	9	10
Τοίχοι, δάπεδα και οροφές σε επαφή με εσωτερικούς μη κλιματιζόμενους χώρους	5	7	8	5	7	8

Οι τιμές του πίνακα (3-13) επηρεάζονται και από το χρώμα των τοίχων. Τα σκούρα χρώματα απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία και κατά συνέπεια το σπίτι θα είναι πολύ πιο ζεστό. Στην Ελλάδα τις περισσότερες φορές έχουμε ανοικτά χρώματα. Επειδή όμως το χρώμα είναι μία άγνωστη παράμετρος, ο πίνακας (3-13) έχει συνταχθεί για σκούρα χρώματα. Ως εκ τούτου, όταν τον χρησιμοποιείτε με ανοικτά χρώματα **συνιστάται**, ως γρήγορη λύση, να χρησιμοποιείτε την αμέσως προηγούμενη στήλη, αντί δηλαδή για τις τιμές της στήλης με $\Delta t = 11^\circ\text{C}$, να λαμβάνετε τις τιμές της στήλης με $\Delta t = 8^\circ\text{C}$ ⁸. Αλλιώς μπορεί να σας προκύψει, χωρίς λόγο, πολύ μεγάλο κλιματιστικό μηχάνημα.

Ένα μεγάλο μέρος του φορτίου οφείλεται πάντοτε στη σκεπή. Όπως βλέπουμε από τον πίνακα (3-13), η καλύτερη περίπτωση είναι να έχουμε κεραμοσκεπή.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να βρεθεί το ψυκτικό φορτίο από αγωγιμότητα, αν δίνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Επιφάνεια $A=20\text{ m}^2$, με σκούρο χρώμα, από συνήθη εξωτερικό τοίχο με μόνωση 5 cm, με ανατολικό προσανατολισμό, σε κτίριο που αποβάλλει δύσκολα θερμότητα.
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος: 38°C και θερμοκρασία κλιματιζόμενου χώρου: 27°C .

➔ Από τον πίνακα (3-4) παίρνουμε $U = 0,58\text{ W/m}^2\text{K}$. Έχουμε $\Delta t = 38 - 27 = 11^\circ\text{C}$, οπότε από τον πίνακα (3-13), βρίσκουμε $\Delta t_c = 16^\circ\text{C}$. Εφαρμόζοντας τη σχέση (3-10) έχουμε:

$$q_s = A \times U \times \Delta t_c = 20 \times 0,58 \times 16 = 186\text{ W}$$

Ακολουθώντας τη διαδικασία του παραπάνω παραδείγματος υπολογί-

8 Για καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις:

Ανοικτά χρώματα: $\Delta t_c = 0,55 \times \Delta t_1 + 0,45 \times \Delta t_2$ (λευκό, κρεμ, ώχρα κ.λπ.)

Ενδιάμεσα χρώματα: $\Delta t_c = 0,78 \times \Delta t_1 + 0,22 \times \Delta t_2$ (ανοικτό πράσινο, σιέλ, ροζ κ.λπ.)

όπου $\Delta t_1 =$ η τιμή του Δt_c για σκούρα χρώματα

$\Delta t_2 =$ η τιμή του Δt_c για σκιαζόμενη πλάκα (αν πρόκειται για οροφή) ή του βορινού προσανατολισμού (αν πρόκειται για τοίχους).

ζουμε το ψυκτικό φορτίο για κάθε επιφάνεια που περιβάλλει τον κλιματιζόμενο χώρο. Αθροίζοντας όλα τα ψυκτικά φορτία από αγωγή των επιφανειών του χώρου, βρίσκουμε το συνολικό ψυκτικό φορτίο από αγωγιμότητα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Να υπολογιστούν τα ψυκτικά φορτία από αγωγιμότητα στο κτίριο του σχήματος (3-8). Το κτίριο έχει σκούρα χρώματα και, όπως ήδη αναφέραμε, οι εσωτερικοί χώροι έχουν θερμοκρασία 27°C και το περιβάλλον έχει μέγιστη θερμοκρασία 35°C , δηλαδή έχουμε $\Delta t = 35 - 27 = 8^{\circ}\text{C}$. Να γίνει υπολογισμός τόσο για την περίπτωση που έχουμε θερμομόνωση, όσο και για την περίπτωση που δεν έχουμε. Οι τιμές του U είναι αυτές που δίδονται στον πίνακα (3-9). Να συγκρίνετε τα αποτελέσματα με αυτά των πινάκων (3-10) και (3-11).



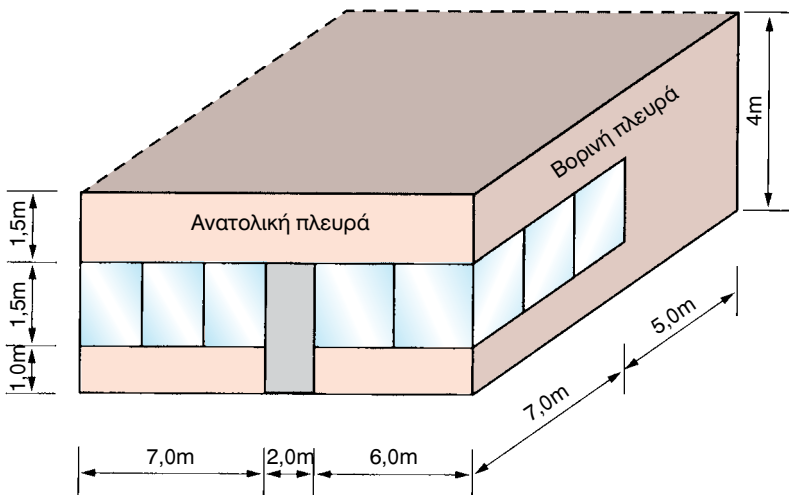
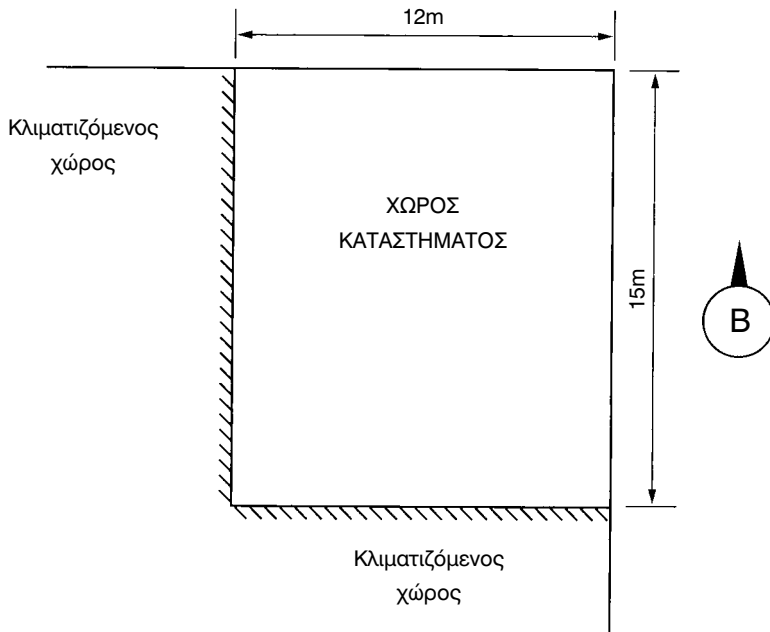
ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Τα σχήματα (3-6) και (3-8) είναι τα ίδια. Επαναλαμβάνουμε το σχήμα (3-6) για τη διευκόλυνση των μαθητών.

➔ Στην περίπτωση που το κτίριο δεν διαθέτει θερμομόνωση, έχουμε την κατάσταση του πίνακα (3-14). Παρατηρούμε ότι έχουμε πολύ μεγάλο ψυκτικό φορτίο που είναι 19913 W, σχεδόν όσο και το θερμικό λόγω αγωγιμότητας, που είναι 22186 W. Το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου και συγκεκριμένα το 78% οφείλεται στη μη θερμομονωμένη οροφή.

Πίνακας 3-14: Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από αγωγιμότητα του κτιρίου του σχήματος (3-8) στην περίπτωση που δεν διαθέτει θερμομόνωση

Περιγραφή στοιχείου	A (m ²)	U, W/m ² K	Δt_c	A x U x Δt_c
Τοίχος βορινός	48	2,16	6	622
Τοίχος ανατολικός	60	2,16	13	1685
Οροφή	180	2,63	33	15622
Δάπεδο	180	1,0	5	900
Βιτρίνες βορινές	10,5	5,0-2,16=2,84	6	179
Βιτρίνες ανατολικές	19,5	2,84	13	720
Πόρτα	5	2,84	13	185
Σύνολο				19913



Σχήμα 3-8. Το κατάστημα του παραδείγματος (θα χρησιμοποιηθεί και σε επόμενα παραδείγματα). Είναι το ίδιο με αυτό που φαίνεται στο σχήμα (3-6).

Στη δεύτερη περίπτωση που το κτίριο είναι θερμομονωμένο έχουμε την κατάσταση του πίνακα (3-15). Παρατηρούμε ότι εδώ το φορτίο από αγωγιμότητα είναι πολύ πιο μικρό, μόλις 3298 W, αντί για 12044 W που είχαμε υπολογίσει από αγωγιμότητα στη θέρμανση.

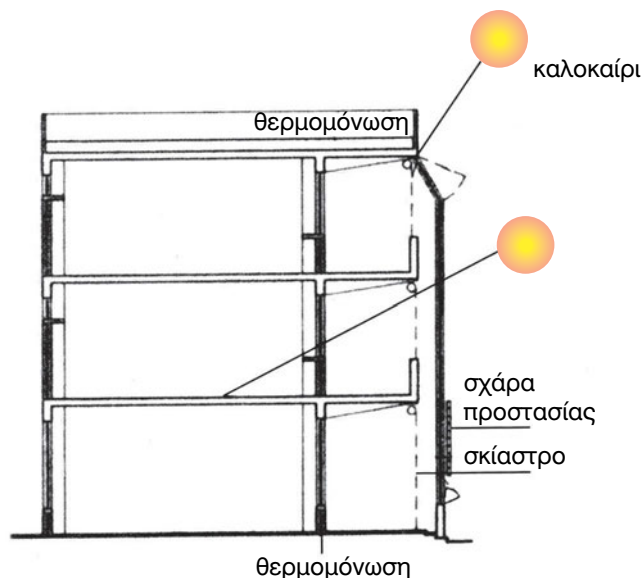
Πίνακας 3-15: Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από αγωγιμότητα του κτιρίου του σχήματος (3-8) στην περίπτωση που έχει θερμομόνωση

Περιγραφή στοιχείου	A (m ²)	U, W/m ² K	Δt_c	A x U x Δt_c
Τοίχος βορινός	48	0,58	6	167
Τοίχος ανατολικός	60	0,58	13	452
Οροφή	180	0,47	12	1015
Δάπεδο	180	0,57	5	513
Βιτρίνες βορινές	10,5	3,0-0,58=2,42	6	152
Βιτρίνες ανατολικές	19,5	2,42	13	613
Πόρτα	5	2,42	13	157
Σύνολο				3069

3-10. Ψυκτικά φορτία από Ακτινοβολία

Τα ψυκτικά φορτία από ακτινοβολία οφείλονται στην απευθείας είσοδο των ακτινών του ήλιου σ' ένα κλιματιζόμενο χώρο από τους υαλοπίνακες (τζάμια) του κτιρίου και αποτελούν εξ ολοκλήρου **αισθητά φορτία**, όπως και το ψυκτικό φορτίο από αγωγιμότητα. Επομένως, για την ύπαρξη ψυκτικών φορτίων από ακτινοβολία σ' ένα χώρο, θα πρέπει να υπάρχουν επιφάνειες με υαλοπίνακες (τζάμια) και ο προσανατολισμός του χώρου να είναι τέτοιος ώστε τα τζάμια να δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία. Είναι φανερό ότι τα ψυκτικά φορτία από ακτινοβολία δεν είναι σταθερά αλλά εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Από τον **προσανατολισμό** της γυάλινης επιφάνειας (ανατολικός, δυτικός κλπ).
- Από την **εποχή του έτους**, επειδή από αυτήν εξαρτάται η γωνία πρόσπτωσης των ακτινών στην επιφάνεια του τζαμιού.
- Από την **ώρα** της ημέρας.
- Από το **γεωγραφικό πλάτος** στο οποίο βρίσκεται το κλιματιζόμενο κτίριο (π.χ. 40° βόρειο πλάτος).

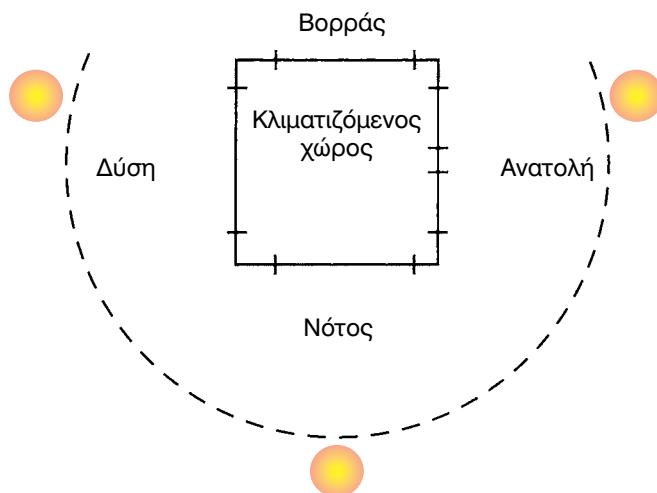


Σχήμα 3-9. Σχηματική παράσταση εισαγωγής θερμότητας από ακτινοβολία σε κλιματιζόμενο χώρο.

Η μέγιστη τιμή ψυκτικών φορτίων από ακτινοβολία σημειώνεται στην επιφάνεια της θάλασσας, σε καθαρή ατμόσφαιρα και όταν οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στην επιφάνεια της τζαμαρίας. Όσο μικραίνει η γωνία με την οποία οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν στην τζαμαρία, τόσο μικραίνει και το ψυκτικό φορτίο από ακτινοβολία. Με τις παραπάνω προϋποθέσεις το μέγιστο ψυκτικό φορτίο από ακτινοβολία, παρουσιάζεται σε διαφορετική ώρα για κάθε προσανατολισμό. Έτσι στις τζαμαρίες με ανατολικό προσανατολισμό το μέγιστο ψυκτικό φορτίο παρουσιάζεται κατά τις 10:00 το πρωί, ενώ στις επιφάνειες με δυτικό προσανατολισμό κατά τις 16:00 το απόγευμα.

Βέβαια εκτός από την άμεση ακτινοβολία, υπάρχει και η διάχυτη ακτινοβολία η οποία διαπερνάει τα τζάμια και μπαίνει στον κλιματιζόμενο χώρο, χωρίς την παρουσία των ακτίνων του ήλιου. Έτσι στις βόρεια προσανατολισμένες τζαμαρίες παρά το γεγονός ότι δεν έχουμε ποτέ απ' ευθείας πτώση των ηλιακών ακτίνων στους υαλοπίνακες, παρατηρείται ένα σημαντικό ψυκτικό φορτίο από διάχυτη ακτινοβολία που μπορεί να φτάσει σε πολύ υπολογίσιμες τιμές.

Ο συντελεστής των ψυκτικών φορτίων από ακτινοβολία μέσω των υαλοπινάκων συμβολίζεται ως **GLF (Glass Load Factor)** και εκφράζεται σε W/m^2 . Για συντομία και ευκολία απομνημόνευσης θα το συμβολίζουμε ως q_g .



Σχήμα 3-10. Τα κτίρια πρέπει να κτίζονται έτσι ώστε να αποφεύγονται τα ψυκτικά φορτία από ακτινοβολία κατά το καλοκαίρι και να παίρνουμε θερμικά κέρδη κατά το χειμώνα.

Δεν είναι η στιγμιαία ακτινοβολία, η οποία σε ορισμένες ώρες της ημέρας μπορεί να υπερβεί ακόμη και τα 800 W/m^2 , αλλά είναι μία τιμή, η οποία υπολογίστηκε αφού ελήφθη υπόψη και η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, την οποία συνοπτικά αναπτύξαμε στην παράγραφο (3-1). Ο πίνακας (3-16) που ακολουθεί μας δίνει τιμές του συντελεστή a_g . Όπως βλέπουμε στον πίνακα (3-16), η χειρότερη περίπτωση προσανατολισμού για τα ψυκτικά φορτία είναι ο δυτικός σε κτίρια που αποβάλλουν δύσκολα τη θερμότητα και στα οποία φθάνει να έχει πολύ μεγάλες τιμές.

Ο πίνακας (3-16) έχει συνταχθεί για το μέσο γεωγραφικό πλάτος του ελληνικού χώρου (38°) και γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη του ελληνικού χώρου που στην πλειοψηφία τους κυμαίνονται μεταξύ 35° και 41° .

ΕΡΩΤΗΣΗ: Γιατί η θερμοκρασιακή διαφορά Δt επηρεάζει την τιμή του a_g ;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Επειδή η αποθηκευτική ικανότητα του κτιρίου σε θερμότητα εξαρτάται από την τιμή του Δt , όπως φαίνεται από τη σχέση (3-1) της παραγράφου (3-1), περίπτωση (γ). Και η θερμότητα από ακτινοβολία, που απορροφάται από τα δομικά στοιχεία μειώνει το φορτίο όταν απορροφάται, αλλά εμφανίζεται σαν φορτίο αργότερα (μεταχρονισμός).

Πίνακας 3-16: Τιμές συντελεστή του q_g , από ακτινοβολία μέσω υαλοπινάκων σε W/m^2 , για γεωγραφικό πλάτος 38° (η Αθήνα έχει 38° και η Θεσσαλονίκη $40,5^\circ$, η Κρήτη 35°)

Κατηγορία κτιρίου →	(Α) Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν εύκολα τη θερμότητα			(Β) Κτίρια και χώροι που αποβάλλουν δύσκολα τη θερμότητα		
	8	11	14	8	11	14
Δt → Είδος επιφανείας ↓						
Απλοί υαλοπίνακες						
προσανατολισμός βορινός	114	129	148	139	155	170
BA	205	221	237	281	287	300
ανατολικός	284	300	315	432	438	448
NA	236	251	265	410	423	438
νότιος	160	175	190	265	280	295
NΔ	236	251	265	501	517	533
δυτικός	284	300	315	561	577	593
ΒΔ	205	221	237	401	416	432
Διπλοί υαλοπίνακες						
προσανατολισμός βορινός	95	107	117	114	123	132
BA	177	186	196	249	252	262
ανατολικός	246	255	265	382	385	394
NA	204	213	222	356	366	375
νότιος	137	146	154	227	236	245
NΔ	204	213	222	432	442	451
δυτικός	246	255	265	486	495	505
ΒΔ	177	186	196	344	353	363

Το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας από ακτινοβολία που πέφτει στις τζαμαρίες μπαίνει στον κλιματιζόμενο χώρο. Ένα μέρος της ακτινοβολούμενης θερμότητας που πέφτει στις τζαμαρίες ανακλάται προς το περιβάλλον. Το ποσοστό της θερμότητας που ανακλάται εξαρτάται από τη γωνία με την οποία οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν πάνω στα τζάμια, δηλαδή από την εποχή και την ώρα της ημέρας. Επίσης ένα ποσοστό ακτινοβολίας απορροφάται από τα τζάμια. Το ποσοστό απορρόφησης θερμότητας από τα τζάμια εξαρτάται από το είδος και την κατασκευή τους. Οι τιμές που δίνει ο πίνακας (3-16) είναι οι μέγιστες για κάθε προσανατολισμό και μπορούν να μειωθούν σημαντικά με διάφορα μέσα και σε ποσοστά που δίνονται από τον πίνακα (3-17).

Στις πολυώροφες οικοδομές που περιβάλλονται πανταχόθεν από υαλοπίνακες (αντί για εξωτερικούς τοίχους), χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες απορροφητικοί, διπλοί, με διάκενο. Έτσι τα ψυκτικά φορτία από ακτινοβολία περιορίζονται σημαντικά και η λειτουργία της εγκατάστασης κλιματισμού γίνεται οικονομικότερη.

Πίνακας 3-17: Συντελεστής μείωσης ψυκτικών φορτίων από ακτινοβολία Πολλαπλασιάζουμε τις παραπάνω τιμές με αυτές του πίνακα (3-16)

Μέσο μείωσης ψυκτικού φορτίου	Συντελεστής
Υαλοπίνακες απορροφητικοί	0,65
Υαλοπίνακες βαμμένοι	0,60
Τέντα εξωτερική	0,30
Περσίδες ή κουρτίνες	0,70



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να υπολογιστούν τα ψυκτικά φορτία από ακτινοβολία, σε υαλοστάσιο με διπλούς υαλοπίνακες, επιφάνειας 80 m², αν ο προσανατολισμός του υαλοστασίου είναι δυτικός, ο χώρος είναι ανοιχτός και από τις δύο απέναντι πλευρές του και έχει θερμοκρασία 27°C ενώ το περιβάλλον έχει θερμοκρασία 38°C. Αν ο χώρος αντί διαμπερής ήταν γωνιακός, πόσο % θα είχαμε μεγαλύτερο φορτίο;

➔ Από τον πίνακα (3-16), για δυτικό προσανατολισμό, κατηγορία κτιρίου (Α), για $\Delta t = 38 - 27 = 11^\circ\text{C}$ και για διπλούς υαλοπίνακες (γεωγραφικό πλάτος 38°) παίρνουμε συντελεστή $q_g = 255 \text{ W/m}^2$. Επομένως το ψυκτικό φορτίο από ακτινοβολία στα 80 m² θα είναι:

$$q_s = 255 \times 80 = 20400 \text{ W}$$

Αν ο χώρος ήταν γωνιακός, τότε το κτίριο θα ανήκε στην κατηγορία (Β) και από τον πίνακα (3-16) θα είχαμε $q_g = 495 \text{ W/m}^2$. Οπότε το φορτίο θα ήταν:

$$q_s = 495 \times 80 = 39600 \text{ W}$$

Δηλαδή η ποσοστιαία επιβάρυνση θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική:

$$(39600 - 20400) / 20400 = 94\%$$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Αν υποθέσουμε, στο παραπάνω παράδειγμα, ότι τοποθετήθηκαν απορροφητικοί υαλοπίνακες και εσωτερικές περσίδες, τότε σύμφωνα με τα ποσοστά μείωσης του ψυκτικού φορτίου από ακτινοβολία του πίνακα (3-17), το

ψυκτικό φορτίο του παραδείγματός μας θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με $0,65 \times 0,70 = 0,455$, οπότε:

$$q_s = 20400 \times 0,455 = 9282 \text{ W}$$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Στο κτίριο του σχήματος (3-8) να υπολογιστεί το φορτίο από ηλιακή ακτινοβολία, τόσο για την περίπτωση που έχουμε θερμομόνωση, όσο και για την περίπτωση που δεν έχουμε. Το $\Delta t = 8^\circ\text{C}$, όπως αναφέρθηκε και κατά τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου από αγωγιμότητα. Υπάρχει σκίαση με τέντες από την ανατολική πλευρά. Τι παρατηρείτε αν συγκρίνετε τα φορτία από αγωγιμότητα με αυτά από ακτινοβολία;

➡ Στην περίπτωση που το κτίριο δεν διαθέτει θερμομόνωση, έχουμε την κατάσταση του πίνακα (3-18). Παρατηρούμε ότι εδώ τα φορτία είναι ασήμαντα σε σχέση με τα αντίστοιχα από αγωγιμότητα που είχαν υπολογιστεί σε 19913 W.

Πίνακας 3-18: Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από ακτινοβολία του κτιρίου του σχήματος (3-8) στην περίπτωση που δεν διαθέτει θερμομόνωση

Περιγραφή στοιχείου	A (m ²)	q _g	A x q _g
Βιτρίνες βορινές	10,5	139	1460
Βιτρίνες ανατολικές	19,5	$432 \times 0,30 = 130$	2535
Πόρτα γυάλινη	5	130	650
Σύνολο			4645

Στη δεύτερη περίπτωση που το κτίριο είναι θερμομονωμένο, οι υαλοπίνακες είναι διπλοί, οπότε έχουμε την κατάσταση του πίνακα (3-19). Παρατηρούμε ότι εδώ τα φορτία είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα από αγωγιμότητα που είχαν υπολογιστεί σε 3069 W.

Πίνακας 3-19: Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από ακτινοβολία του κτιρίου του σχήματος (3-8) στην περίπτωση που υπάρχει θερμομόνωση

Περιγραφή στοιχείου	A (m ²)	q _g	A x q _g
Βιτρίνες βορινές	10,5	114	1197
Βιτρίνες ανατολικές	19,5	382 x 0,30 = 115	2243
Πόρτα γυάλινη	5	115	575
Σύνολο			4015

3-11. Η είσοδος του εξωτερικού αέρα

Υπάρχουν δύο τρόποι για να εισέρχεται ο αέρας στον κλιματιζόμενο χώρο: μέσω των χαραμάδων των κουφωμάτων ή μέσω αεραγωγών. Σε ένα σωστά κλιματιζόμενο χώρο δεν είναι δυνατό να παρουσιάζονται συγχρόνως και τα δύο. Συγκεκριμένα, όταν υπάρχει δίκτυο αεραγωγών, ο απαγόμενος αέρας θα πρέπει να είναι λιγότερος από τον προσαγόμενο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η πλεονάζουσα ποσότητα αέρα να διαφεύγει μέσω των χαραμάδων, εμποδίζοντας με αυτό τον τρόπο την είσοδο στο χώρο του ζεστού αέρα του περιβάλλοντος μέσα από τις χαραμάδες.

(α) Είσοδος αέρα μέσω των χαραμάδων

Όπως είδαμε και στην παράγραφο (3-6) που αναφέρεται στις θερμικές απώλειες από την είσοδο εξωτερικού αέρα (αέρας περιβάλλοντος), σε κάθε χώρο που κλιματίζεται, μπαίνει από τις χαραμάδες των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα), ένα ποσό αέρα περιβάλλοντος. Ο θερμός αέρας περιβάλλοντος του καλοκαιριού που μπαίνει στον κλιματιζόμενο χώρο μεταφέρει ψυκτικό φορτίο στο χώρο (θερμότητα). Το ψυκτικό φορτίο που μπαίνει στον κλιματιζόμενο χώρο από τον αέρα του περιβάλλοντος εξαρτάται:

- Από την **ποσότητα του εισερχόμενου αέρα**.
- Από τη **θερμοκρασία περιβάλλοντος**.

Το ποσό του εισερχόμενου αέρα περιβάλλοντος που μπαίνει στον κλιματιζόμενο (ψυχόμενο) χώρο εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες με εκείνους των θερμικών απωλειών, παράγραφος (3-6), περίπτωση (α). Δηλαδή:

- Από το **μήκος των χαραμάδων** των ανοιγμάτων (κουφωμάτων).

- Από την **ποιότητα κατασκευής των ανοιγμάτων** (πόσο καλά κλείνουν).
- Από την **ένταση και τη διεύθυνση των ανέμων** στην περιοχή.
- Από τη **θερμοκρασία περιβάλλοντος** της περιοχής.
- Από τη **θέση των ανοιγμάτων** (προστατευμένα από γειτονικά κτίρια, εκτεθειμένα σε δυνατό αέρα κλπ.).

Όσον αφορά την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα, ισχύουν όσα είπαμε στην παράγραφο (3-6). Η ποσότητα για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων, όπως αναφέραμε, επιλέγεται βάσει του πίνακα (3-7). Αν και για τα ψυκτικά φορτία μπορεί να γίνει μία μείωση⁹ στις τιμές αυτές, αυτή δεν συνιστάται, επειδή στις ελληνικές συνθήκες έχουμε ισχυρούς ανέμους ακόμη και το καλοκαίρι (ιδίως τον Αύγουστο).

ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Να χρησιμοποιείτε τον πίνακα (3-6) ακόμη και για τα ψυκτικά φορτία. Γενικότερα, όταν εφαρμόζετε κανονισμούς ή οδηγίες που αφορούν κλιματολογικά δεδομένα ξένων χωρών, να είσαστε προσεκτικοί μην τυχόν και δεν ανταποκρίνονται στις κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας.

(6) Υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας του νωπού αέρα

Στις σύγχρονες πολυώροφες και συχνά υαλόφρακτες οικοδομές που είναι γύρω-γύρω ελεύθερες και πάρα πολύ εκτεθειμένες σε ανέμους όλων των διευθύνσεων, συχνά δεν υπάρχουν καθόλου ανοιγόμενα παράθυρα, ή υπάρχουν ελάχιστα. Κατά τον τρόπο αυτό περιορίζεται η είσοδος αέρα περιβάλλοντος και επομένως μειώνονται σημαντικά και τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία από την είσοδο του αέρα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο απαιτούμενος φρέσκος (νωπός) αέρας για τις ανάγκες των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται στον κλιματιζόμενο χώρο εξασφαλίζεται από ειδικό δίκτυο προσαγωγής φρέσκου αέρα. Γενικότερα σε πολλές εγκαταστάσεις κλιματισμού η μεταφορά του ψυχρού αέρα γίνεται μέσω ενός δικτύου αεραγωγών. Ο αέρας αυτός, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, προσάγεται στον κλιματιζόμενο χώρο, αφού πρώτα κλιματιστεί ή προκλιματιστεί.

Ένα μέρος του αέρα που προσάγεται με τους αεραγωγούς είναι αέρας ανακυκλοφορίας και ένα μέρος του προέρχεται από το περιβάλλον, είναι

9 Στο ASHRAE handbook - Fundamentals (2001) αναφέρονται για το καλοκαίρι ποσότητες νωπού αέρα λόγω διείσδυσης, κατά μέσο όρο 30% μικρότερες από ό,τι το χειμώνα.

δηλαδή νωπός αέρας. Ο απαιτούμενος νωπός αέρας στους κλιματιζόμενους χώρους εξαρτάται:

- Από τον **αριθμό των ανθρώπων** που συνήθως βρίσκονται στον κλιματιζόμενο χώρο (κατοικίες, γραφεία, θέατρα κλπ.).
- Από το **είδος του χώρου** (εστιατόρια, γκαράζ, χειρουργεία κλπ.).

Στη πρώτη περίπτωση που αφορά κατά κανόνα εγκαταστάσεις άνεσης, ο υπολογισμός του φρέσκου (νωπού) αέρα γίνεται με βάση το απαιτούμενο ποσό αέρα για κάθε άνθρωπο. Ενδεικτικές τιμές του απαιτούμενου νωπού αέρα ανά άτομο δίνονται από τον πίνακα (3-20).

Πίνακας 3-20: Απαιτούμενος νωπός αέρας

Είδος χώρου	L/s ανά άτομο
Διαμερίσματα	3-5
Τράπεζες	3-5
Γραφεία Ιδιωτικά	7-9
Γραφεία Δημόσια	5-7
Αίθουσες συγκεντρώσεως	7-9
Ξενοδοχεία	7-9
Εργαστήρια-Φαρμακεία	3-5
Νοσοκομεία	7-9
Καταστήματα	3-5
Κουρέια-Κομμωτήρια	5-7
Εστιατόρια	5-7
Σχολεία	5-7
Bar-Καφενεία	7-9
Θέατρα (αίθουσα θεατών)	3-5
Εργοστάσια	3-5



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε κλιματιζόμενη τράπεζα εργάζονται 15 υπάλληλοι και κατά μέσο όρο βρίσκονται στην αίθουσα 10 πελάτες. Να βρεθεί ο απαιτούμενος φρέσκος αέρας που πρέπει να προσάγεται στον κλιματιζόμενο χώρο.

➡ Από τον πίνακα (3-20) βρίσκουμε ότι για τις τράπεζες ο απαιτούμενος φρέσκος αέρας ανά άτομο είναι 3-5 L/s. Ας πάρουμε το μέσο όρο, περίπου

4 L/s, οπότε για τα 25 άτομα (15 υπάλληλοι και 10 πελάτες) που συνήθως υπάρχουν στον κλιματιζόμενο χώρο, ο απαιτούμενος αέρας θα είναι:

$$Q = 25 \text{ άτομα} \times 4 \text{ L/s} = 100 \text{ L/s}$$

Πίνακας 3-21: Απαιτούμενος νωπός αέρας

Είδος χώρου	L/s ανά m ²
Χειρουργεία	10
Εργοστάσια	5
Γκαράζ	5
Καταστήματα	5
Τουαλέτες	10
Κουζίνες εστιατορίων	20
Κουζίνες ιδιωτικές	10

Στις περιπτώσεις κλιματισμού ειδικών χώρων, όπως χειρουργεία - γκαράζ κλπ., όπου οι απαιτήσεις σε φρέσκο αέρα δεν ικανοποιούνται από τα στοιχεία του πίνακα (3-20), ο υπολογισμός του απαιτούμενου φρέσκου αέρα γίνεται με βάση την επιφάνεια του δαπέδου του κλιματιζόμενου χώρου και όχι με βάση τα άτομα που βρίσκονται στο χώρο. Ο πίνακας (3-21) μας δίνει τον απαιτούμενο φρέσκο αέρα ανά m² κλιματιζόμενου χώρου, για ειδικές περιπτώσεις κλιματισμού.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Η ολική επιφάνεια δαπέδου ενός χειρουργείου είναι 30 m². Να βρεθεί ο απαιτούμενος φρέσκος αέρας που απαιτείται για τις ανάγκες του χειρουργείου.

➔ Από τον πίνακα (3-21) και για χειρουργεία παίρνουμε 10 L/s ανά m². Επομένως ο ολικός απαιτούμενος όγκος του φρέσκου αέρα θα είναι:
 $Q = 30 \times 10 = 300 \text{ L/s}$

3-12. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από την ανανέωση του αέρα

Αφού υπολογιστεί ο εισερχόμενος φρέσκος αέρας ενός κλιματιζόμενου χώρου, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου που προσθέτει στο χώρο ο φρέσκος αέρας. Το συνολικό ψυκτικό φορτίο από φρέσκο αέρα αποτελείται από:

- Το **αισθητό** ψυκτικό φορτίο (q_s).
- Το **λανθάνον** ψυκτικό φορτίο (q_L).

(α) Υπολογισμός του αισθητού φορτίου (q_s)

Το αισθητό φορτίο από φρέσκο αέρα περιβάλλοντος εξαρτάται βασικά από τα ψυχομετρικά στοιχεία του αέρα περιβάλλοντος και από τα ψυχομετρικά στοιχεία του κλιματιζόμενου χώρου. Έτσι για να υπολογίσουμε το q_s από φρέσκο αέρα, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον ψυχομετρικό χάρτη στον οποίο θα σημειωθούν οι ψυχομετρικές αλλαγές που θα υποστεί ο φρέσκος αέρας (αρχική και τελική κατάσταση). Η διαδικασία έχει αναπτυχθεί στο δεύτερο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου.

Στις εφαρμογές καθημερινής πρακτικής, όπως είχαμε αναφέρει και στην παράγραφο (3-5) για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων, οι υπολογισμοί μας γίνονται με τα στοιχεία του αέρα **standard**, ο οποίος στην επιφάνεια της θάλασσας, σε ατμοσφαιρική πίεση 101,3 kPa έχει ειδική πυκνότητα $\rho = 1,2 \text{ Kg/m}^3$ (δηλαδή ειδικό όγκο $v = 0,833 \text{ m}^3/\text{Kg}$). Σε ύψη 750, 1500, 2250 m, γίνεται αντίστοιχα $\rho = 1,1, 1,0, 0,9 \text{ kg/m}^3$.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Στο κατάστημα του σχήματος (3-8), ο φρέσκος (νωπός) αέρας που εισέρχεται από τις χαραμάδες υπολογίστηκε προηγουμένως ότι το χειμώνα είναι 140 L/s. Σύμφωνα με την υπόδειξη της παραγράφου (3-11), θα πάρουμε την ίδια ποσότητα αέρα και για το καλοκαίρι. Ο νωπός αέρας (περιβάλλοντος) έχει συνθήκες 35°C και σχετική υγρασία $\phi = 35\%$, που, όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο της ψυχομετρίας, συμβολίζεται ως $35^\circ\text{C}/35\%$. Ο αέρας του κλιματιζόμενου χώρου είναι $27^\circ\text{C}/50\%$. Να βρεθεί το αισθητό ψυκτικό φορτίο (q_s) που θα προστεθεί στον κλιματιζόμενο χώρο, όταν βρι-

σκόμαστε σε υψόμετρο 0 (επιφάνεια της θάλασσας).

Α΄ Τρόπος: Βάσει του standard αέρα

Μετατρέπουμε την παροχή αέρα από L/s σε παροχή μάζας g/s. Οπότε έχουμε $w = Q \times \rho = 140 \times 1,2 = 168 \text{ g/s}$. Επειδή η ειδική θερμότητα του αέρα είναι $1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ και $\Delta t = 35 - 27 = 8^\circ\text{C}$, προκύπτει ότι $\Delta h_s = c_p \times \Delta t = 1 \times 8 = 8 \text{ kJ/kg}$.

Υπολογίζουμε το αισθητό φορτίο q_s για την παροχή μάζας του φρέσκου αέρα $w = 168 \text{ g/s}$. Αντικαθιστώντας τα ευρεθέντα έχουμε:

$$q_s = \Delta h_s \times w = 8 \times 168 = 1344 \text{ W}$$

Η παραπάνω διαδικασία συνοψίζεται στη σχέση (3-8), που είδαμε στην παράγραφο (3-6), η οποία εδώ έχει αντί q το q_s . Δηλαδή έχει την εξής μορφή:

$$q_s = 1,2 \times Q \times \Delta t \quad (3-11)$$

Αν στο παραπάνω παράδειγμα εφαρμοστεί η σχέση (3-11) θα έχουμε:

$$q_s = 1,2 \times 140 \times (35 - 27) = 1344 \text{ W}$$

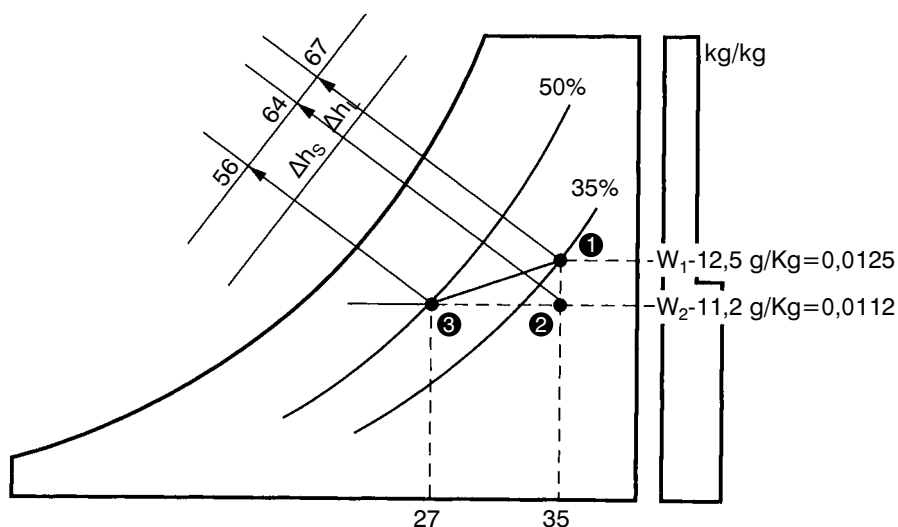
Προκύπτει δηλαδή το ίδιο αποτέλεσμα που είχαμε με την αναλυτική διαδικασία υπολογισμού. Υπενθυμίζουμε ότι η παραπάνω σχέση ισχύει για τον standard αέρα, δηλαδή στην επιφάνεια της θάλασσας.

Β΄ Τρόπος: Βάσει του ψυχομετρικού χάρτη

Στο ίδιο περίπου αποτέλεσμα θα καταλήγαμε αν εργαζόμασταν με τον ψυχομετρικό χάρτη. Υπολογίζουμε από τον ψυχομετρικό χάρτη το Δh_s σε kJ/kg , σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο (2-6) του κεφαλαίου 2. Αφού πρώτα εντοπίσουμε την ψυχομετρική κατάσταση του φρέσκου αέρα (σημείο 1) και του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου (σημείο 3), βρίσκουμε τη Δh_s . Για αέρα $27^\circ\text{C}/50\%$, το $v = 0,865$ οπότε έχουμε

$$\Delta h_s = h_2 - h_3 = 64 - 56 = 8 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_s = (140 / 0,865) \times 8 = 1295 \text{ W}$$



Σχήμα 3-11. Εύρεση της Δh_s και της Δh_L .

Σύγκριση των αποτελεσμάτων: Η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι $(1344-1295)/1344 = 3,65\%$ που είναι άνευ σημασίας στις συνήθεις πρακτικές εφαρμογές.

Κατά συνέπεια, στην καθημερινή πρακτική, αντί της διαδικασίας του ψυχομετρικού χάρτη, είναι ευκολότερο να χρησιμοποιείται η διαδικασία του Α' τρόπου υπολογισμού.

Η σχέση (3-11) ισχύει με πολύ καλή προσέγγιση στην επιφάνεια της θάλασσας. Για άλλα υψόμετρα χρησιμοποιούμε τη γενικότερη μορφή της σχέσης, που είναι η:

$$q_s = C_s \times Q \times \Delta t \quad (3-12)$$

Όπου:

q_s : Οι απώλειες θερμότητας σε W.

Q : Αέρας διείσδυσης σε L/s.

Δt : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ περιβάλλοντος και θερμαινόμενου χώρου.

C_s : το γινόμενο $c_p \times \rho$ = (ειδική θερμότητα του αέρα) $\times$ (ειδική πυκνότητα του αέρα). Επειδή στο σύστημα SI η ειδική θερμότητα του αέρα είναι $c_p = 1 \text{ kJ/kg}$, το C_s έχει την αριθμητική τιμή της πυκνότητας ρ του αέρα.

Πίνακας 3-22: Τιμές των C_S και C_L

Υψόμετρο	C_S	C_L
0	1,2	3000
750	1,1	2750
1500	1,0	2500
2250	0,9	2250

Ο συντελεστής $C_S = 1,2$ ισχύει στην επιφάνεια της θάλασσας (standard αέρας). Για άλλα υψόμετρα ο συντελεστής αυτός είναι όπως στον πίνακα (3-22). Η απλότητα του πίνακα (3-22) κάνει εύκολη την απομνημόνευσή του καθώς και την εκτέλεση απλών υπολογισμών ακόμη και όταν δεν διαθέτουμε τον ψυχομετρικό χάρτη για το αντίστοιχο ύψος.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2**

Σε έναν κλιματιζόμενο χώρο, θερμοκρασίας 26°C , σε υψόμετρο 400 m, εισάγεται νωπός αέρας 2000 L/s με θερμοκρασία 38°C . Να υπολογιστεί το αισθητό φορτίο q_S του εισαγόμενου αέρα.

➔ Από τον πίνακα (3-22), για υψόμετρο 400 m έχουμε $C_S = 1,15$ (μέση τιμή μεταξύ 0 και 750 m). Οπότε έχουμε:

$$q_S = 1,15 \times 2000 \times (38-26) = 27.600 \text{ W}$$

(β) Υπολογισμός του λανθάνοντος φορτίου (q_L)

Όπως κάναμε και με το αισθητό φορτίο, έτσι και εδώ θα χρησιμοποιήσουμε δύο τρόπους για να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα.

Α΄ Τρόπος: Βάσει του ψυχομετρικού χάρτη

Για τον υπολογισμό του λανθάνοντος ψυκτικού φορτίου από την είσοδο του φρέσκου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο, θα πρέπει να βρούμε πρώτα αν κατά την ψύξη του φρέσκου αέρα αφαιρείται υγρασία και πόση. Χαράσσουμε πάλι στον ψυχομετρικό χάρτη τα σημεία της ψυχομετρικής κατάστασης του φρέσκου αέρα και του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου, όπως

φαίνεται στο σχήμα (3-11). Παρατηρούμε ότι υπάρχει αφύγρανση. Επομένως έχουμε και λανθάνον φορτίο (q_L) το οποίο είναι:

$$q_L = w \times \Delta h_L \quad (3-13)$$

Στο παράδειγμα, που αναφέρεται στο κατάστημα του σχήματος (3-8) στη σελίδα 158, επειδή $w = 168 \text{ g/s}$ και $\Delta h_L = h_1 - h_2 = 67 - 64 = 3 \text{ kJ/kg}$, αντικαθιστώντας στη σχέση (3-13), έχουμε:

$$q_L = 168 \times 3 = 504 \text{ W}$$



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Προσέξτε ότι η ευκρίνεια ανάγνωσης της ενθαλπίας πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη είναι πολύ μικρή και πρακτικά δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη του $\pm 0,5 \text{ kJ/kg}$. Αυτό δημιουργεί πάντοτε πρόβλημα στο σωστό υπολογισμό του Δh_L μέσω του ψυχομετρικού χάρτη και κατά συνέπεια και του q_L . Το ίδιο όμως δεν συμβαίνει και με το Δh_s και κατά συνέπεια δεν συμβαίνει ούτε και με το q_s . Ο λόγος είναι ότι οι τιμές του Δh_s είναι σχεδόν πάντα πολύ μεγαλύτερες του Δh_L (οπότε το ποσοστιαίο σφάλμα θα είναι μικρότερο). Επίσης, αριθμητικά το Δh_s είναι όσο και το Δt_{db} , επειδή ισχύει η σχέση $\Delta h_s \approx c_p \times \Delta t_{db}$ και για τον αέρα, στο σύστημα SI, το $c_p = 1 \text{ kJ/kg}$, (που είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος SI όταν δουλεύουμε στον κλιματισμό, όπως εξάλλου είχαμε αναφέρει στην αρχή του βιβλίου). Δηλαδή το Δh_s το γνωρίζουμε πριν ακόμη το διαβάσουμε στον ψυχομετρικό χάρτη. Δυστυχώς όμως, όπως είπαμε, στην ανάγνωση του Δh_L η ακρίβεια είναι ανεπαρκής.

Β' Τρόπος: Βάσει του standard αέρα

Όπως και στην περίπτωση του αισθητού φορτίου, έτσι και στον υπολογισμό του λανθάνοντος φορτίου q_L , για την καθημερινή πρακτική χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση που μας δίνει αποτελέσματα με ικανοποιητική προσέγγιση για τον standard αέρα, δηλαδή στην επιφάνεια της θάλασσας:

$$q_L = 3000 \times Q \times \Delta W \quad (3-14)$$

Η παραπάνω σχέση γενικεύεται στη σχέση (3-15) που ισχύει για όλα τα υψόμετρα:

$$q_L = C_L \times Q \times \Delta W \quad (3-15)$$

Όπου:

q_L : Το λανθάνον φορτίο σε W.

C_L : Σταθερός συντελεστής που για την επιφάνεια της θάλασσας έχει την τιμή **3000** ενώ για άλλα υψόμετρα οι τιμές δίδονται στον πίνακα (3-22). Η τιμή του C_L προκύπτει από το γινόμενο (λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του H_2O) x (ειδική πυκνότητα του αέρα). Π.χ. σε συνθήκες αέρα **standard** (δηλαδή στην επιφάνεια της θάλασσας) έχουμε $2500 \text{ kJ/kg} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 3000 \text{ kJ/m}^3$.

Q : Ο όγκος του εισερχόμενου εξωτερικού αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο σε L/s.

$\Delta W = W_o - W_i$: Η διαφορά ειδικής υγρασίας μεταξύ του αέρα περιβάλλοντος W_o και του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου W_i . Προσέξτε ότι, όπως είχαμε αναφέρει και στην ψυχομετρία (παράγραφος 2-3), το W δίδεται σε g/kg, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα μέγεθος χωρίς μονάδες (καθαρός αριθμός), επειδή διαιρούμε μάζα με μάζα. Έτσι, π.χ. στους υπολογισμούς το $W = 12,5 \text{ g/kg}$ το χρησιμοποιούμε με τη μορφή $W = 0,0125$, επειδή:

$$12,5 \text{ g/kg} = 12,5 \text{ g} / 1000 \text{ g} = 0,0125 \text{ g/g} = 0,0125.$$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στην περίπτωση των δεδομένων του παραδείγματός μας του σχήματος (3-8), έχουμε παροχή $Q = 140 \text{ L/s}$ και $\Delta W = W_o - W_i = 0,0125 - 0,0112 = 0,0013$. Τα W_o και W_i προέκυψαν από τον ψυχομετρικό χάρτη για $35^\circ\text{C}/35\%$ και $27^\circ\text{C}/50\%$ αντίστοιχα. Αντικαθιστώντας στη σχέση (3-14), έχουμε:

$$q_L = 3000 \times Q \times \Delta W = 3000 \times 140 \times 0,0013 = 546 \text{ W}$$

Σύγκριση των αποτελεσμάτων: Η διαφορά που προέκυψε μεταξύ των Α' και Β' τρόπων είναι ασήμαντη για τις συνήθεις πρακτικές εφαρμογές. Το ποσοστιαίο σφάλμα είναι $(546-504)/546 = 7,7\%$.

Όπως θα διαπιστώσατε, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει με το αισθητό φορτίο, στον υπολογισμό του λανθάνοντος φορτίου, **ο ψυχομετρικός χάρτης σας είναι απόλυτα απαραίτητος** για να μπορέσετε να βρείτε τα W_o και W_i . Δεν θα πρέπει να διαφύγει της προσοχής σας ότι τα W_o και W_i μεταβάλλονται πολύ με το υψόμετρο. Η μεταβολή που έχουμε του $\Delta W = W_o - W_i$, συναρτή-

σει του υψομέτρου, συμβαίνει να προκύπτει στον ψυχομετρικό χάρτη των 750 m σχεδόν η ίδια με αυτή που προκύπτει στον ψυχομετρικό χάρτη για υψόμετρο 0, παρ' όλον ότι τα W_o και W_i έχουν πολύ διαφορετικές τιμές. Αυτό σας επιτρέπει να χρησιμοποιήσετε τον ψυχομετρικό χάρτη που έχει συνταχθεί για υψόμετρο 0 m, προκειμένου να βρίσκετε το q_L και σε μεγαλύτερα υψόμετρα, μέχρι εκεί τουλάχιστον που ο ψυχομετρικός χάρτης των 750 m μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστος (το πολύ μέχρι 1000-1100 m). Όταν όμως έχετε μεγαλύτερα υψόμετρα, θα πρέπει να συμβουλευτείτε τον αντίστοιχο ψυχομετρικό χάρτη επειδή η διαφορά που προκύπτει στην τιμή του ΔW είναι διαφορετική όταν δουλεύουμε με τους ψυχομετρικούς χάρτες των 1500 και 2250 m.

Για την καλύτερη ενημέρωσή σας, σχετικά με τον τρόπο μεταβολής των W_o , W_i και του ΔW , δείτε τον πίνακα (3-23), όπου ελήφθησαν τιμές από τους αντίστοιχους ψυχομετρικούς χάρτες της ASHRAE. Οι συνθήκες των W_o και W_i του πίνακα (3-23), όπως βλέπετε, είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν και στο προηγούμενο παράδειγμα.

Πίνακας (3-23): Ενδεικτικές τιμές του τρόπου μεταβολής των W_o , W_i , ΔW σε σχέση με το υψόμετρο

Ψυχομετρικός Χάρτης (Υψόμετρο)	35°C/35% W_o (g/kg)	27°C/50% W_i (g/kg)	ΔW (g/kg)	ΔW
Επιφάνεια της θάλασσας	12,5	11,2	1,3	0,0013
750 m	13,4	12,1	1,3	0,0013
1500 m	15,0	13,5	1,5	0,0015
2250 m	16,5	14,8	1,7	0,0017

(γ) Υπολογισμός του ολικού ψυκτικού φορτίου (q_T).

Το ολικό ψυκτικό φορτίο από φρέσκο αέρα θα είναι προφανώς το άθροισμα του αισθητού και του λανθάνοντος φορτίου. Δηλαδή, στο παράδειγμα του σχήματος (3-8), βάσει του standard αέρα, έχουμε:

$$q_T = q_s + q_L$$

$$q_T = 1344 + 546 = 1890 \text{ W}$$

ΑΣΚΗΣΗ: Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (3-12), (3-15) και τους πίνακες (3-22) και (3-23) συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα. Δεχτείτε παροχή αέρα $Q = 2000 \text{ L/s}$ και συνθήκες αέρα περιβάλλοντος 35°C/35%,

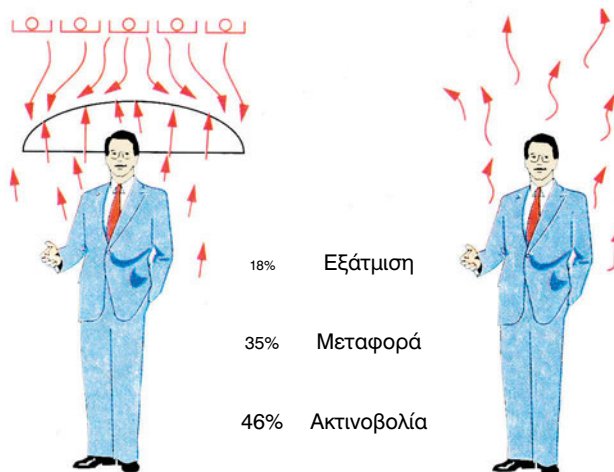
χώρου $27^{\circ}\text{C}/50\%$. Τι συμπεράσματα βγάξετε για τον τρόπο μεταβολής των q_S , q_L , q_T και του $\text{SHR} = q_S/q_T$;

	Υπολογισμός q_S		Υπολογισμός q_L				
Υψόμετρο	c_S	q_S	C_L	ΔW	q_L	q_T	SHR
0							
750							
1500							
2250							

3-13. Ψυκτικά φορτία από ανθρώπους

Στις τρεις προηγούμενες παραγράφους είδαμε τη διαδικασία υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων από πηγές που βρίσκονται έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο. Στις παραγράφους που ακολουθούν θα αναπτυχθούν οι διαδικασίες υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων από πηγές που βρίσκονται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο. Ένα τέτοιο ψυκτικό φορτίο είναι και το φορτίο που προέρχεται από την **παρουσία ανθρώπων** στον κλιματιζόμενο χώρο.

Το ψυκτικό φορτίο που προέρχεται από ανθρώπους οι οποίοι ζουν ή εργάζονται στον κλιματιζόμενο χώρο εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:



Σχήμα 3-12. Ο άνθρωπος προσδίνει στον κλιματιζόμενο χώρο αισθητό και λανθάνον φορτίο, με όλους τους τρόπους μετάδοσης της θερμότητας (αγωγή, ακτινοβολία, μεταφορά).

- Από τη **δραστηριότητα κάθε ανθρώπου** (αναπαυόμενος, δακτυλογράφος, χορευτής κλπ.).
- Από το **φύλο του ανθρώπου** (οι άνδρες αποδίδουν στο χώρο 15% περίπου μεγαλύτερο ψυκτικό φορτίο απ' ό,τι οι γυναίκες).
- Από την **ηλικία των ατόμων** που βρίσκονται στον κλιματιζόμενο χώρο. Τα μικρά παιδιά (π.χ. ενός σχολείου) δίνουν στο χώρο περίπου 25% μικρότερο ψυκτικό φορτίο απ' ό,τι ένας ενήλικας άνθρωπος.
- Από τη **θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου (t_{db})** του κλιματιζόμενου χώρου (όσο πιο μικρή είναι η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου, τόσο μεγαλύτερο είναι το ψυκτικό φορτίο).

Όμως κατά το στάδιο της μελέτης μίας εγκατάστασης κλιματισμού, πολλά από τα παραπάνω στοιχεία δεν μας είναι γνωστά. Γι' αυτό παίρνουμε συνήθως μία μέση τιμή ψυκτικού φορτίου για κάθε άνθρωπο. Οι μέσες τιμές των ψυκτικών φορτίων από ανθρώπους δίνονται σε πίνακες. Ένας τέτοιος πίνακας είναι και ο πίνακας (3-24).

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα (3-24) οι άνθρωποι που βρίσκονται σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο αποδίδουν στο χώρο **αισθητό και λανθάνον φορτίο**. Το μέγεθος του αισθητού και του λανθάνοντος φορτίου εξαρτάται κυρίως από τη δραστηριότητα του παρευρισκόμενου ανθρώπου στον κλιματιζόμενο χώρο.

Πίνακας 3-24: Φορτία από ανθρώπους σε W ανά άτομο

Δραστηριότητα ανθρώπων	Αισθητό φορτίο	Λανθάνον φορτίο
Αναπαυόμενος	66	47
Όρθιος	68	60
Εκτελών γραφική εργασία	70	78
Δακτυλογράφος	76	78
Ραπτική εργασία	66	63
Κομμώτρια	95	198
Θεατής θεάτρου	57	45
Υπάλληλος καταστήματος	52	93
Πελάτης εστιατορίου	64	69
Ελαφρά εργασία	73	150
Χορευτής	131	272
Σερβιτόρος	95	198

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ**

Στην κλιματιζόμενη αίθουσα του σχήματος (3-8), εργάζονται 6 υπάλληλοι που εξυπηρετούν τους πελάτες. Στην αίθουσα παρευρίσκονται κατά μέσο όρο 10 πελάτες όρθιοι για να εξυπηρετηθούν. Να βρεθεί το ολικό ψυκτικό φορτίο από το σύνολο των ατόμων που βρίσκονται στην αίθουσα.

- Χρησιμοποιώντας τον πίνακα (3-24) έχουμε ότι ο κάθε υπάλληλος του καταστήματος αποδίδει στο χώρο:

$$\text{Αισθητό} = 52 \text{ W / άτομο}, \quad \text{Λανθάνον} = 93 \text{ W / άτομο}$$

Επομένως το ψυκτικό φορτίο και από τους 6 εργαζόμενους θα είναι:

$$q_{S1} = 52 \times 6 = 312 \text{ W}, \quad q_{L1} = 93 \times 6 = 558 \text{ W}$$

- Κάθε άτομο που περιμένει όρθιο (πελάτης) για να εξυπηρετηθεί αποδίδει στο χώρο με βάση τον πίνακα (3-24):

$$\text{Αισθητό} = 68 \text{ W / άτομο}, \quad \text{Λανθάνον} = 60 \text{ W / άτομο}$$

Επομένως το ψυκτικό φορτίο και από τους 10 πελάτες θα είναι:

$$q_{S2} = 68 \times 10 = 680 \text{ W}, \quad q_{L2} = 60 \times 10 = 600 \text{ W}$$

- Τα φορτία από εργαζόμενους και πελάτες θα είναι:

$$q_S = q_{S1} + q_{S2} = 312 + 680 = 992 \text{ W}$$

$$q_L = q_{L1} + q_{L2} = 558 + 600 = 1158 \text{ W}$$

$$q_T = q_S + q_L = 992 + 1158 = 2150 \text{ W}$$

3-14. Γενικά για τα ψυκτικά φορτία από φώτα, ηλεκτροκινητήρες και ηλεκτρικές συσκευές

Στα φορτία από φώτα, ηλεκτροκινητήρες και ηλεκτρικές συσκευές παρουσιάζεται το ίδιο ακριβώς φαινόμενο που παρουσιάζεται και με την ηλιακή ακτινοβολία. Δηλαδή το φορτίο δεν επιβαρύνει αμέσως όλο το χώρο, επειδή ένα μέρος του απορροφάται από τα δομικά στοιχεία της οικοδομής. Αν τα φορτία από τα φώτα, τους ηλεκτροκινητήρες και τις ηλεκτρικές συσκευές είναι η κύρια πηγή προέλευσης των ψυκτικών φορτίων, τότε κατά

πάσα πιθανότητα θα χρειαστεί αναλυτικός υπολογισμός, η διαδικασία του οποίου είναι περίπλοκη και εκτός των στόχων του βιβλίου. Η μέθοδος του απλοποιημένου υπολογισμού που ακολουθεί μπορεί να θεωρηθεί ως αξιόπιστη μόνο όταν τα φορτία αυτά αποτελούν ένα μικρό σχετικά μέρος του συνολικού φορτίου.

Το πρόβλημα είναι ικανοποιητικά λυμένο για τις απλές συνήθειες κατοικίες (διαμερίσματα). Οι κατοικίες αυτές έχουν τον ίδιο περίπου εξοπλισμό, δηλαδή μερικά φώτα, μία ηλεκτρική κουζίνα, ένα ψυγείο, ένα πλυντήριο, ένα PC κ.λπ. Οπότε, έχει εκτιμηθεί ότι αν ληφθεί ψυκτικό φορτίο 500 W, μοιρασμένο μεταξύ του χώρου της κουζίνας και των δωματίων, επαρκεί για τις συνήθειες ανάγκες κλιματισμού. Κάποιες ηλεκτρικές συσκευές μπορεί να έχουν πολύ μεγάλη κατανάλωση, η οποία όμως δεν επιβαρύνει άμεσα το χώρο. Π.χ. στην κουζίνα, όταν λειτουργεί ο ηλεκτρικός φούρνος, καταναλώνει ισχύ της τάξεως των 3000 W, για μερικές το πολύ ώρες, αλλά άμεσα, σαν φορτίο, ένα πολύ μικρό μέρος παρουσιάζεται από την παραπάνω ισχύ.

Στις άλλες περιπτώσεις (καταστήματα, χώροι εργασίας κλπ.), όταν τα φορτία από φώτα, ηλεκτροκινητήρες και ηλεκτρικές συσκευές είναι μικρά σε σχέση με το σύνολο του ψυκτικού φορτίου, τότε το πρόβλημα συνήθως είναι απλό. Γενικότερα, μπορούμε να εφαρμόσουμε τους πρακτικούς κανόνες του πίνακα (3-25).

Όπως αναφέρεται στην περίπτωση 5 του πίνακα (3-25), όταν έχουμε σποραδική λειτουργία εξοπλισμού μεγάλης ισχύος, μπορούμε να κάνουμε μία μείωση κατ' εκτίμηση. Το πώς μπορεί να γίνει αυτό, ας το δούμε με ένα παράδειγμα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μία μεγάλη αίθουσα, συνεχώς κλιματιζόμενη (24 ώρες ημερησίως), ενός εργαστηρίου με συνήθη κατασκευή (μπετόν, τούβλα κλπ. δηλαδή με μεγάλη θερμοχωρητικότητα), παρουσιάζει ολικό ψυκτικό φορτίο 22500 W. Η κλιματιστική εγκατάσταση του χώρου μπορεί να αποδώσει μέχρι 27000 W. Πρόκειται σ' αυτήν την αίθουσα να τοποθετηθεί ένας ειδικός φούρνος, ισχύος 14 KW, ο οποίος θα λειτουργεί μόνο 2 φορές την ημέρα, κάθε φορά από 1 ώρα περίπου. Να εκτιμηθεί το ψυκτικό φορτίο με το οποίο θα επιβαρύνει ο φούρνος το χώρο και αν θα χρειαστεί να αγοραστεί μεγαλύτερο κλιματιστικό μηχάνημα.

➔ Μία πρώτη εσφαλμένη σκέψη θα ήταν να πούμε ότι θα επιβαρύνεται ο χώρος με 14000 W, οπότε το κλιματιστικό μηχάνημα δεν θα επαρκεί και ότι θα απαιτηθεί μηχάνημα $22500 + 14000 = 36500$ W τουλάχιστον. Όμως, ο φούρνος λειτουργεί μόνο 2 ώρες ημερησίως ($= 7200$ s) οπότε η ενέργεια που παράγεται σε μία ημέρα και που θα επιβαρύνει την κλιματιστική εγκατάσταση είναι $14 \times 7200 = 100800$ kJ. Ας δεχτούμε ότι η ενέργεια αυτή θα απορροφάται ομοιόμορφα μέσα στις 24 ώρες από την κλιματιστική εγκατάσταση. Τότε, θα πρέπει να απορροφάται ανά ώρα ενέργεια $100800 / 24 = 4200$ kJ/h, που ισοδυναμεί σε ψυκτική ισχύ με $4200 / 3600 = 1,17$ kW ≈ 1200 W. Επειδή όμως ποτέ δεν μπορεί να είναι ομοιόμορφη η κατανομή του φορτίου στις 24 ώρες τις ημέρας, ας δεχτούμε φορτίο κατά 50% μεγαλύτερο, δηλαδή περίπου $1,5 \times 1200 = 1800$ W. Το φορτίο του χώρου θα είναι $22500 + 1800 = 24300$ W, οπότε η διαθέσιμη ψυκτική ισχύς των 27000 W επαρκεί.

Πίνακας 3-25: Κανόνες εκτίμησης του φορτίου από φώτα, ηλεκτροκινητήρες ή ηλεκτρικές συσκευές, όταν αυτά δεν αποτελούν την κύρια πηγή προέλευσης του ψυκτικού φορτίου

A/A	Συνθήκες λειτουργίας	Ψυκτικό φορτίο	Παρατηρήσεις
1	Λειτουργία σε συνήθεις κατοικίες	Λαμβάνουμε 250 W για την κουζίνα και 250 W στα δωμάτια, ομοιόμορφα κατανεμημένα	Συμπεριλαμβάνονται τα φώτα, οι ηλεκτροκινητήρες και οι ηλεκτρικές συσκευές
2	Ελάχιστη ή σποραδική λειτουργία	Αγνοούμε τελείως αυτό το ψυκτικό φορτίο	Η ενέργεια που παράγεται είναι αμελητέα
3	Λειτουργία μόνο κατά τη νύχτα	Αγνοούμε τελείως αυτό το ψυκτικό φορτίο	Επειδή έχουμε μειωμένα φορτία οφειλόμενα στην απουσία ηλιακής ακτινοβολίας
4	Συνεχής ή σχεδόν συνεχής λειτουργία	Λαμβάνουμε την πλήρη ισχύ ως ψυκτικό φορτίο	
5	Λειτουργία την ημέρα αλλά για μερικές μόνο ώρες	Λαμβάνουμε μόνο ένα τμήμα της ισχύος κατ' εκτίμηση	Βλέπε και το παράδειγμα



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Η ισοκατανομή ενός φορτίου στις 24 ώρες της ημέρας μπορεί να προκύψει και πολύ απλούστερα βάσει της σχέσης:

$$q = (N / 24) \times P \quad (3-16)$$

όπου N είναι οι ώρες ημερήσιας λειτουργίας και P η ισχύς του μηχανήματος. Εν προκειμένω $q = (2 / 24) \times 14000 \approx 1200 \text{ W}$. Βέβαια η απόλυτη ισοκατανομή δεν μπορεί ποτέ να συμβεί στην πράξη, και γι' αυτό θα πρέπει πάντοτε να γίνεται μία προσαύξηση, τουλάχιστον κατά 50%.

3-15. Ψυκτικά φορτία από φώτα

Ολόκληρο το ψυκτικό φορτίο από φωτισμό είναι **αισθητό φορτίο**. Τα ψυκτικά φορτία από φωτισμό ενός κλιματιζόμενου χώρου εξαρτώνται από την ισχύ των λαμπτήρων σε W. Επίσης και το είδος των λαμπτήρων διαμορφώνει το μέγεθος των ψυκτικών φορτίων από το φωτισμό. Για παράδειγμα, άλλο ψυκτικό φορτίο αποδίδουν στο χώρο οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και άλλο οι λαμπτήρες φθορίου.

Γενικά θα λέγαμε ότι οι **λαμπτήρες φθορίου** προσθέτουν στο χώρο ψυκτικό φορτίο κατά 25 έως 30% μεγαλύτερο της ονομαστικής τους ισχύος, λόγω των πρόσθετων εξαρτημάτων που απαιτεί η λειτουργία τους. Έτσι ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως, ισχύος $P = 150 \text{ W}$, αποδίδει στον κλιματιζόμενο χώρο ψυκτικό φορτίο $P = 150 \text{ W}$. Αν όμως ο λαμπτήρας αυτός αντικατασταθεί με λαμπτήρα φθορίου, ισοδύναμης ισχύος φωτισμού, αυτός θα είναι ονομαστικής ισχύος 36 W. Το ψυκτικό όμως φορτίο που θα προσθέτει στο χώρο, από αυτό τον λαμπτήρα, δεν θα είναι $P = 36 \text{ W}$, αλλά θα είναι αυξημένο κατά 25-30%. Δηλαδή:

$$q_{\text{φθορίου}} = P \times (1,25 \dots 1,30) = 36 \times (1,25 \dots 1,30) = 45-47 \text{ W}$$

Παρ' όλη την προσαύξηση, διαπιστώνουμε ότι για την ίδια ισχύ φωτισμού οι λαμπτήρες φθορίου επιβαρύνουν το χώρο με μικρότερο ψυκτικό φορτίο.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ**

Η κλιματιζόμενη αίθουσα του σχήματος (3-8) φωτίζεται από 20 φωτιστικά σώματα φθορίου ισχύος $2 \times 36 \text{ W}$ (δηλαδή το καθένα έχει δύο λαμπτήρες των 36 W) καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του καταστήματος, από τις 9:00-20:00. Να υπολογιστεί το ψυκτικό φορτίο από φωτισμό.

Η συνολική ισχύς των λαμπτήρων είναι:

$$P = 20 \times 2 \times 36 = 1440 \text{ W}$$

Επειδή οι λαμπτήρες είναι φθορίου, προσαυξάνουμε το ψυκτικό φορτίο κατά 25-30%. Ας πάρουμε 30%. Το συνολικό ψυκτικό φορτίο (όλο αισθητό) που προσθέτουν στο χώρο οι λαμπτήρες φθορίου θα είναι:

$$q_{\text{φθ}} = 1440 \times 1,30 = 1872 \text{ W}$$

Οι ώρες ημερήσιας λειτουργίας είναι 11. Εφαρμόζοντας τη σχέση (3-16) με προσαύξηση, κατ' εκτίμηση 50%, λαμβάνουμε φορτίο από φώτα:

$$q_{\text{φωτ}} = 1,5 \times (11/24) \times 1872 = 1287 \text{ W}$$

Δηλαδή, δεν υπάρχει ουσιώδης διαφορά από την πλήρη ισχύ.

3-16. Ψυκτικά φορτία από ηλεκτροκινητήρες

Σε πολλούς κλιματιζόμενους επαγγελματικούς χώρους, εκτός των άλλων πηγών ψυκτικών φορτίων, μπορεί να υπάρχουν και ψυκτικά φορτία από ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι κινούν διάφορα μηχανήματα όπως ραπτομηχανές, μεταφορικές ταινίες κλπ. Οι ηλεκτροκινητήρες που λειτουργούν σε κλιματιζόμενο χώρο προσθέτουν στο χώρο ένα ψυκτικό φορτίο, το οποίο εξαρτάται από την ονομαστική τους ισχύ. Ο πίνακας (3-26) δίνει ενδεικτικές τιμές ψυκτικών φορτίων από ηλεκτροκινητήρες.

Όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα φωτιστικά σώματα, ολόκληρο το ψυκτικό φορτίο από ηλεκτροκινητήρες **είναι αισθητό**.

Πίνακας 3-26: Ψυκτικά φορτία από ηλεκτροκινητήρες. 1 kW = 1,36 HP

Ονομαστική Ισχύς (kW)	Ψυκτικά φορτία W/kW
Μέχρι και 0,2 kW	1250
> 0,2 μέχρι και 0,8	1050
> 0,8 μέχρι και 5,5	930
> 5,5 μέχρι και 15	870
> 15 kW	840

Θα πρέπει εδώ να τονιστεί ότι οι ηλεκτροκινητήρες που κινούν **εξαεριστήρες** και βρίσκονται σε κλιματιζόμενο χώρο δεν προσθέτουν ψυκτικά φορτία στο χώρο, γιατί η θερμότητα που ελευθερώνεται κατά τη λειτουργία τους απάγεται ολόκληρη προς το περιβάλλον. Αντίθετα, τα ψυκτικά φορτία από ηλεκτροκινητήρες που κινούν **ανεμιστήρες προσαγωγής αέρα** θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στον κλιματιζόμενο χώρο του σχήματος (3-8), εκτός των άλλων πηγών ψυκτικών φορτίων, έστω ότι λειτουργούν και τρεις ηλεκτροκινητήρες. Ο ένας είναι ονομαστικής ισχύος $P=0,75$ kW, ο δεύτερος ισχύος $P=5$ kW και ο τρίτος $P=10$ kW. Οι πιο πάνω ηλεκτροκινητήρες λειτουργούν αντίστοιχα 11 ώρες, 2 ώρες και 0,5 ώρες το 24ωρο. Να βρεθεί το συνολικό ψυκτικό φορτίο που προστίθεται στον κλιματιζόμενο χώρο από τους ηλεκτροκινητήρες.

Από τον πίνακα (3-26), για τον ηλεκτροκινητήρα ονομαστικής ισχύος $P=0,75$ kW το ψυκτικό φορτίο είναι 1050 W/kW, οπότε:

$$q_{S1} = 0,75 \times 1050 = 788 \text{ W}$$

Για τον ηλεκτροκινητήρα ονομαστικής ισχύος $P=5$ kW αντίστοιχα έχουμε 930 W/kW, οπότε:

$$q_{S2} = 5 \times 930 = 4650 \text{ W}$$

Για τον ηλεκτροκινητήρα ονομαστικής ισχύος $P=10$ kW το ψυκτικό φορτίο είναι 870 W/kW, οπότε:

$$q_{S2} = 10 \times 870 = 8700 \text{ W}$$

Το στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο από τους τρεις ηλεκτροκινητήρες, αν δεν εφαρμόζαμε τη σχέση (3-16), θα ήταν υπερβολικά μεγάλο:

$$q_S = q_{S1} + q_{S2} + q_{S3} = 788 + 4650 + 8700 = 14138 \text{ W}$$

Εφαρμόζοντας όμως τη σχέση (3-16) με προσαύξηση, κατ' εκτίμηση 50%, βρίσκουμε ότι το ψυκτικό φορτίο από τους ηλεκτροκινητήρες θα είναι:

$$q_S = 1,5 \times [q_{S1} \times (11/24) + q_{S2} \times (2/24) + q_{S3} \times (0,5/24)] \Rightarrow$$

$$q_S = 1,5 \times [788 \times (11/24) + 4650 \times (2/24) + 8700 \times (0,5/24)] \Rightarrow$$

$$q_S = 1395 \text{ W}$$



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Το ψυκτικό φορτίο από ηλεκτροκινητήρες προκύπτει μικρό σε σχέση με το συνολικό ψυκτικό φορτίο και γι' αυτό μπορούμε να εργαστούμε με αυτό τον τρόπο. Αν προέκυπτε μεγάλο, θα έπρεπε, όπως είπαμε, να εφαρμόσουμε άλλη μέθοδο υπολογισμού που είναι εκτός των στόχων του βιβλίου.

3-17. Ψυκτικά φορτία από ηλεκτρικές συσκευές

Κάθε ηλεκτρική συσκευή που λειτουργεί στον κλιματιζόμενο χώρο δίνει ένα ψυκτικό φορτίο που είναι ανάλογο με την ισχύ της ηλεκτρικής συσκευής. Τα προστιθέμενα στο χώρο ψυκτικά φορτία από ηλεκτρικές συσκευές είναι αισθητά και λανθάνοντα. Ο πίνακας (3-27) που ακολουθεί δίνει ενδεικτικές τιμές των ψυκτικών φορτίων διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών όταν λειτουργούν σε χώρο που κλιματίζεται.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 1

Για συσκευές που δεν αναφέρονται στον πίνακα (3-27), λαμβάνεται υπόψη η ηλεκτρική ισχύς (σε W) που αναγράφεται στην πινακίδα κάθε συσκευής. Για παράδειγμα στον πίνακα (3-27) δεν περιλαμβάνεται το ψυκτικό φορτίο που δίνει στο χώρο ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής (όχι ένα απλό PC). Ελέγχοντας την πινακίδα του υπολογιστή, έστω ότι βλέπουμε να αναγράφεται ισχύς 700 W. Η ισχύς αυτή συνήθως είναι η μέγιστη δυνατή, αλλά ελείπει άλλων στοιχείων και προκειμένου να είμαστε σίγουροι, δεχόμαστε

**Πίνακας 3-27: Ενδεικτικές τιμές ψυκτικών φορτίων
από ηλεκτρικές συσκευές**

Είδος ηλεκτρικής συσκευής	Αισθητό	Λανθάνον
Καφετιέρα	250	120
Συσκευή θέρμανσης καφέ	70	40
Βραστήρας αυγών	700	700
Οικιακό ψυγείο	200	-
Κατσαρόλες μαγειρικής	150	120
Συσκευή σάντουιτς	1100	1100
Τοστιέρα για 4 φέτες	1400	300
Σχάρα για μπιφτέκια	1550	850
Κουζίνα-φούρνος με μόνωση	2100	550
Στεγνωτήρας μαλλιών με κάσκα	550	100
Στεγνωτήρας μαλλιών χωρίς κάσκα	700	120
Προσωπικός ηλεκτρονικός υπολογιστής (PC)	150	-

ότι αυτό είναι το ψυκτικό φορτίο (700 W). Προφανώς ολόκληρο το ψυκτικό φορτίο από έναν υπολογιστή είναι αισθητό, επειδή η λειτουργία του υπολογιστή δεν διαφοροποιεί την υγρασία του κλιματιζόμενου χώρου.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 2

Αν πάνω από κάποιες συσκευές που λειτουργούν σε κλιματιζόμενο χώρο υπάρχει εξαεριστήρας, τα αισθητά ψυκτικά φορτία του πίνακα (3-27), μειώνονται κατά 50-60%, ενώ τα λανθάνοντα μηδενίζονται. Για παράδειγμα, αν σε ένα κατάστημα μικρογευμάτων, πάνω από τις τοστιέρες υπάρχει εξαεριστήρας, το αισθητό ψυκτικό φορτίο από μια τοστιέρα για τέσσερις φέτες δεν θα είναι 1400 W, όπως δίνεται από τον πίνακα (3-27), αλλά $1400 \times 50\% = 700$ W. Το λανθάνον φορτίο θα είναι ίσον με μηδέν.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στο κατάστημα του σχήματος (3-8) λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του (11 ώρες ημερησίως), 1 καφετιέρα, 1 οικιακό ψυγείο και 2 PC. Να βρεθεί το φορτίο από ηλεκτρικές συσκευές.

➔ Από τον πίνακα (3-27) και τη σχέση (3-16), προσauξανοντας και κατά 50%, έχουμε:

$$q_s = 1,5 \times (250 + 200 + 2 \times 150) \times (11/24) = 515 \text{ W}$$

Λανθάνον φορτίο έχουμε μόνο από την καφετιέρα: $q_L = 120 \text{ W}$

3-18. Τα συνολικά ψυκτικά φορτία

Με την παραπάνω υπολογιστική διαδικασία, βρίσκουμε σταδιακά όλα τα επιμέρους φορτία ενός χώρου, αισθητά και λανθάνοντα. Αθροίζοντας όλα τα αισθητά φορτία, βρίσκουμε το συνολικό αισθητό φορτίο q_s και αθροίζοντας όλα τα λανθάνοντα βρίσκουμε το λανθάνον φορτίο q_L .



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Για το κατάστημα του σχήματος (3-8) να υπολογιστεί το συνολικό ψυκτικό φορτίο για την περίπτωση που **έχουμε θερμομόνωση**.

➔ Για το κατάστημα του σχήματος (3-8) υπολογίσαμε, υπό μορφή παραδειγμάτων, όλων των ειδών τα φορτία στις προηγούμενες παραγράφους. Οπότε έχουμε την κατάσταση του παρακάτω πίνακα (3-28). Το αισθητό, λανθάνον και ολικό φορτίο γι' αυτό το χώρο, όταν υπάρχει θερμομόνωση, φαίνονται στην τελευταία γραμμή του πίνακα.

Πίνακας 3-28: Τα ψυκτικά φορτία του καταστήματος του σχήματος (3-8), όταν υπάρχει θερμομόνωση

Προέλευση ψυκτικού φορτίου	Παράγραφος	q_s	q_L	q_T
Αγωγιμότητα	3-9	3069	0	3069
Ακτινοβολία	3-10	4015	0	4015
Εισαγωγή νωπού αέρα	3-12	1344	546	1890
Άνθρωποι	3-13	992	1158	2150
Φώτα	3-15	1287	0	1287
Ηλεκτροκινητήρες	3-16	1395	0	1395
Ηλεκτρικές συσκευές	3-17	515	120	635
ΣΥΝΟΛΟ		12617	1824	14441
ΠΡΟΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ		12600	1800	14400



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Ομοίως, για το κατάστημα του σχήματος (3-8) να υπολογιστεί το συνολικό ψυκτικό φορτίο για την περίπτωση που **δεν έχουμε θερμομόνωση**. Τι συμπεράσμα βγάξετε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του προηγούμενου παραδείγματος;

➡ Χωρίς τη θερμομόνωση, βάσει των υπολογισμών που κάναμε στις προηγούμενες παραγράφους, έχουμε την κατάσταση του παρακάτω πίνακα (3-29). Διαπιστώνουμε ότι το αισθητό φορτίο είναι σχεδόν 2,5 φορές μεγαλύτερο. Το λανθάνον είναι το ίδιο.

Πίνακας 3-29: Τα ψυκτικά φορτία του καταστήματος του σχήματος (3-8), όταν δεν υπάρχει θερμομόνωση

Προέλευση ψυκτικού φορτίου	Παράγραφος	q_s	q_L	q_T
Αγωγιμότητα	3-9	3069	0	3069
Ακτινοβολία	3-10	4015	0	4015
Εισαγωγή νωπού αέρα	3-12	1344	546	1890
Άνθρωποι	3-13	992	1158	2150
Φώτα	3-15	1287	0	1287
Ηλεκτροκινητήρες	3-16	1395	0	1395
Ηλεκτρικές συσκευές	3-17	515	120	635
ΣΥΝΟΛΟ		30091	1824	31915
ΠΡΟΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ		30100	1800	31900

3-19. Η επιλογή των μηχανημάτων για την αντιμετώπιση του ψυκτικού φορτίου

Η επιλογή κλιματιστικών μηχανημάτων είναι μία όχι και τόσο απλή εργασία επειδή η απόδοσή τους εξαρτάται πολύ από το συντελεστή $SHR = q_s / q_T$. Το θέμα αυτό είχε αναπτυχθεί στην παράγραφο (2-15)¹⁰. Στην πράξη όμως, όταν γίνεται κλιματισμός με μικρά, αυτόνομα κλιματιστικά χώρου (split units), δεν γίνονται τέτοιοι υπολογισμοί ακρίβειας. Η επιλογή των μηχανημάτων γίνεται βάσει του ολικού φορτίου του χώρου. Οι κατασκευα-

¹⁰ Η διδασκαλία της παραγράφου (2-15) ήταν στην κρίση του καθηγητή.

στές των μηχανημάτων δίνουν αντίστοιχα την ισχύ του μηχανήματος σε ολικό φορτίο, η οποία δυστυχώς ακόμη αναφέρεται συνήθως σε Btu/h (πολλαπλασιάζουμε με 0,3 για να βρούμε την ισχύ σε W).



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Ένας χώρος παρουσιάζει αισθητό φορτίο 3300 W και λανθάνον 500 W. Να επιλεγεί το κατάλληλο κλιματιστικό μηχάνημα. Τα διαθέσιμα μηχανήματα έχουν ψυκτική ισχύ: 2,7 - 3,7 - 5,5 και 7,4 kW.

➡ Έχουμε ολικό φορτίο $3300 + 500 = 3800$ W. Άρα απαιτείται μηχανήμα ψυκτικής ισχύος περίπου 3,8 kW. Επιλέγουμε το πλησιέστερο μηχανήμα των 3,8 kW. Η διαφορά του 0,1 kW είναι αμελητέα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Στην περίπτωση του σχήματος (3-8), όταν **έχουμε θερμομόνωση**, επελέγησαν για τη θέρμανση, στην παράγραφο (3-7) κάποια κλιματιστικά μηχανήματα. Να ελεγχθεί η επάρκεια αυτών των μηχανημάτων όσον αφορά το ψυκτικό φορτίο. Αν δεν επαρκούν, διαλέξτε άλλα μηχανήματα. Δίδεται ότι οι 4 διαθέσιμοι τύποι αντλιών θερμότητας έχουν αντίστοιχα ψυκτική ισχύ: 2,7 - 3,7 - 5,5 και 7,4 kW. Η θερμαντική ισχύς των εν λόγω μηχανημάτων, όπως δόθηκε στην παράγραφο (3-7), αντίστοιχα είναι 3,2 - 4,3 - 6,4 και 8,4 kW.

➡ Το ολικό φορτίο είναι 14400 W. Στο παράδειγμα της παραγράφου (3-7), είχαμε επιλέξει ένα μηχανήμα θερμαντικής ισχύος 6,4 και ένα 8,4 kW. Η αντίστοιχη ψυκτική ισχύς τους είναι 5,5 και 7,4 kW, δηλαδή συνολικά 12,9 kW. Προφανώς τα μηχανήματα που επελέγησαν για τη θέρμανση υπολείπονται λίγο ως προς την ψύξη. Είναι καλύτερα αν επιλέξουμε δύο μηχανήματα, έκαστο ψυκτικής ισχύος 7,4 kW, δηλαδή συνολικά να έχουμε ψυκτική ισχύ 14,8 kW. Η θερμαντική ισχύς των δύο μηχανημάτων είναι αντίστοιχα 16,8 kW. Μπορούμε, προφανώς, να έχουμε και άλλους συνδυασμούς μηχανημάτων.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Ομοίως με το προηγούμενο παράδειγμα, αλλά για την περίπτωση που **δεν**

έχουμε θερμομόνωση. Υπενθυμίζουμε ότι η απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να καλύπτεται ο χώρος με τρία το πολύ κλιματιστικά μηχανήματα.

➡ Το ολικό φορτίο είναι 31900 W. Στο παράδειγμα της παραγράφου (3-7), είχαμε επιλέξει τρία μηχανήματα θερμαντικής ισχύος 8,4 kW το καθένα. Η αντίστοιχη ψυκτική ισχύς τους είναι 7,4 kW, δηλαδή συνολικά 22,2 kW. Προφανώς τα μηχανήματα που επελέγησαν για τη θέρμανση υπολείπονται πάρα πολύ όσον αφορά στην ψύξη. Για να αντιμετωπιστεί το ψυκτικό φορτίο, χρειάζεται τουλάχιστον και ένα τέταρτο μηχανήμα, οπότε η ψυκτική ισχύς θα ανέλθει σε 29,6 kW. Αυτό όμως δημιουργεί πρόβλημα στον καταστηματοάρχη, ο οποίος δεν διαθέτει χώρο για περισσότερο από τρία μηχανήματα.

3-20. Η μείωση των αναγκών ενός χώρου σε ψυκτικό φορτίο

Η μείωση των αναγκών ενός χώρου σε ψυκτικό φορτίο μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Οι κυριότεροι είναι με κουρτίνες και με τέντες. Όταν το σπίτι δεν έχει από πάνω άλλον όροφο, τότε έχει μεγάλη σημασία και η θερμομόνωση της οροφής, διότι αυτή βάλλεται συνεχώς από ακτινοβολία. Μία ιδέα της σημασίας που έχει η οροφή μπορείτε να σχηματίσετε από τον πίνακα (3-13), σελίδα 144. Η καλύτερη μόνωση για το καλοκαίρι είναι η κεραμοσκεπή, επειδή δεν βρίσκεται σε επαφή με την πλάκα του μπετόν. Αντίθετα, η κεραμοσκεπή, το χειμώνα, δεν προσφέρει κάτι το ιδιαίτερο στη θερμομόνωση (προσφέρει όμως υγραμόνωση).



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στο παράδειγμα 2 της προηγούμενης παραγράφου, διαπιστώσαμε ότι δεν είναι δυνατόν να καλύψουμε το χώρο, σε ψύξη, με τρία το πολύ μηχανήματα. Τι είδους παρέμβαση θα προτείνατε στον ιδιοκτήτη του καταστήματος να κάνει, προκειμένου να μειώσετε τα ψυκτικά φορτία;

➡ Ο καλύτερος τρόπος για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα είναι να τοποθετηθεί κεραμοσκεπή. Ο συντελεστής U, σ' αυτή την περίπτωση, διαφοροποιείται και παίρνει, όπως υπολογίστηκε στο παράδειγμα 2 της παραγράφου (3-5), την τιμή 2,27. Το μεγάλο κέρδος είναι όμως από την τιμή του Δt_c

που από 33°C γίνεται 7°C. Οπότε ο πίνακας (3-14) της σελίδας 146 παίρνει τη μορφή του πίνακα (3-30).

Πίνακας 3-30: Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από αγωγιμότητα του κτιρίου του σχήματος (3-8) στην περίπτωση που δεν διαθέτει θερμομόνωση αλλά θα τοποθετηθεί κεραμοσκεπή

Περιγραφή στοιχείου	A (m ²)	U, W/m ² K	Δt _c	A x U x Δt _c
Τοίχος βορινός	48	2,16	6	622
Τοίχος ανατολικός	60	2,16	13	1685
Οροφή	180	2,27	7	2860
Δάπεδο	180	1,0	5	900
Βιτρίνες βορινές	10,5	5,0-2,16=2,84	6	179
Βιτρίνες ανατολικές	19,5	2,84	13	720
Πόρτα	5	2,84	13	185
Σύνολο				7151

Κατά συνέπεια, ο πίνακας (3-29) λαμβάνει τη μορφή του πίνακα (3-31). Η διαφορά είναι φανερή και προφανώς τα τρία μηχανήματα που επελέγησαν για τη θέρμανση επαρκούν πλέον να καλύψουν άνετα και το ψυκτικό φορτίο.

Πίνακας 3-31: Τα ψυκτικά φορτία του καταστήματος του σχήματος (3-8), χωρίς να υπάρχει θερμομόνωση, μετά την τοποθέτηση της κεραμοσκεπής.

Προέλευση ψυκτικού φορτίου	Παράγραφος	q _s	q _L	q _T
Αγωγιμότητα	3-9	7151	0	7151
Ακτινοβολία	3-10	4838	0	4838
Εισαγωγή νωπού αέρα	3-12	1344	546	1890
Άνθρωποι	3-13	992	1158	2150
Φώτα	3-15	1287	0	1287
Ηλεκτροκινητήρες	3-16	1395	0	1395
Ηλεκτρικές συσκευές	3-17	515	120	635
ΣΥΝΟΛΟ		17522	1824	19346
ΠΡΟΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ		17500	1800	19300

ΕΡΩΤΗΣΗ ΓΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ: Στην πράξη, όπως τουλάχιστο γίνεται μέχρι σήμερα, όταν κάποιος κληθεί να εγκαταστήσει κλιματισμό με αυτόνομα κλιματιστικά, πηγαίνει, βλέπει τους χώ-

ρους και λέει τι κλιματιστικά χρειάζονται στα γρήγορα και «με το μάτι». Πώς αξιολογείτε αυτό τον τρόπο, σύμφωνα με όσα μάθατε και ιδίως με τα παραδείγματα που βασίστηκαν στο σχήμα (3-8); Αν εσείς πηγαίνατε σε κάποιο χώρο για να τους προτείνετε αυτόνομα κλιματιστικά μηχανήματα, τι θα κάνατε; Με τι θα ήσασταν εφοδιασμένοι; Τι θα προσέχατε στην οικοδομή; Τι άλλο θα ρωτούσατε τον ιδιοκτήτη;

3-21. Απλοποιημένη μέθοδος για την εκτίμηση των ψυκτικών φορτίων στις περιπτώσεις των απλών κατοικιών και διαμερισμάτων.

Στις προηγούμενες παραγράφους αναπτύχθηκε μία γενική μέθοδος υπολογισμού, που καλύπτει όλες τις περιπτώσεις κτιρίων με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, όπως είναι τα περισσότερα ελληνικά κτίρια. Η πλέον συνηθισμένη περίπτωση, στην πράξη, είναι να τοποθετούνται μικρά αυτόνομα κλιματιστικά σε κατοικίες (διαμερίσματα). Στην περίπτωση αυτή πολλά πράγματα στη μέθοδο υπολογισμού που αναπτύχθηκε μπορούν να απλοποιηθούν και να επιταχυνθεί σημαντικά η όλη διαδικασία υπολογισμού. Συγκεκριμένα, μπορούν να γίνουν τα εξής:

- Για κάθε άτομο που μένει στο σπίτι λαμβάνονται 70 W αισθητό φορτίο.
- Όταν γίνεται κλιματισμός με αυτόνομα κλιματιστικά σε όλο το σπίτι, λαμβάνεται συνολικό αισθητό φορτίο από φώτα και ηλεκτρικές συσκευές ίσο με 500 W, που μοιράζεται κατά 250 W στην κουζίνα, ενώ το υπόλοιπο το θεωρούμε ομοιόμορφα κατανομημένο σε όλους τους χώρους. Στην απλοποίηση αυτή αναφερθήκαμε και στην παράγραφο (3-14), σελίδα 167 και στον πίνακα (3-25), σελίδα 169.
- Γίνεται μόνο υπολογισμός του αισθητού φορτίου, ενώ το λανθάνον φορτίο λαμβάνεται ίσο με το 15% του αισθητού όταν η κατοικία βρίσκεται σε χαμηλό υψόμετρο ή 20% όταν είναι σε υψόμετρο κοντά στα 750 m.

Με τις παραπάνω απλοποιήσεις, η επιλογή κατάλληλων κλιματιστικών μηχανημάτων για σπίτια γίνεται πολύ πιο σύντομα.

ΕΡΓΑΣΙΑ: Υπολογίστε τα αυτόνομα κλιματιστικά μηχανήματα που χρειάζονται για το σπίτι σας ή για το σπίτι κάποιου φίλου σας. Να κάνετε πρώτα

ένα σκαρίφημα του σπιτιού στο οποίο θα σημειώσετε διαστάσεις δωματίων, πόρτες, παράθυρα κλπ. Επίσης να κάνετε και μία συνοπτική περιγραφή του σπιτιού (αν έχει ταράτσα ή κεραμοσκεπή, πώς είναι οι τοίχοι, αν υπάρχει θερμομόνωση κλπ.). Αν για κάποιο στοιχείο δεν είσαστε σίγουροι, πάρτε τη δυσμενέστερη περίπτωση ή συμβουλευτείτε τον καθηγητή σας. Να υπολογίσετε και το θερμικό φορτίο του σπιτιού και να ελέγξετε αν τα κλιματιστικά μηχανήματα που επιλέξατε για την ψύξη επαρκούν σε ισχύ και για τη θέρμανση.

3-22. Οι απώλειες από τους αεραγωγούς

Στο σύνολο των φορτίων, όπως υπολογίστηκαν στις παραγράφους που προηγήθηκαν, θα πρέπει να προστεθούν και τα ακόλουθα:

(α) Από εναλλαγή θερμότητας των αεραγωγών με το περιβάλλον

Τα φορτία που προστίθενται στο κλιματισμένο αέρα από την εναλλαγή θερμότητας μέσω της μόνωσης των αεραγωγών προσαγωγής και επιστροφής, όταν αυτοί διέρχονται από μη κλιματιζόμενους χώρους, δίνονται κατά προσέγγιση στον πίνακα (3-32). Ο πίνακας αυτός έχει συνταχθεί με την παραδοχή ότι το καλοκαίρι θα έχουμε $\Delta t = 22,5^{\circ}\text{C}$ (διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας αέρα στους αεραγωγούς) και αντίστοιχα το χειμώνα 45°C .

Πίνακας 3-32: Απώλειες θερμότητας από τους αεραγωγούς

Περιγραφή μόνωσης	Ψυκτικό φορτίο W/m^2	Θερμικό φορτίο W/m^2
Φελλοπολτός	100	200
Υαλοβάμβακας 2 cm	35	70
Υαλοβάμβακας 3 cm	25	50
Υαλοβάμβακας 5 cm	15	30

Αυτά τα φορτία μπορεί να φτάσουν και το 20% του ολικού αισθητού φορτίου της εγκατάστασης. Για να περιοριστεί το πρόσθετο αυτό φορτίο, το οποίο είναι εξ' ολοκλήρου αισθητό, θα πρέπει οι αεραγωγοί προσαγωγής και επιστροφής να μονώνονται. Ειδικότερα, οι αεραγωγοί προσαγωγής κλιματισμένου αέρα θα πρέπει να μονώνονται με ιδιαίτερη φροντίδα

και με ικανοποιητικό πάχος μονωτικού υλικού, ώστε αφενός να περιορίζεται το πρόσθετο φορτίο, αφετέρου, όταν η εγκατάσταση λειτουργεί για παροχή ψύξης, να αποφεύγεται ο σχηματισμός συμπυκνωμάτων (σταγονιδίων νερού) στις ψυχρές επιφάνειες των αεραγωγών προσαγωγής.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Να ευρεθεί το πρόσθετο ψυκτικό φορτίο αεραγωγού, διαστάσεων 60 x 80 cm, με μόνωση από φελλοπολτό, που διατρέχει μη κλιματιζόμενο χώρο σε μήκος 20 m.

➔ Η επιφάνεια του αεραγωγού είναι $(0,6 + 0,8) \times 2 = 2,8 \text{ m}$. Άρα η επιφάνειά του σε μήκος 20 m είναι $20 \times 2,8 = 56 \text{ m}^2$. Βάσει του πίνακα (3-32) έχουμε απώλειες 100 W/m^2 , δηλαδή συνολικές απώλειες $56 \times 100 = 5600 \text{ W}$.

(β) Απώλειες αέρα από τις ενώσεις των αεραγωγών

Οι απώλειες (διαρροές) κλιματισμένου αέρα από την έλλειψη στεγανότητας των αεραγωγών αποτελεί μία σημαντική μείωση της ικανότητας της μονάδας και έμμεσα αντιμετωπίζεται ως πρόσθετο ψυκτικό φορτίο.

Στις περιπτώσεις που οι αεραγωγοί δεν είναι ικανοποιητικά στεγανοί, έχουμε μία απώλεια κλιματισμένου αέρα από τις συνδέσεις των διαφόρων ευθύγραμμων τεμαχίων ή των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται το δίκτυο των αεραγωγών. Οι απώλειες αυτές του κλιματισμένου αέρα σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να φτάσουν και το 30% της ονομαστικής παροχής της κλιματιστικής μονάδας. Σε περιπτώσεις επιμελημένων κατασκευών αεραγωγών, οι απώλειες κλιματισμένου αέρα περιορίζονται στο 5-10% της ονομαστικής παροχής της κλιματιστικής μονάδας, ανάλογα και με το μήκος των αεραγωγών.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε κλιματιστική εγκατάσταση, η ονομαστική παροχή της κλιματιστικής μονάδας είναι 2000 L/s. Αν η κατασκευή του δικτύου αεραγωγών είναι αρκετά στεγανή, με απώλειες 7%, να βρεθεί η πραγματική παροχή κλιματισμένου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο.

➔ Οι απώλειες κλιματισμένου αέρα από τις συνδέσεις των αεραγωγών θα είναι:

$$Q_{\text{απ}} = 2000 \times 7\% = 140 \text{ L/s}$$

Επομένως η πραγματική παροχή της κλιματιστικής μονάδας θα είναι:

$$Q_{\text{πραγμ}} = Q_{\text{ονομ}} - Q_{\text{απ}} = 2000 - 140 = 1860 \text{ L/s}$$

Προφανώς, μία μείωση της παροχής κλιματισμένου αέρα κατά 7% σημαίνει και ανάλογη μείωση της ικανότητας της μονάδας στην αντιμετώπιση των ψυκτικών φορτίων.

3-23. Απαιτούμενη ποσότητα κλιματισμένου αέρα για τον κλιματισμό ενός χώρου

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το ποσό του κλιματισμένου αέρα για τον κλιματισμό ενός χώρου είναι:

- Το **αισθητό ψυκτικό φορτίο** σε W
- Η **διαφορά θερμοκρασίας** μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής και της θερμοκρασίας του χώρου που κλιματίζουμε.

Η σχέση (3-12), σελίδα 160, επιλυόμενη ως προς την παροχή Q, μας δίνει με το ποσό του απαιτούμενου κλιματισμένου αέρα που απαιτείται για τον κλιματισμό ενός χώρου.

$$Q = q_s / C_s \times \Delta t \quad (3-17)$$

Όπου:

Q : Ο όγκος του απαιτούμενου κλιματισμένου αέρα σε L/s.

q_s : Το αισθητό φορτίο του χώρου σε W.

C_s : Σταθερός συντελεστής, οι τιμές του οποίου δίδονται στον πίνακα (3-22), σελίδα 161. Στην επιφάνεια της θάλασσας έχει την τιμή 1,2 (αέρας standard).

Δt = **t₁** - **t₂** για θέρμανση και **t₂** - **t₁** για ψύξη, όπου:

t₁ : Η θερμοκρασία του κλιματισμένου αέρα προσαγωγής σε °C. Για πρόχειρους υπολογισμούς μπορείτε να το παίρνετε το χειμώνα 45°C και το καλοκαίρι 16°C. Με μεγαλύτερη ακρίβεια βρίσκεται από τον ψυχομετρικό χάρτη.

t₂ : Η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου σε °C.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα του αέρα για τον κλιματισμό ενός χώρου ο οποίος παρουσιάζει αισθητό φορτίο 18000 W. Ο κλιματιζόμενος χώρος έχει θερμοκρασία 27°C και ο προσαγόμενος αέρας 16°C. Το υψόμετρο είναι σχεδόν 0.

➔ Το $\Delta t = 27 - 16 = 11^\circ\text{C}$. Από τη σχέση (3-17) έχουμε:

$$Q = 18000 / (1,2 \times 11) = 1363 \text{ L/s.}$$

3-24. Ο κλιματισμός με αεραγωγούς¹¹

Στο σχήμα (3-8), υπολογίσαμε τα ψυκτικά φορτία με αυτόνομα κλιματιστικά μηχανήματα. Αυτή είναι πάντα μία εύκολη και οικονομική λύση, αλλά δεν είναι η καλύτερη. Το μεγαλύτερο πρόβλημά της είναι ότι δεν γίνεται ανανέωση του αέρα ούτε γίνεται κάποιος έλεγχος στη σχετική υγρασία του χώρου. Συχνά μάλιστα, μετά την παραμονή μας μέσα σε χώρους με αυτόνομα κλιματιστικά, για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, νοιώθουμε αδιαθεσία και θέλουμε να διακόψουμε τη λειτουργία τους ή να βγούμε έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο.

Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται όταν υπάρχει το κατάλληλο σύστημα με αεραγωγούς, με ελεγχόμενη εισαγωγή νωπού αέρα και ενδεχομένως με στοιχείο αναθέρμανσης του αέρα (αν έχουμε μεγάλο λανθάνον φορτίο). Φυσικά θα πρέπει να υπάρχει και ο κατάλληλος αυτοματισμός για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Για τους αυτοματισμούς θα αναφερθούμε αργότερα στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Όταν υπάρχει το σύστημα με αεραγωγούς, οι αεραγωγοί θα πρέπει να είναι δύο. Ο ένας προσάγει αέρα στο χώρο και ο άλλος απομακρύνει αέρα. Τον τρόπο λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος τον αναπτύξαμε στην παράγραφο (2-16), σελίδα 75 ενώ στο σχήμα (2-7) φαίνεται η αρχή της λειτουργίας του.

Ο αεραγωγός που απομακρύνει αέρα έχει συνήθως μικρότερη παροχή από αυτόν που προσάγει, ώστε το υπόλοιπο τμήμα του αέρα να απομακρύνεται μέσω των χαραμάδων. Έτσι δεν έχουμε φορτία από εισαγωγή νωπού αέρα μέσα από τις χαραμάδες.

Ένα τμήμα του αέρα που απάγεται απομακρύνεται και απορρίπτεται στο περι-

¹¹ Η διδασκαλία της παραγράφου μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος.

βάλλον. Ο αέρας αυτός αναπληρώνεται από νωπό αέρα που προσάγεται στο χώρο, όπως φαίνεται στο σχήμα (2-7). Ο νωπός αυτός αέρας επιβαρύνει με ψυκτικό φορτίο το χώρο.

Η βασική λοιπόν διαφορά, όταν υπολογίζουμε ψυκτικά φορτία και έχουμε δίκτυο αεραγωγών, είναι:

- Δεν υπάρχουν φορτία από την είσοδο του αέρα μέσω των χαραμάδων των κουφωμάτων.
- Υπάρχουν όμως ψυκτικά φορτία από την εισαγωγή νωπού αέρα μέσω των αεραγωγών, τα οποία σχεδόν πάντοτε είναι μεγαλύτερα, από τα φορτία των χαραμάδων.
- Υπάρχουν επιπλέον απώλειες από τους αεραγωγούς.
- Μπορεί να απαιτείται στοιχείο αναθέρμανσης, ιδίως όταν δεν υπάρχουν αρκετά αισθητά φορτία.

Η μέθοδος υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων είναι ακριβώς η ίδια και ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο (3-12), σελίδα 158. Αυτό που διαφοροποιείται είναι ο τρόπος υπολογισμού της ποσότητας του νωπού αέρα που αναπτύχθηκε στην παράγραφο (3-11β), σελίδα 155.

3-25. Παραδείγματα κλιματισμού με αεραγωγούς¹²

Θα δώσουμε δύο παραδείγματα υπολογισμών εγκαταστάσεων με αεραγωγούς. Το πρώτο παράδειγμα αναφέρεται στον υπολογισμό των θερμικών και των ψυκτικών φορτίων του καταστήματος του σχήματος (3-8) όταν έχουμε ανανέωση αέρα μέσω αεραγωγών. Το δεύτερο παράδειγμα ουσιαστικά αποτελεί συνέχεια του πρώτου παραδείγματος και αναφέρεται στον υπολογισμό της απαιτούμενης παροχής αέρα, λαμβάνοντας υπ' όψη και τις απώλειες των αεραγωγών.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Ο καταστηματάρχης που έχει το κατάστημα του σχήματος (3-8), το οποίο στη συνέχεια θα το θεωρούμε θερμομονωμένο, δεν ικανοποιήθηκε με τη λύση που του προτείνατε με τα δύο αυτόνομα κλιματιστικά. Αποφάσισε λοιπόν, επειδή το κατάστημά του έχει αρκετό ύψος, να κατασκευάσει ψευδοροφή και δίκτυο αεραγωγών κρυμμένο μέσα στην ψευδοροφή. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός του μηχανήματος θα

¹² Η διδασκαλία της παραγράφου μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος

τοποθετηθεί κυρίως στο υπόγειο που είναι κάτω από το κατάστημα. Η ψευδοροφή κατεβάζει το ύψος του χώρου κατά 70 cm, δηλαδή μένει καθαρό ύψος 3,30 m, με το οποίο ο καταστηματούχος είναι απόλυτα ικανοποιημένος. Να υπολογίσετε το νέο θερμικό και ψυκτικό φορτίο του χώρου.

➡ Κατ' αρχάς αφαιρείται από τον πίνακα (3-11), σελίδα 138, το θερμικό φορτίο από είσοδο νωπού αέρα $q = 3024 \text{ W}$. Επίσης τα ψυκτικά φορτία τα οποία είχαμε υπολογίσει από εισαγωγή νωπού αέρα, που είναι $q_S = 1344 \text{ W}$ και $q_L = 546 \text{ W}$, αφαιρούνται από τον πίνακα (3-28), σελίδα 175. Η παροχή του νωπού αέρα βλέπουμε από τον πίνακα (3-21), σελίδα 161, ότι πρέπει να είναι 5 L/s ανά m^2 του καταστήματος. Άρα έχουμε:

$$Q = 15 \times 12 \times 5 = 900 \text{ L/s}$$

Το θερμικό φορτίο του αέρα, από αυτήν την παροχή αέρα, βάσει της σχέσης (3-8) ή της (3-11), σελίδα 159 είναι:

$$q_S = 1,2 \times 900 \times (20-2) = 19440 \text{ W}$$

Από τον ψυχομετρικό χάρτη βρίσκουμε ότι αν δεν κάνουμε ύγρανση του αέρα (περιβάλλον $2^\circ\text{C}/50\%$), θα καταλήξουμε στο χώρο να έχουμε συνθήκες $20^\circ\text{C}/15\%$, δηλαδή μία πολύ ξηρή ατμόσφαιρα. Έστω ότι θέλουμε να ανεβάσουμε τη σχετική υγρασία στο 38%. Τότε βρίσκουμε από τον ψυχομετρικό χάρτη ότι $W_o = 2,2 \text{ g/kg}$ και $W_i = 5,5 \text{ g/kg} = 0,0055$. Οπότε $\Delta W = 0,0055 - 0,0022 = 0,0033$. Από τη σχέση (3-14) βρίσκουμε ότι:

$$q_L = 3000 \times 900 \times 0,0033 = 8910 \text{ W}$$

Οπότε το συνολικό θερμικό φορτίο διαμορφώνεται όπως στον πίνακα (3-33).

Τα ψυκτικά φορτία, βάσει των σχέσεων (3-11) και (3-14), για αέρα περιβάλλοντος $35^\circ\text{C}/35\%$ και χώρου $27^\circ\text{C}/50\%$ (είχαμε υπολογίσει, στην παράγραφο 3-12, ότι $\Delta W = 0,0013$), είναι:

Πίνακας 3-33: Τα θερμικά φορτία του καταστήματος του σχήματος (3-6), με θερμομόνωση και με δίκτυο αεραγωγών

Προέλευση θερμικού φορτίου	Παράγραφος	q_S	q_L	q_T
Αγωγιμότητα	3-7	12044	0	12044
Εισαγωγή νωπού αέρα	3-6	19440	0	19440
Ύγρανση αέρα	3-12(β)	0	8910	8910
ΣΥΝΟΛΟ		31484	8910	40394
ΠΡΟΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ		31500	8900	40400

$$q_s = 1,2 \times 900 \times (35-27) = 8640 \text{ W}$$

$$q_L = 3000 \times 900 \times 0,0013 = 3510 \text{ W}$$

Οπότε το ψυκτικό φορτίο διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον πίνακα (3-34).

Πίνακας 3-34: Τα ψυκτικά φορτία του καταστήματος του σχήματος (3-8), με θερμομόνωση και δίκτυο αεραγωγών

Προέλευση ψυκτικού φορτίου	Παράγραφος	q_s	q_L	q_T
Αγωγιμότητα	3-9	3069	0	3069
Ακτινοβολία	3-10	4015	0	4015
Εισαγωγή νωπού αέρα	3-25	8640	3510	12150
Άνθρωποι	3-13	992	1158	2150
Φώτα	3-15	1287	0	1287
Ηλεκτροκινητήρες	3-16	1395	0	1395
Ηλεκτρικές συσκευές	3-17	515	120	635
ΣΥΝΟΛΟ		19913	4788	24701
ΠΡΟΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ		20000	4800	24800



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Στον κλιματιζόμενο χώρο του σχήματος (3-8), τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία υπολογίστηκαν στους πίνακες (3-33) και (3-34). Να βρεθεί το ποσό του απαιτούμενου κλιματισμένου αέρα για τον κλιματισμό του χώρου, η ποσότητα του αέρα ανακυκλοφορίας καθώς και η ποσότητα που θα πρέπει να απάγει ο αεραγωγός επιστροφής. Να γίνουν πρώτα οι υπολογισμοί βάσει του ψυκτικού φορτίου και μετά να γίνει έλεγχος βάσει του θερμικού φορτίου. Επιπλέον δίδονται:

- Η κλιματιστική μονάδα θα είναι στο υπόγειο και θα τροφοδοτείται με κρύο νερό από έναν ψύκτη και με ζεστό νερό από ένα λέβητα.
- Ο αεραγωγός είναι διατομής 50 x 80 cm, θερμομονωμένος με υαλοβάμβακα πάχους 2 cm και το τμήμα του που είναι εκτός του κλιματιζόμενου χώρου είναι 6,5 m.
- Απώλειες αέρα του αεραγωγού, λόγω διαφυγών, είναι 7%.

➡ Για αεραγωγό μήκους 6,5 m, διατομής 0,5 x 0,8 έχουμε επιφάνεια $6,5 \times 2 \times (0,5 + 0,8) = 16,9 \text{ m}^2$. Από τον πίνακα (3-32) έχουμε απώλειες 35 W/m^2 οπότε οι απώλειες του αεραγωγού είναι $16,9 \times 35 = 592 \text{ W} \approx 600 \text{ W}$. Το αισθητό ψυκτικό φορτίο, βάσει του πίνακα (3-34), είναι 20000 W, οπότε λόγω διαφυγών αέρα έχουμε απώλειες $20000 \times 7\% = 1400 \text{ W}$. Συνολικά δηλαδή σε αισθητό φορτίο, έχουμε $1400 + 600 = 2000 \text{ W}$ απώλειες αεραγωγών. Τις απώλειες σε λανθάνον φορτίο τις αγνοούμε (είναι πολύ μικρές).

Κατά συνέπεια το αισθητό ψυκτικό φορτίο προκύπτει $q_s = 20000 + 2000 = 22000 \text{ W}$ και αντίστοιχα το ολικό $q_T = 24800 + 2000 = 26800 \text{ W}$. Ο συντελεστής $SHF = 22000 / 26800 = 0,821$. Χαράσσουμε την ευθεία του SHF στον ψυχομετρικό χάρτη και θεωρώντας $BF \approx 0,2$ βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία εξόδου του αέρα είναι $16,5^\circ\text{C}$.

Εφαρμόζοντας τη σχέση (3-17), σελίδα 183, έχουμε:

$$Q = 22000 / 1,2 \times (27 - 16,5) = 1746 \text{ L/s} \approx 1750 \text{ L/s}$$

Την παροχή του αέρα μπορούμε να τη βρούμε και σύμφωνα με όσα μάθαμε στην ψυχομετρία. Συγκεκριμένα έχουμε $v_2 = 0,833 \text{ m}^3/\text{kg}$, $h_1 = 56 \text{ kJ/kg}$, $h_2 = 43 \text{ kJ/kg}$ και $\Delta h = 56 - 43 = 13 \text{ kJ/kg}$. Οπότε η παροχή μάζας $w = q_T / \Delta h = 26800 / 13 = 2061 \text{ g/s}$. Η παροχή αέρα προκύπτει:

$$Q = w \times v_2 = 2061 \times 0,833 = 1717 \text{ L/s}$$

Προφανώς ο τρόπος μέσω του ψυχομετρικού χάρτη είναι πιο σωστός, αλλά η διαφορά προκύπτει αμελητέα. Ως εκ τούτου είναι προτιμότερο να βρίσκετε την παροχή αέρα βάσει της σχέσης (3-16).

Λαμβάνουμε παροχή αέρα 1800 L/s . Επειδή είχαμε βρει ότι απαιτούνται 900 Us νωπός αέρας, απομένουν **900 L/s** που θα προέρχεται από τον αέρα ανακυκλοφορίας. Καλύτερος υπολογισμός μπορεί να γίνει βάσει της ψυχομετρίας, όπως αναπτύσσεται στην παράγραφο (2-16), σελίδα 75.

Ας ελέγξουμε την επάρκεια της εν λόγω μονάδας σε θέρμανση. Η παροχή αέρα είναι πλέον δεδομένη, 1800 L/s . Η θερμοκρασία του χώρου είναι 20°C . Το θερμικό φορτίο του χώρου είναι 40400 W .

Οι απώλειες των αεραγωγών από αγωγιμότητα προκύπτουν $16,9 \times 70 = 1183 \text{ W} \approx 1200 \text{ W}$ και από διαφυγές αέρα $7\% \times 40400 = 2828 \text{ W} \approx 2800 \text{ W}$, δηλαδή άθροισμα 4000 W . Το συνολικό φορτίο είναι $40400 + 4000 = 44400 \text{ W}$.

Από τη σχέση (3-16) έχουμε:

$$1800 = 44400 / 1,2 \times (t_1 - 20) \Rightarrow 2160 (t_1 - 20) = 44400 \Rightarrow$$

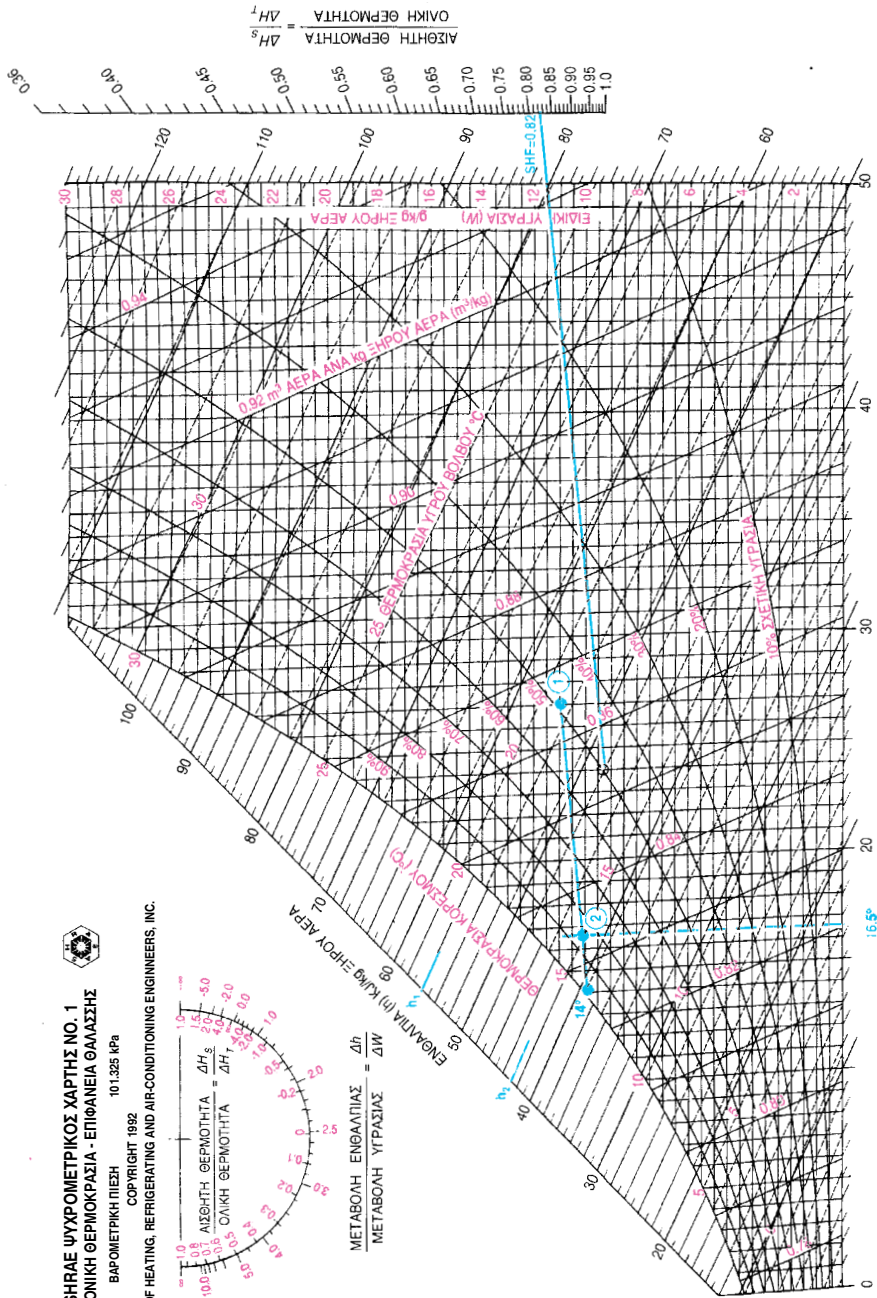
$$t_1 = 40,6^\circ\text{C}$$

Η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας του στοιχείου για $BF \approx 0,2$, προκύπτει, βάσει της σχέσης (2-4):

$$t_s = 40,6 + 0,2 \times (40,6 - 20) = 44,7^\circ\text{C}$$

Προφανώς η θερμοκρασία αυτή δεν αποτελεί πρόβλημα για ένα λέβητα που μπορεί να παράγει άνετα νερό ακόμη και 90°C . Η εγκατάσταση δηλαδή είναι σε θέση να αντιμετωπίσει άνετα τα θερμικά φορτία.

Η επίλυση μπορεί να γίνει και βάσει της ψυχομετρίας κατά τον τρόπο που αναπτύσσεται στο κεφάλαιο 2-19, σελίδα 83.



Σχήμα 3-13: Υπολογισμός της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την κλιματιστική μονάδα.

Δεν θα απάγουμε όλη την εν λόγω ποσότητα των 1800 m^3 του αέρα από το χώρο, επειδή σ' αυτή την περίπτωση θα έχουμε εισαγωγή θερμού αέρα από το περιβάλλον, που την είχαμε υπολογίσει σε 140 L/s . Για την εξουδετέρωση αυτής της ποσότητας ας πάρουμε 200 L/s αέρα επιστροφής λιγότερο, οπότε στον αεραγωγό επιστροφής θα έχουμε παροχή αέρα 1600 L/s . Εξ αυτών πάλι, τα 900 L/s θα χρησιμοποιηθούν, ως αέρας ανακυκλοφορίας, όπως υπολογίσαμε προηγουμένως, **ενώ τα υπόλοιπα 700 L/s θα απορριφθούν, μέσω αεραγωγού, στο περιβάλλον.**

3-26. Τι θα πρέπει να προσέχουμε όταν ο κλιματισμός γίνεται με αεραγωγούς¹³

Ο κλιματισμός με αεραγωγούς δεν είναι απλή υπόθεση και θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός αυτός που θα τον εφαρμόσει. Στη συνέχεια, θα σας δώσουμε μερικά βασικά σημεία που θα πρέπει να έχετε υπ' όψη σας.

(α) Προσοχή στην απώλεια ενέργειας, είναι πολύτιμη!

Πρέπει να είσατε φειδωλοί στην ποσότητα του απορριπτόμενου αέρα, γιατί μαζί με αυτόν απορρίπτεται και πολύτιμη ενέργεια. Ένα μέρος της απορριπτόμενης ψύξης (ή θέρμανσης το χειμώνα) που περιέχεται στον απορριπτόμενο αέρα, σε ποσοστό περίπου 50%, μπορεί να ανακτάται. Γι' αυτό το σκοπό απαιτείται ο κατάλληλος εξοπλισμός τον οποίο θα τον δούμε αργότερα. Στο παράδειγμα 2 της προηγούμενης παραγράφου, απορρίπτουμε 700 L/s στο περιβάλλον και η ποσότητα ενέργειας που θα μπορεί να ανακτηθεί κατά το καλοκαίρι βάσει της σχέσης (3-11), σελίδα 163, θα είναι:

$$q_s = [1,2 \times 700 \times (35 - 27)] \times 0,5 = 3360 \text{ W} \approx 3400 \text{ W}$$

Αντίστοιχα το χειμώνα θα είναι:

$$q_s = [1,2 \times 700 \times (20 - 2)] \times 0,5 = 7560 \text{ W} \approx 7500 \text{ W}$$

Προφανώς πρόκειται για μία υπολογίσιμη οικονομία της τάξεως του $3400 / 26800 \approx 13\%$ το καλοκαίρι και $7500 / 44400 \approx 17\%$ το χειμώνα.

Για τους εξοικονομητές ενέργειας και για τα συστήματα που τους χρησιμοποιούν θα αναφερθούμε λεπτομερέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

¹³ Η διδασκαλία της παραγράφου μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος.

(β) Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πολλή υγρασία

Αποτέλεσμα της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα είναι να έχουμε μεγάλα λανθάνοντα φορτία και ο συντελεστής *SHF* να λαμβάνει μικρότερες τιμές. Γι' αυτό θα πρέπει πάντα, μετά τον υπολογισμό των φορτίων, να ελέγχουμε ποια είναι η θερμοκρασία t_s της ενεργού επιφανείας του στοιχείου.

Στο παράδειγμά μας, η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας, στο σχήμα 3-13, προέκυψε σε πολύ καλό σημείο (14°C). Προφανώς η κλιματιστική μονάδα είναι κατασκευάσιμη με αυτά τα στοιχεία και **δεν** απαιτείται στοιχείο αναθέρμανσης. Αν δεν προέκυπτε σε ικανοποιητικό σημείο, θα έπρεπε να υπολογίσουμε το απαιτούμενο στοιχείο αναθέρμανσης, βάσει των αναφερόμενων στην παράγραφο (2-12), σελίδα 66.

Στοιχείο αναθέρμανσης υπενθυμίζουμε ότι χρειάζεται όταν η ευθεία του *SHR* δεν τέμνει την καμπύλη κορεσμού στον ψυχομετρικό χάρτη ή την τέμνει κάτω από τη μέση θερμοκρασία νερού. Για να συμβεί αυτό προϋπόθεση είναι να έχουμε μεγάλο λανθάνον φορτίο, που μπορεί να συμβεί μόνο όταν έχουμε εισαγωγή νωπού αέρα με αεραγωγούς. Όταν κάνουμε κλιματισμό ενός χώρου χωρίς νωπό αέρα (π.χ. με αυτόνομα κλιματιστικά), αποκλείεται να προκύψουν ανάγκες αναθέρμανσης του αέρα.

(γ) Ένα τέχνασμα όταν απαιτείται στοιχείο αναθέρμανσης

Το στοιχείο αναθέρμανσης, που είδαμε στην παράγραφο (2-13), της σελίδας 66, δεν είναι παρά ένα πρόσθετο ψυκτικό φορτίο, που το δημιουργούμε για να έχουμε τη λειτουργία της ΚΜ εκεί που τη θέλουμε.

Μπορούμε όμως να δημιουργήσουμε αυτό το πρόσθετο ψυκτικό φορτίο εφαρμόζοντας λιγότερο καλή θερμομόνωση στον αεραγωγό, π.χ. με το να κάνουμε μόνωση με φελλοπολτό. Έτσι, αν π.χ. ο αεραγωγός διέρχεται από ένα μη θερμαινόμενο υπόγειο, θα γίνεται η αναθέρμανση με τη θερμότητα του υπογείου μέσω της κακής μόνωσης των αεραγωγών ενώ το υπόγειο θα διαθέτει με αυτό τον τρόπο ένα κάποιο επίπεδο κλιματισμού.

Με το παραπάνω τέχνασμα το κόστος της κλιματιστικής μονάδας θα μειωθεί, αλλά, το κυριότερο, **θα εξοικονομήσουμε και θα αξιοποιήσουμε ενέργεια** που αλλιώς θα τη χάναμε και θα έμενε αναξιοποίητη.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα φορτία είναι δύο ειδών: Τα θερμικά το χειμώνα και τα ψυκτικά το καλοκαίρι. Τα φορτία τα μετράμε σε W.
- Το κάθε κτίριο έχει μία ιδιαίτερη θερμική συμπεριφορά που οφείλεται στην παρουσία των φορτίων, στη θερμοχωρητικότητά του, στη βραδύτητα με την οποία μεταφέρεται η θερμότητα μέσω των θερμικών στοιχείων και στο μεταχρονισμό των φορτίων.
- Θερμικά φορτία ονομάζουμε τα ποσά της θερμότητας που χάνονται από τον κλιματιζόμενο χώρο στη μονάδα του χρόνου.
- Τα θερμικά φορτία είναι δύο ειδών: εκείνα που οφείλονται στην αγωγιμότητα των υλικών και εκείνα που προέρχονται από την είσοδο ψυχρού αέρα (από τις χαραμάδες των ανοιγμάτων ή μέσω αεραγωγού). Όταν έχουμε και ύγρανση του αέρα, έχουμε επιπλέον φορτία για την εξάτμιση του νερού, τα οποία είναι λανθάνοντα.
- Για τη μείωση των θερμικών φορτίων από αγωγιμότητα, τοποθετούμε στις επιφάνειες που περικλείουν το θερμαινόμενο χώρο μονωτικά υλικά.
- Το υψόμετρο έχει μεγάλη σημασία στον υπολογισμό των θερμικών και των ψυκτικών φορτίων, επειδή αλλάζει η πυκνότητα του αέρα.
- Ψυκτικά φορτία ονομάζουμε τα ποσά της θερμότητας που προστίθενται στον κλιματιζόμενο (ψυχόμενο) χώρο στη μονάδα του χρόνου.
- Οι πηγές ψυκτικών φορτίων μπορεί να βρίσκονται έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο ή μέσα σ' αυτόν.
- Εξωτερικές πηγές ψυκτικών φορτίων είναι αυτές που οφείλονται στην αγωγιμότητα των υλικών που περικλείουν τον κλιματιζόμενο χώρο, στην ακτινοβολία και στην είσοδο εξωτερικού αέρα (τρία είδη φορτίων).
- Οι εσωτερικές πηγές ψυκτικών φορτίων είναι οι άνθρωποι που ζουν και εργάζονται στον κλιματιζόμενο χώρο, τα φώτα, οι ηλεκτροκινητήρες που λειτουργούν στο χώρο και οι ηλεκτρικές συσκευές (τέσσερα είδη φορτίων).

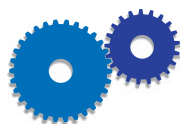
- Από τις παραπάνω πηγές ψυκτικών φορτίων, τα ψυκτικά φορτία από αγωγιμότητα, ακτινοβολία, φώτα και ηλεκτροκινητήρες είναι εξ ολοκλήρου αισθητά φορτία.
- Ο εξωτερικός αέρας, οι άνθρωποι και πολλές από τις ηλεκτρικές συσκευές δίνουν αισθητά και λανθάνοντα φορτία.
- Το ποσό του κλιματισμένου αέρα που απαιτείται για τον κλιματισμό ενός χώρου (θέρμανση ή ψύξη), εξαρτάται από το μέγεθος του αισθητού ψυκτικού φορτίου και από τη διαφορά θερμοκρασίας, μεταξύ της θερμοκρασίας του χώρου και της θερμοκρασίας του προσαγόμενου αέρα.
- Όταν υπάρχουν αεραγωγοί, υπάρχουν και επιπλέον απώλειες από αγωγιμότητα μέσω της μόνωσης των αεραγωγών και από διαφυγές αέρα.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Τι είναι θερμικά φορτία και τι ψυκτικά φορτία; Ποιες είναι οι μονάδες μέτρησής τους στα διάφορα συστήματα μονάδων και ποιες οι σχέσεις μετατροπής;
2. Τι είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα μίας κατασκευής και πώς επενεργεί στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου; Πόσες φορές είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που χρειάζεται για να θερμανθεί το κτίριο για μία ώρα;
3. Η θερμότητα μεταφέρεται αργά ή γρήγορα μέσω των δομικών στοιχείων; Δώστε ένα παράδειγμα.
4. Τι είναι ο μεταχρονισμός των φορτίων;
5. Όταν ανοίγετε το χειμώνα τα παράθυρα για να αεριστεί το σπίτι, και κατόπιν τα κλείνετε, παρατηρείτε ότι ο ψυχρός αέρας ζεσταίνεται σχεδόν αμέσως, ακόμη και όταν δεν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης. Πού οφείλεται το φαινόμενο;
6. Πώς μπορούμε να περιορίσουμε τις απώλειες θερμότητας από αγωγιμότητα;
7. Πώς επενεργεί η κεραμοσκεπή στην αντιμετώπιση των θερμικών και των ψυκτικών φορτίων;
8. Μας συμφέρει το πάχος του θερμομονωτικού υλικού να είναι το δυνατόν μεγαλύτερο; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
9. Γιατί κατά τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών πρέπει να γνωρίζουμε την περιοχή που βρίσκεται το θερμαινόμενο κτίριο; Χρειάζεται ακόμη να γνωρίζουμε αν είναι μέσα στην πόλη ή έξω, ή αν είναι σε προστατευμένη από ανέμους περιοχή;
10. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το μέγεθος των απωλειών θερμότητας από αγωγιμότητα;
11. Τι είναι ο standard αέρας και ποια τα χαρακτηριστικά του; Σε τι μας βοηθάει όταν εργαζόμαστε με standard αέρα;
12. Γιατί πρέπει να γνωρίζουμε το υψόμετρο που είναι το κτίριο για το οποίο υπολογίζουμε τα φορτία;

13. Αναφέρετε τις κύριες πηγές ψυκτικών φορτίων (εξωτερικών και εσωτερικών) και το είδος των ψυκτικών φορτίων που δίνουν (αισθητό, λανθάνον ή και τα δύο);
14. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το μέγεθος των απωλειών θερμότητας λόγω εισροής ψυχρού αέρα περιβάλλοντος;
15. Τι είναι οι συντελεστές CLTD και GLF (που τους συμβολίσαμε για ευκολία με Δt_c και q_g). Πώς τους βρίσκουμε; Ποιοι είναι οι παράγοντες που καθορίζουν τη τιμή τους;
16. Σε ποια κατηγορία υπάγεται από πλευράς δυσκολίας απαγωγής της θερμότητας ένα οροφοδιαμέρισμα σε μία μονοκατοικία πανταχόθεν ελεύθερη, όταν κλιματιστούν όλοι οι χώροι; Ισχύει το ίδιο αν γίνει κλιματισμός μόνο σε ένα από τα δωμάτιά της;
17. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το μέγεθος των ψυκτικών φορτίων από ακτινοβολία; Πώς μπορούμε να περιορίσουμε τα ψυκτικά φορτία από ακτινοβολία;
18. Πώς δικαιολογείται η προσθήκη ψυκτικών φορτίων από ακτινοβολία σε βόρεια υαλοστάσια (τζαμαρίες), τα οποία ποτέ δεν τα «βλέπει» ο ήλιος.
19. Ποιοι είναι οι τύποι που δίνουν το αισθητό και το λανθάνον φορτίο από νωπό αέρα; Να δώσετε τη γενική μορφή και να συντάξετε τον πίνακα με τις τιμές των συντελεστών σε διάφορα υψόμετρα.
20. Τι συμπεράσματα βγάζετε αν συγκρίνετε τα αποτελέσματα υπολογισμού αισθητού και λανθάνοντος φορτίου από νωπό αέρα, που προκύπτουν από τον ψυχομετρικό χάρτη με αυτά που προκύπτουν από τους παραπάνω τύπους;
21. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το μέγεθος των ψυκτικών φορτίων από την παρουσία ανθρώπων στον κλιματιζόμενο χώρο;
22. Γιατί έχουμε ψυκτικά φορτία από φώτα, ηλεκτροκινητήρες και ηλεκτρικές συσκευές; Ο μεταχρονισμός παρουσιάζεται και σ' αυτά τα φορτία ή θα πρέπει να λαμβάνουμε τη μέγιστη δυνατή συνολική τιμή τους;
23. Πώς εκτιμούμε το συνολικό ψυκτικό φορτίο μίας ηλεκτρικής συσκευής που δεν αναγράφεται η ισχύς της σε πίνακες;

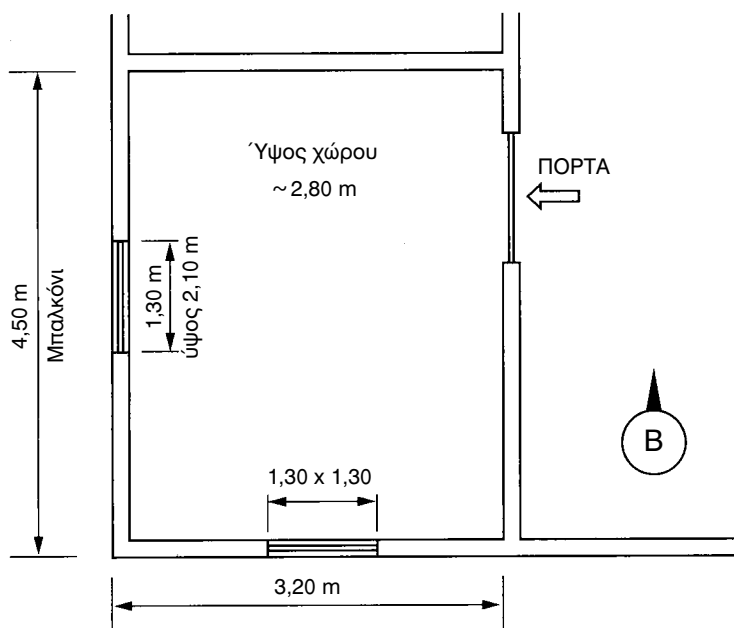
24. Αναφέρετε πώς μπορούμε, με μία απλοποιημένη μέθοδο υπολογισμού, να εκτιμήσουμε τα ψυκτικά φορτία συνηθισμένων κατοικιών.
25. Γιατί πρέπει να μονώνονται οι αεραγωγοί (προσαγωγής και επιστροφής) που περνούν από χώρους που δεν κλιματίζονται;
26. Πώς μπορείτε να υπολογίσετε την απαιτούμενη ποσότητα κλιματισμένου αέρα;
27. Μετά τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων και την εύρεση του συντελεστή *SHR*, σε ένα δίκτυο κλιματισμού με αεραγωγούς, προκύπτει πάντοτε κατασκευάσιμη κλιματιστική μονάδα; Πώς μπορεί αυτό να ελεγχθεί και αν υπάρχει πρόβλημα πώς το αντιμετωπίζουμε;
28. Σε ποιες περιπτώσεις απαιτείται στοιχείο αναθέρμανσης του αέρα;
29. Τι είναι καλύτερο, να έχουμε τοπικές κλιματιστικές μονάδες ή ένα δίκτυο με αεραγωγούς; Αναφέρετε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα.
30. Αναφέρετε τρόπους με τους οποίους μπορείτε να κάνετε εξοικονόμηση ενέργειας με ένα σύστημα με αεραγωγούς.
31. Γιατί όταν ο κλιματισμός γίνεται με αεραγωγούς, μπορεί να υπάρξει πρόβλημα όσον αφορά τη θέση που προκύπτει το σημείο t_s (θερμοκρασία ενεργού επιφανείας) ενώ όταν ο κλιματισμός γίνεται με αυτόνομα κλιματιστικά, δεν υφίσταται παρόμοιο πρόβλημα;



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Να βρεθούν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία από αγωγιμότητα, αν οι διαστάσεις εξωτερικού τοίχου με μόνωση 5 cm είναι 20 x 3 m. Συνήθης θερμοκρασία περιβάλλοντος: το καλοκαίρι 35°C και το χειμώνα 2°C. Συνήθης θερμοκρασία χώρων το καλοκαίρι 27°C και το χειμώνα 20°C. Ο προσανατολισμός είναι Νότιος και ο χώρος εντάσσεται στην κατηγορία «Β» (αποβάλλεται δύσκολα η θερμότητα).
2. Να βρεθούν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία από αγωγιμότητα μίας οροφής με μόνωση 5 cm διαστάσεων 20 x 12 m. Συνήθης θερμοκρασία περιβάλλοντος: το καλοκαίρι 38°C και το χειμώνα 0°C. Συνήθης θερμοκρασία χώρων το καλοκαίρι 27°C και το χειμώνα 20°C. Πώς μεταβάλλονται τα εν λόγω φορτία αν τοποθετηθεί κεραμοσκεπή; Ο χώρος εντάσσεται στην κατηγορία «Α» (που αποβάλλεται εύκολα η θερμότητα).
3. Να υπολογιστούν τα ψυκτικά φορτία από ακτινοβολία σε υαλοστάσιο που είναι κατασκευασμένο από απορροφητικούς υαλοπίνακες, πάχους 5 mm και διαστάσεων 15 x 2,20 m, αν οι υαλοπίνακες καλύπτουν μόνο το 85% της ολικής επιφάνειας. Ο προσανατολισμός είναι βορειοδυτικός και ο χώρος εντάσσεται στην κατηγορία «Α» (που αποβάλλεται εύκολα η θερμότητα). Η θερμοκρασία των χώρων είναι 26°C και του περιβάλλοντος 37°C.
4. Σε κλιματιζόμενο κατάστημα διαστάσεων 10 x 12 x 2,5 m, δίνονται τα ακόλουθα στοιχεία:
 - Φωτισμός: 40 λαμπτήρες φθορίου των 36 W που λειτουργούν 12 ώρες ημερησίως
 - Εργαζόμενοι (υπάλληλοι) 5 και πελάτες 15 άτομα.Να υπολογιστούν τα ψυκτικά φορτία (αισθητά και λανθάνοντα) από τις παραπάνω πηγές, καθώς και από τον αναγκαίο φρέσκο αέρα για τους ανθρώπους που βρίσκονται συνήθως στο χώρο.
5. Σας ζητάνε να βάλετε ένα αυτόνομο κλιματιστικό μηχάνημα σε ένα υπνοδωμάτιο στο διαμέρισμα μίας πολυκατοικίας. Το δωμάτιο έχει δια-

στάσεις $3,20 \times 4,50$ και είναι γωνιακό. Ο μικρότερος τοίχος είναι νότιος και έχει ένα παράθυρο με υαλοπίνακα διπλό $1,30 \times 1,30$ m και ο άλλος είναι δυτικός, με μπαλκονόθυρα με διπλούς υαλοπίνακες $1,30 \times 2,10$ και σκιαζόμενος με τέντες. Μέσα στο δωμάτιο μένουν το πολύ 2 άτομα. Το σπίτι είναι θερμομονωμένο σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό θερμομόνωσης. Πάνω και κάτω υπάρχουν μη κλιματιζόμενα διαμερίσματα. Τι κλιματιστικό θα βάλετε; Τα διαθέσιμα μεγέθη είναι $2,7 - 3,6 - 5,5 - 7,4$ kW. Το διαμέρισμα βρίσκεται στη Θεσσαλονίκη¹⁴ σε προάστιο χωρίς πυκνή ανοικοδόμηση. Η θερμοκρασία στο χώρο να ληφθεί 27°C και του περιβάλλοντος 38°C . Τα χρώματα της οικοδομής είναι σκούρα.



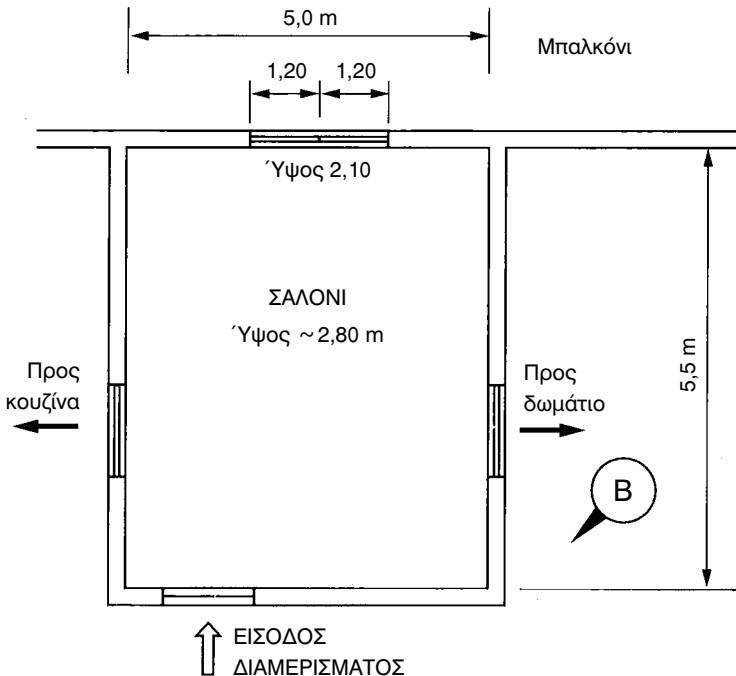
Σχήμα 3-14: Η κάτοψη του χώρου των ασκήσεων 5 και 6.

6. Ο ιδιοκτήτης του παραπάνω διαμερίσματος σας ζήτησε να καλύπτεται πλήρως το δωμάτιο και σε θέρμανση, ακόμη και όταν δεν θερμαίνονται οι υπόλοιποι χώροι της πολυκατοικίας. Αρκεί το κλιματιστικό μηχανήμα που διαλέξατε ή θα χρειαστείτε μεγαλύτερο; Τα παραπάνω μεγέθη αποδίδουν αντίστοιχα σε θέρμανση $3,0 - 4,0 - 6,1 - 8,1$ kW. Η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου είναι 20°C και του περιβάλλοντος

14 Ο καθηγητής μπορεί να ορίσει ως πόλη αυτήν που βρίσκεται το σχολείο.

να επιλεγεί από εσάς. Για φώτα και συσκευές δεχτείτε φορτίο 50 W.

7. Σας ζητάνε να βάλετε ένα αυτόνομο κλιματιστικό σε ένα υπνοδωμάτιο σε σαλόνι διαμερίσματος που είναι στον τελευταίο όροφο μίας πολυκατοικίας. Το σαλόνι έχει διαστάσεις 5,0 x 5,50 και μόνο η μία πλευρά πλάτους 5,0 m, με νοτιοανατολικό προσανατολισμό, βλέπει σε μπαλκόνι, ενώ οι άλλες επικοινωνούν με μη κλιματιζόμενους χώρους. Υπάρχει διπλή μπαλκονόθυρα με δύο διπλούς υαλοπίνακες, ο καθένας 1,20 x 2,10 και σκιαζόμενη με τέντες. Μέσα στο σαλόνι μένουν συνήθως 5 άτομα. Το σπίτι είναι θερμομονωμένο σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό θερμομόνωσης. Κάτω από το διαμέρισμα υπάρχουν μη κλιματιζόμενα διαμερίσματα. Τι κλιματιστικό ή κλιματιστικά θα βάλετε; Τα διαθέσιμα μεγέθη είναι 2,7 - 3,6 - 5,5 - 7,4 kW. Το διαμέρισμα βρίσκεται στην Αθήνα¹⁵ σε κεντρική περιοχή, αλλά σε πολύ ψηλή πολυκατοικία. Η θερμοκρασία του χώρου και η θερμοκρασία περιβάλλοντος να επιλεγούν από εσάς. Τα χρώματα της οικοδομής είναι ανοιχτόχρωμα. Για τα φώτα και τις συσκευές δεχτείτε φορτίο 150 W.



Σχήμα 3-15: Η κάτοψη του χώρου των ασκήσεων 7 και 8.

15 Ο καθηγητής μπορεί να ορίσει ως πόλη αυτήν που βρίσκεται το σχολείο.

8. Ο ιδιοκτήτης του παραπάνω διαμερίσματος σας ζήτησε να καλύπτεται πλήρως το σαλόνι και σε θέρμανση, ακόμη όταν δεν θερμαίνονται οι υπόλοιποι χώροι της πολυκατοικίας. Αρκούν σε ισχύ τα μηχανήματα που διαλέξατε ή θα χρειαστείτε μεγαλύτερα; Τα παραπάνω μεγέθη αποδίδουν αντίστοιχα σε θέρμανση 3,0 - 4,0 - 6,1 - 8kW. Η θερμοκρασία χώρου και θερμοκρασία περιβάλλοντος να επιλεγούν από εσάς.
9. Να υπολογιστεί το ψυκτικό και το θερμικό φορτίο που προστίθεται στον κλιματισμένο αέρα που διαρρέει έναν αεραγωγό που διέρχεται από ένα μη κλιματιζόμενο χώρο. Μήκος αεραγωγού 25 m, διατομή 50 x 80 cm, μόνωση υαλοβάμβακα πάχους 3 cm.
10. Το ολικό ψυκτικό φορτίο σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο υπολογίστηκε σε 12,5 kW. Να βρεθεί η απαιτούμενη ποσότητα κλιματισμένου αέρα σε L/s, αν το λανθάνον ψυκτικό φορτίο ανέρχεται στο 20% του ολικού ψυκτικού φορτίου. Η θερμοκρασία του αέρα που προσάγεται στο χώρο είναι 16°C. Η θερμοκρασία του χώρου είναι 26°C.

κεφάλαιο 4

*ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ***ΓΕΝΙΚΑ****ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΥΣ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ****ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ****ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ
ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ****ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ**



- ✓ Να μάθουν οι μαθητές τα στοιχεία κατασκευής ενός αεραγωγού.
- ✓ Να διδαχθούν βασικές αρχές της ροής του αέρα σε αεραγωγούς.
- ✓ Να ασκηθούν στον τρόπο υπολογισμού των διαστάσεων των αεραγωγών με τη βοήθεια των διαγραμμάτων.

4-1. Γενικά

Για να κλιματιστεί ένας χώρος, θα πρέπει να τον τροφοδοτήσουμε με τη **σωστή ποσότητα κλιματισμένου αέρα**. Η ποσότητα του προσαγόμενου σ' ένα χώρο αέρα δεν είναι ο μόνος παράγοντας που διαμορφώνει το αποτέλεσμα που θέλουμε στον κλιματιζόμενο χώρο, δηλαδή **την άνεση**. Θα πρέπει να ικανοποιούνται και άλλοι δύο παράγοντες:

- Η σωστή **ψυχομετρική κατάσταση** του αέρα που προσάγεται στον κλιματιζόμενο χώρο (θερμοκρασία, υγρασία κλπ.)
- Η **ταχύτητα** με την οποία κυκλοφορεί ο κλιματισμένος αέρας στο χώρο παραμονής, που πρέπει να είναι μικρότερη του 0,25 m/s, ώστε να δημιουργείται η άνεση που θέλουμε σ' ένα χώρο.

Η ποσότητα του προσαγόμενου κλιματισμένου αέρα σ' ένα χώρο θα πρέπει να μπορεί να αντικαθιστά τον προηγούμενο αέρα του χώρου σε διάστημα **7 έως 12 λεπτών της ώρας**. Χρόνοι αλλαγών **μικρότεροι των 7 λεπτών** πρέπει να αποφεύγονται γιατί δημιουργούνται ισχυρά ρεύματα αέρα στο χώρο τα οποία πολλές φορές μπορεί να γίνουν και επικίνδυνα για τους ανθρώπους που ζουν και εργάζονται εκεί. Αντίθετα, χρόνοι αλλαγής του αέρα **μεγαλύτεροι των 12 λεπτών** της ώρας δεν ικανοποιούν τις προϋποθέσεις της άνεσης που περιμένει κανείς από έναν κλιματιζόμενο χώρο (λείπει η αίσθηση της φρεσκάδας).

Πάντως αν προκύψουν από τους υπολογισμούς χρόνοι αλλαγής του

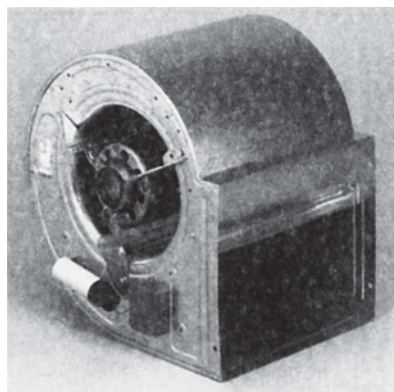
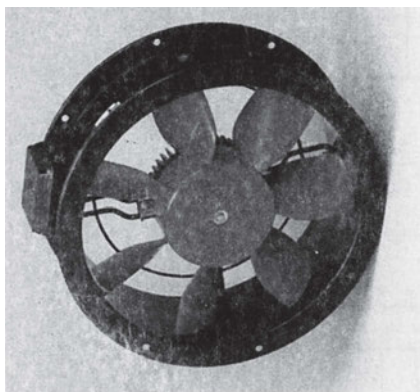
αέρα έξω από τα όρια που προαναφέρθηκαν, δύο πράγματα μπορούμε να κάνουμε:

- Να μειώσουμε τα αισθητά ψυκτικά φορτία (τοποθέτηση μονώσεων στους τοίχους (μονωτικά τζάμια κλπ).
- Να ελαττώσουμε τη θερμοκρασία του προσαγόμενου αέρα στο χώρο.

Όμως και οι δύο πιο πάνω προτεινόμενες λύσεις προϋποθέτουν κάποιο πρόσθετο αρχικό κόστος κατασκευής της εγκατάστασης, πράγμα που πολλοί κατασκευαστές αποφεύγουν, με αποτέλεσμα, σε πολλές περιπτώσεις κλιματιζόμενων χώρων, να μην έχουμε την άνεση που απαιτεί ο χώρος.

4-2. Βασικές αρχές ροής του αέρα στους αεραγωγούς

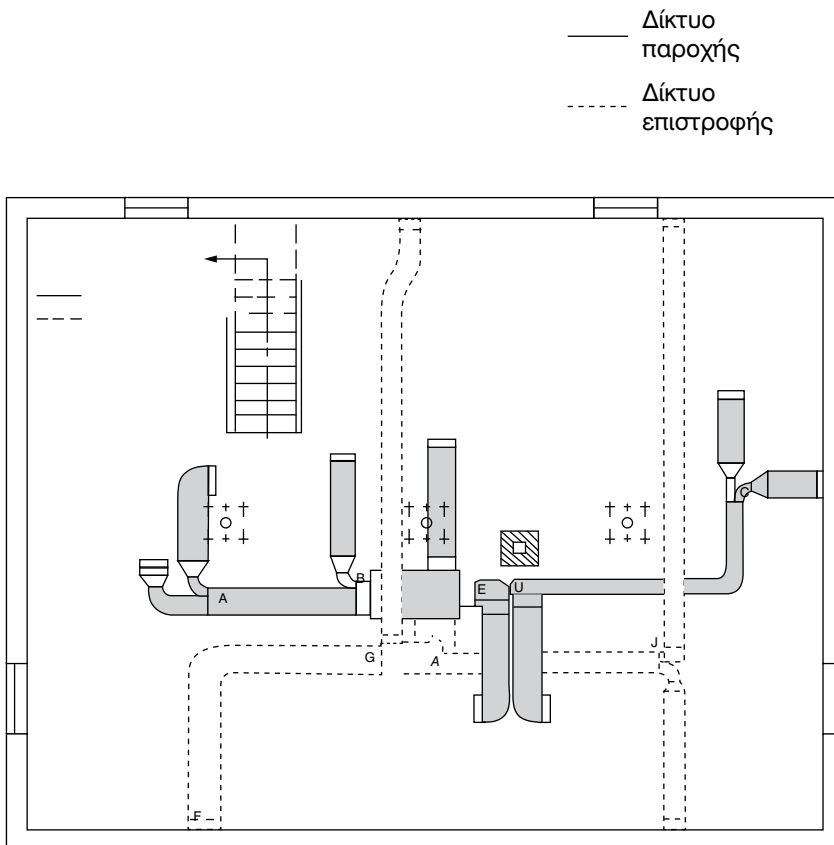
Για να κινηθεί ο αέρας μέσα στους αεραγωγούς θα πρέπει να εξασφαλίζεται συνεχώς μια **διαφορά πίεσης** μεταξύ της εισόδου του αέρα στους αεραγωγούς και της εξόδου του. Η απαιτούμενη διαφορά πίεσης για την κίνηση του αέρα στους αεραγωγούς και τη μεταφορά του στους κλιματιζόμενους χώρους γίνεται μ' έναν **ανεμιστήρα**. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μπορεί να δημιουργεί την απαιτούμενη διαφορά πίεσης για να υπερνικηθούν όλες οι αντιστάσεις ροής που συναντά ο αέρας κατά τη διαδρομή του μέσα από τους αεραγωγούς και τα εξαρτήματα της εγκατάστασης.



Σχήμα 4-1. Α. Αξονικός ανεμιστήρας. Β. Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας.

Επομένως για να ελέγξουμε αν ο ανεμιστήρας μίας κλιματιστικής μονάδας μπορεί να υπερνικήσει τις αντιστάσεις ροής του αέρα ενός δικτύου αεραγωγών, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα ακόλουθα:

- Τη μορφή του δικτύου των αεραγωγών.
- Τα εξαρτήματα που παρεμβάλλονται στη διαδρομή του αέρα (γωνιές, διακλαδώσεις, φίλτρα, στόμια κλπ).
- Την επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα στους αεραγωγούς.
- Τον όγκο (ή μάζα) του αέρα που θα ρέει σε κάθε τμήμα του αεραγωγού.



Σχήμα 4-2. Για να εκτιμηθούν οι αντιστάσεις ροής του αέρα σ' ένα δίκτυο αεραγωγών θα πρέπει να έχουμε την τελική μορφή του δικτύου.

Η ολική πίεση που αναπτύσσει ο ανεμιστήρας για την κίνηση συγκεκριμένης μάζας αέρα (ή όγκου αέρα) μέσα στους αεραγωγούς είναι το άθροισμα της **στατικής** και **δυναμικής** πίεσης. Επομένως, σε κάθε περίπτωση ισχύει η σχέση:

$$p_T = p_s + p_d \quad (4-1)$$

Όπου:

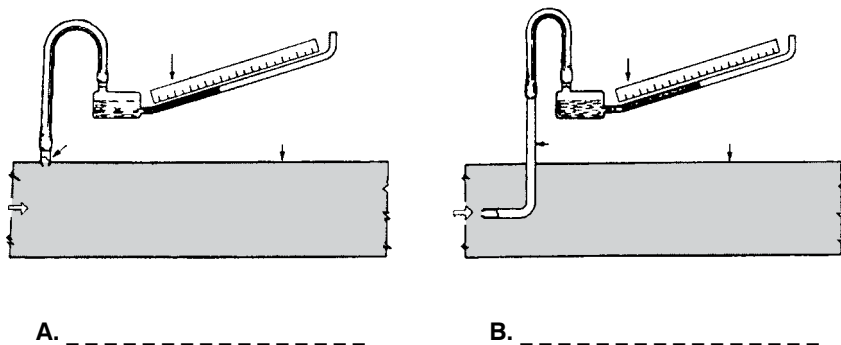
p_T : Η ολική πίεση που ασκείται σε κάθε σημείο του αεραγωγού, **σε Pa** (σύστημα SI). Επειδή παλαιότερα χρησιμοποιούνταν και οι μονάδες mbar ή mm στήλης ύδατος (Σ.Υ.) ή στο σύστημα I-P το psi, δίνουμε τις σχέσεις μετατροπής τους:

$$\begin{aligned} 0,1 \text{ mbar} &\approx 1 \text{ mm Σ.Υ.} \approx 10 \text{ Pa.} \\ 100 \text{ kPa} &\approx 1 \text{ bar} \approx 14,5 \text{ psi} \end{aligned}$$

p_s : Η στατική πίεση σε Pa.

p_d : Η δυναμική πίεση σε Pa.

Ας δούμε όμως τι είναι η στατική και τι η δυναμική πίεση.



Σχήμα 4-3. Α. Μέτρηση της στατικής πίεσης. Β. Μέτρηση της ολικής πίεσης του αέρα σε αεραγωγό με κεκλιμένο μανόμετρο.

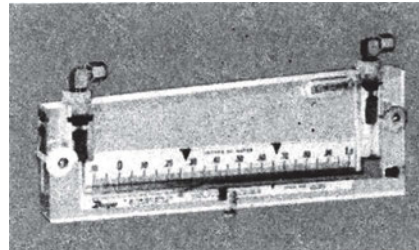
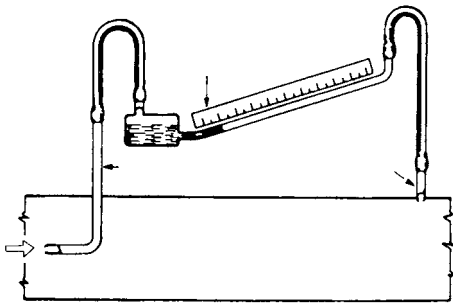
Στατική πίεση είναι η πίεση που ασκείται από τον αέρα στα τοιχώματα των αεραγωγών. Η στατική πίεση είναι η πίεση που μετρείται κάθετα ως προς τη διεύθυνση της ροής του αέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα (4-3), περίπτωση «Α».

Η στατική πίεση στην έξοδο του ανεμιστήρα θα πρέπει να είναι μεγα-

λύτερη από το σύνολο της αντίστασης τριβών που συναντά ο αέρας σ' ολόκληρο το δίκτυο. Η αντίσταση τριβών στους αεραγωγούς και στα εξαρτήματα **δημιουργεί πτώση πίεσης ή απώλειες πίεσης**. Όσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες τριβών, τόσο μειώνεται η παροχή του ανεμιστήρα. Γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται κατασκευές δικτύων αεραγωγών με μεγάλες αντιστάσεις στη ροή του αέρα.

Δυναμική πίεση είναι η πίεση που ασκείται από τον αέρα σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση ροής του αέρα. Όπως φαίνεται και στο σχ. (4-4), δυναμική πίεση είναι η διαφορά μεταξύ της ολικής και της στατικής πίεσης. Δηλαδή:

$$p_T = p_s - p_d$$



Σχήμα 4-4. Μέτρηση της δυναμικής πίεσης σε αεραγωγό.

(Α) Διαδικασία μέτρησης της δυναμικής πίεσης

(Β) Συνήθης μορφή κεκλιμένου μανομέτρου για τη μέτρηση των πιέσεων σε αεραγωγούς

Η δυναμική πίεση είναι η πίεση που απαιτείται για την επιτάχυνση του αέρα από τη θέση ηρεμίας του, σε συγκεκριμένο επίπεδο ταχύτητας. Η δυναμική πίεση μένει σταθερή κατά μήκος του αεραγωγού όσο η ταχύτητα του αέρα παραμένει σταθερή.

Η μέτρηση των πιέσεων σ' έναν αεραγωγό γίνεται με ειδικά μανόμετρα σαν αυτό του σχήματος (4-4) ή και με ηλεκτρονικά που είναι και μεγαλύτερης ακρίβειας.

Η βασική σχέση που μας δίνει τον όγκο του αέρα ο οποίος περνά από έναν αεραγωγό είναι η ακόλουθη:

$$Q = A \times V \quad (4.2)$$

Όπου:

Q : Ο όγκος του αέρα που ρέει στον αεραγωγό σε m³/s. Για να μετατρέ-

ψουμε το Q σε L/s , το πολλαπλασιάζουμε με 1000.

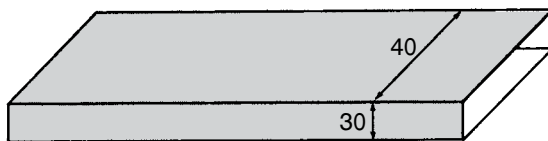
A : Η διατομή του αεραγωγού σε m^2 .

V : Η μέση ταχύτητα του αέρα μέσα στον αεραγωγό σε m/s .



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε αεραγωγό κλιματισμού διαστάσεων $0,30 \times 0,40 \text{ m}$, που φαίνεται στο σχήμα (4-5), μετρήθηκε μέση ταχύτητα του αέρα 5 m/s . Να βρεθεί ο όγκος του αέρα που διαρρέει τον αεραγωγό.

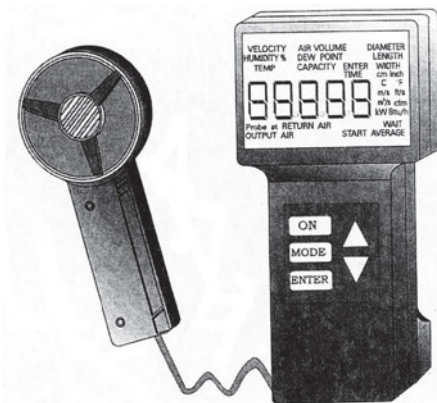


Σχήμα 4-5. Το σχήμα του παραδείγματος υπολογισμού της παροχής αέρα σε αεραγωγό.

Η διατομή του αεραγωγού είναι: $A = 0,30 \times 0,40 = 0,12 \text{ m}^2$. Εφαρμόζοντας τη σχέση (4-2) έχουμε:

$$Q = 0,12 \times 5 = 0,6 \text{ m}^3/\text{s} = 600 \text{ L/s}$$

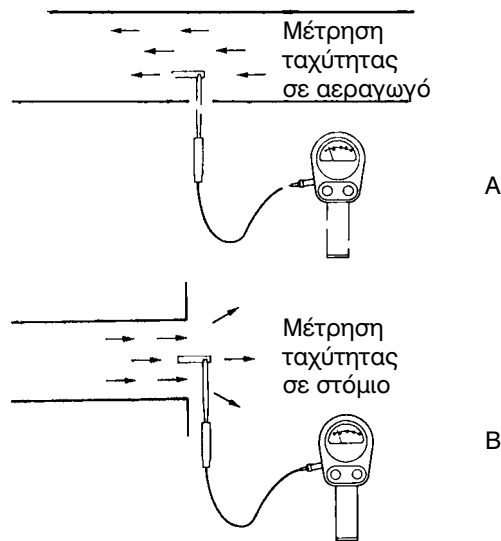
Η μέτρηση της ταχύτητας του αέρα σ' έναν αεραγωγό γίνεται με ειδικά όργανα που λέγονται **ταχύμετρα αέρα ή ανεμόμετρα**. Στο εμπόριο κυκλοφορούν ταχύμετρα αέρα σε πολύ μεγάλη ποικιλία μοντέλων, από τα κλασικού τύπου απλά ταχύμετρα, μέχρι τα τελευταίας τεχνολογίας (digital). Ένα τέτοιο όργανο φαίνεται στο σχήμα (4-6).



Σχήμα 4-6. Ψηφιακό πολύμετρο για τη μέτρηση των στοιχείων του αέρα.

Το όργανο του σχήματος (4-6) μετράει, εκτός από την ταχύτητα του αέρα και απ' ευθείας τον όγκο του αέρα (αφού του δοθούν οι διαστάσεις του αεραγωγού), τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα. Είναι μεγάλης ακρίβειας όργανο, φορητό και λειτουργεί με μπαταρίες.

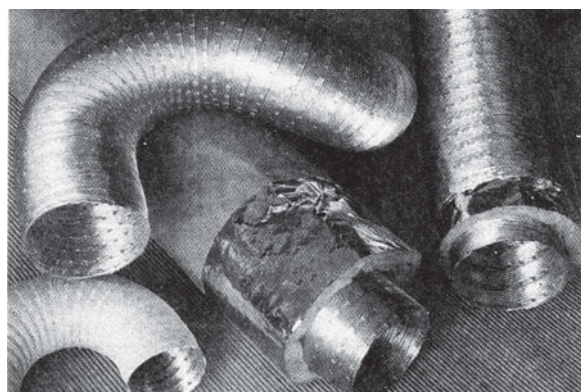
Στο σχήμα (4-7), «Α» και «Β» φαίνεται η χρήση ενός ηλεκτρονικού θερμοανεμόμετρου, που μετρά την ταχύτητα αλλά και τη θερμοκρασία του αέρα.



Σχήμα 4-7 Α. Μέτρηση της ταχύτητας του αέρα σε αεραγωγό.
Β. Μέτρηση της ταχύτητας του αέρα σε στόμιο αέρα.

4-3. Στοιχεία κατασκευής δικτύου αεραγωγών

Οι αεραγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από **γαλβανισμένη λαμαρίνα** πάχους από 0,8 έως 1 mm ανάλογα με τη διατομή του αεραγωγού. Σπανιότερα κατασκευάζονται από **σκληρό υαλοβάμβακα** ειδικής κατασκευής, σε ορθογώνια ή κυκλική μορφή. Οι ορθογώνιοι αεραγωγοί προτιμούνται περισσότερο από τους κυκλικούς γιατί προσαρμόζονται καλύτερα στις αρχιτεκτονικές ανάγκες των κλιματιζόμενων χώρων. Όμως το κόστος κατασκευής τους είναι μεγαλύτερο από τους κυκλικούς αντίστοιχης διατομής.



Σχήμα 4-8: Α. Ορθογώνιοι αεραγωγοί από ειδικό υαλοβάμβακα.
 Β. Κυκλικοί αεραγωγοί από ειδικό υαλοβάμβακα.
 Γ. Εύκαμπτοι αεραγωγοί από αλουμίνιο με μόνωση ή χωρίς μόνωση.

Οι κυκλικοί αεραγωγοί παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα έναντι των ορθογωνικής διατομής αεραγωγών:

- **κοστίζουν λιγότερο** απ' όλες τις άλλες μορφές αεραγωγών
- **παρουσιάζουν τις μικρότερες αντιστάσεις ροής** και επομένως οι απώλειες τριβών στους κυκλικούς αεραγωγούς είναι μικρότερες από τις απώλειες τριβών σε αεραγωγούς οποιασδήποτε άλλης μορφής.

Από τους ορθογώνιους αεραγωγούς, ο τετράγωνος παρουσιάζει τις μικρότερες απώλειες τριβών. Όσο ο λόγος πλευρών του αεραγωγού αυξάνεται, τόσο μεγαλώνουν οι απώλειες τριβών και τόσο αυξάνεται το κόστος κατασκευής τους. Καλόν είναι να αποφεύγεται σχέση πλευρών μεγαλύτερη του 1:4.

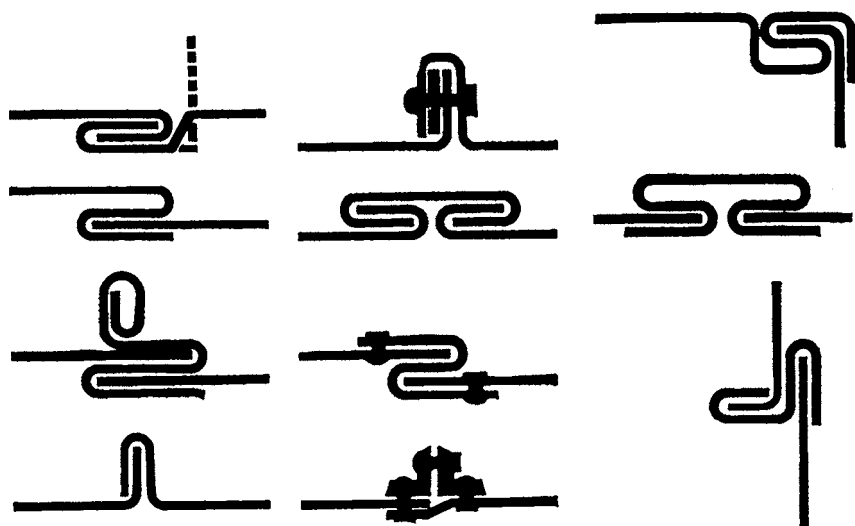
Πίνακας 4-1: Αύξηση του κόστους κατασκευής σε συνάρτηση με το λόγο των πλευρών των αεραγωγών

Λόγος πλευρών	Αύξηση του κόστους %, κατ' ελάχιστο
1:1	< 10
2:1	10
3:1	25
4:1	40
5:1	60
6:1	85
7:1	100

Στον πίνακα (4-1) παρατηρούμε ότι, **όταν ο λόγος των πλευρών σ' έναν αεραγωγό φτάσει το (7) το κόστος της κατασκευής του, αυξάνεται κατά 100%**. Γι' αυτό τέτοιου είδους κατασκευές θα πρέπει να αποφεύγονται. Τα δίκτυα των αεραγωγών από λαμαρίνα αποτελούνται από τα ευθύγραμμα τμήματα και τα ειδικά εξαρτήματα (γωνιές, ταυ, διακλαδώσεις κλπ). Τα ευθύγραμμα τμήματα και τα εξαρτήματα συνδέονται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους ώστε να αποτελέσουν ένα ενιαίο σύνολο.

Όσο πιο επιμελημένες είναι οι συνδέσεις των διαφόρων τεμαχίων, τόσο περιορίζονται και οι απώλειες κλιματισμένου αέρα. Οι απώλειες αυτές, σε ακραίες περιπτώσεις κακών συνδέσεων των τμημάτων των αεραγωγών, μπορεί να φτάσουν και το 25%. Για την ενίσχυση της στεγανότητας του δικτύου των αεραγωγών, πολλοί κατασκευαστές τοποθετούν στις συνδέσεις των τμημάτων των αεραγωγών **σιλικόνη ή ειδική στεγανωτική ταινία**.

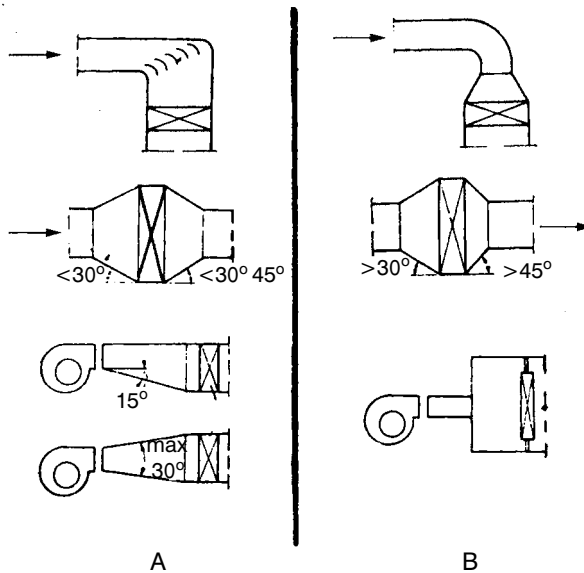
Κατά την κατασκευή του δικτύου των αεραγωγών γίνονται πολλές αλλαγές στις διαστάσεις τους σύμφωνα με τη μελέτη. Οι αλλαγές αυτές στις διαστάσεις (διευρύνσεις ή συστολές), θα πρέπει να γίνονται με πολύ προσοχή και επιμέλεια. **Ως γενικός κανόνας καλής κλίσης για τη διαφοροποίηση των διαστάσεων των αεραγωγών μπορεί να ληφθεί το 1:7**. Δεν επιτρέπεται οι αλλαγές των διαστάσεων των αεραγωγών να έχουν κλίση μικρότερη του 1:4. Ενώ στις περιπτώσεις διευρύνσεων του αεραγωγού για την τοποθέτηση θερμαντικού ή ψυκτικού στοιχείου, υγραντήρα κλπ. η διεύρυνση **στην είσοδο δεν πρέπει να ξεπερνά τις 30° και τις 45° στην έξοδο**.



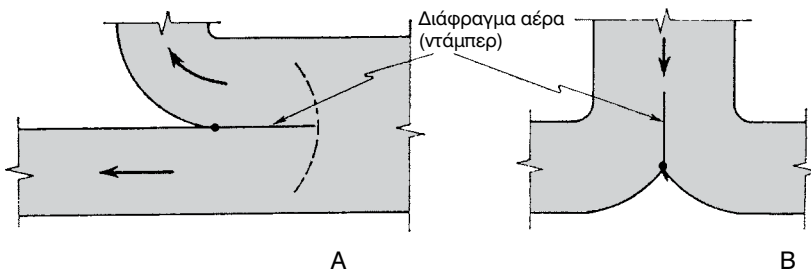
Σχήμα 4-9. Διάφοροι τρόποι σύνδεσης των τεμαχίων των αεραγωγών από γαλβανισμένη λαμαρίνα.

Στο σχήμα (4-10) φαίνονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις καλών διευρύνσεων αεραγωγών (Α) και σχεδόν απαράδεκτες (Β). Ένα άλλο σημείο των δικτύων των αεραγωγών που χρειάζεται προσοχή είναι οι διακλαδώσεις από τον κεντρικό αεραγωγό. Στο σχήμα (4-11) φαίνονται δύο καλές κατασκευές διακλάδωσης αεραγωγών. Η περίπτωση (Α) αφορά σε αναχώρηση δευτερεύοντος αεραγωγού, ενώ στη (Β) περίπτωση έχουμε διαχωρισμό του τερματικού τμήματος του αεραγωγού σε δύο αεραγωγούς οι οποίοι δεν είναι αναγκαίο να είναι ίδιων διαστάσεων. Και στις δύο περιπτώσεις χρειάζεται η τοποθέτηση ενός **ειδικού διαφράγματος (ντάμπερ)** το οποίο να μπορεί να ρυθμίζεται με εξωτερικό σύστημα με μοχλό, ώστε ο αέρας που αναχωρεί προς τον κλάδο να είναι στη σωστή ποσότητα.

Όπου η αλλαγή κατεύθυνσης είναι πολύ «κλειστή» (με μικρή ακτίνα καμπυλότητας) χρειάζεται η τοποθέτηση **πτερυγίων κατεύθυνσης** (οδηγά πτερύγια) του αέρα, ώστε αυτός να αλλάζει κατεύθυνση με ομαλό τρόπο και να αποφεύγονται έτσι τα κτυπήματα στην απέναντι πλευρά του αεραγωγού. Ο αέρας μετά το κτύπημά του στην απέναντι πλευρά του αεραγωγού επιστρέφει πάλι πίσω εμποδίζοντας την ομαλή ροή της μάζας του αέρα που ακολουθεί. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι να αυξάνονται σε μεγάλο βαθμό οι απώλειες τριβών και ο θόρυβος από τα κτυπήματα του αέρα πάνω στη λαμαρίνα.

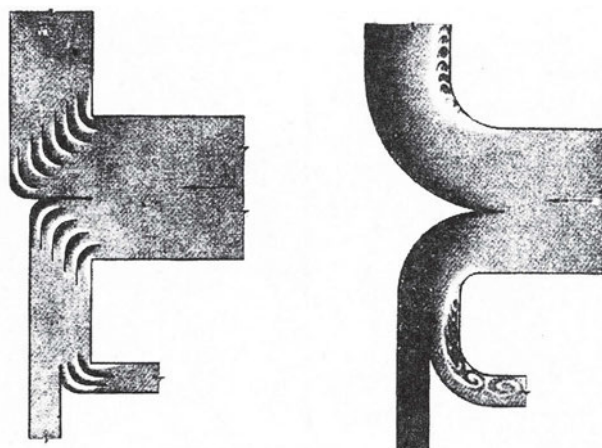


Σχήμα 4-10. Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις διεύρυνσης αεραγωγού για τοποθέτηση στοιχείων ψύξης ή θέρμανσης (Α) Καλές κατασκευές. (Β) Κακές έως απαράδεκτες.



Σχήμα 4-11. (Α) Διακλάδωση δευτερεύοντος αεραγωγού. (Β) Διαχωρισμός τερματικού τμήματος αεραγωγού, σε δύο τμήματα (παντελόνι).

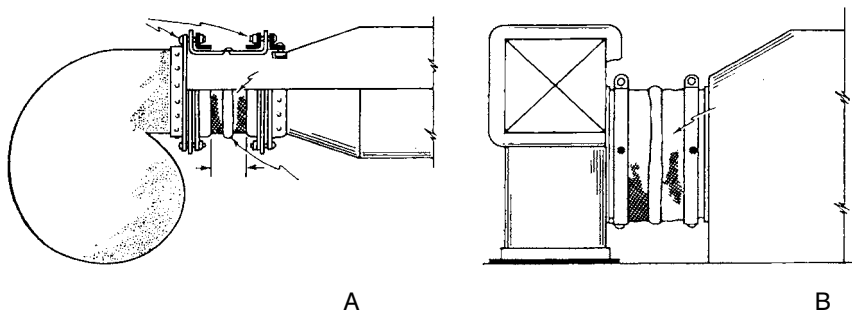
Στην εικόνα (Α) του σχήματος (4-12) φαίνεται η σωστή κατασκευή απότομης (πολύ κλειστής) γωνίας 90° , με την τοποθέτηση πτερυγίων κατεύθυνσης για την ομαλή αλλαγή της ροής του αέρα στον αεραγωγό. Στην εικόνα (Β) του ίδιου σχήματος, η έλλειψη πτερυγίων κατεύθυνσης δημιουργεί κτυπήματα και δυνореύματα που εμποδίζουν την ομαλή πορεία του αέρα στον αεραγωγό. Είναι φανερό ότι κατασκευές αυτής της μορφής θα πρέπει να αποφεύγονται.



Σχήμα 4-12. Α. Αλλαγές κατεύθυνσης 90° με πτερύγια κατεύθυνσης.
Β. Αλλαγές κατεύθυνσης 90° χωρίς πτερύγια κατεύθυνσης.

Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να προσέχουν οι κατασκευαστές εγκαταστάσεων κλιματισμού και εξαερισμού είναι η σύνδεση του ανεμιστήρα με το δίκτυο των αεραγωγών.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα (4-13) η σύνδεση του ανεμιστήρα με το δίκτυο των αεραγωγών πρέπει να γίνεται μέσω ειδικού συνδέσμου που δεν μεταφέρει τους κραδασμούς (αντικραδασμικός σύνδεσμος από ειδικό πανί ή άλλο κατάλληλο υλικό) και ποτέ με απευθείας σύνδεση του ανεμιστήρα με τον αεραγωγό. Αν γίνει απ' ευθείας σύνδεση του ανεμιστήρα με το δίκτυο των αεραγωγών, οι κραδασμοί από τη λειτουργία του ανεμιστήρα θα μεταφέρονται σ' ολόκληρο το δίκτυο και θα φθάνουν μέχρι και στα στόμια προσαγωγής του κλιματισμένου αέρα. Γι' αυτό τέτοιου είδους κατασκευές πρέπει να αποφεύγονται.



Σχήμα 4-13. Α. Σύνδεση της κατάθλιψης ανεμιστήρα.
Β. Σύνδεση της αναρρόφησης ανεμιστήρα.

4-4. Μέθοδοι υπολογισμού των διαστάσεων των αεραγωγών

Για να υπολογισθούν οι διαστάσεις ενός αεραγωγού, πρέπει να έχουμε ή να υπολογίσουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τη μορφή του δικτύου των αεραγωγών σε κάτοψη (μονογραμμική). Δηλαδή την αποτύπωση της διαδρομής του αέρα από τη μονάδα κλιματισμού μέχρι τα στόμια.
- Αν το δίκτυο θα κατασκευαστεί με κυκλικούς ή ορθογώνιους αεραγωγούς.
- Το διάκενο μεταξύ της οροφής και της ψευδοροφής του κλιματιζόμενου χώρου. Έτσι θα μπορεί να οριστεί η κάθετη διάσταση των αεραγωγών (κρέμασμα).
- Τα σημεία του χώρου που θα τοποθετηθούν τα στόμια για την ισοκατανομή του κλιματισμένου αέρα.
- Το μήκος κάθε τμήματος αεραγωγού.
- Το είδος του χώρου που πρόκειται να κλιματίσουμε για να επιλέξουμε **τη μεγίστη επιτρεπόμενη ταχύτητα** στους κύριους και δευτερεύοντες αεραγωγούς.

Τέλος υπολογίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα κλιματισμένου αέρα για κάθε χώρο, αν αυτό δεν έχει γίνει σε προηγούμενη φάση (κατά τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων) εφαρμόζοντας τη σχέση (3-17).

Αφού συγκεντρώσουμε όλα τα παραπάνω στοιχεία επιλέγουμε μία από τις μεθόδους υπολογισμού των διαστάσεων των αεραγωγών. Τρεις είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αεραγωγών:

- Η μέθοδος της **ενιαίας απώλειας** στατικής πίεσης.
- Η μέθοδος της **ενιαίας ταχύτητας** (σε κάθε σημείο του δικτύου).
- Η μέθοδος της **ανάκτησης των απωλειών** στατικής πίεσης.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι υπολογισμού των διαστάσεων των αεραγωγών είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες σε μικρές και μέσες εγκαταστάσεις κλιματισμού. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις με πολύπλοκα και μεγάλου μήκους δίκτυα αεραγωγών, χρησιμοποιείται η μέθοδος ανάκτησης των απωλειών της στατικής πίεσης.

Η ανάπτυξη όμως όλων των μεθόδων υπολογισμού των διαστάσεων ενός

δικτύου αεραγωγών ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου. Θα αναπτυχθεί μόνο η μέθοδος της ενιαίας απώλειας στατικής πίεσης προκειμένου να γνωρίζουν οι μαθητές να υπολογίζουν μικρούς αεραγωγούς.

4-5. Η μέθοδος της ενιαίας απώλειας στατικής πίεσης

Η μέθοδος της ενιαίας απώλειας στατικής πίεσης είναι η απλούστερη από τις τρεις που αναφέρθηκαν στη προηγούμενη παράγραφο. Σ' αυτή τη μέθοδο η εκλογή των διαστάσεων των αεραγωγών γίνεται έτσι ώστε να διατηρείται μία σταθερή (ενιαία) πτώση πίεσης σε κάθε μέτρο μήκους αεραγωγού. Η μέθοδος της ενιαίας απώλειας στατικής πίεσης είναι περισσότερο κατάλληλη για περιπτώσεις δικτύων αεραγωγών με ισόρροπη (ισομετρική) διάταξη και με αντιστάσεις τριβών περίπου ίδιες σε όλους τους κλάδους του δικτύου. Για τον υπολογισμό των διαστάσεων των αεραγωγών με τη μέθοδο της ενιαίας απώλειας τριβών, θα πρέπει να έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

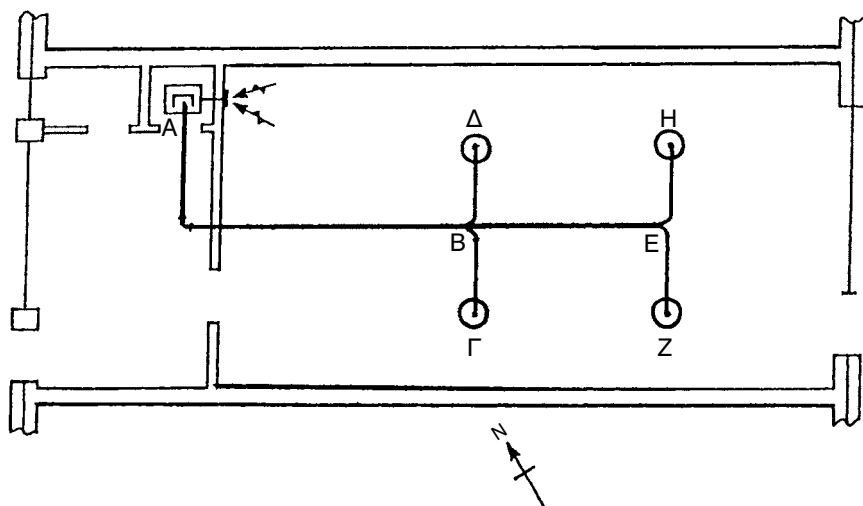
- Την παροχή του αέρα που θα περάσει από το τμήμα του αεραγωγού, του οποίου τις διαστάσεις θέλουμε να υπολογίσουμε.
- Τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα στον αεραγωγό.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες στους αεραγωγούς διαφόρων χώρων δίνονται από ειδικούς πίνακες. Ένας τέτοιος πίνακας είναι και ο (4-2).

Στον πίνακα (4-2) δίνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα στον κύριο αεραγωγό και στο υπόλοιπο δίκτυο. Ο κύριος αεραγωγός αρχίζει από την κλιματιστική μονάδα και τελειώνει στην πρώτη διακλάδωση του δικτύου. Έτσι αν υποθέσουμε ότι η εγκατάσταση του σχήματος (4-14) αφορά τον κλιματισμό ενός αναγνωστηρίου, χρησιμοποιώντας τον πίνακα (4-2) βλέπουμε ότι η ταχύτητα του αέρα στο τμήμα A-B θα είναι 5 m/s, ενώ στο υπόλοιπο δίκτυο θα είναι 4 m/s.

Πίνακας (4-2): Μέγιστη ταχύτητα αέρα στους αεραγωγούς σε m/s.

Είδος χώρου	Κύριος Αεραγωγός		Υπόλοιπο δίκτυο	
	Προσαγωγής	Επιστροφής	Προσαγωγής	Επιστροφής
Κατοικίες	5	4	3	3
Σχολεία-Αναγνωστήρια	5	4	4	3,5
Βιβλιοθήκες	8	7	4	6
Γραφεία (γενικά)	9	9	8	7
Γραφεία ιδιωτικά	8	7	7	6
Τράπεζες	9	9	8	7
Ξενοδοχεία	7,5	6,5	6	5,5
Εστιατόρια	9	9	8	7
Θέατρα-Αμφιθέατρα	7,5	5,5	5	4
Νοσοκομεία-κλινικές	7,5	6,5	6	5,5
Μεγάλα καταστήματα	9	9	8	7
Βιομηχανίες	12	9	10	7,5

**Σχήμα 4-14.** Κλιματισμός αναγνωστήριου

Βλέπουμε δηλαδή ότι η ταχύτητα στον κύριο αεραγωγό είναι μεγαλύτερη από εκείνη του υπόλοιπου δικτύου, ώστε να περιοριστούν οι διαστάσεις του κύριου αεραγωγού από τον οποίο περνά ολόκληρη η ποσότητα κλιματισμένου αέρα. Στο υπόλοιπο όμως δίκτυο οι ταχύτητες περιορίζονται

ώστε η στάθμη θορύβου σε κάθε περίπτωση να είναι στα επιτρεπτά όρια. Αφού λοιπόν οριστεί η ταχύτητα του αέρα στον κύριο αεραγωγό και έχουμε στη διάθεσή μας τον όγκο του κλιματισμένου αέρα που θα περάσει από τον κύριο αεραγωγό, βρίσκουμε τη διάμετρο (d) του κύριου αεραγωγού (AB) σε mm, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα (4-1) που ακολουθεί.

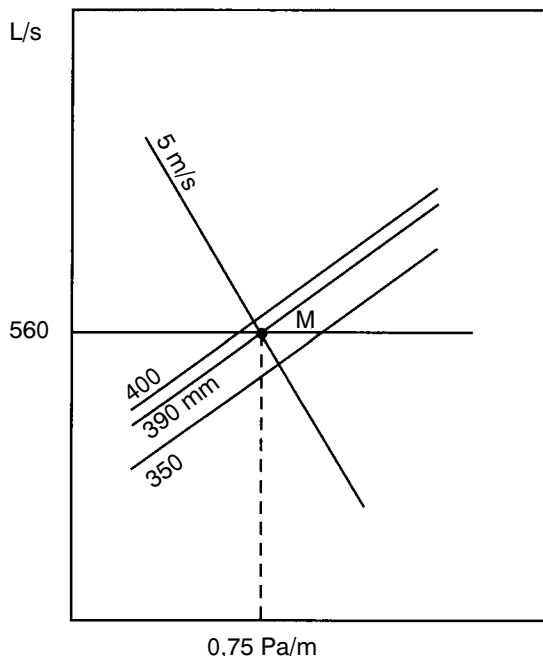


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Στην εγκατάσταση του σχήματος (4-14) από το κάθε στόμιο προσάγονται στο χώρο 140 L/s κλιματισμένου αέρα. Αν η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα στον κύριο αεραγωγό είναι 5 m/s, να βρεθούν η διάμετρος του αεραγωγού σε mm καθώς και οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών σε Pa/m.

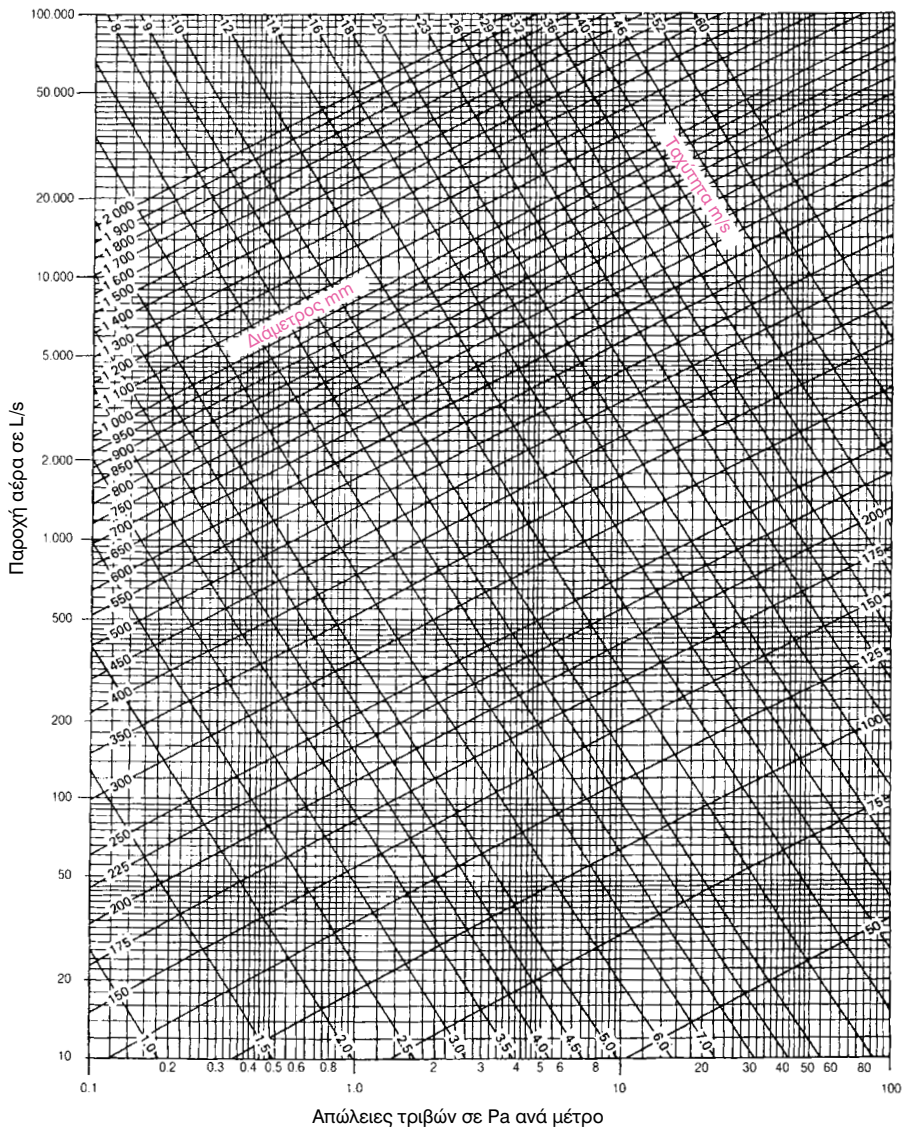
➡ Αφού το κάθε στόμιο δίνει στο χώρο 140 L/s κλιματισμένου αέρα, από το κύριο τμήμα του δικτύου (AB) θα περάσουν:

$$Q = 140 \times 4 \text{ στόμια} = 560 \text{ L/s}$$



Σχήμα 4-15. Εύρεση της διαμέτρου αεραγωγού και των απωλειών πίεσης λόγω τριβών.

Διάγραμμα 4-1: Διάγραμμα υπολογισμού της διαμέτρου κυκλικού αεραγωγού



ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

1 Pa = 0,1 mm Σ.Υ. = 0,01 mbar

1 mbar = 100 Pa (ακριβώς)

1 lb/ft² = 48 Pa ≈ 50 Pa

1" Σ.Υ. = 249 Pa ≈ 250 Pa

1" Σ.Υ./100ft = 8,16 Pa ≈ 8 Pa

Εντοπίζουμε στη στήλη των L/s του διαγράμματος (4-1) τη γραμμή των 560 L/s και τη γραμμή της ταχύτητας των 5 m/s. Το σημείο τομής των δύο γραμμών (στο σημείο M) δίνει τη διάμετρο κυκλικού αεραγωγού που είναι στην περίπτωση μας 390 mm.

Η γραμμή απωλειών στατικής πίεσης που περνάει απ' το σημείο (M) δίνει απώλειες στατικής πίεσης ανά μέτρο αεραγωγού λόγω τριβών. Στην περίπτωση του παραδείγματος είναι 0,75 Pa/m. Αφού βρήκαμε τις απώλειες πίεσης λόγω τριβών, υπολογίζουμε τη διάμετρο κάθε τμήματος των αεραγωγών του υπολοίπου δικτύου παίρνοντας ως δεδομένες και σταθερές (ενιαίες) τις απώλειες πίεσης λόγω τριβών των 0,75 Pa/m. Έτσι χρησιμοποιώντας πάλι το διάγραμμα (4-1) βρίσκουμε τη διάμετρο των τμημάτων BE, ΒΓ, ΒΔ, ΕΖ και ΕΗ, έχοντας υπόψη τον όγκο του αέρα που διαρρέει κάθε τμήμα αεραγωγού και τις ευρεθείσες απώλειες τριβών.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

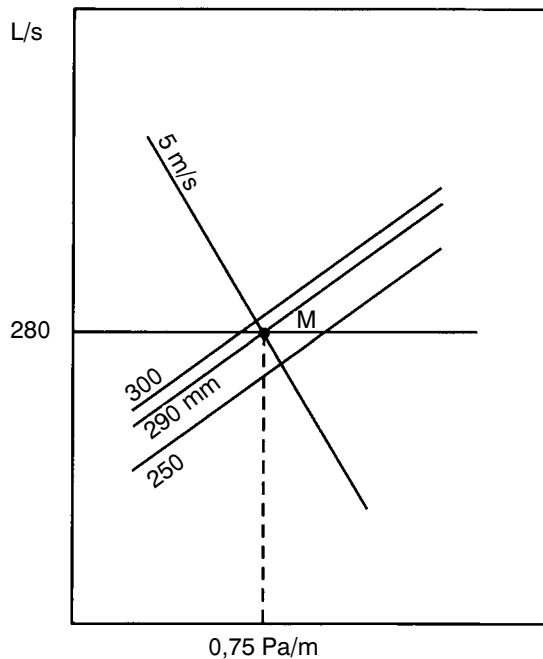
Να βρεθεί η διάμετρος των τμημάτων BE και ΒΓ στο δίκτυο αεραγωγών του σχήματος 4-14.

➡ Αφού σε κάθε στόμιο προσάγεται αέρας 140 L/s, ο αέρας που θα περάσει από το τμήμα BE θα είναι:

$$Q_{BE} = 2 \times 140 = 280 \text{ L/s}$$

Εντοπίζοντας στο διάγραμμα (4-1) την παροχή των 280 L/s και τις απώλειες πίεσης των 0,75 Pa/m βρίσκουμε ότι η διάμετρος του αεραγωγού BE θα είναι 290 mm. Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα (4-16).

Ο όγκος του αέρα που διαρρέει το τμήμα ΒΓ (όπως και κάθε ένα από τα ΒΔ, ΕΖ και ΕΗ) είναι 140 L/s. Αφού οι απώλειες πίεσης από τριβές ανά μέτρο αεραγωγού είναι ίδιες σε όλο το δίκτυο (μέθοδος ενιαίας απώλειας πίεσης λόγω τριβών), η διάμετρος του αεραγωγού ΒΓ εντοπίζεται εύκολα στο διάγραμμα (4-1). Έχοντας λοιπόν τα L/s (στην περίπτωση μας 140 L/s) και τις απώλειες λόγω τριβών (0,75 Pa/m) βρίσκουμε ότι η απαιτούμενη διάμετρος του αεραγωγού ΒΓ είναι 225 mm.



Σχήμα 4-16. Εύρεση της διαμέτρου αεραγωγού και των απωλειών πίεσης λόγω τριβών.

4-6. Η μετατροπή του κυκλικού αεραγωγού σε ορθογώνιο

Επειδή, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, οι κυκλικοί αεραγωγοί προσαρμόζονται δύσκολα στους κλιματιζόμενους χώρους, τις περισσότερες φορές προτιμάται η ορθογώνια μορφή τους. Θα πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας ότι όσο ο λόγος των πλευρών των αεραγωγών μεγαλώνει, τόσο μεγαλώνουν οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών και το κόστος κατασκευής τους. Για να μετατρέψουμε έναν κυκλικό αεραγωγό σε ορθογώνιο, πρέπει να έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τη διάμετρο του αεραγωγού, όπως αυτή βρέθηκε με τη βοήθεια του διαγράμματος (4-1), σε mm
- Το επιθυμητό μέγεθος της μιας πλευράς (αν υπάρχει περιορισμός). Κατόπιν χρησιμοποιώντας τον πίνακα (4-3) που ακολουθεί, βρίσκουμε το μέγεθος της άλλης πλευράς του αεραγωγού σε mm.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στο παράδειγμα 1 της προηγούμενης παραγράφου βρήκαμε ότι η διάμετρος του κύριου αεραγωγού (AB) είναι 390 mm. Αν υποθέσουμε ότι η μικρή πλευρά ορθογώνιας μορφής του αεραγωγού πρέπει να περιοριστεί στα 300 mm, πόση πρέπει να είναι η άλλη πλευρά του;

➡ Αφού η μία πλευρά υποχρεωτικά πρέπει να είναι 300 mm, εντοπίζουμε στον πίνακα (4-3) τη διάσταση των 300 mm. Κατεβαίνοντας τη στήλη των **300 mm** ψάχνουμε να βρούμε την πλησιέστερη διάμετρο προς εκείνη των **390 mm**. Η πλησιέστερη που συναντάμε στη στήλη των 300 mm είναι εκείνη των **378 mm**. Κινούμενοι προς τα αριστερά (οριζόντια) των 378 mm, φθάνουμε στη στήλη της μεγάλης πλευράς του αεραγωγού που είναι στην περίπτωση μας ίση με **400 mm**. Άρα ο κυκλικός αεραγωγός με διάμετρο 390 mm, θα μετατραπεί σε ορθογώνιο διαστάσεων 300 x 400 mm.

Πίνακας (4-3): Πίνακας μετατροπής κυκλικού αεραγωγού σε ορθογώνιο (α x β).

Μήκος της μιας πλευράς (α) σε mm

	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	
Μήκος της πλευράς (β) σε mm	100	109																			
	125	122	137																		
	150	133	150	164																	
	175	143	161	177	191																
	200	152	172	189	204	219															
	225	161	181	200	216	232	246														
	250	169	190	210	228	244	259	273	301												
	275	176	199	220	238	256	272	287	314	328											
	300	183	207	229	248	266	283	299	314	328	354										
	350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
	400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
	450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								
	500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547							
	550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601						
	600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	503	536	569	598	628	656					
	650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711				
	700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765			
	750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820		
	800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	
	900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984
	1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037
	1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086
	1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133
	1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177
	1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1189	1260	
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298	
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335	
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371	
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405	
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438	
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470	
2200	410	470	527	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501	
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532	
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561	
2500	430	494	552	606	656	705	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589	
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617	
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644	
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670	
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696	



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Ο κλιματισμένος αέρας που προσάγεται σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο θα πρέπει να είναι τόσο, ώστε να μπορεί να αντικαθιστά τον όγκο του αέρα του χώρου σε διάστημα 7 έως 12 λεπτών της ώρας.
- Για να μην έχουμε πολύ μικρούς χρόνους αλλαγής του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου (κάτω των 7 λεπτών της ώρας), ελαττώνουμε τα αισθητά ψυκτικά φορτία με κάποιους από τους τρόπους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3 ή ελαττώνουμε τη θερμοκρασία του προσαγόμενου αέρα.
- Ονομάζουμε στατική πίεση, την πίεση που ασκείται από τον αέρα στα εξωτερικά τοιχώματα των αεραγωγών. Ενώ η δυναμική πίεση είναι η πίεση που απαιτείται για την επιτάχυνση της μάζας (ή του όγκου) του αέρα από τη θέση ηρεμίας του σε συγκεκριμένο επίπεδο ταχύτητας. Η δυναμική πίεση ασκείται σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση ροής του αέρα. Η ολική πίεση σ' έναν αεραγωγό δίνεται από τη σχέση:

$$P_T = P_S + P_d$$

- Η ταχύτητα του αέρα σ' έναν αεραγωγό μετριέται από ειδικά όργανα που λέγονται ταχύμετρα αέρα (κλασικού τύπου ή digital).
- Τα περισσότερα δίκτυα αεραγωγών στην Ελλάδα κατασκευάζονται από γαλβανισμένη λαμαρίνα και σπανιότερα από ειδικής κατασκευής υαλοβάμβακα εμποτισμένο σε ρητίνες.
- Το κόστος κατασκευής των κυκλικών αεραγωγών είναι μικρότερο από το κόστος κατασκευής αεραγωγών κάθε άλλης μορφής. Όσο μεγαλώνει ο λόγος των πλευρών των ορθογωνίων αεραγωγών, τόσο ανεβαίνει και το κόστος κατασκευής τους.
- Στις περιπτώσεις πολύ κλειστής αλλαγής κατεύθυνσης του αεραγωγού θα πρέπει να τοποθετούνται πτερύγια κατεύθυνσης (οδηγά πτερύγια), ώστε να διευκολύνεται η ροή του αέρα προς τη νέα κατεύθυνση του αεραγωγού.
- Η σύνδεση του δικτύου των αεραγωγών με κλιματιστική μονάδα ή με ανεμιστήρα θα πρέπει να γίνεται μέσω ειδικού πανιού ή άλλου

κατάλληλου υλικού που θα εμποδίζει τη μετάδοση κραδασμών του ανεμιστήρα προς το δίκτυο.

- Για την εύρεση της διαμέτρου των αεραγωγών θα πρέπει να γνωρίζουμε την παροχή του αέρα που διέρχεται και να οριστεί η ταχύτητα με την οποία θα κινείται ο αέρας μέσα στον αεραγωγό.
- Τρεις είναι οι μέθοδοι υπολογισμού της διαμέτρου των αεραγωγών, οι εξής:

(α) η μέθοδος της ενιαίας απώλειας στατικής πίεσης,

(β) η μέθοδος της ενιαίας ταχύτητας,

(γ) η μέθοδος της ανάκτησης των απωλειών στατικής πίεσης.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι είναι απλούστερες και γι' αυτό χρησιμοποιούνται συχνότερα για μικρές και μέσες εγκαταστάσεις.



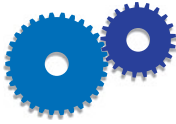
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Γιατί πρέπει να αποφεύγονται χρόνοι αλλαγής του αέρα ενός χώρου μικρότεροι των 7 λεπτών της ώρας και μεγαλύτεροι των 12 λεπτών;
2. Με ποιους τρόπους μπορούμε να αυξήσουμε το χρόνο αλλαγής του αέρα σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο, όταν είναι μικρότερος των 7 λεπτών της ώρας;
3. Τι ονομάζουμε στατική και τι δυναμική πίεση στους αεραγωγούς;
4. Δείξτε μ' ένα πρόχειρο σχήμα τον τρόπο μέτρησης της στατικής και της ολικής πίεσης που ασκείται σ' έναν αεραγωγό.
5. Γιατί πρέπει να προτιμούμε τους κυκλικούς αεραγωγούς, όπου αυτό μπορεί να εφαρμοστεί;
6. Σύμφωνα μ' όσα αναφέρονται στην παράγραφο (4-3), αν ο κυκλικός αεραγωγός με $d=350$ mm μετατραπεί σε ορθογώνιο, σε ποιες από τις παρακάτω διαστάσεις θα κοστίσει περισσότερο και γιατί; (πρώτη κατασκευή 200 x 550 mm, δεύτερη κατασκευή 150 x 800 mm).
7. Γιατί στις πολύ «κλειστές» αλλαγές κατευθύνσεων αεραγωγών πρέπει να τοποθετούνται πτερύγια κατεύθυνσης του αέρα;
8. Γιατί η σύνδεση των κλιματιστικών μονάδων ή των ανεμιστήρων με το δίκτυο των αεραγωγών πρέπει πάντα να συνδέονται με πάνινο σύνδεσμο;
9. Επισκεφτείτε το εργαστήριο κλιματισμού του σχολείου σας και καταγράψτε τα ακόλουθα στοιχεία:
 - (α) Τμήμα αεραγωγών:
 - Το υλικό κατασκευής των αεραγωγών.
 - Τις διαστάσεις των ευθυγράμμων τμημάτων του.
 - Το είδος της μόνωσης.
 - Τα διάφορα ειδικά εξαρτήματα (γωνίες, ταφ κλπ), με τις διαστάσεις τους

(β) Το τμήμα του ανεμιστήρα:

- Το είδος του ανεμιστήρα.
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά.
- Ο τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο των αεραγωγών.

10. Υπολογίστε το κόστος του δικτύου αεραγωγών αφού υπολογίσετε πρώτα το βάρος της λαμαρίνας και ρωτήσετε στο ελεύθερο εμπόριο για την τιμή της λαμαρίνας ανά kg. Επίσης ρωτήστε ανθρώπους του επαγγέλματος (καναλάδες) για το κόστος του κάθε εξαρτήματος του δικτύου των αεραγωγών (γωνίες, ταφ κλπ).
11. Υπολογίστε το κόστος των αεραγωγών αν η κατασκευή γινόταν από κυκλικούς αεραγωγούς. Υπολογίστε τη διαφορά κόστους.
12. Υπολογίστε το κόστος των αεραγωγών αν η επιτρεπόμενη ταχύτητα στους αεραγωγούς ήταν 6 m/s αντί της αρχικής ταχύτητας των 5 m/s.



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Το ταχύμετρο αέρα κατά την τοποθέτησή του σε αεραγωγό έδειξε μέση ταχύτητα 7 m/s. Αν ο αεραγωγός είναι κυκλικός με διάμετρο 400 mm (0,4 m), ποια είναι η παροχή του διερχόμενου αέρα σε m³/s;
2. Ποια θα είναι η μέση ταχύτητα του αέρα, αν η ποσότητα αέρα, που βρήκατε στην προηγούμενη άσκηση, κινείται μέσα σ' ένα αεραγωγό διαστάσεων 600 x 400 mm;
3. Σε εγκατάσταση κλιματισμού το ολικό αισθητό ψυκτικό φορτίο υπολογίστηκε σε 16860 W. Αν η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου (tdb) του προσαγόμενου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο είναι 16°C και η θερμοκρασία του χώρου είναι 27°C, να βρεθούν:
 - (α) Το ποσό του απαιτούμενου κλιματισμένου αέρα σε L/s.
 - (β) Οι διαστάσεις του κύριου αεραγωγού, όταν η εγκατάσταση εξυπηρετεί μικρό θέατρο και η μία πλευρά του αεραγωγού πρέπει να είναι 400 mm.
 - (γ) Να υπολογιστούν οι συνολικές απώλειες τριβών του υπόψη αεραγωγού, αν το μήκος του είναι 15 m.
4. Σε εγκατάσταση κλιματισμού, το ολικό αισθητό ψυκτικό φορτίο υπολογίστηκε σε 30500 W. Αν η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του προσαγόμενου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο είναι 15,5°C και η θερμοκρασία του χώρου είναι 28°C, να βρεθούν:
 - (α) Το ποσό του απαιτούμενου κλιματισμένου αέρα σε L/s.
 - (β) Οι διαστάσεις του κύριου αεραγωγού, όταν η εγκατάσταση εξυπηρετεί μία τράπεζα και η μία πλευρά του αεραγωγού πρέπει να είναι 500 mm.
 - (γ) Οι διαστάσεις των δύο επιμέρους αεραγωγών στους οποίους μοιράζεται εξίσου η παροχή του αέρα αν το ύψος πρέπει να είναι 500 mm.
 - (δ) Να υπολογιστούν οι συνολικές απώλειες τριβών του υπόψη αεραγωγού, αν το μήκος του κεντρικού αεραγωγού είναι 12 m και ο κάθε επιμέρους κλάδος έχει μήκος 18 m.

κεφάλαιο 5

ΣΤΟΜΙΑ ΑΕΡΑ

ΓΕΝΙΚΑ

ΣΤΟΜΙΑ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΤΟΙΧΟΥ

ΣΤΟΜΙΑ ΟΡΟΦΗΣ

Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΟΡΟΦΗΣ

ΣΤΟΜΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΜΙΑ ΦΡΕΣΚΟΥ ΑΕΡΑ

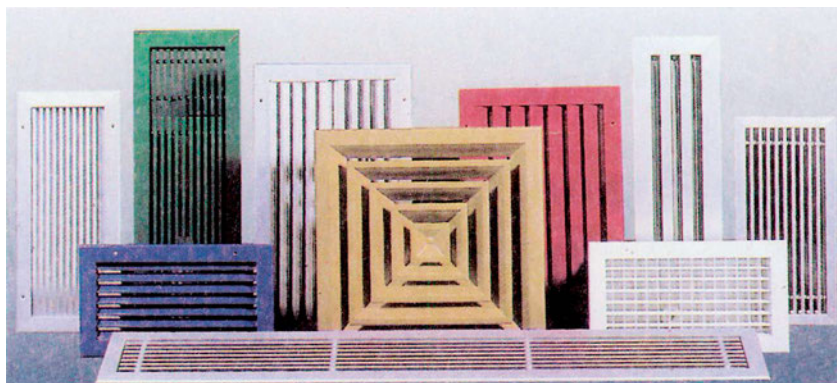


- ✓ Να μάθουν οι μαθητές το σκοπό και τα είδη των στομίων του αέρα που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό.
- ✓ Να μάθουν να επιλέγουν το σωστό είδος και μέγεθος στομίου για κάθε περίπτωση κλιματιζόμενου χώρου.
- ✓ Να εξοικειωθούν με το είδος των υλικών κατασκευής των στομίων και με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

5-1. Γενικά

Σκοπός της προσαγωγής κλιματισμένου αέρα σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο είναι να δημιουργήσει τον κατάλληλο συνδυασμό **θερμοκρασίας, υγρασίας και κίνησης του αέρα** στη «ζώνη» που ζουν ή εργάζονται οι άνθρωποι (δηλαδή σε ύψος 1,80 έως 2 m περίπου από το δάπεδο). Με τον παραπάνω συνδυασμό των στοιχείων του προσαγόμενου αέρα, επιδιώκουμε τη δημιουργία **συνθηκών άνεσης** στη ζώνη του χώρου που δραστηριοποιείται ο άνθρωπος.

Η ASHRAE ονομάζει «**άνεση**» την κατάσταση κατά την οποία οι συνθήκες ενός κλιματιζόμενου χώρου ικανοποιούν πάνω από το 80% των ανθρώπων. Βέβαια, η αίσθηση της άνεσης, όπως αυτή ορίστηκε πιο πάνω, αναφέρεται σε άτομα με μέση δραστηριότητα, μέσο ντύσιμο και για ταχύτητα αέρα στο χώρο μικρότερη του 0,25 m/s. Όμως, ο αέρας που φτάνει στα στόμια παροχής από τους αεραγωγούς είναι πολύ μεγαλύτερης ταχύτητας από αυτή που επιτρέπεται στη ζώνη άνεσης του κλιματιζόμενου χώρου. Έτσι, τα στόμια, εκτός των άλλων παίζουν και το ρόλο ρυθμιστή της ταχύτητας εξόδου του αέρα από αυτά.



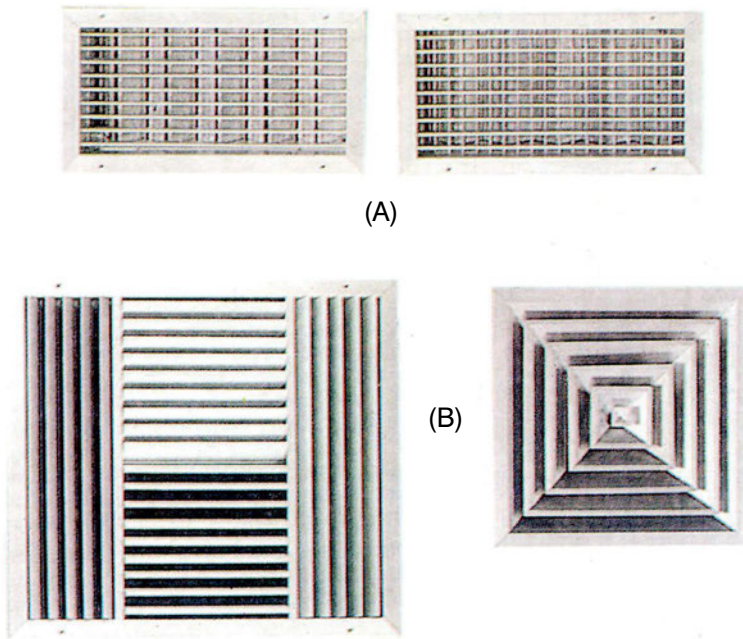
Σχήμα 5-1 Στόμια διαφόρων τύπων από ανοδιωμένο αλουμίνιο.

Εκτός των στομιών παροχής, σε μια πλήρη εγκατάσταση κλιματισμού συναντούμε και **στόμια επιστροφής** που τοποθετούνται στο δίκτυο επιστροφής και εξαερισμού. Επίσης, θα πρέπει εδώ να αναφερθούν και τα στόμια **φρέσκου (νωπού) αέρα**. Όλα τα παραπάνω αναφερθέντα είδη στομιών θα περιγραφούν χωριστά στις επόμενες παραγράφους.

5-2. Στόμια προσαγωγής κλιματισμένου αέρα

Για την ομοιόμορφη κατανομή του κλιματισμένου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο χρησιμοποιούνται τα στόμια προσαγωγής. Με τη σωστή τοποθέτηση των στομιών προσαγωγής στο χώρο, αφενός ελέγχεται **το ποσό (ή η μάζα) του κλιματισμένου αέρα** που απαιτεί ο χώρος και αφετέρου ρυθμίζεται **η ταχύτητα** με την οποία ο αέρας φτάνει στο χώρο. Επίσης, ρυθμίζεται και η κατεύθυνση του κλιματισμένου αέρα, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή ισοκατανομή του αέρα στο χώρο και να αποφεύγεται έτσι η δημιουργία **“νεκρών ζωνών”**.

Νεκρές ζώνες ονομάζουμε τα σημεία ενός κλιματιζόμενου χώρου, στα οποία δεν φτάνει κλιματισμένος αέρας και επομένως δεν κλιματίζονται επαρκώς. Στις νεκρές ζώνες δεν έχουμε ποτέ την άνεση των υπολοίπων χώρων που κλιματίζονται και γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται.



Σχήμα 5-2. Συνήθεις τύποι στομίων-προσαγωγής κλιματισμένου αέρα.
Α. Στόμια τοίχου (επίτοιχα). Β. Στόμια οροφής.

Η ταχύτητα με την οποία ο αέρας εξέρχεται από τα στόμια προσαγωγής είναι ένα άλλο πολύ σπουδαίο στοιχείο για τη δημιουργία των **συνθηκών άνεσης** που απαιτείται από κάθε εγκατάσταση κλιματισμού. Η ταχύτητα με την οποία ο κλιματισμένος αέρας εξέρχεται από τα στόμια θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η ταχύτητά του στο επίπεδο παραμονής και εργασίας των ανθρώπων στον κλιματιζόμενο χώρο να μην υπερβαίνει τα **0,25 m/s**. Ταχύτητες αέρα σε χώρο που ζουν άνθρωποι, μεγαλύτερες των 0,25 m/s, μπορεί να δημιουργήσουν ενοχλητικές καταστάσεις στους ανθρώπους (μετακίνηση χαρτιών από τους χώρους εργασίας, μετακίνηση σκόνης στο χώρο, μικρότερη θερμοκρασία κλπ.). Επίσης, ταχύτητες αέρα στο χώρο, μικρότερες από τα **0,15 m/s**, θα πρέπει να αποφεύγονται, γιατί δεν ικανοποιούνται οι συνθήκες άνεσης των ανθρώπων που βρίσκονται στον κλιματιζόμενο χώρο. Οι ταχύτητες μετριοούνται στα 3/4 της απόστασης μεταξύ στομίου-τοίχου.

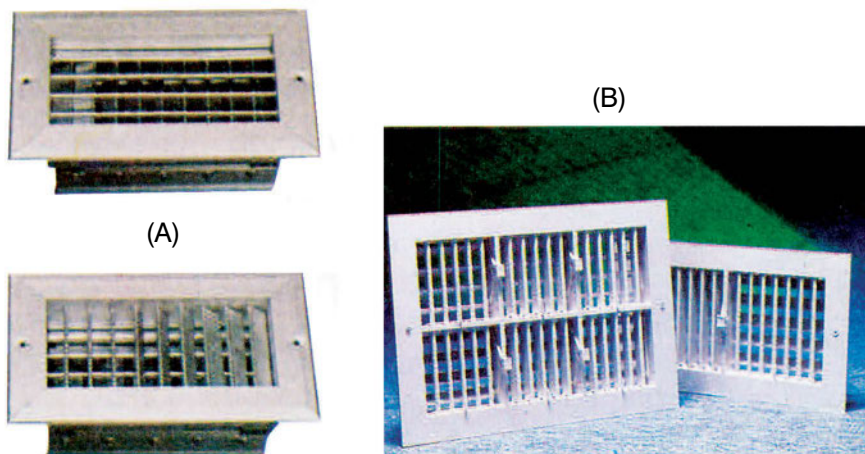
Τα στόμια προσαγωγής που κυκλοφορούν στην αγορά είναι διαφόρων ειδών, ανάλογα με τα σημεία του χώρου που τοποθετούνται, καθώς και με το σχήμα και τα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι έχουμε:

- **Στόμια τοίχου (επίτοιχα).**
- **Στόμια οροφής.**
- **Στόμια δαπέδου.**
- **Στόμια ειδικής κατασκευής ή ειδικών προδιαγραφών.**

Τα στόμια τοίχου και οροφής είναι εκείνα που χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό των εγκαταστάσεων κλιματισμού (πάνω από 90%), γι' αυτό και θ' ασχοληθούμε ιδιαίτερα με την περιγραφή, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και τη διαδικασία επιλογής τους.

Τα στόμια δαπέδου καθώς και τα στόμια ειδικών προδιαγραφών και κατασκευών (π.χ. Τα διάτρητα στόμια οροφής) συναντώνται σπάνια και σε ειδικές περιπτώσεις κλιματισμού, γι' αυτό δεν θα ασχοληθούμε περισσότερο.

Τα στόμια τοίχου λέγονται έτσι γιατί τοποθετούνται σε ορθογώνιους αεραγωγούς που στερεώνονται κατά μήκος του τοίχου μίας αίθουσας (στα ανώτατα σημεία του τοίχου). Κατασκευάζονται συνήθως από **ανοδωμένο αλουμίνιο**, αλλά και από ενισχυμένο **πλαστικό** υλικό (PVC ή ABS).



Σχήμα 5-3. Α. Στόμια τοίχου από αλουμίνιο. Β. Στόμια τοίχου από πλαστικό ABS.

Τα στόμια τοίχου αποτελούνται:

- Από το **μεταλλικό πλαίσιο** στερέωσης.
- Από το **διάφραγμα ρύθμισης** του όγκου του αέρα (τάμπερ).
- Από τα **πτερύγια κατεύθυνσης** (οριζόντια και κάθετα).

Με το διάφραγμα μπορούμε, μέσω του ειδικού ρυθμιστή, να ρυθμίσουμε το ποσό του κλιματισμένου αέρα που θα προσάγεται από κάθε στόμιο ή και να κλείσουμε τελείως τη δίοδο του αέρα από το στόμιο σε περιπτώσεις που, για κάποιο λόγο, θα πρέπει να καταργηθεί ένα στόμιο.

Με τα οριζόντια περύγια έχουμε τη δυνατότητα να κατευθύνουμε τον αέρα προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ώστε να πετυχαίνουμε την καλύτερη δυνατή κατανομή του αέρα στο χώρο.

Με τα κάθετα περύγια κατευθύνουμε τον αέρα προς τις επιθυμητές κατευθύνσεις (αριστερά-δεξιά), ώστε, σε συνδυασμό και με τα οριζόντια περύγια, να έχουμε άριστη κατανομή του κλιματισμένου αέρα στο χώρο και φυσικά τη δημιουργία καλύτερων συνθηκών άνεσης.

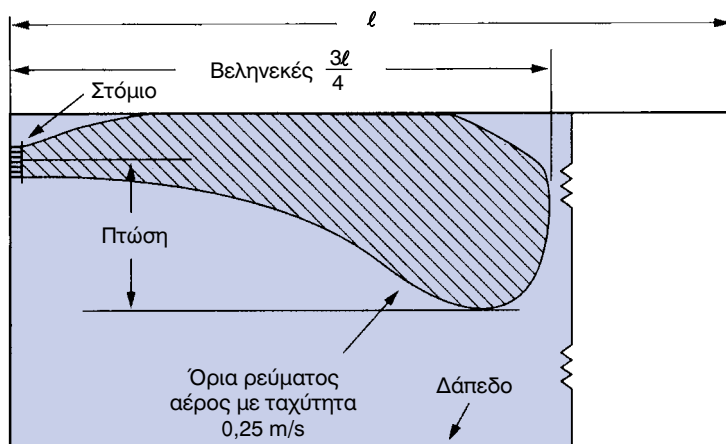
5-3. Η επιλογή των στομίων τοίχου

Η επιλογή των στομίων τοίχου γίνεται από πίνακες κατασκευαστών. Για να επιλέξουμε το σωστό στόμιο για κάθε περίπτωση κλιματιζόμενου χώρου, θα πρέπει να έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Τη μορφή της αίθουσας** που θα κλιματίσουμε, την ανάπτυξη του δικτύου των αεραγωγών, καθώς και την ακριβή θέση των στομίων.
- **Την παροχή** του στομίου σε L/s (λίτρα ανά δευτερόλεπτο).
- Το απαιτούμενο **βεληνεκές** του στομίου σε m.
- **Την πτώση** του στομίου σε m.
- Την **επιτρεπόμενη ταχύτητα** του αέρα κατά την έξοδό του από το στόμιο σε m/s.

Η **παροχή** του στομίου θα πρέπει να είναι ανάλογη του ψυκτικού φορτίου που καλείται να αντιμετωπίσει, όπως αυτό έχει υπολογισθεί στη φάση υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων.

Το **βεληνεκές** ενός στομίου τοίχου είναι η οριζόντια απόσταση από το στόμιο έως το σημείο του χώρου όπου η ταχύτητα του αέρα πέφτει στα 0,25 m/s.



Σχήμα 5-4. Η έννοια του βεληνεκούς και της πτώσης ενός στομίου τοίχου.

Το σημείο μέτρησης της ταχύτητας του αέρα των 0,25 m/s θα πρέπει να γίνεται σε απόσταση ίση με τα $\frac{3}{4}$ της ολικής απόστασης από τον απέναντι τοίχο και σε **ύψος** περίπου **1,85 m** από το δάπεδο (σχήμα 5-4).

Πτώση ενός στομίου τοίχου ονομάζουμε την κάθετη απόσταση από τον άξονα του στομίου μέχρι του σημείου της αίθουσας που η ταχύτητα του αέρα πέφτει στον 0,25 m/s. (σχήμα 5-5).

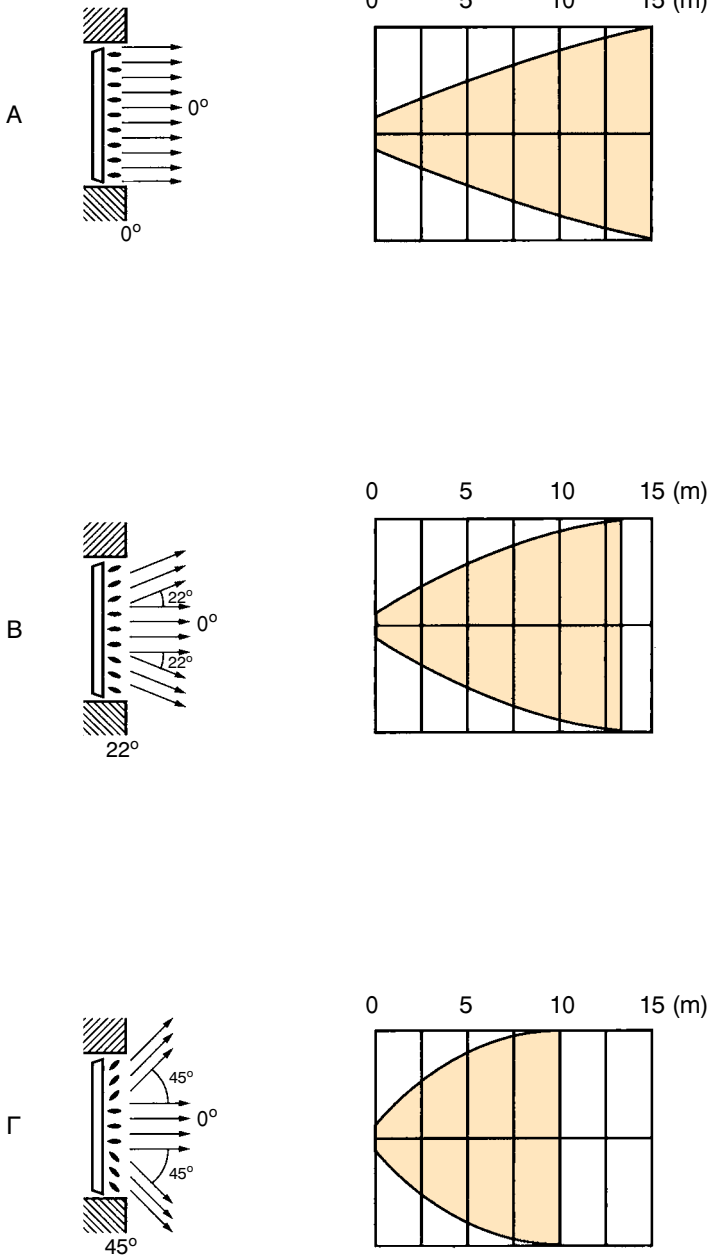
Το βεληνεκές και η πτώση ενός στομίου τοίχου δεν είναι σταθερά στοιχεία. Η τιμή τους εξαρτάται από τη θέση των οριζόντιων περυγίων του στομίου. Το **μεγαλύτερο βεληνεκές** το πετυχαίνουμε όταν τα οριζόντια περύγια του στομίου είναι ρυθμισμένα σε **γωνία 0°** (Σχήμα 5-5, εικόνα Α).

Στο σχήμα (5-5) παρατηρούμε ότι, για συγκεκριμένο στόμιο, όταν τα οριζόντια περύγια είναι ρυθμισμένα στις 0° , το βεληνεκές είναι **15 m**, στις 22° είναι **13 m** και στις 45° το βεληνεκές πέφτει στα **10 m**. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι **όσο αυξάνεται το βεληνεκές, αυξάνεται και η πτώση των στομίων** και αντίστροφα.

Η **στάθμη θορύβου** είναι ένα άλλο ζητούμενο στοιχείο για τη σωστή επιλογή ενός στομίου¹. Η στάθμη θορύβου στα στόμια μετρείται σε dba ή db(A) (ντεσιμπέλ) και εξαρτάται:

- Από την ταχύτητα με την οποία εξέρχεται ο αέρας από τα στόμια.
- Από την ποιότητα της κατασκευής των στομίων.

1 Λεπτομερέστερα για τη στάθμη του θορύβου θα αναφερθούμε στο κεφάλαιο των κλιματιστικών μονάδων.



Σχήμα 5-5. Όσο αυξάνεται η γωνία των οριζοντίων πτερυγίων του στομίου, τόσο μειώνεται το βεληνεκές. (Α) 0° , (Β) 22° , (Γ) 45° .

Για να ελέγχουμε και τη στάθμη θορύβου που προξενεί η προσαγωγή του κλιματισμένου αέρα στο χώρο, χρησιμοποιούμε ειδικούς πίνακες που μας δίνουν την επιτρεπόμενη ταχύτητα του εξερχόμενου από τα στόμια αέρα για κάθε είδος χώρου. Ένας τέτοιος πίνακας είναι και ο (5-1) που ακολουθεί.

Η στάθμη θορύβου που επιτρέπεται σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο εξαρτάται από το είδος του χώρου. Άλλη στάθμη θορύβου επιτρέπεται στα στούντιο τηλεόρασης, άλλη στις κατοικίες, άλλη σε αίθουσες βιβλιοθηκών κλπ. Ο πίνακας (5-2), που ακολουθεί, μας δίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου για διάφορους χώρους.

ΠΙΝΑΚΑΣ (5-1)

Μέγιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες αέρα στα στόμια προσαγωγής.

Είδος χώρου	Επιτρεπόμενη ταχύτητα αέρα m/s
Στούντιο ραδιοφωνίας - TV	2,5
Βιβλιοθήκες	2,5
Γραφεία	3,75
Κατοικίες	3,75
Νοσοκομεία - Ξενοδοχεία	3,75
Δημόσια κτίρια	5
Θέατρα	5
Εστιατόρια	5
Τράπεζες	5
Σχολεία	5
Εργοστάσια	7,5
Γυμναστήρια	7,5
Κουζίνες	7,5
Μεγάλα καταστήματα	7,5

ΠΙΝΑΚΑΣ (5-2)
Μεγίστη επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου σε διάφορους
χώρους που κλιματίζονται.

Είδος χώρου	Στάθμη θορύβου db(A)
Στούντιο ραδιοφωνίας- TV	25-30
Θέατρα - Αιθ. διαλέξεων	30-35
Εκκλησίες	30-40
Κατοικίες - Σχολεία - Κινηματογράφοι	35-40
Μουσεία - Βιβλιοθήκες	35-40
Νοσοκομεία	30-40
Γραφεία	40-50
Αποθήκες - Καταστήματα	40-50
Εστιατόρια - Ξενοδοχεία	40-50
Δημόσια κτίρια - Τράπεζες	45-55
Εστιατόρια - Bar	40-50
Εργοστάσια ελαφριάς βιομηχανίας	50-70
Εργοστάσια βαριάς βιομηχανίας	60-80

Αφού ορίσουμε τη στάθμη θορύβου που επιτρέπει ο κλιματιζόμενος χώρος και την ταχύτητα του προσαγόμενου αέρα (πίνακες 5-1 και 5-2), χρησιμοποιώντας πίνακες κατασκευαστών, μπορούμε να επιλέξουμε τις διαστάσεις του στομίου που ταιριάζει σε κάθε περίπτωση κλιματιζόμενου χώρου. Ένας τέτοιος πίνακας επιλογής στομίων τοίχου είναι και ο (5-3) που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ (5-6)
Στοιχεία επιλογής στομίων τοίχου

Παροχή αέρα L/s	Διαστάσεις στομίου (mm)		305x102 254x127 203x152			356x102 406x102 305x127 254x152			457x102 356x127 305x152		
			0°	22°	45°	0°	22°	45°	0°	22°	45°
95	Βεληνεκές	m	7,32	6,40	5,18	6,40	5,49	4,57	5,79	5,18	4,27
	Πτώση	m	2,44	1,83	1,52	2,13	1,83	1,37	2,44	1,98	1,52
	Ταχύτητα	m/s	4,18	4,80	5,20	3,58	4,10	4,48	2,70	3,20	3,48
	Πτώση πίεσης	Pa	11,7	15,5	18,0	8,6	11,2	13,5	4,8	6,6	7,9
106	Βεληνεκές	m	7,9	7,3	5,8	7,3	6,4	5,2	6,7	5,8	4,6
	Πτώση	m	2,6	2,0	1,5	2,4	1,8	1,5	2,6	2,0	1,5
	Ταχύτητα	m/s	4,7	5,4	5,8	4,0	4,6	5,0	3,2	3,6	3,9
	Πτώση πίεσης	Pa	15,0	19,3	22,9	10,7	14,2	16,8	6,4	8,9	5,1
118	Βεληνεκές	m	9,1	7,9	6,7	7,9	7,0	5,8	7,3	6,4	5,2
	Πτώση	m	2,9	2,1	1,7	2,7	2,1	1,7	2,9	2,1	1,7
	Ταχύτητα	m/s	5,3	6,0	6,5	4,5	5,1	5,6	3,5	4,0	4,3
	Πτώση πίεσης	Pa	18,5	24,6	28,7	13,5	17,8	20,3	7,6	10,4	12,4
130	Βεληνεκές	m	10,06	8,54	7,32	8,84	7,62	6,71	7,93	7,01	5,79
	Πτώση	m	3,05	2,29	1,83	3,05	2,29	1,83	3,05	2,29	1,83
	Ταχύτητα	m/s	5,75	6,63	7,13	4,90	5,63	6,18	3,80	4,35	4,75
	Πτώση πίεσης	Pa	22,6	29,5	34,5	15,7	21,3	25,9	9,4	12,4	15,2
142	Βεληνεκές	m	10,98	9,45	7,62	9,76	8,23	7,32	8,54	7,32	6,40
	Πτώση	m	3,20	2,44	1,98	3,05	2,29	1,83	3,05	2,29	1,83
	Ταχύτητα	m/s	6,28	7,23	7,75	5,30	6,15	6,65	4,15	4,75	5,20
	Πτώση πίεσης	Pa	26,4	3,58	41,1	19,1	25,7	30,0	11,4	15,0	18,0
154	Βεληνεκές	m	11,28	10,06	8,54	10,67	9,15	7,62	9,45	7,93	6,71
	Πτώση	m	3,20	2,44	1,98	3,20	2,44	1,98	3,20	2,44	1,98
	Ταχύτητα	m/s	6,85	7,83	8,48	5,80	6,65	7,25	4,50	5,15	5,63
	Πτώση πίεσης	Pa	31,0	41,4	48,3	22,9	30,2	36,1	13,5	17,5	21,3
165	Βεληνεκές	m	12,50	10,67	9,15	11,28	9,76	8,23	10,37	8,54	7,01
	Πτώση	m	3,35	2,44	2,13	3,35	2,59	1,98	3,35	2,59	1,98
	Ταχύτητα	m/s	7,33	8,43	9,03	6,28	7,20	7,80	4,35	5,53	6,08
	Πτώση πίεσης	Pa	36,3	48,5	56,4	26,2	35,6	41,4	16,0	20,6	25,4
177	Βεληνεκές	m	13,11	11,59	9,76	11,89	10,67	8,84	10,98	9,45	7,62
	Πτώση	m	3,51	2,44	2,13	3,51	2,59	2,13	3,51	2,74	2,13
	Ταχύτητα	m/s	7,85	9,05	9,68	6,70	7,70	8,35	5,18	5,95	6,50
	Πτώση πίεσης	Pa	41,4	56,9	64,5	31,2	40,9	48,3	18,0	24,4	27,9



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε κλιματιζόμενη τράπεζα, τα στόμια τοίχου απέχουν από τον απέναντι τοίχο 13 m. Αν η παροχή κάθε στομίου είναι 142 L/s, να βρεθούν οι διαστάσεις των στομίων που θα τοποθετηθούν στο χώρο της τράπεζας.

➔ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

1. Αφού πρόκειται για τράπεζα, η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου είναι 45-50 db (πιν. 5-2) και η επιτρεπόμενη ταχύτητα εξόδου του αέρα από τα στόμια προσαγωγής είναι 5 m/s (πιν. 5-1).

2. Το βεληνεκές των στομίων θα είναι:

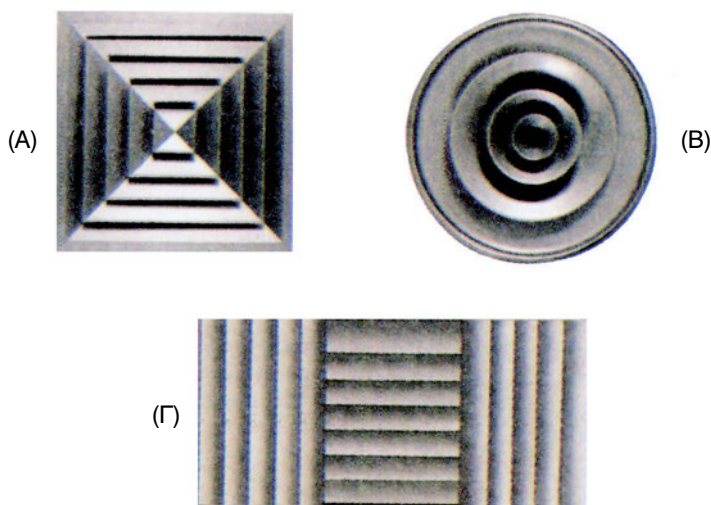
$$\text{Βεληνεκές} = (3/4) \times 13 = 39/4 = 9,75 \text{ m.}$$

3. Στον πίνακα (5-3) εντοπίζουμε την απαιτούμενη παροχή κάθε στομίου, που στην περίπτωση μας είναι 142 L/s.

4. Κινούμενοι οριζοντίως προς τα δεξιά στη γραμμή της ταχύτητας, ψάχνουμε να βρούμε την πλησιέστερη ταχύτητα προς εκείνη που έχουμε επιλέξει. **Η πλησιέστερη ταχύτητα** στον πίνακα (5-3) για την περίπτωση μας είναι η **5,3 m/s**, σε γωνία πτερυγίων 0° . Παρατηρούμε ότι ικανοποιείται απόλυτα και το ζητούμενο βεληνεκές **9,75**. Κινούμενοι προς τα πάνω, συναντάμε τις διαστάσεις τεσσάρων στομίων από τα οποία μπορούμε να επιλέξουμε αυτό που ταιριάζει περισσότερο στην περίπτωση μας. Ας υποθέσουμε ότι προτιμάμε το στόμιο με τις διαστάσεις **305 x 127 σε 0°** .

5-4. Στόμια οροφής

Το είδος αυτό των στομίων προσαγωγής κλιματισμένου αέρα χρησιμοποιείται κατά κανόνα σε μεγάλης έκτασης κλιματιζόμενους χώρους με **ψευδοροφές**. Προτιμούνται σε χώρους στους οποίους μεγαλύτερη σπουδαιότητα έχει ο θερινός κλιματισμός (ψύξη). Το πλεονέκτημα των στομίων οροφής είναι ότι δημιουργούν γρήγορη και πλήρη ανάμιξη του αέρα προσαγωγής με τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου και έτσι έχουμε πολύ πιο σύντομα το αποτέλεσμα που επιδιώκουμε.

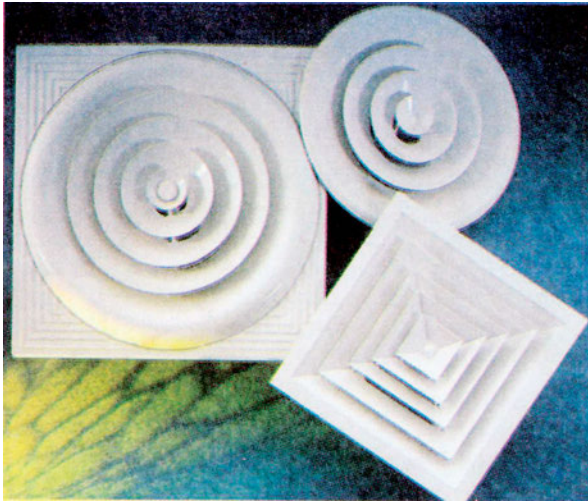


Σχήμα 5-6. Συνήθεις τύποι στομίων οροφής.
(Α) τετράγωνο. (Β) κυκλικό. (Γ) με καμπύλα πτερύγια κατεύθυνσης.

Τα στόμια οροφής μπορεί να τα βρούμε στο εμπόριο σε διάφορες μορφές από τις οποίες επιλέγουμε τη μορφή και το είδος που ταιριάζει περισσότερο σε κάθε περίπτωση κλιματιζόμενου χώρου. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι τύποι στομίων οροφής που συναντά κανείς στις εγκαταστάσεις κλιματισμού είναι:

- **Τα κυκλικά** στόμια οροφής.
- **Τα τετράγωνα** ή ορθογώνια.
- **Τα ορθογώνια** στόμια με **καμπύλα πτερύγια κατεύθυνσης** (δύο, τριών ή τεσσάρων κατευθύνσεων).

Το υλικό κατασκευής των στομίων οροφής, όπως και των στομίων τοίχου, είναι το **ανοδευμένο αλουμίνιο**, το οποίο μπορεί να βαφτεί σε διάφορα χρώματα ανάλογα και με το τι απαιτεί η διακόσμηση του χώρου. Εκτός βέβαια από τα στόμια οροφής από αλουμίνιο, κυκλοφορούν στο εμπόριο και στόμια από σκληρό πλαστικό υλικό **PVC ή ABS** (σχήμα 5-7).



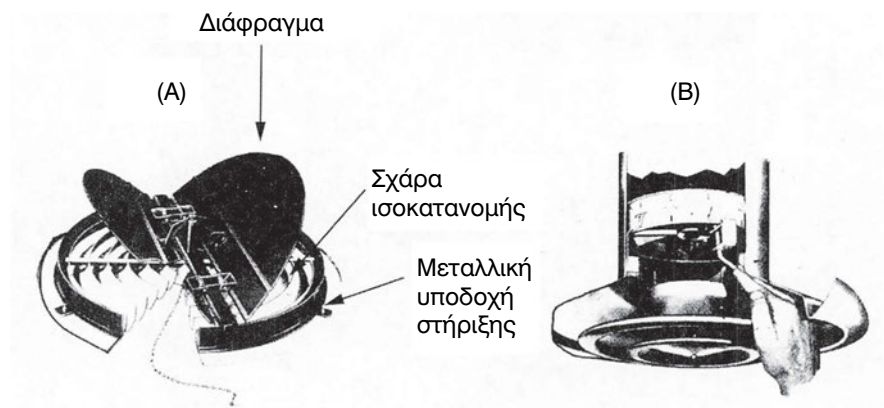
Σχήμα 5-7. Στόμια οροφής από ενισχυμένο πλαστικό ABS.

Τα στόμια οροφής εκτός από τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω παρουσιάζουν και **μειονεκτήματα**, μερικά των οποίων είναι:

- Κοστίζουν περισσότερο από τα στόμια τοίχου, αντίστοιχων χαρακτηριστικών.
- Το κόστος κατασκευής και τοποθέτησης του δικτύου των αεραγωγών για στόμια οροφής είναι μεγαλύτερο, λόγω των δυσκολιών που συναντά η ανάρτηση (κρέμασμα) των αεραγωγών από την οροφή του χώρου που κλιματίζεται.
- Τα στόμια οροφής δύσκολα προσαρμόζονται σε κατοικίες ή άλλους μικρής έκτασης χώρους. Η χρήση τους περιορίζεται σε αίθουσες μεγάλης έκτασης.

Τα στόμια οροφής κατασκευάζονται με **σταθερά** ή **ρυθμιζόμενα περύγια** διάχυσης του αέρα. Όμως και στις δύο περιπτώσεις κατασκευής, κάθε στόμιο καλής κατασκευής αποτελείται από τα ακόλουθα εξαρτήματα:

- Από τη **βάση** (πλαίσιο), στην οποία στηρίζεται η υπόλοιπη κατασκευή του στομίου.
- Από το **διάφραγμα** (τάμπερ), που ρυθμίζει την ποσότητα του διερχόμενου αέρα.
- Από τη **σχάρα ισοκατανομής** του αέρα, που κατευθύνει ίση ποσότητα αέρα προς όλες τις κατευθύνσεις.



Σχήμα 5-8. Κυκλικά στόμια οροφής στα οποία φαίνονται τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελούνται. Α. Κυκλικό στόμιο οροφής με τα εξαρτήματά του. Β. Ρύθμιση διαφράγματος (τάμπερ) στομίου.

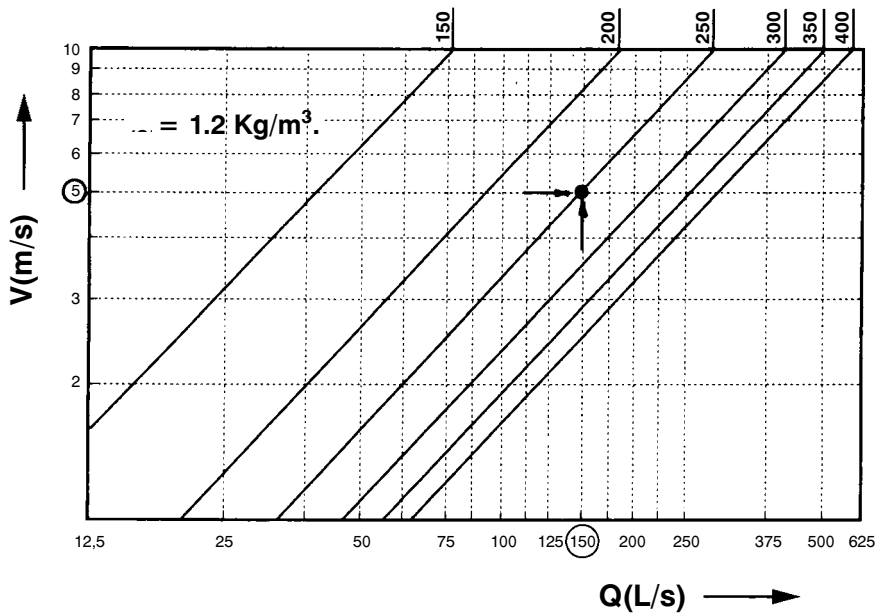
Στην εικόνα (Α) του σχήματος (5-8) φαίνονται τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένα στόμιο οροφής, κυκλικής μορφής, ενώ στην εικόνα (Β) του ίδιου σχήματος φαίνεται η ρύθμιση του διαφράγματος του στομίου.

5-5. Η επιλογή των στομίων οροφής

Όπως και στην περίπτωση επιλογής των στομίων τοίχου, έτσι και για την επιλογή των στομίων οροφής, απαιτούνται κάποια στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Η **παροχή** του κλιματισμένου αέρα σε L/s.
- Η **ταχύτητα** του αέρα κατά την έξοδό του από το στόμιο σε m/s.
- Η **μέγιστη ακτίνα διάχυσης** σε m.

Η **μέγιστη ακτίνα διάχυσης** ενός στομίου οροφής είναι κάτι αντίστοιχο με το βεληνεκές των στομίων τοίχου και **ορίζεται ως η οριζόντια απόσταση μεταξύ του κέντρου του στομίου και του σημείου που η ταχύτητα του αέρα πέφτει στο όριο των 0,17 έως 0,25 m/s**. Η μέγιστη ακτίνα διάχυσης ενός στομίου δεν πρέπει να ξεπερνά τις διαστάσεις της αίθουσας που κλιματίζεται, γιατί δημιουργεί ενοχλητικές καταστάσεις και ελάττωση της αίσθησης άνεσης. Η επιλογή των στομίων οροφής γίνεται από καταλόγους κατασκευαστών ή διαγράμματα όπως αυτό που ακολουθεί:



Σχήμα 5-9. Διάγραμμα επιλογής στομιών οροφής.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

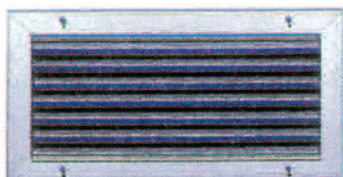
Ας υποθέσουμε ότι σε κλιματιζόμενο χώρο τράπεζας αποφασίστηκε να τοποθετηθούν στόμια οροφής. Αν από το κάθε στόμιο πρέπει να προσάγονται 150 L/s, να βρεθεί η διάμετρος κυκλικού στομίου οροφής σε mm.

➔ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

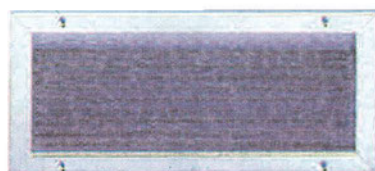
- Από τον πίνακα (5-1) της παραγράφου (5-3), βρίσκουμε ότι η επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα που εξέρχεται από τα στόμια σε βιβλιοθήκες είναι 5 m/s.
- Στο διάγραμμα του σχήματος (5-9), εντοπίζουμε τα ακόλουθα στοιχεία:
 - Παροχή = 150 L/s
 - Ταχύτητα = 5 m/s
- Το σημείο τομής των γραμμών της **παροχής** και της **ταχύτητας** δίνει την απαιτούμενη διάμετρο του κυκλικού στομίου, που στην περίπτωση μας είναι **250 mm**.

5-6. Στόμια επιστροφής και στόμια φρέσκου αέρα

Τα στόμια επιστροφής τοποθετούνται στο δίκτυο των αεραγωγών επιστροφής. Αναρροφούν αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο και μέσω του δικτύου επιστροφής, τον οδηγούν στην αναρρόφηση της κλιματιστικής μονάδας ή τον απορρίπτουν στο περιβάλλον.



(A)



(B)

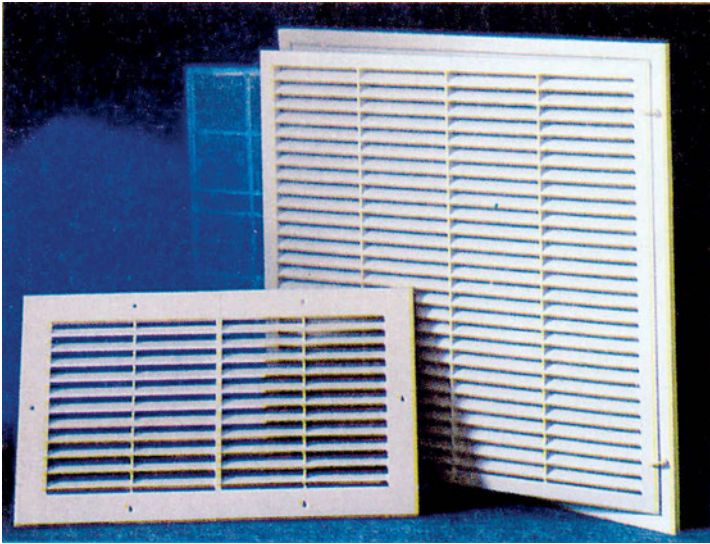


(Γ)

Σχήμα 5-10. (Α) και (Β). Στόμια επιστροφής (Γ) Στόμιο φρέσκου αέρα, από αλουμίνιο.

Τα στόμια επιστροφής κατασκευάζονται από τα ίδια υλικά που κατασκευάζονται και οι άλλοι τύποι στομίων (ανοδειωμένο αλουμίνιο ή πλαστικό) και κυκλοφορούν σε μεγάλη ποικιλία διαστάσεων και χρωμάτων.

Τα στόμια επιστροφής και φρέσκου αέρα κατασκευάζονται με ρυθμιστικό διάφραγμα (ντάμπερ) ή χωρίς διάφραγμα. Η επιλογή τους γίνεται από καταλόγους κατασκευαστών όταν έχουμε τον όγκο του αέρα που πρέπει να επιστρέφει από το συγκεκριμένο στόμιο και την επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα στην είσοδο του στομίου επιστροφής.



Σχήμα 5-11. Στόμια επιστροφής από πλαστικό ABS στα οποία υπάρχει και φίλτρο αέρα επιστροφής.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα είδη των στομιών που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις κεντρικού κλιματισμού είναι: **τα στόμια προσαγωγής, τα στόμια επιστροφής και τα στόμια φρέσκου αέρα**. Τα στόμια προσαγωγής διακρίνονται σε: στόμια τοίχου, στόμια οροφής, στόμια δαπέδου και σε στόμια ειδικών προδιαγραφών.
- Τα υλικά κατασκευής των στομιών είναι το ανοδευμένο αλουμίνιο ή το ενισχυμένο πλαστικό ABS ή το PVC.
- Τα στοιχεία που πρέπει να έχουμε για την επιλογή των στομιών τοίχου είναι η παροχή αέρα, η επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα στο στόμιο και το βεληνεκές. Στην περίπτωση επιλογής των στομιών οροφής, θα πρέπει να έχουμε: την παροχή, την ταχύτητα του αέρα και την ακτίνα διάχυσης του αέρα.
- **Η επιτρεπόμενη ταχύτητα** στο χώρο που ζουν και εργάζονται οι άνθρωποι (1,85 m) δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,25 m/s, αλλά και να μην πέφτει κάτω των 0,15 m/s.
- **Η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου** στα στόμια προσαγωγής είναι ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την επιλογή ενός στομίου προσαγωγής. Η στάθμη θορύβου στο στόμιο εξαρτάται από την ταχύτητα του εξερχόμενου αέρα και από την ποιότητα κατασκευής του στομίου.
- Τα στόμια οροφής, όταν έχουν επιλεγεί σωστά, επιφέρουν πιο γρήγορα το επιθυμητό αποτέλεσμα στον κλιματιζόμενο χώρο από τα στόμια τοίχου. Όμως, οι εγκαταστάσεις κλιματισμού με στόμια οροφής κοστίζουν περισσότερο από αντίστοιχες εγκαταστάσεις με στόμια τοίχου. Η απαγωγή του αέρα από τους κλιματιζόμενους χώρους και η επιστροφή του στην κλιματιστική μονάδα της εγκατάστασης γίνεται από τα στόμια επιστροφής ή απαγωγής, ενώ η προσαγωγή του φρέσκου αέρα από το περιβάλλον γίνεται με τα στόμια φρέσκου (νωπού) αέρα.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιος ο σκοπός των στομών προσαγωγής κλιματισμένου αέρα;
2. Τι είναι οι “νεκρές ζώνες” στους κλιματιζόμενους χώρους και πώς μπορούν να αποφευχθούν;
3. Ποια ταχύτητα πρέπει να έχει ο κλιματισμένος αέρας στο χώρο που ζουν και εργάζονται άνθρωποι;
4. Γιατί η ταχύτητα του κλιματισμένου αέρα δεν πρέπει να πέφτει σε χαμηλά επίπεδα στο χώρο εργασίας των ανθρώπων (κάτω των 0,15 m/s);
5. Ποια είδη στομών γνωρίζετε και ποια από αυτά είναι τα πλέον χρησιμοποιούμενα;
6. Τι είναι το **βεληνεκές**, τι η **πώση** στα στόμια τοίχου και ποιοι παράγοντες μπορούν να τα αυξομειώσουν;
7. Τι είναι η **ακτίνα διάχυσης** στα στόμια οροφής και από ποιους παράγοντες εξαρτάται;
8. Ποια στοιχεία απαιτούνται για την επιλογή ενός στομίου τοίχου και ποια για ένα στόμιο οροφής;
9. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η στάθμη θορύβου στην έξοδο του αέρα από ένα στόμιο;
10. Σε κλιματιζόμενο χώρο θα τοποθετηθούν στόμια τοίχου. Αν η απόσταση των στομών από τον απέναντι τοίχο είναι 15m, να βρεθεί το απαιτούμενο βεληνεκές των στομών.
11. Ποια πρέπει να είναι η διάμετρος κυκλικού στομίου οροφής, ονομαστικής παροχής 106 L/s και ταχύτητας στην έξοδο του στομίου 4 m/s;
12. Γιατί τα στόμια προσαγωγής δεν πρέπει να τοποθετούνται κοντά σε στόμια επιστροφής κλιματιστικής μονάδας;
13. Ποια φαινόμενα θα παρατηρηθούν στον κλιματιζόμενο χώρο, αν ένα ή περισσότερα στόμια προσαγωγής, για κάποιο λόγο, φραγούν (ή καταργηθούν);

14. Σε ποια στοιχεία της κλιματιστικής εγκατάστασης θα πρέπει να επέμβουμε, αν ένας κλιματιζόμενος χώρος αλλάξει χρήση και απαιτεί μικρότερη στάθμη θορύβου;
15. Στο επίπεδο εργασίας (1,80-2m) κλιματιζόμενου χώρου μετρήθηκε ταχύτητα αέρα 0,5 m/s. Είναι η ταχύτητα αυτή του αέρα επιτρεπτή; Αν όχι, με ποιους τρόπους μπορούμε να την ελαττώσουμε;
16. Σε κλιματιζόμενο χώρο, που διαθέτει ήδη κεντρική θέρμανση με λέβητα ζεστού νερού και κλασικά θερμαντικά σώματα, αποφασίζεται να τοποθετηθεί εγκατάσταση θερινού κλιματισμού (μόνο ψύξη). Πού θα τοποθετούσατε τους αεραγωγούς προσαγωγής; Ποιο είδος στομιών θα επιλέγατε γι' αυτή την εγκατάσταση και γιατί;
17. Σε κλιματιζόμενο χώρο, η προσαγωγή του κλιματιζόμενου αέρα γίνεται με επίτοιχα στόμια, των οποίων τα πτερύγια κατεύθυνσης έχουν ρυθμιστεί στις 0° . Κατά τον έλεγχο της εγκατάστασης για έλλειψη "άνεσης", παρατηρήθηκε ότι ο αέρας προσαγωγής κτυπάει στον απέναντι τοίχο. Είναι το φαινόμενο αποδεκτό; Αν όχι, πώς μπορεί να διορθωθεί;

κεφάλαιο 6

ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ

ΤΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ
ΟΙ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ
ΟΙ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
ΟΙ ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΛΟΙΠΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
Η ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
ΟΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ



- ✓ Να επιλέγουν οι μαθητές τις κατάλληλες σωληνώσεις για τα συστήματα κλιματισμού που χρησιμοποιούν ως μέσο μεταφοράς το ψυκτικό υγρό.
- ✓ Να υπολογίζουν τις απαιτούμενες παροχές νερού και τις διατομές των σωληνώσεων σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί το νερό ή διάλυμα νερού και αιθυλικής ή προπυλικής γλυκόλης.
- ✓ Να μάθουν πώς διαμορφώνεται το δίκτυο των σωληνώσεων σε ένα σύστημα κλιματισμού.
- ✓ Να μάθουν τι είναι το εξισορροπημένο δίκτυο και πώς αυτό επιτυγχάνεται.
- ✓ Να γνωρίσουν τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα των σωληνώσεων των εγκαταστάσεων κλιματισμού.

6-1. Γενικά για το δίκτυο των σωληνώσεων

Η ψύξη ή η θέρμανση, για να μεταφερθεί από το σημείο παραγωγής της μέχρι τις κλιματιστικές μονάδες απαιτεί κάποιο μέσο μεταφοράς. Αυτό μπορεί να είναι:

- Απευθείας το ψυκτικό υγρό που αποστέλλεται από το συμπιεστή στις κλιματιστικές μονάδες. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι οι κλιματιστικές μονάδες (KM) είναι άμεσης εκτόνωσης και συμβολίζονται με το DX (από τον αντίστοιχο Αγγλικό όρο **D**irect **E**xpansion).
- Το νερό, το οποίο ψύχεται σε ένα συγκρότημα παραγωγής κρύου νερού και στη συνέχεια αποστέλλεται στις KM.

Η πρώτη μέθοδος, της απευθείας εκτόνωσης του ψυκτικού υγρού μέσα στις ΚΜ, είναι κατάλληλη για μικρού και μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις, που χρησιμοποιούν μικρό σχετικά αριθμό ΚΜ. Χρησιμοποιούνται όμως και σε μεγάλα κτίρια, τα οποία είναι χωρισμένα σε ζώνες και η κάθε ζώνη έχει το δικό της ανεξάρτητο σύστημα κλιματισμού.

Η μέθοδος με τις σωληνώσεις νερού είναι περισσότερο ευέλικτη στο σχεδιασμό, στις επεκτάσεις της και στον τρόπο λειτουργίας της ενώ μπορεί ένα μεγάλο κτίριο να κλιματίζεται από ένα και μοναδικό ψυκτικό συγκρότημα. Η μελέτη όμως και η επιτυχία στην κατασκευή και λειτουργία ενός συστήματος με νερό είναι αρκετά πιο δύσκολη και απαιτεί σοβαρή εμπειρία.

Αντίθετα, η μελέτη ενός συστήματος με σωληνώσεις ψυκτικού υγρού είναι πολύ πιο απλή και σε μεγάλο βαθμό τυποποιημένη. Επίσης υπάρχει και τεχνική υποστήριξη από τις εταιρείες που διαθέτουν τέτοια συστήματα.

Δεν θα επεκταθούμε στη σύγκριση των δύο συστημάτων η οποία είναι πολύ δύσκολη και υπάρχουν πολλές διαφορετικές απόψεις. Περιοριζόμαστε μόνο στο να πούμε ότι και τα δύο είναι πολύ καλά συστήματα κλιματισμού και αποδίδουν άριστα. Προϋπόθεση όμως για να λειτουργήσουν και να αποδώσουν είναι να μελετηθούν και κατασκευαστούν σωστά. Αλλιώς, οποιοδήποτε σύστημα και αν εφαρμοστεί θα αποτύχει.

6-2. Οι τύποι των σωλήνων ψυκτικού υγρού

Οι ονομαστικές διαμέτροι των χαλκοσωλήνων του ψυκτικού υγρού κατά κανόνα αναφέρονται σε ίντσες. Στην αγορά όμως, πιθανόν λόγω της τάσης που υπάρχει στην εφαρμογή του συστήματος SI, έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχες ονομασίες τους σε mm. Στον πίνακα (6-1) βλέπουμε τις διαστάσεις τους, τις ονομασίες, και τα αντίστοιχα πάχη (μόνο τις ονομαστικές διαμέτρους των σωλήνων χρειάζεται να θυμόμαστε).

Πίνακας (6-1): Οι τυποποιημένες διαστάσεις χαλκοσωλήνων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κλιματισμού

Ονομασία σε ίντσες	Ονομασία σε mm	Εξωτερική διάμετρος σε mm	Πάχος τοιχώματος	Υπάρχει σε
1/4	6,4	6,35	0,76	Ρόλους 50 m
5/16	7,9	7,94	0,81	Ρόλους 50 m
3/8	9,5	9,52	0,81	Ρόλους 50 m
			0,76	4μετρα μήκη
1/2	12,7	12,7	0,81	Ρόλους 50 m
			0,89	4μετρα μήκη
5/8	15,9	15,87	0,89	Ρόλους 15 m
			1,01	4μετρα μήκη
3/4	19,1	19,05	0,89	Ρόλους 15 m
			1,07	4μετρα μήκη
7/8	22,2	22,23	1,14	Ρόλους 15 m 4μετρα μήκη
1 ¹ / ₈	28,6	28,58	1,27	4μετρα μήκη
1 ³ / ₈	34,9	34,93	1,40	4μετρα μήκη
1 ⁵ / ₈	41,2	41,28	1,52	4μετρα μήκη
2 ¹ / ₈	54	53,98	1,78	4μετρα μήκη

6-3. Το δίκτυο των σωληνώσεων του ψυκτικού υγρού

Στον κλιματισμό, εκτεταμένα δίκτυα με σωληνώσεις ψυκτικού υγρού κατασκευάζονται μόνο όταν πρόκειται να εγκατασταθούν τα συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού υγρού (**V**ariable **R**efrigerant **V**olume), που για συντομία ονομάζονται συστήματα **VRV**. Τα συστήματα αυτά ανήκουν στο χώρο των τελευταίων εξελίξεων της τεχνολογίας του κλιματισμού. Περιλαμβάνουν ένα κεντρικό ψυκτικό συγκρότημα, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα (6-1), το οποίο, όπως λέει και το όνομά του, έχει τη δυνατότητα να παρέχει μεταβαλλόμενη ποσότητα στις ΚΜ οι οποίες είναι όλες DX. Συνήθως το κεντρικό ψυκτικό συγκρότημα ονομάζεται **εξωτερική μονάδα** και οι κλιματιστικές μονάδες DX ονομάζονται **εσωτερικές μονάδες**.

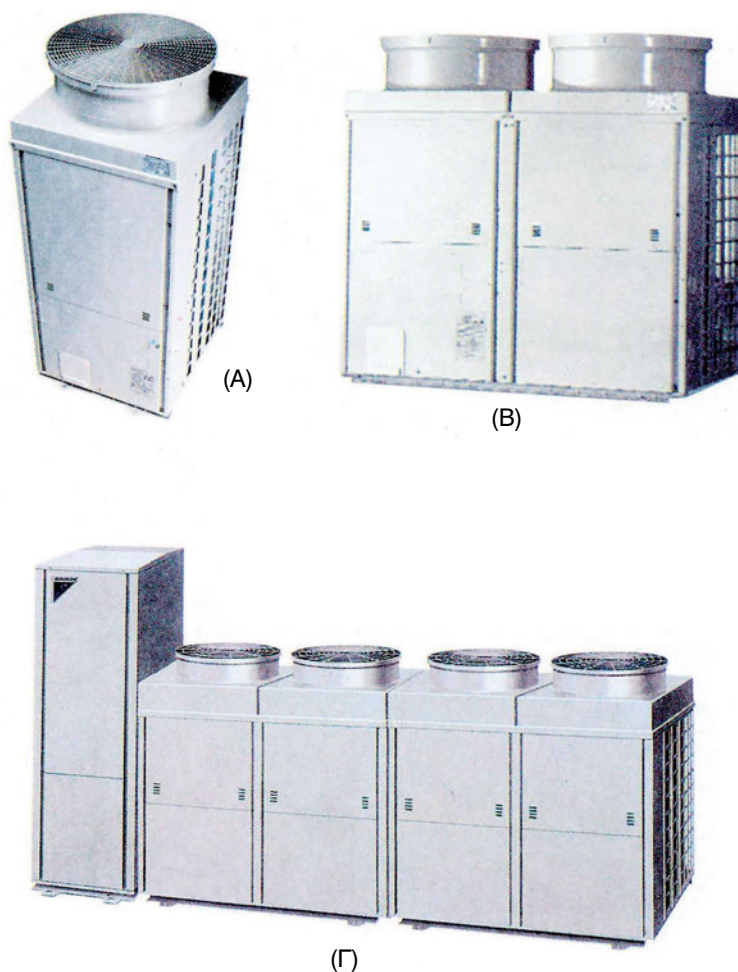


Σχήμα 6-1: Εξωτερική μονάδα συστήματος VRV κατάλληλη για μέχρι 8 εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες.

Σε ένα εκτεταμένο δίκτυο ΚΜ άμεσης εκτόνωσης, το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι πώς θα αντιμετωπιστούν οι συνεχώς μεταβαλλόμενες ανάγκες σε ψύξη και κατά συνέπεια και σε παροχή ψυκτικού υγρού. Συγκεκριμένα, κάποιοι μπορεί να έχουν τις ΚΜ τους κλειστές, άλλοι σε λειτουργία αλλά στη μικρή ταχύτητα, άλλοι στη μεγάλη ταχύτητα κ.ο.κ. Τα ψυκτικά υγρά δεν έχουν την ευελιξία του νερού και η διερχόμενη παροχή τους θα πρέπει να είναι ανάλογη των πραγματικών αναγκών σε φορτίο, που συνεχώς, κατά τη διάρκεια της ημέρας διαφοροποιούνται.

Το σύστημα VRV επιλύει ακριβώς αυτό το πρόβλημα, με τη δυνατότητα του ψυκτικού συγκροτήματος να τροφοδοτεί το δίκτυο των σωληνώσεων με μεταβαλλόμενη παροχή ψυκτικού υγρού. Ο τρόπος κατασκευής του δικτύου των σωληνώσεων ενός συστήματος VRV ποικίλλει ανάλογα με τον προμηθευτή του εξοπλισμού. Ο κανόνας που ακολουθούμε είναι:

Όταν έχουμε να διαμορφώσουμε δίκτυο σωληνώσεων με ψυκτικό υγρό για κλιματιστικές μονάδες DX, ακολουθούμε αυστηρά τις τεχνικές οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρείας του συστήματος.



Σχήμα 6-2: Εξωτερικές μονάδες συστήματος VRV κατάλληλες για μέχρι (Α) 8 εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες (Β) για μέχρι 16 (Γ) για μέχρι 30.

Στη συνέχεια, για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου διαμόρφωσης των σωληνώσεων, θα αναπτύξουμε δύο μικρά συστήματα VRV, προερχόμενα από δύο διαφορετικές εταιρείες και συγκεκριμένα αυτά των οποίων οι εξωτερικές μονάδες φαίνονται στα σχήματα (6-1) και (6-2). Ο λόγος που παρουσιάζουμε δύο διαφορετικά συστήματα είναι για να γίνουν αντιληπτές οι διαφορές αλλά και οι ομοιότητες που υπάρχουν μεταξύ δύο διαφορετικών κατασκευαστών συστημάτων VRV.

(α) Το δίκτυο της εξωτερικής μονάδας του σχήματος (6-1)

Τη σχηματική διάταξη των σωληνώσεων αυτού του συστήματος VRV τη βλέπουμε στο σχήμα (6-3). Στο δίκτυο του σχήματος (6-3), ο κάθε κλάδος διαθέτει έναν κεντρικό διανομέα, μέσα στον οποίο βρίσκεται συγκεντρωμένος όλος ο απαιτούμενος εξοπλισμός, συμπεριλαμβανομένου και του ηλεκτρολογικού.

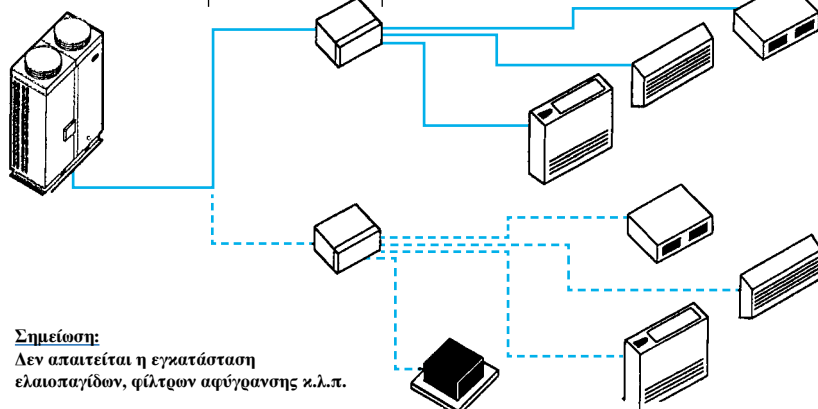
Μεγέθη σωλήνων

ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ
Γραμμή αερίου 11/8"
Γραμμή υγρού 5/8"

ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ ΔΙΚΤΥΟ
Γραμμή αερίου 3/4"
Γραμμή υγρού 1/2"

ΚΛΑΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

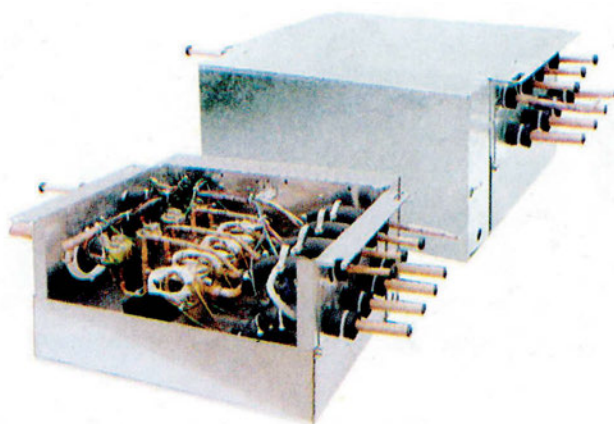
	07/09	12/18	24/28	36/48/60
Γραμμή αερίου	3/8	1/2	5/8	3/4
Γραμμή υγρού	1/4	1/4	1/4	3/8

**Σημείωση:**

Δεν απαιτείται η εγκατάσταση ελαιοπαγίδων, φίλτρων αφύγρανσης κ.λ.π.

Σχήμα 6-3: Το δίκτυο των σωληνώσεων της εξωτ. μονάδας του σχήματος (6-1).

Το διανομέα τον βλέπουμε στο σχήμα (6-4). Η κάθε εξωτερική μονάδα του σχήματος (6-1) μπορεί να συνδεθεί με μέχρι 2 τέτοιους διανομείς. Επειδή το σύστημα έχει όλο τον απαιτούμενο εξοπλισμό ελέγχου της ροής του ψυκτικού υγρού συγκεντρωμένο μέσα στον κεντρικό διανομέα, μπορεί ο εξοπλισμός αυτός να ελέγχεται συνολικά από ένα και μοναδικό σημείο και να συντηρείται εύκολα. Χρειάζεται όμως πολλή προσοχή στην επιλογή της θέσης που θα τονβάλουμε, για να μην απαιτηθεί πολύ μεγάλο συνολικό μήκος σωληνώσεων, επειδή από τον κάθε διανομέα εκκινούν ανεξάρτητες σωληνώσεις προς την κάθε ΚΜ. Πρέπει δηλαδή να είναι κατά το δυνατόν πλησιέστερα στις εσωτερικές μονάδες και σε τέτοια θέση ώστε να ελαχιστοποιείται το μήκος των σωληνώσεων που θα απαιτηθούν.



Σχήμα 6-4: Ο κεντρικός διανομέας του ψυκτικού υγρού του μηχανήματος του σχήματος (6-1).

Η διαμόρφωση των σωληνώσεων είναι πολύ απλή και δεν έχουν παρά να ακολουθηθούν οι οδηγίες του προμηθευτή του συστήματος. Για παράδειγμα, στο σχήμα (6-3), βλέπουμε έναν πίνακα με τις διαμέτρους των χαλκοσωλήνων που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Όπως μας εξηγεί το σχήμα, από την κεντρική μονάδα που βρίσκεται στην αρχή του δικτύου, θα έχουμε σωλήνες 1 1/8" αερίου και 5/8" υγρού. Μετά τη διακλάδωση και μέχρι τους δύο κεντρικούς διανομείς θα έχουμε γραμμή αερίου 3/4" και γραμμή υγρού 1/2". Οι αναχωρήσεις από το διανομέα προς τις ΚΜ εξαρτώνται από το μέγεθος της κάθε μονάδας. Π.χ., όπως βλέπουμε στον πίνακα του σχήματος (6-3), όταν μία μονάδα είναι του τύπου 12 ή 18 (ονομασίες του κατασκευαστή του συστήματος), θα τη συνδέσουμε στο διανομέα με γραμμή αερίου 1/2" και γραμμή υγρού 1/4".

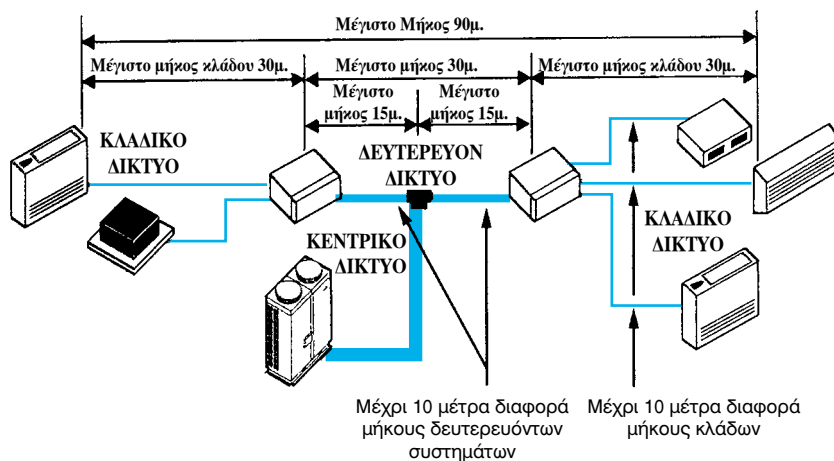
Από το σχήμα (6-5) παίρνουμε μία ιδέα για την ποικιλία που μπορεί να έχει ο εξοπλισμός ο οποίος μπορεί να συνδεθεί. Συγκεκριμένα, διακρίνουμε μία μονάδα τύπου κασέτας (μονάδα κατάλληλα σχεδιασμένη για να προσαρμόζεται σε ψευδοροφές), μία κονσόλα δαπέδου, μία κονσόλα τοίχου και μία ημικεντρική κλιματιστική μονάδα (που αποκαλείται επίσης καναλάτη ΚΜ).



Σχήμα 6-5: Μερικές από τις πλέον συνηθισμένες εσωτερικές μονάδες που συνδέονται στο δίκτυο των σωληνώσεων ενός συστήματος VRV.

Πέραν των διαμέτρων των σωληνώσεων, ένα δίκτυο με ψυκτικό υγρό έχει περιορισμούς και στα επιτρεπόμενα μήκη των σωληνώσεών του. Και πάλι εδώ δεν είμαστε αβοήθητοι, αφού οι κατασκευαστές μας διαθέτουν πλήρεις οδηγίες, όπως βλέπουμε στο σχήμα (6-6).

ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ

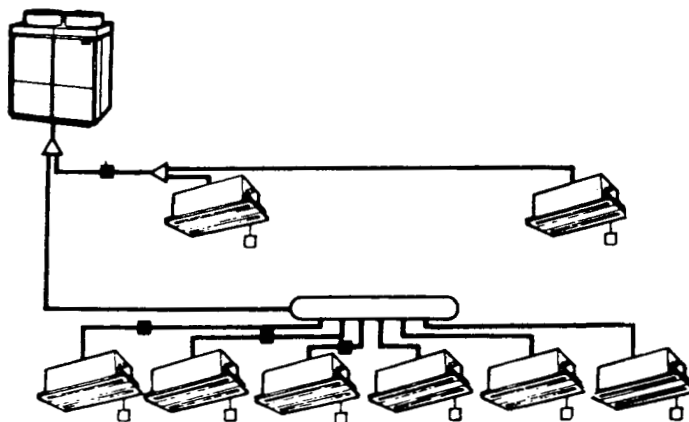


Σχήμα 6-6: Μέγιστα μήκη των σωληνώσεων στο σύστημα της εξ. μονάδας του σχήματος (6-1).

(β) Το δίκτυο της εξωτερικής μονάδας του σχήματος (6-2)

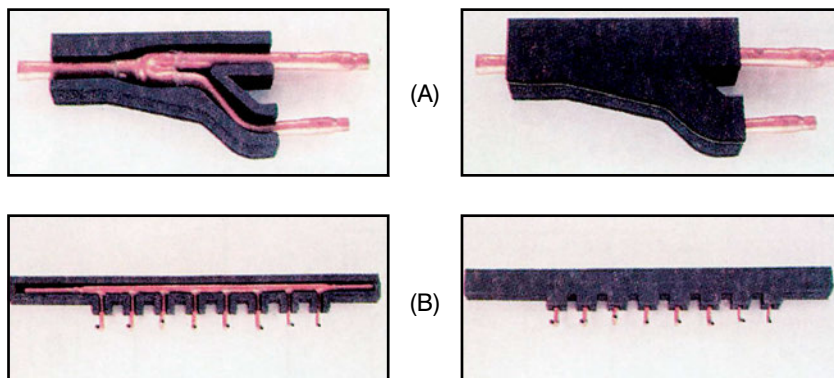
Ανάλογες οδηγίες υπάρχουν και για την εγκατάσταση συστήματος VRV, με εξωτερική μονάδα όπως η (Β) του σχήματος (6-2). Η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός τέτοιου δικτύου φαίνεται στο σχήμα (6-7). Οι διαφορές στον τρόπο κατασκευής αλλά και στη φιλοσοφία των σωληνώσεων και

συνδέσεων είναι φανερές, όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε συγκρίνοντας τα δύο συστήματα, δηλαδή τα σχήματα (6-3) και (6-7).



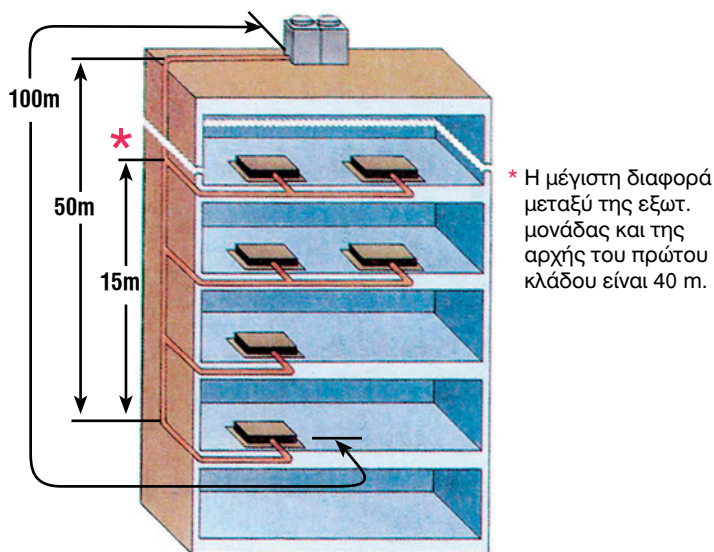
Σχήμα 6-7: Το δίκτυο των σωληνώσεων του μηχανήματος του σχήματος (6-2B).

Στο σχήμα (6-7), για τις διακλαδώσεις του ψυκτικού υγρού χρησιμοποιούνται οι διανομείς που φαίνονται στο σχήμα (6-8). Αυτοί είναι ειδικά εξαρτήματα επιμελημένης κατασκευής που το ένα είναι διακλαδωτήρας (joint) και το άλλο συλλέκτης (header). Τα συστήματα αυτά, συνδυαζόμενα με τις κατάλληλες εκτονωτικές βαλβίδες, εξασφαλίζουν τη σωστή διανομή του ψυκτικού υγρού. Τα σημεία ελέγχου αυτού του συστήματος βρίσκονται σε διάφορα σημεία του κτιρίου, αλλά ο τρόπος διαμόρφωσής του δεν απαιτεί ιδιαίτερα μεγάλο μήκος σωληνώσεων.



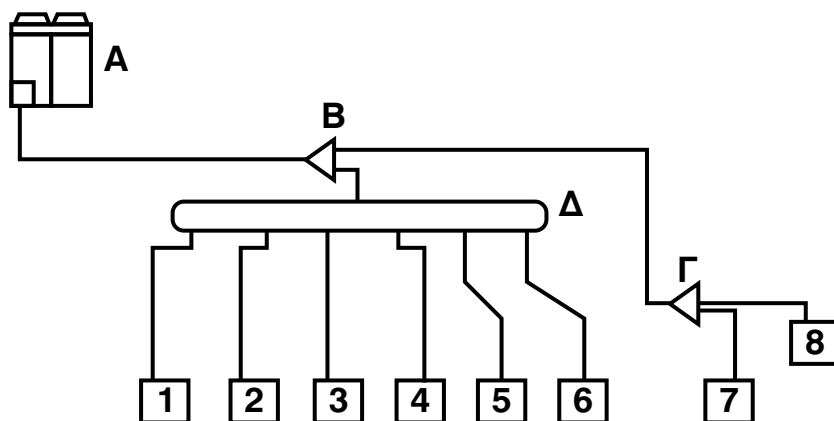
Σχήμα 6-8: Οι διανομείς του ψυκτικού υγρού στο σύστημα της εξ. μονάδας του σχήματος (6-2) (A) Διακλαδωτήρας (B) Συλλέκτης.

Φυσικά υπάρχει και σ' αυτό το σύστημα το πρόβλημα να μην υπερβούμε τα μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη, τα οποία τα βλέπουμε στο σχήμα (6-9).



Σχήμα 6-9: Μέγιστα μήκη των σωληνώσεων στο σύστημα της εξ. μονάδας του σχήματος (6-2).

Η επιλογή τόσο των σωληνώσεων όσο και των διανομέων του ψυκτικού υγρού γίνεται με τον υπολογισμό ενός συντελεστή που ονομάζεται **δείκτης φόρτισης** (capacity index) του σωλήνα. Ο συντελεστής υπολογίζεται βάσει πινάκων που δίδονται από την κατασκευάστρια εταιρεία. Για παράδειγμα ας επιλέξουμε τους σωλήνες για το δίκτυο του σχήματος (6-10).



Σχήμα 6-10: Συνδεσμολογία του παραδείγματος υπολογισμού.

Ας υποθέσουμε ότι στις θέσεις από 1 μέχρι 6 τοποθετήθηκαν μηχανήματα που το καθένα έχει δείκτη φόρτισης 25 και στις θέσεις 7 και 8 μηχανήματα με δείκτη φόρτισης 40. Ο προμηθευτής του συστήματος για τις επιλογές των σωλήνων και των διανομέων δίνει τον παρακάτω πίνακα (6-2):

Πίνακας (6-2): Διαστασιολόγηση σωλήνων και διανομέων στο σύστημα της εξ. μονάδας του σχήματος (6-2)

Ολικός δείκτης φόρτισης	Γραμμή αναρρόφησης (mm)	Γραμμή υγρού (mm)	Διακλάδωση (τύπος)	Συλλέκτης (τύπος)
<50	12,7	6,4	18T	-
50-100	15,9	9,5	18T	18H
> 100-160	19,1	9,5	18T	18H
> 160	28,6	19,1	20T	37H

Οπότε εύκολα καταλήγουμε στις επιλογές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (6-3):

Πίνακας (6-3): Μεγέθη σωλήνων και διανομέων του σχεδίου (6-10)

Τμήμα δικτύου	Δείκτης Φόρτισης	Γραμμή αναρρόφησης (mm)	Γραμμή υγρού (mm)	Διακλάδωση (τύπος)	Συλλέκτης (τύπος)
Δ1,Δ2,Δ3, Δ4,Δ5,Δ6	25	12,7	6,4		
Γ7,Γ8	40	12,7	6,4		
Δ	6 x 25 = 150				18H
Γ	2 x 40 = 80			18T	
ΒΔ	150	19,1	9,5		
ΒΓ	80	15,9	9,5		
Β	180 + 80 = 260			20T	
ΑΒ.	260	28,6	19,1		

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη σύντομη ανάπτυξη που κάναμε είναι ότι το δίκτυο των σωληνώσεων ψυκτικού υγρού είναι απλό σε ό,τι τουλάχιστον αφορά τον καθορισμό των διαστάσεων των σωλήνων. Αφού πρώτα επιλέξουμε το σύστημα VRV που ταιριάζει στις απαιτήσεις μας, ζητάμε τις τεχνικές οδηγίες του συστήματος και ενδεχομένως και την τεχνι-

κή υποστήριξη από το προσωπικό του προμηθευτή, προκειμένου να κάνουμε το σωστό σχεδιάσμά του δικτύου και τον υπολογισμό των σωληνώσεων.

6-4. Η μέθοδος μεταβολής της παροχής του ψυκτικού υγρού

Βασικά αυτό που χρησιμοποιείται είναι ο μηχανισμός μετατροπής συχνότητας (frequency inverter) ή inverter όπως συνηθίζεται να λέγεται ακόμη και στην ελληνική τεχνική ορολογία. Με το σύστημα αυτό επεμβαίνουμε στη συχνότητα του εναλλασσομένου ηλεκτρικού ρεύματος. Μεταβάλλοντας τη συχνότητα μεταβάλλονται και οι στροφές ενός ηλεκτροκινητήρα. Μείωση της συχνότητας έχει ως συνέπεια τη μείωση της παροχής του ψυκτικού υγρού (άρα και της ψυκτικής ισχύος) και αύξηση των στροφών, η οποία συνεπάγεται αύξηση της παροχής του ψυκτικού υγρού. Τα σημεία με τα οποία μπορούμε να επεμβούμε με αυτό τον τρόπο είναι τα εξής:

- Ο συμπιεστής του ψυκτικού υγρού
- Ο ανεμιστήρας του συμπυκνωτή

Εκτός από τα ως άνω, υπάρχουν ακόμη δύο σημεία με τα οποία μπορούμε να ρυθμίσουμε την παρεχόμενη ψυκτική ισχύ:

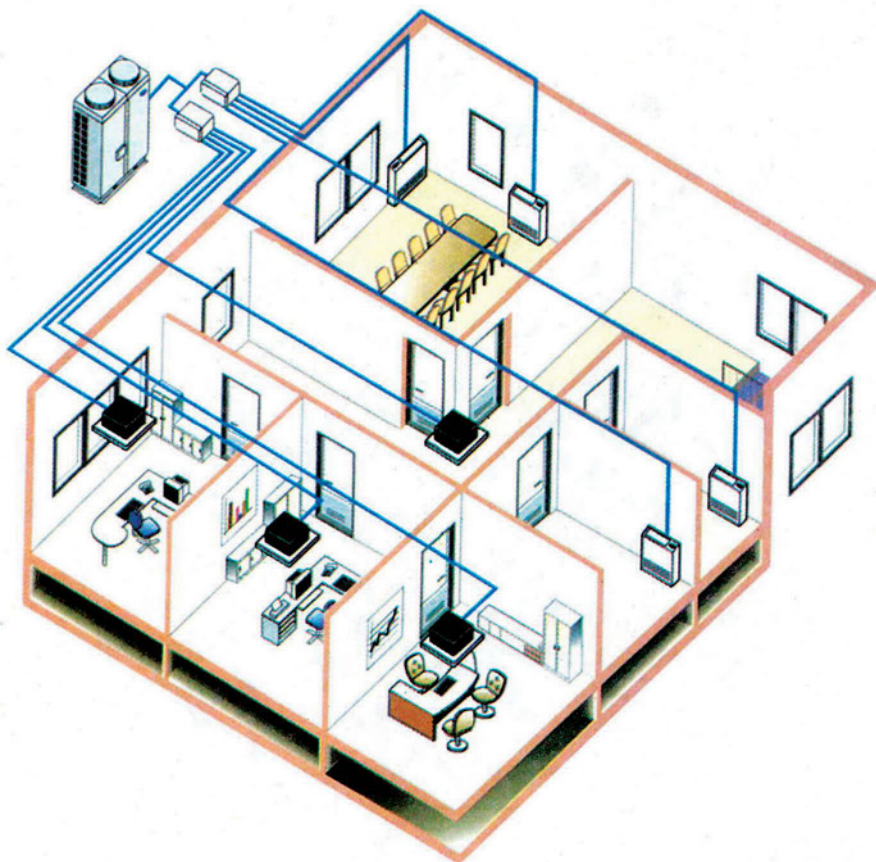
- Με την αλλαγή της ρύθμισης της εκτονωτικής βαλβίδας
- Με τη λειτουργία συστήματος by pass, όπου μέρος του ψυκτικού υγρού πηγαίνει στον εξατμιστή και μέρος επιστρέφει στο δοχείο συγκέντρωσης του ψυκτικού υγρού. Αυτό θα λειτουργήσει αφού έχουν λειτουργήσει όλα τα άλλα και δεν υπάρχουν πλέον περιθώρια για άλλες ρυθμίσεις.

Μόλις το σύστημα ελέγχου αντιληφθεί αλλαγή φορτίου (π.χ. με την αύξηση ή τη μείωση της πτώσης πίεσης του ψυκτικού υγρού), επεμβαίνει, βάσει του κατάλληλου αυτοματισμού, στα σημεία που έχει προγραμματιστεί να επεμβεί και κάνει τις κατάλληλες διορθώσεις.

Ένα σύστημα VRV μπορεί να ενσωματώνει μέρος των παραπάνω ή ακόμη και όλα τα παραπάνω σημεία για τη ρύθμιση της παροχής του ψυκτικού υγρού, έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί και μία μόνο μικρή εσωτερική μονάδα. Π.χ. το σύστημα του σχήματος (3-2Γ), ονομαστικής ψυκτικής ισχύος 44 kW μπορεί να λειτουργεί και με 2,2 kW ψυκτικό φορτίο, δηλαδή μόλις στο 5% του ονομαστικού του φορτίου.

6-5. Παραδείγματα δικτύων σωληνώσεων ψυκτικού υγρού

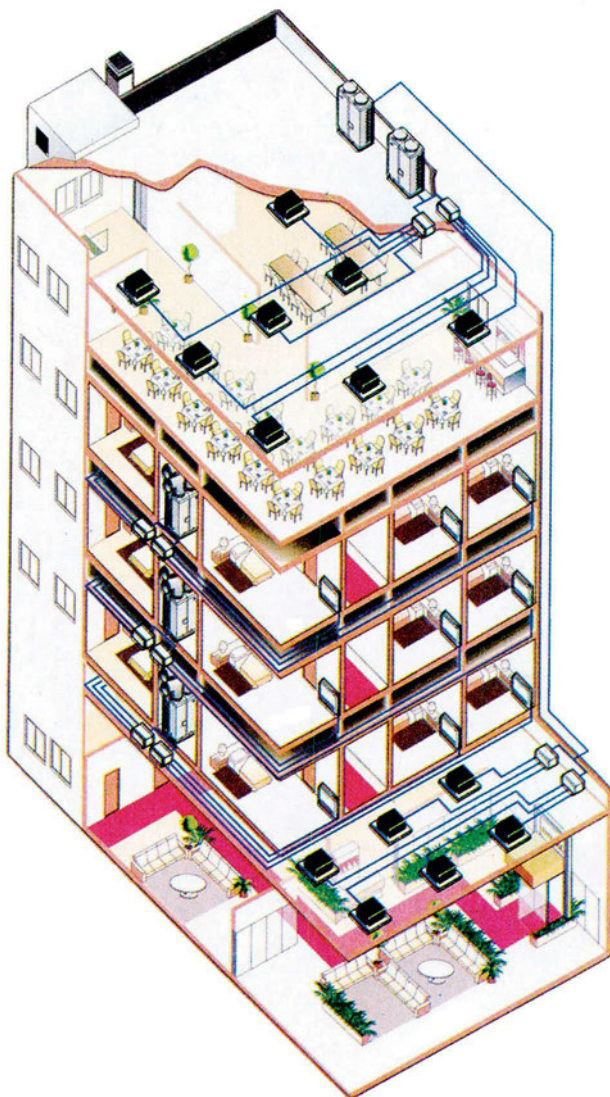
Όπως είπαμε στα συστήματα VRV υπάρχουν διαφορές από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Γι' αυτό, θα περιοριστούμε μόνο στο να δώσουμε μερικές διατάξεις, τις οποίες θα πρέπει να τις μελετήσετε και να τις συζητήσετε στην τάξη, υπό μορφή ασκήσεων.



Σχήμα 6-11: Απλό δίκτυο, εφαρμογή του συστήματος VRV με την εξωτερική μονάδα του σχήματος (6-1).

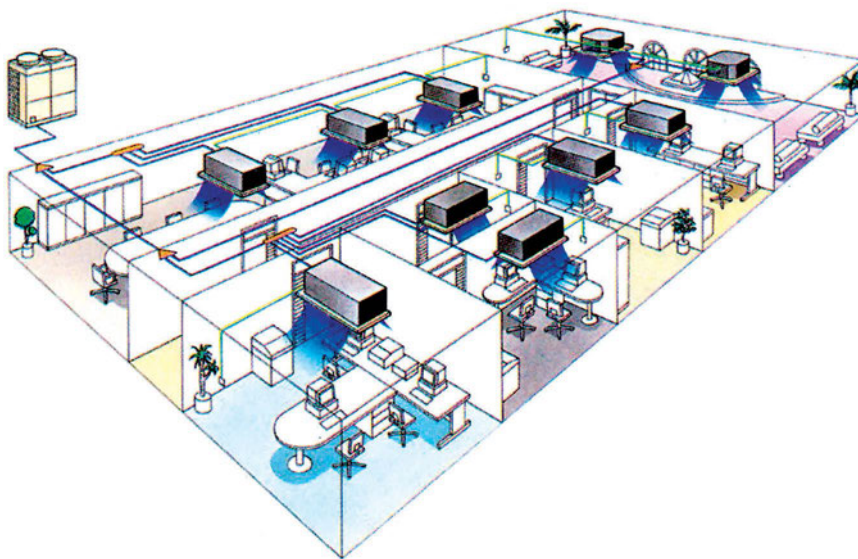
Στα σχήματα (6-11) και (6-12), βλέπουμε διατάξεις του δικτύου των σωληνώσεων που χρησιμοποιεί την εξωτερική μονάδα του σχήματος (6-1). Προσέξτε ότι στο σχήμα (6-12) έχουμε πολλά τέτοια συστήματα. Το δίκτυο αυτό ονομάζεται αποκεντρωμένο (decentralized). Επίσης, προσέξτε

ότι, στους ενδιαμέσους ορόφους, τα συστήματα έχουν τοποθετηθεί μέσα σε ένα κλειστό δωμάτιο (μηχανοστάσιο) και η εισαγωγή του αέρα στους ανεμιστήρες των συμπυκνωτών γίνεται μέσω αεραγωγών.



Σχήμα 6-12: Περίπλοκο αποκεντρωμένο δίκτυο, εφαρμογή του συστήματος VRV με την εξωτερική μονάδα του σχήματος (6-1).

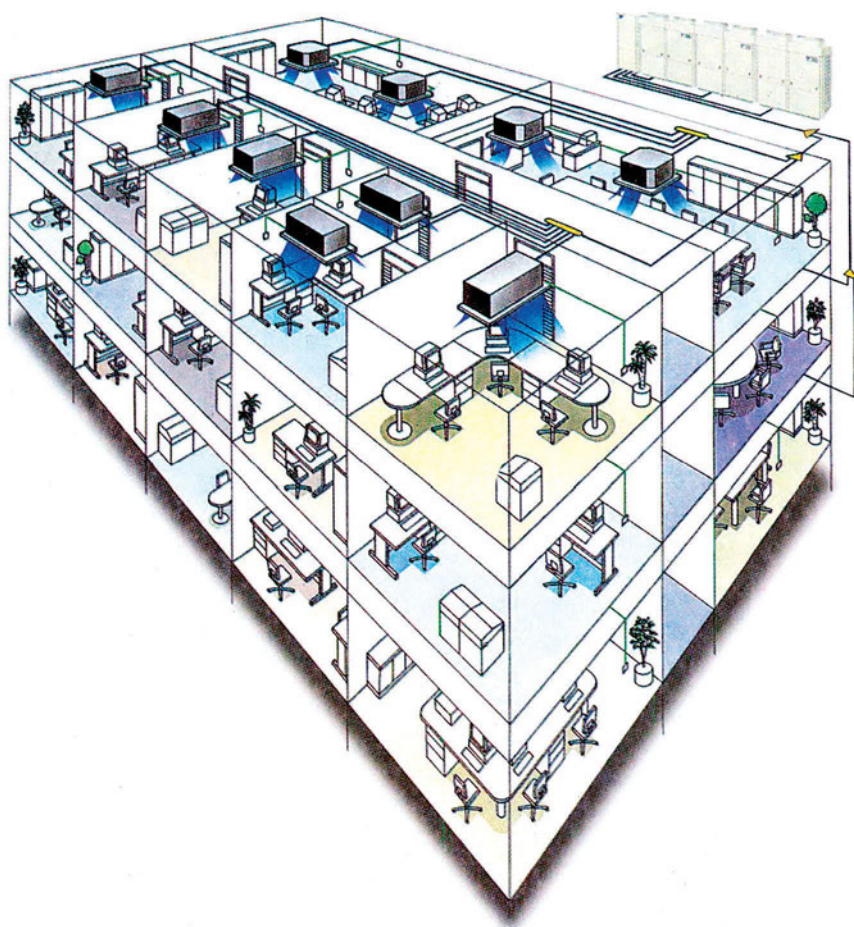
Αντίστοιχα, στα σχήματα (6-13) και (6-14), δίδονται οι διατάξεις δικτύων σωληνώσεων του ψυκτικού υγρού, οι οποίες βασίζονται στο σύστημα VRV της εξωτερικής μονάδας που φαίνεται στο σχήμα (6-2).



Σχήμα 6-13: Απλό δίκτυο, εφαρμογή του συστήματος VRV με την εξωτερική μονάδα του σχήματος (6-2B).

Στο σχήμα (6-13) βλέπουμε ένα σύστημα με μία μόνο εξωτερική μονάδα, συνδεδεμένη με 8 εσωτερικές ενώ στο σχήμα (6-14) βλέπουμε μία εξέλιξη του εν λόγω συστήματος που τροφοδοτεί 30 περίπου εσωτερικές μονάδες.

Τα σχήματα (6-11) και (6-13) είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για εφαρμογή ασκήσεων διαστασιολόγησης των σωληνώσεων. Μπορείτε να υποθέσετε κάποια μεγέθη για τα μηχανήματα και βάσει αυτών να διαμορφώσετε το δίκτυο.



Σχήμα 6-14: Περίπλοκο αποκεντρωμένο δίκτυο, εφαρμογή του συστήματος VRV με την εξωτερική μονάδα του σχήματος (Σχ.6-2Γ), κατάλληλη για μέχρι 30 εσωτερικές μονάδες.

6-6. Το δίκτυο των σωληνώσεων του νερού

Οι περισσότερες κλιματιστικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν το νερό για τη μεταφορά της παραγόμενης ψύξης ή θέρμανσης από το σημείο παραγωγής τους μέχρι τις ΚΜ.

Η μελέτη όμως ενός δικτύου σωληνώσεων νερού δεν είναι απλή όπως είναι η μελέτη του δικτύου των σωληνώσεων του ψυκτικού υγρού. Γι' αυτό και οι μελέτες με δίκτυα νερού εκπονούνται κατά κανόνα από έμπειρους μηχανικούς. Οι λόγοι είναι οι εξής:

(α) Το επίπεδο δυσκολίας της μελέτης

- Οι εφικτές λύσεις σε ένα δίκτυο ψυκτικού υγρού είναι πολύ περιορισμένες και τυποποιημένες.
- Στο δίκτυο νερού οι τεχνικές λύσεις είναι ατελείωτες και ως εκ τούτου δεν μπορούν να τυποποιηθούν.

(β) Η τεχνική βοήθεια που μπορεί να έχει ο μελετητής

- Η εταιρεία που εμπορεύεται το σύστημα VRV παρέχει πλήρη υποστήριξη στον πελάτη της, σε σημείο που μπορεί ακόμη να του εκπονήσει την πλήρη μελέτη.
- Ο μελετητής που εκπονεί μία μελέτη με νερό είναι μόνος του, αποκλειστικά υπεύθυνος και σχεδόν αβοήθητος.

Εκτός από τα παραπάνω μειονεκτήματα, το σύστημα του νερού έχει και πολλά πλεονεκτήματα. Τέτοια π.χ. είναι η μεγάλη ευελιξία των σωληνώσεων νερού η οποία επιτρέπει να δοθούν οι πλέον κατάλληλες τεχνικές λύσεις καθώς και η πλήρης σχεδόν απουσία περιορισμών στα μήκη των κλάδων. Επίσης, σε ένα δίκτυο νερού, η τυχόν διαρροή ανιχνεύεται πολύ ευκολότερα.

6-7. Τα είδη των σωλήνων που χρησιμοποιούνται με το νερό

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται με το νερό φαίνονται στον πίνακα (6-4). Βασικά είναι δύο ειδών:

- Οι **χαλκοσωλήνες**
- Οι **χαλυβδοσωλήνες** που αποκαλούνται επίσης **σωλήνες μαύροι χωρίς ραφή**. Αυτές που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο των σωληνώσεων είναι οι βαρέως τύπου και οι ημιβαρέως (μέσου) τύπου.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Η ονομαστική διάμετρος στους χαλυβδοσωλήνες δεν έχει καμία απολύτως σχέση με την πραγματική. **Πρόκειται απλά για μία ονομασία.** Π.χ. ο σωλήνας 1/2" ή Φ15 έχει εξωτερική διάμετρο 21,3 mm. Η εσωτερική διάμετρος,

αν ο σωλήνας είναι βαρέως τύπου είναι 14,8 mm ή αν είναι ημιβαρέως είναι 16 mm.

Στη συνέχεια του βιβλίου, θα χρησιμοποιούμε για τους χαλυβδοσωλήνες την ονομασία **σε ίντσες**, επειδή έχει επικρατήσει πλήρως στην αγορά. Αυτό δεν μας δημιουργεί πρόβλημα επειδή, όπως είπαμε, πρόκειται απλά για ένα όνομα που δεν μας υποδηλώνει τίποτε σχετικά με τις διαστάσεις και ούτε συμμετέχει σε κάποιον υπολογισμό. Την ονομασία τους σε mm ελάχιστοι τη γνωρίζουν.

Πίνακας (6-4): Διαστάσεις σωλήνων νερού που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό

Χαλυβδοσωλήνες ή σωλήνες μαύροι χωρίς ραφή					Χαλκοσωλήνες	
Ονομαστική διάμετρος I-P	Ονομαστική διάμετρος SI	Πραγματική εξωτερική διάμετρος	Εσωτερική διάμετρος βαρέως τύπου	Εσωτερική διάμετρος μέσου τύπου	Ονομασία	Εσωτερική διάμετρος
1/2"	15	21,3	14,8	16,0	16 x 1	14
3/4"	20	26,9	20,4	21,6	18 x 1	16
1"	25	33,7	25,6	27,2	22 x 1	20
1 1/8"	32	42,4	34,3	35,9	28 x 1,5	25
1 1/2"	40	48,3	40,2	41,8	35 x 1,5	32
2"	50	60,3	51,3	53	42 x 1,5	39
2 1/2"	65	76,1	67,1	68,8	54 x 2	50
3"	80	88,9	79,2	80,8	64 x 2	60
4"	100	114,3	103,5	105,3	76,1 x 2	72,1
5"	125	139,7	128,9	130,0	88,9 x 2	84,9
6"	160	165,1	154,2	155,3	108 x 2,5	103

6-8. Η ταχύτητα του νερού μέσα στους σωλήνες

Τη μέγιστη ταχύτητα V_w του νερού μέσα στους σωλήνες την επιλέγουμε συνήθως έτσι ώστε να μην υπερβαίνει το 1,5 m/s στους επιμέρους κλάδους ή τα 2,5 m/s στους κεντρικούς κλάδους. Όταν το ρευστό είναι ένα ψυχρό διάλυμα 20% νερού-γλυκόλης, που είναι πιο παχύρρευστο από το νερό, η μέγιστη ταχύτητα καλό είναι να περιορίζεται σε 1,2 και 2 m/s αντίστοιχα.

Η ταχύτητα του νερού V_w , μέσα από ένα σωλήνα, διατομής A , γενικά δίδεται από τη σχέση:

$$V_w = Q_w/A \quad (6-1)$$

Όπου:

Q_w = Η παροχή μέσω του σωλήνα σε m^3/s

A = Η διατομή του σωλήνα σε m^2

Βάσει της παραπάνω σχέσης στο σύστημα SI, καταλήγουμε στην πολύ εύχρηστη σχέση:

$$V_w = 1300 \frac{Q_w}{D_i^2} \quad (6-2)$$

Όπου:

Q_w = Η παροχή μέσω του σωλήνα σε L/s

D_i = Η εσωτερική διάμετρος σε mm, βάσει του πίνακα (6-4)

Ο συντελεστής 1300 είναι η στρογγυλοποίηση του αριθμού 1273 και προκύπτει από τις μετατροπές των μονάδων και από τον αριθμό π. Συγκεκριμένα ισχύει $1273 = 1000 \times (4/\pi)$.

6-9. Η απαιτούμενη παροχή νερού μέσα από μία ΚΜ

Για να υπολογίσουμε την απαιτούμενη παροχή νερού μέσα από μία ΚΜ, μας χρειάζεται να γνωρίζουμε μόνο το ολικό φορτίο του χώρου, όπως αυτό προέκυψε από τη μελέτη των ψυκτικών και των θερμικών φορτίων που υπολογίσαμε στο κεφάλαιο 3. Η σχέση που συνδέει την ολική απόδοση ενός μηχανήματος (τυπική μονάδα το kW), με την ελάχιστη απαιτούμενη παροχή νερού, είναι:

$$q_t = c_p Q_w \Delta t \quad (6-3)$$

Όπου:

q_t = ολική απόδοση του μηχανήματος (kW)

c_p = ειδική θερμότητα του νερού = 4,2 kJ/kgK

Q = παροχή νερού (L/s)

Δt = πτώση της θερμοκρασίας νερού κατά τη διέλευση του μέσα από την ΚΜ ($^{\circ}C$)

Η σχέση (6-3), επιλυόμενη ως προς την παροχή νερού, μας δίνει τη σχέση υπολογισμού της παροχής:

$$Q_w = \frac{q_t}{c_p \Delta t} \quad (6-4)$$

Συνήθως για το καλοκαίρι παίρνουμε το νερό με $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ και για το χειμώνα με $\Delta t = 10^\circ\text{C}$. Οι επιλογές αυτές είναι στην απόλυτη κρίση του μελετητή και μπορούν να κυμαίνονται από $2-8^\circ\text{C}$ το καλοκαίρι και από $5-20^\circ\text{C}$ το χειμώνα. Καλύτερα είναι, κατά το δυνατό, να μην ξεφεύγουμε από την περιοχή $4-6^\circ\text{C}$ κατά το καλοκαίρι και $5-15^\circ\text{C}$ το χειμώνα.

Στην ψύξη, για $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, προκύπτει $c_p \cdot \Delta t = 4,2 \times 5 \approx 20$. Αντίστοιχα στη θέρμανση για $\Delta t = 10^\circ\text{C}$, προκύπτει $c_p \cdot \Delta t = 4,2 \times 12 \approx 40$. Οπότε, ένας εύκολος τρόπος για τον γρήγορο υπολογισμό της ψυκτικής ισχύος ή της θερμαντικής ισχύος στον κλιματισμό, σε kW, είναι ο εξής:

$$\text{Για την ψύξη:} \quad q \approx 20 \times Q_w \quad (6-5)$$

$$\text{Για τη θέρμανση:} \quad q \approx 40 \times Q_w \quad (6-6)$$

Οι παραπάνω πολύ απλές σχέσεις αναπληρώνουν την ευκολία που παρουσίαζε το μετρικό σύστημα στον υπολογισμό της ισχύος. Π.χ. αν νερό $0,5 \text{ L/s}$ διαρρέει ένα σωλήνα, αυτός μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανήματα μέχρι συνολικής ισχύος $20 \times 0,5 = 10 \text{ kW}$. Βάσει της σχέσης (6-5), στον πίνακα (6-5) δίδεται η ψυκτική ισχύς που μπορεί να διέλθει από τους σωλήνες του πίνακα (6-4).

Ο πίνακας (6-5) έχει συνταχθεί για σταθερή ταχύτητα ροής $1,2 \text{ m/s}$ για χαλυβδοσωλήνες μέχρι $1\frac{1}{2}"$ και χαλκοσωλήνες μέχρι $\Phi 35 \times 1,5$ ενώ για τις επόμενες διαστάσεις ελήφθησαν μεγαλύτερες ταχύτητες. Η θερμαντική ισχύς για τις ίδιες ταχύτητες είναι περίπου διπλάσια, αλλά η πτώση πίεσης για νερό θερμοκρασίας 50°C είναι περίπου κατά 10% μικρότερη στους χαλυβδοσωλήνες και κατά 20% στους χαλκοσωλήνες.

Πίνακας (6-5): Διερχόμενη ψυκτική ισχύς από τους συνήθεις σωλήνες που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό.

Η αναφερόμενη πτώση πίεσης είναι για θερμοκρασία νερού 10 °C.

Ταχύτητα ροής m/s	Σωλήνες μαύροι χωρίς ραφή			Χαλκοσωλήνες		
	Ονομασία	Ψυκτική ισχύς kW	Πτώση πίεσης σε kPa/m	Ονομασία	Ψυκτική ισχύς kW	Πτώση πίεσης σε kPa/m
1,2	1/2"	4,1	1,74	16 x 1	3,7	1,49
1,2	3/4"	8	1,15	18 x 1	5	1,26
1,2	1"	12,5	0,86	22 x 1	7,5	0,96
1,2	1 1/4"	22	0,59	28 x 1,5	12	0,72
1,2	1 1/2"	30	0,48	35 x 1,5	19,5	0,53
1,4	2"	58	0,47	42 x 1,5	33	0,55
1,6	2 1/2"	113	0,44	54 x 2	63	0,51
1,8	3"	177	0,44	64 x 2	102	0,51



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Από τη μελέτη των φορτίων προέκυψε ότι σε ένα χώρο έχουμε ψυκτικό φορτίο $q_t = 8400 \text{ W}$ και θερμικό φορτίο 12600 W . Να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή του νερού, μέσω της ΚΜ. Τι σωλήνας παροχής θα πρέπει να τοποθετηθεί για την τροφοδοσία της; Και τι κεντρικός σωλήνας για την τροφοδοσία 6 τέτοιων ΚΜ;

Ας λάβουμε τις συνήθεις επιλογές. Το καλοκαίρι, η ΚΜ θα πρέπει να έχει ισχύ $q_t = 8,4 \text{ kW}$, οπότε βάσει της σχέσης (6-4), έχουμε:

$$Q = 8,4 / (4,2 \times 5) = 0,4 \text{ L/s}$$

Αντίστοιχα, κατά το χειμώνα, η ισχύς της ΚΜ θα πρέπει να είναι $q_t = 12,6 \text{ kW}$, οπότε έχουμε:

$$Q = 12,6 / (4,2 \times 10) = 0,3 \text{ L/s}$$

Προφανώς θα πρέπει να λάβουμε τη μεγαλύτερη από τις δύο παροχές, δηλαδή $Q = 0,4 \text{ L/s}$.

Για την τροφοδοσία της ΚΜ, από τον πίνακα (6-5) βλέπουμε ότι για ισχύ $8,4 \text{ kW}$ απαιτείται σωλήνας 3/4" ή Φ22x1. Για 6 μονάδες αυτού του τύπου έχουμε $6 \times 8,4 = 50,4 \text{ kW}$ και από τον πίνακα (6-5) βλέπουμε ότι απαιτείται σωλήνας 2" ή Φ54x2.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1: Δεν θα υπάρξει πρόβλημα καλής λειτουργίας της ΚΜ κατά το χειμώνα, αφού επιλέξαμε να μελετήσουμε το δίκτυο με την παροχή νερού που απαιτείται για το καλοκαίρι;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Με το νερό όχι. Απλά η μονάδα θα λειτουργήσει με άλλο Δt , το οποίο, αν θέλουμε, μπορούμε να το κάνουμε να ρυθμίζεται αυτόματα (μέσω τρίοδης βάνας όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο). Αν πάλι δεν υπάρχει τρίοδη βάνα τότε θα διακόπτεται η λειτουργία του ανεμιστήρα της με εντολή που θα δίδεται από το θερμοστάτη του χώρου.

ΕΡΩΤΗΣΗ 2: Αν τελικά δεν έχω αυτή την παροχή του νερού και έχω 20% λιγότερη, θα μειωθεί κατά 20% και η απόδοση της ΚΜ; Αντίστοιχα αν αυξηθεί η παροχή 20%, θα έχω αύξηση της απόδοσης κατά 20%;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Όχι. Η απόδοση της κλιματιστικής μονάδας θα μειωθεί πολύ λιγότερο. Τυπική τιμή είναι 4 φορές λιγότερο, δηλαδή $20/4 = 5\%$. Αντίστοιχα θα αυξηθεί το Δt . Π.χ. στην παραπάνω ΚΜ, με μείωση 20% της παροχής έχουμε νέα παροχή $Q = 0,8 \times 0,4 = 0,32 \text{ L/s}$ και νέα απόδοση $q_t \approx 0,95 \times 8,4 \approx 8,0 \text{ kW}$. Βάσει της σχέσης (6-3), επιλύνοντας ως προς Δt θα έχουμε:

$$\Delta t = 8,0 / (4,2 \times 0,32) = 5,95^\circ\text{C}$$

Ο λόγος που έχουμε μεγαλύτερη πτώση Δt , όταν μειώνεται η παροχή του νερού, είναι επειδή μαζί με την παροχή πέφτει και η ταχύτητα της ροής, οπότε ο χρόνος παραμονής του νερού μέσα στην ΚΜ γίνεται μεγαλύτερος. Κατά συνέπεια, ο ανεμιστήρας της ΚΜ έχει στη διάθεσή του περισσότερο χρόνο για να κατεβάσει ακόμα περισσότερο το Δt αποσπώντας περισσότερη θερμότητα ανά μονάδα μάζας του ρευστού.

Αν πάλι έχουμε αύξηση 20% της παροχής, θα έχουμε αύξηση της απόδοσης, αλλά σε μικρότερο ποσοστό απ' όσο όταν έχουμε μείωση της παροχής (π.χ. στην παραπάνω περίπτωση μπορεί να έχουμε αύξηση κατά 3-4% μόνο). Από κάποιο μάλιστα σημείο και μετά δεν αυξάνεται η απόδοση όσο και να αυξήσουμε την παροχή νερού.

Η απόδοση μίας κλιματιστικής μονάδας που τροφοδοτείται με νερό σχεδόν δεν επηρεάζεται από μικρές διακυμάνσεις της παροχής του νερού. Σφάλμα στην παροχή νερού κατά 20% είναι ασήμαντο.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ**

Το ίδιο δεν ισχύει για το δίκτυο με ψυκτικό υγρό. Στην περίπτωση που κυκλοφορεί ψυκτικό υγρό σε πολύ μεγαλύτερη ποσότητα της απαιτούμενης θα έχουμε σοβαρό πρόβλημα (π.χ. θα αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις στο συμπιεστή). Γι' αυτό, στις μεγάλες εγκαταστάσεις κλιματισμού, λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για τη μείωση της ποσότητας του ψυκτικού υγρού το χειμώνα, όπως π.χ. η τοποθέτηση δοχείου συγκέντρωσης του πλεονάζοντος ψυκτικού υγρού (receiver). Το σύστημα VRV φυσικά δεν αντιμετωπίζει τέτοιο πρόβλημα αφού καθορίζει την ποσότητα του κυκλοφορούντος υγρού, βάσει των πραγματικών αναγκών σε φορτίο οι οποίες διαμορφώνονται στο σύστημα την κάθε στιγμή της λειτουργίας του.

6-10. Η αντικατάσταση των χαλυβδοσωλήνων με χαλκοσωλήνες

Συχνά τα τελευταία χρόνια γίνονται τέτοιου είδους αντικαταστάσεις, λόγω παλαιότητας των χαλυβδοσωλήνων και συνήθως στη θέση τους μπαίνουν χαλκοσωλήνες. Τις περισσότερες φορές η αντικατάσταση γίνεται χωρίς μελέτη, από υδραυλικούς οι οποίοι δεν έχουν καμία απολύτως επιστημονική κατάρτιση. Έτσι, επειδή οι χαλκοσωλήνες έχουν μικρότερη αντίσταση στη ροή, νομίζουν ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν πολύ μικρότερο διάμετρο. Αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζονται φαινόμενα όπως ο σωλήνας 1" να αντικαθίσταται από χαλκοσωλήνα Φ18x1. Το δίκτυο αυτό δεν πρόκειται να λειτουργήσει σωστά.

Στην πραγματικότητα η διαφορά στη διάμετρο σιδηροσωλήνα και χαλκοσωλήνα που θα απαιτηθεί δεν είναι και τόσο μεγάλη, όπως μπορείτε να διαπιστώσετε συγκρίνοντάς τους στον πίνακα (6-5). Π.χ. ο σωλήνας 1", βαρέος τύπου έχει εσωτερική διάμετρο 25,4 mm και ο Φ28x1,5 έχει 25 mm. Όπως βλέπουμε στον πίνακα (6-5) δεν παρουσιάζουν ουσιώδεις διαφορές μεταξύ τους. Αν δοκιμάσουμε να αντικαταστήσουμε το σωλήνα 1" με τον αμέσως μικρότερο χαλκοσωλήνα Φ22x1, βλέπουμε ότι ο Φ22x1 είναι ανεπαρκής.

Για την αντικατάσταση, επειδή δεν υπάρχει πλήρης αντιστοίχιση χαλυβδοσωλήνων και χαλκοσωλήνων, θα πρέπει κανονικά να εκπονείται μελέτη

μηχανικού. Για γρήγορες λύσεις, σε μικρές ή μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις ή σε εγκαταστάσεις που δεν υπάρχουν τα σχέδια, μπορεί να εφαρμόζεται και ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 6-6: Αντικατάσταση χαλυβδοσωληνών με χαλκοσωλήνες

Χαλυβδοσωλήνας ονομαστικής διαμέτρου:	Αντικαθίσταται με χαλκοσωλήνα:
1/2"	οριακά με τον: 16 x 1 προτιμότερος: 18 x 1
3/4"	22 x 1
1"	28 x 1,5
1 1/4"	οριακά με τον: 35 x 1,5 προτιμότερος: 42 x 1,5
1 1/2"	42 x 1,5
2"	54 x 2
2 1/2"	76,1 x 2
3"	88,9 x 2

Επίσης, μετά από μία τέτοια αντικατάσταση, θα χρειαστεί να γίνει ρύθμιση του δικτύου. Θα πρέπει δηλαδή να προβλεφθούν οι κατάλληλες ρυθμιστικές βάνες, όπως θα δούμε παρακάτω.

6-11. Η ρύθμιση της παροχής των σωληνώσεων του νερού

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει κανείς όταν μελετάει ένα δίκτυο σωληνώσεων είναι η ρύθμιση των παροχών μέσα από την κάθε ΚΜ. Η ρύθμιση αυτή ονομάζεται **εξισορρόπηση**. Αυτό τον όρο θα τον συναντάτε από εδώ και πέρα συχνότατα, τόσο στο βιβλίο όσο και σε όλη σας την καριέρα. Ο ορισμός της εξισορρόπησης, για το κάθε δίκτυο, ανεξάρτητα από το ρευστό που χρησιμοποιείται (αέρας ή νερό ή ψυκτικό υγρό κλπ.), έχει ως εξής:

Εξισορρόπηση ενός δικτύου είναι η ρύθμιση της λειτουργίας του δικτύου κατά τρόπον ώστε το κάθε σημείο που παρέχει ψύξη ή θέρμανση να διαρρέεται από την ποσότητα ρευστού η οποία απαιτείται για να υπάρχει η επιθυμητή απόδοση.

Προφανώς θέμα εξισορρόπησης δεν υφίσταται στα δίκτυα VRV τα οποία είδαμε. Αυτά, κατά τον τρόπο που κατασκευάζονται, μάλλον θα χρειαζότουσαν προσπάθεια για να κατασκευαστούν ως ... μη εξισορροπημένα. Θέμα εξισορρόπησης υφίσταται όμως στα δίκτυα των σωληνώσεων νερού και ακόμη περισσότερο στα δίκτυα των αεραγωγών (στην εξισορρόπηση των αεραγωγών θα αναφερθούμε αργότερα σε άλλο κεφάλαιο).

Για την εξισορρόπηση ενός δικτύου **με νερό**, στην πράξη, χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι:

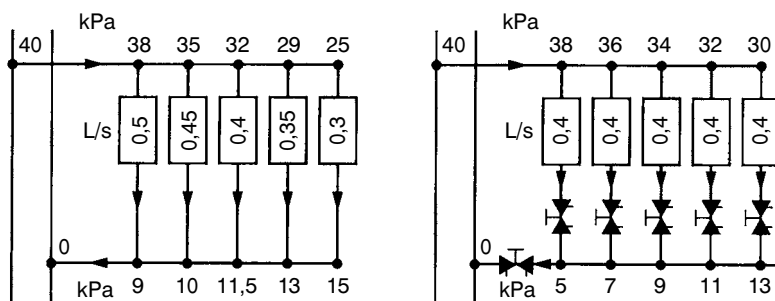
- Η χρησιμοποίηση ρυθμιστικών βανών
- Η επιλογή των ΚΜ βάσει της διερχόμενης παροχής νερού

Οι δύο μέθοδοι έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Υπάρχουν οι ένθερμοι οπαδοί της μίας ή της άλλης μεθόδου. Αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι και οι δύο τρόποι εξισορρόπησης καταλήγουν σε δίκτυα που λειτουργούν άψογα αρκεί αυτά να έχουν μελετηθεί σωστά και να έχουν υλοποιηθεί σωστά οι μελέτες. Αλλιώς, όποια μέθοδο εξισορρόπησης και αν εφαρμόσουμε, θα έχουμε προβλήματα στη λειτουργία.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ορισμένα βασικά στοιχεία σχετικά με το πώς γίνεται η εξισορρόπηση, ώστε να μπορείτε να εκτιμήσετε σε ποιες ενέργειες θα χρειαστεί να προβείτε, όταν βρεθείτε αντιμέτωπος με ένα δίκτυο που δεν λειτουργεί καλά λόγω απουσίας εξισορρόπησης. Ακόμη, θα πρέπει να είσαστε σε θέση να αναγνωρίζετε ένα εξισορροπημένο δίκτυο, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να το απορρυθμίσετε, πιθανόν εξαιτίας κάποιας άστοχης ενέργειας που θα μπορούσατε φυσικά να κάνετε, αν είχατε άγνοια.

6-12. Η εξισορρόπηση με απλές ρυθμιστικές βάνες

Για να αντιληφθούμε καλύτερα τι είναι η εξισορρόπηση, ας δούμε το σχήμα (6-15). Έστω ότι έχουμε ένα χώρο από γραφεία, όλα ακριβώς όμοια, όπου το καθένα έχει τις απαιτήσεις που αναφέραμε στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου. Οπότε η επιθυμητή παροχή μέσω του καθενός εξ αυτών θα είναι $Q = 0,4 \text{ L/s}$. Θα έχουμε έναν κλάδο με 5 ΚΜ, όπως φαίνεται στο σχήμα (6-15).



Σχήμα 6-15: Δίκτυο με 5 ακριβώς όμοιες ΚΜ, με επιθυμητή παροχή στην καθεμία $0,4 \text{ L/s}$ (Α) Λειτουργία χωρίς εξισορρόπηση (Β) Λειτουργία με εξισορρόπηση.

Δυστυχώς όμως η φύση δεν φαίνεται και πολύ διατεθειμένη να ικανοποιήσει τις επιθυμίες μας για παροχή $0,4 \text{ L/s}$ σε όλες τις ΚΜ και έχει θέσει τους δικούς της, περίπλοκους κανόνες. Στην περίπτωση (Α) του σχήματος (6-15) βλέπουμε τι περίπου θα συμβεί (οι αριθμοί είναι ενδεικτικοί, χάρη του παραδείγματος). Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι έχουμε δίκτυο **μη εξισορροπημένο**. Π.χ., βλέπουμε ότι η πρώτη ΚΜ παρουσιάζει πίεση στην είσοδο 38 kPa και στην έξοδο 9 kPa , δηλαδή πτώση πίεσης 29 kPa ενώ διαρρέεται από παροχή νερού $0,5 \text{ L/s}$. Αντίθετα, η τελευταία παρουσιάζει πτώση πίεσης $25 - 15 = 10 \text{ kPa}$ και διαρρέεται από παροχή νερού $0,3 \text{ L/s}$.

Οι αποκλίσεις αυτές στην παροχή του νερού δεν δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα στην απόδοση του συγκεκριμένου κλάδου, βάσει όσων αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η διαφορά στην απόδοση μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας ΚΜ δεν αναμένεται πάνω από 10% . Ως εκ τούτου θα μπορούσε να πει κανείς ότι, για το συγκεκριμένο δίκτυο, δεν είναι και τόσο απαραίτητο να κάνουμε εξισορρόπηση. Αν όμως ήταν οι αποκλίσεις μεγαλύτερες, ή αν οι διαφορές αυτές είχαν σημασία για τη συ-

γκεκριμένη εφαρμογή, θα έπρεπε να τις αντιμετωπίσουμε, δημιουργώντας πρόσθετες αντιστάσεις σε κάθε ΚΜ, δημιουργώντας δηλαδή ένα **εξισορροπημένο** δίκτυο.

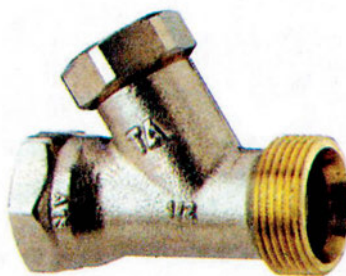
Στην περίπτωση (Β) του σχήματος (6-15) βλέπουμε το ίδιο δίκτυο, αλλά αυτή τη φορά εξισορροπημένο. Τοποθετήθηκαν οι κατάλληλες βάνες οι οποίες ρυθμίστηκαν στις κατάλληλες θέσεις. Όλες οι ΚΜ διαρρέονται από την ίδια παροχή νερού, που είναι 0,4 L/s και έχουν την ίδια απόδοση.

6-13. Οι απλές ρυθμιστικές βάνες¹

Η εξισορρόπηση γίνεται με ειδικές βάνες που ονομάζονται «**ρυθμιστικές**» όπως αυτή που φαίνεται σε τομή στο σχήμα (6-16). Η βάνα του σχήματος (6-16) ρυθμίζεται βάσει ενός συντελεστή που αναφέρεται στη μελέτη και ο οποίος ονομάζεται K_v . Ο συντελεστής αυτός, στο σύστημα SI, δίδεται από τη σχέση:

$$K_v = 36 \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}} \quad (6-5)$$

Αριθμός στροφών	K_v
0.3	0.022
0.5	0.035
0.75	0.07
1	0.105
1.25	0.165
1.5	0.25
1.75	0.33
2	0.44
2.25	0.55
2.5	0.78
*)	0.9



Σχήμα 6-16: Ρυθμιστική βάνα εξισορρόπησης. Η βάνα αυτή ρυθμίζεται βάσει ενός συντελεστή που ονομάζεται K_v και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της θέσης ρύθμισης.

Τα Q και Δp είναι σε τυπικές μονάδες (L/s και kPa). Η τιμή του K_v δεν εξαρτάται από το σύστημα μονάδων στο οποίο δουλεύουμε. Παρ' όλον ότι το κάθε σύστημα έχει τον δικό του τύπο, αντίστοιχο με τον (6-5), ο οποίος ισχύει μόνο στο σύστημα SI, η τελική αριθμητική τιμή που προκύπτει για το K_v είναι πάντοτε η ίδια.

¹ Το κεφάλαιο αυτό μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος.

Η τιμή του K_v όταν η βάνα είναι τελείως ανοικτή ονομάζεται K_{vs} . Προφανώς κάθε βάνα έχει μία και μοναδική τιμή του K_{vs} . Π.χ. η βάνα του σχήματος (6-16) παρουσιάζει $K_{vs} = 0,9$.

Ο ορισμός του K_v έχει τις ρίζες του στην εποχή που επικρατούσε το μετρικό σύστημα μονάδων (που σήμερα σχεδόν έχει εξαφανιστεί). Γι' αυτό, ο τύπος υπολογισμού στο μετρικό σύστημα ήταν ο ίδιος με τον (6-5), αλλά χωρίς τον παράξενο συντελεστή «36». Στο σύστημα SI υπάρχει ένας άλλος αντίστοιχος συντελεστής που ονομάζεται A_v και ο οποίος προκύπτει από τη σχέση υπολογισμού²:

$$A_v = 1000 \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}} \quad (6-6)$$

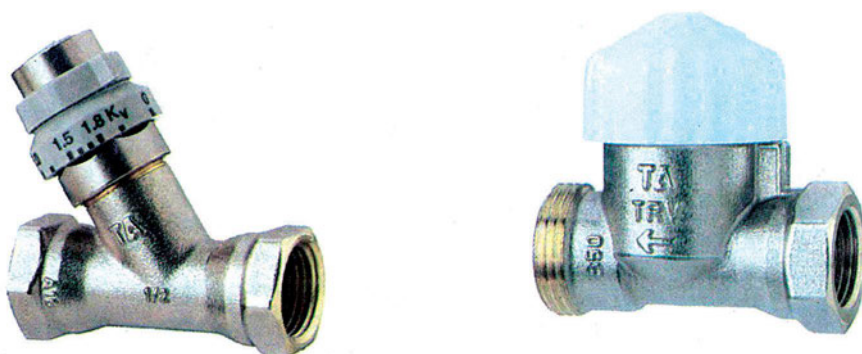
Προφανώς η σχέση που συνδέει τα A_v και K_v είναι η εξής:

$$K_v = 0,036 \times A_v \quad (6-7)$$

Δεν θα επεκταθούμε περισσότερο, επειδή η χρήση του συντελεστή A_v είναι ακόμη αρκετά περιορισμένη.

Βάσει του συντελεστή K_v , (οι τιμές του αναγράφονται στη μελέτη) και από πίνακες ή διαγράμματα του κατασκευαστή των βανών, ο τεχνικός που θα κάνει τη ρύθμιση βρίσκει σε ποια θέση θα πρέπει να τοποθετήσει τη ρύθμιση. Αυτό φυσικά, για να γίνει σωστά, προϋποθέτει μία πολύ σωστή μελέτη που να συμφωνεί απόλυτα με το δίκτυο που τελικά θα εκτελεστεί.

Στο σχήμα (6-16) βλέπουμε και άλλους τύπους βανών εξισορρόπησης. Η βάνα της περίπτωσης (Α) του σχήματος δεν χρειάζεται να συνοδεύεται από διάγραμμα. Έχει τον K_v χαραγμένο απευθείας επάνω της.



Σχήμα 6-17: Διαφορετικοί τύποι βανών εξισορρόπησης.

² Η ASHRAE, στο σύστημα SI, χρησιμοποιεί το συντελεστή A_v .



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Θέλουμε σε έναν κλάδο δικτύου που διαρρέεται από παροχή $Q = 0,1 \text{ L/s}$ να δημιουργήσουμε πτώση πίεσης $\Delta p = 70 \text{ kPa}$. Να υπολογιστεί η τιμή του K_v . Επίσης από το διάγραμμα του σχήματος (6-16) να επιλεγεί η ρύθμιση της βάνας.

Βάσει της σχέσης (6-5) έχουμε:

$$K_v = 36 \frac{0,1}{\sqrt{70}} = 0,43$$

Από το διάγραμμα του σχήματος (6-16) βρίσκουμε 2 στροφές. Για να ρυθμιστεί η βάνα, **πρώτα θα πρέπει να ανοιχτεί τελείως** και μετά να γυρίσει (να κλείσει) κατά 2 στροφές.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

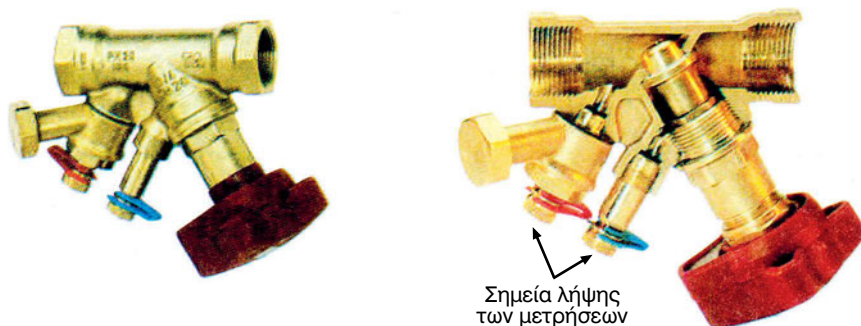
Ποτέ δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιείται μία ρυθμιστική βάνα και σαν βάνα ανοίγματος-κλεισίματος, επειδή, αν της αλλάξουμε θέση ρύθμισης, θα απορρυθμιστεί το δίκτυο. Και ο μεγαλύτερος κίνδυνος σε εξισορροπημένο δίκτυο είναι η απορρύθμισή του. Γι' αυτό πρέπει:

- Να χρησιμοποιούνται ξεχωριστές βάνες για το άνοιγμα και το κλείσιμο της ροής στην κάθε ΚΜ ή
- Να χρησιμοποιούνται βάνες διπλής ρύθμισης οι οποίες έχουν μία εσωτερική ρύθμιση που μόνο ο τεχνικός μπορεί να την αλλάξει και μία εξωτερική που μπορεί να τη ρυθμίσει ο χρήστης όπως θέλει (συνήθως ο χρήστης την έχει τελείως ανοιχτή και την κλείνει μόνο σε περίπτωση διαρροής νερού από την ΚΜ).

6-14. Η εξισορρόπηση με ρυθμιστικές βάνες και ειδικό όργανο³

Εκτός από την απλή ρυθμιστική βάνα του σχήματος, υπάρχουν βάνες που μπορούν να μετρηθούν οι πιέσεις και οι παροχές και να ρυθμιστούν. Η βάνα του σχήματος (6-18) έχει τις κατάλληλες υποδοχές για τη μέτρηση της πτώσης πίεσης και της παροχής

³ Το κεφάλαιο αυτό μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος.



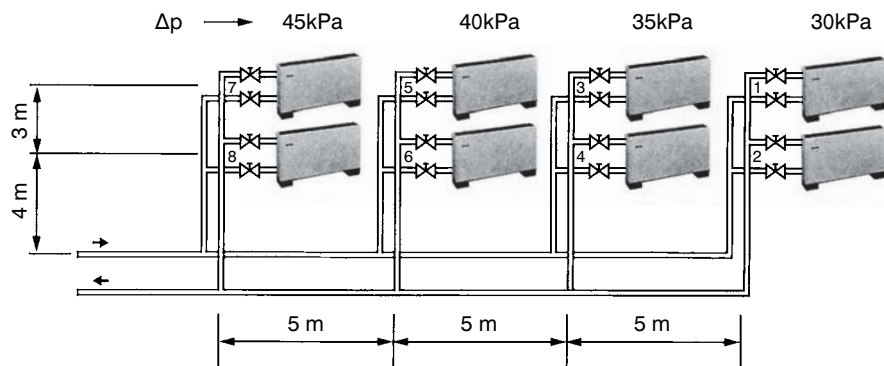
Σχήμα 6-18: Ρυθμιστική βάνα εξισορρόπησης με αναμονές για τη ρύθμισή της βάσει ειδικού οργάνου.

Σ' αυτές τις βάνες δεν υπάρχει θέμα προσδιορισμού κάποιου συντελεστή όπως είναι ο K_v για τις απλές ρυθμιστικές βάνες (αν και αυτές οι βάνες διαθέτουν πίνακες με τις τιμές του K_v). Ούτε υπάρχει ο κίνδυνος να μη ρυθμιστεί σωστά το δίκτυο εξαιτίας των διαφορών που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ της μελέτης και της κατασκευής. Η μελέτη γίνεται εξαιρετικά εύκολη και απλή. Ο μελετητής δεν έχει παρά να διαλέξει τις απαιτούμενες διατομές, βάσει των επιθυμητών παροχών του νερού, και να υπολογίσει την πτώση πίεσης του δυσμενέστερου κλάδου. Η αντλία που θα επιλέξει αρκεί να είναι λίγο μεγαλύτερη σε μανομετρική πίεση (10% συνήθως αρκεί) για να υπάρχουν τα περιθώρια ρύθμισης. Τα υπόλοιπα είναι εργασία που θα γίνει επί τόπου, με τη ρύθμιση του δικτύου.

Οι ρυθμίσεις συνήθως γίνονται από κατάλληλα εκπαιδευμένο τεχνικό, με το κατάλληλο όργανο. Οι εταιρείες που διαθέτουν τέτοιες βάνες διαθέτουν τα κατάλληλα όργανα και το εξειδικευμένο προσωπικό για να ρυθμίσουν το δίκτυο. Το μόνο που έχει να κάνει ο κατασκευαστής του δικτύου είναι να προβλέψει να τοποθετήσει τις ρυθμιστικές βάνες. Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης δεν έχει παρά να καλέσει την εταιρεία για να του τις ρυθμίσει.

6-15. Η εξισορρόπηση με την επιλογή των κατάλληλων ΚΜ

Με τη μέθοδο αυτή ενεργούμε εντελώς αντίστροφα από ό,τι στη ρύθμιση μέσω βανών. Το σκεπτικό περίπου έχει ως εξής: «αντί να υπολογίσουμε την επιθυμητή παροχή σε κάθε σημείο του δικτύου και να την επιτύχουμε με τις ρυθμιστικές βάνες, το αφήνουμε να λειτουργήσει όπως εκείνο θέλει και προσαρμόζουμε τις ΚΜ στη διερχόμενη παροχή».



Σχήμα 6-19: Παράδειγμα εξισορρόπησης με επιλογή των κατάλληλων ΚΜ.

Η διαδικασία ρύθμισης ενός δικτύου με την επιλογή των κατάλληλων ΚΜ απεικονίζεται στο σχήμα (6-19). Οι κλιματιστικές μονάδες παρουσιάζουν διαφορετικές πτώσεις πίεσης μεταξύ τους, αλλά επιλέγονται έτσι ώστε να έχουν την επιθυμητή απόδοση με την παροχή νερού που αντιστοιχεί σ' αυτήν την πτώση πίεσης. Η πτώση πίεσης είναι ανάλογη του τετραγώνου της παροχής. Έτσι όταν μία ΚΜ παρουσιάζει Δp_1 με αντίστοιχη παροχή Q_1 , και μία άλλη ακριβώς όμοια παρουσιάζει Δp_2 με αντίστοιχη παροχή Q_2 , ισχύει η σχέση.

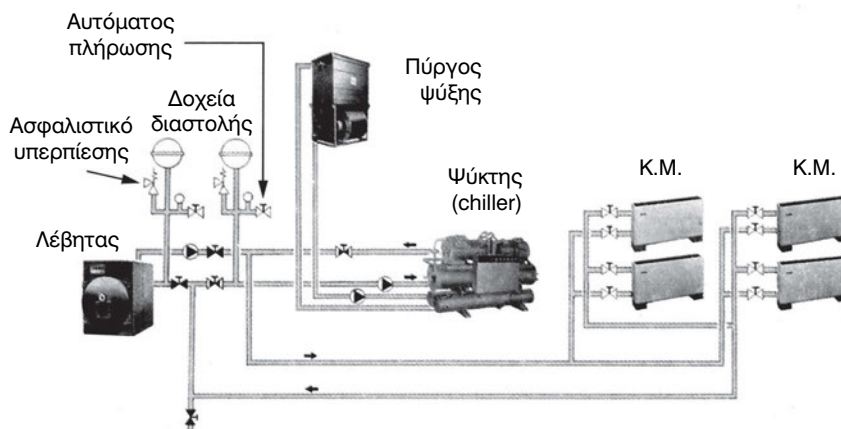
$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \quad (6-8)$$

Η μέθοδος εξισορρόπησης με την επιλογή των κατάλληλων ΚΜ παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι δεν έχει ρυθμιστικές βάνες και ούτε φυσικά τον κίνδυνο απορρύθμισης. Παρουσιάζει όμως και ένα σοβαρό μειονέκτημα: ότι δεν μπορούμε παντού να έχουμε το ιδανικό Δt όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τη σχέση (6-3), αφού τα q_t και Q_w είναι ήδη προκαθορισμένα. Κατά συνέπεια, υπάρχει το ενδεχόμενο να έχουμε μεγαλύτερες παροχές στο δίκτυο, άρα και μεγαλύτερες διαμέτρους σωληνώσεων.

Ολοκληρώνοντας τα συστήματα ρύθμισης θα πρέπει να πούμε ότι το καθένα έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Το σύστημα που εφαρμόζεται εξαρτάται από την περίπτωση του δικτύου αλλά κυρίως από τις προτιμήσεις που έχει ο κάθε μηχανικός για το ένα ή το άλλο σύστημα.

6-16. Η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός δικτύου σωληνώσεων νερού

Στα σχήματα (6-20) και (6-21) βλέπουμε την τυπική διάταξη των δικτύων σωληνώσεων με νερό.



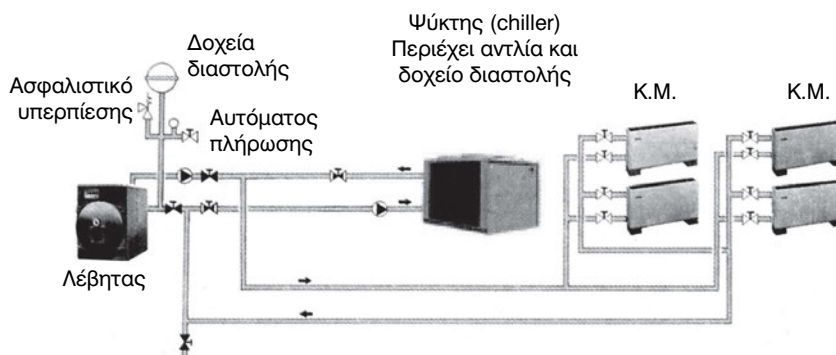
Σχήμα 6-20: Το δίκτυο νερού σε υδρόψυκτο σύστημα.

Το σχήμα (6-20) απεικονίζει το υδρόψυκτο σύστημα. Το σύστημα αυτό έχει σχεδόν σταθερή απόδοση, κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες και σε περιόδους ισχυρού καύσωνα τα συστήματα αυτά έδειξαν την αξία τους. Επίσης καταναλώνει λιγότερη ενέργεια⁴. Χρειάζεται όμως περισσότερη συντήρηση και κάποιον εσωτερικό χώρο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού. Αυτά τα μειονεκτήματα είναι η αιτία που η χρήση του είναι σχετικά περιορισμένη. Ακόμη έχει το μειονέκτημα ότι καταναλώνει νερό, το οποίο εξατμίζεται στους πύργους ψύξης. Και το νερό μπορεί να είναι πολύτιμο στην περιοχή που εφαρμόζεται το σύστημα, ίσως πιο πολύτιμο και από αυτήν την ενέργεια.

Το κλασικό υδρόψυκτο σύστημα, όπως αυτό του σχήματος (6-20), έχει τον ψύκτη νερού καθώς και κάθε άλλο εξοπλισμό, πλην του πύργου ψύξης, εγκατεστημένο σε ένα χώρο που ονομάζεται «ψυχροστάσιο» ή «μηχανοστάσιο». Ο πρώτος όρος είναι σχετικά πρόσφατος, αλλά τείνει τα τελευ-

4 Ο Υπουργική απόφαση 21475/4707 (ΦΕΚ Β880/98), μεταξύ των δυνατών τρόπων για την εξοικονόμηση ενέργειας ενδεικτικά αναφέρει και τη μετατροπή των ψυκτών από αερόψυκτους σε υδρόψυκτους (άρθρο 7, παράγραφος 2, περίπτωση θ)

ταία χρόνια να επικρατήσει, επειδή ο όρος μηχανοστάσιο χρησιμοποιείται και για το χώρο των μηχανημάτων του ανελκυστήρα. Η χρήση διαφορετικών όρων επιτρέπει να γίνεται διάκριση.



Σχήμα 6-21: Το δίκτυο νερού σε αερόψυκτο σύστημα.

Το αερόψυκτο συγκρότημα παραγωγής ψυχρού νερού, του σχήματος (6-21) είναι πολύ απλούστερο και δεν χρειάζεται να του διατεθεί εσωτερικός χώρος για την εγκατάσταση κεντρικού εξοπλισμού. Όλος ο σχετικός εξοπλισμός είναι στην ταράτσα. Το μεγάλο του μειονέκτημα είναι ότι όσο ο αέρας γίνεται θερμότερος τόσο η αποδιδόμενη ισχύς του μειώνεται. Επίσης ο COP (Confidence of perfomance = συντελεστής απόδοσης) είναι χαμηλότερος από ό,τι στο αντίστοιχο υδρόψυκτο σύστημα.

Εκτός από τα δύο αυτά συστήματα υπάρχει και το αερόψυκτο που είναι κατασκευασμένο όπως ακριβώς το υδρόψυκτο, δηλαδή με όλο τον εξοπλισμό εσωτερικό, μέσα σε κάποιο ψυκροστάσιο, αλλά αντί για πύργο ψύξης έχει αερόψυκτο συμπυκνωτή που βρίσκεται εγκατεστημένος στην ταράτσα. Για το πώς είναι διαμορφωμένο ένα τέτοιο σύστημα μπορείτε να δείτε το εξώφυλλο του βιβλίου σας.

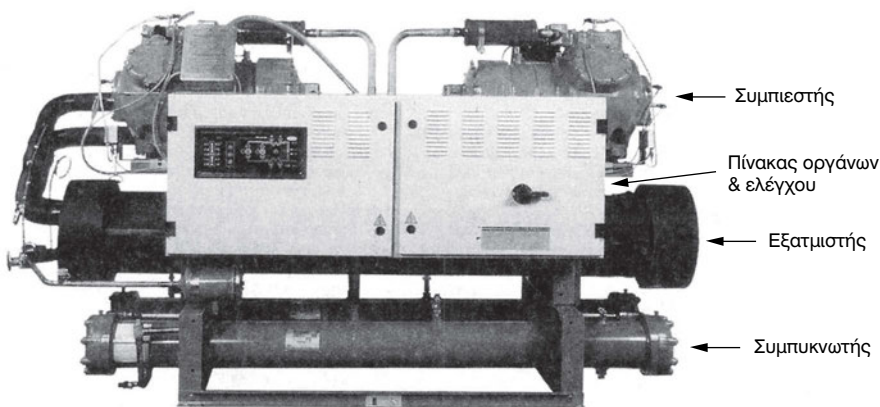
6-17. Το υδρόψυκτο σύστημα

Στο υδρόψυκτο σύστημα υπάρχουν δύο κυκλώματα νερού, σαφώς διαχωρισμένα μεταξύ τους, όπως βλέπουμε στο σχήμα (6-20):

- (1) Των κλιματιστικών μονάδων, το οποίο είναι **κλειστό** κύκλωμα.
- (2) Των πύργων ψύξης, το οποίο είναι **ανοικτό** κύκλωμα.

Τα κύρια εξαρτήματα ενός υδρόψυκτου συστήματος, τα οποία απεικονίζονται πολύ συνοπτικά στο σχήμα (6-20), είναι τα εξής:

- (1) Ο ψύκτης νερού (chiller), την τυπική μορφή του οποίου τη βλέπουμε στο σχήμα (6-22). Τα κύρια μέρη ενός ψύκτη νερού είναι ο συμπιεστής, ο εξατμιστής, ο συμπυκνωτής και ο πίνακας οργάνων. Ο συμπιεστής και ο εξατμιστής ονομάζονται επίσης εναλλάκτες θερμότητας και θα αναφερθούμε σ' αυτούς στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

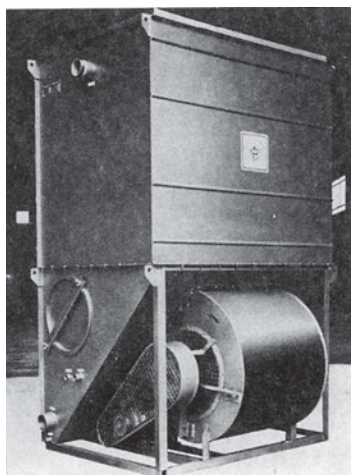
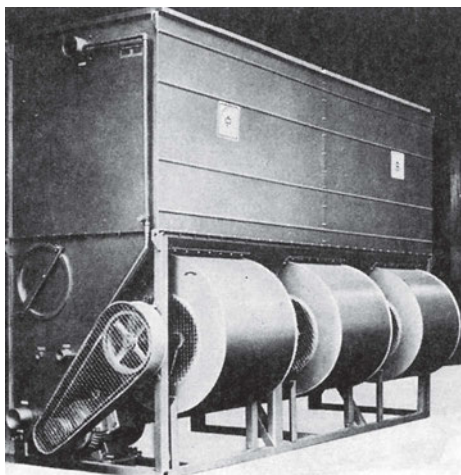


Σχήμα 6-22: Ο ψύκτης νερού (chiller)

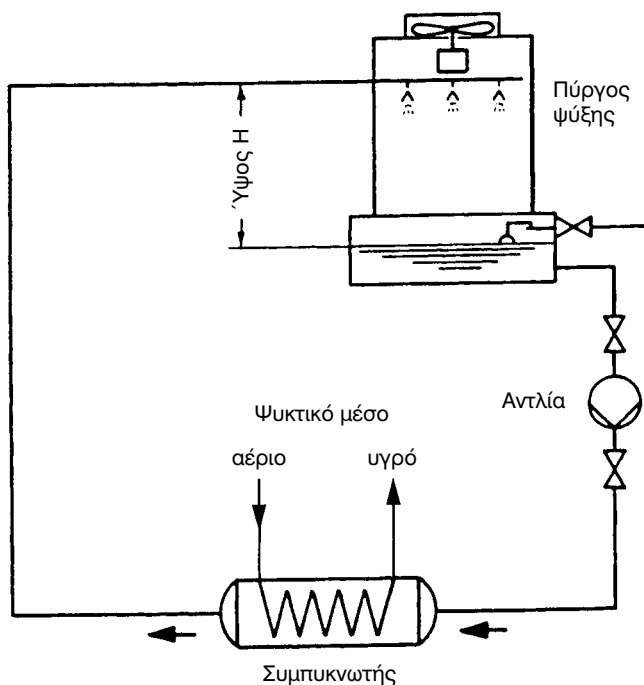
- (2) Ο πύργος ψύξης, που βρίσκεται στην ταράτσα ή σε κάποιον άλλο ανοικτό χώρο. Πύργους ψύξης βλέπουμε στο σχήμα (6-23)⁵. Το νερό του κυκλώματος των πύργων ψύξης είναι πολύ βρώμικο επειδή πρόκειται για ανοικτό κύκλωμα, και ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται ο πύργος, μπορεί να είναι γεμάτο από σκόνες, λάσπη, νεκρά έντομα, κομμάτια πλαστικό που έχουν αποσπαστεί από τις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας κ.λπ. Επίσης υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση αλάτων λόγω της εξάτμισης. Το ότι το νερό αυτό είναι πολύ βρώμικο να το θυμόμαστε, θα επανέλθουμε αρκετές φορές σ' αυτό το κύκλωμα, επειδή χρειάζεται ειδική αντιμετώπιση.

Ο τρόπος συνεργασίας του πύργου ψύξης με τον ψύκτη νερού φαίνεται στο σχήμα (6-24). Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ ψυκτικού υγρού και του νερού του πύργου ψύξης γίνεται μέσα, σε ένα εξάρτημα που ονομάζεται συμπυκνωτής. Στο σχήμα (6-22), φαίνονται ποιοι είναι οι συμπυκνωτές.

⁵ Η περιγραφή των πύργων ψύξης ανήκει στη διδακτέα ύλη της τεχνολογίας της ψύξης, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών.

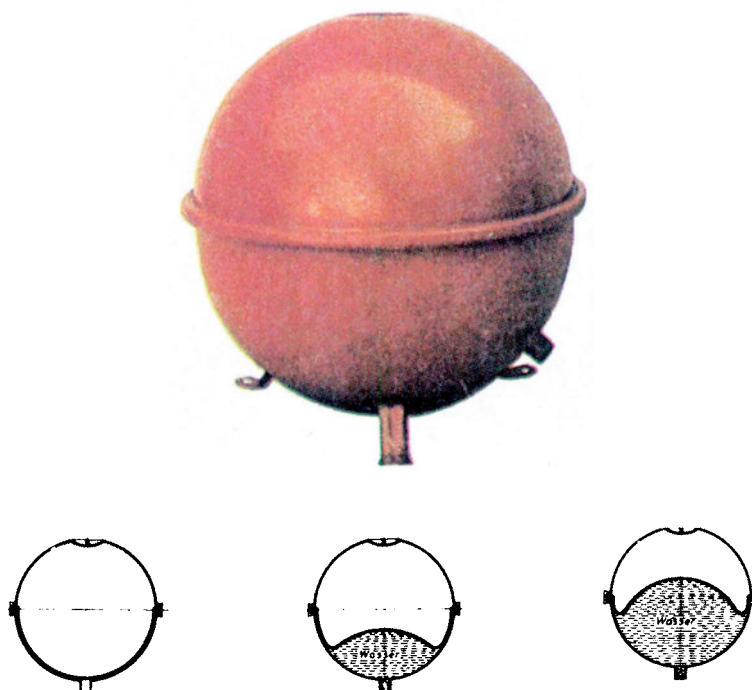


Σχήμα 6-23: Πύργοι ψύξης



Σχήμα 6-24: Το κύκλωμα νερού του πύργου ψύξης. Το κύκλωμα είναι ανοικτό, γι' αυτό το νερό είναι πολύ βρώμικο.

- (3) Τα δοχεία διαστολής, τα οποία προορίζονται για να παραλαμβάνουν τις διαστολές και τις συστολές του νερού και φαίνονται στο σχήμα (6-25).



Σχήμα 6-25: Δοχείο διαστολής

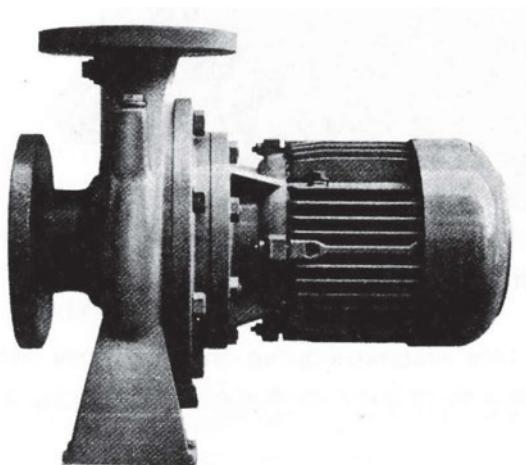
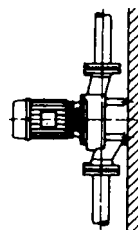
- (4) Ο λέβητας για την παραγωγή θερμού ύδατος.
- (5) Οι αντλίες νερού, οι οποίες μπορεί να είναι inline ή bloc ή αντλητικά συγκροτήματα. Οι αντλίες inline και οι bloc είναι ακριβότερες και αφαιρούνται δυσκολότερα σε περίπτωση βλάβης, καταλαμβάνουν όμως περιορισμένο χώρο και δεν χρειάζονται ευθυγράμμιση του άξονα του κινητήρα με τον άξονα της αντλίας. Αντίθετα, τα αντλητικά συγκροτήματα είναι φθηνότερα, πιο εύχρηστα και πιο εύκολα στη συντήρηση, αλλά χρειάζονται περισσότερο χώρο και θα πρέπει, για να λειτουργήσουν σωστά, να είναι ευθυγραμμισμένα. Στην ευθυγράμμιση θα αναφερθούμε αναλυτικά στο κεφάλαιο της συντήρησης του ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ.

Η αντλία inline φαίνεται στο σχήμα (6-26). Αυτού του τύπου οι αντλίες τοποθετούνται απευθείας πάνω στο σωλήνα, όπως βλέπουμε στο σχήμα, στο οποίο διακρίνουμε επίσης τους σωστούς τρόπους τοποθέτησης.

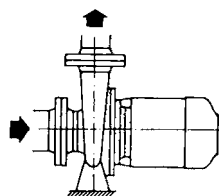
Στο σχήμα (6-26) φαίνεται και η αντλία bloc. Αυτή τοποθετείται όπως ένα αντλητικό συγκρότημα και δεν χρειάζεται ευθυγράμμιση.



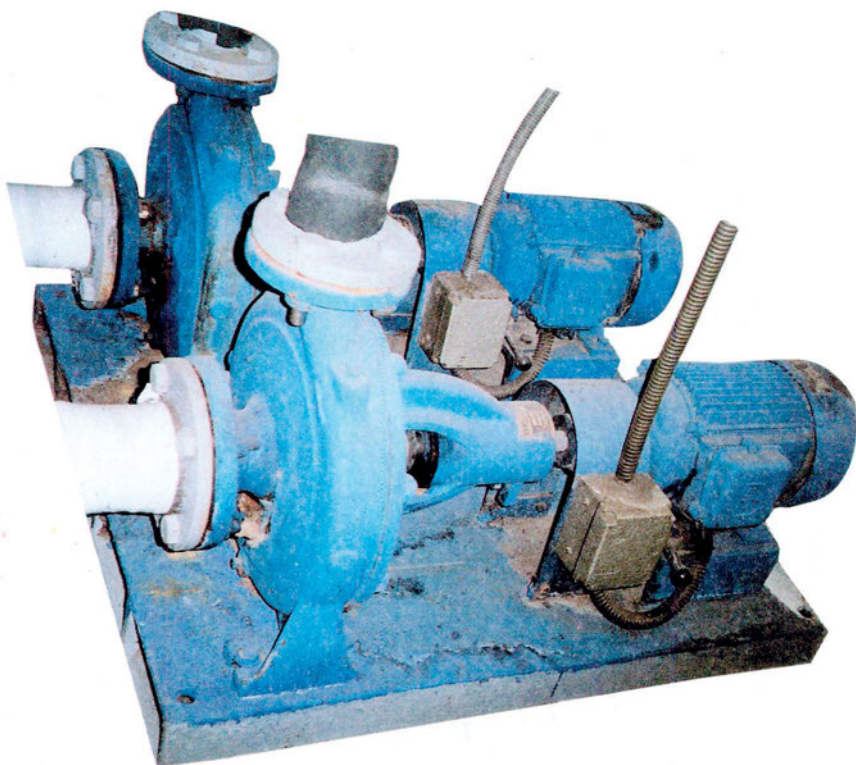
(A)



(B)



Σχήμα 6-26: (A) Αντλία *inline* (B) αντλία *bloc*



Σχήμα 6-27: Αντλητικά συγκροτήματα σε λειτουργία.

Το αντλητικό συγκρότημα είναι κατασκευασμένο όπως φαίνεται στο σχήμα (6-27), όπου η αντλία και ο κινητήρας είναι δύο ανεξάρτητα κομμάτια.

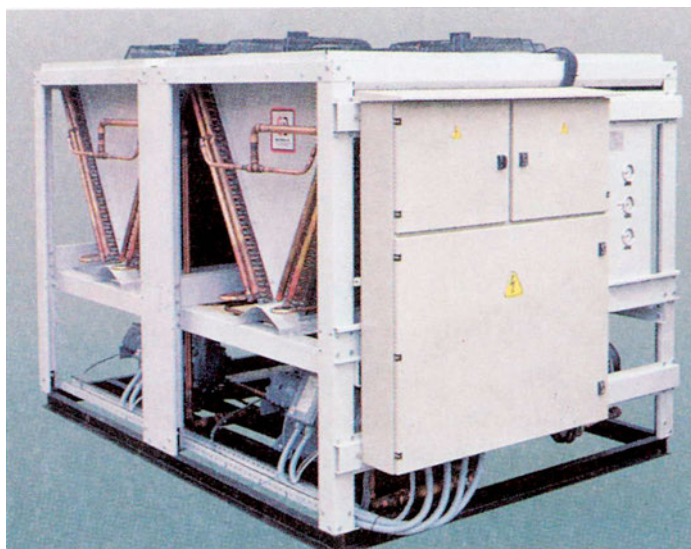
6-18. Το αερόψυκτο σύστημα

Το αερόψυκτο σύστημα συνήθως περιλαμβάνει ένα αερόψυκτο συγκρότημα που μπορεί μέσα στο μεταλλικό του κέλυφος να περιέχει τα πάντα. Συχνά θα βρούμε σ' αυτό να υπάρχουν αντλίες καθώς και το δοχείο διαστολής. Είναι ένα πλήρες ψυκροστάσιο που τοποθετείται στην ταράτσα, οπότε δεν καταλαμβάνει καθόλου ωφέλιμο χώρο.



Σχήμα 6-28: Αερόψυκτο συγκρότημα, κλειστό σε μεταλλική κατασκευή.

Στα σχήματα (6-28) και (6-29) βλέπουμε δύο αερόψυκτα συγκροτήματα. Εκτός από το συγκρότημα μπορεί να υπάρχει σε άλλο χώρο, μέσα στο κτίριο, το λεβητοστάσιο με το λέβητα και όλο τον υπόλοιπο εξοπλισμό (αντλίες, δοχείο διαστολής κλπ). Όμως συχνά αυτά τα συγκροτήματα είναι και αντλίες θερμότητας, οπότε δεν χρειάζεται να υπάρχει λεβητοστάσιο.



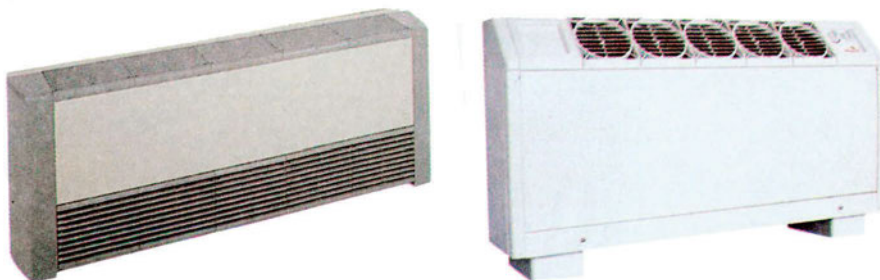
Σχήμα 6-29: Αερόψυκτο συγκρότημα, τελείως ανοικτό.

Σπανιότερα συναντάμε το αερόψυκτο συγκρότημα στο οποίο ο συμπυκνωτής και το κυρίως μηχανήμα που ψύχει το νερό (ψύκτης) είναι μακριά το ένα από το άλλο. Ο συμπυκνωτής τοποθετείται στην ταράτσα του κτιρίου και ο ψύκτης στο ψυχοστάσιο. Η εικόνα του ψυχοστασίου δεν διαφέρει καθόλου από αυτή του υδρόψυκτου συγκροτήματος. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο ψύκτης δεν διαθέτει ενσωματωμένο συμπυκνωτή και ότι στην ταράτσα, αντί για τον πύργο ψύξης υπάρχει ο συμπυκνωτής.

6-19. Οι κλιματιστικές μονάδες που συνδέονται στο δίκτυο των σωληνώσεων με νερό

Το δίκτυο σωληνώσεων με νερό σκοπό έχει την τροφοδοσία των κλιματιστικών μονάδων (ΚΜ). Αναλυτικά θα αναφερθούμε στις ΚΜ αργότερα, σε επόμενο κεφάλαιο. Οι ΚΜ είναι βασικά τριών ειδών:

- Οι τοπικές ή Fan Coil Units (FCU) όπως αυτές που φαίνονται στο σχήμα (6-30). Τα FCU υπάρχουν και σε πολλές ακόμη μορφές ή παραλλαγές (τοίχου, οροφής, κρυφής τοποθέτησης, κονσόλας, κασέτας ψευδοροφής κλπ.).



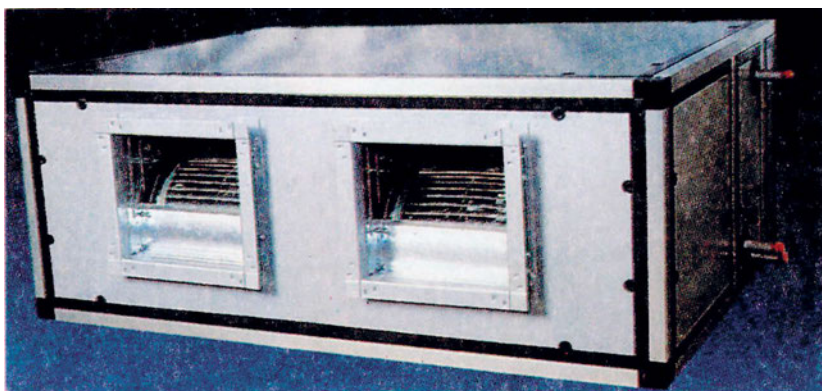
Σχήμα 6-30: Η πλέον συνηθισμένη μορφή των Fan Coil Units (FCU).

- Οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (ΚΚΜ) που είναι όπως στο σχήμα (6-31) και αποτελούν περίπλοκα και βαριά συγκροτήματα, με μεγάλη ποικιλία εξοπλισμού.



Σχήμα 6-31: Κεντρική κλιματιστική μονάδα (KKM).

- Τα ενδιάμεσα μεγέθη των δύο παραπάνω που συνήθως ονομάζονται ημικεντρικές ή καναλάτες μονάδες και φαίνονται στο σχήμα (6-32). Ουσιαστικά πρόκειται για μεγάλα FCU που συνδέονται με αεραγωγούς και για τις οποίες δεν υπάρχει όνομα κοινώς αποδεκτό. Ο κάθε κατασκευαστής τους δίνει διαφορετικό όνομα.

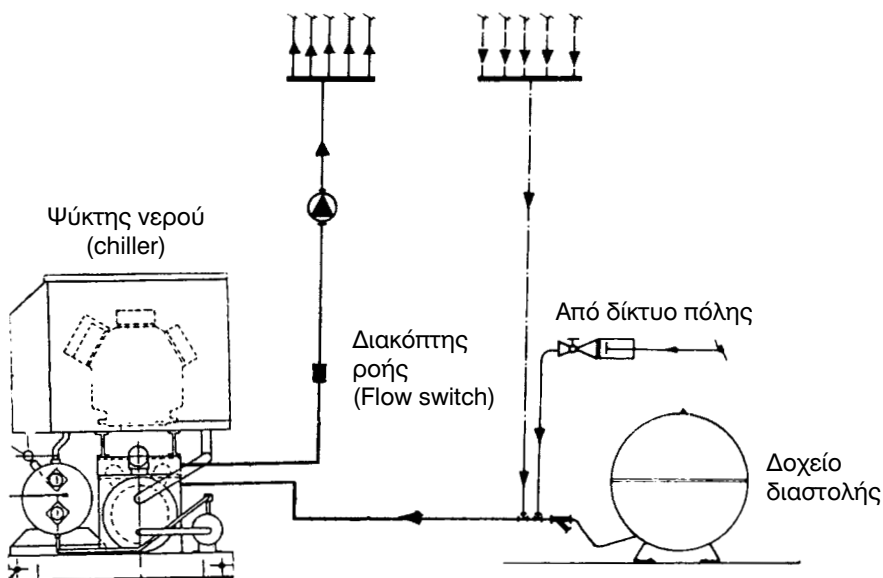


Σχήμα 6-32: Ημικεντρική κλιματιστική μονάδα ή καναλάτη KM.

Λεπτομερώς θα αναφερθούμε στον κάθε τύπο KM αρκετά αργότερα σε μεταγενέστερο κεφάλαιο. Χρειάζεται να πούμε πολλά ακόμη πριν αυτές γίνουν πλήρως αντιληπτές. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι αρκετά περίπλοκος και θα χρειαστούν επιπλέον γνώσεις για να γίνει κατανοητός. Η βαθιά γνώση των KM αποτελεί προϋπόθεση για να θεωρείται κάποιος γνώστης της τεχνολογίας του κλιματισμού.

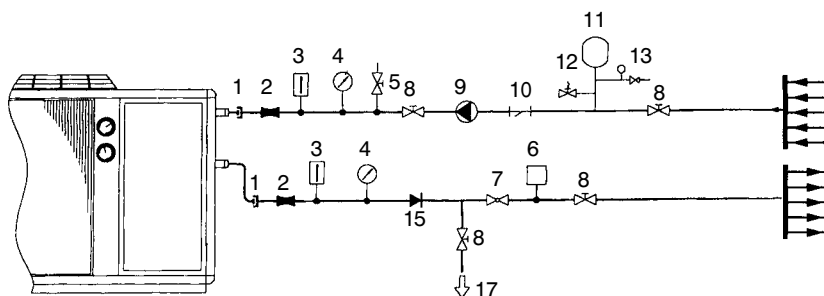
6-20. Η σύνδεση του συγκροτήματος παραγωγής ψυχρού νερού με το δίκτυο

Στα σχήματα που ακολουθούν θα αναφερθούμε πολύ συνοπτικά σε μερικούς δυνατούς τρόπους σύνδεσης. Δεν θα κάνουμε πολλά σχόλια. Τα αφήνουμε να σχολιαστούν σαν άσκηση, μέσα στην τάξη, σε συνεργασία με τον καθηγητή. Οι τρόποι σύνδεσης που φαίνονται στα σχήματα μπορούν να υλοποιηθούν είτε με υδρόψυκτο είτε με αερόψυκτο συγκρότημα, ανεξάρτητα από το είδος του συγκροτήματος που απεικονίζεται. Οι δυνατές διατάξεις είναι οι εξής:



Σχήμα 6-33: Η απλούστερη δυνατή διάταξη σύνδεσης του δικτύου των σωληνώσεων στο συγκρότημα παραγωγής ψυχρού νερού.

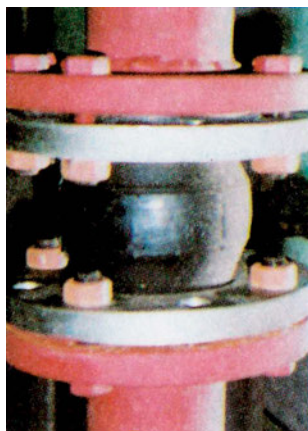
- Το τελείως απλό σύστημα που φαίνεται στο σχήμα (6-33). Περιλαμβάνει τα απολύτως αναγκαία για να λειτουργήσει. Τι προβλήματα βλέπετε ότι θα μπορούσαν να δημιουργηθούν; Θα απαντήσετε αφού μελετήσετε και τις επόμενες διατάξεις.



- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Αντικραδασμικός σύνδεσμος | 8. Βάνα αποκοπής |
| 2. Διαστολικός σύνδεσμος | 9. Αντλία νερού |
| 3. Θερμόμετρο | 10. Φίλτρο νερού |
| 4. Μανόμετρο | 11. Δοχείο διαστολής |
| 5. Βάνα εξαερισμού | 12. Βαλβίδα ασφαλείας |
| 6. Διακόπτης ροής | 13. Αυτόματος πίεσης |
| 7. Βάνα ρύθμισης ροής | 14. Αποχέτευση |
| | 15. Βάνα αντεπιστροφής |

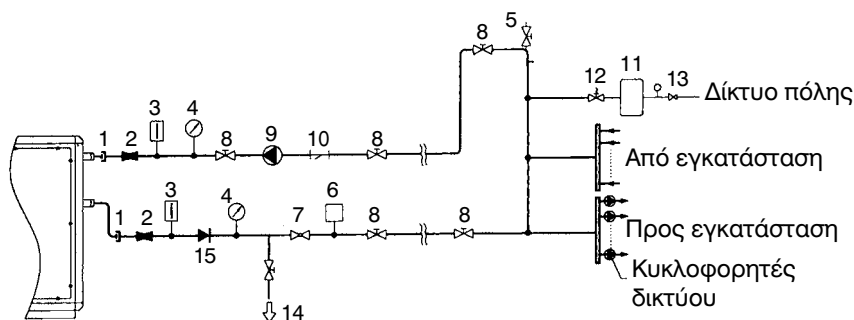
Σχήμα 6-34: Μία απλή διάταξη σύνδεσης με όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό.

- Ένα απλό σύστημα που περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα όργανα φαίνεται στο σχήμα (6-34). Όλα τα εξαρτήματά του θα πρέπει να σας είναι γνωστά εκτός από τον αντικραδασμικό σύνδεσμο που εμποδίζει τον κραδασμό των συμπίεστών να μεταδίδεται, μέσω των σωληνώσεων, στο κτίριο. Αντικραδασμικός σύνδεσμος από καουτσούκ, συνδεδεμένος σε δίκτυο, φαίνεται στο σχήμα (6-35).



Σχήμα 6-35: Αντικραδασμικός σύνδεσμος από καουτσούκ, συνδεδεμένος σε δίκτυο.

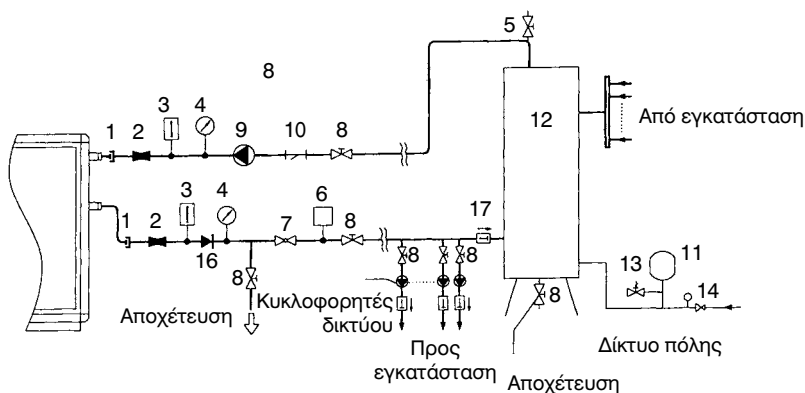
- Στο προηγούμενο δίκτυο του σχήματος (6-35) είχαμε μόνο μία αντλία και εντελώς ανεξάρτητους κλάδους προσαγωγής και επιστροφής του νερού. Στο σχήμα (6-36) έχουμε δύο κυκλώματα: Ένα κλειστό κύκλωμα βρόγχου που λειτουργεί συνέχεια και ένα ανεξάρτητο κύκλωμα με ανεξάρτητες αντλίες προς τις ΚΜ. Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι θα υπάρχει πάντα ψυχρό νερό στο κλειστό δίκτυο. Έτσι όταν θα ξεκινήσει το δίκτυο, θα σταλεί πολύ γρήγορα η ψύξη στις ΚΜ.



- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Αντικραδασμικός σύνδεσμος | 8. Βάνα αποκοπής |
| 2. Διαστολικός σύνδεσμος | 9. Αντλία νερού |
| 3. Θερμόμετρο | 10. Φίλτρο νερού |
| 4. Μανόμετρο | 11. Δοχείο διαστολής |
| 5. Βάνα εξαερισμού | 12. Βαλβίδα ασφαλείας |
| 6. Διακόπτης ροής | 13. Μειωτής πίεσης |
| 7. Βάνα ρύθμισης ροής | 14. Αποχέτευση |
| | 15. Βάνα αντεπιστροφής |

Σχήμα 6-36: Σύστημα με εσωτερικό δίκτυο βρόγχου.

- Το σύστημα του σχήματος (6-37) διαφέρει από το σύστημα του σχήματος (6-36) στο ότι έχει μεγάλο θερμομονωμένο δοχείο με κρύο νερό, μεγάλης χωρητικότητας, το οποίο ονομάζεται δοχείο αδρανείας. Σε τι πιστεύετε ότι αυτό εξυπηρετεί;



- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Αντικραδασμικός σύνδεσμος | 9. Αντλία νερού |
| 2. Θερμόμετρο | 10. Φίλτρο |
| 3. Μανόμετρο | 11. Δοχείο διαστολής |
| 4. Βάνα εξαερισμού | 12. Δοχείο αδρανείας |
| 6. Διακόπτης ροής | 13. Βαλβίδα ασφαλείας |
| 7. Βάνα ρύθμισης ροής | 14. Αυτόματος πίεσης |
| 8. Βάνα αποκοπής | 15. Αποχέτευση |
| | 16. Βάνα αντεπιστροφής |

Σχήμα 6-37: Σύνδεση με εσωτερικό δίκτυο βρόγχου και με δοχείο αδρανείας.

6-21. Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης του νερού

Στο παρόν βιβλίο δεν θα επεκταθούμε σε δύσκολους υπολογισμούς, τους οποίους κατά πάσα πιθανότητα ουδέποτε θα κληθείτε να εκτελέσετε. Θα περιοριστούμε στο να δώσουμε κάποια βασικά στοιχεία υπολογισμού των σωληνώσεων, ώστε να μπορείτε να υπολογίζετε μόνοι σας την πτώση πίεσης και τις απαιτούμενες διατομές σωληνώσεων, σε απλά δίκτυα. Σκοπός μας είναι να μην έχετε στα μικρά δίκτυα την ανάγκη κάποιου τρίτου να σας βοηθήσει για να τα διαμορφώσετε.

Οι τυπική μονάδα της πτώσης πίεσης είναι το kPa. Σε πολύ μικρές πτώσεις πίεσης χρησιμοποιούμε το Pa. Οι μονάδες αυτές συνδέονται με τις άλλες μονάδες πίεσης, των άλλων συστημάτων μονάδων, με τις εξής σχέσεις:

$$1 \text{ psi} = 6,9 \text{ kPa} (\approx 7 \text{ kPa})$$

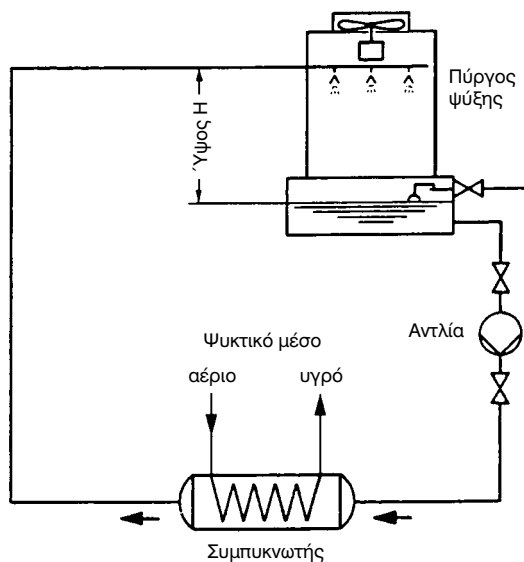
$$1 \text{ m Σ.Υ.} = 9,8 \text{ kPa} (\approx 10 \text{ kPa})$$

$$1 \text{ mm Σ.Υ.} = 9,8 \text{ Pa} (\approx 10 \text{ Pa})$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ cm Σ.Υ.} = 1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi} (\approx 15 \text{ psi})$$



Σχήμα 6-38: Δίκτυο νερού πύργου ψύξης.

Ας δούμε, αρχικά, τη γενική περίπτωση του ανοικτού δικτύου κυκλοφορίας του νερού. Το μόνο ανοικτό κύκλωμα που μπορεί να έχουμε σε ένα κύκλωμα κλιματισμού είναι του πύργου ψύξης που φαίνεται στο σχήμα (6-38). Η πτώση πίεσης του νερού σε ένα ανοικτό δίκτυο δίδεται από τη σχέση:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H/1000 + L \cdot \Delta p_L + \Delta p_Z \quad (6-9)$$

Όπου:

Δp = η ολική πτώση πίεσης σε kPa

ρ = η πυκνότητα του νερού ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$)

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

H = το ύψος σε ανοικτό κύκλωμα μεταξύ στάθμης αναρρόφησης και σημείου κατάθλιψης.

L = το μήκος των σωλήνων σε μέτρα

Δp_L = η πτώση πίεσης ανά μέτρο μήκους, σε kPa.

Δp_Z = η πτώση πίεσης στις βάνες, καμπύλες, συλλέκτες κ.λπ. σε kPa.

Αυτές συνήθως έχουν τιμή που ανέρχεται περίπου στο 30% του συνόλου των αντιστάσεων του δικτύου.

Ο παρονομαστής 1000 στη σχέση (6-9) υπάρχει επειδή το γινόμενο « $\rho \cdot g \cdot H$ » δίνει το αποτέλεσμα σε Pa. Διαιρώντας με το 1000, το μετατρέπουμε σε kPa (επειδή τα Δp , Δp_L , Δp_Z τα έχουμε ορίσει σε kPa που είναι η τυπική μονάδα για την πτώση πίεσης).

Επειδή αριθμητικά στο νερό το $\rho \approx 1000$, η παραπάνω σχέση (6-9), **ειδικά και μόνο για το νερό**, απλοποιείται στην:

$$\text{Ανοικτό δίκτυο}^6: \quad \Delta p = g \cdot H + L \cdot \Delta p_L + \Delta p_Z \quad (6-10)$$

Σε ένα κλειστό δίκτυο το $H = 0$. Οπότε καταλήγουμε στη σχέση:

$$\text{Κλειστό δίκτυο}^6: \quad \Delta p = L \cdot \Delta p_L + \Delta p_Z \quad (6-11)$$

Το Δp_Z μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά, αλλά ο ακριβής υπολογισμός του ξεφεύγει από τους στόχους μας. Συνήθως προκύπτει $\Delta p_Z \approx 30\% \times (L \times \Delta p_L)$. Οπότε οι (6-10) και (6-11) καταλήγουν στις απλοποιημένες σχέσεις:

$$\text{Ανοικτό δίκτυο:} \quad \Delta p = g \cdot H + 1,3 L \cdot \Delta p_L \quad (6-12)$$

$$\text{Κλειστό δίκτυο:} \quad \Delta p = 1,3 L \cdot \Delta p_L \quad (6-13)$$

Το Δp_L το λαμβάνουμε από τους πίνακες (6-7) και (6-8) και συγκεκριμένα από τον πίνακα (6-7), αν πρόκειται για μαύρους σωλήνες βαρέως τύπου χωρίς ραφή ή τον πίνακα (6-8), αν πρόκειται για χαλκοσωλήνες. Οι πίνακες αυτοί ισχύουν μόνο για νερό 10°C που είναι μία συνήθης μέση θερμοκρασία στα δίκτυα κλιματισμού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ουσιαστικά χωρίς σφάλμα, στην περιοχή 5-15°C. Στη θέρμανση, σπάνια θα χρειαστεί

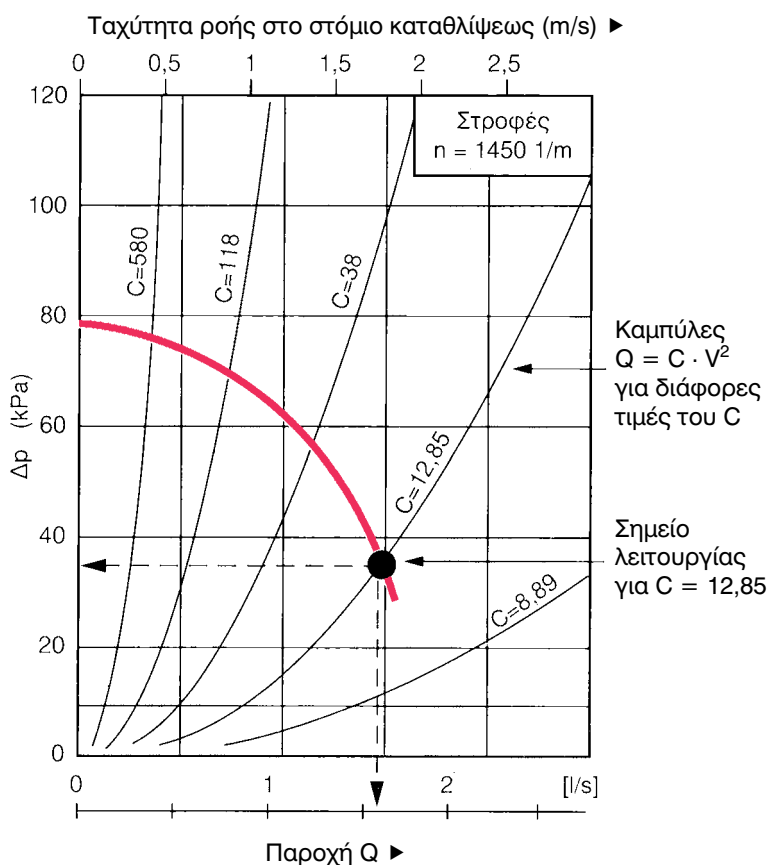
6 **Ανοικτό** είναι το δίκτυο του πύργου ψύξης (σχ. 6-24) και **κλειστό** το δίκτυο των Κ.Μ.

να κάνετε υπολογισμό των σωληνώσεων επειδή η πτώση πίεσης στο ζεστό νερό είναι μικρότερη. Για νερό θερμοκρασίας 40-50°C (οι συνήθεις θερμοκρασίες στις ΚΜ), οι πτώσεις πίεσης είναι στους χαλυβδοσωλήνες περίπου 10% μικρότερες και στους χαλκοσωλήνες περίπου 20%. Για τους σωλήνες ημιβαρέως τύπου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας (6-7) επειδή η διαφορά που προκύπτει είναι αμελητέα.

Αν ένα δίκτυο παρουσιάζει πτώση πίεσης Δp και διαρρέεται από παροχή Q , τότε, για όχι πολύ μεγάλες διακυμάνσεις του Q , ο λόγος:

$$C = \Delta p / Q^2 \quad (6-14)$$

έχει **σχεδόν σταθερή τιμή**.



Σχήμα 6-39: Το σημείο τομής χαρακτηριστικής καμπύλης του δικτύου και της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας είναι το **σημείο λειτουργίας** της αντλίας. Στην προκειμένη περίπτωση, όπου το $C=12,85$, το σημείο λειτουργίας είναι το: $\Delta p=35 \text{ kPa}$ και $Q=1,65 \text{ m}^3$

Οι καμπύλες που ορίζονται από τη σχέση:

$$\Delta p = C \times Q^2 \quad (6-15)$$

ονομάζονται χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας του δικτύου. Τέτοιες καμπύλες για διάφορες τιμές του C φαίνονται στο σχήμα (6-39). Επίσης και η αντλία παρουσιάζει μία δική της χαρακτηριστική καμπύλη, που επίσης φαίνεται στο σχήμα (6-39). Η τομή των δύο χαρακτηριστικών καμπύλων (της αντλίας και του δικτύου), που φαίνεται στο σχήμα (6-39), μας δίνει το **σημείο λειτουργίας** της αντλίας. Στην προκειμένη περίπτωση, όπως βλέπουμε στο σχήμα (6-39), για την καμπύλη με $C = 12,85$, το σημείο λειτουργίας προκύπτει στο $Q \approx 1,65 \text{ L/s}$ και $\Delta p \approx 37 \text{ kPa}$. Οι κατασκευαστές αντλιών έχουν πάντα διαθέσιμες τις καμπύλες με τις χαρακτηριστικές της λειτουργίας τους.

Πίνακας (6-7): Πτώση πίεσης Δp_L του νερού σε χαλυβδοσωλήνες βαρέως τύπου (σε kPa/m)

Θερμοκρασία νερού $t = 10^\circ\text{C}$								
	1/2"		3/4"		1"		1 1/4"	
V m/s	Q L/s	Δp kPa	Q L/s	Δp kPa	Q L/s	Δp kPa	Q L/s	Δp kPa
0,4	0,069	0,132	0,131	0,109	0,206	0,095	0,369	0,078
0,5	0,086	0,229	0,163	0,190	0,257	0,168	0,462	0,118
0,6	0,103	0,362	0,196	0,302	0,309	0,239	0,554	0,164
0,8	0,137	0,756	0,261	0,540	0,412	0,405	0,739	0,277
1,0	0,171	1,236	0,327	0,818	0,514	0,611	0,924	0,419
1,2	0,206	1,741	0,392	1,148	0,617	0,860	1,108	0,587
1,4	0,240	2,327	0,457	1,534	0,720	1,149	1,293	0,782
1,6	0,275	2,990	0,523	1,977	0,823	1,477	1,478	1,002
1,8	0,309	3,734	0,588	2,472	0,926	1,843	1,662	1,247
2,0	0,343	4,571	0,653	3,019	1,029	2,246	1,847	1,523
2,25	0,386	5,732	0,735	3,776	1,158	2,803	2,078	1,914
2,50	0,429	7,017	0,817	4,612	1,286	3,417	2,309	2,349
2,75	0,472	8,426	0,898	5,526	1,415	4,108	2,540	2,828
3,00	0,515	9,959	0,980	6,519	1,543	4,867	2,771	3,349
	1 1/2"		2"		2 1/2"		3"	
V m/s	Q L/s	Δp kPa	Q L/s	Δp kPa	Q L/s	Δp kPa	Q L/s	Δp kPa
0,4	0,507	0,064	0,826	0,047	1,414	0,033	1,970	0,027
0,5	0,634	0,096	1,033	0,070	1,767	0,050	2,462	0,041
0,6	0,761	0,134	1,240	0,098	2,121	0,070	2,954	0,057
0,8	1,015	0,227	1,653	0,167	2,828	0,119	3,939	0,097
1,0	1,269	0,343	2,066	0,253	3,534	0,180	4,924	0,147
1,2	1,522	0,481	2,479	0,354	4,241	0,254	5,909	0,206
1,4	1,776	0,640	2,892	0,473	4,948	0,339	6,894	0,275
1,6	2,030	0,819	3,305	0,610	5,655	0,435	7,878	0,353
1,8	2,283	1,027	3,719	0,763	6,362	0,542	8,863	0,441
2,0	2,537	1,259	4,132	0,933	7,069	0,662	9,848	0,540
2,25	2,854	1,580	4,648	1,167	7,952	0,830	11,079	0,676
2,50	3,171	1,936	5,165	1,426	8,836	1,017	12,310	0,827
2,75	3,489	2,326	5,681	1,714	9,720	1,223	13,541	0,993
3,00	3,806	2,751	6,198	2,029	10,603	1,446	14,772	1,173

Για $t = 50^\circ\text{C}$, πολλαπλασιάστε το Δp με 0,9, για $t = 30^\circ\text{C}$ με 0,95.

**Πίνακας (6-8): Η πτώση πίεσης Δp_L του νερού σε χαλκοσωλήνες
(σε kPa/m)**

Θερμοκρασία νερού $t = 10^\circ \text{C}$								
	16 x 1		18 x 1		22 x 1		28 x 1,5	
V	Q	Δp	Q	Δp	Q	Δp	Q	Δp
m/s	L/s	kPa	L/s	kPa	L/s	kPa	L/s	kPa
0,4	0,062	0,130	0,080	0,118	0,126	0,101	0,196	0,088
0,5	0,077	0,217	0,100	0,198	0,157	0,172	0,245	0,150
0,6	0,092	0,331	0,121	0,304	0,188	0,266	0,294	0,214
0,8	0,123	0,658	0,161	0,609	0,251	0,468	0,393	0,354
1,0	0,153	1,081	0,201	0,916	0,314	0,693	0,491	0,524
1,2	0,184	1,491	0,241	1,262	0,377	0,955	0,589	0,723
1,4	0,215	1,956	0,281	1,656	0,440	1,253	0,687	0,950
1,6	0,246	2,475	0,322	2,094	0,502	1,587	0,785	1,204
1,8	0,276	3,045	0,362	2,579	0,565	1,955	0,883	1,483
2,0	0,307	3,668	0,402	3,107	0,628	2,355	0,981	1,787
2,25	0,346	4,519	0,452	3,826	0,707	2,901	1,104	2,201
2,50	0,384	5,445	0,502	4,610	0,785	3,496	1,227	2,652
2,75	0,423	6,446	0,553	5,456	0,864	4,138	1,349	3,143
3,00	0,461	7,519	0,603	6,363	0,942	4,826	1,472	3,673
	35 x 1,5		42 x 1,5		54 x 2		64 x 2	
V	Q	Δp	Q	Δp	Q	Δp	Q	Δp
m/s	L/s	kPa	L/s	kPa	L/s	kPa	L/s	kPa
0,4	0,322	0,076	0,478	0,060	0,785	0,044	1,130	0,035
0,5	0,402	0,114	0,597	0,089	0,981	0,065	1,413	0,052
0,6	0,482	0,157	0,716	0,123	1,178	0,090	1,696	0,072
0,8	0,643	0,260	0,955	0,204	1,570	0,150	2,261	0,120
1,0	0,804	0,386	1,194	0,302	1,963	0,223	2,826	0,178
1,2	0,965	0,533	1,433	0,418	2,355	0,308	3,391	0,246
1,4	1,125	0,700	1,672	0,549	2,748	0,404	3,956	0,324
1,6	1,286	0,887	1,910	0,695	3,140	0,513	4,522	0,411
1,8	1,447	1,093	2,149	0,857	3,533	0,633	5,087	0,507
2,0	1,608	1,317	2,388	1,035	3,925	0,765	5,652	0,612
2,25	1,809	1,625	2,686	1,277	4,416	0,943	6,359	0,756
2,50	2,010	1,961	2,985	1,541	4,906	1,139	7,065	0,915
2,75	2,211	2,325	3,283	1,827	5,397	1,352	7,772	1,088
3,00	2,412	2,715	3,582	2,134	5,888	1,583	8,478	1,274

Για $t = 50^\circ \text{C}$, πολλαπλασιάστε το Δp με 0,8, για $t = 30^\circ \text{C}$ με 0,9.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

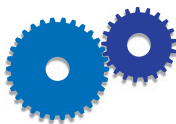
- Στον κλιματισμό τα μόνα συστήματα που θα χρειαστεί να μελετήσουμε με ψυκτικό υγρό είναι τα συστήματα VRV, που αποτελούνται από την εξωτερική μονάδα και από έναν περιορισμένο αριθμό εσωτερικών μονάδων DX.
- Το δίκτυο των σωληνώσεων του ψυκτικού υγρού είναι απλό στον υπολογισμό του και για να το διαμορφώσουμε ακολουθούμε αυστηρά τις οδηγίες της εταιρείας που το προμηθεύει. Οι σωληνώσεις έχουν περιορισμούς ως προς το μήκος τους. Χρησιμοποιούνται μόνο χαλκοσωλήνες οι διαστάσεις των οποίων δίδονται στον πίνακα (6-1). Υπάρχουν σοβαρές διαφορές μεταξύ των διαφόρων κατασκευαστών όσον αφορά τον τρόπο διαμόρφωσης των συστημάτων VRV.
- Το δίκτυο σωληνώσεων του νερού είναι πολύ πιο ευέλικτο από το δίκτυο των σωληνώσεων του ψυκτικού υγρού και δεν έχει περιορισμούς στα μήκη, αλλά είναι πιο δύσκολο στη μελέτη του. Επίσης συχνά έχει ανάγκη εξισορρόπησης.
- Η εξισορρόπηση είναι μία διαδικασία που μπορεί να γίνει είτε με ρυθμιστικές βάνες, είτε με την κατάλληλη επιλογή των ΚΜ. Η μέθοδος με τις ρυθμιστικές βάνες επιτυγχάνει επακριβώς την παροχή που θέλουμε και γι' αυτό οι σωληνώσεις του νερού προκύπτουν μικρότερες. Από την άλλη, η εξισορρόπηση, μέσω της κατάλληλης επιλογής των ΚΜ, οδηγεί σε απλούστερο δίκτυο χωρίς τον κίνδυνο απορρύθμισης αλλά συνήθως έχει μεγαλύτερες παροχές νερού και κατά συνέπεια οι σωληνώσεις είναι μεγαλύτερων διαμέτρων.
- Υπάρχουν δύο ειδών ρυθμιστικές βάνες: (α) αυτές που επιλέγονται από διαγράμματα βάσει ενός συντελεστή που ονομάζεται K_v ο οποίος καθορίζεται από τη μελέτη (β) αυτές που έχουν αναμονές για την επί τόπου ρύθμισή τους, μέσω κατάλληλων οργάνων που μετράνε την πίεση και την παροχή νερού. Η τελειότερη αλλά και ακριβότερη σε κόστος μέθοδος ρύθμισης είναι με τις επί τόπου μετρήσεις.
- Στα δίκτυα νερού χρησιμοποιούνται χαλκοσωλήνες και σιδηροσωλήνες των οποίων οι διαστάσεις δίνονται στον πίνακα (6-4). Η δυνάμενη να διέλθει από αυτούς ψυκτική ισχύς φαίνεται στον πίνακα (6-5).

- Οι χαλκοσωλήνες που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την αντι-κατάσταση των χαλυβδοσωλήνων ενός παλαιού δικτύου επιλέγονται κατόπιν μελέτης ή, στην ανάγκη, βάσει του πίνακα (6-6). Οι πτώσεις πίεσης για νερό, σε θερμοκρασία περίπου 10°C (που ενδιαφέρει στον κλιματισμό) δίνονται στους πίνακες (6-7) και (6-8).
- Η ταχύτητα του νερού μέσα στους σωλήνες, χρησιμοποιώντας τις τυπικές μονάδες του SI, δίνεται από τη σχέση $V_w = 1300 \times (Q/D_i^2)$.
- Διακυμάνσεις της παροχής νερού της τάξεως του 20% ελάχιστα επηρεάζουν την απόδοση μίας ΚΜ.
- Το κάθε δίκτυο παρουσιάζει μία χαρακτηριστική καμπύλη που δίδεται από τη σχέση $\Delta p = C \cdot V^2$. Η τομή της με τη χαρακτηριστική λειτουργίας της αντλίας δίνει το σημείο λειτουργίας.
- Τα δίκτυα του νερού χρησιμοποιούνται από τα συγκροτήματα παραγωγής ψυχρού νερού τα οποία είναι δύο ειδών: τα αερόψυκτα και τα υδρόψυκτα.
- Τα υδρόψυκτα συστήματα έχουν δύο δίκτυα νερού: (α) το δίκτυο των ΚΜ και (β) το δίκτυο νερού του πύργου ψύξης το οποίο είναι πολύ βρώμικο και απαιτεί ειδική μέριμνα. Επίσης απαιτούν και κάποιο χώρο μέσα στο κτίριο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού ο οποίος ονομάζεται ψυχοστάσιο ή μηχανοστάσιο. Παρουσιάζουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και σταθερότητα στην απόδοση. Είναι όμως πιο περίπλοκα και χρειάζονται περισσότερη συντήρηση.
- Τα αερόψυκτα συστήματα περιέχουν όλον τον εξοπλισμό σε ένα ψυκτικό συγκρότημα που συνήθως τοποθετείται στην ταράτσα. Συχνά μάλιστα είναι αντλίες θερμότητας. Καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από τα υδρόψυκτα αλλά είναι απλούστερα και χρειάζονται πολύ λιγότερη συντήρηση. Επίσης δεν καταναλώνουν νερό το οποίο μπορεί, στην περιοχή της εγκατάστασης, να μην υπάρχει σε αφθονία.
- Στα ψυκτικά συγκροτήματα εφαρμόζεται συχνά το κύκλωμα του βρόγχου, για να υπάρχει πάντα κρύο νερό στη μονάδα παραγωγής του. Έτσι αποφεύγεται το καθημερινό κλείσιμο της μονάδας και οι δυσκολίες εκκίνησης. Συγχρόνως, με την εκκίνηση του συστήματος υπάρχει ήδη διαθέσιμο κρύο νερό. Το σύστημα βελτιώνεται και με την προσθήκη του δοχείου αδρανείας που αυξάνει την περιεκτικότητά σε νερό του εσωτερικού βρόγχου.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δικτύων σωληνώσεων ενός συστήματος με ψυκτικό υγρό και ενός συστήματος με νερό; Εσείς ποιο από τα δύο θα προτιμούσατε να εφαρμόζετε;
2. Όταν θέλετε να διαμορφώσετε το δίκτυο των σωληνώσεων ενός συστήματος VRV, θα χρησιμοποιήσετε μόνο τις οδηγίες που δίνονται σ' αυτό το βιβλίο;
3. Σε ένα δίκτυο με σωληνώσεις ψυκτικού υγρού, πώς αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της μεταβαλλόμενης ανάγκης για ψυκτικό υγρό;
4. Τι σχέση έχει η ονομαστική διάσταση των χαλυβδοσωλήνων με τις πραγματικές τους διαστάσεις;
5. Επειδή δουλεύουμε στο σύστημα SI, κατά τη γνώμη σας, μας δημιουργείται κάποιο πρόβλημα ονομάζοντας τους χαλυβδοσωλήνες με την ονοματική τους διάσταση σε ίντσες; Κρίνετε ότι θα ήταν απαραίτητο να προσαρμοστεί σταδιακά η αγορά στη χρήση της ονομασίας τους σε mm;
6. Όταν θέλετε να αλλάξετε ένα παλαιό δίκτυο χαλυβδοσωλήνων με χαλκοσωλήνες, τι αντιστοιχία διαμέτρων θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε;
7. Ποια είναι η σχέση που δίνει την ταχύτητα του νερού μέσα στους σωλήνες;
8. Ποιες είναι οι σχέσεις που μας δίνουν, κατά προσέγγιση, τη δυναμικότητα ενός σωλήνα σε παρεχόμενη ψυκτική ή θερμαντική ισχύ; Εξηγήστε πώς προέκυψαν αυτές οι σχέσεις.
9. Ποια είναι η σχέση υπολογισμού της απαιτούμενης παροχής νερού μέσα από μία KM;
10. Τι κάνουμε όταν μας προκύπτουν άλλες παροχές νερού το χειμώνα και άλλες το καλοκαίρι; Μπορεί να ακολουθηθεί η ίδια λύση και στα δίκτυα των σωληνώσεων ψυκτικού υγρού; Εξηγήστε την απάντησή σας.
11. Αν μειώσουμε την παροχή μίας KM κατά ένα ποσοστό, π.χ. κατά 20%, θα μειωθεί και η απόδοσή της ανάλογα; Ναι ή όχι και γιατί;

12. Ποιος είναι ο ορισμός της εξισορρόπησης των πτώσεων πίεσης σε ένα δίκτυο;
13. Ποια δίκτυα χρειάζονται εξισορρόπηση;
14. Με ποιους τρόπους μπορεί να γίνεται η εξισορρόπηση;
15. Τι είναι οι συντελεστές K_v και K_{vs} ;
16. Με ποιο τρόπο γίνεται η εξισορρόπηση με την επιλογή των κατάλληλων ΚΜ; Τι κερδίζουμε με αυτή τη μέθοδο και ποιο είναι το μειονέκτημά της;
17. Πώς μεταβάλλονται οι πτώσεις πίεσης σε σχέση με τις παροχές νερού;
18. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του υδρόψυκτου συστήματος και του αερόψυκτου συστήματος παραγωγής ψυχρού νερού;
19. Από ποια μέρη αποτελείται το υδρόψυκτο σύστημα και από ποια το αερόψυκτο;
20. Πόσων ειδών κυκλώματα νερού υπάρχουν στο υδρόψυκτο σύστημα και πόσα στο αερόψυκτο;
21. Γιατί το νερό του κυκλώματος των πύργων ψύξης είναι βρώμικο;
22. Ποια είναι τα είδη των ΚΜ που συνδέονται στο δίκτυο των σωληνώσεων του υδρόψυκτου συστήματος κλιματισμού;
23. Κάντε ένα σκίτσο σύνδεσης μίας ΚΜ στο δίκτυο σωληνώσεων και σημειώστε επάνω τα όργανα αυτοματισμού και ελέγχου της λειτουργίας που θα πρέπει να υπάρχουν επάνω της.
24. Γιατί χρησιμοποιούμε συχνά στη σύνδεση των ΚΜ το κύκλωμα βρόγχου;
25. Τι είναι το δοχείο αδρανείας σε ένα κύκλωμα βρόγχου; Σε τι χρησιμεύει;
26. Ποιοι είναι οι απλοποιημένοι τύποι υπολογισμού της πτώσης πίεσης σε ένα δίκτυο με νερό (σε ανοικτό και σε κλειστό δίκτυο);
27. Τι είναι η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου, τι της αντλίας και ποιο το σημείο λειτουργίας; Δείξτε τα με ένα σκίτσο.



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

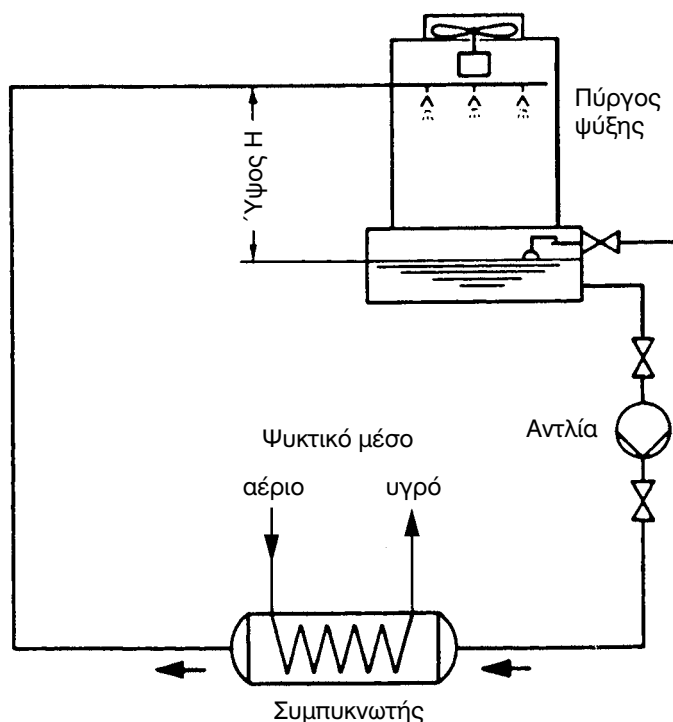
1. Στο σχήμα (6-10), κάντε διαστασιολόγηση του δικτύου των σωληνώσεων, αν οι μονάδες 1,2,3 έχουν δείκτη φόρτισης 32, οι 4,5,6 έχουν 40, η 7 έχει 63 και η 8 έχει 80.
2. Στο σχήμα (6-11), κάντε διαστασιολόγηση του δικτύου υποθέτοντας ότι οι μονάδες οροφής είναι του τύπου “24” και του δαπέδου του τύπου “12”.
3. Στο σχήμα (6-13), κάντε διαστασιολόγηση του δικτύου των σωληνώσεων, υποθέτοντας ότι όλες οι μονάδες έχουν δείκτη φόρτισης 50.
4. Να υπολογιστεί η ταχύτητα του νερού στους σωλήνες σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Παροχή (L/s)	Ονομαστική διάσταση	Ταχύτητα (m/s)
4,3	2"	
0,5	1"	
0,25	22 x 1	
6,5	64 x 2	
0,2	3/4"	
0,1	18 x 1	

5. Μία ΚΜ, η «Α», έχει να αντιμετωπίσει ολικό φορτίο 2,85 kW και μία άλλη, η «Β» έχει 3,6 kW. Να υπολογιστούν οι διερχόμενες παροχές νερού από την κάθε μία από αυτές για $\Delta t = 5^\circ \text{C}$. Να επιλεγούν επίσης οι κατάλληλοι χαλκοσωλήνες τροφοδοσίας τους με νερό. Αν στο δίκτυο υπάρχουν 3 μονάδες τύπου «Α» και 5 τύπου «Β», ποια θα είναι η συνολική παροχή που θα διαρρέει τον κεντρικό σωλήνα τροφοδοσίας τους; Ποια διάσταση σωλήνα θα επιλέγατε;
6. Στο δίκτυο της άσκησης 5, να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία με χαλκοσωλήνες.

7. Σωλήνας διαρρέεται από παροχή νερού 3,3 L/s. Πόσο αναμένεται το ψυκτικό φορτίο και πόσο το θερμικό φορτίο που θα μπορεί να καλύψει;
8. Μία ΚΜ διαρρέεται από παροχή νερού 0,25 L/s και έχει να καλύψει ολικό φορτίο 5,5 kW. Ποιο θα είναι το Δt του νερού μέσω της ΚΜ; Αν μετά αυξηθεί η παροχή του νερού κατά 30%, με αντίστοιχη αύξηση της απόδοσης 8%, πόσο θα είναι το νέο Δt ;
9. ⁷Να υπολογιστεί η τιμή του K_v ώστε να έχουμε πτώση πίεσης 30 kPa για διερχόμενη παροχή νερού 0,25 L/s.
10. Οι δύο τελευταίες ΚΜ ενός δικτύου έχουν απόσταση μεταξύ τους 5 m, και ο σωλήνας που τις ενώνει είναι $\Phi 18 \times 1$. Διαρρέονται και οι δύο από παροχή νερού 0,25 L/s και παρουσιάζουν πτώση πίεσης 30 kPa. Η τελευταία δεν έχει καμία ρύθμιση. Να υπολογιστεί ο συντελεστής K_v της προτελευταίας.
11. Αν στο προηγούμενο παράδειγμα καταργηθεί η ρύθμιση, ποια θα είναι η παροχή του νερού με την οποία θα διαρρέεται η προτελευταία ΚΜ; Θα υπάρξει ουσιώδης διαφορά στην απόδοση;
12. Να υπολογιστεί η διάμετρος του σωλήνα (χαλυβδοσωλήνας) και η αντλία (παροχή, πτώση πίεσης) του κυκλώματος του πύργου ψύξης του σχήματος (6-38). Δίδονται: ψυκτική ισχύς συγκροτήματος 60 kW, το νερό στους πύργους ψύξης θα πηγαίνει με θερμοκρασία 35°C και θα επιστρέφει με 30°C και το συνολικό μήκος των σωλήνων είναι 75 mm. Το «H» εσωτερικά των πύργων ψύξης είναι 1,5 m. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον πίνακα (6-7) με τις πτώσεις πίεσης μειωμένες κατά 10%. Να επιλέξετε ένα μέγεθος σωλήνα μεγαλύτερο από αυτό που θα προκύψει, λόγω του ότι η διάμετρος με τον καιρό μειώνεται λόγω της επικάθισης αλάτων.

⁷ Οι ασκήσεις με πλάγια γραφή αναφέρονται σε τμήματα της θεωρίας, των οποίων η διδασκαλία είχε αφαιρεθεί στην κρίση του καθηγητή.



13. Σκισάρετε ένα υδρόψυκτο δίκτυο με χαλυβδοσωλήνες, χωρίς να βλέπετε στα σχήματα του βιβλίου, που να περιλαμβάνει τα εξής: κεντρικό σωλήνα 2", που καταλήγει σε συλλέκτη απ' όπου εκκινούν 2 επιμέρους κατακόρυφοι κλάδοι που αρχίζουν 1 1/2" μετά γίνονται 1 1/4" μετά 1" και καταλήγουν σε 3/4". Σε κάθε αλλαγή διαμέτρου, στον ένα κλάδο είναι συνδεδεμένα δύο FCU με σωλήνες τροφοδοσίας 1/2" και στον άλλο από ένα πιο μεγάλο FCU με σωλήνα τροφοδοσίας 3/4". Οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων διακλάδωσης των FCU είναι όλες 3 m. Η απόσταση του πρώτου FCU από το συλλέκτη είναι 10 m, και ο κεντρικός σωλήνας τροφοδοσίας από το ψυχοστάσιο μέχρι το συλλέκτη είναι επίσης 10 m. Οι σωλήνες τροφοδοσίας των FCU από τους κόμβους έχουν όλες το ίδιο μήκος που είναι 1 m (δηλαδή ανά FCU η προσαγωγή και η επιστροφή μαζί είναι 2 m).
14. Στο παραπάνω δίκτυο, υποθέστε ότι λόγω παλαιότητάς του, σας ζητάνε να αντικαταστήσετε τους χαλυβδοσωλήνες με χαλκοσωλήνες. Ορίστε τις νέες διαμέτρους του δικτύου.

ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**ΕΙΔΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟΝ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ**

**Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



- ✓ Να μάθουν οι μαθητές τις βασικές αρχές που διέπουν τη μετάδοση θερμότητας.
- ✓ Να καταλάβουν πώς λειτουργούν οι εναλλάκτες θερμότητας.
- ✓ Να ενημερωθούν οι μαθητές για τα είδη των εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό
- ✓ Να μάθουν για ποια χρήση είναι κατάλληλος ο κάθε εναλλάκτης.

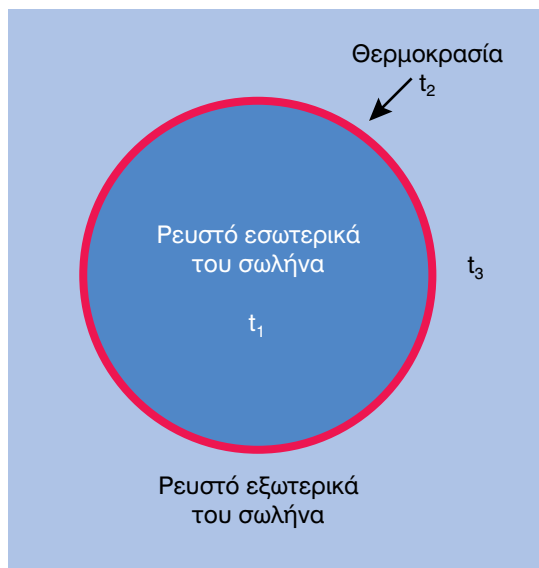
7-1. Πώς επιτυγχάνεται η εναλλαγή της θερμότητας

Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών επιτυγχάνεται μέσω μίας στερεάς διαχωριστικής επιφάνειας. Η διαχωριστική αυτή επιφάνεια μπορεί να δημιουργείται με διάφορους τρόπους. Π.χ. μπορεί να είναι η επιφάνεια σωλήνων, εσωτερικά των οποίων ρέει το ένα ρευστό, ενώ εξωτερικά βρίσκεται το άλλο, όπως βλέπουμε στο σχήμα (7-1). Τα δύο ρευστά έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες t_1 και t_3 ενώ ο σωλήνας έχει μία ενδιάμεση θερμοκρασία t_2 . Μπορεί δηλαδή να έχουμε τις εξής δύο περιπτώσεις:

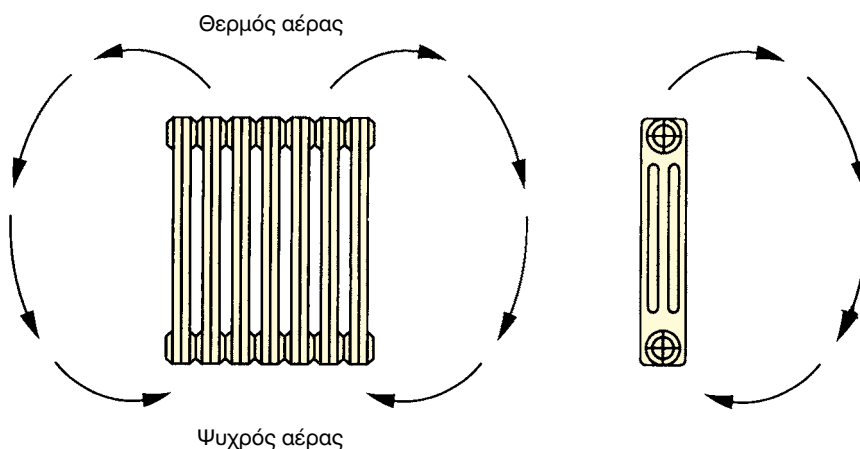
Όταν ψύχεται το ρευστό εσωτερικά του σωλήνα: $t_1 > t_2 > t_3$

Όταν ψύχεται το ρευστό γύρω από το σωλήνα: $t_1 < t_2 < t_3$

Για τη δημιουργία διαχωριστικών επιφανειών, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα μέταλλα με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα (συνήθως ο χαλκός και το αλουμίνιο, σπανιότερα ο χάλυβας). Το πάχος των διαχωριστικών επιφανειών είναι πολύ μικρό (συνήθως κάτω του 1 mm), ώστε να μη δημιουργείται από αυτό αντίσταση στη ροή της θερμότητας. Δηλαδή και οι δύο πλευρές της διαχωριστικής επιφάνειας πρακτικά έχουν την ίδια θερμοκρασία t_2 .



Σχήμα 7-1: Εναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών που το ένα ρέει μέσα από ένα σωλήνα ενώ το άλλο βρίσκεται εξωτερικά του σωλήνα.



Σχήμα 7-2: Τα θερμαντικά σώματα είναι από τις απλούστερες μορφές εναλλακτών θερμότητας.

Αν το ένα από τα δύο ρευστά είναι ακίνητο, τότε έχουμε την περίπτωση όπως αυτή του σχήματος (7-2). Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ένα θερμαντικό σώμα, γύρω από το οποίο έχουμε τον αέρα του χώρου. Το θερμαντικό σώμα διαρρέεται από νερό ενώ ο αέρας του χώρου, αρχικά, είναι ακίνητος. Ο

αέρας όμως εξαναγκάζεται να κινηθεί γύρω από το θερμαντικό σώμα, με μία διαδικασία που ονομάζεται φυσική κυκλοφορία. Η φυσική κυκλοφορία δημιουργείται από το θερμαντικό σώμα το οποίο θερμαίνει τον αέρα του χώρου. Ο θερμός αέρας, επειδή είναι ελαφρύτερος, ανεβαίνει προς τα επάνω, παραχωρώντας τη θέση του στον ψυχρό αέρα. Έτσι κυκλοφορεί ο αέρας γύρω από το θερμαντικό σώμα και εναλλάσσεται θερμότητα μεταξύ του αέρα και του θερμού νερού που κυκλοφορεί μέσα στο θερμαντικό σώμα.

Το θερμαντικό σώμα που αναφέραμε παραπάνω είναι από τις απλούστερες περιπτώσεις εναλλακτών θερμότητας και συγχρόνως από αυτές παρουσιάζουν άριστη λειτουργικότητα χωρίς καθόλου σχεδόν προβλήματα. Όμως στον κλιματισμό, δε χρησιμοποιούνται συστήματα εναλλαγής θερμότητας που έχουν το ένα από τα δύο ρευστά σε στάσιμη κατάσταση, όπως π.χ. συμβαίνει στο σχήμα (7-2) όπου ο αέρας είναι στάσιμος. Οι λόγοι είναι πολλοί και ο κυριότερος από αυτούς, όπως θα δούμε, είναι ότι η ποσότητα της εναλλασσόμενης θερμότητας στην ψύξη, όταν ο αέρας είναι στάσιμος, είναι πολύ μικρή. Γι' αυτό, τα δύο ρευστά που εναλλάσσουν τη θερμότητα τους εξαναγκάζονται πάντοτε σε βεβαιασμένη κυκλοφορία. Για τη βεβαιασμένη κυκλοφορία του αέρα, χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι ανεμιστήρες.

Άλλες περιπτώσεις εναλλακτών θερμότητας μπορούμε να αναφέρουμε πάρα πολλές, που τις συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή. Όπου και αν κοιτάξουμε θα δούμε εναλλάκτες θερμότητας. Ενδεικτικά αναφέρουμε τους εξής:

- Το οικιακό ψυγείο: Το σύστημα των σωλήνων που υπάρχει στο πίσω μέρος του ψυγείου δεν είναι παρά ένας άλλος τύπος εναλλάκτη θερμότητας. Σ' αυτόν καταλήγει η θερμότητα που εισρέει στο εσωτερικό του ψυγείου και από εκεί εναλλάσσεται με τον αέρα του περιβάλλοντος, με τη διαδικασία της φυσικής κυκλοφορίας, όπως ακριβώς είδαμε ότι γίνεται με τα θερμαντικά σώματα.
- Το μπόιλερ: Το ζεστό νερό του λέβητα ρέει μέσα σε μία σερπαντίνα στο εσωτερικό του μπόιλερ. Με τη φυσική κυκλοφορία του αρχικά στάσιμου νερού, που βρίσκεται εσωτερικά του μπόιλερ και περιβάλλει τη σερπαντίνα, αυτό το νερό θερμαίνεται. Η σερπαντίνα είναι ο εναλλάκτης θερμότητας. Η μόνη διαφορά που έχουμε από το παράδειγμα του θερμαντικού σώματος είναι ότι, αντί ο εναλλάκτης θερμότητας να περιβάλλεται με αέρα, περιβάλλεται με νερό.

- Ο ηλιακός θερμοσίφωνας: Εδώ έχουμε ένα ενδιάμεσο κλειστό κύκλωμα νερού. Το νερό του κλειστού κυκλώματος θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και με τη φυσική κυκλοφορία αναγκάζεται να ανέλθει ψηλότερα. Πάνω όμως από το συλλέκτη της ηλιακής θερμότητας υπάρχει ένα μπόιλερ. Στη σερπαντίνα εσωτερικά του μπόιλερ καταλήγει το θερμό νερό του κλειστού κυκλώματος και θερμαίνει το νερό που την περιβάλλει (κατά τον τρόπο που είδαμε προηγουμένως). Το νερό του κλειστού κυκλώματος ψύχεται μέσα στο μπόιλερ και κατεβαίνει προς τα κάτω, πάλι λόγω της φυσικής κυκλοφορίας. Οπότε η κυκλοφορία του νερού του κλειστού κυκλώματος με αυτό τον τρόπο συνεχίζεται και κατά συνέπεια συνεχίζεται και η λειτουργία του εναλλάκτη θερμότητας.

7-2. Βασικές σχέσεις που διέπουν την εναλλαγή της θερμότητας

Για να καταλάβουμε καλύτερα τι ακριβώς λαμβάνει χώρα, ας δούμε το σχήμα (7-3). Στο σχήμα αυτό έχουμε μία στερεά επιφάνεια με θερμοκρασία t_2 και με αυτήν έρχεται σε επαφή ένα ρευστό θερμοκρασίας t_1 . Η εναλλασσόμενη θερμότητα είναι έστω q και η επιφάνεια εναλλαγής είναι A . Τότε έχουμε:

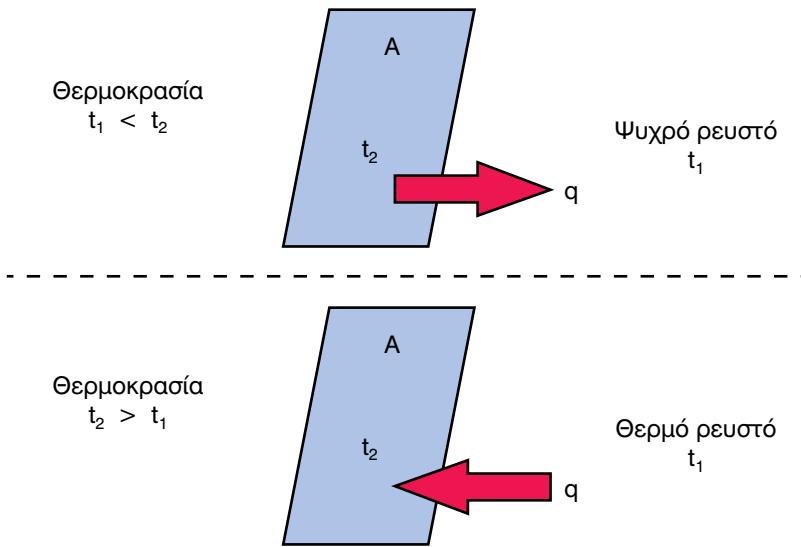
Αν $t_1 < t_2$, έχουμε θέρμανση του ρευστού και ισχύει η σχέση:

$$q = h A (t_2 - t_1) \quad (7-1)$$

Αν $t_1 > t_2$, έχουμε ψύξη του ρευστού και ισχύει η σχέση:

$$q = h A (t_1 - t_2) \quad (7-2)$$

Ο συντελεστής h ονομάζεται **συντελεστής μεταφοράς θερμότητας** (heat transfer coefficient). Οι μονάδες του είναι σε W/m^2K . Η τιμή του h είναι διαφορετική για κάθε είδος ρευστού. Όμως, σε μία δεδομένη επιφάνεια, με συγκεκριμένο ρευστό και συγκεκριμένη ταχύτητα ροής, η τιμή του h τόσο στην ψύξη, όσο και στη θέρμανση παραμένει η ίδια. Δηλαδή η τιμή του h δεν επηρεάζεται από τη διεύθυνση προς την οποία λαμβάνει χώρα η εναλλαγή της θερμότητας (από την επιφάνεια προς το ρευστό ή αντίστροφα). Όταν η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας είναι ανώμαλη (κυματοειδής), όπως π.χ. τα πτερύγια του στοιχείου εναλλαγής θερμότητας που θα δούμε αργότερα, δημιουργείται μεγαλύτερος στροβιλισμός στη ροή των ρευστών και βελτιώνεται η τιμή του συντελεστή h (γίνεται μεγαλύτερη).



Σχήμα 7-3: Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ ρευστού και στερεάς επιφανείας.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό του συντελεστή h είναι ότι η τιμή του είναι **ανάλογη με την ταχύτητα του ρευστού**. Όταν το ρευστό είναι στάσιμο, όπως συμβαίνει με τον αέρα του σχήματος (7-2), το h λαμβάνει πολύ χαμηλές τιμές. Όσο η ταχύτητα του ρευστού ανεβαίνει, με την πρόκληση βεβιασμένης κυκλοφορίας, τόσο το h λαμβάνει συνεχώς μεγαλύτερες τιμές.

Τα ρευστά σε υγρή κατάσταση παρουσιάζουν τιμές του h που είναι πολύ μεγαλύτερες από τα ρευστά που είναι σε αέρια κατάσταση. Γι' αυτό και οι υδροψυκτικοί εναλλάκτες θερμότητας έχουν πολύ μεγαλύτερες αποδόσεις από ό,τι οι αερόψυκτοι, όταν έχουν την ίδια επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας A .

Τα εξατμιζόμενα ψυκτικά υγρά στην εναλλαγή θερμότητας, ακόμη και όταν είναι υγρά, συμπεριφέρονται σαν να ήταν σε αέρια κατάσταση. Αυτό οφείλεται στο ότι η εναλλαγή θερμότητας επιτυγχάνεται μέσω ενός λεπτού στρώματος ψυκτικού υγρού, κοντά στα τοιχώματα εναλλαγής θερμότητας, το οποίο είναι πάντα σε αέρια κατάσταση. Αντίθετα, ο υδρατμός, μοιάζει πολύ με το νερό, επειδή η εναλλαγή θερμότητας επιτυγχάνεται μέσω ενός λεπτού στρώματος νερού (που ήταν υδρατμός ο οποίος υγροποιήθηκε κοντά στα τοιχώματα).

Όταν έχουμε τα δύο ρευστά που εναλλάσσουν τη θερμότητά τους μέσω μίας επιφανείας A , όπως φαίνεται στο σχήμα (7-4), με συντελεστές

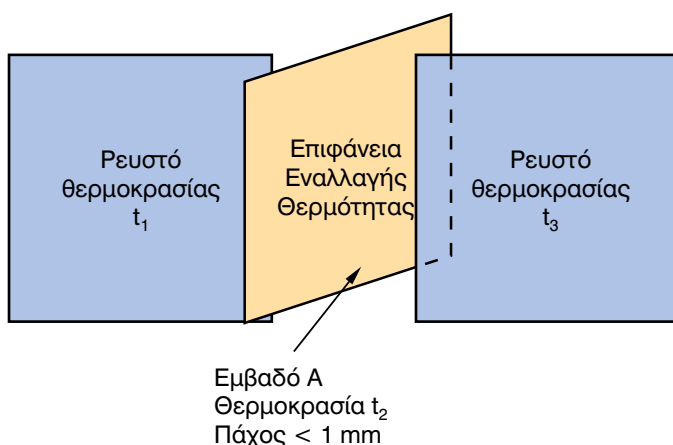
εναλλαγής θερμότητας αντίστοιχα h_1 και h_2 , τότε η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ τους διέπεται από τις σχέσεις:

- Αν $t_1 < t_3$, έχουμε ψύξη του ρευστού που βρίσκεται εξωτερικά του σωλήνα και ισχύει:

$$q = U A (t_3 - t_1) \quad (7-3)$$

- Αν $t_1 > t_3$, έχουμε ψύξη του ρευστού που ρέει μέσα στους σωλήνες και ισχύει:

$$q = U A (t_1 - t_3) \quad (7-4)$$



Σχήμα 7-4: Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών.

Ο συντελεστής U είναι ο **ολικός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας**, τον οποίο είδαμε και στο κεφάλαιο 3, κατά τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Με την προϋπόθεση ότι το πάχος της μεταλλικής επιφανείας εναλλαγής της θερμότητας είναι πολύ μικρό, τότε το U και τα h_1 και h_2 συνδέονται με τη σχέση:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} \quad (7-5)$$

Η εναλλασσόμενη θερμότητα βελτιώνεται σημαντικά με την παρουσία πτερυγίων πάνω στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας. Στο σχήμα (7-5), βλέπουμε ένα σωλήνα μήκους L_t με εξωτερική διάμετρο D_o . Η εναλλασσόμενη θερμότητα q_1 , βάσει της (7-1) ή της (7-2), αν δεν υπήρχε το πτερύγιο θα ήταν:

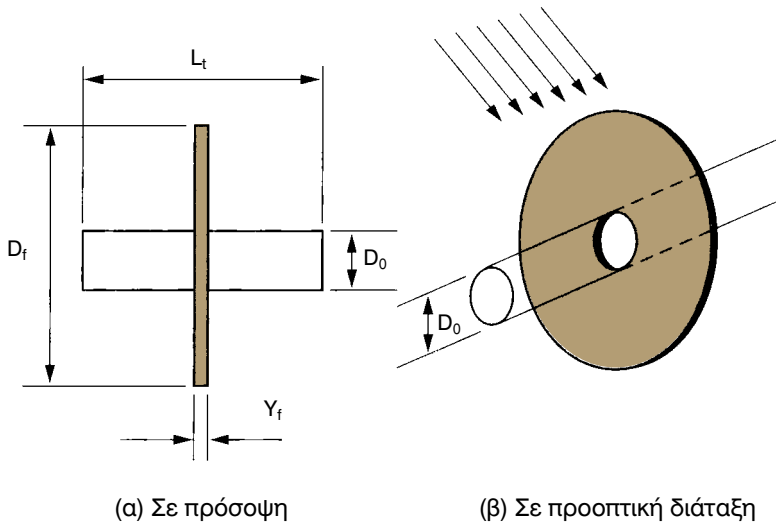
$$q_1 = h_1 A \Delta t \quad (7-6)$$

Όπου:

Δt : Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφανείας του σωλήνα και του ρευστού

A : Η εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα στο μήκος L_t , δηλαδή $A = (\pi/4) L_t D_o^2$

h_1 : Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του ρευστού που ρέει εξωτερικά του σωλήνα.



Σχήμα 7-5: Η εναλλαγή θερμότητας όταν υπάρχουν πτερυγία.

Μετά όμως την προσθήκη του πτερυγίου, το οποίο θα πρέπει να είναι από υλικό με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα, η διαθέσιμη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας A αυξάνεται πάρα πολύ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται η εναλλασσόμενη ποσότητα θερμότητας και να γίνεται q_2 . Ο υπολογισμός του q_2 είναι περίπλοκος και ξεφεύγει από τους στόχους μας.

Ο λόγος (q_2/q_1) μας δείχνει πόσο αυξάνεται η εναλλασσόμενη θερμότητα εξαιτίας του πτερυγίου.

Όταν το ρευστό που περιβάλλει τους σωλήνες είναι σε αέρια κατάσταση, ο λόγος (q_2/q_1) λαμβάνει μεγάλες τιμές. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στο σχήμα (7-5), αν είχαμε $D_f = 25 \text{ mm}$, $D_o = 10 \text{ mm}$, $Y_f = 0,12 \text{ mm}$, $L_t = 2,5 \text{ mm}$ και το ρευστό ήταν ο ατμοσφαιρικός αέρας με ταχύτητα περίπου $2,5 \text{ m/s}$, θα προέκυπτε ο λόγος $q_2/q_1 \approx 5$.

Αντίθετα, η αύξηση του λόγου (q_2/q_1) είναι πολύ μικρή στα ρευστά που έχουν μεγάλη τιμή του h , δηλαδή είναι σε υγρή μορφή. Γι' αυτό τα πτερύγια χρησιμοποιούνται μόνο στην πλευρά του αέρα ή του ψυκτικού υγρού, επειδή εκεί το h έχει χαμηλές τιμές (το ψυκτικό υγρό κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα, όπως ήδη αναφέραμε, είναι σε αέρια κατάσταση). Αντίθετα, με το νερό ή τον υδρατμό τα πτερύγια δεν προσφέρουν σχεδόν τίποτε και γι' αυτό ουδέποτε χρησιμοποιούνται με αυτά (ο υδρατμός υγροποιείται κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα και των πτερυγίων).

Το στοιχείο (coil), που είναι ο πλέον διαδεδομένος σε χρήση εναλλάκτης, δεν είναι τίποτε άλλο παρά σωλήνες με πάρα πολλά και πυκνά πτερύγια, σφηνωμένα εξωτερικά πάνω στους σωλήνες. Τα πτερύγια αυξάνουν πολύ την εναλλαγή θερμότητας που παρουσιάζει το στοιχείο στην πλευρά του αέρα. Στα στοιχεία που εσωτερικά των σωλήνων ρέει ψυκτικό υγρό, μερικές φορές, χρησιμοποιούνται σωλήνες με εσωτερικά πτερύγια (ραβδώσεις) που αυξάνουν την απόδοση του στοιχείου. Όμως, επειδή ο διαθέσιμος χώρος εσωτερικά των σωλήνων είναι πολύ μικρός, τα εσωτερικά πτερύγια δεν έχουν μεγάλο ύψος, οπότε η επαύξηση της απόδοσης δεν λαμβάνει τις πολύ μεγάλες τιμές που παρουσιάζονται με τα πτερύγια στην εξωτερική πλευρά των σωλήνων.

7-3. Τα συστήματα ροής στους εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό

Όπως ήδη αναφέραμε, οι εναλλάκτες θερμότητας, στους οποίους το ένα ρευστό είναι σε ροή, ενώ το άλλο είναι στάσιμο (οπότε αυτό που είναι στάσιμο εξαναγκάζεται σε φυσική κυκλοφορία), δεν χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό. Οι λόγοι είναι πολλοί, ο κυριότερος από τους οποίους είναι ότι απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας.

Στη θέρμανση, στη σχέση (7-1), η μέση θερμοκρασία t_2 της επιφανείας των θερμαντικών σωμάτων είναι πολύ υψηλή, περίπου $70-80^\circ\text{C}$, ενώ η t_1 (του αέρα) είναι πολύ χαμηλή, μόλις $20-22^\circ\text{C}$. Οπότε η διαφορά (t_2-t_1) είναι πολύ μεγάλη και το q λαμβάνει μεγάλες τιμές ακόμη και όταν έχουμε μικρή τιμή του συντελεστή h . Αντίθετα, στην ψύξη, στη σχέση (7-2), η t_2 αφορά το νερό που έρχεται από το συγκρότημα ψύξης και είναι συνήθως $t_2 = 12-16^\circ\text{C}$ ενώ η t_1 είναι η θερμοκρασία του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου και είναι

$t_1 = 27-28^\circ\text{C}$. Κατά συνέπεια η διαφορά (t_1-t_2) είναι πολύ μικρή. Ως εκ τούτου, για να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή του q μέσω μίας σχετικά μικρής επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας, απαιτούνται μεγάλες τιμές του συντελεστή h . Και οι μεγάλες τιμές του h προϋποθέτουν μεγάλη ταχύτητα στη ροή του ρευστού, δηλαδή βεβιασμένη κυκλοφορία.

Κατά συνέπεια, οι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό δεν έχουν την πολυτέλεια να διατηρούν το ένα από τα δύο ρευστά ακίνητο. Υποχρεωτικά θα είναι και τα δύο σε εξαναγκασμένη κίνηση, προκειμένου να υπάρχει επαρκής εναλλαγή θερμότητας μέσω μίας μικρής σχετικά επιφάνειας. Και για ένα δεδομένο εναλλάκτη, όσο αυξάνουμε τις ταχύτητες ροής των ρευστών, τόσο αυξάνεται η απόδοση του εναλλάκτη.

Θεωρητικά θα μας συνέφερε να έχουμε πολύ μεγάλες ταχύτητες των ρευστών που εναλλάσσουν τη θερμότητά τους, αλλά οι μεγάλες ταχύτητες δημιουργούν μεγάλες πτώσεις πίεσης. Γι' αυτό στους εναλλάκτες θερμότητας επιδιώκουμε οι τιμές της ταχύτητας των ρευστών να μην υπερβαίνουν κάποια όρια, ώστε να επιτυγχάνουμε ένα καλό συνδυασμό ικανοποιητικής απόδοσης και λογικής πτώσης πίεσης στη ροή των ρευστών.

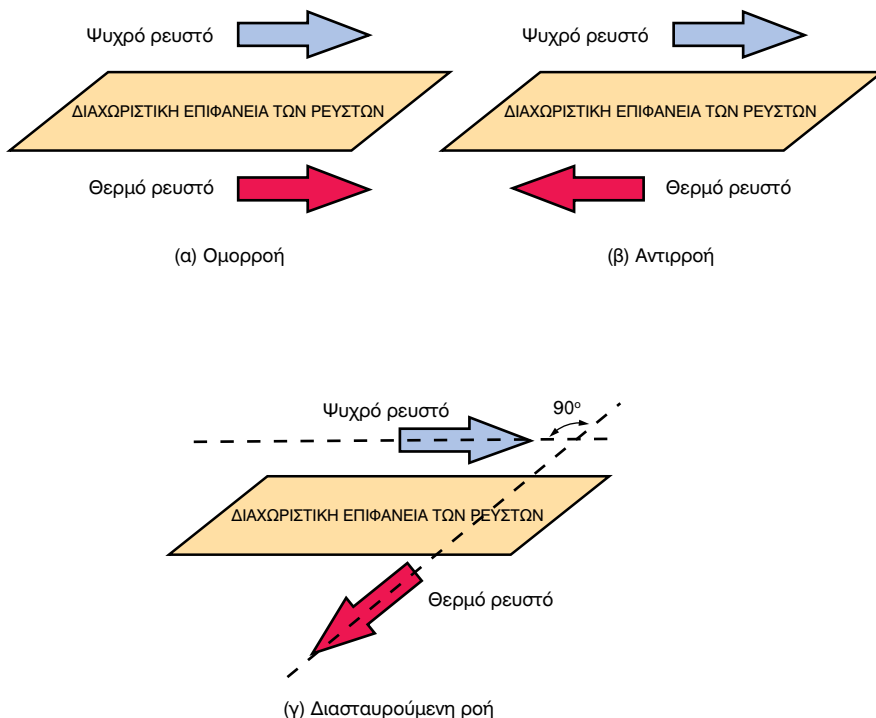
7-4. Τα συστήματα εναλλαγής θερμότητας μεταξύ ρευστών που βρίσκονται και τα δύο σε εξαναγκασμένη κυκλοφορία

Διακρίνουμε τρία συστήματα εναλλαγής θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών που είναι σε κατάσταση ροής:

- Ομορροή (parallel flow)
- Αντιρροή (counterflow)
- Διασταυρούμενη ροή (crossflow)

Στο σχήμα (7-6) βλέπουμε σχηματικά τα ως άνω τρία συστήματα. Στην ομορροή (α) τα δύο ρευστά οδεύουν παράλληλα προς την ίδια κατεύθυνση. Στην αντιρροή (β) οδεύουν παράλληλα αλλά προς αντίθετες κατευθύνσεις. Στη διασταυρούμενη ροή (γ) τα δύο ρευστά οδεύουν σε κατευθύνσεις που σχηματίζουν γωνία 90° μεταξύ τους. Η εναλλασσόμενη θερμότητα στην κατάσταση αντιρροής q_a είναι πολύ μεγαλύτερη από την

εναλασσόμενη θερμότητα σε κατάσταση ομορροής q_o , ενώ η q_δ στη διασταυρούμενη ροή βρίσκεται ενδιάμεσα στις δύο παραπάνω.



Σχήμα 7-6: Ομορροή, Αντιρροή, Διασταυρούμενη ροή.

Δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$q_a > q_\delta > q_o \quad (7-7)$$

Ευνόητο είναι ότι μας συμφέρει να κατασκευάζουμε εναλλάκτες θερμότητας που να λειτουργούν σε κατάσταση αντιρροής αλλά στην πράξη αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό. Όπως εξάλλου θα δούμε αργότερα σ' αυτό το κεφάλαιο, οι πλέον κοινοί εναλλάκτες, τα «στοιχεία», λειτουργούν κυρίως σε διάταξη διασταυρούμενης ροής.

Στην πράξη, σπάνια συναντάμε έναν εναλλάκτη που να λειτουργεί αποκλειστικά και μόνο με ένα από τα παραπάνω τρία συστήματα. Συνήθως η ροή μέσα σε έναν εναλλάκτη είναι συνδυασμός των παραπάνω. Π.χ. σε ένα τμήμα ενός εναλλάκτη μπορεί να έχουμε λειτουργία σε κατάσταση αντιρροής ενώ ένα άλλο τμήμα του να λειτουργεί σε κατάσταση ομορροής.

7-5. Τα είδη των εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις

Οι εναλλάκτες θερμότητας (heat exchangers) είναι από τα βασικότερα εξαρτήματα μίας κλιματιστικής εγκατάστασης. Μπορούμε να τους διακρίνουμε στις εξής κατηγορίες:

(α) Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους

- Πλακοειδείς εναλλάκτες υγρών
- Εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων (ή κυλινδρικοί εναλλάκτες)
- Πλακοειδείς εναλλάκτες αέρος
- Περιστροφικοί εναλλάκτες
- Στοιχεία (Coils)

(β) Ανάλογα με τα ρευστά που χρησιμοποιούνται στην εναλλαγή της θερμότητας

- Νερού - νερού
- Νερού - ψυκτικού ρευστού
- Νερού - υδρατμού
- Αέρος - νερού
- Αέρος - ψυκτικού ρευστού
- Αέρος - υδρατμού
- Αέρος - αέρος

Οι εναλλάκτες αέρος-αέρος χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό σχεδόν αποκλειστικά για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο κάθε εναλλάκτης, που αναφέραμε στην κατάταξη (α), είναι κατάλληλος για ορισμένα από τα ρευστά που αναφέρουμε στην κατάταξη (β). Στον πίνακα (7-1), συνδυάζουμε μεταξύ τους και τους δύο παραπάνω τρόπους κατάταξης και βλέπουμε με ποια ακριβώς ρευστά μπορεί να λειτουργήσει ο κάθε τύπος εναλλάκτη.

Αντίστοιχα, στον πίνακα (7-2), ανάλογα με τα ρευστά που έχουμε, φαίνονται οι δυνατές επιλογές που μπορούμε να κάνουμε όταν θα χρειαστεί να επιλέξουμε τον κατάλληλο τύπο εναλλάκτη. Αν π.χ. έχουμε να κάνουμε

Πίνακας 7-1: Είδη εναλλακτών και ρευστά με τα οποία λειτουργούν

A/A	Είδος εναλλάκτη	Είναι κατάλληλος κυρίως για εναλλαγή:
1	Πλακοειδείς υγρών	Νερού - νερού Νερού - ψυκτικού υγρού Νερού - υδρατμού (υπό προϋποθέσεις)
2	Κελύφους-σωλήνων (κυλινδρικός)	Νερού - νερού Νερού - ψυκτικού υγρού Νερού - υδρατμού
3	Στοιχεία	Αέρος - νερού Αέρος - ψυκτικού υγρού Αέρος - υδρατμού Αέρος - αέρος (με δύο στοιχεία)
4	Πλακοειδείς αέρος	Αέρος - αέρος
5	Περιστροφικοί	Αέρος - αέρος

εναλλαγή αέρος-νερού, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο στοιχεία. Ο πίνακας αυτός κάνει εμφανή τη μεγάλη χρήση των στοιχείων και τη σχεδόν πλήρη αποκλειστικότητα που έχουν στις περιπτώσεις που το ένα εκ των δύο εναλλασσόμενων ρευστών είναι ο αέρας.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε συνοπτικά σε όλα τα είδη των εναλλακτών χωρίς να επεκταθούμε σε λεπτομέρειες.

7-6. Πλακοειδείς εναλλάκτες υγρών

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας (plate heat exchangers) κατασκευαστικά είναι όπως φαίνεται στο σχήμα (7-7). Όπως βλέπουμε στον πίνακα (7-1) είναι κατάλληλοι για την εναλλαγή θερμότητας νερού-νερού και νερού-ψυκτικού ρευστού. Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με υδρατμό. Εσωτερικά είναι χωρισμένοι σε δύο περιοχές, μέσω πολύ λεπτών ελασμάτων, που είναι κυματοειδούς μορφής για τη βελτίωση της εναλλαγής θερμότητας.

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες μπορεί να είναι κλειστοί (συγκολλητοί) ή λυόμενοι. Στους τελευταίους οι εσωτερικές πλάκες μπορούν να αντικα-

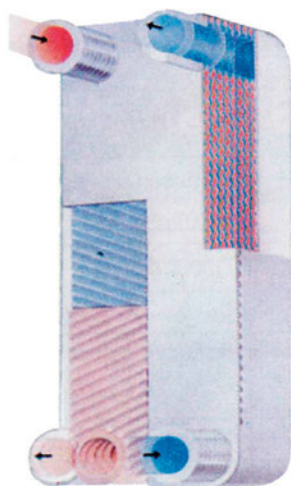
Πίνακας 7-2: Τα είδη εναλλαγής θερμότητας ανάλογα με τα ρευστά που χρησιμοποιούνται και οι κατάλληλοι εναλλάκτες για την κάθε περίπτωση

A/A	Είδος εναλλαγής (ρευστά)	Κατάλληλοι εναλλάκτες
1	Νερού - νερού	Πλακοειδής νερού Κελύφους-σωλήνων
2	Νερού - ψυκτικού υγρού	Πλακοειδής Κελύφους-σωλήνων
3	Νερού - υδρατμού	Κελύφους-σωλήνων Υπό προϋποθέσεις: ο πλακοειδής
4	Αέρος - νερού	Στοιχείο
5	Αέρος - ψυκτικού υγρού	Στοιχείο
6	Αέρος - υδρατμού	Στοιχείο
7	Αέρος - αέρος	Πλακοειδής αέρος Περιστροφικός Με συνδυασμό 2 στοιχείων

θίστανται. Συνήθως δεν έχουν μεγάλη αντοχή σε υψηλές πιέσεις, γι' αυτό σχετικά σπάνια χρησιμοποιούνται με υδρατμό.

Σημαντικό πλεονέκτημα των πλακοειδών εναλλακτών είναι ότι έχουν χαμηλό κόστος σε σχέση με τους «ανταγωνιστές», τους εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων. Επίσης πλεονεκτούν έναντι των εναλλακτών κελύφους-σωλήνων όταν τα ρευστά που εναλλάσσουν τη θερμότητα απαιτούν την ύπαρξη ανοξείδωτων επιφανειών εναλλαγής θερμότητας.

Η κατάσταση ροής στους πλακοειδείς εναλλάκτες είναι κυρίως η αντιροή. Οι εναλλάκτες αυτοί έχουν το πλεονέκτημα πολύ υψηλών αποδόσεων σε μικρό σχετικά όγκο. Όμως οι λεπτές δίοδοι διέλευσης και οι κυματοειδής επιφάνεια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μεγάλη πτώση πίεσης. Μειονέκτημά τους επίσης είναι ότι καθαρίζονται σχετικά δύσκολα. Ως εκ τούτου θα πρέπει τα δύο ρευστά που εναλλάσσουν θερμότητα να είναι σχετικά απαλλαγμένα από ακαθαρσίες ή από αιωρούμενα σωματίδια.



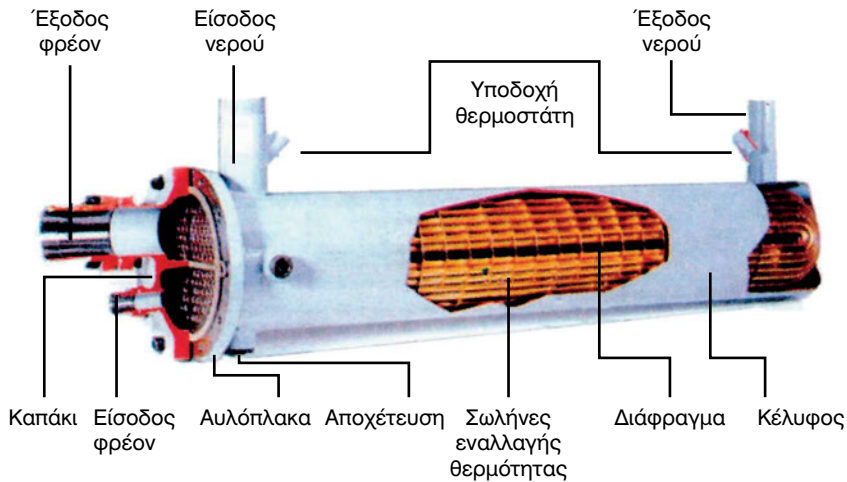
Ανοξείδωτος
πλακοειδής
συγκολλητός
εναλλάκτης
**(Compact
brazed heat
exchanger)**

Σχήμα 7-7: Κατασκευαστική διαμόρφωση πλακοειδούς εναλλάκτη.

Όταν οι πλακοειδείς εναλλάκτες πρόκειται να λειτουργήσουν με νερό σχετικά βρώμικο, όπως είναι το νερό που προέρχεται από πύργους ψύξης, συνιστάται η παρεμβολή φίλτρων νερού για να συγκρατούν τα μεγαλύτερα σωματίδια. Τα φίλτρα δημιουργούν όμως προβλήματα στη σωστή λειτουργία των κλιματιστικών μηχανημάτων, επειδή βουλώνουν πολύ εύκολα και περιορίζουν ή ακόμη και διακόπτουν τη ροή του νερού μέσα από τους εναλλάκτες. Το αποτέλεσμα είναι να απαιτείται συχνός καθαρισμός τους, ιδίως όταν το νερό προέρχεται από πύργους ψύξης (το νερό των πύργων ψύξης είναι συνήθως πάρα πολύ βρώμικο).

7-7. Κυλινδρικοί Εναλλάκτες (κελύφους-σωλήνων)

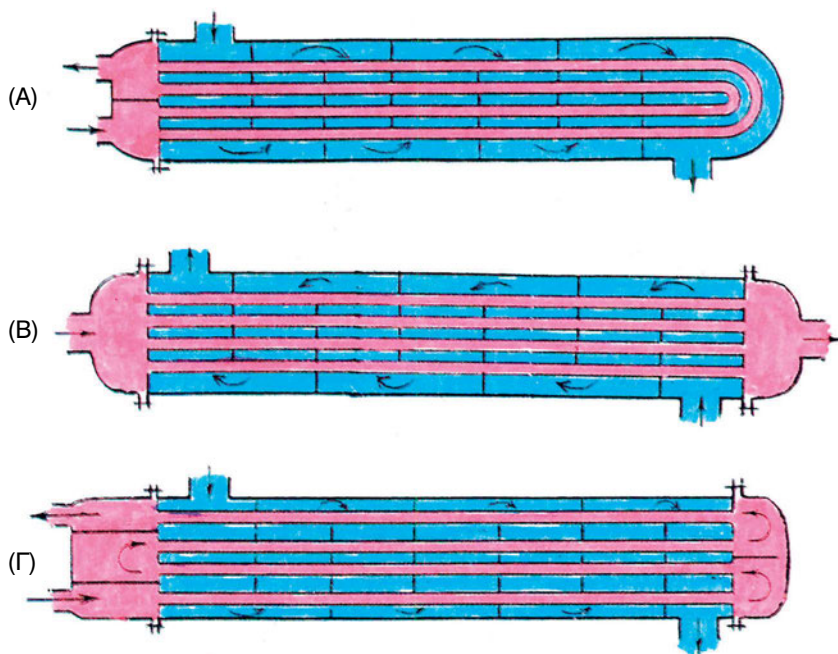
Οι κυλινδρικοί εναλλάκτες ή εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων (shell and tubes heat exchangers) είναι αυτοί που σχεδόν κατά κανόνα χρησιμοποιούνται στα μεγάλα μηχανήματα παραγωγής ψυχρού νερού. Η κατασκευαστική τους διαμόρφωση είναι όπως του σχήματος (7-8). Πρωτίστως θα πρέπει να θεωρούνται δοχεία υψηλής πίεσης και κατά δεύτερο λόγο εναλλάκτες.



Σχήμα 7-8: Κατασκευαστική διαμόρφωση εναλλάκτη κελύφους-σωλήνων, με σωλήνες μορφής U.

Οι εναλλάκτες αυτοί, όπως βλέπουμε στο σχήμα (7-8), αποτελούνται από σωλήνες, μέσα από τους οποίους ρέει το ένα ρευστό. Οι σωλήνες περιβάλλονται από ένα κέλυφος που χρησιμεύει και ως οδηγός της ροής του άλλου ρευστού. Ανάλογα με τα ρευστά για τα οποία προορίζονται έχουν σημαντικές κατασκευαστικές διαφορές, τις οποίες δεν θα αναπτύξουμε. Ενδεικτικά λέμε μόνο ότι αν προορίζονται π.χ. για εναλλαγή θερμότητας μεταξύ νερού και ψυκτικού υγρού, οι σωλήνες, στην πλευρά του ψυκτικού υγρού, μπορεί να έχουν εσωτερικές ραβδώσεις για να αυξάνουν την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας και να βελτιώνουν την απόδοση.

Ο εναλλάκτης του σχήματος (7-8) ονομάζεται εναλλάκτης μορφής σωλήνων U (U-tubes). Αυτός έχει μόνο ένα καπάκι (καθρέπτη) στη μία μόνο άκρη. Η διάταξη της ροής εσωτερικά σ' αυτό τον εναλλάκτη φαίνεται στο σχήμα (7-9), περίπτωση (Α). Υπάρχουν και οι εναλλάκτες με ίσιους σωλήνες που έχουν καθρέπτες και στις δύο μεριές. Έχουν σημαντικά μεγαλύτερο κόστος, συντηρούνται όμως και επισκευάζονται πιο εύκολα. Αυτοί μπορεί να έχουν μία ή περισσότερες διαδρομές, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής των κεφαλών τους. Η διάταξη της ροής σ' αυτούς φαίνεται στο σχήμα (7-9), περιπτώσεις (Β) και (Γ).

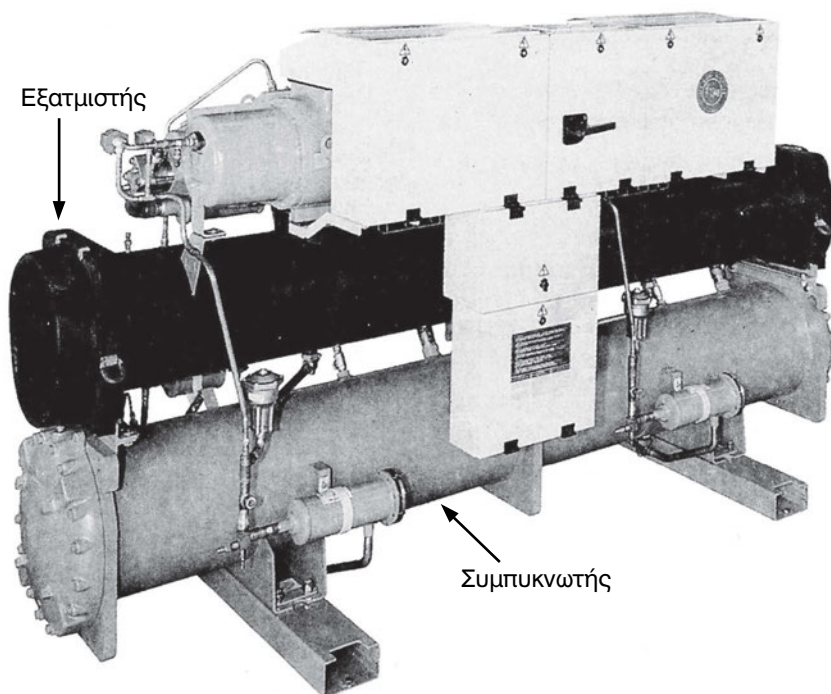


Σχήμα 7-9: Ενδεικτικές διατάξεις της ροής στο εσωτερικό των εναλλακτών κελύφους-σωλήνων (Α) Με σωλήνες U (Β) Με ευθείς σωλήνες - απλής διαδρομής (Γ) Με ευθείς σωλήνες - με 4 διαδρομές.

Στο σχήμα (7-10) βλέπουμε έναν υδρόψυκτο ψύκτη νερού (ή υδρόψυκτο chiller) με κυλινδρικούς εναλλάκτες οι οποίοι έχουν ευθείς σωλήνες (το καταλαβαίνουμε από τους δύο καθρέπτες που έχει ο κάθε εναλλάκτης). Ο ένας εναλλάκτης είναι ο εξατμιστής και ο άλλος είναι ο συμπυκνωτής. Τους ξεχωρίζουμε εύκολα, επειδή ο εξατμιστής πρέπει να είναι θερμομονωμένος για να μην υπάρχουν απώλειες αλλά και για να μη δημιουργούνται συμπυκνώματα στην επιφάνειά του. Στο σχήμα (7-10), η θερμομόνωση ξεχωρίζει επειδή είναι μαύρου χρώματος.

Οι κυλινδρικοί εναλλάκτες είναι πολύ πιο ογκώδεις για την ίδια απόδοση σε σχέση με τους αντίστοιχους πλακοειδείς εναλλάκτες. Καθαρίζονται όμως πολύ πιο εύκολα και δεν είναι απαραίτητη η παρεμβολή φίλτρων νερού όταν το νερό είναι σχετικά βρώμικο, όπως συμβαίνει με το νερό των πύργων ψύξης.

1 Ο **ψύκτης νερού** στην Αγγλική ονομάζεται **chiller** και ο όρος αυτός έχει σχεδόν επικρατήσει. Εμείς στο βιβλίο, στην προσπάθειά μας να έχουμε Ελληνικούς τεχνικούς όρους, θα χρησιμοποιούμε τον αντίστοιχο Ελληνικό όρο **ψύκτης νερού**, παρ' όλον ότι στην πράξη, προς το παρόν τουλάχιστον, ελάχιστα ακούγεται.



Σχήμα 7-10: Υδρόψυκτο *chiller* με εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων. Οι εναλλάκτες είναι με ευθείς σωλήνες.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των κυλινδρικών εναλλακτών σε σχέση με τους πλακοειδείς είναι ότι έχουν σημαντικά μεγαλύτερο κόστος. Ένας υδρόψυκτος ψύκτης νερού με κυλινδρικούς εναλλάκτες είναι πολύ ακριβότερος από τον αντίστοιχο ψύκτη νερού με πλακοειδείς εναλλάκτες. Είναι όμως πολύ πιο αξιόπιστος και μεγαλύτερης αντοχής. Επίσης παρουσιάζει μικρότερες πτώσεις πίεσης κατά τη ροή των ρευστών.

Στους συμπυκνωτές των υδρόψυκτων ψυκτών νερού, η συμπύκνωση του ψυκτικού υγρού επιτυγχάνεται κατά κανόνα με νερό προερχόμενο από κάποιο πύργο ψύξης. Τα μεγάλα ψυκτικά μηχανήματα συνήθως είναι εξοπλισμένα με κυλινδρικούς εναλλάκτες.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Δείτε το σχήμα (7-9). Όταν έχουμε νερό από πύργο ψύξης, ποιο από τα δύο κυκλώματα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε γι' αυτό το νερό;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Κατ' αρχήν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όποιο θέλουμε, αλλά μας συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε το κύκλωμα που καθαρίζεται ευκολότερα. Αυτό είναι το κύκλωμα εσωτερικά των σωλήνων (κόκκινο

χρώμα). Οι καθρέπτες των συλλεκτών αφαιρούνται και με μία μακριά βούρτσα οι σωλήνες καθαρίζονται. Επίσης καθαρίζονται από τα άλατα με χημικό καθαρισμό (η τεχνική που θα αναπτυχθεί στο κεφάλαιο συντήρησης του ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ). Όλα τα υδρόψυκτα συγκροτήματα χρησιμοποιούν αυτό το κύκλωμα για το νερό του πύργου ψύξης.

7-8. Τα στοιχεία (coils) και η σημασία τους στον κλιματισμό

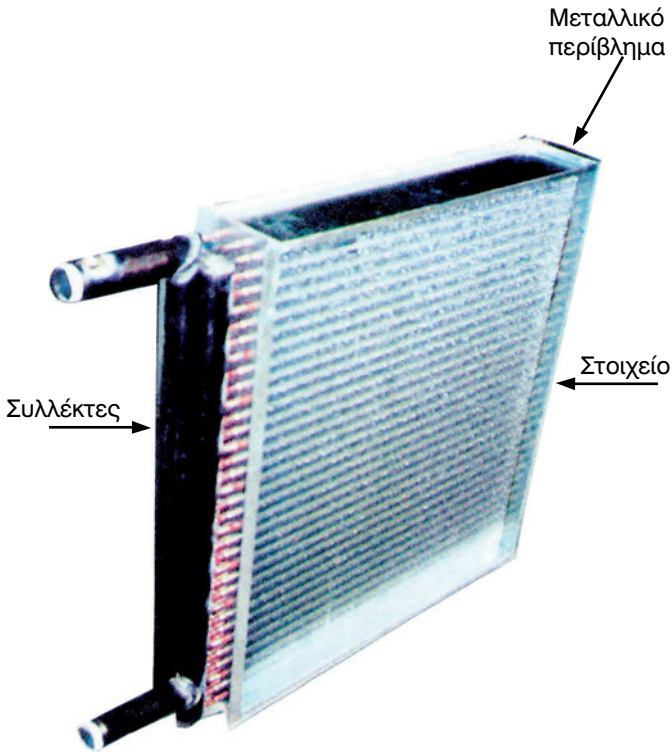
Το **βασικότερο εξάρτημα** που υπάρχει μέσα στην κάθε Κλιματιστική Μονάδα (KM) είναι ο εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος στα αγγλικά ονομάζεται **coil** και στα ελληνικά έχει αποδοθεί, ίσως όχι και τόσο επιτυχώς, με τον όρο **στοιχείο**. Σίγουρα η απόδοση στα ελληνικά δεν είναι και η καλύτερη δυνατή (coil κατά λέξη, σημαίνει τύλιγμα), αλλά ο τεχνικός όρος «στοιχείο» έχει πλέον καθιερωθεί. Παράλληλα όμως θα συναντάτε πολύ συχνά στην πράξη και τον όρο coil. Φαίνεται ότι είναι πολλοί αυτοί που ο τεχνικός όρος «στοιχείο» δεν δείχνει να τους ικανοποιεί.

Τα στοιχεία, εκτός από τις KM, χρησιμοποιούνται και στην κατασκευή εναλλακτών αέρος-νερού, συμπυκνωτών και εξατμιστών. Τα μηχανήματα αυτά, στον κλιματισμό, είναι απαραίτητα στην όλη διαδικασία της παραγωγής της ψύξης.

Τα στοιχεία είναι αρκετά περίπλοκα στην κατασκευή τους. Στα σχήματα (7-11) και (7-12), βλέπουμε τέτοια στοιχεία.

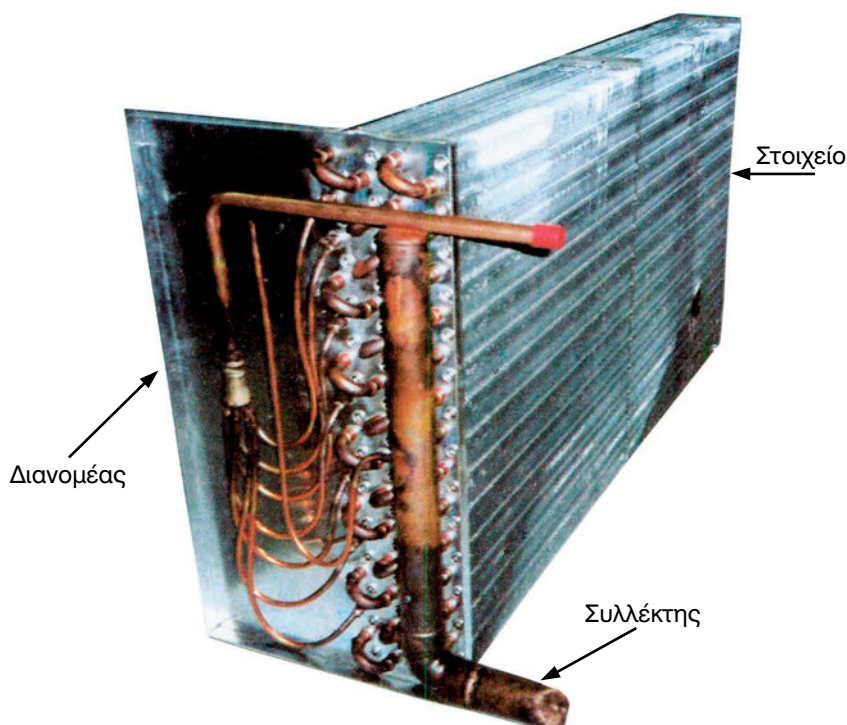
Το στοιχείο του σχήματος (7-11) είναι αέρος-νερού ενώ του (7-12) είναι εξατμιστής αέρος-ψυκτικού υγρού. Τα ξεχωρίζουμε πολύ εύκολα από τον τρόπο που είναι κατασκευασμένοι οι συλλέκτες και από τα υλικά κατασκευής των συλλεκτών. Συγκεκριμένα:

2 Στο παρόν κεφάλαιο, για τη διευκόλυνση της διδασκαλίας, δεν γίνεται πλήρης ανάπτυξη της θεωρίας των στοιχείων. Η θεωρία ολοκληρώνεται μέσω των εργαστηριακών ασκήσεων 16 και 17 του ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ. Καλό είναι, μετά την ανάπτυξη της παρούσης παραγράφου, να εκτελεστεί τουλάχιστον η άσκηση 16.



Σχήμα 7-11: Στοιχείο αέρος-νερού. Οι συλλέκτες στο στοιχείο αυτό συνήθως είναι χαλύβδινοι και έχουν την ίδια διάμετρο.

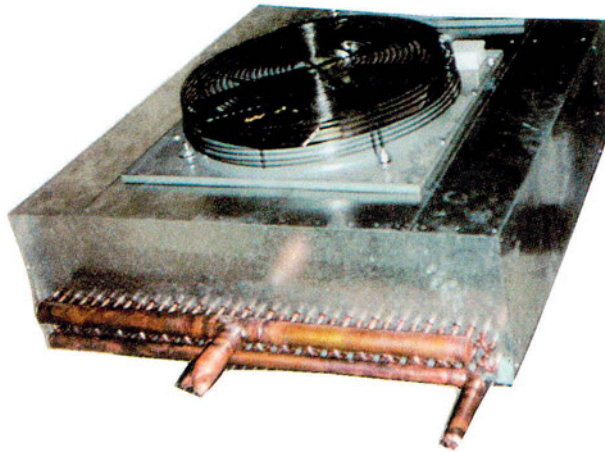
- Όταν το στοιχείο είναι συμπυκνωτής (για ψυκτικά ρευστά) οι συλλέκτες είναι χάλκινοι και έχουν διαφορετικές διαμέτρους. Προφανώς η πλευρά του υγρού είναι αυτή που έχει τη μικρότερη διάμετρο.
- Όταν το στοιχείο είναι εξατμιστής, έχει στην είσοδο του ψυκτικού ρευστού το διανομέα για την ομοιόμορφη κατανομή του ψυκτικού υγρού στα κυκλώματα, που φαίνονται στο σχήμα (7-12).
- Στο νερό συνήθως οι συλλέκτες είναι χαλύβδινοι και είναι και οι δύο της ίδιας διαμέτρου.



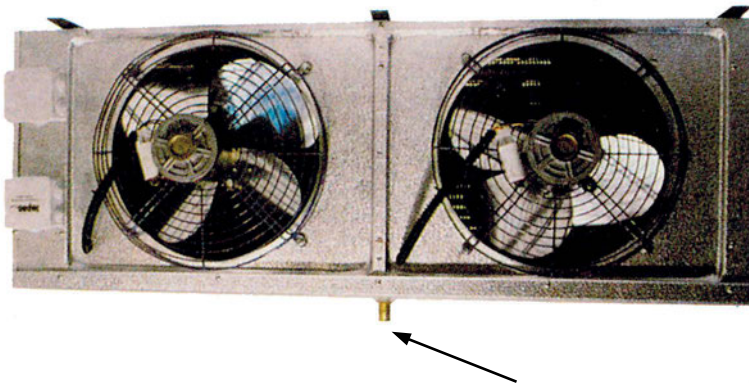
Σχήμα 7-12: Στοιχείο DX αέρος-ψυκτικού υγρού
(το στοιχείο αυτό είναι εξατμιστής).

Στο σχήμα (7-13) βλέπουμε ένα συμπυκνωτή, με το στοιχείο τοποθετημένο ήδη μέσα στο μεταλλικό κέλυφος του συμπυκνωτή. Δεν χρειάζεται πολύς χρόνος να σκεφτούμε προκειμένου να καταλάβουμε ότι πρόκειται για συμπυκνωτή αφού δεν υπάρχει διανομέας. Οι χάλκινοι συλλέκτες, διαφορετικής διαμέτρου, δείχνουν ότι πρόκειται για στοιχείο που προορίζεται για ψυκτικό υγρό.

Όταν και οι συλλέκτες είναι μέσα σε κλειστό κουτί, μπορούμε και πάλι να ξεχωρίσουμε αν πρόκειται για εξατμιστή ή για συμπυκνωτή. Συγκεκριμένα ο εξατμιστής δημιουργεί συμπυκνώματα νερού και γι' αυτό θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με σημείο αποχέτευσης. Στο σχήμα (7-14) δεν βλέπουμε τους συλλέκτες, αλλά μπορούμε να πούμε με απόλυτη βεβαιότητα ότι πρόκειται για εξατμιστή.



Σχήμα 7-13: Συμπυκνωτής με στοιχείο αέρος-ψυκτικού υγρού

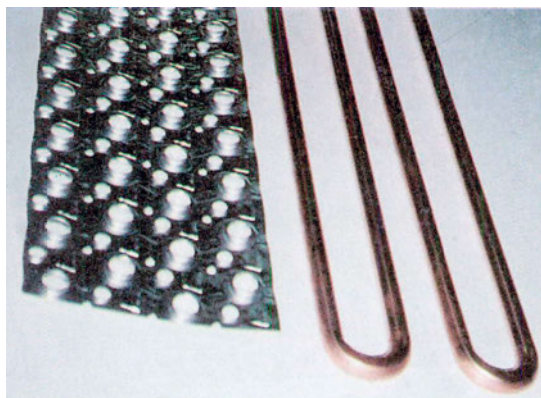


Σημείο αποχέτευσης
των συμπυκνωμάτων

Σχήμα 7-14: Εξατμιστής με στοιχείο αέρος-ψυκτικού υγρού, που είναι πλήρως κλεισμένο στο κέλυφος του μηχανήματος. Το καταλαβαίνουμε όμως ότι πρόκειται για εξατμιστή από την παρουσία σημείου αποχέτευσης.

Τα στοιχεία είναι κατασκευασμένα από τα πτερύγια (fins) που είναι πολύ λεπτά φύλλα αλουμινίου (σπάνια χαλκού), με πολύ μικρό πάχος (0,12-0,18 mm) και από σωλήνες (tubes) χαλκού με πολύ λεπτό τοίχωμα (0,3-0,5 mm). Τα υλικά αυτά τα βλέπουμε στο σχήμα (7-15).

Τα πτερύγια απέχουν μεταξύ τους κατά πολύ μικρές αποστάσεις που μπορεί να κυμαίνονται από 1,4 μέχρι 6,4 mm αλλά που ως επί το πλείστον είναι 2,1-3,2 mm.



Σχήμα 7-15: Τα κυριότερα υλικά κατασκευής των στοιχείων.

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται, συνήθως, μετριοούνται σε ίντσες. Τα τυποποιημένα μεγέθη αφορούν την εξωτερική διάμετρο είναι 3/8" (9,52 mm), 1/2" (12,7 mm) και 5/8" (15,88 mm). Αντίστοιχα στο σύστημα SI έχουμε εξωτερικές διαμέτρους 10, 12,5 και 16 mm. Αν και εξωτερικά οι σωλήνες αυτοί μοιάζουν με τους συνήθεις χαλκοσωλήνες του εμπορίου, διαφέρουν στο ότι έχουν πολύ μικρό πάχος τοιχώματος. Το πάχος τους αρχίζει από 0,30 mm στους σωλήνες 3/8" και συνήθως δεν υπερβαίνει τα 0,45 mm στους σωλήνες 5/8".

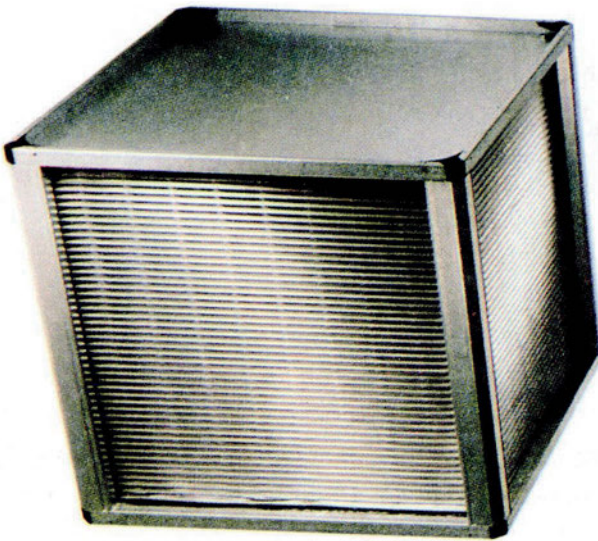


Σχήμα 7-16: Από το χώρο αποθήκευσης ημιέτοιμων στοιχείων (δεν έχουν ακόμη τοποθετηθεί οι συλλέκτες), σε ελληνικό εργοστάσιο κατασκευής κλιματιστικών μηχανημάτων.

Η παραγωγή των στοιχείων είναι σχετικά εύκολη, αν τη συγκρίνουμε με την παραγωγική διαδικασία των άλλων τύπων εναλλακτών. Παράγονται και αποθηκεύονται μαζικά, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (7-16). Στοιχεία κατασκευάζονται στην Ελλάδα από αρκετές βιομηχανίες και είναι εξαιρετικά καλής ποιότητας και κατασκευής.

7-9. Οι πλακοειδείς εναλλάκτες αέρος-αέρος

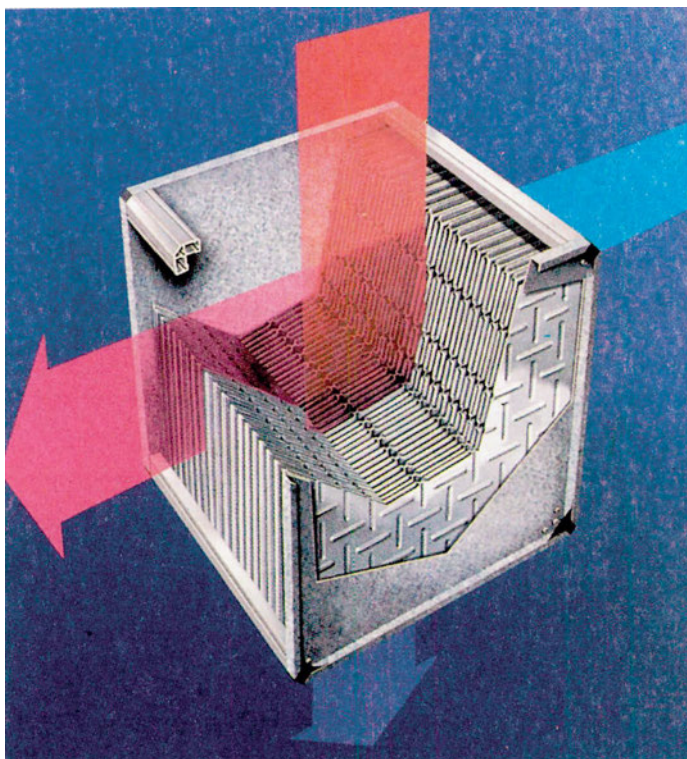
Οι πλακοειδείς εναλλάκτες αέρος-αέρος είναι οι πλέον διαδεδομένοι σε χρήση εξοικονομητές ενέργειας. Η λειτουργία τους φαίνεται στο σχήμα (7-17). Στο σχήμα (7-18) βλέπουμε με λεπτομέρεια την κατασκευαστική διαμόρφωση ενός τέτοιου εναλλάκτη και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί.



Σχήμα 7-17: Πλακοειδής εναλλάκτης αέρος-αέρος, κατάλληλος για εξοικονόμηση ενέργειας.

Η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του νωπού αέρα και του απορριπτόμενου μέσω λεπτών επιφανειών που συνήθως είναι μεταλλικές και απέχουν μεταξύ τους από 2,5 μέχρι 12,5 mm (ανάλογα με το σχεδιασμό και τη χρήση για την οποία προορίζονται).

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με την κατάλληλη διάταξη, για την αναθέρμανση του ψυχρού αέρα, στις περιπτώσεις εκείνες που χρειάζεται στοιχείο αναθέρμανσης. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται η ενέργεια που αλλιώς θα καταναλώνονταν για την αναθέρμανση.

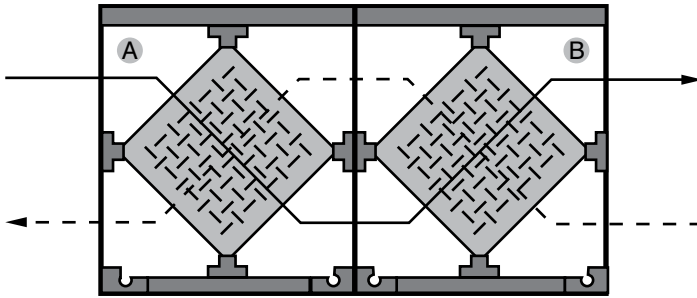


Σχήμα 7-18: Κατασκευαστική διαμόρφωση και λειτουργία πλακοειδούς εναλλάκτη αέρος-αέρος.

Όπως φαίνεται στο σχήμα (7-18), τα δύο ρεύματα αέρα πρέπει να διασταυρώνονται πάνω στον εναλλάκτη. Σ' αυτόν δημιουργούνται, με την κατάλληλη τοποθέτηση των πλακών, δύο δίοδοι αέρα σαφώς διαχωρισμένες μεταξύ τους. Ο απορριπτόμενος στο περιβάλλον αέρας, μέσω της επιφανείας εναλλαγής θερμότητας που δημιουργείται από τις λεπτές μεταλλικές πλάκες, εναλλάσσει τη θερμότητά του με τον εισερχόμενο στο χώρο αέρα. Έτσι ανακτάται μέρος της ενέργειας που έχει καταναλωθεί για τον κλιματισμό του απορριπτόμενου αέρα.

Η τυπική απόδοσή τους, όταν είναι καινούριοι είναι 55-85%³, αλλά με την πάροδο του χρόνου και ανάλογα με το ρυθμό ρύπανσης η απόδοση αυτή μειώνεται. Γι' αυτό προτάσσονται φίλτρα και στα δύο ρεύματα του αέρα για τον περιορισμό της επικάλυψης σκόνης στις πλακοειδείς επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας.

³ Κατά ASHRAE



Σχήμα 7-19: Σύνδεση σε σειρά δύο πλακοειδών εναλλακτών αέρος-αέρος.

Καλύτεροι βαθμοί απόδοσης, μπορούν να επιτευχθούν με την εν σειρά σύνδεση δύο εναλλακτών. Τον τρόπο αυτό σύνδεσης τον βλέπουμε στο σχήμα (7-19).

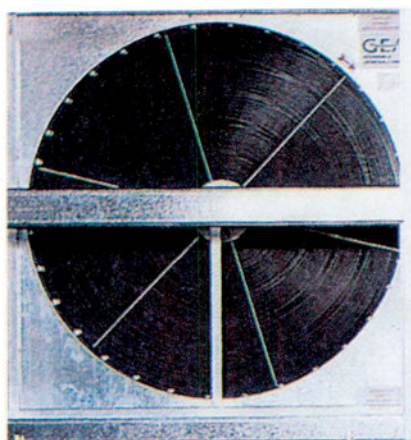
Το μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν έχουν λειτουργικά μέρη. Πρόκειται για μία απλή, κλειστή κατασκευή, που δεν ανοίγεται και που σχεδόν δεν χρειάζεται συντήρηση. Την τοποθετείς και μετά την ξεχνάς.

Το μοναδικό μειονέκτημά τους είναι ότι δεν εναλλάσσουν και υγρασία παρά μόνο θερμότητα.

7-10. Οι περιστροφικοί εναλλάκτες

Οι περιστροφικοί εναλλάκτες (rotary wheel heat exchangers) χρησιμοποιούνται επίσης για εξοικονόμηση ενέργειας, όπως ακριβώς και οι πλακοειδείς εναλλάκτες αέρος-αέρος. Ένας τέτοιος εναλλάκτης φαίνεται στο σχήμα (7-20). Στο σχήμα (7-21) βλέπουμε τον τρόπο λειτουργίας του περιστροφικού εναλλάκτη.

Στον περιστροφικό εναλλάκτη τα δύο ρεύματα αέρα οδεύουν παράλληλα και εναλλάσσουν θερμότητα μέσω μίας περιστρεφόμενης επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας, η οποία επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του αέρα. Όταν ένα τμήμα της περιστρεφόμενης επιφάνειας βρίσκεται στο θερμό ρεύμα του αέρα, το ψύχει κατακρατώντας θερμότητα και υγρασία η οποία επικάθεται πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας. Όταν μετά αυτό το τμήμα του περιστροφικού εναλλάκτη βρεθεί στο ρεύμα του ψυχρού αέρα, μέσω της διαδικασίας της περιστροφής, τότε τη θερμότητα, καθώς και την υγρασία που είχε πάρει από το θερμό ρεύμα του αέρα, θα την αποδώσει στο ψυχρό ρεύμα.

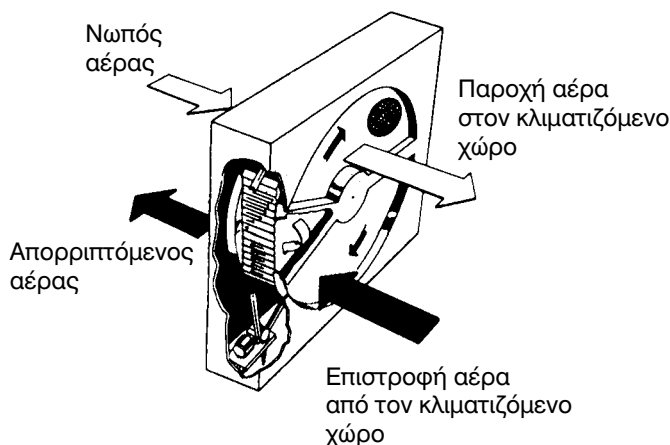


Σχήμα 7-20: Εξωτερική εμφάνιση περιστροφικού εναλλάκτη.

Το υλικό των τροχών των περιστροφικών εναλλακτών είναι συνήθως από αλουμίνιο ή κάποιο συνθετικό υλικό. Δημιουργούνται οδοί διέλευσης πάνω στην επιφάνεια του τροχού (εξαγωνικές, τριγωνικές ή άλλες), που συνήθως έχουν άνοιγμα 1,5-2 mm. Είναι απαραίτητο να προτάσσονται φίλτρα αέρα και στα δύο ρεύματα για να διατηρούνται οι δίοδοι του αέρα καθαρές.

Ο τυπικός βαθμός απόδοσής τους είναι $\eta = 55-85\%$, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους πλακοειδείς εναλλάκτες. Έχουν όμως το μειονέκτημα ότι χρειάζονται σοβαρή συντήρηση, σε αντίθεση με τους πλακοειδείς που δεν έχουν ανάγκη από καμία σχεδόν συντήρηση.

Το μεγάλο πλεονέκτημά τους, έναντι των πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας, είναι ότι μπορούν να εναλλάσσουν και την υγρασία που περιέχεται στο θερμότερο από τα δύο ρεύματα του αέρα. Η αφύγρανση του θερμού ρεύματος και η μεταφορά της αφαιρούμενης υγρασίας στο ψυχρό, γίνεται από μόνη της, αν η θερμοκρασία του ψυχρού ρεύματος αέρα είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία δρόσου του θερμού ρεύματος και δεν υπάρχει τρόπος για να την αποφύγουμε (αν τυχόν, για κάποιο λόγο, δεν θέλουμε να γίνει). Η κατάσταση αυτή είναι η τυπική κατάσταση που επικρατεί το χειμώνα. Όμως αφύγρανση μπορεί να γίνεται πάντοτε, ακόμη και το καλοκαίρι, αν χρησιμοποιηθεί ο ειδικός υγροσκοπικός τροχός.



Σχήμα 7-21: Τρόπος λειτουργίας του περιστροφικού εναλλάκτη.

⁴Η διαδικασία εναλλαγής υγρασίας στον περιστροφικό εναλλάκτη είναι πολύ απλή. Το χειμώνα (που η υγρασία είναι κρίσιμη για το χώρο), το τμήμα του τροχού που μόλις έχει ψυχθεί κατά τη διέλευσή του από το ψυχρό ρεύμα του αέρα, όταν βρεθεί στο θερμό ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα, προκαλεί τη συμπύκνωση των υδατμών πάνω στις οδούς διέλευσης του αέρα, παρακρατώντας έτσι ένα μέρος από την υγρασία του απορριπτόμενου αέρα από το χώρο. Την υγρασία αυτή την αποδίδει, όταν βρεθεί πάλι στο ρεύμα του νωπού αέρα (τον οποίο συγχρόνως θερμαίνει ενώ αυτό ψύχεται) και κατ' αυτόν τον τρόπο συνεχίζεται ο κύκλος της λειτουργίας.

Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει το καλοκαίρι, όπου ο περιστροφικός εναλλάκτης μπορεί να παρακρατά μέρος της υγρασίας του νωπού αέρα και την απομακρύνει μαζί με τον απορριπτόμενο αέρα. Αλλά συνήθως το καλοκαίρι η θερμοκρασία του απερχόμενου ρεύματος αέρα είναι αρκετούς βαθμούς πάνω από τη θερμοκρασία δρόσου του εισερχόμενου νωπού αέρα. Οπότε δεν γίνεται κατακράτηση υγρασίας.

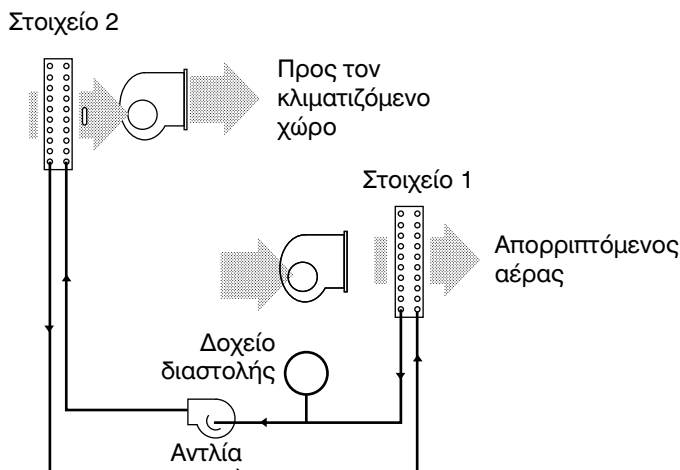
7-11. Εναλλάκτες αέρος-αέρος με τη συνεργασία δύο στοιχείων

Οι δύο τύποι εναλλακτών αέρος-αέρος (πλακοειδείς και περιστρεφόμενοι) έχουν πολύ καλές αποδόσεις, αλλά παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι θα πρέπει να φέρουμε τα δύο ρεύματα αέρα πολύ κοντά μεταξύ τους. Όταν

4 Μπορεί να παραλειφθεί κατά την κρίση του διδάσκοντος.

αυτό δεν είναι δυνατόν μπορεί να γίνει εξοικονόμηση ενέργειας με τη συνδυασμένη λειτουργία δύο στοιχείων.

Ο συνδυασμός των δύο στοιχείων για τη δημιουργία ενός εναλλάκτη αέρος-αέρος ονομάζεται στα αγγλικά **Run-Around Coils** και για συντομία θα γράψουμε **RAC**. Δεν υπάρχει αντίστοιχη επιτυχής απόδοση του όρου στα ελληνικά.



Σχήμα 7-22: Αρχή της λειτουργίας του συστήματος *Run-Around Coils*.

Η βασική αρχή λειτουργίας του συστήματος RAC φαίνεται στο σχήμα (7-22). Το ένα στοιχείο παραλαμβάνει τη θερμότητα από το θερμό ρεύμα του αέρα και την αποδίδει, μέσω ενός κλειστού κυκλώματος νερού, σε ένα άλλο στοιχείο που βρίσκεται στο ψυχρό ρεύμα του αέρα. Και είναι προφανές ότι το σύστημα αυτό δεν μπορεί να παρακρατήσει υγρασία.

Το σύστημα RAC είναι χαμηλού κόστους και ευέλικτο, αλλά έχει σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης που σπάνια υπερβαίνει το $\eta = 55\%$. Και φυσικά αυτή την τιμή του βαθμού απόδοσης τη συναντάμε όταν και τα δύο στοιχεία είναι καινούρια και καθαρά από σκόνες και σκουριές.

7-12. Προσδοκώμενος βαθμός απόδοσης από έναν εναλλάκτη εξοικονόμησης ενέργειας

Οι βαθμοί απόδοσης των εναλλακτών εξοικονόμησης ενέργειας δίνονται από καταλόγους, διαγράμματα κλπ. Αλλά όλα αυτά τα στοιχεία βασίζονται στην παραδοχή ότι πρόκειται για καινούρια μηχανήματα. Το πρόβλημα είναι τι θα αποδώσουν αυτά τα μηχανήματα όταν, αναπόφευκτα, θα έχουν συγκρατήσει αρκετή σκόνη (όσο καλά και αν είναι τα φίλτρα που θα τους προστατεύουν, κάποια ποσότητα ψιλής σκόνης θα περνάει). Επίσης, με την πάροδο του χρόνου, οι επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας σκουριάζουν και μειώνεται η τιμή του ολικού συντελεστή μεταφορά θερμότητας.

Στην πράξη, μετά από ένα χρονικό διάστημα οι βαθμοί απόδοσης πέφτουν σημαντικά. Καλό είναι λοιπόν να μην είμαστε υπερασισιόδοξοι. Ένας τελικός βαθμός απόδοσης της τάξεως του 50% στους πλακοειδείς και τους περιστροφικούς εναλλάκτες ή της τάξεως του 40% στα RAC, μετά από μερικά χρόνια λειτουργίας, θα πρέπει να θεωρείται απόλυτα ικανοποιητικός. Δυστυχώς, η εξοικονόμηση ενέργειας δεν μπορεί να υπερβεί κάποια εφικτά όρια.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

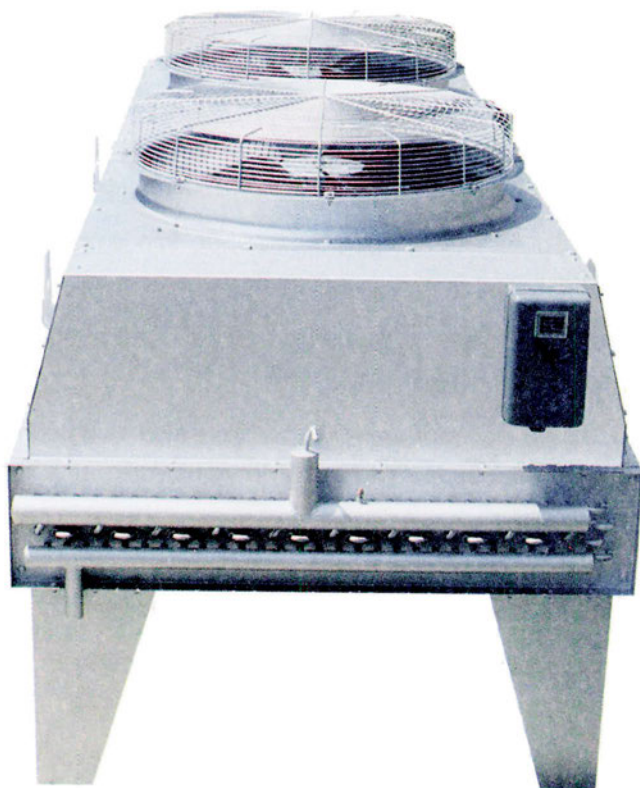
- Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών επιτυγχάνεται στους εναλλάκτες θερμότητας μέσω επιφανειών, πολύ μικρού πάχους, που συνήθως είναι μεταλλικές. Οι επιφάνειες αυτές διαχωρίζουν τη ροή των δύο ρευστών ώστε να μην είναι δυνατή η ανάμειξή τους.
- Η ποσότητα της εναλλασσόμενης θερμότητας εξαρτάται από την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας, από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευστών και από ένα συντελεστή που ονομάζεται συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, ο οποίος συμβολίζεται με h και μετρείται σε W/m^2K .
- Η τιμή του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας h εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα ροής των ρευστών μέσα στον εναλλάκτη. Οι μεγάλες ταχύτητες όμως έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη πτώση πίεσης. Γι' αυτό οι ταχύτητες στους εναλλάκτες βρίσκονται σε μία περιοχή όπου τόσο η εναλλαγή θερμότητας όσο και η πτώση πίεσης έχουν ικανοποιητικές τιμές.
- Τα πτερύγια επάνω στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας αυξάνουν σημαντικά την ποσότητα της εναλλασσόμενης θερμότητας όταν το ρευστό που ρέει ανάμεσά τους παρουσιάζει χαμηλή τιμή του h , όπως συμβαίνει με τον αέρα ή με τα εξατμιζόμενα ψυκτικά ρευστά. Αντίθετα, δεν επιφέρουν σχεδόν καμία βελτίωση όταν τα ρευστά παρουσιάζουν ήδη μεγάλες τιμές του h , όπως συμβαίνει με το νερό και τον υδρατμό.
- Τα συστήματα ροής στους εναλλάκτες θερμότητας είναι τρία: ομοροή, αντιροή και διασταυρούμενη ροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας εναλλάσσεται στην αντιροή, η μικρότερη στην ομοροή ενώ η διασταυρούμενη ροή αποδίδει ενδιάμεσα αποτελέσματα.
- Οι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό είναι:
 - ✓ Τα στοιχεία (coils) για εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του αέρα και κάποιου υγρού.
 - ✓ Οι πλακοειδείς (υγρών) και οι κελύφους-σωλήνων για εναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο υγρών.

- Οι πλακοειδείς (αέρος) και οι περιστροφικοί για εναλλαγή αέρος-αέρος. Αυτό γίνεται επίσης και με συνδυασμένη λειτουργία δύο στοιχείων (Run-Around Coils).
- Ο κάθε εναλλάκτης είναι κατάλληλος μόνο για ορισμένα ρευστά. Οι τύποι εναλλαγής θερμότητας, ανάλογα με το είδος των ρευστών είναι:
 - ✓ Νερού-νερού, νερού-ψυκτικού υγρού, νερού-υδρατμού
 - ✓ Αέρος-νερού, αέρος-ψυκτικού υγρού, αέρος-υδρατμού
 - ✓ Αέρος-αέρος.
- Τις περισσότερες εφαρμογές βρίσκουν τα στοιχεία (coils) που είναι και οι κυριότεροι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό. Τα στοιχεία συνήθως κατασκευάζονται από πτερύγια αλουμινίου και σωλήνες χαλκού. Χρησιμοποιούνται τόσο στις κλιματιστικές μονάδες όσο και σε συμπυκνωτές και εξατμιστές. Από την κατασκευαστική διαμόρφωση των συλλεκτών μπορούμε να καταλάβουμε αν ένα στοιχείο είναι αέρος-νερού, συμπυκνωτής ή εξατμιστής.
- Οι πλακοειδείς εναλλάκτες χρησιμοποιούνται σχεδόν όπου και οι κελύφους-σωλήνων, πλην του υδρατμού, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Κοστίζουν όμως λιγότερο. Έχουν μικρό όγκο και μεγάλες αποδόσεις, αλλά έχουν και μεγάλη πτώση πίεσης. Όταν το ένα ρευστό περιέχει πολλές ακαθαρσίες (όπως το νερό των πύργων ψύξης) βουλώνουν εύκολα. Σε τέτοιες περιπτώσεις έχουν ανάγκη να προτάσσονται φίλτρα νερού, τα οποία όμως θα πρέπει να καθαρίζονται συχνά.
- Οι εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων είναι κατά πρώτο λόγο δοχεία πίεσης και μετά εναλλάκτες. Το κύκλωμά τους που διέρχεται εσωτερικά των σωλήνων δεν χρειάζεται φίλτρα για την προστασία του από το βρώμικο νερό των πύργων ψύξης επειδή καθαρίζεται πολύ εύκολα. Γενικότερα έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και καλύτερη συμπεριφορά στις ακαθαρσίες και στα στερεά υλικά που τυχόν συμπαρασύρονται με τη ροή. Παρουσιάζουν επίσης μικρές πτώσεις πίεσης. Το μειονέκτημά τους είναι ότι είναι ακριβότεροι από τους πλακοειδείς.

- Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται για την εξοικονόμηση ενέργειας είναι οι αέρος-αέρος. Αυτοί είναι οι πλακοειδείς αέρος και οι περιστροφικοί. Περισσότερο διαδεδομένοι είναι οι πλακοειδείς αέρος.
- Οι περιστροφικοί εναλλάκτες είναι οι μόνοι που μπορούν και να εναλλάσσουν και την υγρασία. Αυτό τους κάνει να λειτουργούν, εκτός από εναλλάκτες θερμότητας και σαν αφυγραντήρες το καλοκαίρι ή σαν υγραντήρες το χειμώνα. Χρειάζονται όμως μεγάλη συντήρηση, σε αντίθεση με τους πλακοειδείς που δεν χρειάζονται σχεδόν καμία συντήρηση. Επίσης, για να είναι εξασφαλισμένη η αφύγρανση, πρέπει ο τροχός τους να είναι από υδροσκοπικό υλικό.
- Το μειονέκτημα τόσο των πλακοειδών, όσο και των περιστροφικών εναλλακτών θερμότητας, είναι ότι πρέπει να φέρουμε τα δύο ρεύματα αέρα πολύ κοντά μεταξύ τους. Όταν δεν είναι αυτό δυνατόν να γίνει, μπορούμε να χρησιμοποιούμε τη διάταξη Run Around Coils η οποία όμως παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερο βαθμό απόδοσης.

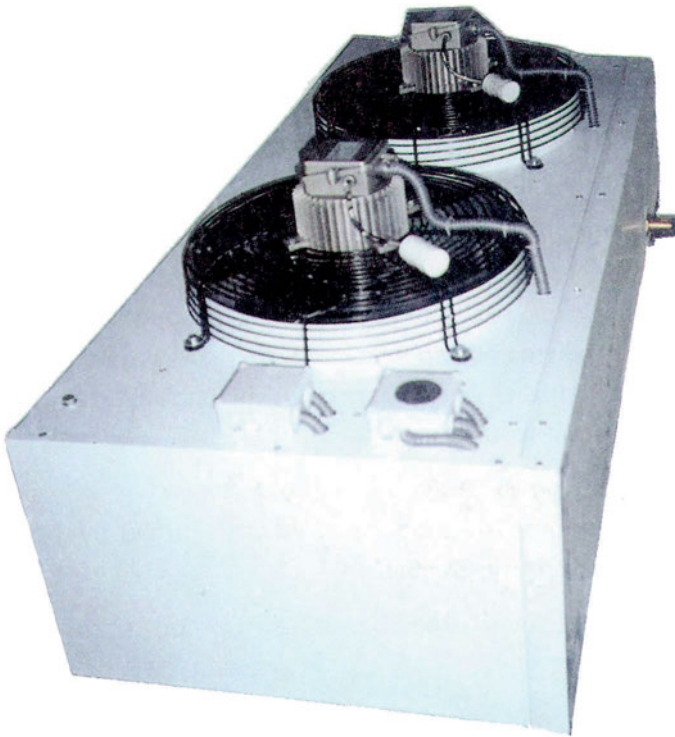
**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Πώς επιτυγχάνεται η εναλλαγή θερμότητας; Τι υλικά συμφέρει να χρησιμοποιούνται για τις διαχωριστικές επιφάνειες και γιατί;
2. Τι ονομάζουμε συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και τι ολικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας;
3. Γιατί όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ρευστού αυξάνεται και η εναλλασσόμενη θερμότητα;
4. Συμφέρει να αυξήσουμε πολύ την ταχύτητα των ρευστών που εναλλάσσουν τη θερμότητά τους για να βελτιώσουμε την απόδοση του εναλλάκτη;
5. Γιατί αυξάνεται η εναλλασσόμενη θερμότητα όταν υπάρχουν πτερύγια πάνω στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας;
6. Με ποια ρευστά συμφέρει να χρησιμοποιούμε εξωτερικά πτερύγια και με ποια το όφελος είναι αμελητέο;
7. Τι ονομάζουμε ομορροή, αντιρροή και διασταυρούμενη ροή;
8. Στο σχήμα (7-9) διακρίνετε αν στους εναλλάκτες έχουμε ομορροή, αντιρροή ή διασταυρούμενη ροή. Αν έχουμε περισσότερα από ένα είδη ροής, σημειώστε σε ποιο τμήμα του εναλλάκτη έχουμε το κάθε είδος της ροής.
9. Αναφέρατε ένα βασικό λόγο για τον οποίο στον κλιματισμό και τα δύο ρευστά που εναλλάσσουν θερμότητα θα πρέπει να είναι σε βεβιασμένη κυκλοφορία.
10. Αναφέρατε τα πέντε είδη εναλλακτών θερμότητας που συνήθως συναντάμε στον κλιματισμό.
11. Θέλετε να κάνετε εναλλαγή θερμότητας που το ένα ρευστό να είναι ο αέρας και το άλλο να είναι σε υγρή μορφή. Ποιο ή ποια είδη εναλλακτών μπορείτε να χρησιμοποιήσετε;
12. Στο σχήμα (7-23) βλέπετε ένα εναλλάκτη στοιχείου. Προσδιορίσατε αν πρόκειται για εναλλάκτη αέρος-νερού ή για συμπυκνωτή ή για εξατμιστή. Τι είναι αυτό που σας οδήγησε σ' αυτό το συμπέρασμα;



Σχήμα 7-23: Ερώτηση 12

13. Θέλετε να κάνετε εναλλαγή θερμότητας κατά την οποία και τα δύο ρευστά είναι σε υγρή μορφή. Ποιους εναλλάκτες μπορείτε να χρησιμοποιήσετε;
14. Συγκρίνετε τους πλακοειδείς εναλλάκτες με τους εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων. Πότε μας συμφέρει να χρησιμοποιούμε πλακοειδείς εναλλάκτες και πότε κελύφους-σωλήνων;
15. Στο σχήμα (7-24) βλέπετε έναν εναλλάκτη στοιχείου. Προσδιορίσατε αν πρόκειται για εναλλάκτη αέρος-νερού ή για συμπυκνωτή ή για εξατμιστή. Τι είναι αυτό που σας οδήγησε σ' αυτό το συμπέρασμα;



Σχήμα 7-24: Ερώτηση 15

16. Θέλετε να κάνετε εναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ρευμάτων αέρα. Ποιους εναλλάκτες μπορείτε να χρησιμοποιήσετε;
17. Ζητάτε να αντικαταστήσετε ένα παλαιό υδρόψυκτο ψύκτη νερού που ο συμπυκνωτής του ψύχεται με νερό προερχόμενο από πύργους ψύξης. Έστω ότι πήρατε τρεις προσφορές για ψύκτες νερού: η πρώτη ήταν οικονομικά πολύ συμφέρουσα με πλακοειδής εναλλάκτες, η δεύτερη ακριβή με κυλινδρικούς εναλλάκτες τύπου U και η τρίτη ακόμη ακριβότερη αλλά με κυλινδρικούς εναλλάκτες με ευθείς σωλήνες. Αν σας ενδιαφέρει το χαμηλό κόστος, σε συνδυασμό με την καλή λειτουργία, ποιον ψύκτη νερού θα διαλέγατε; Αν πάλι σας ενδιαφέρει και η ευκολία καθώς και η ευελιξία της συντήρησης, ποιο θα διαλέγατε; Ποιον από τους τρεις ψύκτες νερού θα πρέπει να αποφύγετε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή;

18. Γιατί στην εναλλαγή θερμότητας μεταξύ νερού και υδρατμού χρησιμοποιούνται σχετικά σπάνια οι πλακοειδείς εναλλάκτες; Τι πλεονέκτημα παρουσιάζουν σ' αυτή την περίπτωση οι εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων; Κάτω από ποιες προϋποθέσεις νομίζετε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πλακοειδείς;
19. Αν σε έναν ψύκτη νερού, διαπιστώσετε βλάβη στον πλακοειδή εναλλάκτη νερού ή στον εναλλάκτη κελύφους-σωλήνων (ανάλογα με το τι εναλλάκτη διαθέτει), με αποτέλεσμα να αναμειγνύονται τα κυκλώματα του νερού και του ψυκτικού υγρού, ποια θα πρέπει να είναι η πρώτη σας ενέργεια για την αποφυγή τυχόν καταστροφής του ψύκτη νερού;
20. Στην παραπάνω βλάβη, αν ο εναλλάκτης είναι κελύφους-σωλήνων, πιστεύετε ότι μπορείτε να κάνετε κάτι για την προσωρινή αποκατάσταση της βλάβης;
21. Συγκρίνατε τον πλακοειδή εναλλάκτη αέρος με τον περιστροφικό εναλλάκτη.
22. Ποιο είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του περιστροφικού εναλλάκτη σε σχέση με τον πλακοειδή αέρος και ποιο αντίστοιχα το μειονέκτημά του;
23. Αν είχατε την ελευθερία να διαλέξετε σε μία εγκατάσταση πλακοειδή εναλλάκτη αέρος ή περιστροφικό εναλλάκτη, με ποια κριτήρια θα κάνατε την επιλογή σας;
24. Ποιος είναι ο βασικός περιορισμός όταν θέλετε να δουλέψετε με πλακοειδή εναλλάκτη αέρος ή με περιστροφικό εναλλάκτη; Τι εναλλακτική λύση υπάρχει; Ποιο είναι το σημαντικό μειονέκτημα αυτής της λύσης;
25. Όταν τα δύο ρεύματα του νωπού αέρα και του αέρα ανακυκλοφορίας δεν μπορούν να έρθουν κοντά το ένα στο άλλο, λόγω της κατασκευαστικής διαμόρφωσης της οικοδομής, τότε ποιος άλλος τρόπος υπάρχει για να κάνετε εξοικονόμηση ενέργειας;

ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
ΗΜΙΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ
ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ



- ✓ Να μάθουν οι μαθητές τι είναι και πώς λειτουργούν οι κλιματιστικές μονάδες.
- ✓ Να μπορούν να διακρίνουν τις κλιματιστικές μονάδες νερού σε Τοπικές TKM (FCU) σε Ημικεντρικές (HKM) και Κεντρικές (KKM ή AHU).
- ✓ Ομοίως να μάθουν τι είναι οι κλιματιστικές μονάδες άμεσης εκτόνωσης (DX) και να διακρίνουν τα είδη τους.
- ✓ Να μάθουν τον εξοπλισμό που πρέπει να διαθέτει μία Κλιματιστική Μονάδα για να μπορεί να επιτελέσει την αποστολή της (ανεμιστήρας, φίλτρο, στοιχείο κλπ.).
- ✓ Να γνωρίσουν τη δομή και τη λειτουργία της Κεντρικής Κλιματιστικής Μονάδας, τα εξαρτήματα και τις συσκευές που τοποθετούνται πάνω σ' αυτήν, καθώς και τις θέσεις στις οποίες τοποθετούνται.
- ✓ Να πληροφορηθούν τι είναι και πού χρησιμοποιούνται οι μονάδες κλειστού κυκλώματος.
- ✓ Να ενημερωθούν για τις ειδικές απαιτήσεις του βιομηχανικού κλιματισμού και τις ιδιαιτερότητες των μονάδων που χρησιμοποιούνται στον βιομηχανικό κλιματισμό.
- ✓ Να μάθουν να προδιαγράφουν τις κλιματιστικές μονάδες και να διαβάσουν τις προδιαγραφές των κατασκευαστών.

8-1. Τα είδη των κλιματιστικών μονάδων

Τις κλιματιστικές μονάδες θα τις διακρίνουμε στα εξής πέντε βασικά είδη και θα χρησιμοποιούμε αντίστοιχα τις συντομογραφίες που αναφέρουμε παρακάτω:

- Τοπικές κλιματιστικές μονάδες (TKM)
- Ημικεντρικές κλιματιστικές μονάδες (HKM)
- Κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (KKM)
- Μονάδες κλειστού κυκλώματος
- Βιομηχανικές κλιματιστικές μονάδες

Στη συνέχεια θα αναπτυχθούν οι διάφοροι τύποι των ΚΜ και οι εφαρμογές τους στον κλιματισμό¹.

8-2. Ο ρόλος των κλιματιστικών μονάδων

Στο κεφάλαιο 6 ασχοληθήκαμε με την παραγωγή της ψύξης ή της θέρμανσης και με τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνονται τα δίκτυα των σωληνώσεων που θα τη μεταφέρουν. Ο τελικός στόχος, είτε το μεταφορικό μέσο είναι το νερό είτε απευθείας το ψυκτικό υγρό, είναι να μεταφερθεί η ψύξη ή η θέρμανση στις κλιματιστικές μονάδες (ΚΜ).

Μη σας δημιουργηθεί όμως η εντύπωση ότι η εργαζόμενη μάζα στον κλιματισμό είναι το νερό ή το ψυκτικό υγρό. Αυτά δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένα ενδιάμεσο στάδιο στην όλη λειτουργική διαδικασία.

Η εργαζόμενη μάζα, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται ο κλιματισμός ενός χώρου, είναι ο αέρας, ο οποίος κλιματίζεται κατά τη διέλευσή του μέσα από το στοιχείο της ΚΜ. Το νερό ή το ψυκτικό υγρό έχουν σαν μοναδικό σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του στοιχείου στα επίπεδα εκείνα τα οποία χρειάζονται για τη δημιουργία μίας μάζας αέρα καταλλήλων συνθηκών, έτσι ώστε, μέσω αυτής, να επιτυγχάνεται ο κλιματισμός του χώρου. Αυτό τον αέρα θα τον αποκαλούμε **πρωτεύοντα αέρα** προς διάκριση από

¹ Για την καλύτερη κατανόηση αυτού του κεφαλαίου, θα πρέπει να προηγηθεί η διδασκαλία της εργαστηριακής άσκησης 16 του ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ. Επιθυμητό είναι, αλλά όχι απαραίτητο, να έχει διδαχτεί και η άσκηση 17.

τον κλιματισμένο αέρα του χώρου. Ο αέρας ο οποίος εισέρχεται στην ΚΜ, μετά το κιβώτιο μείξης, πριν ακόμη αυτός διέλθει από το στοιχείο και κλιματιστεί, ονομάζεται **αέρας τροφοδοσίας** της ΚΜ.

Για να γίνουν αντιληπτές οι κλιματιστικές μονάδες, προϋπόθεση είναι να έχει γίνει κατανοητό τι είναι και πώς λειτουργεί το στοιχείο. Το στοιχείο είναι το βασικότερο εξάρτημα που υπάρχει σε μία ΚΜ και η καλή λειτουργία της ΚΜ προϋποθέτει την καλή λειτουργία του στοιχείου. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στα υπόλοιπα εξαρτήματα μίας ΚΜ και στον τρόπο που γίνεται η τεχνική περιγραφή τους.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Στη συνέχεια, για να αποφεύγουμε να αναφέρουμε πολλούς όρους, όπου χρησιμοποιούμε τον όρο **νερό**, θα εννοούμε όχι μόνο το νερό αλλά και κάθε άλλης μορφής υγρό διάλυμα όπως π.χ. το διάλυμα νερού-αιθυλικής γλυκόλης.

8-3. Τα είδη των κλιματιστικών μονάδων

Το νερό ή το ψυκτικό υγρό, για να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα πρέπει να μεταφερθεί στις κλιματιστικές μονάδες (ΚΜ). Οι ΚΜ που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο κεντρικού κλιματισμού, με μέσο μεταφοράς της θερμότητας το νερό, είναι βασικά τριών ειδών:

- (1) Οι τοπικές κλιματιστικές μονάδες
- (2) Οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες
- (3) Τα ενδιάμεσα μεγέθη κλιματιστικών μονάδων που δεν μπορούν να ενταχθούν σε καμία από τις παραπάνω δύο κατηγορίες. Αυτά θα τα αποκαλούμε ΗΚΜ για τους λόγους που θα εξηγήσουμε παρακάτω.

Από την τελευταία κατηγορία ξεχωρίζουμε τις ΚΜ που είναι σαν μεγάλα FCU αλλά που συνδέονται με αεραγωγούς. Αν προτιμάτε θα μπορούσατε να τα θεωρήσετε ως πολύ μικρές ΚΚΜ. Αυτές, στην αγορά, είναι περισσότερο γνωστές ως καναλάτες ΚΜ ή καναλάτα FCU. Η ονομασία καναλάτες προέρχεται από τη λέξη κανάλι (δηλ. αεραγωγός), επειδή αν και μικρές μπορούν να συνδεθούν με ένα μικρό, τοπικό δίκτυο αεραγωγών.

Στη συνέχεια θα αναπτύξουμε και τις τρεις κατηγορίες κλιματιστικών μονάδων, κατά σειρά μεγέθους. Δηλαδή θα αναφερθούμε πρώτα στα FCU, μετά στις ΗΚΜ και τέλος στις ΚΚΜ.

8-4. Οι τοπικές κλιματιστικές μονάδες (TKM)

Ως TKM χαρακτηρίζονται οι μικρές ΚΜ που τοποθετούνται απευθείας μέσα στους κλιματιζόμενους χώρους. Πρέπει αισθητικά να έχουν ανάλογη εμφάνιση. Είναι δύο ειδών:

- Οι TKM με στοιχείο νερού, που ονομάζονται συνήθως Fan Coil Units (FCU).
- Οι TKM με στοιχείο DX που συνήθως ονομάζονται κονσόλες. Όταν αυτές αποτελούν τμήμα μίας ψευδοροφής ονομάζονται κασέτες.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να κάνουν την εμφάνιση τους FCU που εξωτερικά είναι όπως οι κονσόλες ή οι κασέτες. Κατά τον ίδιο τρόπο, τα FCU διατίθενται από τους κατασκευαστές τους με τη δυνατότητα να έχουν στοιχείο DX αντί στοιχείο νερού, κατόπιν φυσικά παραγγελίας. Έτσι η διάκριση μεταξύ των FCU και των TKM με στοιχείο DX (κονσόλες ή κασέτες) αρχίζει να γίνεται κάπως ασαφής. Σίγουρα στα δίκτυα νερού εξακολουθούν να συνηθίζονται τα κλασικά FCU και στα δίκτυα ψυκτικού υγρού (VRV) οι κονσόλες και οι κασέτες. Αλλά μπορεί θαυμάσια να συμβαίνει και ακριβώς το αντίθετο.

Το στοιχείο των TKM λειτουργεί συνήθως με διάταξη διασταυρούμενης ροής. Αυτό δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την απόδοσή τους επειδή, μέχρι τις 3 σειρές, η διαφορά στην απόδοση μεταξύ ενός στοιχείου κατασκευασμένου με το σύστημα της διασταυρούμενης ροής και ενός στοιχείου με το σύστημα της αντιρροής είναι μικρή. Τα στοιχεία των TKM κατασκευάζονται, συνήθως, το πολύ μέχρι 3 σειρές και το πολύ σπάνια με 4.²

Ένα άλλο χαρακτηριστικό σημείο όλων των TKM είναι ότι έχουν τον ανεμιστήρα πίσω από το στοιχείο. Αυτό γίνεται για λόγους ασφάλειας (δεν μπορεί να μπει κάποιο χέρι στην πτερωτή), αλλά και επειδή είναι τεχνικά δύσκολη η τοποθέτηση του ανεμιστήρα μπροστά από το στοιχείο. Όταν ο ανεμιστήρας τοποθετείται ώστε να φυσάει πάνω στο στοιχείο, δεν εξα-

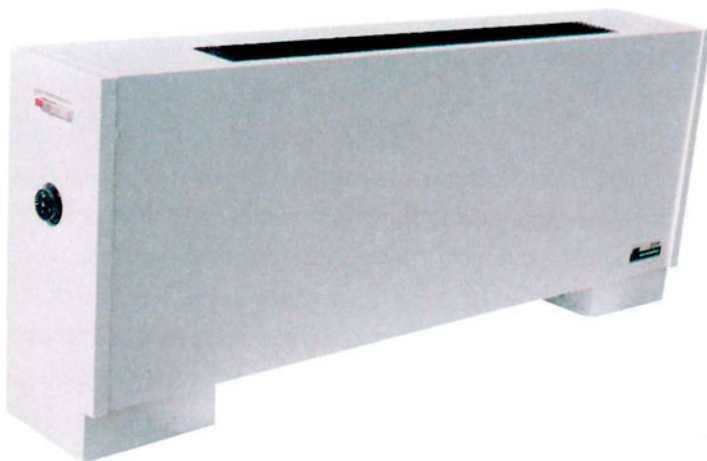
² Η θεωρία του τρόπου κατασκευής των στοιχείων αναπτύσσεται παράλληλα με τις εργαστηριακές ασκήσεις 16 και 17 (βλέπε ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΟΔΗΓΟ).

σφαλίζεται η καλή ισοκατανομή του αέρα και άλλες περιοχές του στοιχείου δέχονται περισσότερο αέρα και άλλες λιγότερο. Το αποτέλεσμα είναι να μειώνεται η απόδοση του στοιχείου σε ποσοστό της τάξεως του 3-8%. Αντίθετα, όταν αναρροφά, η σχεδόν ομοιόμορφη υποπίεση που δημιουργείται στο κιβώτιο του ανεμιστήρα έχει σαν αποτέλεσμα τη σχεδόν ομοιόμορφη ταχύτητα του αέρα μέσα από το στοιχείο και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Το φαινόμενο της ανομοιομορφίας παρουσιάζεται πιο έντονο στις μεγάλες ταχύτητες του αέρα. Στις ΤΚΜ, επειδή αυτές τοποθετούνται μέσα σε χώρους που υπάρχουν άνθρωποι, για τη μείωση του θορύβου εφαρμόζονται μικρές ταχύτητες του αέρα, συνήθως κάτω του 1,4 m/s. Οπότε στις ΤΚΜ λόγω της μικρής ταχύτητας του αέρα και με τη βοήθεια και των κατάλληλων ειδικών ανεμιστήρων, η ανομοιομορφία που παρουσιάζεται είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, στις ΚΚΜ που η τυπική ταχύτητα είναι συνήθως 2,5 m/s, ο ανεμιστήρας επιβάλλεται να είναι μετά το στοιχείο (εκτός και αν άλλοι τεχνικοί λόγοι δεν το επιτρέπουν).

8-5. Οι ΤΚΜ με στοιχείο νερού

Οι ΤΚΜ με στοιχείο νερού είναι περισσότερο γνωστές με την ονομασία «Fan Coil Units» που σημαίνει «Μονάδες Ανεμιστήρα-Στοιχείου» και γράφονται για συντομία ως **FCU**. Η γνωστή, κλασική θα μπορούσαμε να πούμε εξωτερική εμφάνισή τους είναι όπως του σχήματος (8-1).



Σχήμα 8-1: Ο κλασικός τύπος ΤΚΜ (FCU).

Τα κλασικά FCU έχουν καθιερωθεί στην αγορά με μία τυποποιημένη σειρά μεγεθών βάσει της παροχής αέρα σε CFM ($1 \text{ L/s} = 2,13 \text{ CFM}$). Αυτά είναι των 200, 300, 400, 600, 800, 1000 και 1200 CFM. Την τυποποίηση των FCU, ως προς τις ονομασίες τουλάχιστον, την ακολουθούν οι περισσότεροι κατασκευαστές. Η ομοιότητα όμως στις ονομασίες δεν σημαίνει ότι δύο FCU διαφορετικών κατασκευαστών, με την ίδια ονομασία, έχουν και την ίδια λειτουργική συμπεριφορά. Και ούτε ότι η παροχή του αέρα θα είναι όση και η ονομαστική. Είναι ένα λεπτό σημείο που ο τεχνικός θα πρέπει να το προσέξει ιδιαίτερα, ιδίως όταν πρόκειται να υλοποιήσει μία μελέτη ή να προβεί στην αντικατάσταση ενός FCU που λειτουργεί ως εξάρτημα ενός δικτύου. Αν κάνει λάθος μπορεί ακόμη να ανατρέψει την ομαλή λειτουργία ενός κλάδου ή και ακόμη και όλου του δικτύου.

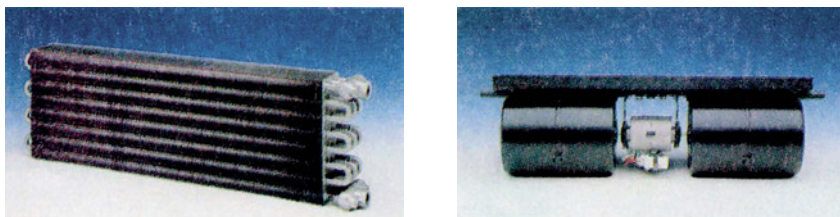
Στην αγορά έχουν κάνει την εμφάνισή τους και FCU που δεν ακολουθούν την ως άνω τυποποίηση ή που δίνουν την παροχή του αέρα σε L/s όπως εξάλλου είναι επιβεβλημένο με τη χρήση του συστήματος μονάδων SI. Η τυποποίηση σε μονάδες SI σταδιακά αναμένεται ότι θα επικρατήσει, λόγω της συνεχώς αυξανόμενης χρήσης του συστήματος.



Σχήμα 8-2: FCU οριζόντιας τοποθέτησης (Α) φανεράς τοποθέτησης (Β) κρυφής τοποθέτησης (χωρίς κέλυφος).

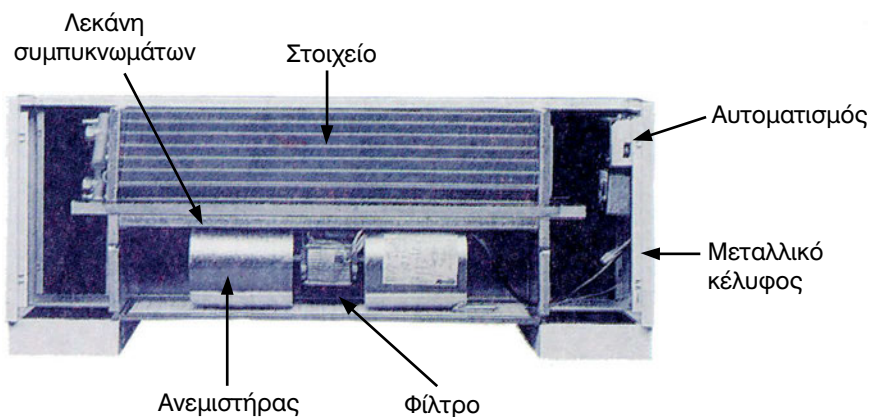
Αυτές οι μονάδες συνήθως κλιματίζουν ένα μικρό χώρο, π.χ. ένα δωμάτιο, ή χρησιμοποιούνται πολλές μαζί για να κλιματίσουν ένα μεγάλο χώρο. Υπάρχουν παραλλαγές του βασικού τύπου που δεν χρησιμοποιούνται και τόσο συχνά, όπως είναι της οριζόντιας τοποθέτησης που φαίνεται στο σχήμα (8-2Α) ή ο τύπος του FCU χωρίς εξωτερικό κέλυφος για κρυφή τοποθέτηση (μέσα σε αεραγωγό ή ψευδοροφή), που φαίνεται στο σχήμα (8-2Β).

Τα FCU ή μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου αποτελούνται, όπως λέει και το όνομά τους, σχεδόν μόνο από το στοιχείο και τον ανεμιστήρα. Τα δύο αυτά βασικά τμήματα τα βλέπουμε στο σχήμα (8-3). Προσέξτε ότι το στοιχείο στο σχήμα (8-3) είναι διασταυρούμενης ροής με 3 κυκλώματα. Τα στοιχεία όμως των FCU συνήθως κατασκευάζονται με 2 ή 3 ή 4 ή 6 κυκλώματα. Ο αριθμός των κυκλωμάτων είναι βασικότερη παράμετρος που καθορίζει τη λειτουργική συμπεριφορά τους.



Σχήμα 8-3: Τα δύο βασικά μέρη ενός FCU: το στοιχείο και ο ανεμιστήρας.

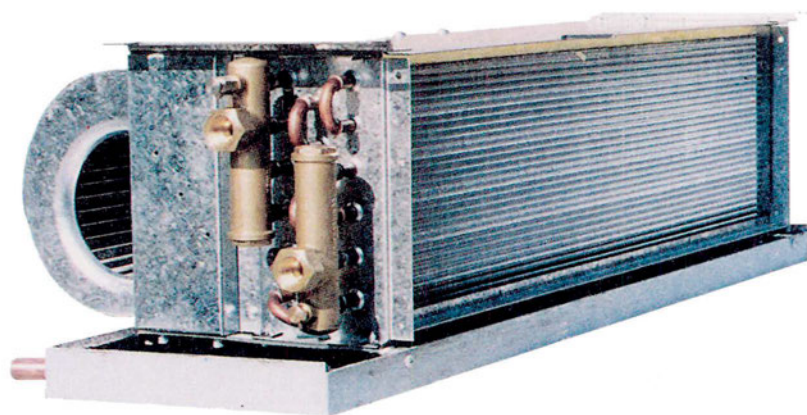
Πέραν του ανεμιστήρα και του στοιχείου, υπάρχει ένα κέλυφος μεταλλικό μέσα στο οποίο τοποθετούνται καθώς και ένα φίλτρο για να προστατεύει το στοιχείο από τις σκόνες. Τα τμήματα αυτά τα βλέπουμε μονταρισμένα στο σχήμα (8-4), όπου φαίνεται ένα FCU χωρίς το μπροστινό του κάλυμμα. Κάτω ακριβώς από το στοιχείο φαίνεται η λεκάνη απορροής των συμπυκνωμάτων που πέφτουν από το στοιχείο και οδηγούνται στην αποχέτευση.



Σχήμα 8-4: Τα μέρη ενός FCU, όπως φαίνονται μονταρισμένα.

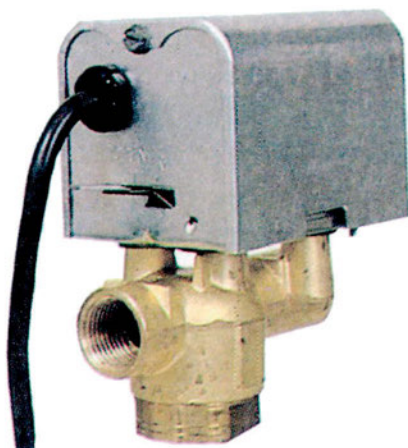
Το φίλτρο καθαρίζει σε κάποιο βαθμό και τον αέρα του χώρου και βελτιώνει τις συνθήκες άνεσης. Η κατασκευή του είναι πολύ απλή και αποτελείται από ένα ελαφρύ μεταλλικό σκελετό, πάνω στον οποίο στηρίζεται το πλαστικό φίλτρο. Είναι μεγάλο λάθος για τον τεχνικό να αφήσει το FCU χωρίς φίλτρο, η σκόνη θα επικαθίσει στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας και δεν θα αργήσει να αχρηστεύσει το στοιχείο. Το φίλτρο πρέπει να αφαιρείται μόνο για να πλένεται και να επανατοποθετείται το ταχύτερο δυνατόν. Το καλύτερο από όλα είναι να υπάρχουν διαθέσιμα ανταλλακτικά φίλτρα για να αντικαθίσταται αμέσως το φίλτρο που αφαιρείται.

Το σχήμα (8-5) μας δείχνει ένα άλλο FCU χωρίς το κέλυφός του, το οποίο προορίζεται για οριζόντια τοποθέτηση. Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι αυτό το FCU έχει στοιχείο με 4 κυκλώματα. Στο σχήμα διακρίνουμε λεπτομερέστατα τον τρόπο που είναι μονταρισμένο το δοχείο απορροής των συμπυκνωμάτων κάτω από το στοιχείο, καθώς και ο σωλήνας απαγωγής των συμπυκνωμάτων, ο οποίος προορίζεται για να συνδεθεί στην αποχέτευση. Αν προσέξετε καλύτερα, από τον τρόπο που είναι συνδεδεμένοι οι συλλέκτες, θα δείτε ότι το στοιχείο αυτού του FCU ανήκει στη σπάνια περίπτωση που στοιχείο FCU είναι συνδεδεμένο σε διάταξη αντιρροής. Συνήθως τα FCU συνδέονται σε διασταυρούμενη ροή, αλλά ο μόνος τρόπος για να κατασκευαστεί ένα FCU 3 σειρών με 4 κυκλώματα είναι η διάταξη αντιρροής (η οποία παρουσιάζει καλύτερη απόδοση, ιδίως σε μεγάλους αριθμούς σειρών).



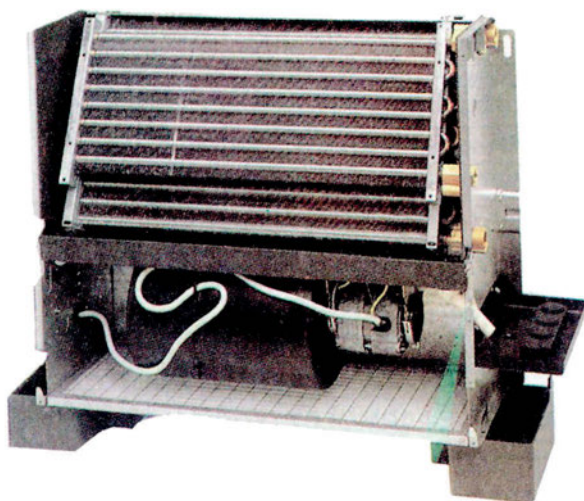
Σχήμα 8-5: FCU, οριζόντιας κρυφής τοποθέτησης, όπου φαίνονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες στην πλευρά της σύνδεσης.

Οι αυτοματισμοί στα FCU είναι πολύ απλοί και συνήθως αποτελούνται από ένα διακόπτη, από ένα θερμοστάτη χώρου (με διακόπτη θέρους-χειμώνα) και έναν επιλογέα ταχυτήτων του ανεμιστήρα. Όλα τα FCU κατά κανόνα διαθέτουν τρεις ταχύτητες ανεμιστήρα.



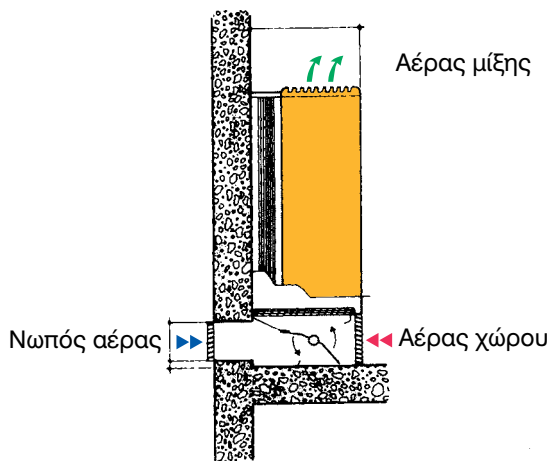
Σχήμα 8-6: Τρίοðh βάνα, κατάλληλη για τοποθέτηση σε FCU.

Πέραν αυτών των τυποποιημένων αυτοματισμών, συχνά συναντάμε και την τρίοðh βάνα, όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα (8-6). Η τρίοðh βάνα καθορίζει τη θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας του στοιχείου, βάσει εντολής που δέχεται από τον υδροστάτη ή το θερμοστάτη του χώρου. Ο τρόπος λειτουργίας της τρίοðης βάνας αναπτύσσεται στο κεφάλαιο των αυτοματισμών. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται η σωστή ρύθμιση της θερμοκρασίας και οι ιδανικές συνθήκες άνεσης.



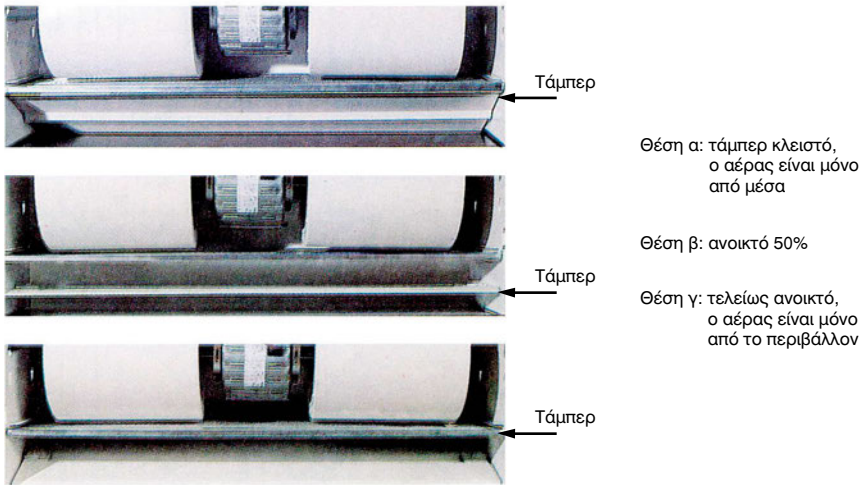
Σχήμα 8-7: FCU τετρασωληνίου συστήματος. Το εν λόγω FCU διαθέτει δύο στοιχεία και 4 σωλήνες σύνδεσης (2 για το θερμαντικό και 2 για το ψυκτικό στοιχείο).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα FCU έχουν και ένα δεύτερο στοιχείο, το οποίο είναι μόνο με μία ή δύο το πολύ σειρές και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση. Τέτοιο FCU βλέπουμε στο σχήμα (8-7). Δεν χρειάζονται περισσότερες από μία σειρές στοιχείου στη θέρμανση επειδή η απόδοση των στοιχείων με το ζεστό νερό είναι εξαιρετικά μεγάλη. Τόσο το θερμαντικό, όσο και το ψυκτικό στοιχείο έχουν δικούς τους ανεξάρτητους σωλήνες και γενικότερα το δίκτυο του ζεστού νερού και το δίκτυο του κρύου είναι τελείως ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Το εν λόγω σύστημα ονομάζεται τετρασωλήνιο και το συναντάμε σε κλιματισμούς χώρων υψηλών απαιτήσεων.



Σχήμα 8-8: FCU με σύστημα ανανέωσης αέρα.

Τα FCU συχνά έχουν τη δυνατότητα να κάνουν και ανανέωση αέρα. Τον τρόπο που λειτουργεί αυτό στο σύστημα τον βλέπουμε στο σχήμα (8-8). Χρειάζεται να υπάρχει ένα άνοιγμα στον τοίχο του κτιρίου. Ένα εσωτερικό τάμπερ ρυθμίζει τη σχέση του νωπού αέρα και του αέρα ανακυκλοφορίας. Το τάμπερ το βλέπουμε και στο σχήμα (8-9) καθώς και τις σχετικές θέσεις που μπορεί να πάρει. Το σύστημα αυτό για να λειτουργήσει σωστά, θα πρέπει να έχει την κατάλληλη πρόβλεψη για την απόρριψη αέρα στο περιβάλλον.

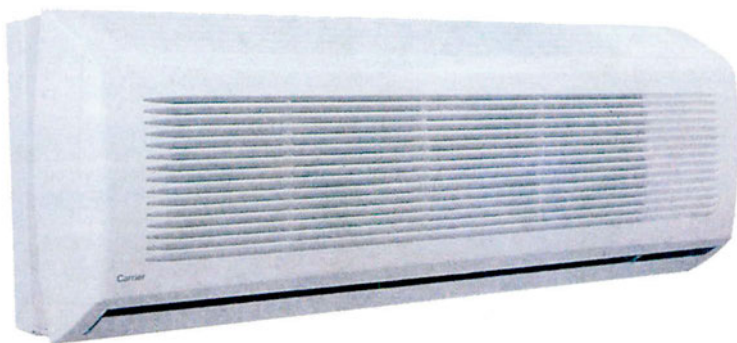


Σχήμα 8-9: Η λειτουργία του τάμπερ FCU με σύστημα ανανέωσης αέρα. Θέση (α) μόνο αέρας ανακυκλοφορίας (β) αέρας ανακυκλοφορίας και νωπός αέρας (γ) μόνο νωπός αέρας.

Τα FCU υπάρχουν και σε άλλες παραλλαγές που εμφανίστηκαν σχετικά πρόσφατα. Αυτές είναι όμοιες με τις μορφές των κλιματιστικών μονάδων απευθείας εκτόνωσης. Δηλαδή υπάρχουν FCU τύπου κονσόλας ή κασέτας. Τι είναι αυτά θα τα δούμε στην επόμενη παράγραφο. Η βασική διαφορά, εκτός από την εμφάνιση, είναι ότι, αντί για στοιχείο DX, τα FCU αυτής της μορφής διαθέτουν στοιχείο νερού.

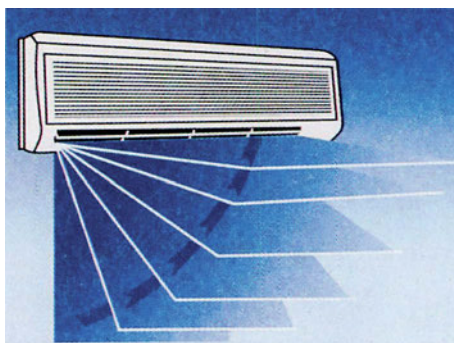
8-6. ΤΚΜ με στοιχείο απευθείας εκτόνωσης (DX)

Οι ΤΚΜ αυτού του τύπου συνήθως αποκαλούνται **κονσόλες**, ενώ, όταν τοποθετούνται ως τμήμα της ψευδοροφής (στη θέση μίας πλάκας), ονομάζονται **κασέτες**. Τα στοιχεία αυτών των μονάδων είναι μικρά και γι' αυτό έχουν ως επί το πλείστον ένα μόνο κύκλωμα, οπότε συχνά δεν χρειάζονται το διανομέα. Ο πλέον συνηθισμένος τύπος εσωτερικής μονάδας είναι ο ονομαζόμενος «κονσόλα τοίχου» και τη βλέπουμε στο σχήμα (8-10).



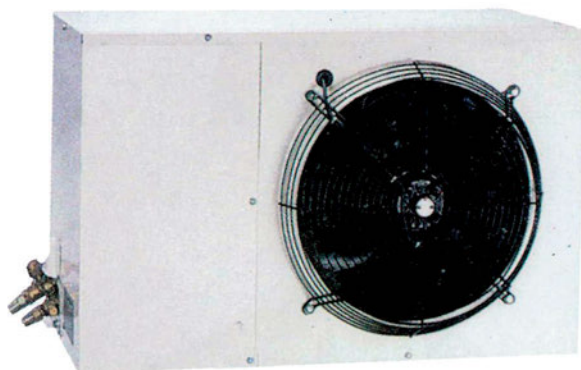
Σχήμα 8-10: ΤΚΜ τοίχου με στοιχείο DX (κονσόλα τοίχου).

Οι κονσόλες τοίχου μοιάζουν πολύ στην κατασκευή και στη λειτουργία με τα FCU. Εκτός από τη διαφορά στο στοιχείο, διαφέρουν και στο ότι έχουν δυνατότητα ρύθμισης και της κλίσης των πτερυγίων, όπως φαίνεται και στο σχήμα (8-11). Επιπλέον, μπορούν προαιρετικά να εφοδιαστούν και με φίλτρο ενεργού άνθρακα (για τις οσμές ή τον καπνό) ή με ηλεκτροστατικό φίλτρο που συγκρατεί πολύ λεπτά μόρια αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα (σκόνη, βακτηρίδια, μόρια καπνού κλπ.)



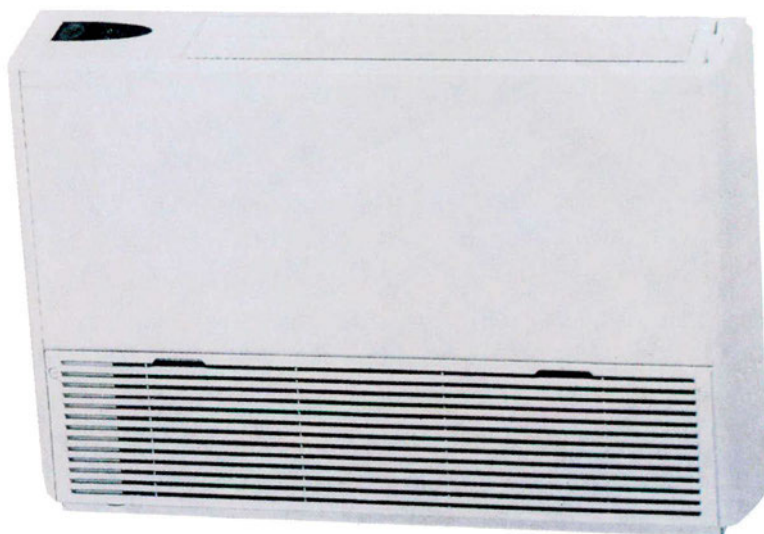
Σχήμα 8-11: Ρύθμιση της κατεύθυνσης ροής του αέρα σε κονσόλα μέσω πτερυγίων.

Συχνά αυτού του τύπου οι ΤΚΜ λειτουργούν μεμονωμένες, οπότε έχουμε τα γνωστά σε όλους μας αυτόνομα κλιματιστικά δωματίου (ή split units). Στην περίπτωση αυτή υπάρχει μία εξωτερική μονάδα όπως του σχήματος (8-12) που τροφοδοτεί τη μοναδική εσωτερική μονάδα. Φυσικά δεν τίθεται θέμα για αλλαγή της ποσότητας του κυκλοφορούντος ψυκτικού υγρού, το οποίο έχει σταθερή ποσότητα και παροχή, τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι.



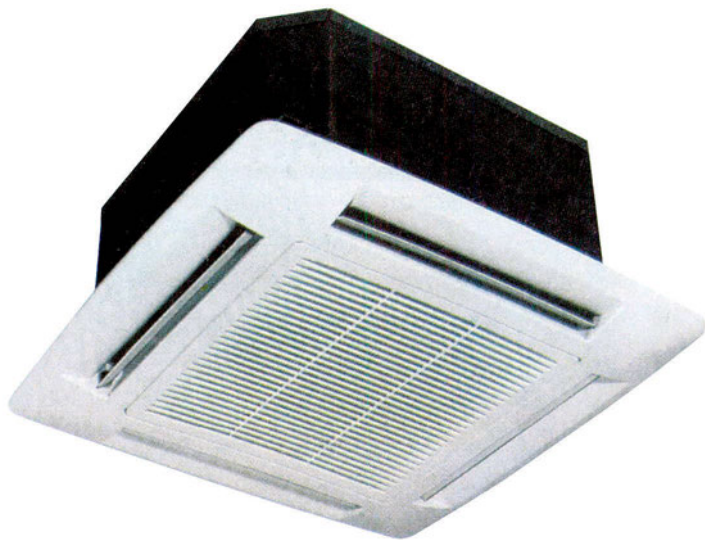
Σχήμα 8-12: Εξωτερικό στοιχείο για τη λειτουργία μίας μόνο κονσόλας (σύστημα αυτόνομου κλιματιστικού δωματίου ή split-unit).

Οι ΤΚΜ με στοιχείο DX υπάρχουν και σε άλλες μορφές. Οι πλέον συνηθισμένες από αυτές είναι οι τύπου δαπέδου-οροφής που φαίνεται στο σχήμα (8-13). Αυτές, όταν τοποθετηθούν χαμηλά στον τοίχο, όπως φαίνεται στο σχήμα, είναι μονάδες δαπέδου. Μπορούν όμως, οι ίδιες ακριβώς να τοποθετηθούν οριζόντιες στην οροφή, οπότε λειτουργούν πλέον σαν μονάδες οροφής. Κατασκευαστικά και λειτουργικά δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τον τύπο της κονσόλας.



Σχήμα 8-13: Κονσόλα δαπέδου-οροφής.

Ένας άλλος τύπος, αρκετά διαδεδομένος είναι αυτός του σχήματος (8-14), που ονομάζονται «TKM κασέτας». Τα μηχανήματα αυτά προορίζονται για την τοποθέτηση σε χώρους που τοποθετούνται ψευδοροφές. Έχουν ακριβώς τις διαστάσεις που χρειάζεται για να πάρουν τη θέση μίας τυποποιημένης πλάκας ψευδοροφής, που συνήθως είναι 60x60 cm, αλλά υπάρχουν διαθέσιμες TKM τύπου κασέτας και σε άλλες διαστάσεις.



Σχήμα 8-14: TKM ψευδοροφής (τύπου κασέτας).

8-7. Μεσαίου μεγέθους κλιματιστικές μονάδες

Προηγουμένως αναφερθήκαμε στις μικρές TKM. Προτού αναπτύξουμε τις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (KKM) θα αναφερθούμε στα ενδιάμεσα μεγέθη των κλιματιστικών μονάδων, οι οποίες δεν είναι εύκολο να θεωρηθούν ως TKM, αλλά και ούτε ως KKM. Αυτές διακρίνονται σαφώς από τα άλλα δύο είδη και είναι πολύ εύκολο να τις ξεχωρίσουμε τόσο από τα FCU όσο και από τις KKM. Δεν αποτελούνται από διάφορα τυποποιημένα τμήματα όπως θα δούμε ότι συμβαίνει με τις KKM και ούτε ακολουθούν μία συγκεκριμένη ονομαστική τυποποίηση όπως τα FCU. Ο κάθε κατασκευαστής αυτού του τύπου KM ακολουθεί τη δική του τυποποίηση.

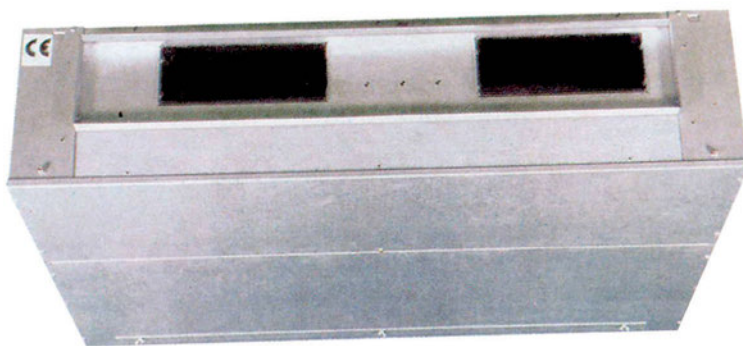
Για να αναφερόμαστε καλύτερα σ' αυτές τις KM, θα τις αποκαλούμε στο βιβλίο Ημικεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες και για συντομία θα τις

γράφουμε **ΗΚΜ**. Η εμφάνισή τους συνήθως είναι όπως του σχήματος 8-15). Στο σχήμα αυτό βλέπουμε την κατασκευή του κελύφους μίας ΗΚΜ, το οποίο είναι από πάνελ. Πρόκειται για μία ακριβή και προσεγμένη κατασκευή, όπως ακριβώς είναι και το κέλυφος μίας ΚΚΜ.



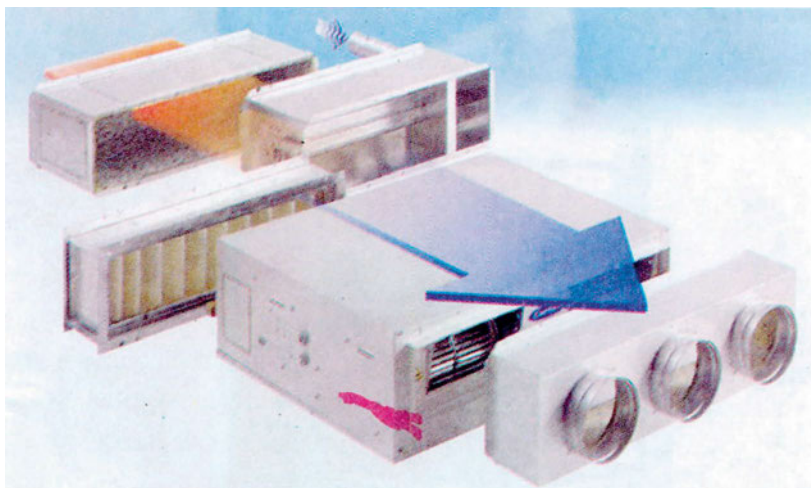
Σχήμα 8-15: ΗΚΜ κλιματιστική μονάδα, με κέλυφος διαμορφωμένο όπως των ΚΚΜ.

Οι ΚΜ, όπως των σχημάτων (8-15) και (8-16), συναντώνται στους καταλόγους των κατασκευαστών με ονομασίες που ποικίλουν όπως «Καναλάτα FCU», «Μικρές Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες», «ΤΚΜ για Αεραγωγούς», «Οριζόντια Fan Coils», «Κλιματιστικές Μονάδες Ψευδοροφής» κ.λπ. ή ακόμη και με κάποιο εμπορικό όνομα του κατασκευαστή χωρίς να γίνεται αναφορά αν αυτός τις θεωρεί FCU ή ΚΚΜ. Η ποικιλία των ονομάτων μας κάνει φανερή την έλλειψη μίας συγκεκριμένης και κοινώς αποδεκτής ονομασίας. Η έλλειψη μίας ονομασίας για να αναφερόμαστε σ' αυτές, που είναι απαραίτητη για τις ανάγκες του βιβλίου, μας ανάγκασε να τους δώσουμε εμείς κάποιο κοινό όνομα και, όπως αναφέραμε προηγουμένως, τις αποκαλέσαμε Ημικεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΗΚΜ).



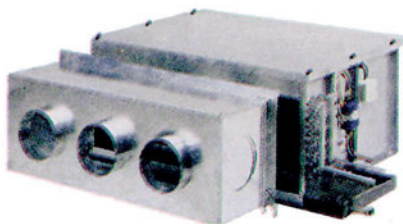
Σχήμα 8-16: Διαφορετικός τύπος ΗΚΜ. Ο κατασκευαστής της τη χαρακτηρίζει ως FCU.

Υπάρχουν όμως αρκετές παραλλαγές στην κατασκευή των ΗΚΜ, που ποικίλλουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Στο σχήμα (8-17) βλέπουμε την ΗΚΜ του σχήματος (8-16) με διάφορα πρόσθετα εξαρτήματα με τα οποία μπορεί αυτή να εξοπλιστεί. Το πρώτο εξάρτημα είναι για τη σύνδεση μέχρι τριών αεραγωγών κυκλικής διατομής (σταθερών ή σπιράλ), ενώ τα επόμενα κατά σειρά είναι ένα κιβώτιο για φίλτρα αέρα υψηλής απόδοσης, τάμπερ ρύθμισης της παροχής και ένα κιβώτιο μίξης για τη σύνδεση αεραγωγών στην εισαγωγή νωπού αέρα, αν αυτό απαιτείται.



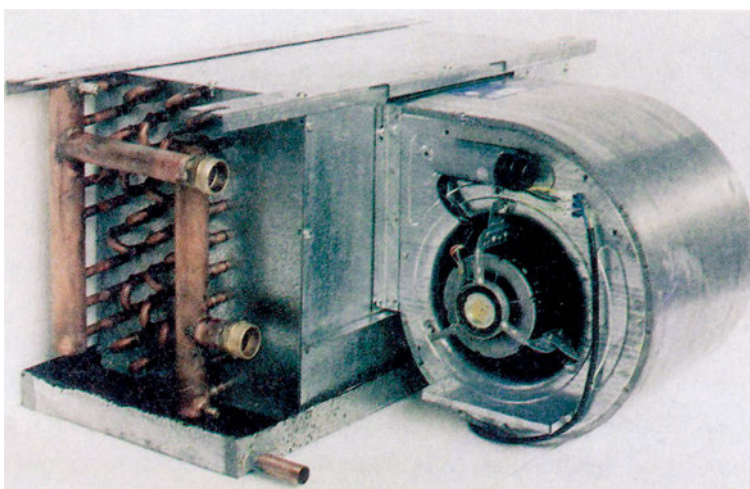
Σχήμα 8-17: Τα εξαρτήματα τα οποία μπορεί να δεχτεί η ΗΚΜ του σχήματος (8-16).

Μία ανάλογη διάταξη ΗΚΜ με αυτή των σχημάτων (8-16) και (8-17), αλλά άλλου κατασκευαστή, φαίνεται στο σχήμα (8-18). Εκ πρώτης όψεως φαίνονται σχεδόν ίδιες, αλλά έχουν μία σημαντική διαφορά: Η μονάδα του σχήματος (8-17) έχει τον ανεμιστήρα της μπροστά, που είναι η συνήθης τακτική που ακολουθείται στα μεγάλα στοιχεία, όπως αυτά των ΚΚΜ, ενώ η μονάδα του σχήματος (8-18) το έχει πίσω από το στοιχείο, όπως συνηθίζεται στα μικρά στοιχεία των FCU.



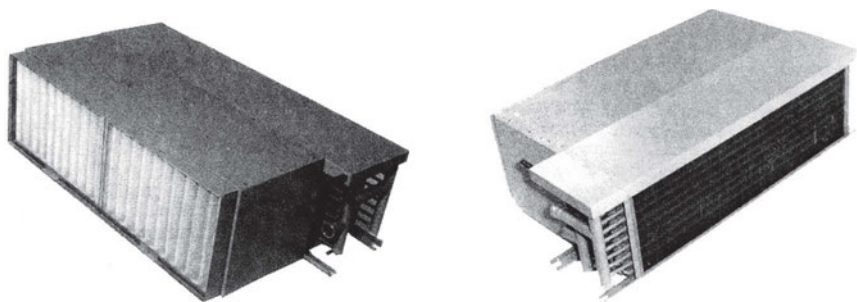
Σχήμα 8-18: Τα εξαρτήματα ενός άλλου τύπου ΗΚΜ.

Η θέση του ανεμιστήρα σε σχέση με το στοιχείο φαίνεται καθαρά αν προσέξετε τα σχέδια (8-17) και (8-18). Στο σχήμα (8-17) διακρίνονται τα πτερύγια των ανεμιστήρων (άρα το στοιχείο είναι πίσω από αυτούς), ενώ στο σχήμα (8-18) βλέπουμε τους σωλήνες του στοιχείου που είναι στο μπροστινό μέρος της μονάδας (άρα ο ανεμιστήρας είναι πίσω από το στοιχείο).



Σχήμα 8-19: Το λειτουργικό (εσωτερικό) μέρος μιας ΗΚΜ.

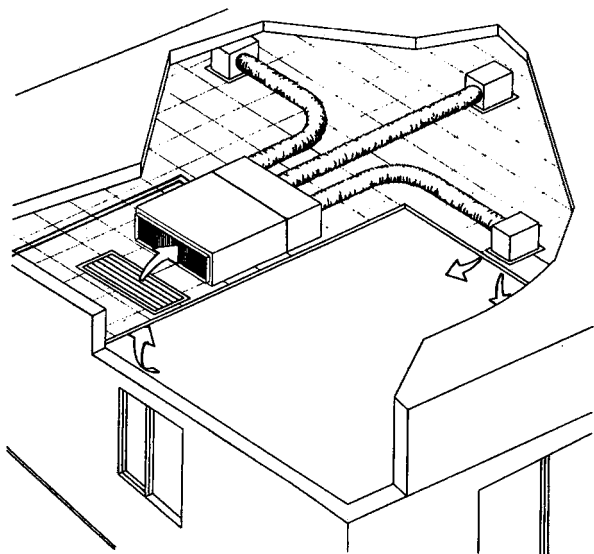
Στο σχήμα (8-19) βλέπουμε πώς περίπου φαίνεται μία ΗΚΜ όταν αφαιρέσουμε το εξωτερικό της κέλυφος. Το κέλυφος αυτής της μονάδας φαίνεται στο σχήμα (8-20). Φυσικά και εδώ υπάρχουν διαφορές μεταξύ των κατασκευαστών, δεν είναι δυνατό να έχουν όλοι την ίδια εσωτερική κατασκευή. Σε πρώτη φάση ίσως το σχήμα (8-19) να σας θυμίζει την κατασκευή ενός FCU, όπως εξάλλου θα μπορούσατε να διαπιστώσετε αν συγκρίνετε τα σχήματα (8-5) και (8-19). Διακρίνουμε όμως ένα στοιχείο με 6 σειρές (σε διάταξη αντιρροής). Στοιχεία με 6 σειρές συναντάμε στις ΚΚΜ αλλά ουδέποτε στις ΤΚΜ. Μοιάζει δηλαδή η ΗΚΜ των σχημάτων (8-19) και (8-20) σαν ένα FCU με στοιχείο κατασκευασμένο όπως τα στοιχεία των ΚΚΜ.



Σχήμα 8-20: Η ΗΚΜ του σχήματος (8-19) μέσα στο κέλυφός της. Στο πίσω μέρος διακρίνεται το φίλτρο του αέρα.

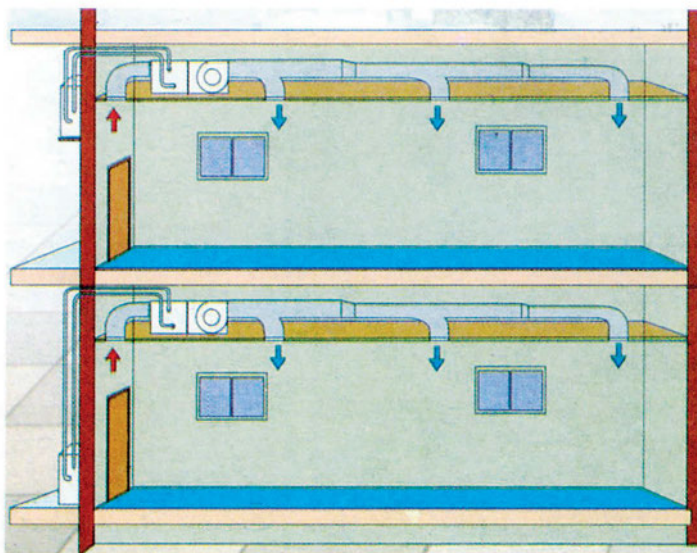
Οι ΗΚΜ κατασκευαστικά διαφέρουν από τα FCU κυρίως στο ότι **μπορούν να συνδέονται με αεραγωγούς** και είναι κατάλληλες για να κλιματίζουν μία περιοχή ή πολλούς μικρούς χώρους (όπως οι ΚΚΜ), αντί για ένα και μοναδικό χώρο.

Τη μέθοδο σύμφωνα με την οποία συνήθως συνδέονται οι ΗΚΜ τη βλέπουμε στο σχήμα (8-16), όπου διακρίνεται μία ΗΚΜ, τοποθετημένη μέσα σε ψευδοροφή. Προσέξτε τον τρόπο που αναρροφά αέρα από το χώρο. Φυσικά η τοποθέτηση σε ψευδοροφή είναι ένας από τους τρόπους τοποθέτησης. Μία ΗΚΜ μπορεί να τοποθετηθεί με οποιονδήποτε άλλο τρόπο (π.χ. εμφανής, κατακόρυφη στον τοίχο, μέσα σε μηχανοστάσιο όπως οι ΚΚΜ κλπ.).



Σχήμα 8-21: ΗΚΜ τοποθετημένη μέσα σε ψευδοροφή, συνδεδεμένη με αεραγωγούς.

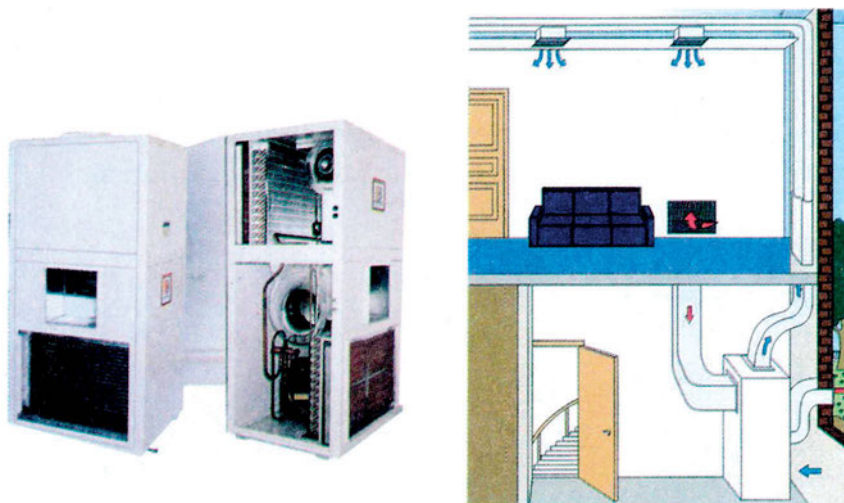
Οι ΗΚΜ χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις που είναι δύσκολο να εφαρμοστεί ένα μεγάλο κεντρικό δίκτυο αεραγωγών και αντί γι' αυτό υπάρχουν πολλά μικρά τοπικά δίκτυα. Τέτοια περίπτωση βλέπουμε π.χ. στο σχήμα (8-22). Μεμονωμένες μπορεί να τις συναντήσουμε όταν έχουμε να κάνουμε με ένα πολύ μικρό δίκτυο (π.χ. με μία μονοκατοικία).



Σχήμα 8-22: Κλιματισμός κτιρίου με ανεξάρτητα τοπικά δίκτυα.

Η δυνατότητα προσθήκης των αεραγωγών και η κατασκευαστική διαμόρφωση του στοιχείου τους είναι τα χαρακτηριστικά που τις κάνει να μοιάζουν με τα βαριά και περίπλοκα συγκροτήματα που τα αποκαλούμε ΚΚΜ ενώ κατά τα λοιπά μοιάζουν περισσότερο με τα FCU.

Οι ΗΚΜ δεν έχουν αποκλειστικά τη μορφή την οποία είδαμε μέχρι τώρα και μπορεί να υπάρχουν και σε άλλες παραλλαγές οι οποίες επίσης θα πρέπει να χαρακτηριστούν ως ΗΚΜ. Για παράδειγμα αναφέρουμε το σύστημα του σχήματος (8-23). Η ΚΜ που βλέπουμε περιέχει τα πάντα μέσα σε ένα και μοναδικό περίβλημα (συμπιεστή, εξατμιστή, συμπυκνωτή) και μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μικρό οίκημα ή ένα χώρο.



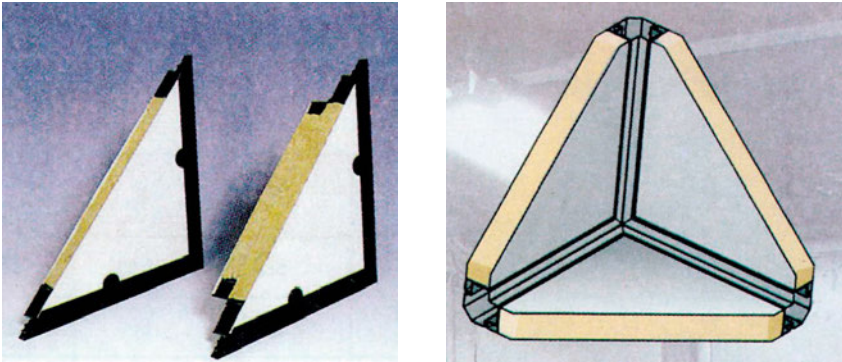
Σχήμα 8-23: Άλλος τύπος ΗΚΜ, που περιέχει στο κέλυφος της και το ψυκτικό συγκρότημα.

Παλαιότερα η χρήση ΗΚΜ δεν ήταν πολύ διαδεδομένη, αλλά σταδιακά γίνεται όλο και μεγαλύτερη, ιδίως λόγω της αυξανόμενης χρήσης των «αποκεντρωμένων» συστημάτων (decentralized systems). Αυτά συνήθως αποδίδονται στα ελληνικά με τον όρο «ημικεντρικά». Τα συστήματα αυτά, στα οποία θα αναφερθούμε και στο επόμενο κεφάλαιο, αποτελούνται από δύο τουλάχιστον ανεξάρτητα μεταξύ τους μικρά κλιματιστικά συγκροτήματα που το καθένα καλύπτει μία περιοχή του κτιρίου. Σ' αυτά συναντάμε πολύ συχνά τις ΗΚΜ.

8-8. Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΚΚΜ ή ΑΗΥ)

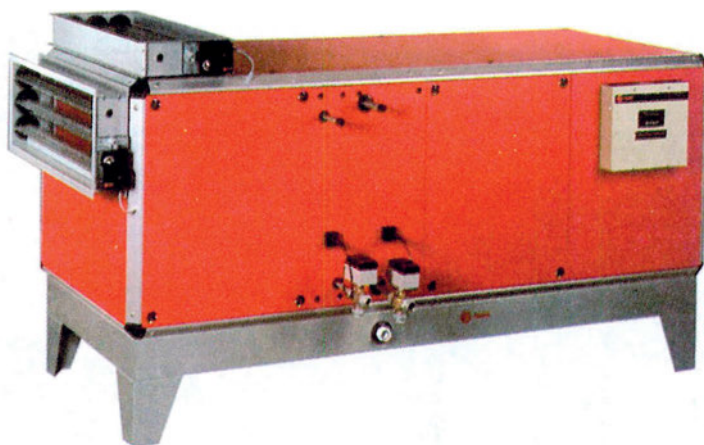
Για συντομία οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες γράφονται με τα αρχικά **ΚΚΜ**. Συχνά θα τις συναντήσετε και με τη συντομογραφία **ΑΗΥ**, από τα αρχικά του αντίστοιχου αγγλικού όρου **Air Handling Units** που κατά λέξη μεταφράζεται «Μονάδες Επεξεργασίας Αέρα». Σε αντίθεση με ό,τι συνέβη με τα FCU, σ' αυτές έχει επικρατήσει ο ελληνικός όρος ΚΚΜ. Αποτελούν μεγάλα και πολλές φορές περίπλοκα συγκροτήματα. Κατασκευάζονται από διάφορα τυποποιημένα τμήματα που συναρμολογούνται κατάλληλα μεταξύ τους. Σχεδόν κατά κανόνα συνδέονται με ένα κεντρικό δίκτυο αεραγωγών το οποίο διανέμει τον αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους.

Οι εναλλάκτες θερμότητας ή στοιχεία των ΚΚΜ, που είναι και τα κυριότερα εξαρτήματά τους (όπως για κάθε ΚΜ, ασχέτως μεγέθους), είναι πολύ διαφορετικά κατασκευασμένοι αν τους συγκρίνουμε με αυτούς των FCU. Αν και εκ πρώτης όψεως το στοιχείο μίας ΚΚΜ μοιάζει κατασκευαστικά με αυτό ενός FCU και φαίνεται σαν να υπάρχει διαφορά μόνο στο μέγεθος, εν τούτοις υπάρχουν και άλλες διαφορές, οι κυριότερες από τις οποίες βρίσκονται στους συλλέκτες και στο σύστημα ροής που είναι αντιρροή.



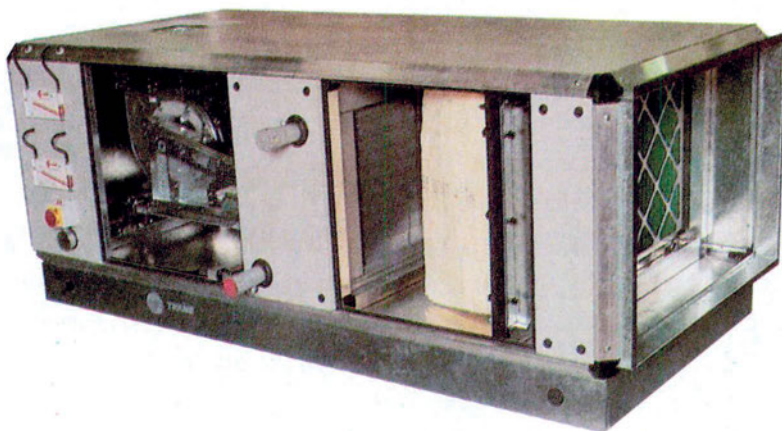
Σχήμα 8-24: Τα πάνελ των ΚΚΜ (α) η μορφή των πάνελ (β) Ο τρόπος ένωσης τους στις γωνίες.

Οι ΚΚΜ είναι ισχυρά θερμομονωμένες κατασκευές, σε αντίθεση με τα FCU που σχεδόν κατά κανόνα είναι χωρίς θερμομόνωση. Για να επιτευχθεί αυτό, αποτελούνται από πάνελ όπως αυτά που βλέπετε στο σχήμα (8-24α). Τα πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα από δύο λεπτά φύλλα λαμαρίνας, όπου ανάμεσά τους έχει παρεμβληθεί ένα κατάλληλο θερμομονωτικό υλικό, όπως είναι η διογκωμένη πολυουρεθάνη (είναι υλικό που καίγεται πολύ δύσκολα). Η θερμομόνωση είναι απαραίτητη στις ΚΚΜ, επειδή τοποθετούνται σε μη κλιματιζόμενους χώρους (ακόμη και πάνω σε ταράτσες που βάλλονται συνεχώς από τον ήλιο) και κατά συνέπεια, λόγω του μεγέθους τους, χωρίς την ισχυρή θερμομόνωση θα παρουσίαζαν μεγάλες απώλειες. Επίσης η κατασκευή τους είναι πολύ επιμελημένη χωρίς διαφυγές αέρα. Στο σχήμα (8-24) βλέπετε την κατασκευή των πάνελ και έναν από τους τρόπους που γίνεται η ένωσή τους στις γωνίες.



Σχήμα 8-25: Μικρή ΚΚΜ, εξωτερική εμφάνιση.

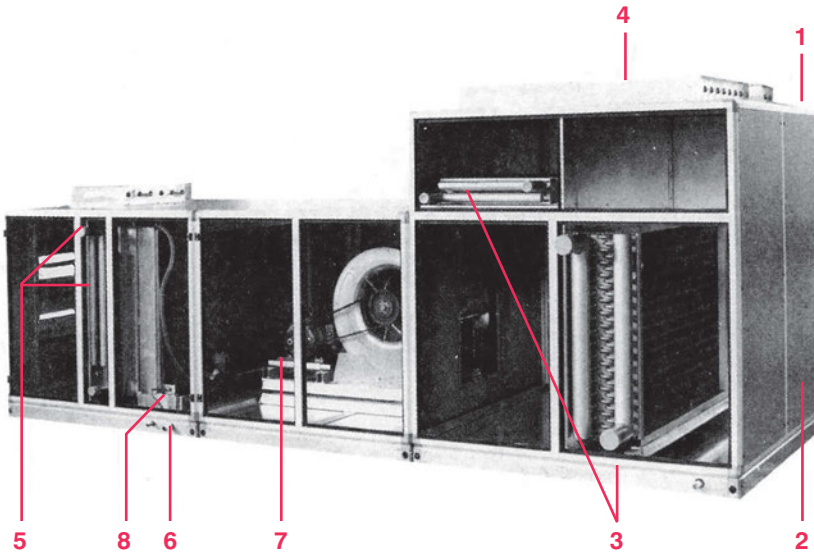
Ο όρος ΚΚΜ καλύπτει μία τεράστια γκάμα κατασκευών, από πολύ μικρές μέχρι εντυπωσιακά μεγάλες. Στο σχήμα (8-25) βλέπουμε μία μικρή ΚΚΜ και στο σχήμα (8-26) βλέπουμε μίαν άλλη μικρή ΚΚΜ όπως φαίνεται όταν ανοίξουμε τα καπάκια της.



Σχήμα 8-26: Μικρή ΚΚΜ, με ανοικτά τα καπάκια της.

Στα σχήματα (8-27) και (8-28), έχουμε μία πολύ καθαρή εσωτερική άποψη δύο μεσαίου μεγέθους ΚΚΜ, όπου μπορείτε να ξεχωρίσετε τα διάφορα τμήματα από τα οποία αποτελούνται. Η μονάδα που φαίνεται στο σχήμα

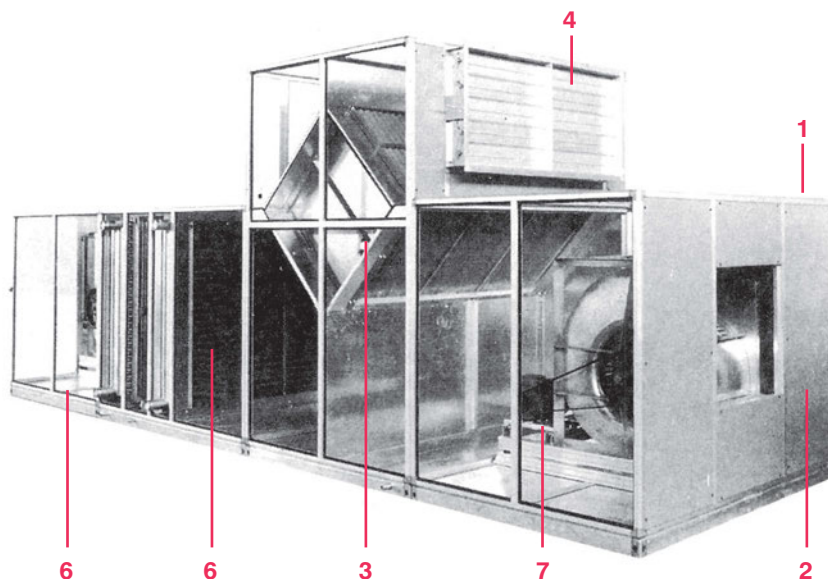
(8-27) ονομάζεται μονάδα πολλαπλών ζωνών. Έχει δύο στοιχεία στην έξοδο της (ένα για την κάθε ζώνη) και το κάθε στοιχείο ελέγχεται από το δικό του σύστημα αυτοματισμού.



Σχήμα 8-27: Μεσαίου μεγέθους ΚΚΜ, πολλαπλών ζωνών. 1 .Φέρων σκελετός, 2:Θερμομονωμένα καπάκια, 3: Στοιχεία (δυσ, το καθένα με δική του έξοδο αέρα), 4: Οι εξοδοι του αέρα, 5: Εισαγωγή αέρα, 6:Σημείο αποχέτευσης συμπυκνωμάτων, 7: Ανεμιστήρας, 8: Υγραντήρας με υγροσυλλέκτη.

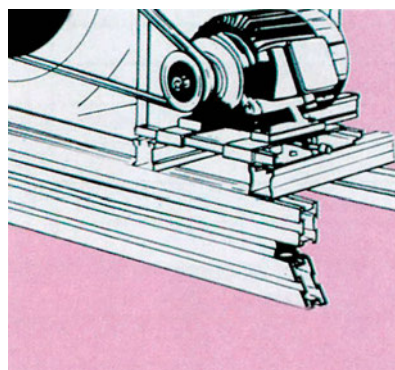
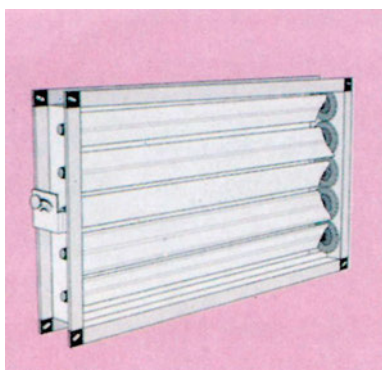
Στο σχήμα (8-28) φαίνεται και ο τρόπος που τοποθετείται ένας πλακοειδής εξοικονομητής ενέργειας μέσα σε μία ΚΚΜ.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Προσπαθήστε να σκεφτείτε στο σχήμα (8-28) πώς κατευθύνεται ο αέρας. Ποιος είναι ο ρόλος των ανεμιστήρων στις θέσεις (5) και (7);



Σχήμα 8-28: Μεσαίου μεγέθους ΚΚΜ, με εξοικονομητή ενέργειας. 1: Φέρων σκελετός, 2: Θερμομονωμένα καπάκια, 3: Εξοικονομητής ενέργειας, 4: Η επιστροφή του αέρα, 5: Ανεμιστήρας προσαγωγής, 6: Ψυκτικό και θερμαντικό στοιχεία, 7: Ανεμιστήρας απορριπτόμενου αέρα.

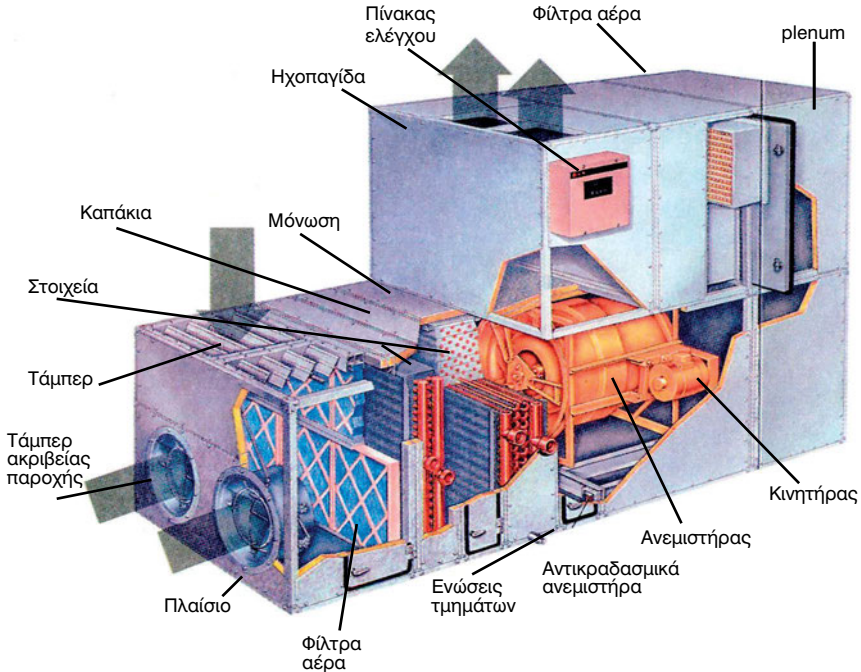
Στο σχήμα (8-29) βλέπουμε τη λεπτομέρεια κατασκευής του τάμπερ ρύθμισης της παροχής του αέρα επιστροφής καθώς και του συστήματος τάνυσης των ιμάντων του ανεμιστήρα.



Σχήμα 8-29: Το τάμπερ του νωπού αέρα και το σύστημα τάνυσης των ιμάντων.

Σίγουρα, ακόμη δεν μπορείτε να καταλάβετε αρκετά πράγματα βλέποντας μια ΚΚΜ με ανοικτά τα καπάκια της. Στην εσωτερική κατασκευή των

ΚΚΜ θα αναφερθούμε αργότερα στο παρόν κεφάλαιο, οπότε οι εικόνες που δείχνουν το εσωτερικό ΚΚΜ θα αρχίσουν να σας γίνονται περισσότερο κατανοητές.



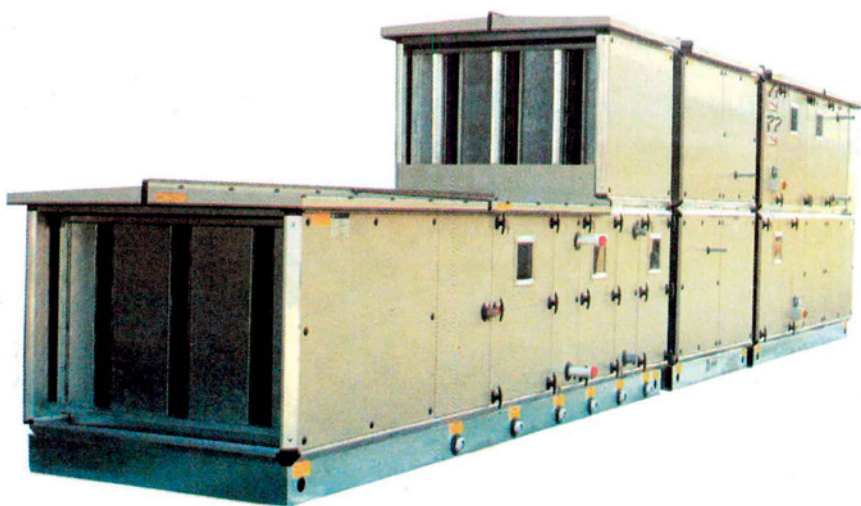
Σχήμα 8-30: Μεσαίου μεγέθους ΚΚΜ με ειδικά τάμπερ για την ακριβή ρύθμιση της ποσότητας του αέρα.

Στο σχήμα (8-30) βλέπουμε μία μεσαίου μεγέθους ΚΚΜ, κατάλληλη για τον ακριβή έλεγχο των συνθηκών του κλιματιζόμενου αέρα, σε μία πολύ παραστατική διάταξη. Η εν λόγω ΚΚΜ έχει την ιδιότητα, μέσω των ειδικών τάμπερ που βλέπουμε στο σχήμα και του κατάλληλου συστήματος τηλεχειρισμού, να μετράει με ακρίβεια και να ρυθμίζει την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα.



Σχήμα 8-31: Μεγάλη ΚΚΜ

Οι ΚΚΜ πολλές φορές έχουν εντυπωσιακά μεγάλες διαστάσεις. Τέτοιες διώροφες μονάδες βλέπουμε στα σχήματα (8-31), (8-32) και (8-33) που προέρχονται από τρεις διαφορετικούς κατασκευαστές.



Σχήμα 8-32: Άλλος τύπος μεγάλης ΚΚΜ

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μία ΚΚΜ, που τα βλέπετε στα σχήματα από το (8-25) μέχρι και το (8-33), είναι ένα θέμα αρκετά εκτεταμένο και θα το αναπτύξουμε σε επόμενη παράγραφο του παρόντος κεφαλαίου, στο οποίο θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το κάθε τμήμα από το οποίο αποτελείται μία ΚΚΜ. Γι' αυτό δεν θα επεκταθούμε εδώ περισσότερο σε ό,τι αφορά την κατασκευή και τον τρόπο λειτουργίας των ΚΚΜ.



Σχήμα 8-33: Μεγάλη ΚΚΜ, ελληνικής κατασκευής.

8-9. Ο εξοπλισμός μίας ΚΜ

Μία ΚΜ, για να είναι πλήρης, αρκεί να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα εξής εξαρτήματα:

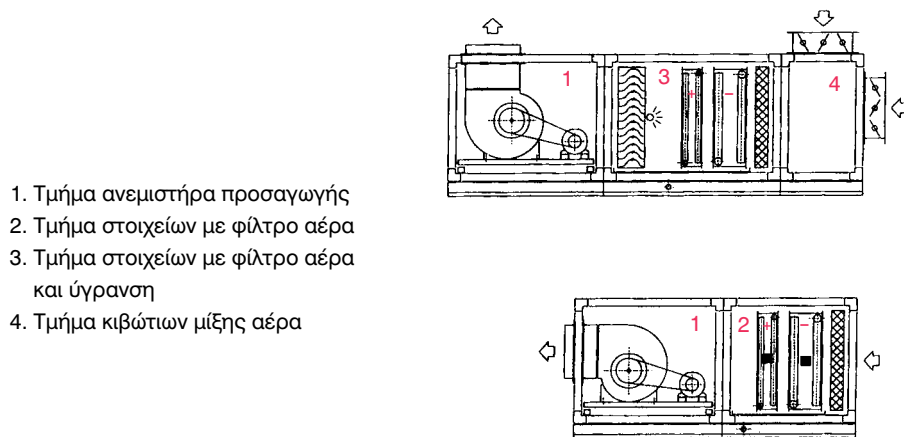
- Ένα στοιχείο εναλλαγής θερμότητας
- Έναν ανεμιστήρα
- Τα φίλτρα καθαρισμού του αέρα από τη σκόνη
- Όργανα αυτοματισμού

Σχεδόν κατά κανόνα τα FCU και οι περισσότερες ΗΚΜ διαθέτουν μόνο τον παραπάνω εξοπλισμό που είναι ο ελάχιστος δυνατός που μπορεί να έχει μία ΚΜ για να επιτελέσει την αποστολή της.

Εκτός από τα παραπάνω, συχνά συναντάμε, ιδίως στις ΗΚΜ και επιπλέον εξοπλισμό, που συνηθέστερα είναι ο εξής:

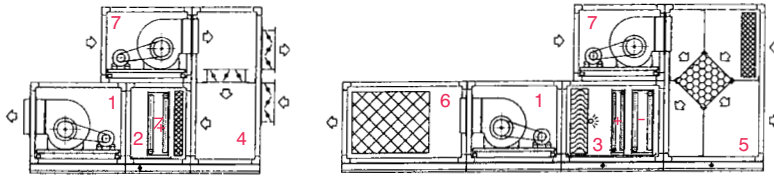
- Αν οι ΚΜ κάνουν και εισαγωγή νωπού αέρα, απαιτείται και ένα τάμπερ για τη ρύθμιση της παροχής του νωπού αέρα.
- Αν εκτός από τη θερμοκρασία, ρυθμίζουν το καλοκαίρι και τη σχετική υγρασία, τότε έχουν ανεξάρτητο θερμαντικό στοιχείο (για αναθέρμανση).
- Μπορεί να υπάρχει και υγραντήρας για τη ρύθμιση της σχετικής υγρασίας το χειμώνα.

Μολονότι μπορεί και οι ΚΚΜ να περιλαμβάνουν μόνο τα παραπάνω βασικά τμήματα, συνήθως, όπως είδαμε, είναι περίπλοκα συγκροτήματα που διαθέτουν πολύ περισσότερο εξοπλισμό. Στα σχήματα (8-26), (8-27), (8-28) και (8-30) είδαμε τέσσερις ΚΚΜ με ανοικτά τα καπάκια τους και από αυτές γίνεται αντιληπτό το πόσο ακόμη πιο περίπλοκη μπορεί να είναι η εσωτερική δομή τους.



Σχήμα 8-34: Κλιματιστικές μονάδες οριζόντιου τύπου σε συμβολική σχεδίαση.

Στο σχήμα (8-34), βλέπετε ΚΚΜ σε συμβολική διάταξη. Μόνο από τέτοια σχήματα, στις μεγάλες και περίπλοκες ΚΚΜ θα μπορούσαμε να καταλάβουμε τι περίπου συμβαίνει. Οι μονάδες αυτές ονομάζονται οριζόντιου τύπου.



- | | |
|---|--------------------------------|
| 1. Τμήμα ανεμιστήρα προσαγωγής | 5. Τμήμα ανάκτησης θερμότητας |
| 2. Τμήμα στοιχείων με φίλτρο αέρα | 6. Τμήμα ηχοπαγίδας |
| 3. Τμήμα στοιχείων με φίλτρο αέρα και ύγρανση | 7. Τμήμα ανεμιστήρα επιστροφής |
| 4. Τμήμα διπλού κιβωτίου μίξης | |

Σχήμα 8-35: Διώροφες κλιματιστικές μονάδες σε συμβολική σχεδίαση.

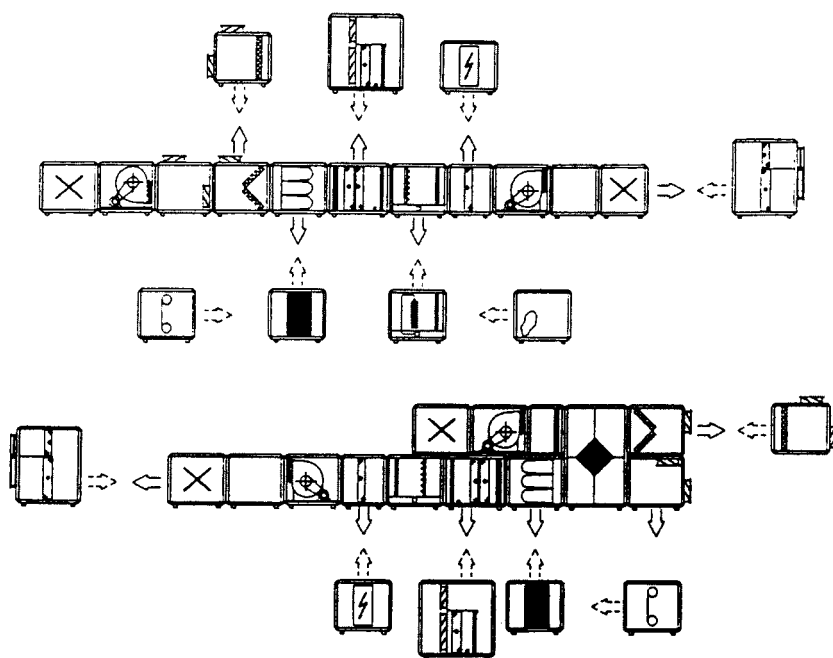
Οι συμβολισμοί δεν είναι όλοι οι ίδιοι σε όλους τους κατασκευαστές. Στο σχήμα (8-35) βλέπουμε μονάδες οριζόντιου τύπου, σε συμβολική σχεδίαση, με τα σύμβολα που χρησιμοποιεί άλλος κατασκευαστής. Τα σύμβολα εδώ είναι λιγότερο αναλυτικά αλλά είναι πιο εύκολο να σχεδιαστούν. Ένας γενικά αποδεκτός συμβολισμός είναι ότι με το σύμβολο (+) συμβολίζουμε το θερμαντικό στοιχείο, με το (-) το ψυκτικό, ενώ η ταυτόχρονη παρουσία και των δύο συμβόλων υποδηλώνει ότι το ίδιο στοιχείο χρησιμοποιείται άλλοτε για ψύξη και άλλοτε για θέρμανση.

Τα τμήματα που συγκροτούν μία ΚΚΜ, τα οποία και θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, είναι κυρίως τα εξής:

- Στοιχεία για θέρμανση ή ψύξη του αέρα.
- Σταγονοσυλλέκτης
- Τμήμα ύγρανσης του αέρα (με ατμό ή ψεκασμό)
- Τάμπερ αυτόματα ή χειροκίνητα για τη ρύθμιση της ροής
- Κιβώτιο μίξης νωπού αέρα - αέρα ανακυκλοφορίας
- Τα φίλτρα καθαρισμού του αέρα από τη σκόνη
- Κιβώτιο με φίλτρα σε ρόλο
- Σακκόφιλτρα
- Ένας τουλάχιστον ισχυρός φυγοκεντρικός ανεμιστήρας
- Ηλεκτρικές αντιστάσεις για αναθέρμανση του αέρα
- Κιβώτιο απόσβεσης θορύβου (ηχοπαγίδα)
- Τμήμα εξοικονόμησης ενέργειας

- Κιβώτιο αέρα παράκαμψης
- Τμήμα διαχωρισμού πολλαπλών ζωνών
- Κενά κιβώτια (περισσότερο γνωστά ως plenum)
- Όργανα αυτοματισμού

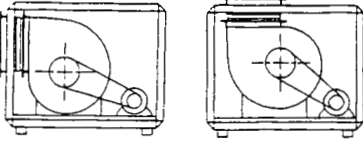
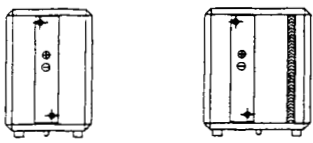
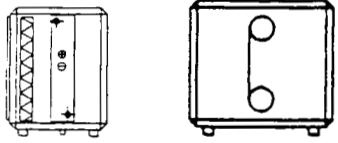
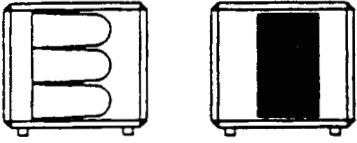
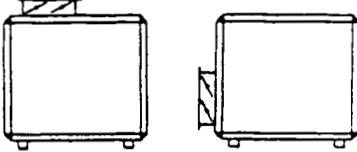
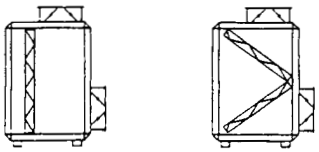
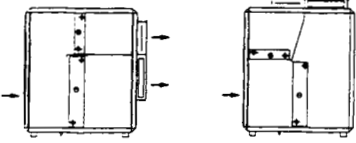
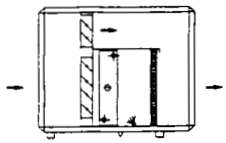
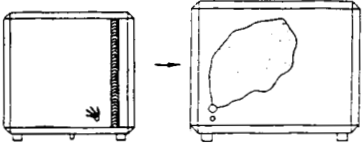
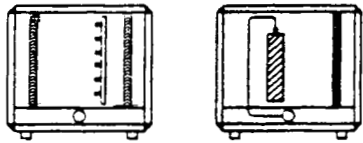
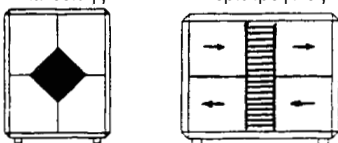
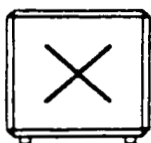
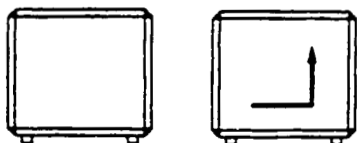
Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε σε όλα τα επί μέρους τμήματα από τα οποία μπορεί να αποτελείται μία ΚΜ. Δεν θα αναφερθούμε όμως και στα όργανα αυτοματισμού, για τα οποία υπάρχει ιδιαίτερο κεφάλαιο του βιβλίου.



Σχήμα 8-36: Κλιματιστικές μονάδες, σε διάφορες κλασικές διατάξεις με άλλο τύπο συμβολικής σχεδίασης. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται είναι αυτοί που φαίνονται στο σχήμα (8-37).

8-10. Οι συμβολισμοί των τμημάτων μίας ΚΜ

Στο σχήμα (8-37) αναφέρουμε απλοποιημένους συμβολισμούς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ασκήσεις που θα κάνετε. Είναι όμως προφανές ότι τα σύμβολα του σχήματος (8-37) δεν είναι τυποποιημένα και ότι ο κάθε κατασκευαστής χρησιμοποιεί τους δικούς του συμβολισμούς.

Τμήμα ανεμιστήρα 	Τμήμα στοιχείων απλό και με σταγονοσυλλέκτη 
Φίλτρο απλό και στοιχείο - Φίλτρο σε ρολό 	Τμήμα σακκόφιλτρων - Απόλυτων φίλτρων 
Τμήμα με τάμπερ 	Κιβώτιο μίξης με φίλτρα 
Τμήμα πολλαπλών ζωνών-οριζόντιο-κατακόρυφο 	Τμήμα παράκαμψης (by-pass) 
Υγραντήρας νερού - Υγραντήρας ατμού 	Τμήμα καταιονισμού νερού - Υγραντήρας rap 
Εξοικονομητές Πλακοειδής Περιστροφικός 	Τμήμα ηχοπαγίδας 
Plenum (Κενό τμήμα) - ευθύ και γωνιακό 	Τμήμα ηλεκτρικών αντιστάσεων 

Σχήμα 8-37: Συμβολισμοί τμημάτων ΚΚΜ.

Επιλέχθηκαν λόγω της απλότητάς τους, αλλά, αν σας εξυπηρετούν καλύτερα οι συμβολισμοί κάποιου άλλου κατασκευαστή, μπορείτε να τους χρησιμοποιήσετε.

8-11. Τα κυριότερα εξαρτήματα της ΚΚΜ

Στη συνέχεια θα αναπτύξουμε τα κυριότερα εξαρτήματα τα οποία θα συναντήσετε μέσα σε μία ΚΚΜ. Τα εξαρτήματα αυτά βρίσκονται τοποθετημένα στα διάφορα τμήματα της ΚΚΜ. Το κυριότερο φυσικά από αυτά και το πλέον περίπλοκο είναι το στοιχείο. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι σχεδόν οτιδήποτε υπάρχει στην ΚΚΜ είναι για να λειτουργήσει το στοιχείο κατά τον τρόπο που θέλουμε.

(1) Το στοιχείο

Το στοιχείο αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 7 και στις εργαστηριακές ασκήσεις 16 και 17. Έδώ δεν έχουμε τίποτε άλλο να προσθέσουμε. Στο τμήμα των στοιχείων, αν απαιτείται, τοποθετείται και ο σταγονοσυλλέκτης. Το κατά πόσο χρειάζεται ο σταγονοσυλλέκτης εξαρτάται από την τιμή του SHF και από την ταχύτητα του αέρα. Συνήθως δεν χρειάζεται για ταχύτητα αέρα μικρότερη από 2,5m/s. Στο σχήμα (8-38) βλέπουμε το στοιχείο και αμέσως μετά από αυτό ένα σταγονοσυλλέκτη.

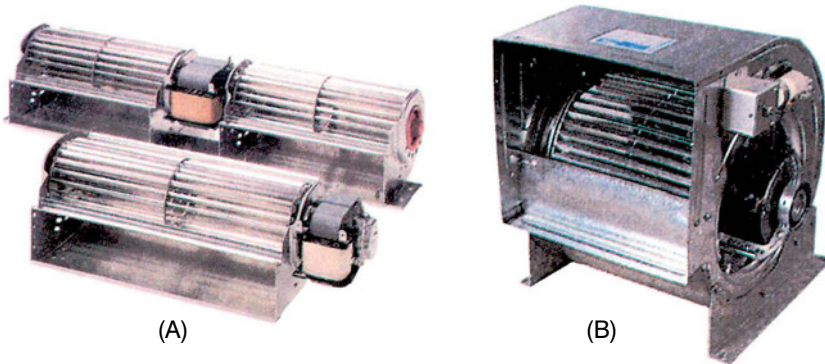


Σχήμα 8-38: Το τμήμα των στοιχείων μίας ΚΚΜ.

(2) Ο ανεμιστήρας

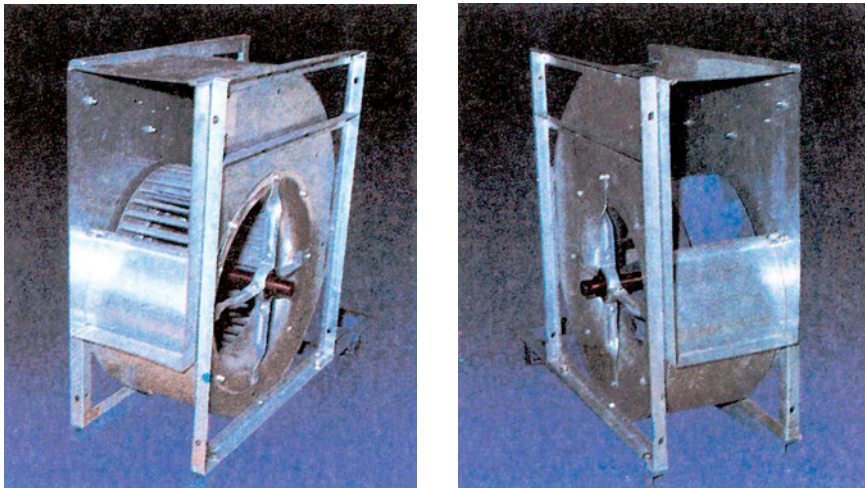
Ένας τύπος ανεμιστήρα FCU φαίνεται στο σχήμα (8-39A) και ένας τύπος ανεμιστήρα ΗΚΜ στο σχήμα (8-39B).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ανεμιστήρες των ΚΚΜ. Τέτοιου τύπου ανεμιστήρες βλέπουμε στο σχήμα (8-40). Στο (Α) βλέπουμε ανεμιστήρα χαμηλής πίεσης και στο (Β) ανεμιστήρα υψηλής πίεσης. Η διαφορά τους είναι στον τρόπο που είναι διαμορφωμένα τα πτερύγια της πτερωτής τους.



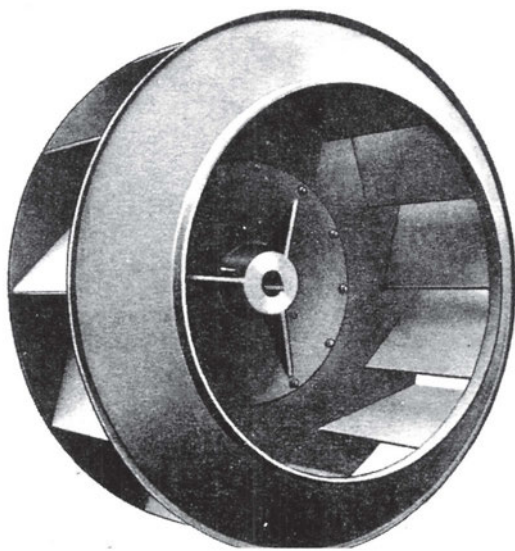
Σχήμα 8-39: Τύποι ανεμιστήρων (Α) FCU και (Β) ΗΚΜ.

Στο σχήμα (8-41), βλέπουμε την πτερωτή ενός ανεμιστήρα υψηλής πίεσης. Συγκρίνοντας το σχήμα (8-40Α) με το (8-41), είναι εύκολο να αντιληφθούμε τη διαφορά και να αναγνωρίσουμε αμέσως αν πρόκειται για ανεμιστήρα υψηλής ή χαμηλής πίεσης.



Σχήμα 8-40: Ανεμιστήρες ΚΚΜ (Α) χαμηλής πίεσης (Β) Υψηλής πίεσης.

Η λειτουργία ενός ανεμιστήρα βρίσκεται από τα διαγράμματα με τις χαρακτηριστικές τους καμπύλες λειτουργίας. Τέτοιο διάγραμμα βλέπουμε στο σχήμα (8-42) που αναφέρεται σ' έναν ανεμιστήρα υψηλής πίεσης. Όταν παραγγέλνουμε μία ΚΚΜ, δίνουμε την **ολική** πτώση πίεσης του δικτύου των αεραγωγών (αναφερθήκαμε στον τρόπο υπολογισμού στο κεφάλαιο 4) καθώς και την επιθυμητή παροχή του αέρα. Ο κατασκευαστής της ΚΚΜ θα προσθέσει στην πτώση πίεσης των αεραγωγών την πτώση μέσα στην ΚΚΜ και θα βρει τη συνολική **ολική** πτώση πίεσης που πρέπει να καλύπτει ο ανεμιστήρας. Βάσει αυτής και της επιθυμητής παροχής αέρα θα επιλέξει τον ανεμιστήρα.

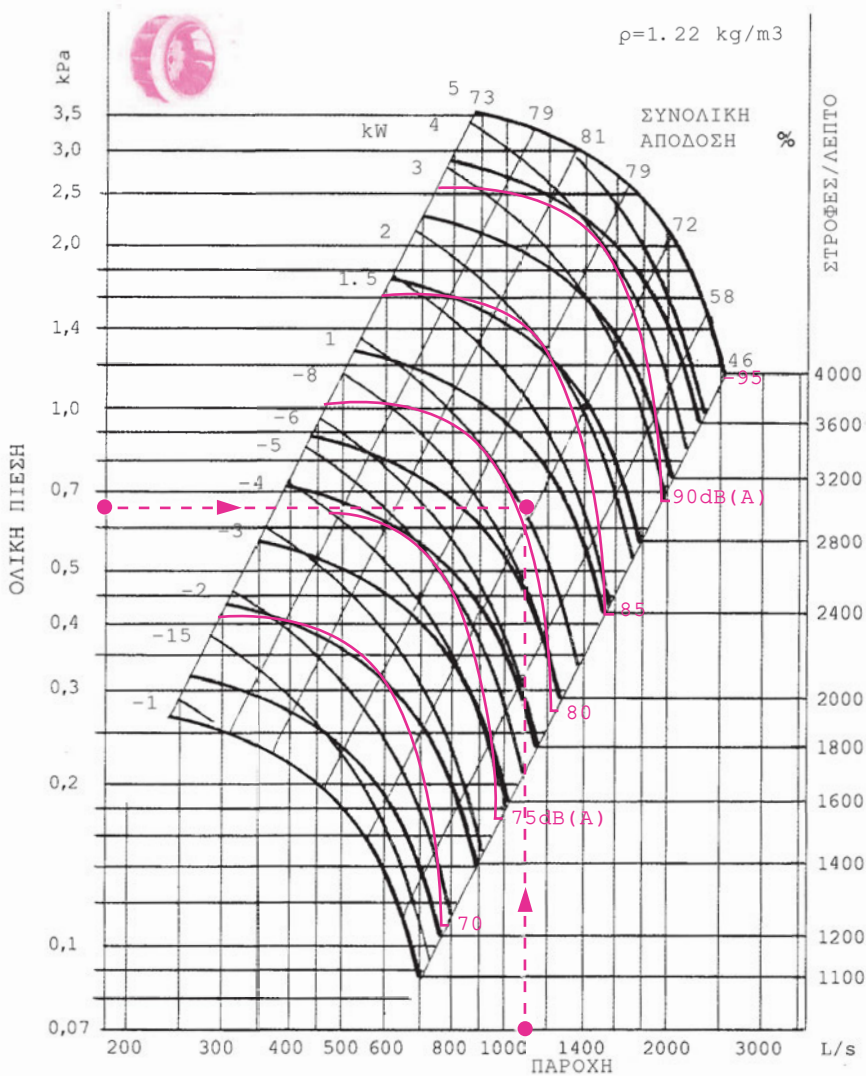


Σχήμα 8-41: Πτερωτή ανεμιστήρα υψηλής πίεσης.



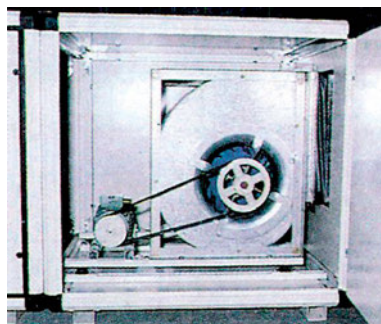
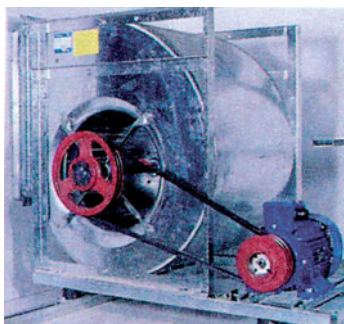
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Το δίκτυό μας έχει παροχή αέρα 1120 L/s και η ολική πτώση πίεσης είναι 0,54 kPa. Ο κατασκευαστής υπολόγισε ότι η δική του ΚΚΜ θα έχει πτώση πίεσης 0,11 kPa, δηλαδή συνολικά $0,54 + 0,11 = 0,65$ kPa. Από το σχήμα (8-42) βλέπουμε ότι οι δύο ευθείες συναντώνται μεταξύ των καμπυλών 2000 και 2400 στροφών. Άρα θα πρέπει ο ανεμιστήρας να λειτουργήσει στις 2200 στροφές. Επίσης βρίσκουμε ότι ο θόρυβος θα είναι 80 dba και η απορροφούμενη ισχύς θα είναι 1 kW (ο κινητήρας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερης ισχύος). Ο βαθμός απόδοσης του ανεμιστήρα θα είναι 72% (ικανοποιητικός).



Σχήμα 8-42: Χαρακτηριστικές καμπύλες ανεμιστήρα.

Στο σχήμα (8-43) βλέπουμε δύο διατάξεις κινητήρα ανεμιστήρα. Αυτό που θα πρέπει να πούμε και να τονίσουμε είναι ότι μία μελέτη με τίποτε δεν μπορεί να ελέγξει τη φύση. Έτσι, μετά τη λειτουργία της εγκατάστασης, είναι πολύ συνηθισμένο να χρειάζεται να μειωθούν ή να αυξηθούν οι στροφές του ανεμιστήρα για να επιτύχουμε την επιθυμητή παροχή αέρα (αυτή που λάβαμε υπόψη μας στη μελέτη).



Σχήμα 8-43: Διατάξεις ανεμιστήρα-κινητήρα.

Αν θέλουμε μείωση στροφών, τα πράγματα είναι σχετικά απλά. Αλλάζουμε τις τροχαλίες και τελειώσαμε. Αν όμως θέλουμε αύξηση, μπορεί να μη μας επαρκεί η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα, επειδή η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου των στροφών. Γι' αυτό, όταν παραγγέλνουμε μία ΚΚΜ, καλό είναι να προδιαγράψουμε ότι ο ηλεκτροκινητήρας θα έχει επαρκή ισχύ για αύξηση μέχρι και 25% των στροφών. Η ισχύς που απαιτείται μεταβάλλεται με τον κύβο των στροφών, δηλαδή ισχύει:

$$P_1 = P_2 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (8-1)$$

Όπου:

P_1 = Η ισχύς με στροφές n_1

P_2 = Η ισχύς με στροφές n_2



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ο ανεμιστήρας μίας ΚΚΜ λειτουργεί στις 1600 RPM και ο κινητήρας απορροφά ισχύ 1,2 kW. Χρειαζόμαστε να αυξήσουμε τις στροφές του στις 2000 RPM. Να υπολογιστεί η νέα απορροφούμενη ισχύς.

Βάσει της σχέσης (8-1) έχουμε:

$$P_1 = 1,2 \times \left(\frac{2000}{1600} \right)^3 = 1,2 \times 1,25^3 = 2,35 \text{ kW}$$

Με άλλα λόγια, μια αύξηση των στροφών κατά 25% συνεπάγεται διπλασιασμό της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα επειδή $1,25^3 = 1,95$.

(3) Τα φίλτρα του αέρα

Οι ποιότητες των φίλτρων του αέρα καθορίζονται από δύο ευρωπαϊκά πρότυπα, το EN 779 για τα απλά φίλτρα και το EN 1822 για τα φίλτρα πολύ μεγάλης ικανότητας φιλτραρίσματος τα οποία ονομάζονται **απόλυτα φίλτρα**. Στον πίνακα (8-1) βλέπουμε παραστατικά τις ποιότητες των φίλτρων και τις προδιαγραφές τους. Οι κατηγορίες αρχίζουν από το 1 και φθάνουν μέχρι το 17. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός τόσο μεγαλώνει και η ικανότητα του φίλτρου να καθαρίζει τον αέρα.

Εκτός από τον αριθμό, υπάρχει και ένα γράμμα. Αυτό έχει να κάνει με το είδος στο οποίο εντάσσεται το κάθε φίλτρο. Παλαιότερα χρησιμοποιείτο μόνο ο συμβολισμός EU, αλλά ο αριθμός ήταν ο ίδιος. Δηλαδή αν σε μία παλαιά ΚΚΜ δούμε να αναφέρεται ότι τα φίλτρα θα είναι κατηγορίας EU4, τότε θα παραγγείλουμε φίλτρα κατηγορίας G4. Τα είδη στα οποία διακρίνονται οι κατηγορίες των φίλτρων είναι τέσσερις με αντίστοιχα γράμματα τα G, F για τα απλά φίλτρα και τα H, U για τα απόλυτα φίλτρα όπως εξάλλου βλέπουμε και στον πίνακα (8-1). Συγκεκριμένα:

Πίνακας (8-1): Οι κατηγορίες των φίλτρων

EN 779 Class		EN 1822 Class	
G1	$Am < 65$		$\bar{E} \% @ 0.3 \mu m$
G2	$65 \leq Am < 80$	H10	≥ 95
G3	$80 \leq Am < 90$	H11	≥ 98
G4	$90 \leq Am$	H12	≥ 99.99
F5	$40 \leq Em < 60$	H13	≥ 99.997
F6	$60 \leq Em < 80$	H14	≥ 99.999
F7	$80 \leq Em < 90$		$\bar{E} \% @ 0.12 \mu m$
F8	$90 \leq Em < 95$	U15	≥ 99.995
F9	$95 \leq Em$	U16	≥ 99.99995
		U17	≥ 99.999995

- Το G είναι για τα **χοντρά** φίλτρα (coarse filters) κατηγοριών από G1 μέχρι G4.
- Το F είναι για τα **λεπτά** φίλτρα (fine filters). Οι κατηγορίες τους είναι από F5 μέχρι F9.
- Το H είναι για τα **απόλυτα** φίλτρα που χαρακτηρίζονται ως HEPA (High Efficiency Particulate Air), κατηγοριών H10 μέχρι H14.
- Το U είναι για τα **απόλυτα** φίλτρα που χαρακτηρίζονται ως ULPA (Ultra Low Penetration Air), κατηγοριών U15 μέχρι U17.

Ο τρόπος που μετράται η ικανότητα φιλτραρίσματός τους διαφέρει για το κάθε είδος του φίλτρου. Τα φίλτρα G μετριοούνται με το ποσοστό της σκόνης που κρατάνε, το οποίο συμβολίζεται με A_m και ονομάζεται **συγκράτηση** (arrestance). Π.χ. το G2 χαρακτηρίζεται ότι συγκρατεί 65-80% της σκόνης, δηλαδή $65 < A_m < 80\%$, όπως φαίνεται στον πίνακα (8-1).

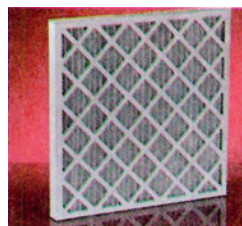
Πάνω από την κατηγορία G4, το A_m δεν είναι πλέον το κατάλληλο μέγεθος για να αποδώσει την ικανότητα φιλτραρίσματος και χρησιμοποιείται ένα άλλο μέγεθος, που ονομάζεται **απόδοση** (efficiency) και συμβολίζεται με το E_m . Το E_m είναι δύσκολο να περιγράψουμε τι ακριβώς είναι, αλλά διευκρινίζουμε ότι **δεν** έχει σχέση με το ποσοστό των συγκρατούμενων σωματιδίων (που είναι αρκετά πιο πάνω από το 90% της κατηγορίας G4)



G3 / 30 Pa
 $V_{\max} = 2,5 \text{ m/s}$



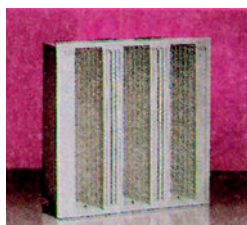
G2 / 303 Pa
 $V_{\max} = 1,5 \text{ m/s}$



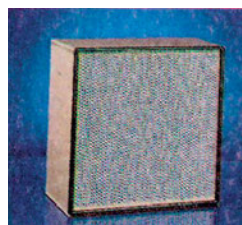
G4 / 42 Pa
 $V_{\max} = 1,5 \text{ m/s}$



F7 / 50 Pa
 $V_{\max} = 2,5 \text{ m/s}$



F9 / 75 Pa
 $V_{\max} = 3,2 \text{ m/s}$



H13/250 Pa
 $V_{\max} = 1.5 \text{ m/s}$

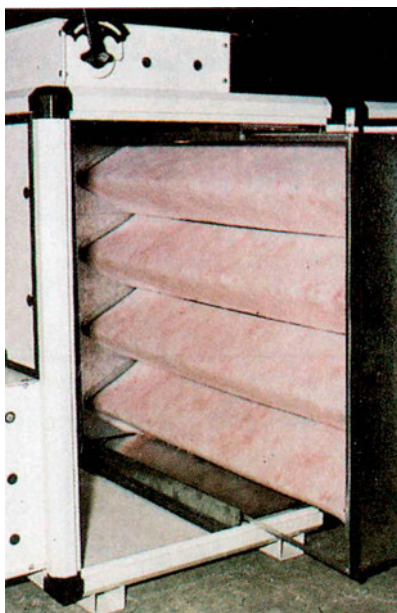
Σχήμα 8-44: Διάφορα είδη φίλτρων.

Τα **απόλυτα** φίλτρα μετριοούνται με άλλο τρόπο και χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να κρατάνε μικροσκοπικούς κόκκους σκόνης, αυστηρά καθορισμένης διαμέτρου. Συγκεκριμένα:

- διαμέτρου 0,3 μm τα φίλτρα H ή φίλτρα HEPA
- διαμέτρου 0,12 μm τα φίλτρα U ή φίλτρα ULPA

Πρόκειται για μία εξαιρετική ικανότητα φιλτραρίσματος αν σκεφτείτε ότι 1 μm = 1/1.000 mm. Π.χ. από τον πίνακα (8-1) βρίσκουμε ότι τα φίλτρα H11, κρατάνε το 98% των σωματιδίων διαμέτρου 0,3 μm .

Στο σχήμα (8-44) βλέπουμε τη μορφή διαφόρων φίλτρων, την πτώση πίεσης μέσω αυτών και τις επιτρεπόμενες ταχύτητες του αέρα. Όσο αυξάνεται η κατηγορία, όπως βλέπουμε, η πτώση πίεσης διαρκώς ανεβαίνει. Στις ΚΚΜ, όταν η προδιαγραφή δεν προβλέπει κάτι καλύτερο, συνήθως χρησιμοποιείται φίλτρο σε ρόλο όπως αυτά του σχήματος (8-44), κατηγορίας G3 ή G4, με αποδεκτή ταχύτητα μέχρι 1,5 m/s. Η ικανότητα φιλτραρίσματος των φίλτρων σε ρόλο συνήθως δεν υπερβαίνει την κατηγορία G4.



Σχήμα 8-45: Φίλτρο ΚΚΜ, με επιτρεπόμενη ταχύτητα αέρα 1,5 m/s και μετωπική στο στοιχείο 2,5 m/s. Με τη μορφή αυτή αυξάνεται η συνολική επιφάνεια του φίλτρου, οπότε μειώνεται και η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας πάνω στο φίλτρο.

Ο κατασκευαστής της ΚΚΜ, ανάλογα με το είδος του υλικού φιλτραρίσματος που θα τοποθετήσει, θα πρέπει να καθορίσει και τη μορφή των φίλ-

τρων ώστε η ταχύτητα να μην υπερβαίνει τις επιτρεπόμενες τιμές. Όταν η μετωπική ταχύτητα είναι μεγαλύτερη (που συνήθως είναι), εφαρμόζεται διάταξη όπως αυτή του σχήματος (8-45) για να αυξηθεί η επιφάνεια του φίλτρου. Πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$V_a - Q_a / A_f < V_{\max} \quad (8-2)$$

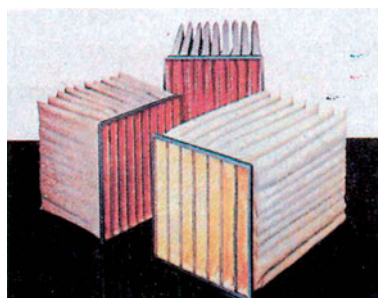
Όπου:

V_a = Η ταχύτητα του αέρα δια μέσου του φίλτρου

Q_a = Η παροχή του αέρα

A_f = Η επιφάνεια του φίλτρου

$V_{\max}$ = Η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα δια μέσου του φίλτρου



Σχήμα 8-46: Σακόφιλτρα ή pocket filters.

Στο σχήμα (8-46) βλέπουμε ένα άλλο είδος φίλτρου, το οποίο ονομάζεται **σακόφιλτρο** (απόδοση στα ελληνικά του όρου που είναι pocket filters = φίλτρα σε σχήμα τσέπης), τοποθετημένο μέσα στο αντίστοιχο τμήμα μίας ΚΚΜ. Τα φίλτρα αυτά συνήθως είναι από G4 μέχρι F9 και η επιτρεπόμενη μετωπική ταχύτητα του αέρα είναι, ανάλογα με το είδος του υλικού, από 2,5 μέχρι 3,2 m/s.

Τα συνήθη μεγέθη φίλτρων που χρησιμοποιούνται στις ΚΜ είναι:

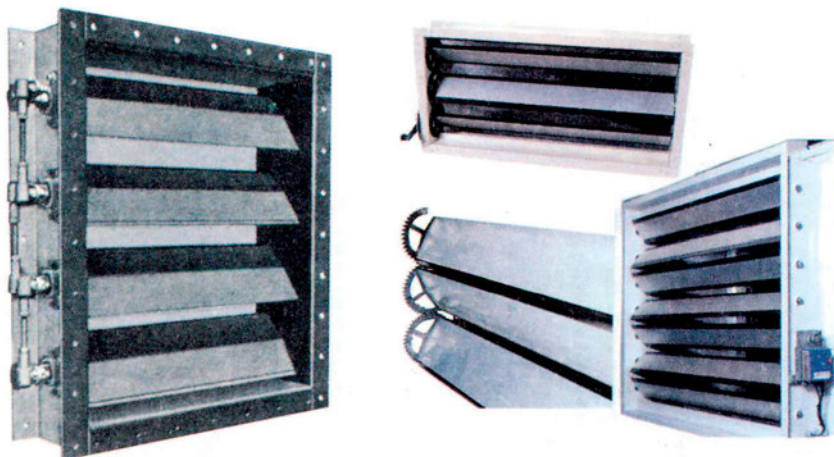
- Στις ΤΚΜ, για την προστασία του στοιχείου: G2
- Για την προστασία των εξοικονομητών ενέργειας: G3
- Στα μηχανήματα κλιματισμού κλειστού κυκλώματος, τα οποία θα δούμε παρακάτω: G4
- Στις ΚΚΜ, για τον καθαρισμό του αέρα του χώρου: F6 ή F7

- Στις ΚΜ που προορίζονται για χώρους των συνήθων χειρουργείων, ειδικών εργαστηρίων κλπ.: H12 ή H13

Ευνόητο είναι ότι η ποιότητα του φίλτρου είναι στην κρίση του μελετητή. Αν νομίζει ότι οι συνθήκες το επιβάλλουν, μπορεί να προδιαγράψει ανώτερη ή κατώτερη ποιότητα φίλτρου.

(4) Τα τάμπερ

Τα τάμπερ χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της παροχής του αέρα. Είναι διαφόρων ειδών, χειροκίνητα ή ηλεκτροκίνητα ή ακόμη και τηλεχειριζόμενα. Στο σχήμα (8-47) βλέπουμε διάφορα είδη τέτοιων τάμπερ.

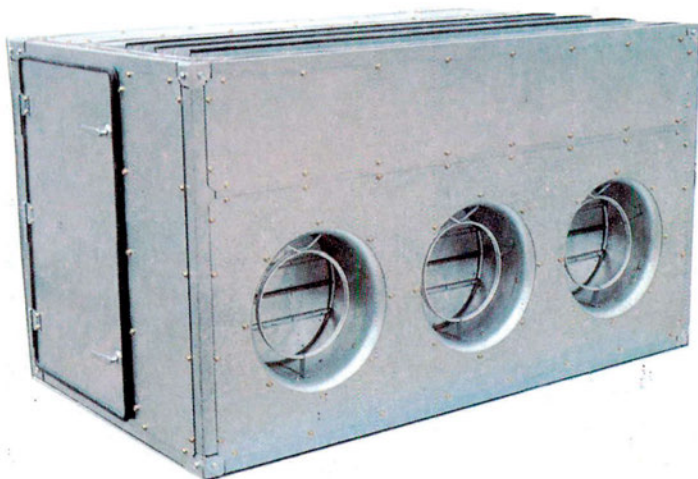


Σχήμα 8-47: Διάφορα είδη τάμπερ.

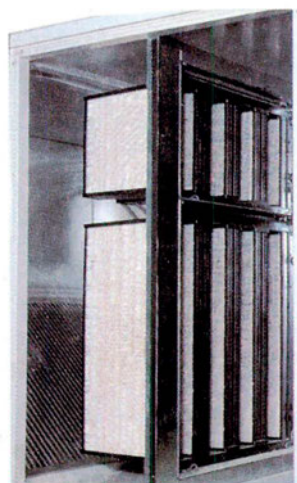
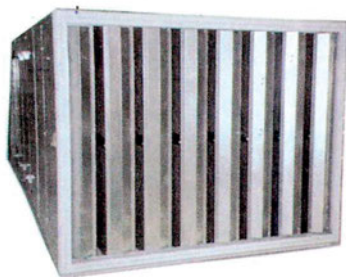
Στο σχήμα (8-48), βλέπουμε ένα άλλο είδος τάμπερ το οποίο επιτρέπει τη ρύθμιση του αέρα με μεγάλη ακρίβεια και συνήθως είναι τηλεχειριζόμενο. Χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις όπου απαιτείται μεγάλη προσοχή στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Το τάμπερ αυτό το είδαμε τοποθετημένο στην ΚΚΜ του σχήματος (8-30).

(5) Η ηχοπαγίδα

Η ποιότητα του αέρα στο χώρο έχει σχέση και με τη στάθμη του θορύβου. Οι ανεμιστήρες προκαλούν ισχυρό θόρυβο και αυτός δεν θα πρέπει να μεταφέρεται στο χώρο. Για την απόσβεση του θορύβου χρησιμοποιούνται οι ηχοπαγίδες. Τέτοιες ηχοπαγίδες που τοποθετούνται μέσα στην ΚΚΜ φαίνονται στο σχήμα (8-49).



Σχήμα 8-48: Τάμπερ ειδικού τύπου. Επιτρέπει τη μέτρηση και τη ρύθμιση της παροχής του αέρα με μεγάλη ακρίβεια.



Σχήμα 8-49: Ηχοπαγίδες σε ΚΚΜ.

Οι ηχοπαγίδες, όπως αυτές του οχήματος (8-49), αποτελούνται από διαχωριστικά (splitters) κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό απόσβεσης του θορύβου, που έχουν πάχος συνήθως από 100-200 mm και μήκος από 500 μέχρι 2000 mm. Τοποθετούνται κατά τη διεύθυνση της ροής του αέρα. Το κενό ανάμεσα σε δύο διαδοχικά διαχωριστικά ποικίλλει συνήθως από 50 μέχρι 250 mm. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος και το μήκος των διαχωριστικών και όσο μικρότερη η απόσταση μεταξύ τους, τόσο καλύτερη είναι η απόσβεση του ήχου που επιτυγχάνεται.

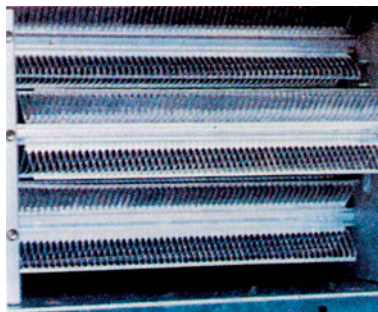


Σχήμα 8-50: Ηχοπαγίδες αεραγωγών

Θόρυβος όμως μπορεί να δημιουργείται και σε άλλα σημεία του δικτύου ή ακόμη να μην υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την κατασκευή μεγάλου μήκους ΚΚΜ, οπότε οι ηχοπαγίδες να μην είναι δυνατό να τοποθετηθούν μέσα στην ΚΚΜ. Τότε η λύση είναι να τοποθετηθούν στον αεραγωγό. Τέτοιου είδους ηχοπαγίδες βλέπουμε στο σχήμα (8-50). Η (Α) είναι για ορθογωνικό αεραγωγό ενώ οι (Β) και η (Γ) για κυκλικό.

(6) Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις

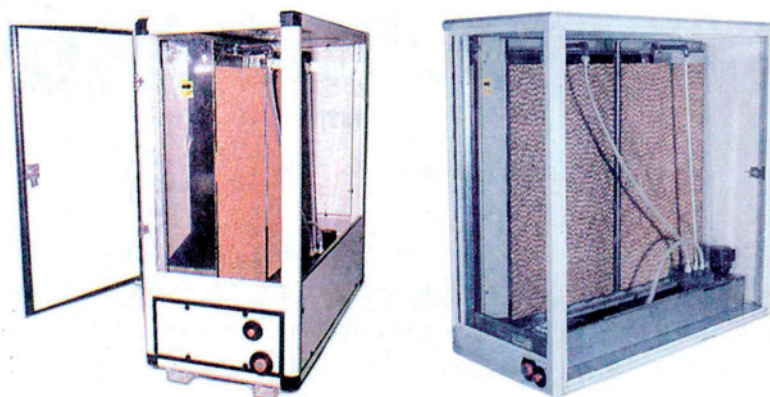
Συνήθως, όταν υπάρχουν, χρησιμοποιούνται για την αναθέρμανση του αέρα το καλοκαίρι. Σχεδόν κατά κανόνα τις τοποθετούν μακριά από τα σημεία που δημιουργείται υγρασία και συχνά μάλιστα τοποθετούνται μέσα στον αεραγωγό. Ένα συνηθισμένο σημείο τοποθέτησης είναι στην έξοδο του ανεμιστήρα που στέλνει τον αέρα στους χώρους. Στο σχήμα (8-51) βλέπουμε ένα στοιχείο με ηλεκτρικές αντιστάσεις που έχουν πτερύγια. Υπάρχουν και άλλων ειδών ηλεκτρικές αντιστάσεις.



Σχήμα 8-51: Στοιχείο με ηλεκτρικές αντιστάσεις.

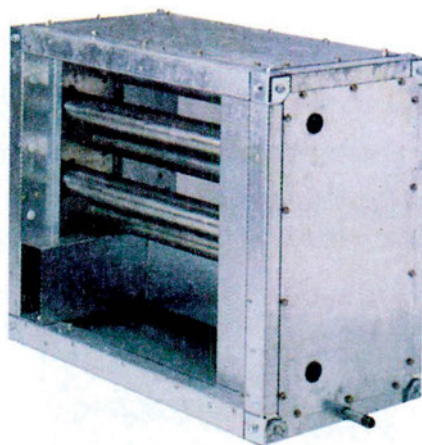
(7) Οι υγραντήρες

Οι υγραντήρες είναι βασικά εξαρτήματα για τη λειτουργία κατά το χειμώνα. Το μειονέκτημά τους είναι ότι χρειάζονται αυξημένη συντήρηση και έχουν περισσότερους κινδύνους, ιδίως αν υπάρχουν στην ΚΚΜ ηλεκτρικές αντιστάσεις.



Σχήμα 8-52: Τμήμα ύγρανσης ΚΚΜ (με το σταγονοσυλλέκτη).

Στο σχήμα (8-52) βλέπουμε το τμήμα ύγρανσης μίας ΚΚΜ ενώ στο σχήμα (8-53) τον τρόπο που είναι διαμορφωμένο το τμήμα ύγρανσης ενός άλλου κατασκευαστή. Και τα δύο αυτά συστήματα έχουν υγραντήρες ψεκασμού. Κατά κανόνα, μετά από το τμήμα ύγρανσης, τοποθετείται σταγονοσυλλέκτης.

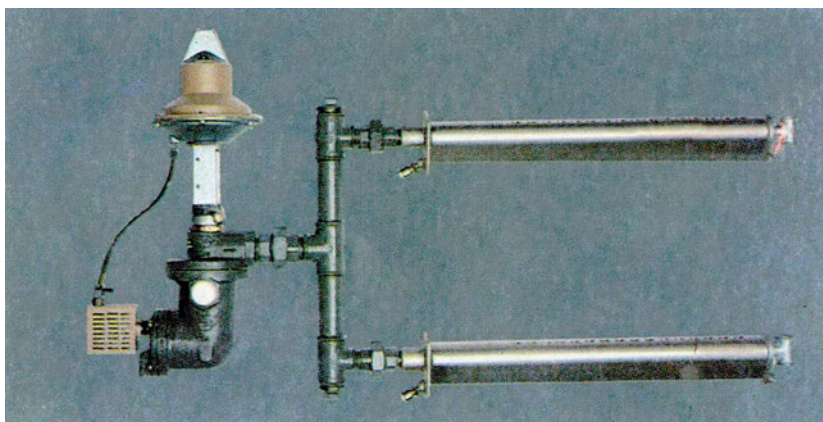


Σχήμα 8-53: Διαφορετικός τύπος τμήματος ύγρανσης ΚΚΜ.

Περισσότερο ασφαλές είναι όταν ψεκάζεται ατμός αντί για νερό. Ένας τέτοιος τύπος υγραντήρα φαίνεται στο σχήμα (8-54). Τοποθετείται απευθείας στην ΚΚΜ.

Υπάρχουν ακόμη και οι υγραντήρες με καταιονισμό νερού που ονομάζονται και *air washers*. Δεν έχουν σχέση με καθαρισμό του νερού παρ' όλον ότι η αγγλική ονομασία τους μπορεί να αφήνει να εννοηθεί κάτι τέτοιο. Το νερό πέφτει μέσα στο τμήμα ύγρανσης της ΚΚΜ, σε πολύ μεγάλες ποσότητες, με αποτέλεσμα ο αέρας να εξέρχεται από εκεί σχεδόν σε κατάσταση κορεσμού.

Υψηλό βαθμό ύγρανσης επιτυγχάνουν οι υγραντήρες τύπου *pan* (δοχείο). Σ' αυτούς, στο τμήμα ύγρανσης υπάρχουν δοχεία γεμάτα με νερό και κάθετες επιφάνειες που είναι συνεχώς υγρές. Κατά τον τρόπο αυτό υγραίνεται ο διερχόμενος αέρας σε πολύ μεγάλο βαθμό.



Σχήμα 8-54: Υγραντήρας ατμού για ΚΚΜ.

Θα πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι η ύγρανση μπορεί να γίνεται και από ανεξάρτητους υγραντήρες που θα τοποθετηθούν μέσα στο χώρο. Τέτοιους υγραντήρες βλέπουμε στο σχήμα (8-55). Το πρόβλημα φυσικά είναι σε ποια θέση θα τοποθετηθούν και αν ταιριάζουν αισθητικά στο χώρο. Αντίθετα, ο υγραντήρας, που είναι τοποθετημένος μέσα στην ΚΚΜ, κάνει την ύγρανση χωρίς να ενοχλεί κανέναν.



Σχήμα 8-55: Υγραντήρες ατμού, κατάλληλοι για τοποθέτηση στον κλιματιζόμενο χώρο.

8-12. Η στάθμη του θορύβου

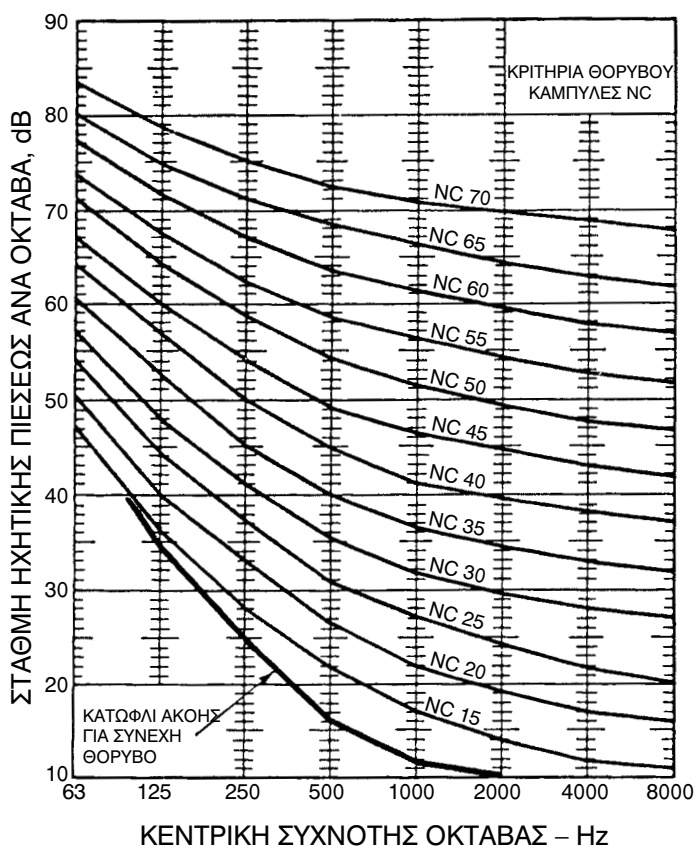
Η στάθμη του θορύβου μετρείται σε db. Αν ο ελάχιστος ήχος που μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί είναι 0 db, ο μέγιστος ήχος ή το **όριο πό-νου**, όπως ονομάζεται, είναι 140 db. Η μονάδα db είναι μία λογαριθμική σχέση (την οποία σχέση δεν υπάρχει λόγος να την αναφέρουμε). Απλά αναφέρουμε ότι η στάθμη 0 db αντιστοιχεί σε πίεση στο αυτί 20 μPa ενώ η στάθμη 140 db σε 200 Pa.

Ο ήχος που μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί είναι στην περιοχή συχνοτήτων 20 - 20.000 Hz. Για πρακτικούς λόγους τα δεδομένα των ακουστικών μετρήσεων έχουν μοιραστεί σε 8 περιοχές που ονομάζονται οκτάβες. Οι κεντρικές συχνότητες των οκτάβων είναι:

63 125 250 500 1000 2000 4000 8000

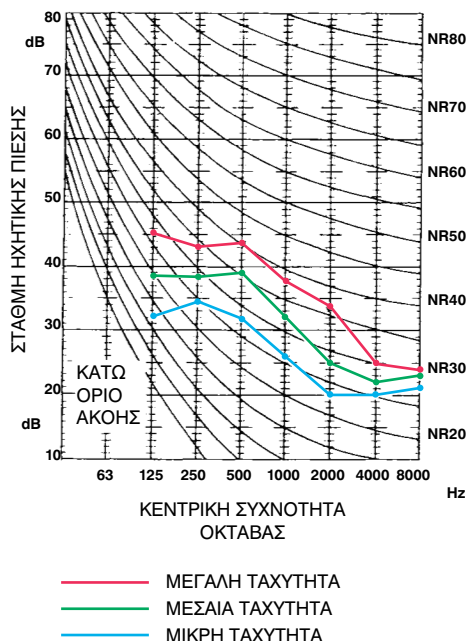
Ο ήχος αναλυμένος κατά οκτάβες έχει έναν αριθμό που συμβολίζεται ως **NC** ή **NR**. Οι καμπύλες, ανάλογα με τον αριθμό NC, δίδονται στο σχήμα (8-56). Σε ένα χώρο, ανάλογα με τον προορισμό του, καθορίζουμε και το NC που θέλουμε να έχει. Αν π.χ. πρόκειται για γραφεία και προδιαγράφουμε αποδεκτή στάθμη θορύβου NC-40, αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος δεν θα πρέπει, σε καμία συχνότητα, να υπερβαίνει τη στάθμη που φαίνεται στο

σχήμα (8-56) για NC-40. Έτσι το μηχανήμα του σχήματος (8-57) γίνεται αποδεκτό.



Σχήμα 8-56: Καμπύλες NC ή NR (στάθμες θορύβου ανά οκτάβα συναρτήσει της συχνότητας).

Εκτός από την ανάλυση του ήχου κατά οκτάβες, υπάρχει και η **ηχητική πίεση με στάθμιση 'Α'** με μονάδες που συμβολίζονται ως **db(A)** το οποίο συναντάμε και με το συμβολισμό **dba**. Συχνά, για συντομία, αποκαλείται **στάθμη θορύβου σε db(A)** ή **ηχητική πίεση σε db(A)**. Είναι ένα λογαριθμικό άθροισμα διαφόρων τιμών που υπολογίζονται βάσει των οκτάβων. Η πίεση κάθε οκτάβας, σ' αυτό το άθροισμα δεν έχει την ίδια βαρύτητα επειδή το ανθρώπινο αυτί είναι περισσότερο ευαίσθητο σε κάποιες συχνότητες και λιγότερο σε κάποιες άλλες. Κατά συνέπεια η ηχητική πίεση με στάθμιση 'Α' μας δίνει, κατά κάποιο τρόπο, μία συνολική προσέγγιση της αίσθησης που θα έχουμε για έναν ήχο (δεν υπάρχει λόγος να επεκταθούμε και να το εξηγήσουμε περισσότερο).



Σχήμα 8-57: Καμπύλες θορύβου ενός συγκεκριμένου τύπου FCU, πάνω στο διάγραμμα των καμπύλων NC.

Ο λόγος που γράφουμε db(A) ή dba αντί για db είναι για να διακρίνουμε την ηχητική πίεση με στάθμιση 'A' από την ηχητική πίεση της οκτάβας που συνδέεται με μία συγκεκριμένη συχνότητα. Είναι δηλαδή η ένδειξη σε db(A) μία μοναδική τιμή που μας δίνει μία εκτίμηση για τη στάθμη του θορύβου, χωρίς να χρειάζεται να ανατρέξουμε σε διαγράμματα, αλλά η οποία από μόνη της δεν μας εξασφαλίζει ότι η ηχητική πίεση σε κάθε συχνότητα θα είναι αποδεκτή.

Στον πίνακα (8-2) βλέπουμε τις επιτρεπόμενες στάθμες του θορύβου για κάθε χώρο.

Όταν πρόκειται για μηχανήματα που τοποθετούνται απευθείας μέσα στο χώρο, προδιαγράφεται η καμπύλη NC και η στάθμη db(A) βάσει του πίνακα (8-2). Τέτοια μηχανήματα είναι οι ΤΚΜ και οι μονάδες κλειστού κυκλώματος που θα δούμε παρακάτω.

Όταν πρόκειται για ΚΚΜ, ο κατασκευαστής της, ανάλογα με το θόρυβο που κάνει ο ανεμιστήρας, θα αποφασίσει αν χρειάζεται ηχοπαγίδα ή όχι. Οι αεραγωγοί λειτουργούν και αυτοί σαν μειωτές θορύβου, με προσδοκώμενη απόσβεση $0,3 \text{ db/m}$ ή db(A)/m μήκους αεραγωγού. Ανάλογα με τον ανεμιστήρα που θα επιλεγεί και την επιθυμητή στάθμη θορύβου, ο κατά-

Πίνακας (8-2): Επιτρεπόμενες στάθμες θορύβου

Χρήση χώρου	NC/NR	db(A)
Αίθουσες ραδιοφωνικών εκπομπών	20-25	25-30
Αίθουσες κονσέρτων και όπερας	20-25	25-30
Θέατρα, αίθουσες συνεδρίων, εκκλησίες	25-30	30-35
Θάλαμοι νοσοκομείων, χειρουργεία	25-35	30-40
Οικίες, υπνοδωμάτια	25-35	30-40
Κινηματογράφοι	30-35	35-40
Ιδιωτικά γραφεία, βιβλιοθήκες, διδακτήρια	30-35	35-40
Γενικά γραφεία	35-45	40-50
Γραφεία εξοπλισμένα με μηχανές γραφείου	40-50	45-55
Εστιατόρια, μπαρ, καφετέριες, καντίνες	35-45	40-50
Πολυκαταστήματα και καταστήματα	35-45	40-50
Γυμναστήρια και κολυμβητήρια	35-50	40-55
Κουζίνες	40-50	45-55
Εργοστάσια ελαφριάς βιομηχανίας	45-65	50-70
Εργοστάσια βαριάς βιομηχανίας	55-70	60-80

σκευαστής θα κρίνει αν τελικά απαιτείται ηχοπαγίδα. Ο κάθε τύπος ηχοπαγίδας έχει διαγράμματα απόσβεσης του ήχου κατά οκτάβες.



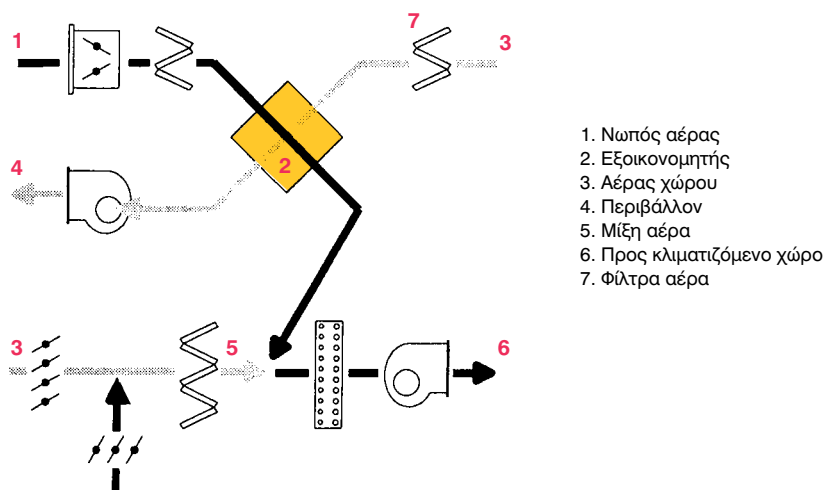
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε ένα δίκτυο κλιματισμού, το μήκος του αεραγωγού από το πλησιέστερο στόμιο μέχρι την έξοδο της ΚΚΜ είναι 35 m. Η στάθμη του θορύβου που επιτρέπεται στο χώρο είναι NC40 και 45 db(A). Τι στοιχεία θα δώσουμε στον κατασκευαστή της ΚΚΜ για να εξετάσει αν χρειάζεται ηχοπαγίδα;

Μπορούμε, αν θέλουμε, να του δώσουμε τα στοιχεία απλά, έτσι όπως τα δηλώσαμε παραπάνω, στην εκφώνηση του παραδείγματος. Μπορούμε όμως να κάνουμε και τον εξής υπολογισμό: η αναμενόμενη απόσβεση ήχου από τον αεραγωγό είναι $35 \times 0,3 \approx 10,5$ db. Εντοπίζουμε στο σχήμα (8-56) την καμπύλη NC40. Μετράμε περίπου 10,5 db πάνω από αυτήν και καταλήγουμε στην NC50. Επίσης $45 + 10,5 \approx 55$ db(A). Άρα μπορούμε να πούμε ότι στην έξοδο της ΚΚΜ, μετά την ηχοπαγίδα, τα όρια του θορύβου θα είναι κατά NC50 και 55 db(A).

8-13. Η εξοικονόμηση ενέργειας

Στο κεφάλαιο 7, αναφερθήκαμε στους εξοικονομητές ενέργειας. Εδώ θα αναπτύξουμε τον τρόπο που αυτοί χρησιμοποιούνται. Όπως είχαμε αναφέρει, βασικά χρησιμοποιούνται τριών ειδών εξοικονομητές ενέργειας: Ο πλακοειδής, ο περιστροφικός και τα RAC (run around coils). Ο πλέον διαδεδομένος σε χρήση είναι ο πλακοειδής, του οποίου τον τρόπο λειτουργίας βλέπουμε στο σχήμα (8-58).



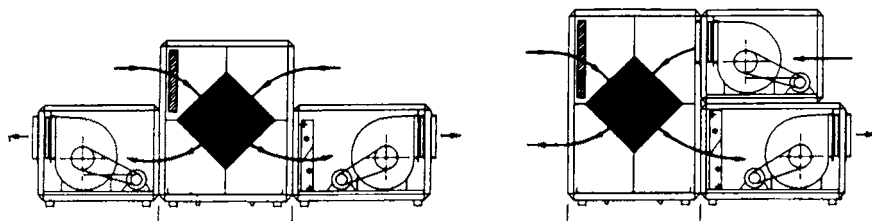
Σχήμα 8-58: Ο τρόπος λειτουργίας του πλακοειδή εξοικονομητή ενέργειας.

Πλακοειδή εναλλάκτη, τοποθετημένο μέσα σε ΚΚΜ βλέπουμε στο σχήμα (8-59). Διακρίνουμε και τα φίλτρα αέρα που έχουν τοποθετηθεί καθώς και τους τύπους τους.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Μπορείτε να περιγράψετε πώς είναι η λειτουργία του πλακοειδή εναλλάκτη του σχήματος (8-59), βλέποντας τα σχήματα (8-58) και (8-59); Ποιο είναι το ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα και ποιο του πρωτεύοντος αέρα; Μήπως λείπει κάποιο φίλτρο από τον εναλλάκτη; Αν ναι, γιατί πιστεύετε ότι ο κατασκευαστής της ΚΚΜ το παρέλειψε;



Σχήμα 8-59: Τμήμα πλακοειδούς εναλλάκτη μίας ΚΚΜ.



Σχήμα 8-60: Μικρές, πολύ λιτές, ΚΚΜ αλλά με εξοικονόμηση ενέργειας.

Στο σχήμα (8-60) βλέπουμε δύο απλούστατες διατάξεις ΚΚΜ, που περιλαμβάνουν μόνο το στοιχείο ψύξης-θέρμανσης και τον εναλλάκτη. Το μοναδικό φίλτρο καθαρισμού του αέρα είναι αυτό του εναλλάκτη. Από το σχήμα αυτό καταλαβαίνουμε πόσο απλή μπορεί να είναι μία ΚΚΜ που έχει αποστολή την εξοικονόμηση ενέργειας.

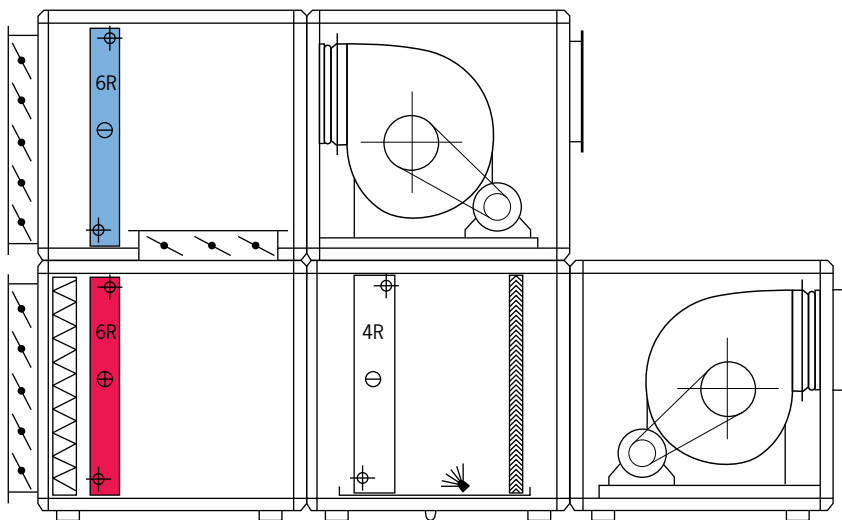


Σχήμα 8-61: Τμήμα περιστροφικών εναλλακτών ΚΚΜ (εξοικονομητών ενέργειας).

Ένας άλλος σε χρήση εναλλάκτης είναι ο περιστροφικός, ο οποίος έχει το πλεονέκτημα, όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 7, να μπορεί, αν ο δίσκος του κατασκευαστεί από υγροσκοπικό υλικό, να κρατάει εύκολα την υγρασία. Αυτό σημαίνει ότι το καλοκαίρι μπορεί να είναι και αφυγραντήρας ενώ το χειμώνα να είναι και υγραντήρας. Το μειονέκτημά του είναι ότι χρειάζεται αρκετή συντήρηση. Στο σχήμα (8-61), βλέπουμε ένα τμήμα με δύο περιστροφικούς εναλλάκτες, το οποίο έχει αφαιρεθεί από μία πολύ μεγάλη ΚΚΜ.

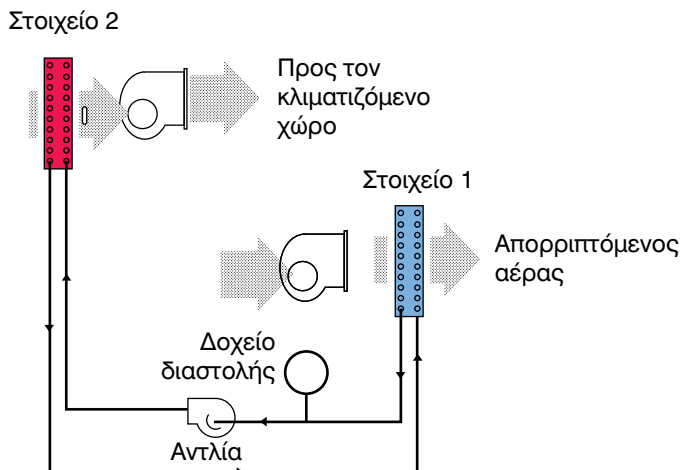
Μία άλλη συνήθης τακτική εξοικονόμησης ενέργειας, με χαμηλό κόστος αλλά με όχι και τόσο καλό βαθμό απόδοσης, είναι τα Run Around Coils που για συντομία συμβολίζονται ως RAC. Δεν υπάρχει επιτυχής ελ-

ληνική απόδοση αυτού του όρου. Η πλησιέστερη έκφραση που θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε θα ήταν «σύστημα 2 συνεργαζομένων στοιχείων». Στο σχήμα (8-62) βλέπουμε το σύστημα των RAC τοποθετημένο σε μία ΚΚΜ.



Σχήμα 8-62: Σύστημα RAC τοποθετημένο σε ΚΚΜ. Τα δύο τμήματα της ΚΚΜ, αν απαιτείται, μπορούν να κατασκευαστούν τελείως ανεξάρτητα και, αν χρειάζεται, να απομακρυνθούν το ένα από το άλλο.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι, όταν δεν μπορούμε να φέρουμε κοντά τα δύο ρεύματα αέρα, μπορούμε να απομακρύνουμε τα δύο τμήματα της ΚΚΜ που βλέπουμε στο σχήμα (8-63). Πράγματι θα δείτε ότι αυτά τα δύο τμήματα δεν συνδέονται πουθενά, απλά είναι το ένα πάνω από το άλλο. Το τάμπερ που βλέπουμε ότι τα ενώνει μπορεί είτε να αφαιρεθεί τελείως είτε να παραμείνει αν ενωθούν τα δύο τμήματα μ' έναν αεραγωγό, αν φυσικά δεν είναι πολύ μακριά το ένα από το άλλο. Τα δύο στοιχεία του συστήματος RAC συνδέονται μέσω αντλίας και με σωλήνες νερού. Οπότε είναι εύκολο να συνδεθούν μεταξύ τους όσο μακριά και αν ευρίσκονται τοποθετημένα.

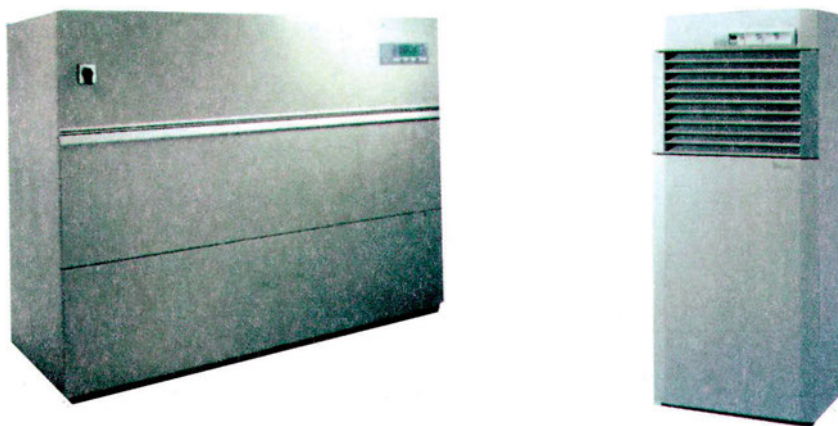


Σχήμα 8-63: Η λειτουργία συστήματος Run Around Coils (RAC).

Ο τρόπος λειτουργίας τους φαίνεται στο σχήμα (8-63). Ο απορριπτόμενος αέρας ψύχει το νερό στο στοιχείο 1 και αφήνει, με αυτό τον τρόπο, μέρος της ενέργειας που έχει καταναλωθεί για την ψύξη του. Από το στοιχείο 1, το κρύο νερό μεταφέρεται στο στοιχείο 2, από όπου διέρχεται ο νωπός αέρας τον οποίο και ψύχει σε κάποιο βαθμό. Έτσι ο εισερχόμενος νωπός αέρας θα χρειαστεί λιγότερη ενέργεια για την ψύξη του μέχρι τις απαιτούμενες συνθήκες.

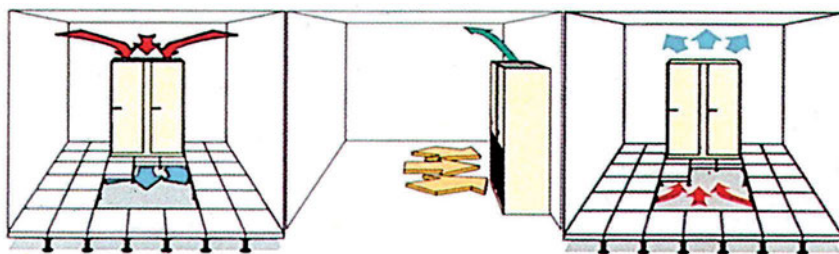
8-14. Οι ΚΜ κλειστού κυκλώματος

Οι κλιματιστικές μονάδες κλειστού κυκλώματος (closed control circuit) είναι συγκροτήματα που περιέχουν τα πάντα μέσα σε ένα και μοναδικό κέλυφος εκτός από τον εξωτερικό αερόψυκτο συμπυκνωτή. Διαθέτουν επίσης ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου ακρίβειας, που επιτρέπει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και υγρασίας σε επιθυμητά επίπεδα. Η εξωτερική μορφή τους είναι όπως στο σχήμα (8-64).



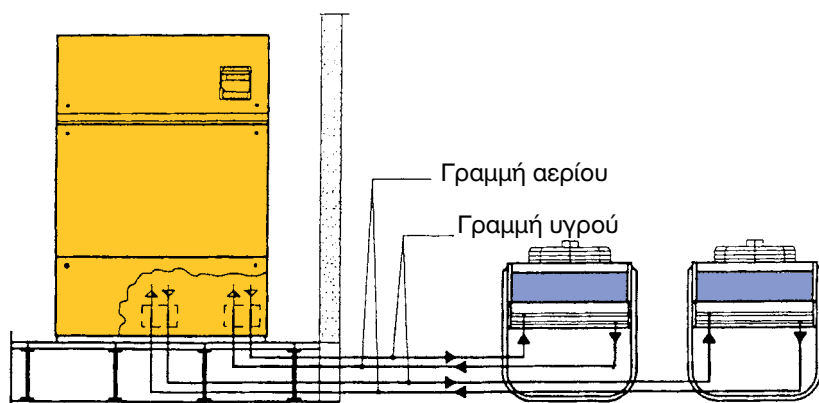
Σχήμα 8-64: Τυπικές μορφές μονάδων κλειστού κυκλώματος.

Οι ΚΜ κλειστού κυκλώματος είναι κατάλληλες για χώρους όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα μεγάλα τηλεφωνικά κέντρα κ.λπ., αλλά και για οποιουσδήποτε άλλους χώρους όπου το ζητούμενο είναι να έχουμε πλήρη έλεγχο των συνθηκών και ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Συνήθως εκεί που τοποθετούνται υπάρχει και ψευδοδάπεδο.



Σχήμα 8-65: Εγκατάσταση μονάδων κλειστού κυκλώματος σε ψευδοδάπεδο.

Όπως βλέπουμε στο σχήμα (8-65) οι μονάδες αυτές είναι δύο ειδών. Οι downflow που κατευθύνουν προς τα κάτω τον αέρα, μέσα στο ψευδοδάπεδο, από όπου εξέρχεται μέσω στομιών και οι upflow που κάνουν ακριβώς το αντίθετο. Περισσότερο χρησιμοποιείται η ΚΜ downflow. Οι μονάδες upflow, πολύ συχνά κατασκευάζονται έτσι ώστε να αναρροφούν τον αέρα απευθείας μέσα από το χώρο, οπότε το ψευδοδάπεδο δεν είναι απαραίτητο. Οι όροι downflow και upflow χρησιμοποιούνται και στην ελληνική τεχνική ορολογία, γιατί είναι δύσκολη η επιτυχής απόδοσή τους στα ελληνικά.



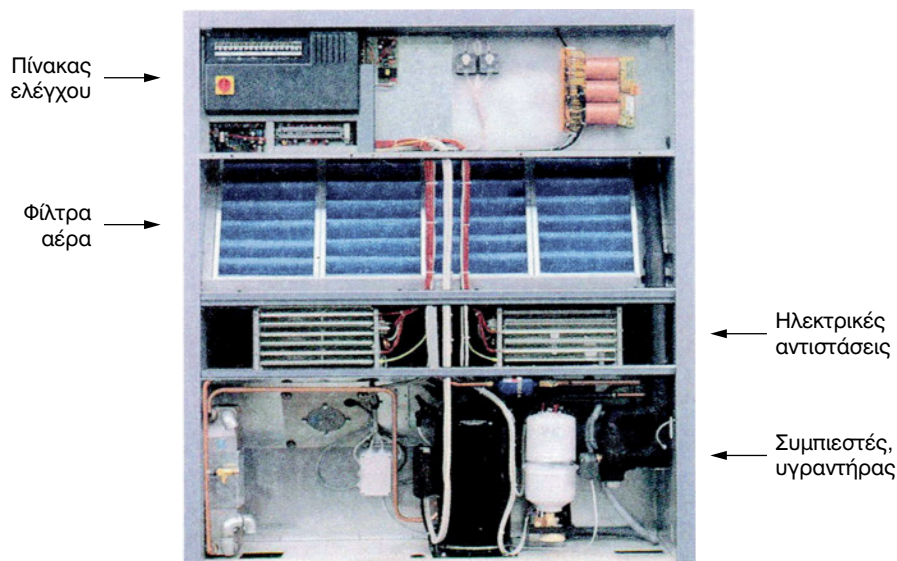
Σχήμα 8-66: Το εσωτερικό και τα εξωτερικά στοιχεία μίας μονάδας κλειστού κυκλώματος.

Ο τρόπος σύνδεσης μίας μονάδας φαίνεται στο σχήμα (8-66). Η μονάδα αυτή ονομάζεται διπλού κυκλώματος και ουσιαστικά είναι σαν δύο, σχεδόν ανεξάρτητα μεταξύ τους συστήματα, μέσα στο ίδιο πλαίσιο.



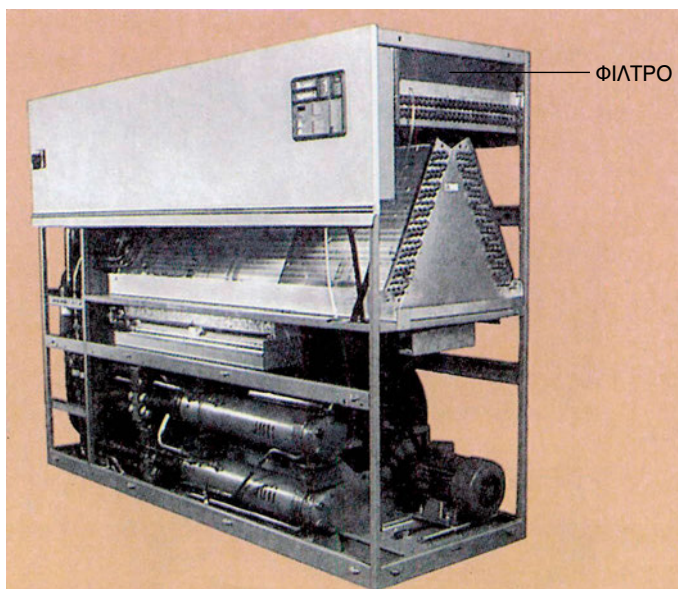
Σχήμα 8-67: Κλιματισμός συγκροτήματος γραφείων με μονάδα κλειστού κυκλώματος.

Στο σχήμα (8-67) βλέπετε ένα χώρο γραφείων πολυτελείας που κλιματίζεται με μία μονάδα Downflow. Ο χώρος αυτός διαθέτει παντού ψευδοδάπεδο. Ο αέρας προσάγεται στους χώρους από τα στόμια του ψευδοδαπέδου που βλέπουμε.



Σχήμα 8-68: Το εσωτερικό μονάδας κλειστού κυκλώματος, με ερμητικούς συμπιεστές. Η ονομαστική ισχύς της είναι περίπου 30 kW.

Στα σχήματα (8-68) και (8-69) βλέπουμε πώς είναι το εσωτερικό μίας τέτοιας ΚΜ. Υπάρχουν όλα όσα θα μπορούσαμε να βρούμε σε ένα πλήρες ψυχοστάσιο και σε μία ΚΚΜ, μαζί και με ένα τέλειο σύστημα ελέγχου των συνθηκών του χώρου. Η οικονομία χώρου που γίνεται στο εσωτερικό τους είναι προφανής. Η όλη όμως εσωτερική διαρρύθμιση των μονάδων αυτών είναι τέτοια, που παρ' όλο το συμπαγές της κατασκευής τους, συντηρούνται και επισκευάζονται πάρα πολύ εύκολα.



Σχήμα 8-69: Το εσωτερικό υδρόψυκτης μονάδας κλειστού κυκλώματος, με ημιεργητικούς συμπιεστές. Η ονομαστική ισχύς της είναι περίπου 60 kW.

Οι μονάδες κλειστού κυκλώματος συνήθως είναι αερόψυκτες. Όταν όμως η απόσταση από το σημείο που μπορεί να τοποθετηθεί ο συμπυκνωτής είναι μεγάλη (πάνω από 40 m), κατασκευάζονται ως υδρόψυκτες. Τέτοια μονάδα και μάλιστα διπλού κυκλώματος βλέπουμε στο σχήμα (8-69).

8-15. Μονάδες βιομηχανικού κλιματισμού

Στο βιομηχανικό κλιματισμό μπορούν φυσικά να εφαρμοστούν όλα τα συστήματα που είδαμε μέχρι τώρα. Υπάρχουν όμως προβλήματα, τα οποία δημιουργούνται εξαιτίας του ύψους του χώρου που πολλές φορές είναι μεγαλύτερο ακόμη και από 12 μέτρα.

Τα εργοστάσια, συνήθως, είναι πολύ ψηλοί και μεγάλοι χώροι και γι' αυτό έχουν περισσότερα προβλήματα στον κλιματισμό τους. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι στη θέρμανση όπου αέρας συγκεντρώνεται ψηλά και από εκεί πολλές φορές, μέσω του συστήματος εξαερισμού, χάνεται στο περιβάλλον. Απαιτείται ο ανεμιστήρας να έχει κατάλληλη ισχύ ώστε να μπορεί να στείλει τον αέρα χαμηλά. Αυτό δεν είναι καθόλου εύκολο, διότι ο θερμός αέρας έχει ισχυρή τάση για να κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση και να ανέβει

προς τα επάνω. Ο αέρας, όταν θα φθάσει χαμηλά θα πρέπει να έχει χάσει σχεδόν όλη την ταχύτητά του, ώστε να μην υπάρχουν ρεύματα αέρα.

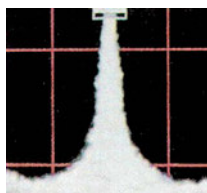
Το σύστημα που θα λειτουργεί με τον παραπάνω τρόπο, το καλοκαίρι, θα αντιμετωπίζει μεγάλο πρόβλημα. Ο κρύος αέρας έχει την τάση να κατέβει από μόνος του προς τα κάτω και ελάχιστη είναι η βοήθεια που έχει ανάγκη από τον ανεμιστήρα. Το σύστημα που είναι κατασκευασμένο για θέρμανση δεν είναι κατάλληλο για παροχή ψύξης. Το καλοκαίρι ο αέρας πρέπει να κατευθύνεται κατά το δυνατόν οριζόντια, για να κατεβαίνει αργά για να μη δημιουργείται πρόβλημα υψηλής ψύξης ή ρευμάτων.

Στις ενδιάμεσες περιόδους, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του χώρου είναι περίπου οι ίδιες, θα πρέπει ο αέρας να κατευθύνεται κατά τρόπο ώστε να μη δημιουργούνται ρεύματα στο χώρο. Η κατακόρυφη κατεύθυνση, λόγω της απουσίας άνωσης, θα έχει σαν αποτέλεσμα να φθάνει ο αέρας χαμηλά με μεγάλη ταχύτητα και να δημιουργούνται ρεύματα. Η οριζόντια αποστολή του θα ισοδυναμεί με την απουσία εξαερισμού. Άρα θα πρέπει να αποστέλλεται υπό γωνία (πλαγίως).

Οι παραπάνω τρεις περιπτώσεις φαίνονται στο σχήμα (8-70). Στο σχήμα αυτό βλέπουμε τον τρόπο που πρέπει να αποστέλλεται ο αέρας στον κλιματιζόμενο χώρο.



(Α) Εξαερισμός



(Β) Θέρμανση

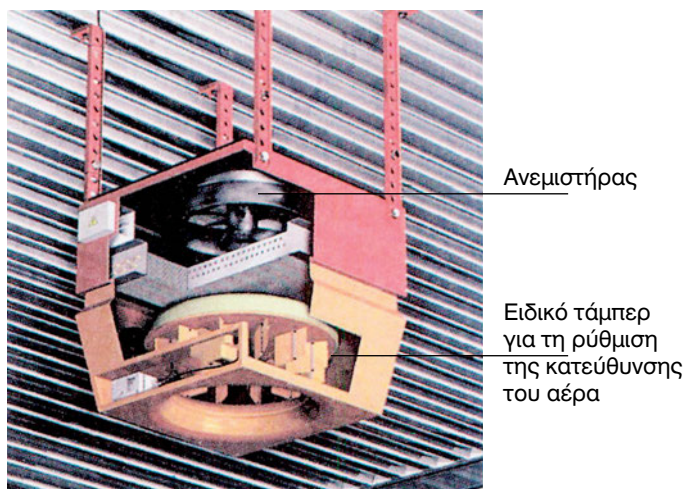


(Γ) Ψύξη

Σχήμα 8-70: Ο τρόπος που πρέπει να αποστέλλεται ο αέρας σε χώρους μεγάλου ύψους, για τη δημιουργία συνθηκών άνεσης.

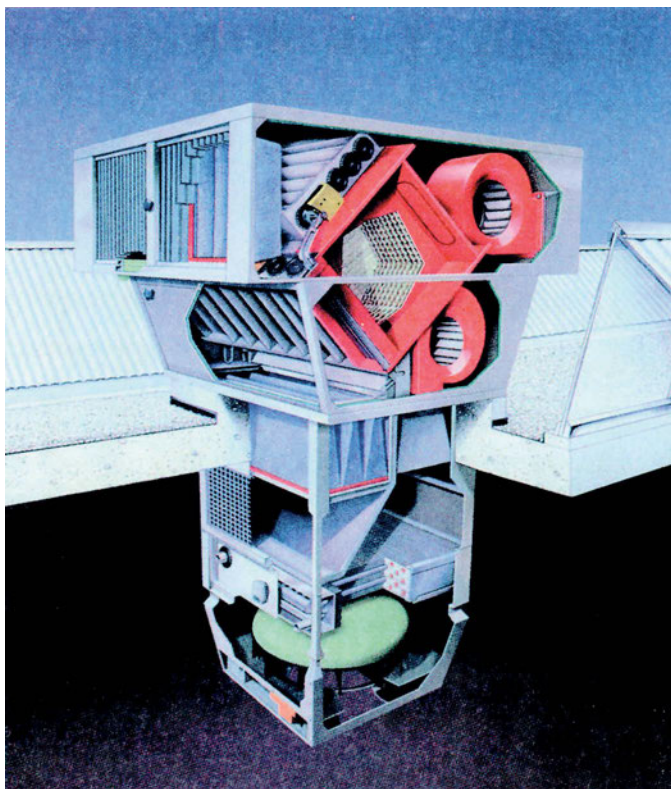
Τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να επιλυθούν με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι να υπάρχει αυτόματο τάμπερ που να παίρνει εντολή από ένα θερμοστάτη χώρου. Η κλίση των πτερυγίων του τάμπερ μπορεί να καθορίζεται με τη βοήθεια ενός σερβοκινητήρα, έτσι ώστε το χειμώνα (στη θέρμανση) να στέλνουν τον αέρα κατακόρυφα και το καλοκαίρι (στην ψύξη) να τον στέλνουν σχεδόν οριζόντια. Στις ενδιάμεσες περιόδους, που δεν απαιτείται ούτε θέρμανση ούτε ψύξη, τα πτερύγια θα πρέπει να λαμβάνουν μία ενδιάμεση θέση.

Υπάρχουν και ημικεντρικά συστήματα εξειδικευμένα στο βιομηχανικό κλιματισμό. Αυτά είναι μελετημένα κατά τρόπο ώστε να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα κλιματισμού μεγάλων και ψηλών χώρων. Τέτοια βλέπουμε στα σχήματα (8-71) και (8-72). Η μονάδα του σχήματος (8-71) είναι σχετικά απλή. Δεν διαθέτει εξοικονομητή ενέργειας ούτε ανανέωση αέρα. Διαθέτει όμως τον ισχυρό ανεμιστήρα που χρειάζεται για να στείλει τον αέρα χαμηλά, 10-12 μέτρα προς τα κάτω, που είναι το ύψος ενός τυπικού εργοστασιακού χώρου καθώς επίσης έχει και το τάμπερ με τα ρυθμιζόμενα πτερύγια.



Σχήμα 8-71: Μονάδα βιομηχανικού κλιματισμού, για χώρους με μεγάλο ύψος.

Η μονάδα που βλέπουμε στο σχήμα (8-72) κάνει κυριολεκτικά τα πάντα, δηλαδή θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό και είναι εξοπλισμένη με πλακοειδή εναλλάκτη εξοικονόμησης ενέργειας. Και φυσικά, για το καλοκαίρι, διαθέτει τον κατάλληλο ισχυρό ανεμιστήρα, με το βεληνεκές που χρειάζεται για να στείλει τον αέρα χαμηλά. Στις άλλες περιόδους, μέσω κατάλληλου τάμπερ στέλνει τον αέρα υπό άλλη κλίση (το καλοκαίρι τον στέλνει σχεδόν οριζόντια).



Σχήμα 8-72: Μονάδα βιομηχανικού κλιματισμού με πλήρη αυτονομία και εξοικονόμηση ενέργειας.

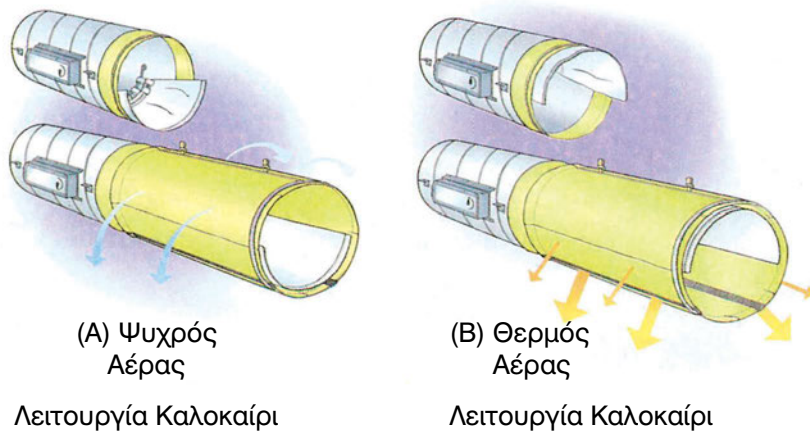
Οι εγκαταστάσεις βιομηχανικού κλιματισμού μπορεί να διαθέτουν και κεντρικά συγκροτήματα παραγωγής της ψύξης τεραστίων διαστάσεων. Στο σχήμα (8-73) βλέπουμε το συγκρότημα των πύργων ψύξης ενός μεγάλου εργοστασίου. Από το μέγεθος αυτού του συγκροτήματος αντιλαμβάνεστε πόσο μεγάλη μπορεί να είναι η εγκατάσταση βιομηχανικού κλιματισμού ενός εργοστασίου.



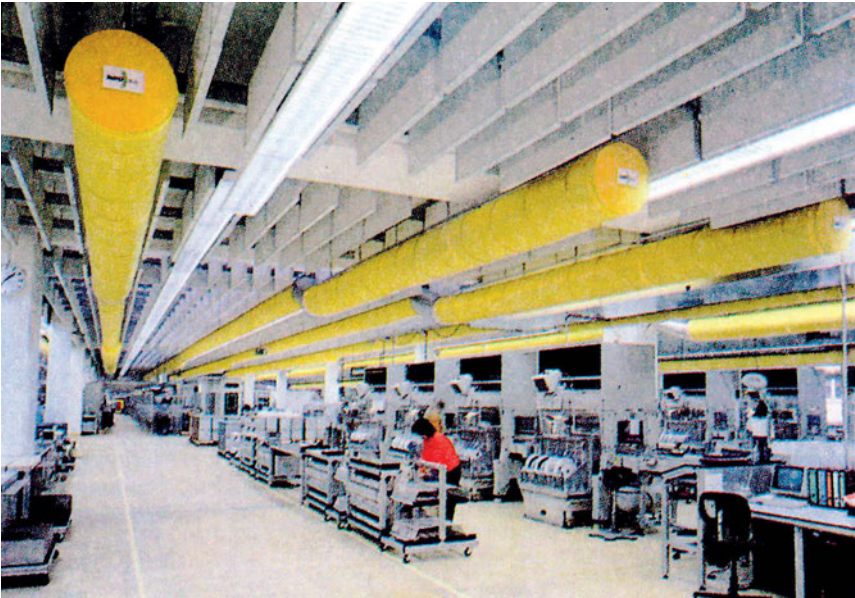
Σχήμα 8-73: Συγκρότημα πύργων ψύξης εγκατάστασης βιομηχανικού κλιματισμού.

Επίσης στις εγκαταστάσεις βιομηχανικού κλιματισμού χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις και αεραγωγοί από υφασμάτινο υλικό, το οποίο διαπερνά ο αέρας. Το χειμώνα ο αέρας φεύγει από επάνω, και το καλοκαίρι από κάτω, όπως φαίνεται στο σχήμα (8-74). Αυτό ρυθμίζεται με τη στεγανή μεμβράνη, η οποία, με τη βοήθεια κινητήρα, αλλάζει θέση (το άκρο της περιστρέφεται, και μετά το ρεύμα του αέρα τη φέρνει στη θέση της).

Στο σχήμα (8-75) βλέπουμε τέτοια εγκατάσταση βιομηχανικού κλιματισμού.



Σχήμα 8-74



Σχήμα 8-75

8-16. Η απόδοση των ΚΜ

Η απόδοση των κλιματιστικών μονάδων υπολογίζεται είτε μέσω προγραμμάτων Η/Υ είτε με πειραματικές μεθόδους είτε με συνδυασμό και των δύο. Επίσης μπορεί να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη, όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 2. Δεν υπάρχει μέθοδος που να υπολογίζει τις αποδόσεις με απόλυτη ακρίβεια και αυτό το διαπιστώνει κανείς αν συγκρίνει τις αποδόσεις που προκύπτουν για την ίδια ΚΜ σε δύο διαφορετικά εργαστήρια. Οι διαφωνίες που παρουσιάζονται μεταξύ των εργαστηριακών μετρήσεων, καμιά φορά είναι εντυπωσιακές. Κατά μείζονα λόγο υπάρχουν διαφορές και στις αποδόσεις που υπολογίζονται μέσω προγραμμάτων Η/Υ.

Αρκετοί κατασκευαστές έχουν πιστοποιημένες αποδόσεις για κάποια από τα προϊόντα τους από φορείς όπως είναι το ARI (στις Η.Π.Α) και η EUROVENT (στην Ευρώπη). Η πιστοποίηση γίνεται κατόπιν εργαστηριακού ελέγχου και όλοι οι ενδιαφερόμενοι ελέγχονται από το ίδιο εργαστήριο, στο ίδιο περιβάλλον, οπότε τα αποτελέσματα είναι μεταξύ τους συ-

γκρίσιμα. Για την αβεβαιότητα που υπάρχει ως προς τις αποδόσεις, αρκεί να αναφέρουμε ότι η EUROVENT δέχεται ότι είναι σωστές οι αποδόσεις που αναφέρει ο κατασκευαστής, αν υπάρχει απόκλιση 5% στις μονάδες νερού και 8% στις μονάδες DX. Όταν υπάρχουν αυτές οι αποκλίσεις, η EUROVENT δεν ζητάει αλλαγή των αποδόσεων των καταλόγων, δηλαδή τις δέχεται ως σωστές.

Όμως η ακρίβεια στις αποδόσεις δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα επειδή οι ΚΜ είναι μηχανήματα που με την πάροδο του χρόνου δεν διατηρούν σταθερή την απόδοσή τους. Η απόδοση εξαρτάται πολύ και από την κατάσταση ρύπανσης στην οποία βρίσκονται. Οι κατασκευαστές των ΚΜ δίνουν τις αποδόσεις τους όταν αυτές είναι ολοκαίνουριες, αλλά δεν σημαίνει ότι ο τεχνικός που θα τις εγκαταστήσει, θα πρέπει να θεωρήσει ότι αυτές θα είναι οι αποδόσεις τους πάντοτε. Και φυσικά, οι πιστοποιημένες αποδόσεις από ARI ή EUROVENT αφορούν επίσης καινούριες και αχρησιμοποίητες ΚΜ.

Η ρύπανση που μειώνει την απόδοση είναι τριών ειδών:

- Η ρύπανση των πτερυγίων λόγω οξείδωσης των πλακών αλουμινίου και της επικάλυψης σκόνης πάνω στις επιφάνειες.
- Η ρύπανση εσωτερικά των σωλήνων του στοιχείου, η οποία είναι περισσότερο αισθητή στα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για θέρμανση.
- Στη ρύπανση του φίλτρου του αέρα η οποία οφείλεται στη συγκέντρωση σκόνης πάνω στην επιφάνειά του.

Η ρύπανση όλων των ειδών αντιμετωπίζεται σχετικά εύκολα. Συγκεκριμένα οι εργασίες που γίνονται για τη διατήρηση των ΚΜ σε καλή κατάσταση είναι οι εξής:

- Τα φίλτρα πλένονται ή αντικαθίστανται κατά τακτικά χρονικά διαστήματα. Στις ΤΚΜ συνήθως γίνεται ο καθαρισμός των φίλτρων κατά διαστήματα που ποικίλλουν από 2 μέχρι 6 μήνες. Στις ΚΚΜ γίνεται πιο συχνά επειδή τα φίλτρα τους συγκρατούν περισσότερη σκόνη. Συνήθως, για κατηγορίες φίλτρων F6-F7 γίνεται ακόμη και κάθε μήνα.
- Στα πτερύγια των στοιχείων γίνεται χημικός καθαρισμός κατά χρονικά διαστήματα που ποικίλλουν από κάθε 2 μέχρι κάθε 4 χρόνια. Ο χημικός καθαρισμός γίνεται με το πλύσιμο του φίλτρου με ένα ειδικό υγρό, αραιωμένο σε νερό, το οποίο ψεκάζεται πάνω στο στοιχείο με το κατάλληλο μηχάνημα. Οι ΤΚΜ έχουν ανάγκη από περισσότερο συχνό χημικό καθαρισμό από ό,τι οι ΚΚΜ επειδή προστατεύονται λιγό-

τερο από τα φίλτρα τους. Επίσης η μεγάλη ταχύτητα του αέρα στις ΚΚΜ συμπαρασύρει τη σκόνη, οπότε βοηθάει στο να διατηρείται το στοιχείο τους καθαρό.

Μετά από μία πλήρη συντήρηση, η ΚΜ είναι πάλι, αλλά για λίγο μόνο καιρό, σχεδόν σαν καινούρια. Δεν είναι δυνατό να γίνονται συνεχώς καθαρισμοί. Γι' αυτό θα πρέπει, κατά την επιλογή των ΚΜ, να εκτιμήσετε ποιες θα είναι οι αποδόσεις, κάτω από κατάσταση ρύπανσης. Πώς θα γίνει όμως αυτό αφού οι κατασκευαστές δίνουν αποδόσεις μόνο για καινούρια μηχανήματα; Ο καλύτερος τρόπος είναι:

- Τα FCU, τα οποία οι κατασκευαστές τα διαθέτουν με τρεις ταχύτητες (χαμηλή, μεσαία και υψηλή), να επιλέγονται βάσει των αποδόσεων που έχουν στη μεσαία ταχύτητα λειτουργίας.
- Οι ΚΚΜ να έχουν τις επιθυμητές αποδόσεις όταν η ταχύτητα του αέρα έχει πέσει στα 80% της κανονικής ταχύτητας λειτουργίας. Να ζητάτε ως εκ τούτου από τον κατασκευαστή και τις αποδόσεις σε παροχή αέρα ίση με 80% της κανονικής.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

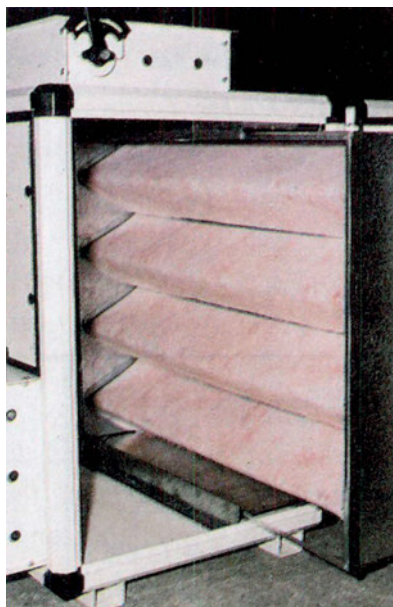
- Οι ΚΜ μπορούν να διακριθούν σε 5 βασικές κατηγορίες: τοπικές κλιματιστικές μονάδες (ΤΚΜ), ημικεντρικές κλιματιστικές μονάδες (ΗΚΜ), κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (ΚΚΜ), μονάδες κλειστού κυκλώματος και βιομηχανικές κλιματιστικές μονάδες.
- Οι ΤΚΜ διακρίνονται στις μονάδες με στοιχείο νερού, που είναι περισσότερο γνωστές ως FCU και στις μονάδες με στοιχείο DX, που είναι οι κονσόλες και οι κασέτες. Η διάκριση αυτή δεν είναι και πολύ σαφής επειδή κατασκευάζονται και FCU με στοιχείο DX καθώς και κονσόλες και κασέτες με στοιχείο νερού.
- Οι ΗΚΜ είναι ένα ενδιάμεσο μέγεθος μεταξύ των ΤΚΜ και των ΚΚΜ. Ο τρόπος κατασκευής τους θυμίζει περισσότερο μεγάλα FCU. Διαφέρουν όμως από αυτά ως προς το ότι συνδέονται με αεραγωγούς, έχουν ισχυρό ανεμιστήρα και το στοιχείο τους είναι κατασκευασμένο όπως τα στοιχεία των ΚΚΜ.
- Οι ΚΚΜ είναι βαριά συγκροτήματα, με μεγάλα στοιχεία και αποδόσεις. Τα τμήματα που μπορεί να υπάρχουν πάνω σε μία ΚΚΜ κυρίως είναι: τα στοιχεία, οι ανεμιστήρες, τα φίλτρα, ο υγραντήρας, ο σταγονοσυλλέκτης, οι ηχοπαγίδες, τα τάμπερ, το κιβώριο μίξης, το κιβώτιο παράκαμψης, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις, το κιβώτιο διαχωρισμού πολλαπλών ζωνών, τα plenum, ο εξοικονομητής ενέργειας και τα όργανα αυτοματισμού τους. Μία ΚΚΜ σπάνια συμπεριλαμβάνει όλα μαζί τα παραπάνω.
- Οι ανεμιστήρες επιλέγονται από τον κατασκευαστή των ΚΚΜ, βάσει των χαρακτηριστικών λειτουργίας τους αφού τους δοθεί η πτώση πίεσης των αεραγωγών και η παροχή του αέρα. Στην πτώση πίεσης των αεραγωγών ο κατασκευαστής προσθέτει την πτώση πίεσης της ΚΚΜ.
- Τα φίλτρα του αέρα διακρίνονται στα απλά και στα απόλυτα. Τα απλά έχουν δύο είδη, τα χοντρά με κατηγορίες από G1 μέχρι G4 και τα λεπτά με κατηγορίες από F5 μέχρι F9. Τα απόλυτα διακρίνονται στο είδος HEPA με κατηγορίες από H10 μέχρι H14 και στα ULPA με κατηγορίες U15 μέχρι U17. Όσο ανεβαίνει ο αριθμός της κατηγορίας, τόσο ανεβαίνει και η ικανότητα φιλτραρίσματος.

- Η στάθμη του θορύβου ανά συχνότητα μετριέται σε db και η συνολική σε db(A) (συμβολίζονται και ως dba). Οι στάθμες θορύβου κατά οκτάβες έχουν τυποποιηθεί βάσει ενός αριθμού NC ή NR που δίδεται σε ειδικό διάγραμμα. Η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου επιλέγεται από πίνακες, ανάλογα με το είδος του χώρου.
- Οι αεραγωγοί έχουν ικανότητα απόσβεσης θορύβου περίπου 0,3 db ανά μέτρο μήκους. Αν αυτή η μείωση του θορύβου δεν επαρκεί για να αποσβεστεί ο θόρυβος του ανεμιστήρα, τότε χρειάζεται ηχοπαγίδα στην ΚΚΜ.
- Η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση των εναλλακτών στο αντίστοιχο τμήμα της ΚΚΜ. Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι πλακοειδείς και σπανιότερα περιστροφικοί. Όταν δεν μπορούμε να φέρουμε το ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα κοντά στην ΚΚΜ, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σύστημα RAC (run around coils).
- Οι ΚΜ κλειστού κυκλώματος έχουν τα πάντα μέσα στο κέλυφος τους, δηλαδή ανεμιστήρες, συγκρότημα παραγωγής ψύξης κλπ. και μαζί με όλα αυτά υπάρχει πάντα ένα σύστημα ελέγχου συνθηκών χώρου, υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας.
- Στο βιομηχανικό κλιματισμό υπάρχουν προβλήματα που δημιουργούνται εξαιτίας του μεγάλου ύψους που συνήθως έχουν οι βιομηχανικοί χώροι. Οι ΚΜ και, γενικότερα, τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στο βιομηχανικό κλιματισμό πρέπει να είναι κατάλληλα διαμορφωμένα για να αντιμετωπίσουν αυτά τα προβλήματα.
- Οι αποδόσεις των ΚΜ ποτέ δεν διατηρούνται όπως όταν ήταν καινούριες, λόγω της ρύπανσης στο φίλτρο που μειώνει την παροχή του αέρα και λόγω της ρύπανσης του στοιχείου που μειώνει την απόδοση. Γι' αυτό θα πρέπει οι ΤΚΜ (FCU κλπ.) να επιλέγονται βάσει της απόδοσής τους στη μεσαία ταχύτητα ενώ οι ΚΚΜ βάσει της απόδοσής τους όταν θα διαρρέονται από το 80% της παροχής του αέρα.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Ποια είναι τα βασικά είδη στα οποία μπορούμε να διακρίνουμε τις ΚΜ;
2. Τι ονομάζουμε πρωτεύοντα αέρα και τι αέρα τροφοδοσίας της ΚΜ; Ποιες νομίζετε ότι είναι η διαφορές τους;
3. Οι ΤΚΜ σε ποια είδη διακρίνονται; Είναι σαφής η διαφορά τους;
4. Ποια είναι τα τυποποιημένα μεγέθη των FCU της αγοράς; Πού στηρίζεται αυτή η τυποποίηση;
5. Δύο FCU διαφορετικών κατασκευαστών με την ίδια τυποποιημένη ονομασία έχουν την ίδια λειτουργική συμπεριφορά; Μπορείτε, αν σας χαλάσει σε ένα δίκτυο ένα FCU ενός κατασκευαστή, να το αντικαταστήσετε με το FCU ενός άλλου αρκεί να έχει την ίδια εμπορική (τυποποιημένη) ονομασία;
6. Πόσες σειρές έχουν συνήθως τα στοιχεία των FCU και ποιοι αριθμοί κυκλωμάτων εφαρμόζονται σ' αυτά; Τι σύστημα ροής έχουν συνήθως;
7. Τι είναι το τετρασωλήνιο σύστημα σωληνώσεων; Τι εξοπλισμό έχουν σ' αυτό τα FCU; Ποια τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συστήματος;
8. Ποια είναι τα είδη των ΤΚΜ με στοιχείο απευθείας εκτόνωσης; Πού χρησιμοποιούνται;
9. Με ποιες ονομασίες συναντάμε τις ΗΚΜ στην αγορά (αναφέρετε μερικές από αυτές). Ποια είναι τα χαρακτηριστικά τους που τις κάνουν να μοιάζουν με τις ΚΚΜ;
10. Πού βρίσκονται συνήθως τοποθετημένες οι ΗΚΜ; Ποιος ο λόγος που τις χρησιμοποιούμε;
11. Έχετε ένα κτίριο που η αρχιτεκτονική του διάταξη δεν επιτρέπει τη διέλευση μεγάλων αεραγωγών. Πώς θα μπορούσατε να εφαρμόσετε σ' αυτό, ένα σύστημα κλιματισμού με αεραγωγούς;
12. Πώς είναι κατασκευασμένο το στοιχείο μίας ΚΚΜ;

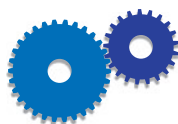
13. Ποια είναι τα κυριότερα μέρη που μπορούμε να συναντήσουμε πάνω σε μία ΚΚΜ; (αναφέρετέ τα μόνο ονομαστικά).
14. Τι είναι η μονάδα πολλαπλών ζωνών; Σε τι νομίζετε ότι αυτή θα σας εξυπηρετούσε στον κλιματισμό ενός κτιρίου;
15. Έχετε να κάνετε τον κλιματισμό ενός κτιρίου, αλλά η μία περιοχή του κτιρίου είναι αποθήκες χαρτιού και η άλλη γραφεία. Προφανώς η κάθε περιοχή (ζώνη) του κτιρίου έχει τελείως διαφορετικές ανάγκες κλιματισμού από την άλλη. Δεν έχετε όμως αρκετό χώρο για να τοποθετήσετε δύο ανεξάρτητες κλιματιστικές μονάδες. Τι λύση θα μπορούσατε να δώσετε;
16. Σε μία κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού, διαπιστώσατε ότι μετά τη λειτουργία της και την εξισορρόπηση του δικτύου των αεραγωγών, παρουσιάζει κατά 30% μεγαλύτερη παροχή αέρα από την αρχική εκτίμηση της μελέτης. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται ρεύματα, η ταχύτητα στα φίλτρα να είναι μεγάλη και ο αέρας να μη φθάνει στους χώρους αρκετά κρύος. Τι θα μπορούσατε να κάνετε;
17. Πώς ρυθμίζεται η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας του στοιχείου μίας ΚΚΜ ή ενός FCU;
18. Ποιος είναι ο ελάχιστος εξοπλισμός που μπορεί να έχει μία ΚΚΜ για να επιτελέσει την αποστολή της;
19. Σε τι νομίζετε ότι χρησιμεύουν τα αυτόματα και τα τηλεχειριζόμενα τάμπερ του αέρα;
20. Πώς θα αποφασίσει ο κατασκευαστής της ΚΚΜ για τους ανεμιστήρες που θα τοποθετήσει; Τι στοιχεία θα πρέπει να του δώσετε;
21. Σε τι διαφέρουν οι ανεμιστήρες υψηλής και χαμηλής πίεσης;
22. Ποιες είναι οι ποιότητες των φίλτρων του αέρα;
23. Γιατί τα φίλτρα που η πρώτη ύλη τους είναι σε ρόλο κατασκευάζονται σε μορφές όπως του σχήματος (8-76) που αυξάνουν την επιφάνειά τους;



Σχήμα 8-76: Ερώτηση 23

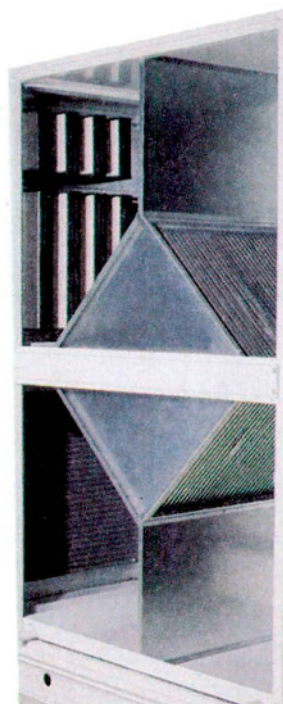
24. Τι είναι η ταχύτητα του αέρα μέσω του φίλτρου; Τι νομίζετε ότι θα συμβεί αν υπερβούμε κάποια όρια;
25. Ποιες είναι οι πλέον συνηθισμένες κατηγορίες φίλτρων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα μηχανήματα (FCU, KKM κλπ.);
26. Σας ζήτησαν να βάλετε φίλτρα αέρα για την KKM μίας μονάδας εντατικής θεραπείας ενός νοσοκομείου. Τι κατηγορία φίλτρων θα προτιμούσατε να βάλετε;
27. Σε τι χρησιμεύει η ηχοπαγίδα; Πώς διαμορφώνεται και ποιοι είναι οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η απόσβεση του ήχου;
28. Τι συστήματα ύγρανσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε μία KKM;
29. Τι εξάρτημα χρησιμοποιούμε αμέσως μετά τον υγραντήρα ψεκασμού; Πού αλλού νομίζετε ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται αυτό το εξάρτημα και γιατί;

30. Τι θα πρέπει να προσέχουμε όταν έχουμε ηλεκτρικές αντιστάσεις και σύστημα ύγρανσης;
31. Τι είναι οι καμπύλες NC ή NR; Τι είναι η ισχύς του ήχου σε db και τι σε db(A) (ή dba); Ποιος είναι, κατά τη γνώμη σας, ο πιο σωστός τρόπος για να προδιαγράψουμε τη στάθμη του ήχου: (α) βάσει των καμπυλών NC ή (β) βάσει των db(A);
32. Ποια είναι τα είδη εξοικονομητών ενέργειας που χρησιμοποιούμε στις ΚΚΜ;
33. Αν έχετε τον αεραγωγό απορριπτόμενου αέρα μακριά από τον αεραγωγό του νωπού αέρα, υπάρχει τρόπος να κάνετε εξοικονόμηση ενέργειας;
34. Τι είναι οι μονάδες κλειστού κυκλώματος, ποια τα είδη τους και πού χρησιμοποιούνται;
35. Αναφέρατε πότε κατά τη γνώμη σας σε έναν κλιματιζόμενο χώρο θα χρησιμοποιούσατε μονάδες κλειστού κυκλώματος;
36. Ποια πιστεύετε ότι είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα όταν κάνουμε κλιματισμό με μονάδες κλειστού κυκλώματος;
37. Ποια είναι τα προβλήματα των εγκαταστάσεων βιομηχανικού κλιματισμού και πώς επιλύονται;
38. Κάτω από ποιες προϋποθέσεις μπορεί ένα σύστημα κλιματισμού να εξυπηρετήσει τον κλιματισμό ενός μεγάλου εργοστασίου;
39. Γιατί στις ΚΜ, όσο περνάει ο καιρός, μειώνεται η απόδοσή τους; Δεν μπορούν να διατηρήσουν την απόδοση που είχαν όταν ήταν καινούριες;
40. Ποια είναι η βασική συντήρηση που θα πρέπει να γίνεται στις ΚΜ για να έχουν ικανοποιητική απόδοση;
41. Πώς μπορείτε πρακτικά να αντιμετωπίσετε το πρόβλημα της μειωμένης απόδοσης μίας ΚΚΜ, λόγω ρύπανσης, στις προδιαγραφές που θα δώσετε στον κατασκευαστή;



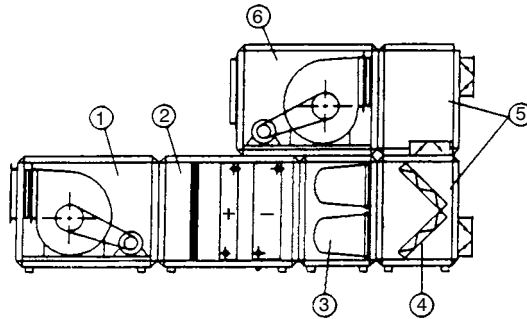
ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σε μία ΚΚΜ, το στοιχείο είναι 1×1 m και η παροχή του αέρα 2500 L/s. Το φίλτρο που θα τοποθετηθεί έχει μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα αέρα 1,5 m/s. Ποια θα πρέπει να είναι η επιφάνεια του σε m^2 ; Σκεφτείτε τον τρόπο που αυτό θα είναι διαμορφωμένο για να πετύχετε αυτή την επιφάνεια.
2. Ένας ανεμιστήρας παρουσιάζει θόρυβο 75 db(A) και ο επιτρεπόμενος θόρυβος στο χώρο είναι 60 db(A). Το μήκος του αεραγωγού, από την ΚΚΜ μέχρι το πρώτο στόμιο, είναι 50 m. Χρειάζεται να τοποθετηθεί ηχοπαγίδα στην ΚΚΜ;
3. Ένας ανεμιστήρας παρουσιάζει θόρυβο 82 db(A) και ο επιτρεπόμενος θόρυβος στο χώρο είναι 50 db(A). Το μήκος του αεραγωγού, από την ΚΚΜ μέχρι το πρώτο στόμιο είναι 35 m. Ποια θα πρέπει να είναι η απόσβεση που θα πρέπει να κάνει η ηχοπαγίδα σε db(A);
4. Σε ένα χώρο θέλουμε στάθμη θορύβου NC45. Ο αεραγωγός έχει μήκος, από την ΚΚΜ μέχρι το πρώτο στόμιο, 50m. Τι στάθμη θορύβου θα προδιαγράψουμε στην έξοδο της ΚΚΜ;
5. Στο σχήμα (8-77) βλέπετε ένα τμήμα ΚΚΜ. Αναγνωρίστε τα τρία εξαρτήματά της που φαίνονται στο σχήμα. Σχεδιάστε με βέλη ποια είναι η πορεία του αέρα.



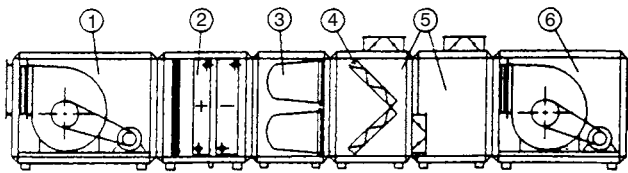
Σχήμα 8-77: Άσκηση 5

6. Στο σχήμα (8-78), βλέπετε μία ΚΚΜ. Κατονομάστε τα μέρη από τα οποία αυτή αποτελείται. Στη συνέχεια περιγράψτε πώς είναι η λειτουργία της και τι είδους επεξεργασίες του αέρα εκτελεί.



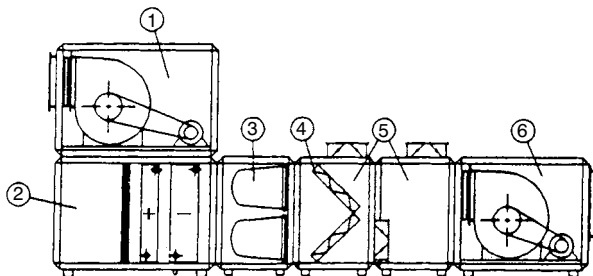
Σχήμα 8-78: Άσκηση 6

7. Ομοίως με την ΚΚΜ του σχήματος (8-79)



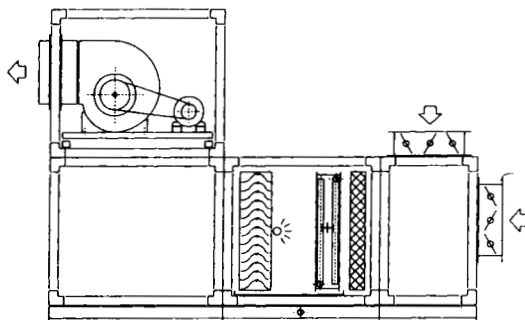
Σχήμα 8-79: Άσκηση 7

8. Ομοίως με την ΚΚΜ του σχήματος (8-80)



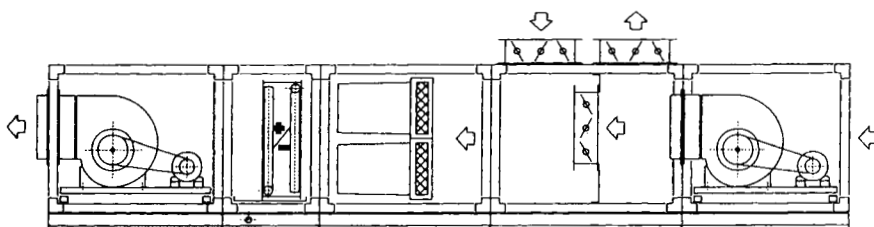
Σχήμα 8-80: Άσκηση 8

9. Στο σχήμα (8-81) βλέπετε μία ΚΚΜ. Περιγράψτε πώς είναι η λειτουργία της και τι είδους επεξεργασίες του αέρα εκτελεί.



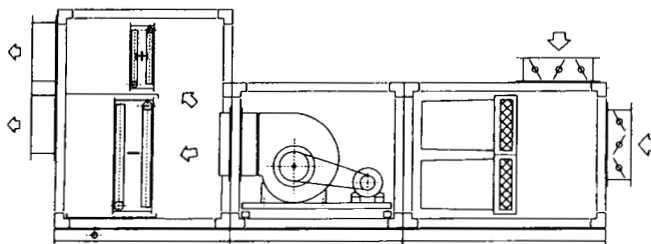
Σχήμα 8-81: Άσκηση 9

10. Ομοίως με την ΚΚΜ του σχήματος (8-82)



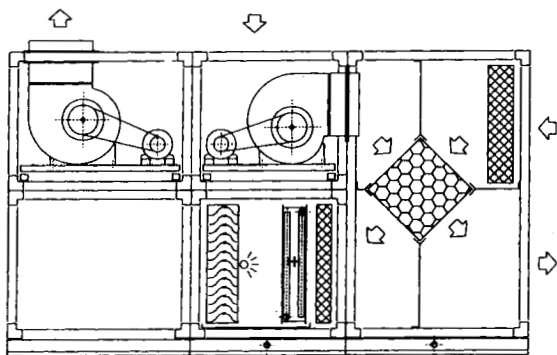
Σχήμα 8-82: Άσκηση 10

11. Ομοίως με την ΚΚΜ του σχήματος (8-83)



Σχήμα 8-83: Άσκηση 11

12. Ομοίως με την ΚΚΜ του σχήματος (8-84)



Σχήμα 8-84: Άσκηση 12

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΩΝ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ (VAV)



- ✓ Να μάθουν οι μαθητές πώς κυκλοφορεί ο αέρας στο χώρο.
- ✓ Να ενημερωθούν για το τι είναι φυσική κυκλοφορία του αέρα και για τις παρενέργειές της στα συστήματα κλιματισμού.
- ✓ Να μάθουν ποια είναι τα συστήματα κεντρικού κλιματισμού.
- ✓ Να ενημερωθούν για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αντιμετωπίζει το κάθε σύστημα κεντρικού κλιματισμού.

9-1. Πώς επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του κλιματισμένου αέρα μέσα στο χώρο

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στην παράγραφο (8-2), η εργαζόμενη μάζα στον κλιματισμό είναι ο αέρας. Μία ποσότητα αέρα, που ονομάζεται αέρας τροφοδοσίας της ΚΜ, διέρχεται μέσα από την ΚΜ και αφού ψυχθεί, καθαριστεί και υγρανθεί, αποστέλλεται μέσα στο χώρο για να τον κλιματίσει. Αυτή η εργαζόμενη μάζα του αέρα ονομάζεται, όπως ήδη αναφέραμε, **πρωτεύων** αέρας.

Η κυκλοφορία του πρωτεύοντος αέρα μέσα στο χώρο μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους:

- **Φυσική κυκλοφορία.**
- **Εξαναγκασμένη κυκλοφορία.**

Ο αέρας, αρχικά, αποστέλλεται με ανεμιστήρες, αλλά μέσα στο χώρο η κυκλοφορία του συνεχίζεται υπακούοντας στους νόμους της φυσικής κυκλοφορίας

9-2. Η φυσική κυκλοφορία του αέρα

Για να αντιληφθούμε καλύτερα το μηχανισμό της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα, δεν έχουμε παρά να θυμηθούμε τη λειτουργία του θερμαντικού σώματος, που είδαμε στην παράγραφο (7-1). Όταν έχουμε μόνο θέρμανση που γίνεται με θερμαντικά σώματα, δεν έχουμε πολλά να κάνουμε, επειδή η φύση από μόνη της έχει δώσει λύση στο πρόβλημα της κυκλοφορίας του αέρα. Εμείς αρκεί να βάλουμε το κάθε θερμαντικό σώμα σε μία κατάλληλη θέση μέσα στο χώρο (συνήθως κοντά σε κάποιο παράθυρο ή πόρτα) για να εξασφαλίσουμε τη σωστή κυκλοφορία του αέρα.

Η φυσική κυκλοφορία οφείλεται στην ιδιότητα του θερμού αέρα να ανεβαίνει προς τα επάνω και του ψυχρού να κατεβαίνει προς τα κάτω. Ο κρύος αέρας που βρίσκεται κοντά στο δάπεδο, θερμαινόμενος, ανεβαίνει ψηλά και στη συνέχεια, καθώς μειώνεται η θερμοκρασία του, αρχίζει να κατεβαίνει ομοιόμορφα στο χώρο. Κατά την κάθοδό του, αναμιγνύεται με τον υπόλοιπο αέρα του χώρου και εναλλάσσει θερμότητα μαζί του. Με τον τρόπο αυτό ο αέρας του χώρου διατηρείται σε μία κάπως ομοιόμορφη θερμοκρασία.

Μόνο όταν πρόκειται για χώρους με μεγάλο ύψος, η κατάσταση μπορεί να είναι πολύ διαφορετική και να έχουμε κάτω κρύο αέρα και πάνω πολύ ζεστό. Τα προβλήματα αυτά, που παρουσιάζονται στο βιομηχανικό κλιματισμό, τα είδαμε στην παράγραφο (8-15), όπου αναφερθήκαμε στις ΚΜ που προορίζονται ειδικά για εγκαταστάσεις βιομηχανικού κλιματισμού.

9-3. Η εξαναγκασμένη κυκλοφορία

Η εξαναγκασμένη κυκλοφορία εφαρμόζεται όταν η φυσική κυκλοφορία του αέρα δεν επαρκεί για να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα και χρειάζεται μία πιο ισχυρή κυκλοφορία. Επίσης εφαρμόζεται όταν η φυσική κυκλοφορία ενεργεί αντίθετα από τη διεύθυνση που εμείς θέλουμε να έχουμε, δηλαδή όταν θέλουμε να σπρώξουμε κρύο αέρα προς τα επάνω, ή θερμό προς τα κάτω.

Ας θυμηθούμε τη λειτουργία ενός FCU. Όταν παράγεται ο ψυχρός αέρας από την επαφή με το στοιχείο, αυτός τείνει, λόγω της φυσικής κυκλοφορίας, να κατέβει προς τα κάτω. Εμείς όμως τον θέλουμε να ανέβει προς τα επάνω και από εκεί να αρχίσει να κατεβαίνει ομοιόμορφα και να ψύχει

το χώρο. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας κατάλληλος ανεμιστήρας που να ωθεί τον αέρα προς τα επάνω. Τότε εφαρμόζουμε σε πρώτη φάση την **εξαναγκασμένη κυκλοφορία**. Στη συνέχεια, τα υπόλοιπα γίνονται με τη φυσική κυκλοφορία. Όταν έχουμε ψύξη, τότε η φυσική κυκλοφορία ενεργεί προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν στην οποία κατευθύνει την κυκλοφορία ο ανεμιστήρας.

Στη θέρμανση η φυσική κυκλοφορία υποβοηθάει την κυκλοφορία του αέρα οπότε διευκολύνεται και η λειτουργία του ανεμιστήρα του FCU. Συγχρόνως όμως εξωθεί και το θερμό αέρα να συγκεντρώνεται ψηλά. Αντίθετα, οι κονσόλες τοίχου, επειδή στέλνουν τον αέρα προς τα κάτω, βοηθάνε πολύ την κατάσταση σε θέρμανση αλλά τα πράγματα σ' αυτές είναι δυσκολότερα στην ψύξη.

9-4. Παρενέργειες στον κλιματισμό από τη φυσική κυκλοφορία

Η ύπαρξη της εξαναγκασμένης κυκλοφορίας του αέρα κάνει το φαινόμενο της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στον κλιματισμό να φαίνεται, εκ πρώτης όψεως, τελείως ασήμαντο. Και όμως δεν είναι. Για να το καταλάβουμε, ας δούμε την περίπτωση μίας κλιματιζόμενης κατοικίας που είναι μεζονέτα.

Στη μεζονέτα έχουμε τους δύο ορόφους που επικοινωνούν ελεύθερα μέσα από το άνοιγμα της σκάλας, χωρίς να παρεμβάλλεται κάποια πόρτα. Τότε, κατά το χειμώνα, μέσα απ' αυτό το άνοιγμα, ο θερμός αέρας κατευθύνεται προς τα επάνω και συμβαίνει ο πάνω όροφος να είναι πολύ θερμός και ο κάτω όροφος να έχει ανεπαρκή θέρμανση. Αντίθετα το καλοκαίρι, μέσα από το άνοιγμα της σκάλας, ο ψυχρός αέρας κατεβαίνει προς τα κάτω και συγκεντρώνεται κυρίως στον κάτω όροφο, με αποτέλεσμα ο κάτω χώρος να είναι πιο κρύος από ό,τι πρέπει, ενώ ο επάνω να έχει ανεπαρκή κλιματισμό. Λύσεις του προβλήματος προφανώς υπάρχουν, αρκεί να προβλεφθούν εγκαίρως ενώ η εγκατάσταση είναι ακόμη στη φάση της μελέτης.

Το παραπάνω το αναφέρουμε σαν ένα μικρό παράδειγμα για το πώς μπορεί να επηρεάσει η φυσική κυκλοφορία μία κατά τα λοιπά άρτια εγκατάσταση κλιματισμού. Γι' αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου. Αυτό που θα πρέπει να έχετε υπ' όψη σας είναι ότι η φυσική κυκλοφορία του αέρα, παρ' όλον ότι στον κλιματισμό έχουμε εξαναγκασμένη κυκλοφορία, δεν είναι ασήμαντη παράμετρος και θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, ανεξάρτητα από το σύστημα κλιματισμού που εφαρμόζεται.

9-5. Πώς επιτυγχάνεται ο κλιματισμός ενός χώρου

Οι συνθήκες του πρωτεύοντος αέρα είναι διαφορετικές από τις συνθήκες του αέρα του χώρου. Ο λόγος είναι ότι ο πρωτεύων αέρας χρειάζεται να προσθέσει ή να αφαιρέσει κάποια πράγματα στον αέρα του χώρου. Αν π.χ. απαιτείται ψύξη, ο αέρας τροφοδοσίας θα πρέπει να είναι πιο κρύος, αν απαιτείται θέρμανση θα πρέπει να είναι πιο ζεστός, ή αν χρειάζεται να προστεθεί υγρασία θα είναι πιο υγρός κλπ.

Υπάρχει λοιπόν η ανάγκη να κάνουμε διάκριση μεταξύ των συνθηκών του πρωτεύοντος αέρα και των συνθηκών του αέρα που θα επικρατούν μέσα στο χώρο. Ο πρωτεύων αέρας, μετά την είσοδό του στο χώρο, αναμιγνύεται με τον κλιματισμένο αέρα του χώρου και το αποτέλεσμα είναι να διατηρούνται σταθερές οι συνθήκες του κλιματισμένου αέρα.

Για να το καταλάβουμε καλύτερα ας το δούμε και με ένα παράδειγμα. Αν σε ένα κλιματιζόμενο χώρο έχουμε 27°C και διακόψουμε την προσαγωγή αέρα τροφοδοσίας, η θερμότητα που θα μπαίνει στο χώρο από το περιβάλλον, θα γίνει αιτία να ανέβει η θερμοκρασία. Στέλνουμε όμως την κατάλληλη ποσότητα πρωτεύοντος αέρα, ο οποίος έχει θερμοκρασία πολύ μικρότερη από το χώρο, συνήθως 14-16°C. Αυτός αναμιγνύεται με τον αέρα του χώρου. Αποτέλεσμα αυτής της ανάμιξης είναι ο αέρας τροφοδοσίας να παίρνει την εισερχόμενη από το περιβάλλον θερμότητα και έτσι η θερμοκρασία των 27°C να διατηρείται σταθερή. Προϋπόθεση φυσικά είναι η ποσότητα του πρωτεύοντος αέρα να είναι τόση, όση χρειάζεται για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στους 27°C και συνήθως αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κάποιου συστήματος αυτοματισμού.

9-6. Τα συστήματα κλιματισμού

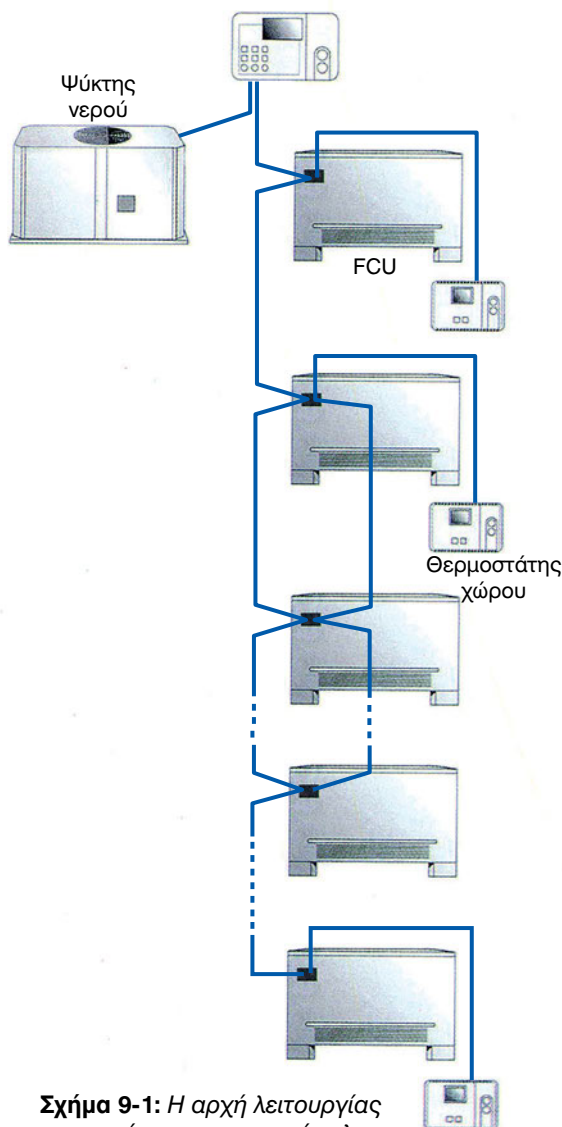
Βασικά διακρίνουμε τέσσερα συστήματα κλιματισμού τα οποία είναι:

- Με τοπικές κλιματιστικές μονάδες (KM νερού, VRV)
- Με αποστολή μόνο πρωτεύοντος αέρα
- Με προκλιματισμένο αέρα και τοπικές μονάδες
- Με μεταβλητή ποσότητα αέρα (συστήματα VAV)

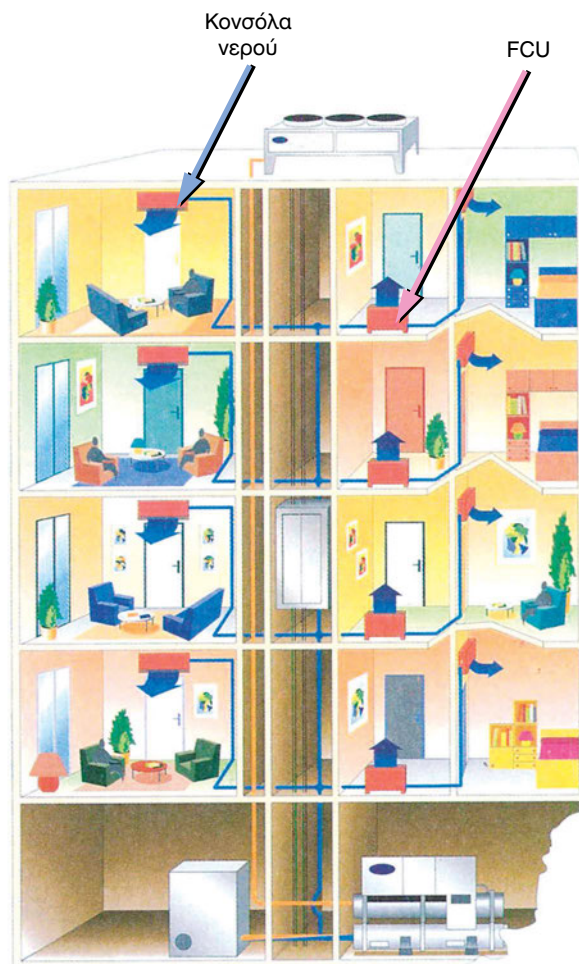
9-7. Το σύστημα με τοπικές κλιματιστικές μονάδες

Είναι το σύστημα με το οποίο ο αέρας τροφοδοσίας παράγεται και διατίθεται απευθείας μέσα στο χώρο, μέσω τοπικών μονάδων κλιματισμού. Η αρχή λειτουργίας του φαίνεται στο σχήμα (9-1). Το πλεονέκτημά του είναι ότι η κάθε ΤΚΜ διαθέτει ενσωματωμένο θερμοστάτη ή είναι συνδεδεμένη με θερμοστάτη τοίχου, μέσω του οποίου ελέγχεται σωστά η θερμοκρασία του χώρου όπου βρίσκεται (στο σχήμα δείχνουμε όλες τις ΤΚΜ να έχουν θερμοστάτες τοίχου).

Επίσης αυτό το σύστημα έχει χαμηλό κόστος και ευκολία στην κατασκευή. Όμως δεν γίνεται καμία ανανέωση του αέρα. Ρύθμιση της υγρασίας, σε κάποιο βαθμό, μπορεί να γίνεται στο σύστημα νερού, μέσω τρίοδης βάνας που θα διαθέτει η κάθε ΤΚΜ για να ρυθμίζεται η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας. Όπως είδαμε και στην ψυχομετρία, η θερμοκρασία της ενεργού επιφανείας είναι αυτή που καθορίζει την τιμή του SHR, δηλαδή τη σχέση αισθητού και λανθάνοντος φορτίου. Μικρή τιμή του συντελεστή SHR σημαίνει μεγάλη αφύγρανση και το αντίθετο.



Σχήμα 9-1: Η αρχή λειτουργίας του συστήματος με τοπικές κλιματιστικές μονάδες.



Σχήμα 9-2: Διάταξη του συστήματος με τις ΤΚΜ.

Όπως αναπτύξαμε και στο κεφάλαιο 6, έχουμε κεντρική παροχή κρύου νερού που τροφοδοτεί ένα δίκτυο από FCU ή κονσόλες νερού ή κασέτες νερού. Ακόμη μπορεί να έχουμε απευθείας τροφοδοσία των ΤΚΜ με ψυκτικό ρευστό, οπότε έχουμε το σύστημα VRV, το οποίο εντάσσεται στα πλέον σύγχρονα συστήματα κλιματισμού. Ακόμη, αντί για ένα κεντρικό δίκτυο, μπορεί να έχουμε αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες ή αντλίες θερμότητας.

Σε ό,τι αφορά την ανανέωση του αέρα, θα πρέπει να πούμε ότι πρόκειται για κλιματισμό πολύ χαμηλών απαιτήσεων. Η ανανέωση μπορεί να γίνεται μόνο με το άνοιγμα των παραθύρων, ή μέσω εξαεριστήρων. Όταν

εφαρμόζεται αυτό το σύστημα, θα πρέπει να εξετάζουμε κατά πόσο τα m^3 που αναλογούν σε κάθε άτομο στο χώρο είναι σύμφωνα με τη σχετική οδηγία της ΕΟΚ¹, στην οποία θα αναφερθούμε, και της συντήρησης, στον ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΟΔΗΓΟ.

Το πρόβλημα είναι ότι δεν είναι πάντοτε δυνατόν να έχουμε ανανέωση του αέρα. Για να μπορέσουμε να έχουμε σύστημα αεραγωγών σε ένα χώρο, θα πρέπει να διαθέτουμε και ένα ύψος τουλάχιστον 3 μέτρων, για να μη δημιουργούνται επικίνδυνα ρεύματα αέρα. Επίσης το δίκτυο των αεραγωγών, συνήθως, απαιτεί και κάποια ψευδοροφή. Έτσι, αναγκαστικά καταφεύγουμε πολλές φορές στο σύστημα αυτό, ως μοναδική λύση.

Βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, όταν δεν είναι δυνατή η ανανέωσή του, μπορούμε να κάνουμε με ηλεκτροστατικά φίλτρα (για σκόνη και καπνό) και με φίλτρα ενεργού άνθρακα (για οσμές και καπνό). Τέτοιου είδους φίλτρα βλέπουμε στο σχήμα (9-3). Φυσικά υπάρχουν σε πολλές ακόμη μορφές και μεγέθη.

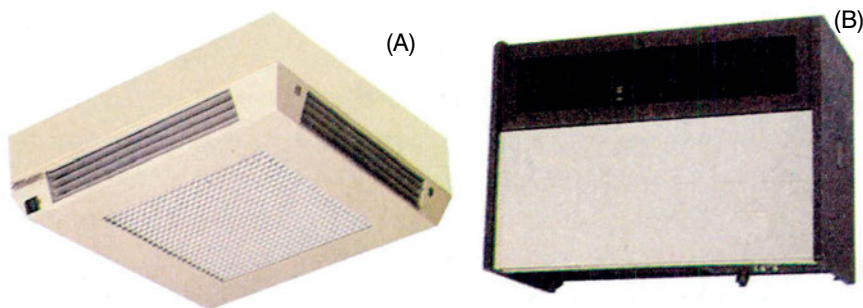


Σχήμα 9-3: Μεγάλου μεγέθους ηλεκτροστατικό φίλτρο και φίλτρο ενεργού άνθρακα.

Ηλεκτροστατικά φίλτρα και φίλτρα ενεργού άνθρακα συχνά τοποθετούνται μέσα στις ΤΚΜ, ιδίως στις μονάδες τύπου κονσόλας. Για μεγάλους όμως χώρους, όπου τα μικρά φίλτρα των ΤΚΜ δεν θα επαρκούσαν ή για δίκτυα με FCU, υπάρχουν και ανεξάρτητες μονάδες που προορίζονται αποκλειστικά για τέτοιου τύπου φίλτρα, όπως αυτά που βλέπουμε στο σχήμα (9-4). Τα φίλτρα αυτά έχουν πολύ μεγάλη απόδοση.

¹ Οδηγία ΕΟΚ 89/654 και νόμος 16/1996: Για καθιστική εργασία πρέπει να αναλογούν 12 m^3 χώρου ανά άτομο, για ελαφριά σωματική εργασία 15 m^3 /άτομο και για βαριά σωματική εργασία 18 m^3 /άτομο. Στα m^3 προφανώς νοούνται μόνο τα καθαρά m^3 ανά άτομο της αίθουσας και δεν συμπεριλαμβάνονται χώροι εκτός της αίθουσας όπως διάδρομοι και οι λοιποί χώροι. Στον υπολογισμό των m^3 , το μέγιστο ύψος του χώρου λαμβάνεται μέχρι 3m

Η παρουσία τοπικών μονάδων καθαρισμού αέρα εν μέρει μόνο υποκαθιστά τον εξαερισμό. Διότι, αν και καθαρίζουν τον αέρα και βελτιώνουν πολύ την ποιότητα της ατμόσφαιρας του χώρου, δεν αντικαθιστούν το οξυγόνο που καταναλώνεται. Έτσι ο εξαερισμός τέτοιων χώρων θα χρειάζεται και πάλι να γίνεται αλλά κατά αραιά διαστήματα (π.χ. με το άνοιγμα των παραθύρων).



Σχήμα 9-4: Μονάδες καθαρισμού αέρα χώρου. Διαθέτουν υποδοχές για ηλεκτροστατικό φίλτρο και για φίλτρο ενεργού άνθρακα (Α) Μονάδα οροφής (Β) Μονάδα διαπέδου.

9-8. Το τετρασωλήνιο σύστημα με ΤΚΜ νερού

Στα συστήματα υψηλών απαιτήσεων μπορεί να γίνεται καλύτερη ρύθμιση των συνθηκών του χώρου με την εφαρμογή του τετρασωληνίου συστήματος. Στο τρόπο κατασκευής των FCU αυτού του συστήματος αναφερθήκαμε στην παράγραφο (8-5).

Στο τετρασωλήνιο σύστημα, στις ακραίες καλοκαιρινές καιρικές συνθήκες, λειτουργεί μόνο το ψυκτικό στοιχείο και στις ακραίες χειμερινές λειτουργεί μόνο το θερμαντικό στοιχείο. Κατά την περίοδο αυτή η λειτουργία δεν έχει πολύ μεγάλη διαφορά από αυτή που έχουμε με το δισωλήνιο σύστημα. Η διαφορά φαίνεται κυρίως στις περιόδους που δεν γνωρίζουμε αν θα μας χρειάζεται ψύξη ή θέρμανση. Τα δύο στοιχεία λαμβάνουν εντολή από τον ίδιο θερμοστάτη και λειτουργεί εκείνο το στοιχείο το οποίο χρειάζεται. Έτσι επιτυγχάνονται οι απαιτούμενες συνθήκες άνεσης κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Με το τετρασωλήνιο σύστημα και με τον κατάλληλο αυτοματισμό, μπορούν να γίνουν πολλά ακόμη που δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν σ'

αυτό το βιβλίο. Αυτό όμως που θα πρέπει να ληχθεί είναι ότι κατά κανόνα αποφεύγεται η ταυτόχρονη λειτουργία και των δύο στοιχείων π.χ. αποφεύγεται η απευθείας λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου ως στοιχείου αναθέρμανσης του αέρα (κάτι που θα απαιτούσε και μεγάλο κόστος σε αυτοματισμούς). Αν σε ένα χώρο οι συνθήκες είναι τέτοιες που δημιουργούν εναλλασσόμενες ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, τα συστήματα αυτοματισμού που εφαρμόζονται στο τετρασωλήνιο σύστημα είναι τέτοια ώστε να λειτουργεί τότε το ψυκτικό και τότε το θερμαντικό στοιχείο.

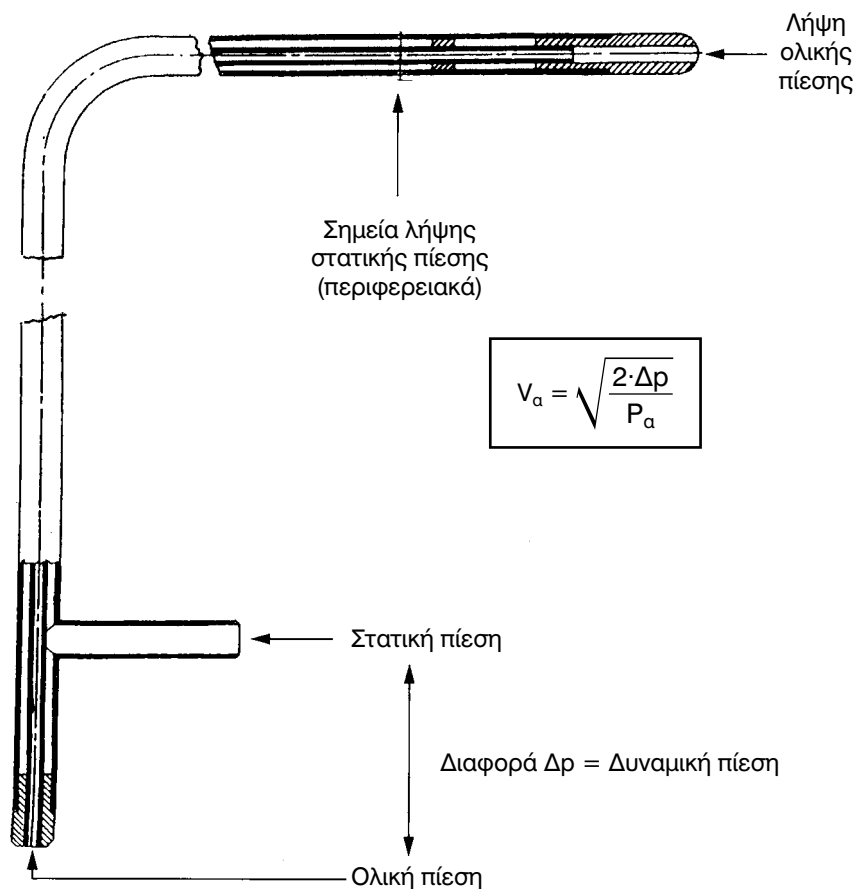
Ένα άλλο πλεονέκτημα στο τετρασωλήνιο σύστημα είναι ότι δημιουργούνται δύο τελείως ανεξάρτητα κυκλώματα σωλήνων νερού (ζεστού από το λέβητα και κρύου από τον ψύκτη) και έτσι αποφεύγεται το νερό του δικτύου θέρμανσης να κυκλοφορεί στο κύκλωμα του κρύου νερού. Το ζεστό νερό προκαλεί ρύπανση, κυρίως λόγω της αποβολής των αλάτων του ασβεστίου και της επικάθισής τους εσωτερικά των σωλήνων. Με το τετρασωλήνιο σύστημα αποφεύγεται η ρύπανση του ευαίσθητου σε απόδοση ψυκτικού στοιχείου (το κρύο νερό σχεδόν δεν ρυπαίνεται).

Τα μεγάλα μειονεκτήματα του τετρασωληνίου συστήματος είναι ότι θα έχουμε ανάγκη χώρου διέλευσης για τέσσερις σωλήνες και ότι το κόστος του συστήματος είναι πολύ υψηλό, ιδίως το κόστος του αυτοματισμού που απαιτείται για τη σωστή αξιοποίησή του. Ανεξάρτητος αυτοματισμός μπορεί να απαιτείται να υπάρχει ακόμη και σε κάθε FCU.

9-9. Το κεντρικό σύστημα με αποστολή μόνο πρωτεύοντος αέρα

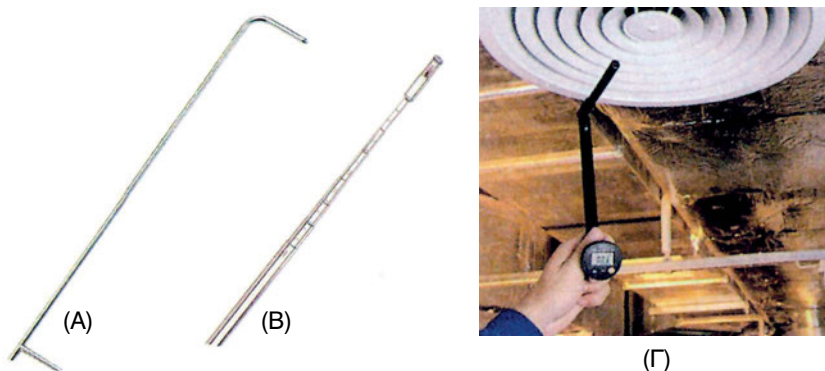
Είναι το σύστημα κεντρικού κλιματισμού, στο οποίο ο κλιματισμένος αέρας παράγεται μακριά από τους χώρους, μέσα στην ΚΚΜ και στη συνέχεια διοχετεύεται στους κλιματιζόμενους χώρους μέσω αεραγωγών. Το σύστημα αυτό εξασφαλίζει την ανανέωση και τον καθαρισμό του αέρα. Το μειονέκτημά του είναι ότι παρουσιάζει πολλές δυσκολίες στη ρύθμιση και οι θερμοκρασίες των χώρων ελέγχονται πολύ δύσκολα.

Στις ΚΚΜ, εκτός από τη θέρμανση ή την ψύξη του αέρα γίνονται και άλλες επεξεργασίες, ανάλογα με τις ανάγκες του χώρου, όπως ύγρανση ή αφύγρανση, ο καθαρισμός του αέρα με φίλτρα κλπ. Επίσης γίνεται και η ανανέωση του αέρα, που σημαίνει ότι ένα μέρος του αέρα που προέρχεται από το χώρο απορρίπτεται και αντικαθίσταται με φρέσκο ατμοσφαιρικό αέρα, πλούσιο σε οξυγόνο και απαλλαγμένο από κάποιες οσμές κλπ.



Σχήμα 9-5: Σωλήνας pitot σε τομή.

Για να λειτουργήσει αυτό το σύστημα, χρειάζεται πολύ καλή ρύθμιση. Τα όργανα που χρησιμοποιούμε είναι βασικά το ανεμόμετρο για τα στόμια που αναφέραμε στην παράγραφο (4-2) και ο σωλήνας pitot που βλέπουμε στο σχήμα (9-5). Η μέτρηση της ταχύτητας μέσα σε αεραγωγούς μέσω του σωλήνα pitot, αν γίνει σωστά, είναι αρκετά αξιόπιστη, αλλά απαιτεί τη σταθεροποίηση της ροής του αέρα. Για να γίνει αυτό απαιτείται να είμαστε περίπου 8 διαμέτρους μακριά από το σημείο που υπάρχει διακλάδωση, διασταύρωση, ανεμιστήρας κλπ. Εξαιρέση αποτελεί το ανοδικό ρεύμα αέρα, όπου μπορούμε να περιοριστούμε στις 4 διαμέτρους. Με άλλα λόγια δεν είναι εύκολο να μετρήσουμε οπουδήποτε την παροχή του αέρα.



Σχήμα 9-6: Διάφορα όργανα μέτρησης ταχύτητας αέρα (Α) σωλήνας pitot (Β) τηλεσκοπικός σωλήνας μέτρησης ταχύτητας αέρα σε αεραγωγούς (βελτίωση του σωλήνα pitot) (Γ) Ηλεκτρονικό όργανο εξειδικευμένο στη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα στην έξοδο των στομιών

Οι σωλήνες pitot υπάρχουν σε διάφορα μήκη, ανάλογα με τον αεραγωγό που θέλουμε να μετρήσουμε. Αν και ο σωλήνας pitot παραμένει το κλασικό εργαλείο για τη μέτρηση των ταχυτήτων του αέρα σε αεραγωγούς, έχουν εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια και άλλα όργανα για τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα. Ένα από αυτά είναι οι τηλεσκοπικοί σωλήνες μέτρησης που βλέπουμε στο σχήμα (9-6), με τους οποίους μπορούμε να ρυθμίζουμε και το μήκος του εργαλείου.



Σχήμα 9-7: Μέτρηση της ταχύτητας του αεραγωγού με σύγχρονο εξοπλισμό (η άνω οπή μέτρησης φαίνεται να απέχει αρκετά από τα τοιχώματα, αλλά αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχει η μόνωση του αεραγωγού).

Ο τρόπος που γίνεται η μέτρηση με ένα σύγχρονο εργαλείο φαίνεται στο σχήμα (9-7). Στο εν λόγω σχήμα, όπως βλέπουμε, έχει χρησιμοποιηθεί τηλεσκοπικός σωλήνας.

Το πρόβλημα όμως της ρύθμισης των στομιών δεν είναι καθόλου απλό. Συγκεκριμένα, ένα λάθος στην παροχή του **νερού**, της τάξεως του 20%, συνεπάγεται λάθος στην απόδοση της ΚΜ κατά 3-5%, ενώ ένα λάθος της τάξεως του 10% είναι ουσιαστικά μηδέν. Αλλά η αποδιδόμενη θερμότητα σε ένα χώρο, όταν ο κλιματισμός γίνεται με τον **προσαγόμενο αέρα**, δίδεται από τη γνωστή μας σχέση:

$$q_s = C_s \times Q \times \Delta t \quad (9-2)$$

Όπου:

Q : Ο όγκος του απαιτούμενου κλιματισμένου αέρα σε L/s.

q_s: Το αισθητό φορτίο του χώρου σε W.

C_s: Σταθερός συντελεστής, οι τιμές του οποίου δίδονται στον πίνακα (3-22). Στην επιφάνεια της θάλασσας έχει την τιμή 1,2 (αέρας standard).

Δt = **t₁** - **t₂** για θέρμανση και **t₂** - **t₁** για ψύξη, όπου:

t₁ : Η θερμοκρασία του κλιματισμένου αέρα προσαγωγής σε °C. Για πρόχειρους υπολογισμούς μπορείτε να λαμβάνετε για το χειμώνα 45°C και για το καλοκαίρι 16°C.

t₂ : Η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου σε °C.

Ας δούμε τι συμβαίνει κατά τη λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι.

Αν κατά τη λειτουργία του συστήματος πέσει απότομα η παροχή του αέρα κατά 20%, τότε, όπως βλέπουμε από τη σχέση (9-2), θα πέσει και η απόδοση. Για να αποφύγουμε περίπλοκους υπολογισμούς, ας δεχτούμε ότι το **q_s** είναι κατά προσέγγιση σταθερό, οπότε από τη σχέση (9-2) προκύπτει ότι:

$$Q \times \Delta t \approx \text{σταθερός αριθμός } C \quad (9-3)$$

Οπότε θα αρχίσει να ανεβαίνει η θερμοκρασία του χώρου μέχρι να επιτευχθεί νέο σημείο ισορροπίας. Αν η αρχική παροχή ήταν **Q₁** και μετά τη μείωση κατά 20% είναι **Q₂**, θα έχουμε **Q₂ = 0,8 x Q₁**. Αντίστοιχα αν είχαμε **Δt₁** αυτή θα γίνει **Δt₂**. Οπότε βάσει της (9-3) έχουμε:

$$C = Q_1 \times \Delta t_1 \approx Q_2 \times \Delta t_2 \Rightarrow Q_1 \times \Delta t_1 \approx 0,8 \times Q_1 \times \Delta t_2 \Rightarrow \Delta t_2 \approx 1,25 \times \Delta t_1 \quad (9-4)$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι μία μείωση της παροχής του αέρα κατά 20%, επιφέρει μία αύξηση του Δt κατά 25%. Στην πραγματικότητα η παραδοχή που κάναμε ότι το φορτίο είναι σταθερό δεν ισχύει επακριβώς. Μέρος του φορτίου, και συγκεκριμένα αυτό που οφείλεται σε θερμική αγωγιμότητα, επηρεάζεται από την εσωτερική θερμοκρασία και τα δυσμενή αποτελέσματα μετριάζονται κάπως. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι να έχουμε μία μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας στο χώρο, της τάξεως του 20-22%, που είναι πολύ σημαντική. Γενικά μπορούμε να δεχόμαστε ότι, κατά προσέγγιση, όση είναι η ποσοστιαία αυξομείωση της παροχής του αέρα τόσο θα είναι η αυξομείωση του Δt .

Αντίστοιχα, κατά το χειμώνα θα έχουμε μείωση του Δt κατά 20-22%, δηλαδή θα πέσει σημαντικά η θερμοκρασία των χώρων.

Αλλά τα προβλήματα δεν τελειώνουν εδώ. Η ρύθμιση με το νερό είναι αρκετά ακριβής και οι μετρήσεις αρκετά αξιόπιστες. Αντίθετα η ρύθμιση με τον αέρα εμπεριέχει μεγάλα σφάλματα. Επίσης θα πρέπει να πούμε ότι δεν υπάρχει καμία δυνατότητα ρύθμισης του φορτίου. Γι' αυτό ένα κτίριο, με το απλό σύστημα αεραγωγών, θα πρέπει να είναι χωρισμένο σε ζώνες ανάλογα με τον προσανατολισμό του.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ας υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία του χώρου είναι 27°C και ο αέρας προσάγεται με 15°C . Κατά τη ρύθμιση του δικτύου των αεραγωγών, έγινε λάθος μέχρι $\pm 25\%$ στην παροχή του αέρα του χώρου (είναι μικρότερη της απαιτούμενης). Να εκτιμηθούν οι θερμοκρασίες που θα έχουμε μέσα στους κλιματιζόμενους χώρους.

Έχουμε $\Delta t = 27 - 15 = 12^{\circ}\text{C}$. Το $25\% \times 12^{\circ}\text{C} = 3^{\circ}\text{C}$. Άρα οι θερμοκρασίες των κλιματιζόμενων χώρων θα έχουν διακύμανση $\pm 3^{\circ}\text{C}$, δηλαδή από $24-30^{\circ}\text{C}$. Η κλιματιστική εγκατάσταση θα έχει προφανώς αποτύχει.

9-10. Το πρόβλημα της μέτρησης της παροχής του αέρα

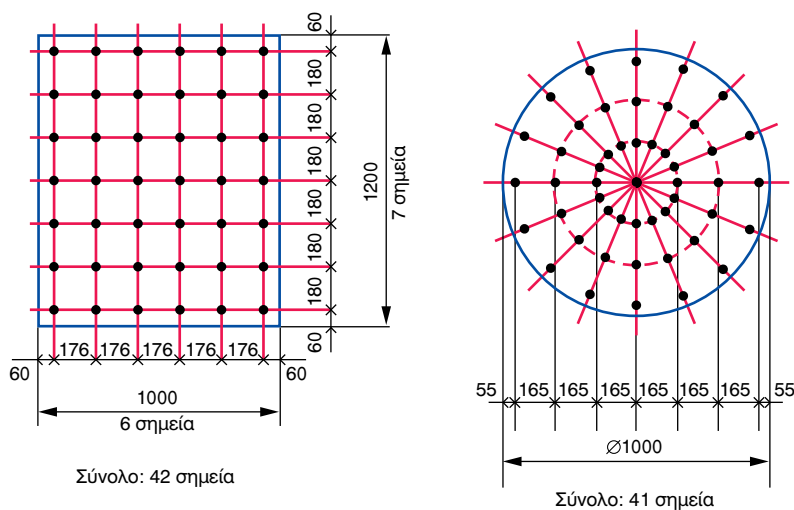
Η ένδειξη του ανεμομέτρου δεν επαρκεί για να έχουμε σίγουρα αποτελέσματα για την παροχή των στομιών, ενώ οι μετρήσεις με το σωλήνα pilot γίνονται σε πολλά σημεία σε μία κάθετη τομή του αεραγωγού, από όπου παίρνουμε το μέσο όρο. Έτσι το σφάλμα μπορεί να είναι πολύ σημαντικό

και σε πολλά τμήματα μπορεί να υπερβαίνει κατά πολύ ακόμη και το 25%. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι οι μετρήσεις παροχής του αέρα που γίνονται σε ειδικά εργαστήρια όπου ελέγχονται οι αποδόσεις κλιματιστικών μηχανημάτων, παρ' όλον ότι χρησιμοποιούνται εξελεγμένα συστήματα και συσκευές μέτρησης, εμπεριέχουν και αυτές σημαντικά λάθη. Οι μετρήσεις της παροχής του αέρα μεταξύ δύο σοβαρών εργαστηρίων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά (π.χ. διαφορές της τάξεως του 8-10% ή μερικές φορές ακόμη περισσότερο). Πόσο μάλλον θα μπορούσαμε να εμπιστευτούμε τις μετρήσεις που γίνονται με ένα απλό ανεμόμετρο ή το πολύ με ένα σωλήνα pitot (που έχει όμως πολύ καλύτερη ακρίβεια από το ανεμόμετρο).

Σχετικά καλές μετρήσεις μπορούν να ληφθούν μόνο με σωλήνα pitot από έμπειρο τεχνικό και αφού ακολουθηθούν αυστηρές οδηγίες ως προς τον αριθμό και τα σημεία μέτρησης. Τέτοιου είδους όμως χρονοβόρα μέτρηση αξίζει ίσως τον κόπο να κάνουμε μόνο για την κεντρική παροχή της ΚΚΜ (στον κεντρικό αεραγωγό και μερικά μέτρα μακριά από το σημείο της εξόδου για να έχει σταθεροποιηθεί η ροή του αέρα) ή το πολύ για τους κεντρικούς κλάδους του δικτύου. Επίσης υπάρχουν σημεία που δεν μπορούμε να τα μετρήσουμε ούτε με σωλήνα pitot (π.χ. μετά από καμπύλες). Οι προϋποθέσεις για να πάρουμε αξιόπιστη μέτρηση με το σωλήνα pitot είναι:

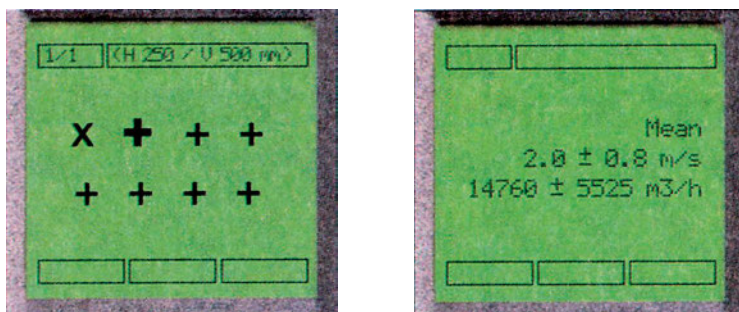
- Να ληφθούν τουλάχιστον 25 σημεία μέτρησης. Σε μικρούς αεραγωγούς, διαμέτρου μικρότερης από 450 mm, μπορούν να ληφθούν λιγότερα σημεία, όχι όμως λιγότερα από 9.
- Η ταχύτητα του αέρα να είναι τουλάχιστον 7,5 m/s, πράγμα που κατά κανόνα ισχύει για τους κεντρικούς αεραγωγούς.
- Οι αποστάσεις των σημείων μέτρησης μεταξύ τους να μην είναι μεγαλύτερες από 200 mm. Σε αεραγωγούς διαμέτρου μικρότερης από 450 mm, μπορεί να είναι το πολύ μέχρι 150 mm.
- Από τα τοιχώματα του αεραγωγού, τα εν λόγω σημεία, θα πρέπει να απέχουν περίπου κατά το $1/3$ της ως άνω απόστασης. Παραδείγματα φαίνονται στο σχήμα (9-8). Πολλοί τεχνικοί λαμβάνουν το $1/2$ της απόστασης, οπότε ο αεραγωγός χωρίζεται σε ίσα τετραγώνια. Πάντως, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τη θέση που θα πρέπει να μετρηθεί η ταχύτητα κοντά στα όρια, για να δώσει αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα. Γι' αυτό οι αεραγωγοί με μεγάλες διαστάσεις, που έχουν στο σύνολο των τετραγώνων, λιγότερα τετράγωνα (%) να έρχονται σε επαφή με τα τοιχώματα, δίνουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

- Να απέχουμε τουλάχιστον 8 διαμέτρους από την τελευταία διατάραξη της ροής του αέρα (καμπύλη κλπ.) για ανοδικό ρεύμα. Μπορούμε να περιοριστούμε σε 4 διαμέτρους.



Σχήμα 9-8: Παραδείγματα καθορισμού σημείων μέτρησης με σωλήνα pitot.

Μία τουλάχιστον τέτοια μέτρηση θα χρειαστεί οπωσδήποτε να κάνουμε στον κεντρικό αεραγωγό, για να βρούμε την παροχή αέρα της ΚΚΜ και, αν χρειάζεται, να αυξήσουμε ή να μειώσουμε τις στροφές του ανεμιστήρα, ώστε τουλάχιστον να έχουμε τη σωστή παροχή του αέρα. Αν η παροχή του αέρα προκύψει μεγαλύτερη και το δίκτυο φαίνεται να λειτουργεί ικανοποιητικά, θα πρέπει να εξετάσουμε κατά πόσο και η ΚΚΜ έχει τη δυνατότητα να δεχτεί τη μεγαλύτερη ταχύτητα αέρα, π.χ. αν η ταχύτητα αέρα στα φίλτρα είναι αποδεκτή. Η μελέτη του δικτύου των αεραγωγών πρέπει να έχει κάνει την πρόβλεψη για να υπάρχει κατάλληλη θέση για τη μέτρηση, που να εκπληρώνει όλες τις απαιτούμενες προϋποθέσεις για να ληφθεί μια αξιόπιστη μέτρηση.



(A) + = μετρηθέντα σημεία
 + = σημείο υπό μέτρηση
 x = σημεία που απομένουν
 για να μετρηθούν.

(B) Ένδειξη μέτρησης
 και πιθανής απόκλισης.

Σχήμα 9-9: Στοιχεία μέτρησης από την οθόνη ενός σύγχρονου οργάνου (A) τα σημεία μέτρησης (B) αποτελέσματα από τις μετρήσεις με το πιθανό σφάλμα.

Ένα σύγχρονο προγραμματιζόμενο όργανο μέτρησης σίγουρα μας βοηθάει περισσότερο. Η οθόνη ενός τέτοιου οργάνου, όπως φαίνεται και στο σχήμα (9-9), μπορεί να μας δίνει και στοιχεία σχετικά με τη μέτρηση και το πιθανό σφάλμα. Παρά το σύγχρονο του εξοπλισμού, η δυσκολία στην ακρίβεια της μέτρησης της παροχής αέρα είναι σχεδόν η ίδια, ιδίως στις μικρές ταχύτητες του αέρα.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, το απλό σύστημα κλιματισμού με διανομή πρωτεύοντα αέρα, σε ένα περίπλοκο κτίριο με εκτεταμένο δίκτυο αεραγωγών σχεδόν ποτέ δεν χρησιμοποιείται. Αντίθετα, μπορεί να το συναντήσουμε να λειτουργεί με επιτυχία σε μεγάλους χώρους και αίθουσες ή σε βιομηχανίες κλπ., όπου πρόκειται για ένα μεγάλο ενιαίο χώρο στον οποίο τελικά καταλήγει όλος ο αέρας. Κατά συνέπεια τα σφάλματα κατανομής της παροχής μέσω των στομιών ελάχιστα επηρεάζουν την όλη κατάσταση.

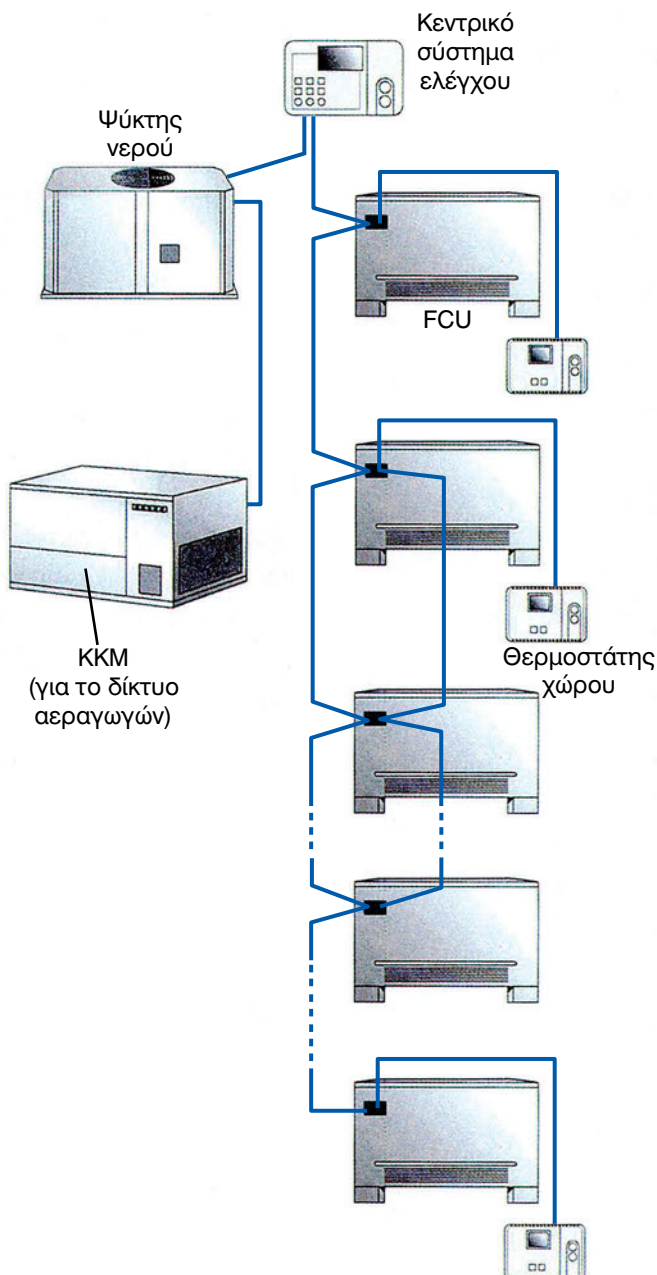
Πολλοί μηχανικοί δοκίμασαν να εφαρμόσουν το σύστημα με παροχή μόνο πρωτεύοντος αέρα και σε περίπλοκα δίκτυα, π.χ. σε κάποιο ξενοδοχείο, κάνοντας υπολογισμούς σαν και αυτούς που είδαμε στο κεφάλαιο 4. Αλλά το αποτέλεσμα, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν ήταν και τόσο ικανοποιητικό. Η φύση εφαρμόζει τους δικούς της αυστηρούς και πολύ περίπλοκους κανόνες. Η μελέτη δεν είναι παρά μία αρχική προσέγγιση. Ένα δίκτυο, για να λειτουργήσει σωστά, πρέπει να ρυθμιστεί. Και ρύθμιση ακριβείας σε ένα δίκτυο αεραγωγών δεν γίνεται.

Τα παραπάνω προβλήματα, αντιμετωπίζονται με άλλα συστήματα κλιματισμού και συγκεκριμένα αυτά τα προβλήματα δεν υπάρχουν στο σύστημα με προκλιματισμένο αέρα και στα συστήματα μεταβλητής παροχής όγκου αέρα (VAV) που θα δούμε στη συνέχεια.

9-11. Το σύστημα με προκλιματισμένο αέρα και τοπικές μονάδες

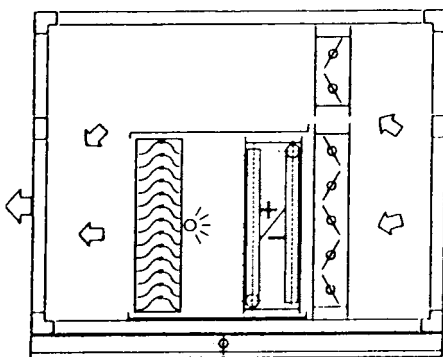
Στο σύστημα αυτό γίνεται συνδυασμός των δύο προηγούμενων συστημάτων. Με αυτό τον τρόπο, συνδυάζονται τα πλεονεκτήματα και περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό τα μειονεκτήματά τους. Είναι πολύ διαδεδομένο επειδή είναι πολύ εύκολο να επιτύχει στη λειτουργία του και αυτός που το εφαρμόζει έχει ελάχιστες πιθανότητες να μην τα καταφέρει να κατασκευάσει ένα σωστό και λειτουργικά άψογο σύστημα.

Η βασική αρχή της λειτουργίας του συστήματος φαίνεται στο σχήμα (9-10). Υπάρχει και πάλι η ΚΚΜ, όπου παράγεται ο πρωτεύων αέρας και ο οποίος εισάγεται στο χώρο μέσω ενός δικτύου αεραγωγών. Συγχρόνως έχουμε και παραγωγή πρωτεύοντος αέρα από τις τοπικές κλιματιστικές μονάδες. Δηλαδή ο πρωτεύων αέρας που κλιματίζει το χώρο προέρχεται από δύο διαφορετικές πηγές.



Σχήμα 9-10: Η αρχή λειτουργίας του συστήματος με προκλιματισμένο αέρα.

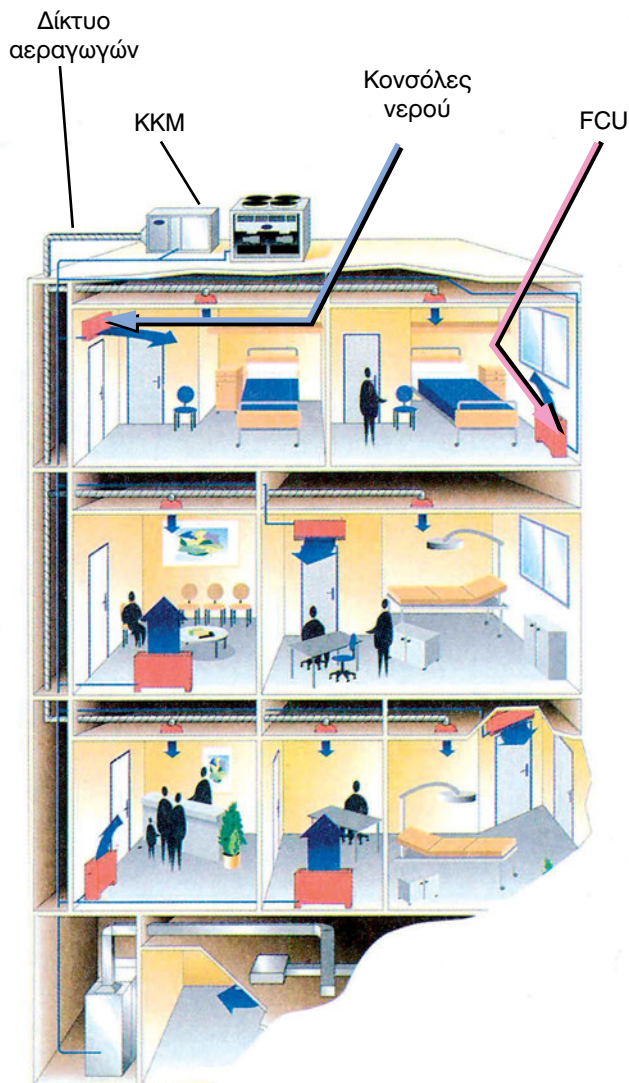
Ο προσαγόμενος αέρας μέσω των αεραγωγών σκοπό έχει κυρίως να ανανεώσει τον αέρα του χώρου, αλλά όχι να τον θερμάνει ή να τον ψύξει από μόνος του. Για να μη δημιουργηθούν πρόσθετα θερμικά ή ψυκτικά φορτία στο χώρο, τον κλιματίζουμε πριν να τον στείλουμε. Συνήθως ο αέρας προσάγεται με θερμοκρασία που διαφέρει ελάχιστους $^{\circ}\text{C}$ από τη θερμοκρασία του χώρου και ονομάζεται προκλιματισμένος. Υπάρχει όμως η δυνατότητα ο αέρας να αποστέλλεται αρκετά κρύος ή αρκετά ζεστός, αναλόγως των καιρικών συνθηκών.



Σχήμα 9-11: Το τμήμα παράκαμψης (by-pass) της ΚΚΜ.

Για την παραγωγή και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του προκλιματισμένου αέρα, η ΚΚΜ είναι εφοδιασμένη με το τμήμα παράκαμψης (by-pass), που φαίνεται στο σχήμα (9-11). Τη λειτουργία του τμήματος παράκαμψης την είδαμε κυρίως στην παράγραφο (2-13). Με την κατάλληλη ρύθμιση της θέσης των τάμπερ, ρυθμίζεται και η θερμοκρασία του αέρα. Η εργασία αυτή μπορεί να γίνεται και με τον κατάλληλο αυτοματισμό.

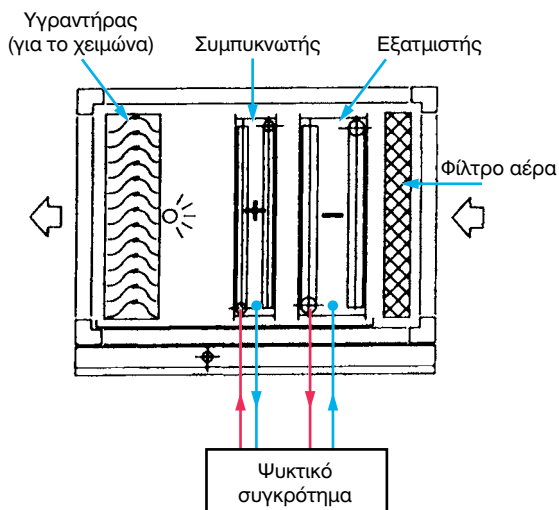
Είναι λάθος να παραλείπεται το τμήμα παράκαμψης από την ΚΚΜ. Μία ΚΚΜ παραγωγής προκλιματισμένου αέρα, που στέλνει στο χώρο τον αέρα πολύ κρύο το καλοκαίρι και το χειμώνα πολύ ζεστό, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα όταν οι ανάγκες του χώρου σε ψύξη ή θέρμανση είναι μικρές. Τότε η ΤΚΜ θα πάρει εντολή από το θερμοστάτη να σταματήσει, αλλά ο χώρος θα εξακολουθήσει να ψύχεται ή να θερμαίνεται από το δίκτυο των αεραγωγών.



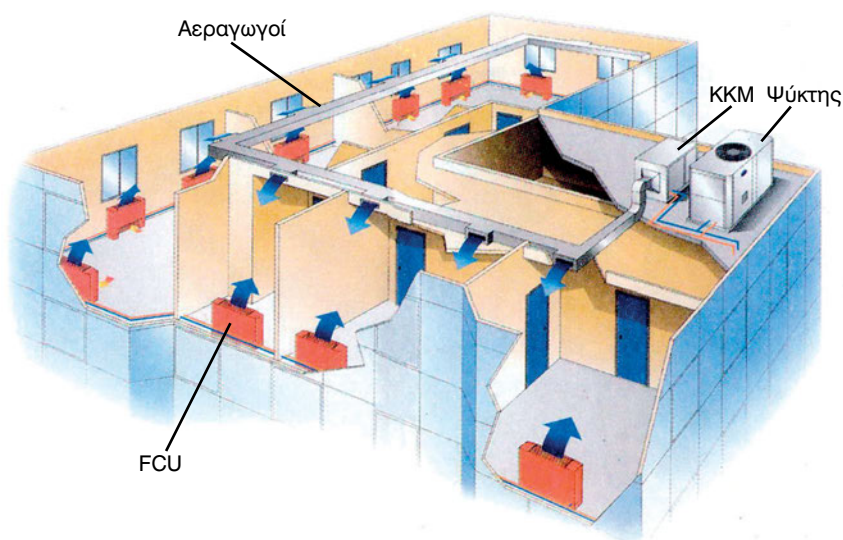
Σχήμα 9-12: Ένα σύστημα με αποστολή προκλιματισμένου αέρα και με TKM.

Το σύστημα με τον προκλιματισμένο αέρα μπορεί να ελέγχει πολύ καλά και την υγρασία του αέρα του χώρου. Για παράδειγμα, στο σχήμα (9-12) βλέπουμε μία διάταξη ελέγχου της υγρασίας του προκλιματισμένου αέρα. Για τη λειτουργία κατά το χειμώνα υπάρχει ο γνωστός μας υγραντήρας. Για το καλοκαίρι υπάρχει ένας αφυγραντήρας που αποτελείται από δύο στοιχεία το ένα από τα οποία είναι εξατμιστής και το άλλο συμπυκνωτής. Και τα δύο στοιχεία λειτουργούν με τον ίδιο ψύκτη. Ο αέρας, που έχει ήδη

περάσει από το τμήμα παράκαμψης, ψύχεται στο πρώτο στοιχείο και αποβάλλει την υγρασία του, ενώ στο δεύτερο αναθερμαίνεται και του προσδίδεται πάλι η αφαιρεθείσα θερμότητα. Ο αέρας συνεχίζει να κατευθύνεται προς το χώρο, με την ίδια σχεδόν θερμοκρασία, αλλά με πολύ μειωμένη τη σχετική υγρασία του. Το σύστημα αυτό μπορεί να τοποθετείται και μέσα σε αεραγωγό (αντί στην ΚΚΜ).



Σχήμα 9-13: Παράδειγμα συστήματος ελέγχου της υγρασίας του προκλιματιζμένου αέρα



Σχήμα 9-14: Άλλη διάταξη συστήματος προκλιματισμένου αέρα - ΤΚΜ.

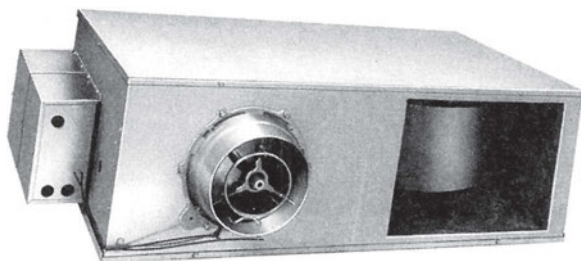
Το κοινό στοιχείο μεταξύ του πρωτεύοντος αέρα και του προκλιματισμένου αέρα είναι ότι και στις δύο περιπτώσεις ο αέρας προσάγεται μέσω αεραγωγών. Η διαφορά είναι ότι ο πρωτεύων αέρας αναλαμβάνει μόνος του το φορτίο κλιματισμού του χώρου, ενώ ο προκλιματισμένος αναλαμβάνει μικρό μόνο μέρος (ή και καθόλου) και το υπόλοιπο το αναλαμβάνουν οι ΤΚΜ.

Στο σύστημα με προκλιματισμένο αέρα, χρειάζεται και πάλι ρύθμιση στο δίκτυο των αεραγωγών, για να αποστέλλει τη σωστή ποσότητα αέρα στους χώρους. Αλλά τα λάθη της ρύθμισης που αναφέραμε, όσον αφορά την ποσότητα του προσαγόμενου αέρα για εξαερισμό, μπορούν να γίνουν αποδεκτά. Ο αέρας που απαιτείται για εξαερισμό, όπως είδαμε και στο κεφάλαιο υπολογισμού των ψυκτικών και θερμικών φορτίων, έχει μεγάλα περιθώρια διακύμανσης.

9-12. Το σύστημα VAV

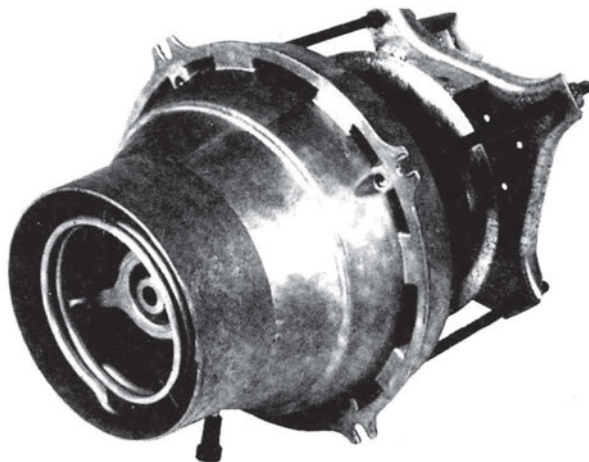
Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις κλιματισμού εφαρμόζονται ειδικές τεχνικές και συστήματα αυτοματισμού για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του κάθε χώρου. Η φιλοσοφία τους είναι γενικά πολύ απλή: με ένα θερμοστάτη ρυθμίζουμε τη θέση ενός τάμπερ πριν από το στόμιο. Έτσι, χωρίς να μας ενδιαφέρει να μάθουμε πόσα ακριβώς είναι τα L/s του αέρα που αποστέλλεται στο χώρο, θα έχουμε ακριβώς την ποσότητα αέρα που χρειάζεται για να τον κλιματίσει.

Στην παραπάνω περίπτωση αρχίζουμε να έχουμε μία μεταβλητή ποσότητα αέρα στο χώρο και μιλάμε πλέον για τα συστήματα που είναι διεθνώς γνωστά με τη ονομασία **VAV (Variable Air Volume)**. Αυτά βασίζονται στα κατάλληλα στόμια αέρα και σε τάμπερ τα οποία ρυθμίζονται με τον κατάλληλο αυτοματισμό.



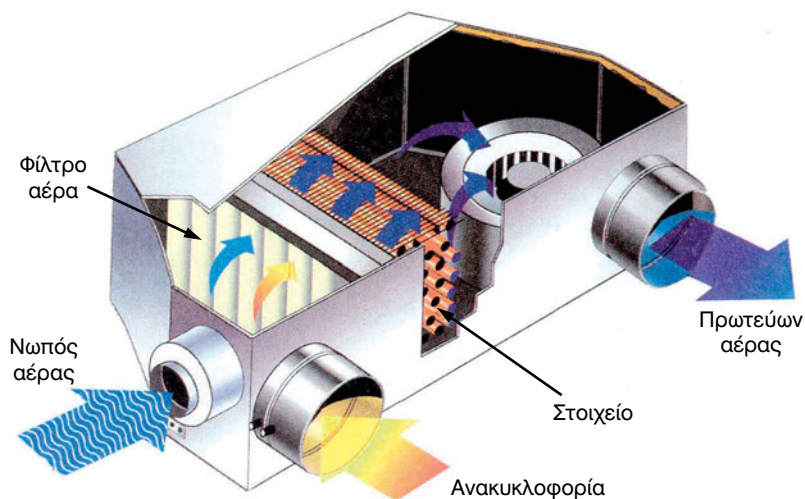
Σχήμα 9-15: Μία διάταξη στομίου αέρα σε σύστημα VAV.

Ένα τέτοιο εξελιγμένο σύστημα στομίου βλέπουμε στο σχήμα (9-15). Το στόμιο αυτό έχει ενσωματωμένο έναν ειδικό μηχανισμό, όπως βλέπουμε στο σχήμα (9-16), μέσω του οποίου γίνεται η ρύθμιση του αέρα.



Σχήμα 9-16: Το βασικό εξάρτημα του στομίου (9-15) που ρυθμίζει την παροχή του αέρα.

Ένα διαφορετικό σύστημα βλέπουμε στο σχήμα (9-17). Το χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι ότι διαθέτει ενσωματωμένο στοιχείο και φυσικά φίλτρο αέρα (στα στοιχεία πρέπει πάντα να προτάσσεται φίλτρο αέρα). Το στόμιο αυτό συνδέεται απευθείας με τους αεραγωγούς κατά τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα.

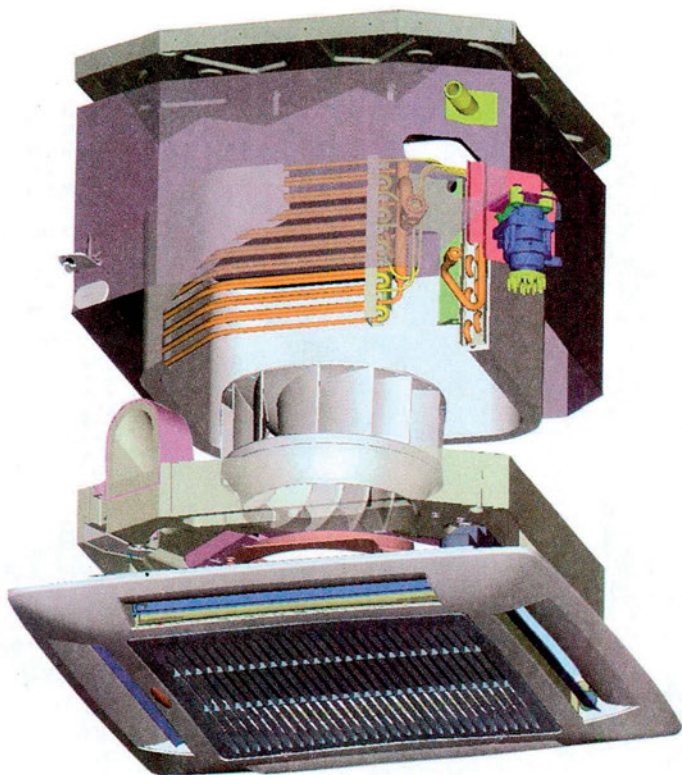


Σχήμα 9-17: Άλλος τύπος συστήματος ελέγχου της παροχής του αέρα.

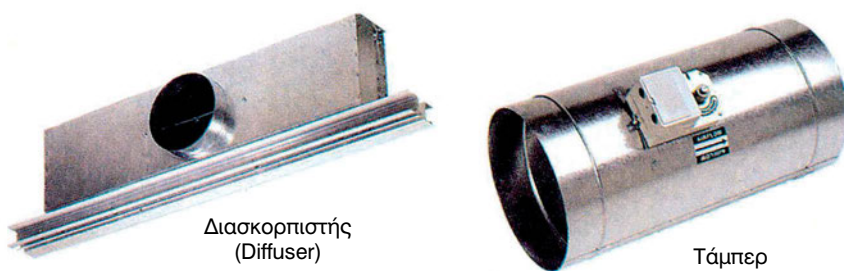
Ένας άλλος τύπος στομίου συστήματος VAV, κατάλληλος για την τοποθέτηση σε πλάκα ψευδοροφής, φαίνεται στο σχήμα (9-18). Διαθέτει επίσης ενσωματωμένο στοιχείο για τον καλύτερο έλεγχο των συνθηκών του αέρα.

Στο σχήμα (9-19) βλέπουμε δύο εξαρτήματα που πολύ συχνά συνδυάζονται στα συστήματα VAV. Το πρώτο είναι ένα τάμπερ που ρυθμίζει την παροχή του αέρα και το άλλο είναι ένας ειδικός τύπος στομίου αέρα που ονομάζεται διασκορπιστής (diffuser).

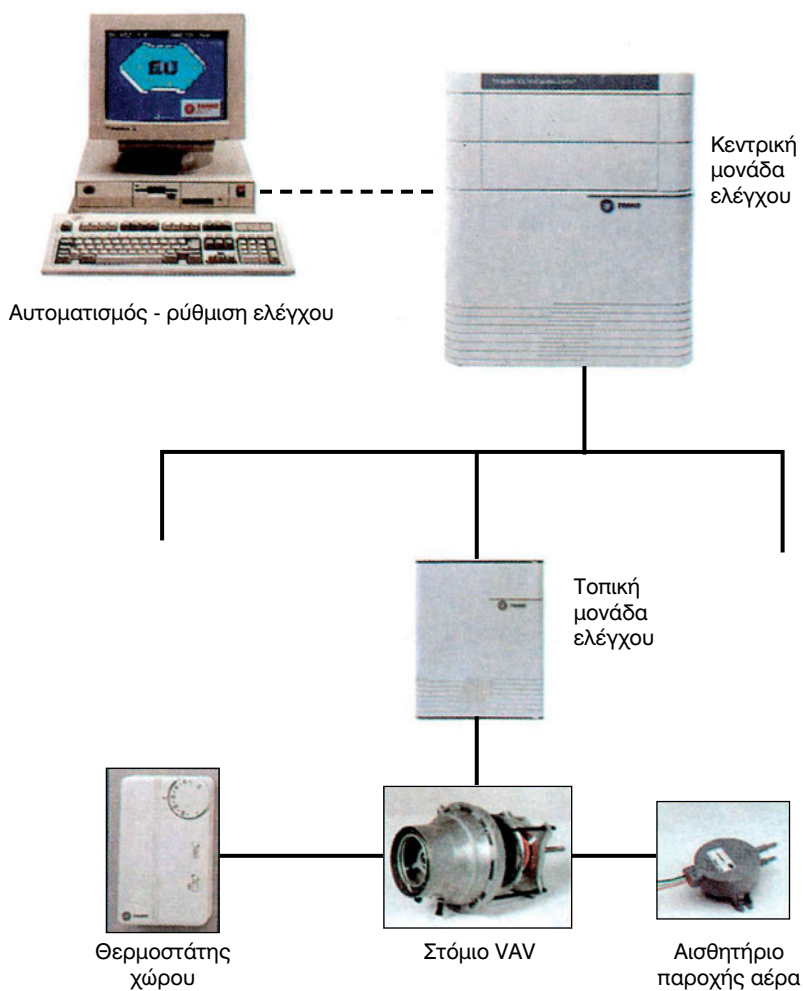
Όπως συμβαίνει και με τα συστήματα VRV που είδαμε στο κεφάλαιο 6, έτσι και με τα VAV, ο κάθε κατασκευαστής έχει το δικό του σύστημα. Για να μελετήσει κάποιος και να κατασκευάσει ένα σύστημα VAV θα πρέπει να έρθει πρώτα σε επαφή με το συγκεκριμένο κατασκευαστή. Η διαφορά είναι ότι η μελέτη ενός συστήματος VRV είναι πολύ εύκολη, ενώ ενός συστήματος VAV είναι πολύ δύσκολη και μπορεί να εκπονηθεί μόνο από έμπειρο μηχανικό σε συστήματα κλιματισμού.



Σχήμα 9-18: Στόμιο ψευδοροφής

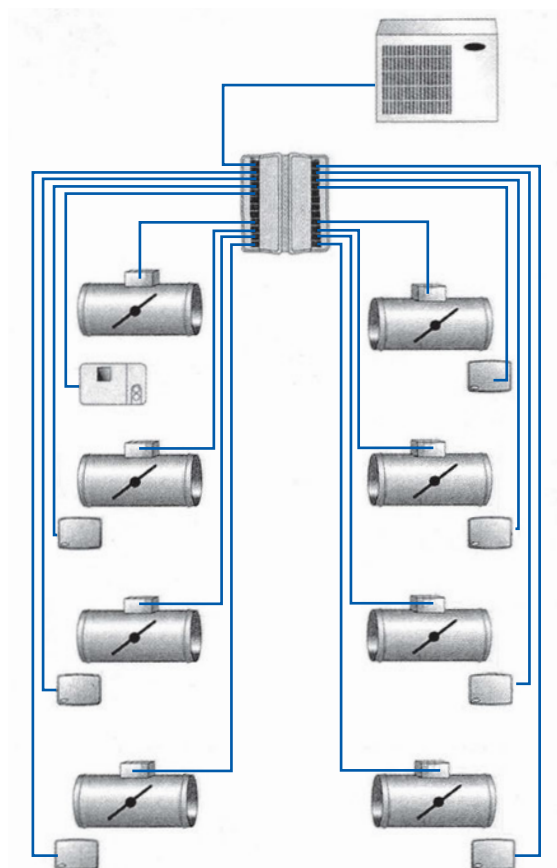


Σχήμα 9-19: Διάταξη τάμπερ-στομίου διασκορπισμού του αέρα (diffuser).



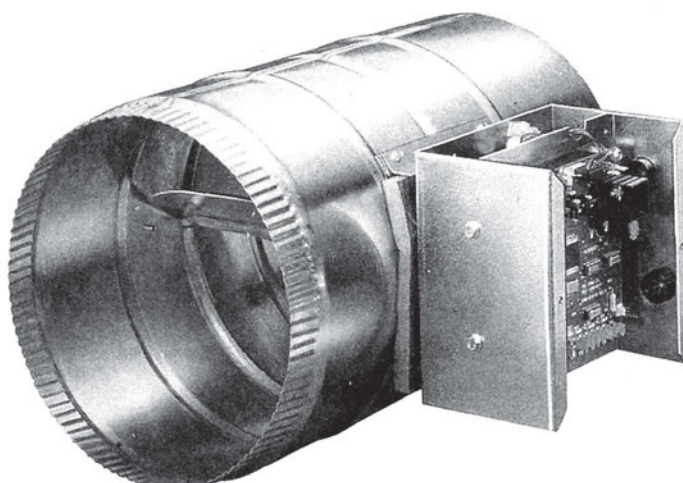
Σχήμα 9-20: Σχηματική διάταξη ενός συστήματος αυτοματισμού VAV.

Τα συστήματα VAV πρέπει επιπλέον να διαθέτουν και το κατάλληλο σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου. Ένα τέτοιο φαίνεται στο σχήμα (9-20).



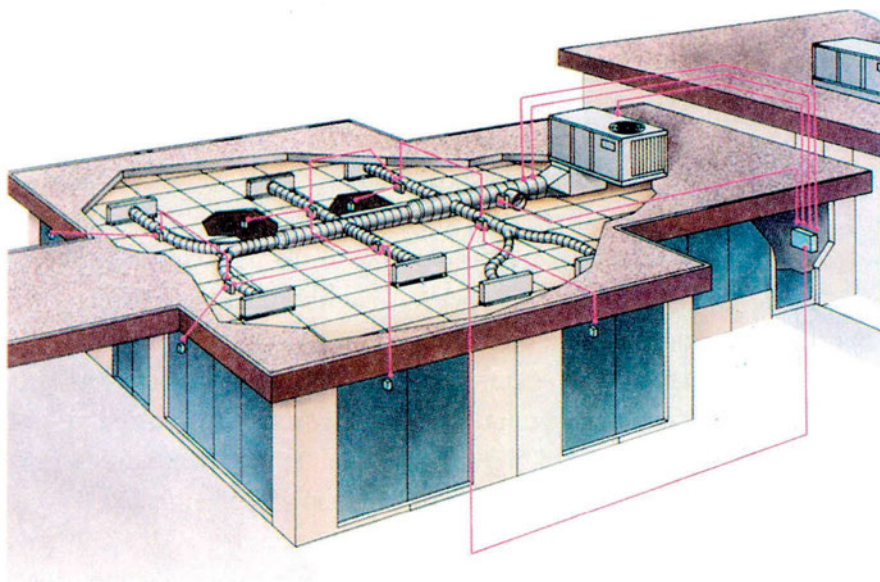
Σχήμα 9-21: Σύστημα ρύθμισης της παροχής του αέρα με τάμπερ.

Εκτός από τη ρύθμιση των στομιών, ο έλεγχος της ροής του αέρα γίνεται και με τάμπερ, τα οποία μπορεί να τροφοδοτούν ένα ή και περισσότερα στόμια. Φυσικά υπάρχει το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Τη φιλοσοφία της ρύθμισης μέσω των τάμπερ τη βλέπουμε και στο σχήμα (9-21). Ένας από τους πολλούς τύπους των τάμπερ είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα (9-22).



Σχήμα 9-22: Τάμπερ ρύθμισης της παροχής του αέρα.

Ένα άλλο σύστημα VAV με ρύθμιση της παροχής του αέρα μέσω τάμπερ είναι αυτό που βλέπουμε στο σχήμα (9-22). Πρόκειται για ένα μικρό σύστημα, αλλά η δομή του δεν διαφέρει από αυτήν ενός μεγάλου συστήματος.



Σχήμα 9-23: Σύστημα VAV

Τα πράγματα όμως στα συστήματα VAV δεν είναι τόσο απλά όσο πιθανόν, εκ πρώτης όψεως, νομίζουμε. Υπάρχουν, όπως και στο σύστημα VRV, προβλήματα για να επιλυθούν. Μόνο που στο σύστημα VRV, το μόνο σοβαρό πρόβλημα είναι οι μεταβαλλόμενες ανάγκες του φορτίου. Εδώ έχουμε να κάνουμε και με τις ανάγκες σε ποσότητα αέρα για τον εξαερισμό των χώρων. Μερικά από τα προβλήματα είναι:

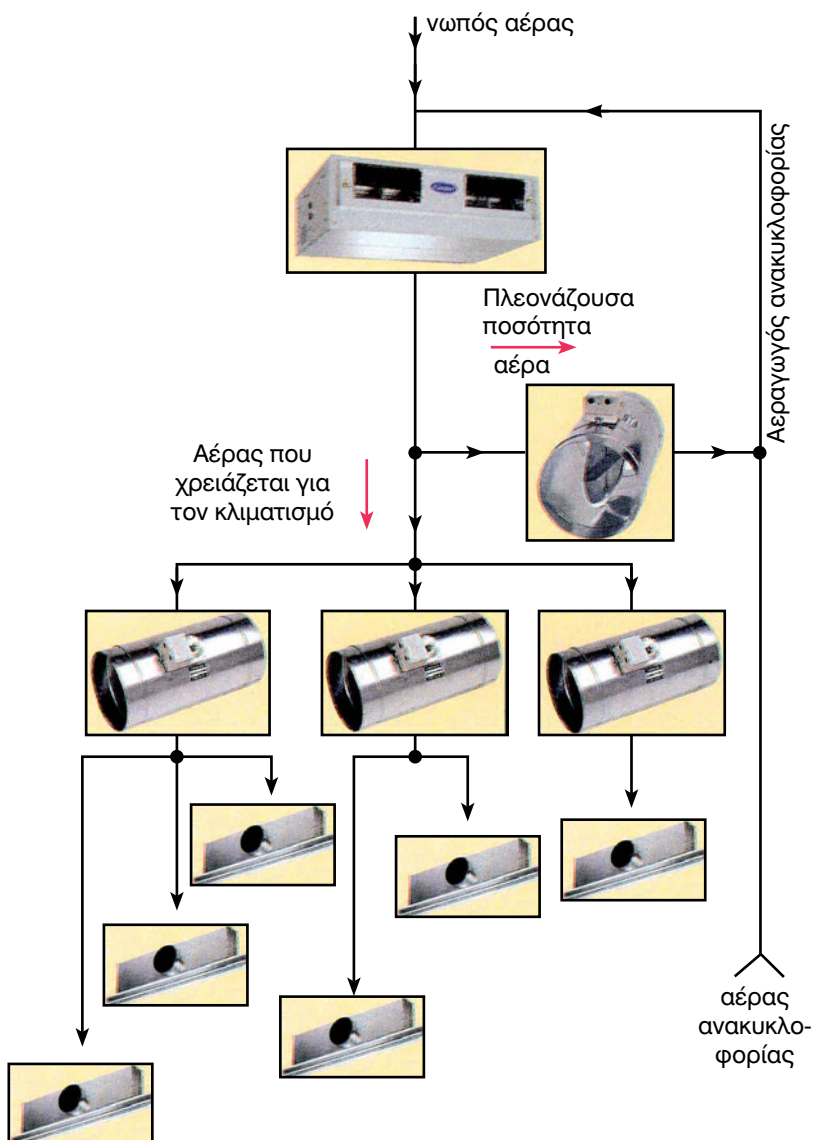
- Αν κάποιος χώρος δεν παρουσιάζει φορτίο, το στόμιό του θα κλείσει. Τι γίνεται τότε με τον εξαερισμό του χώρου;
- Όταν η παροχή του αέρα είναι μεταβαλλόμενη, πώς θα ανταποκρίνεται ο ανεμιστήρας που λειτουργεί με σταθερές στροφές;
- Πώς θα επιτύχουμε να έχουμε άλλη ρύθμιση για το χειμώνα και άλλη για το καλοκαίρι;

Τα προβλήματα αυτά έχουν φυσικά επιλυθεί, αλλά με διαφορετικούς τρόπους από τον κάθε κατασκευαστή. Π.χ. στο σχήμα (9-24) βλέπουμε τον τρόπο που αντιμετωπίζει ένας κατασκευαστής, το πρόβλημα της λειτουργίας του ανεμιστήρα σε ένα ημικεντρικό σύστημα VAV. Ο αέρας που εξέρχεται από την ΗΚΜ κατά ένα μέρος κατευθύνεται στα στόμια και κατά ένα άλλο μέρος, όσος περισσεύει, μέσω ενός τάμπερ by-pass, επιστρέφει πίσω στην εισαγωγή της μονάδας. Έτσι ο ανεμιστήρας της ΗΚΜ λειτουργεί σε σταθερές στροφές. Ο αέρας που κατευθύνεται στα στόμια (που εν προκειμένω, στο σχήμα είναι διασκορπιστές αέρα), ελέγχεται ως προς τον τρόπο κατανομής του μέσω των τάμπερ, που ρυθμίζουν την παροχή του αέρα ανεξάρτητα στο κάθε στόμιο.

Το δίκτυο των αεραγωγών ενός συστήματος VAV συνήθως χρειάζεται και αυτό εξισορρόπηση για να λειτουργήσει σωστά. Χωρίς εξισορρόπηση μπορεί π.χ. να συμβεί το τελευταίο στόμιο ενός κλάδου να μην αποδίδει, διότι δεν φθάνει αρκετός αέρας για να τον στείλει στο χώρο. Η εξισορρόπηση των αεραγωγών όμως στο σύστημα VAV δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα. Το δίκτυο αρκεί να είναι κατά προσέγγιση εξισορροπημένο, επειδή η τελική ρύθμιση της ποσότητας του αέρα γίνεται μέσω των στομιών VAV. Μπορεί ακόμη η εξισορρόπηση να γίνεται με την κατάλληλη εκπόνηση της μελέτης, ώστε το δίκτυο με το που θα κατασκευαστεί και τεθεί σε λειτουργία να είναι σε ικανοποιητικό βαθμό εξισορροπημένο.

Καταλήγοντας θα πρέπει να πούμε ότι τα συστήματα VAV είναι πάρα πολλά και το κάθε ένα έχει τις ιδιαιτερότητές του. Εδώ κάναμε μία γενική αναφορά με σκοπό την ενημέρωση πάνω σ' αυτό το τεράστιο αντικείμενο.

Περαιτέρω ανάπτυξη, όχι μόνο δεν έχει νόημα, αλλά ξεφεύγει και από τους στόχους μας. Το βασικό είναι να έχουμε αντιληφθεί τι είναι τα συστήματα VAV και πώς αυτά, παρ' όλον ότι λειτουργούν μόνο με πρωτεύοντα αέρα, κλιματίζουν ικανοποιητικά όλους τους χώρους, όσο περίπλοκο και αν είναι το δίκτυο των αεραγωγών.



Σχήμα 9-24: Έλεγχος της παροχής του αέρα με ανεμιστήρα σταθερών στροφών.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

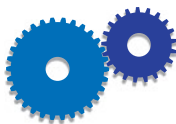
- Η κυκλοφορία του αέρα σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο διακρίνεται σε φυσική και εξαναγκασμένη. Η φυσική οφείλεται στην ιδιότητα του θερμού αέρα να ανεβαίνει προς τα επάνω και του κρύου να κατεβαίνει προς τα κάτω.
- Στον κλιματισμό δημιουργούνται πολλές παρενέργειες από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, οι οποίες, οποιοδήποτε σύστημα κλιματισμού και αν εφαρμόσουμε θα πρέπει να επιλυθούν. Πάρα πολλά προβλήματα κλιματισμού σε ένα χώρο οφείλονται στη φυσική κυκλοφορία του αέρα.
- Ο κλιματισμός ενός χώρου επιτυγχάνεται με μία εργαζόμενη μάζα αέρα που ονομάζεται πρωτεύων αέρας και οι συνθήκες του είναι διαφορετικές από τις συνθήκες του χώρου.
- Τα συστήματα κεντρικού κλιματισμού είναι τεσσάρων ειδών:
 - (α) Με TKM το οποίο μπορεί να είναι
 - (α1) το κλασικό σύστημα TKM νερού
 - (α2) ένα σύγχρονο σύστημα κλιματισμού VRV
 - (β) με πρωτεύοντα αέρα και στόμια σταθερής ρύθμισης
 - (γ) με προκλιματισμένο αέρα και TKM
 - (δ) με μεταβλητή ποσότητα αέρα (VAV).
- Το σύστημα με TKM εφαρμόζεται εκεί που δεν έχουμε σοβαρές ανάγκες σε νωπό αέρα ή που δεν έχουμε αρκετό ύψος για δίκτυο αεραγωγών. Ο καθαρισμός του αέρα του χώρου μπορεί να γίνεται με ηλεκτροστατικά φίλτρα και με φίλτρα ενεργού άνθρακα, που τοποθετούνται είτε απευθείας μέσα στις TKM είτε σε ανεξάρτητες μονάδες φίλτρων. Δεν υποκαθιστούν όμως πλήρως τον εξαερισμό επειδή δεν ανανεώνεται το οξυγόνο των κλιματιζόμενων χώρων.
- Το κεντρικό σύστημα με πρωτεύοντα αέρα και με σταθερή ρύθμιση των στομιών παρουσιάζει σοβαρό πρόβλημα στη σωστή ρύθμιση των παροχών του αέρα και των μεταβαλλόμενων αναγκών θέρμανσης ή ψύξης σε κάθε χώρο. Χρησιμοποιείται με επιτυχία μόνο σε μεγάλους χώρους. Λάθος στην παροχή του αέρα συνεπάγεται μεγάλη απόκλιση στην τελική θερμοκρασία των χώρων.

- Η παροχή του αέρα μετριέται πολύ δύσκολα και το λάθος μπορεί να είναι πολύ σημαντικό.
- Ικανοποιητική μέτρηση της παροχής του αέρα μπορεί να ληφθεί μόνο εργαστηριακά (όταν αυτό είναι δυνατόν) ή επί τόπου με σωλήνα pitot, αφού ληφθούν πολλά σημεία μέτρησης κατά συγκεκριμένες αποστάσεις. Η ταχύτητα αέρα, για να είναι αξιόπιστη μέτρηση, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 7,5 m/s και να υπάρχει αρκετή απόσταση από το τελευταίο σημείο διαταραχής της ροής (8 διάμετροι ή για ανοδικό ρεύμα αέρα 4 διάμετροι). Όσο μεγαλύτερης διατομής είναι ο αεραγωγός, τόσο πιο αξιόπιστη θα πρέπει να θεωρείται η μέτρηση.
- Το σύστημα με προκλιματισμένο αέρα και με TKM λύνει άριστα όλα τα προβλήματα των προηγούμενων δύο συστημάτων. Λειτουργεί άψογα και είναι εύκολο να επιτύχει. Το μόνο του πρόβλημα είναι ότι ο χώρος επιβαρύνεται με δύο συστήματα κλιματισμού (το ένα με σωληνώσεις και το άλλο με αεραγωγούς) αντί για ένα.
- Το σύστημα VAV αξιοποιεί πλήρως το δίκτυο των αεραγωγών που θα κατασκευαστεί χωρίς να υπάρχει ανάγκη ενός δεύτερου δικτύου από TKM. Χρησιμοποιεί ειδικά στόμια και τάμπερ για τη ρύθμιση της παροχής και χρειάζεται εξελιγμένης τεχνολογίας αυτοματισμός.
- Ο κάθε κατασκευαστής έχει το δικό του σύστημα VAV. Για να μελετηθεί ένα σύστημα VAV πρέπει πρώτα να ληφθεί απόφαση για το ποιος θα είναι ο προμηθευτής του εξοπλισμού.
- Ακόμη και στο σύστημα VAV υπάρχουν διάφορα προβλήματα, όπως το θέμα της ανανέωσης του αέρα όταν κλείσει το ειδικό στόμιο, λόγω απουσίας φορτίου κλπ. Τα προβλήματα των συστημάτων VAV αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο από τον κάθε κατασκευαστή.
- Το σύστημα VAV είναι ό,τι καλύτερο υπάρχει σήμερα για μοντέρνο και αξιόπιστο κλιματισμό χώρων.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Ποιοι είναι οι τρόποι με τους οποίους κλιματίζεται ο αέρας ενός χώρου;
2. Τι παρενέργειες μπορεί να δημιουργήσει η φυσική κυκλοφορία του αέρα;
3. Πότε δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε άλλο σύστημα εκτός από το σύστημα που διαθέτει μόνο TKM (νερού ή σύστημα VRV);
4. Μπορούμε να έχουμε σύστημα προκλιματισμένου αέρα μαζί με σύστημα VRV; Μας συμφέρει να εφαρμόσουμε κάτι τέτοιο;
5. Σας έδωσαν τη μελέτη κλιματισμού ενός κολυμβητηρίου με ύψος 7m. Διαπιστώνετε ότι είναι μόνο με TKM. Τι θα πρέπει να κάνετε; Μπορείτε να αναφέρετε περισσότερες από μία δυνατές λύσεις.
6. Ποια είναι τα μειονεκτήματα του συστήματος με πρωτεύοντα αέρα και με σταθερά στόμια;
7. Σας ζήτησαν να εκτελέσετε τη μελέτη κλιματισμού ενός ξενοδοχείου. Διαπιστώνετε όμως, μελετώντας τα σχέδια, ότι χρησιμοποιείται το σύστημα με πρωτεύοντα αέρα και με σταθερής ρύθμισης στόμια. Τι θα πρέπει να κάνετε; Μπορείτε να αναφέρετε περισσότερες από μία δυνατές λύσεις.
8. Σας ζήτησαν να κλιματίσετε ένα εργοστάσιο με αεραγωγούς που θα βρίσκονται ψηλά σε ύψος 6 μέτρων. Το σύστημα είναι μόνο με πρωτεύοντα αέρα και σταθερά στόμια, όπως διαπιστώσατε από τη μελέτη. Πιστεύετε ότι θα λειτουργήσει καλά; Αν όχι, τι προβλήματα περιμένετε ότι θα παρουσιαστούν;
9. Μπορείτε να μετρήσετε με επιτυχία την παροχή αέρα ενός στομίου που βρίσκεται αμέσως μετά από μία καμπύλη;
10. Για να μετρήσετε ικανοποιητικά την παροχή αέρα με σωλήνα pitot, σε ποιο σημείο μπορείτε να τη μετρήσετε; Μπορείτε να μετρήσετε μετά από μία καμπύλη;
11. Ποιες είναι οι προϋποθέσεις αξιόπιστης μέτρησης με σωλήνα pitot;

12. Πώς δικαιολογείτε ότι οι μετρήσεις της παροχής του αέρα θεωρούνται περισσότερο αξιόπιστες στους αεραγωγούς που έχουν μεγάλες διατομές και μικρή διάμετρο;
13. Βλέπετε να υπάρχει κάποιο σοβαρό τεχνικό πρόβλημα στο σύστημα με προκλιματισμένο αέρα και ΤΚΜ το οποίο θα αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα για την επιλογή αυτού του συστήματος;
14. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας των συστημάτων VAV;
15. Με ποιους τρόπους ρυθμίζεται η παροχή του αέρα σε ένα σύστημα VAV;
16. Μπορείτε να ζητήσετε την πλήρη και αναλυτική μελέτη ενός συστήματος VAV αν προηγουμένως δεν έχει καθοριστεί ο προμηθευτής του συστήματος;
17. Ποιο σύστημα από όλα, κατά τη γνώμη σας, είναι το πιο αξιόπιστο λειτουργικά;
18. Ποιο σύστημα είναι αυτό που εξασφαλίζει τις καταλληλότερες συνθήκες στο χώρο;
19. Με ποια κριτήρια θα επιλέγατε εσείς το κατάλληλο σύστημα κλιματισμού ενός χώρου;



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Εκτιμήσετε τα σημεία όπου θα πάρετε τις μετρήσεις με σωλήνα pitot σε έναν αεραγωγό διαστάσεων 700 x 1500 mm.
2. Ομοίως σε αεραγωγό 300 x 400 mm.
3. Ομοίως σε κυκλικό αεραγωγό διαμέτρου 600 mm.
4. Ομοίως σε κυκλικό αεραγωγό 350 mm.
5. Από το μέσο όρο των μετρήσεων που έγιναν σε αεραγωγό 700 x 1500 mm με ένα σωλήνα pitot βρέθηκε δυναμική πίεση 40 Pa. Να υπολογίσετε την ταχύτητα του αέρα και στη συνέχεια την παροχή του αέρα.
6. Από το μέσο όρο των μετρήσεων με ένα σωλήνα pitot βρέθηκε δυναμική πίεση 12 Pa. Να υπολογίσετε την ταχύτητα του αέρα. Κατά πόσο μπορείτε να θεωρείτε αξιόπιστη τη μέτρηση;

ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

ΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΦΡΕΣΚΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ



- ✓ Να ξαναθυμηθούν οι μαθητές τις βασικές έννοιες του **αυτοματισμού** όπως αυτές αναπτύχθηκαν **στη Β΄ τάξη του Α΄ κύκλου**.
- ✓ Να εξοικειωθούν με βασικά θέματα αυτοματισμού ημικεντρικών και κεντρικών μονάδων κλιματισμού.
- ✓ Να μάθουν να ανιχνεύουν συνηθισμένες βλάβες συστημάτων αυτομάτου ελέγχου των μονάδων κλιματισμού.
- ✓ Να μάθουν οι μαθητές να συντηρούν και να ρυθμίζουν τα διάφορα εξαρτήματα αυτοματισμού σε μονάδες κλιματισμού.

10-1. Ο σκοπός των συστημάτων αυτοματισμού

Σκοπός των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στον κλιματισμό είναι να εξασφαλίζουν στον κλιματιζόμενο χώρο όλους τους παράγοντες άνεσης που επιδιώκουμε με τον κλιματισμό. Δηλαδή να ελέγχουν και να κρατούν σε συγκεκριμένα όρια:

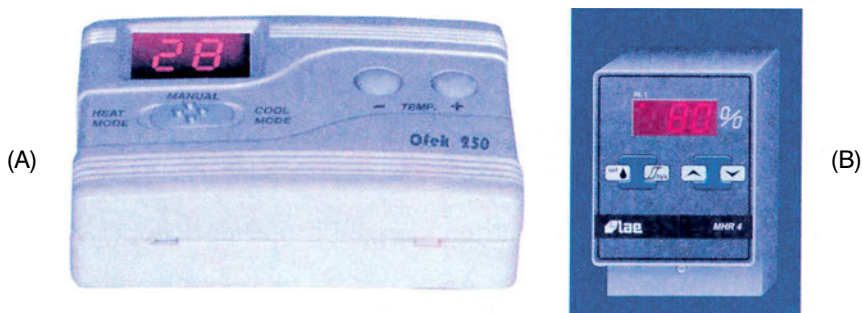
- Τη **θερμοκρασία** του χώρου.
- Τη **σχετική υγρασία**.
- Την **καθαρότητα** και την **ταχύτητα** του αέρα (ποιότητα του αέρα).

Ακόμη δεν πρέπει να παραγνωρίσουμε το σπουδαίο ρόλο των συστημάτων αυτοματισμού στην **ασφαλή και οικονομική λειτουργία** των εγκαταστάσεων κλιματισμού. Έτσι το κεντρικό σύστημα αυτοματισμού μίας εγκατάστασης κλιματισμού μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Στα συστήματα αυτοματισμού που ελέγχουν την **ψυχομετρική κατάσταση του κλιματιζόμενου χώρου**.

- 2) Στους αυτοματισμούς που **προστατεύουν** την εγκατάσταση (αυτοματισμοί προστασίας).
- 3) Στους αυτοματισμούς που εξασφαλίζουν **οικονομική λειτουργία** της εγκατάστασης.

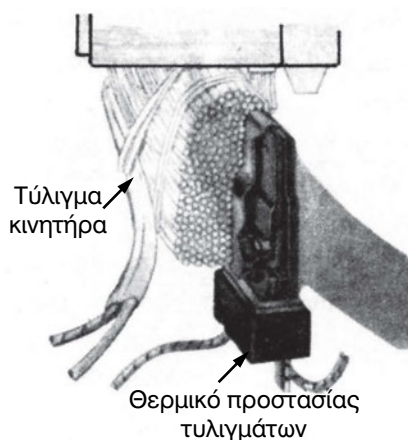
Στους αυτοματισμούς της πρώτης κατηγορίας ανήκουν τα εξαρτήματα και οι συσκευές εκείνες που ελέγχουν τη **θερμοκρασία** του κλιματιζόμενου χώρου, την **υγρασία** και την **ποιότητα** του αέρα μέσα στο χώρο (καθαρότητα, ταχύτητα κλπ). Τα **αισθητήρια** των μηχανισμών ελέγχου της ψυχομετρικής κατάστασης του κλιματιζόμενου χώρου βρίσκονται συνήθως μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο, παρακολουθούν τις μεταβολές των στοιχείων του αέρα που ελέγχουν, επεξεργάζονται τις μεταβολές και δίνουν εντολές για να γίνουν οι απαιτούμενες αλλαγές (διορθώσεις). Τα αισθητήρια είναι τις περισσότερες φορές ενσωματωμένα στους **θερμοστάτες**, **υγροστάτες** ή άλλους μηχανισμούς ελέγχου της εγκατάστασης.



Σχήμα 10-1. Α. Ψηφιακός θερμοστάτης χώρου. Β. Ψηφιακός υγροστάτης χώρου.

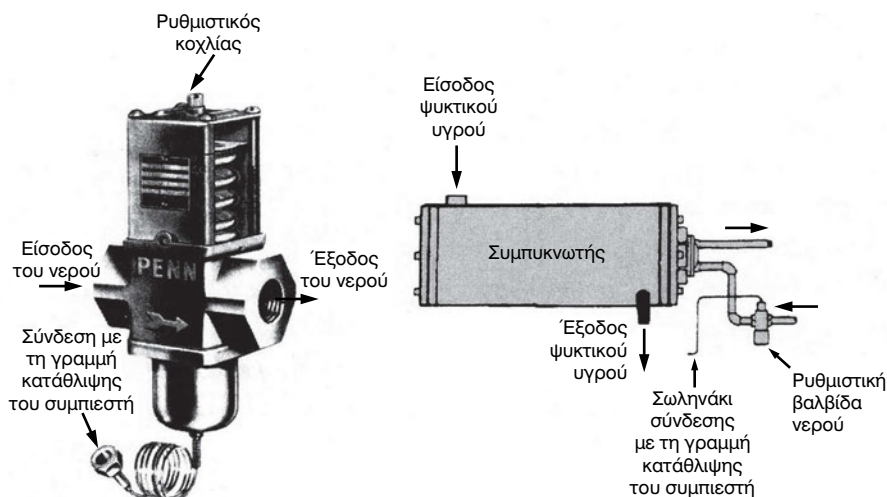
Η περιγραφή, η λειτουργία και η ρύθμιση αυτών των εξαρτημάτων έχει γίνει στο ειδικό μάθημα «ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ-ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ» που διδάχθηκε στη Β΄ τάξη του Α΄ κύκλου.

Στη δεύτερη κατηγορία αυτοματισμών ανήκουν τα εξαρτήματα και οι συσκευές που στόχος τους είναι η **προστασία** των εγκαταστάσεων κλιματισμού από την ανάπτυξη ακραίων καταστάσεων πίεσης, θερμοκρασίας, έντασης ρεύματος κ.λπ. Αντιπροσωπευτικά εξαρτήματα αυτών των αυτοματισμών είναι οι πιεζοστάτες, τα θερμικά προστασίας, οριακοί διακόπτες, αυτόματοι υπερέντασης ή έλλειψης τάσης, σταθεροποιητές τάσης κ.λπ.



Σχήμα 10-2. Θερμικό αυτόματος προστασίας του ηλεκτροκινητήρα από υπερένταση που τοποθετείται στα τυλίγματα του ηλεκτροκινητήρα.

Οι αυτοματισμοί της τρίτης κατηγορίας, δηλαδή αυτοί που τοποθετούνται στις εγκαταστάσεις κλιματισμού για την **οικονομικότερη** λειτουργία τους, είναι κυρίως μηχανισμοί εξοικονόμησης ενέργειας και είναι πολλών μορφών και κατηγοριών. Οι αυτοματισμοί αυτής της κατηγορίας μπορεί να ελέγχουν την ισχύ των συμπιεστών (capacity controls), την ποσότητα του κυκλοφορούντος νερού (άρα και την ισχύ των αντλιών νερού), την ποσότητα του αέρα προσαγωγής (την ισχύ των ανεμιστήρων) κλπ.



Σχήμα 10-3. Α. Αυτόματη βαλβίδα ρύθμισης της ποσότητας του νερού σε υδρόψυκτες εγκαταστάσεις κλιματισμού. Β. Σύνδεση της αυτόματης βαλβίδας ρύθμισης νερού σε υδρόψυκτο συμπυκνωτή.

Τα τελευταία χρόνια συζητείται πολύ η συμβολή των συστημάτων inverter στην εξοικονόμηση ενέργειας. Τα **inverter** είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενα συστήματα που μπορούν να μεταβάλλουν το **μέγεθος της συχνότητας** του ρεύματος και επομένως να μεταβάλλουν και τις στροφές του ηλεκτροκινητήρα που περιστρέφουν συμπιεστές, αντλίες ή ανεμιστήρες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αυξομείωση της ροής των ρευστών που μετακινούν τα παραπάνω εξαρτήματα μίας κλιματιστικής εγκατάστασης (ψυκτικό ρευστό, νερό, αέρας) και μπορούν έτσι να ελέγχονται οι παράγοντες εκείνοι που θα μας εξασφαλίζουν άνεση στον κλιματιζόμενο χώρο.

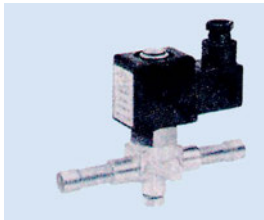
10-2. Ο έλεγχος της ροής του ρευστού

Τα συστήματα αυτοματισμού που συναντάμε στον κλιματισμό μπορούμε να τα χωρίσουμε σε τρεις ακόμη μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το ρευστό το οποίο ελέγχουν. Έτσι έχουμε αυτοματισμούς που ελέγχουν:

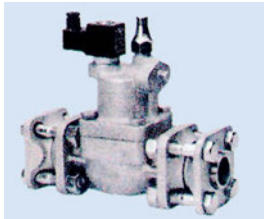
- 1) τη **ροή ψυκτικού ρευστού**.
- 2) τη **ροή νερού** (ζεστό ή κρύο).
- 3) τη **ροή του αέρα**.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα εξαρτήματα που ελέγχουν το ψυκτικό ρευστό, όπως οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες on-off, θερμοστατικές ή ηλεκτρονικές βαλβίδες κλπ., ενώ στη δεύτερη κατηγορία αυτοματισμών ανήκουν οι ηλεκτροβάνες (on-off ή προοδευτικής λειτουργίας), τρίοδες ή τετράοδες βάνες ανάμιξης, υδροστάτες κλπ.

Η **τρίοδη βάνα** ρυθμίζει τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στο στοιχείο. Συνδέεται με τους ελεγκτές (θερμοστάτη ή υγροστάτη) χώρου. Όταν η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου γίνει ικανοποιητική, η τρίοδη βάνα παίρνει εντολή από το θερμοστάτη και κλείνει τη τροφοδοσία του στοιχείου. Η τροφοδότηση του στοιχείου θα επαναληφθεί, όταν η θερμοκρασία ή η υγρασία στο χώρο πέσει κάτω ενός ορίου. Οι ενέργειες αυτές του ελεγκτή - βάνας επαναλαμβάνονται και έτσι διατηρούνται σταθερές συνθήκες στο χώρο.



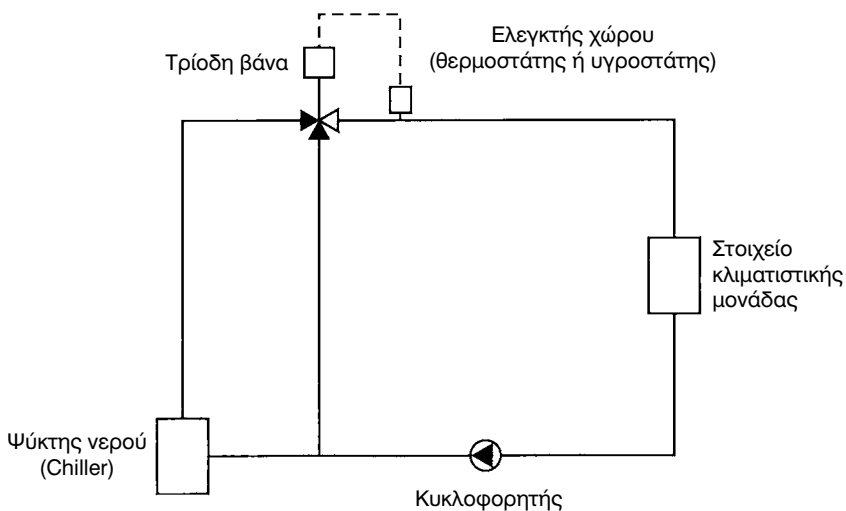
(A)



(B)

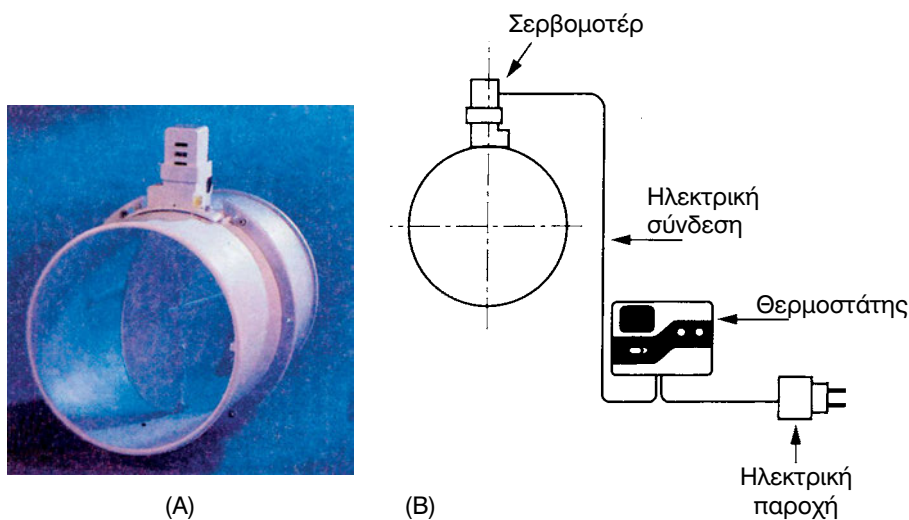
Σχήμα 10-4. Α. Δύο διαφορετικοί τύποι ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων. Β. Τρίοδη βάνα ανάμιξης.

Η **τρίοδη βάνα** ρυθμίζει τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στο στοιχείο. Συνδέεται με τους ελεγκτές (θερμοστάτη ή υγραυστάτη) χώρου. Όταν η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου γίνει ικανοποιητική, η τρίοδη βάνα παίρνει εντολή από το θερμοστάτη και κλείνει την τροφοδοσία του στοιχείου. Η τροφοδότηση του στοιχείου θα επαναληφθεί, όταν η θερμοκρασία ή η υγρασία στο χώρο πέσει κάτω ενός ορίου. Οι ενέργειες αυτές του ελεγκτή - βάνας επαναλαμβάνονται και έτσι διατηρούνται σταθερές συνθήκες στο χώρο.



Σχήμα 10.5. Τυπική εφαρμογή τρίοδης βάνας.

Στην τρίτη κατηγορία για τον έλεγχο της ποσότητας του αέρα ενός χώρου, χρησιμοποιούνται εκτός από θερμοστάτες και μικροί ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι κινούν μεταλλικά διαφράγματα αέρα (ντάμπερ) που είναι τοποθετημένα ή στους κλάδους των αεραγωγών ή στα στόμια προσαγωγής κλιματισμένου αέρα. Τα διαφράγματα κλείνουν και σταματά η παροχή αέρα προς τον κλιματιζόμενο χώρο, όταν ο θερμοστάτης χώρου «**αισθάν-
θει**» ότι η θερμοκρασία του χώρου έχει ικανοποιηθεί.



Σχήμα 10.6. Α. Ηλεκτροκίνητο διάφραγμα αέρα (ντάμπερ).

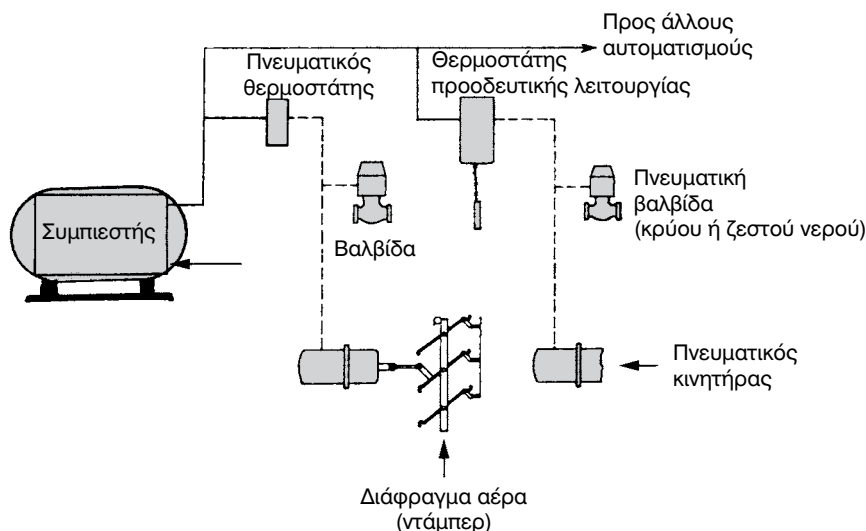
Β. Τυπική συνδεσμολογία ηλεκτροκίνητου διαφράγματος αέρα με θερμοστάτη και το σερβομοτέρ (κινητήρα).

10-3. Τα μέσα λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στον αυτόματο έλεγχο των κεντρικών μονάδων κλιματισμού διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μέσο λειτουργίας τους. Έτσι έχουμε:

- 1) Τα εξαρτήματα αυτοματισμού που λειτουργούν με **ηλεκτρικό ρεύμα** (ηλεκτρικά ηλεκτρονικά).
- 2) Τα εξαρτήματα αυτοματισμού που λειτουργούν με **ξηρό αέρα** (πνευματικοί αυτοματισμοί).
- 3) Τα εξαρτήματα αυτοματισμού **μικτού τύπου** (με ηλεκτρικό ρεύμα και ξηρό αέρα).

- 4) Τα εξαρτήματα αυτοματισμού που λειτουργούν με υδραυλική πίεση (υδραυλικοί αυτοματισμοί).



Σχήμα 10-7. Α. Σχηματική παράσταση πνευματικού αυτοματισμού κλιματιστικής μονάδας.

Τα πιο συνηθισμένα συστήματα αυτοματισμού σε μικρές και μέσες εγκαταστάσεις κλιματισμού είναι τα ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά, γιατί είναι **απλά, επισκευάζονται εύκολα** και είναι σχετικά **φθηνά**.

Στα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού, ο απαιτούμενος αέρας για τη λειτουργία τους εξασφαλίζεται από έναν **αεροσυμπιεστή**. Ο πεπιεσμένος αέρας αφού φιλτραριστεί και αφυγρανθεί διοχετεύεται στα εξαρτήματα αυτοματισμού με χαλκοσωλήνες. Η πίεση που απαιτείται για τη λειτουργία των πνευματικών εξαρτημάτων αυτοματισμού είναι περίπου 1 bar (15 psi). Τα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού προτιμούνται σε εγκαταστάσεις βιομηχανικού τύπου, στις οποίες υπάρχουν περισσότερα από δέκα εξαρτήματα αυτοματισμού.

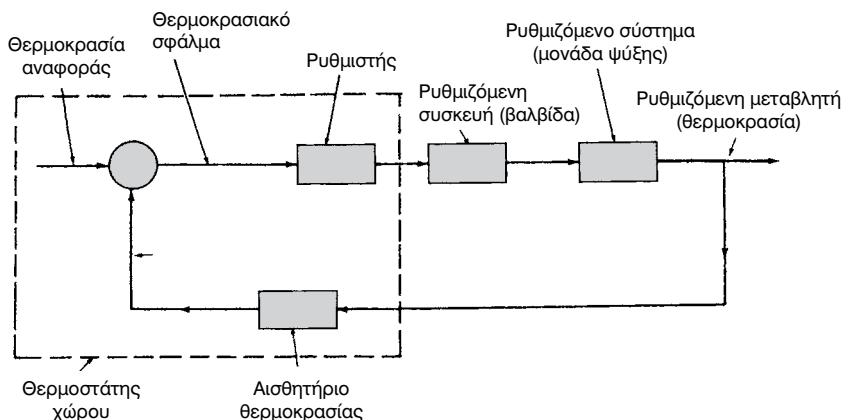
Τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται εκεί που απαιτούνται μεγάλες δυνάμεις κίνησης. Όσον αφορά τις αργές λειτουργίες τους, μοιάζουν πολύ με τα πνευματικά συστήματα. Αντί όμως για τον αεροσυμπιεστή, έχουμε το συσσωρευτή υγρού, σε υψηλή πίεση, που επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης αντλίας. Τα υγρά που χρησιμοποιούνται είναι τα υδραυλικά λάδια.

10-4. Τα τμήματα ενός συστήματος αυτοματισμού

Κάθε σύστημα αυτοματισμού αποτελείται από **τρία βασικά εξαρτήματα**, τα οποία συνδεδεμένα μεταξύ τους αρμονικά αποτελούν ένα σύνολο ελέγχου του μεταβλητού στοιχείου που θέλουμε να ελέγχουμε (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση κλπ.). Τα εξαρτήματα αυτά είναι:

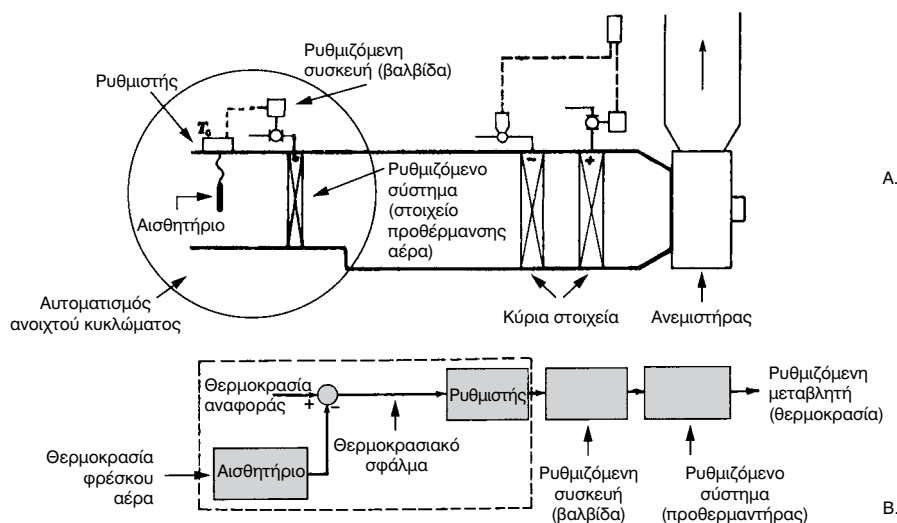
- Το **αισθητήριο** (π.χ. ο βολβός ενός θερμοστάτη, τα θερμίστορ κλπ).
- Ο **ρυθμιστής** (π.χ. ο μηχανισμός ενός θερμοστάτη πιεζοστάτη ή υδροστάτη κλπ).
- Η **συσκευή ελέγχου** που παίρνει την εντολή (π.χ. μία ηλεκτροβάννα, ένας αυτόματος διακόπτης ελέγχου λειτουργίας του συμπιεστή, ένας υγραντήρας κλπ.).

Τα **αισθητήρια** βρίσκονται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο ή στα ρευστά με τα οποία πραγματοποιείται ο κλιματισμός (ψυκτικό ρευστό, νερό ή αέρας). Οι **ρυθμιστές** μπορεί να βρίσκονται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο, όπως οι θερμοστάτες και υδροστάτες ή και εκτός αυτού. Οι ρυθμιστές συγκρίνουν τη μεταβλητή (π.χ. θερμοκρασία) με το σημείο αναφοράς (π.χ. την τιμή στην οποία έχουμε ρυθμίσει το θερμοστάτη) και δίνουν σχετικές εντολές στη ρυθμιζόμενη συσκευή ελέγχου. Οι **συσκευές ελέγχου**, που παίρνουν τις εντολές από τους ρυθμιστές για να πραγματοποιήσουν τις μεταβολές (διορθώσεις), βρίσκονται συνήθως στο μηχανοστάσιο της κλιματιστικής εγκατάστασης ή στις τερματικές μονάδες κλιματισμού.



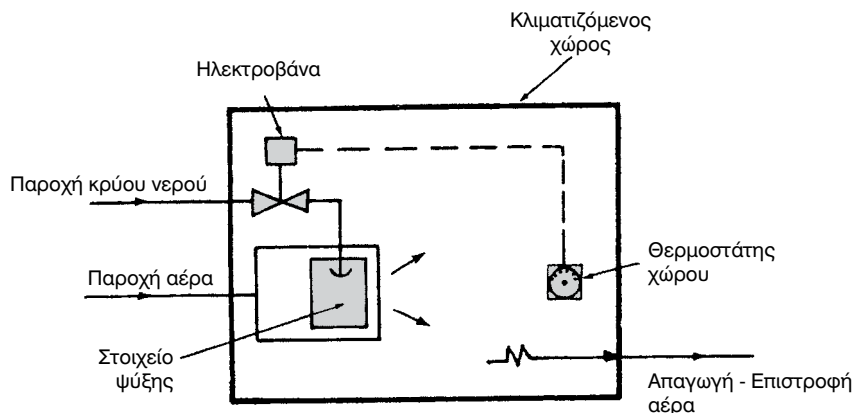
Σχήμα 10-8. Σχηματική παράσταση στοιχειώδους αυτοματισμού κλειστού κυκλώματος (κλειστού βρόγχου).

Τα συστήματα αυτοματισμού διακρίνονται σε **κλειστού και ανοιχτού κυκλώματος**. Στα **συστήματα κλειστού κυκλώματος** διατηρείται μία συνεχής επικοινωνία μεταξύ της **μεταβλητής** που θέλουμε να ελέγχουμε (π.χ. της θερμοκρασίας ενός χώρου) και του **σημείου αναφοράς** στο οποίο έχουμε ρυθμίσει το ρυθμιστή (π.χ. της θερμοκρασίας που έχουμε επιλέξει στο θερμοστάτη). Στο σχήμα 10-8 φαίνεται ένα διάγραμμα αυτόματου ελέγχου της θερμοκρασίας ενός χώρου σε διάταξη κλειστού κυκλώματος. Παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα ότι κάθε αλλαγή στη θερμοκρασία του χώρου στέλνεται πίσω στο **αισθητήριο** της θερμοκρασίας, το οποίο με τη σειρά του μεταβιβάζει το μέγεθος της **πραγματικής θερμοκρασίας** στο μηχανισμό σύγκρισης του θερμοστάτη για να συγκριθεί με τη **θερμοκρασία αναφοράς**. Συνήθως τα μεταβλητά στοιχεία που θέλουμε να ελέγχουμε σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο είναι η **θερμοκρασία, η υγρασία, οι οσμές καθώς και όλα τα υπόλοιπα ψυχομετρικά στοιχεία του αέρα**. Όμως ο έλεγχος των ψυχομετρικών στοιχείων του αέρα μπορεί να γίνεται με πολλούς τρόπους. Ανάλογα λοιπόν με τη διαδικασία ελέγχου που ταιριάζει σε κάθε περίπτωση κλιματιστικής εγκατάστασης, επιλέγονται και τα συστήματα αυτοματισμού.



Σχήμα 10-9. Α. Αυτόματος έλεγχος του στοιχείου προθέρμανσης του φρέσκου αέρα, κλιματιστικής μονάδας. Β. Διαγραμματική μορφή του ίδιου συστήματος αυτοματισμού.

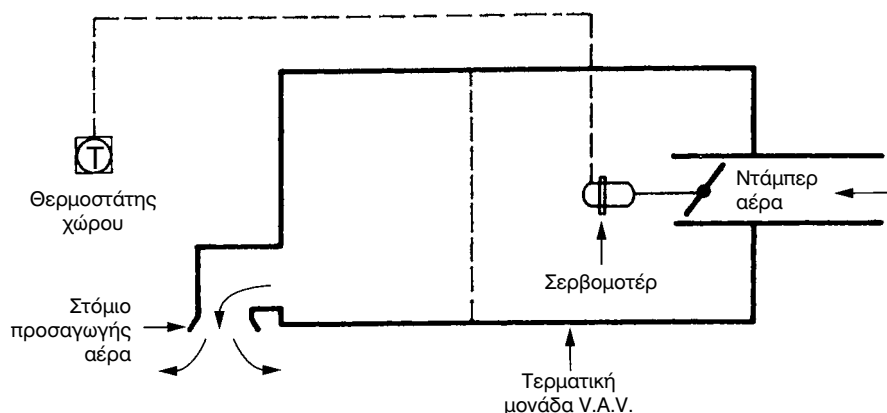
Στους αυτοματισμούς **ανοιχτού κυκλώματος** ή βρόγχου, το αισθητήριο δεν επηρεάζεται από το αποτέλεσμα που δίνει η λειτουργία της συσκευής ελέγχου (π.χ. μία ηλεκτροβάννα, ένας υγραντήρας κ.λπ.). Το αισθητήριο βρίσκεται έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο και επομένως δρα ανεξάρτητα από τις συνθήκες που διαμορφώνονται στο χώρο που θέλουμε να κλιματίσουμε. Όπως φαίνεται και στο σχήμα (10-9), το αισθητήριο του θερμοστάτη ελέγχει τη θερμοκρασία του φρέσκου αέρα και όχι του κλιματιζόμενου χώρου. Σκοπός του είναι να προστατεύει τα στοιχεία της κλιματιστικής μονάδας από παγετό. Η θερμοκρασία στην οποία έχει ρυθμιστεί ο θερμοστάτης (σημείο ή θερμοκρασία αναφοράς) είναι περίπου 2°C . Όταν το αισθητήριο αισθανθεί θερμοκρασία κάτω των 2°C , ο **ρυθμιστής** (διακόπτης του θερμοστάτη) δίνει εντολή στη συσκευή ελέγχου (ηλεκτροβάννα) να ανοίξει και να τροφοδοτήσει το θερμαντικό στοιχείο προθέρμανσης του φρέσκου αέρα με ζεστό νερό. Έτσι, ο ψυχρός αέρας περιβάλλοντος, που μπορεί να έχει θερμοκρασία κάτω από 0°C , θα φθάσει στα κύρια στοιχεία της κλιματιστικής μονάδας σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 0°C . Με τον τρόπο αυτό **προστατεύονται τα κύρια στοιχεία της κλιματιστικής μονάδας από σχηματισμό πάγου**, πράγμα που θα μπορούσε να δημιουργήσει σοβαρές ζημιές στην εγκατάσταση.



Σχήμα 10-10. Στοιχειώδης αυτοματισμός ελέγχου της θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου.

Στο σχήμα 10-10 φαίνεται ο αυτόματος έλεγχος της θερμοκρασίας ενός κλιματιζόμενου χώρου μ' ένα θερμοστάτη χώρο (αισθητήριο και ρυθμιστής) και μία ηλεκτροβάννα που ελέγχει το κρύο ή ζεστό νερό με το

οποίο τροφοδοτείται η τερματική μονάδα κλιματισμού. Το είδος αυτό του ελέγχου της θερμοκρασίας ενός κλιματιζόμενου χώρου είναι πολύ απλό στην κατασκευή του και μικρού κόστους. Δεν παρέχει όμως ικανοποιητική άνεση στο χώρο γιατί οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι συνήθως μεγάλες. Ένα άλλο αυτόματο σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας κλιματιζόμενων χώρων είναι το σύστημα που ελέγχει την ποσότητα του κλιματιζόμενου αέρα που προσάγεται στους χώρους αυτούς. Είναι οι αυτοματισμοί των συστημάτων **V.A.V.** (variable air volume) που αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου σε πολύ απλή μορφή είναι και αυτό του σχήματος (10-11).

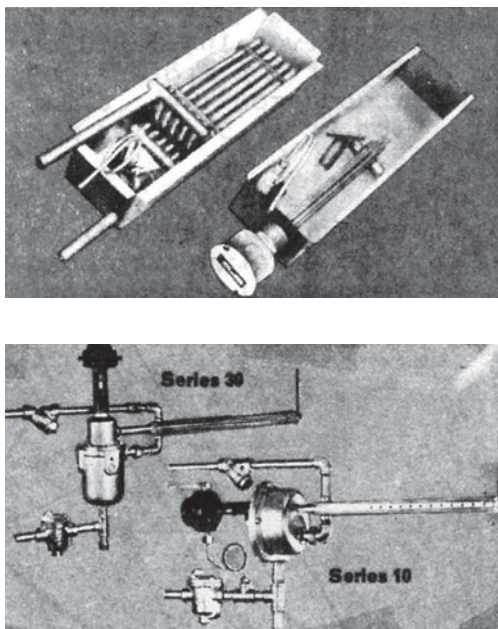


Σχήμα 10-11. Αυτόματος έλεγχος της θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου με έλεγχο της ποσότητας του αέρα προσαγωγής (σύστημα V.A.V.).

Το μεγάλο πρόβλημα στο χειμερινό κλιματισμό (θέρμανση) είναι ο έλεγχος της σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου. Ο **έλεγχος της υγρασίας** ενός κλιματιζόμενου (θερμαινόμενου) χώρου απαιτεί τρία βασικά εξαρτήματα:

- Ένα **αισθητήριο υγρασίας**, που είναι συνήθως ενσωματωμένο πάνω στον υγραροστάτη χώρο.
- Ένα **ρυθμιστή**, που στην περίπτωση μας είναι ο μηχανισμός του υγραροστάτη (διακόπτης).
- Μία **ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα** νερού ή ατμού, που ελέγχει την παροχή νερού ή ατμού στον υγραντήρα (ελεγκτής).

Ο υγροστάτης χώρου μπορεί να είναι κλασσικού τύπου on-off ή **ψηφιακός**, ενώ η ηλεκτροβάννα μπορεί να είναι on-off ή προοδευτικής λειτουργίας. Οι υγραντήρες κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μεγάλη ποικιλία. Στο σχήμα (10-12) φαίνονται μερικοί από τους κοινούς τύπους υγραντήρων που συναντάμε συνήθως σε μέσες και μεγάλες εγκαταστάσεις κλιματισμού.

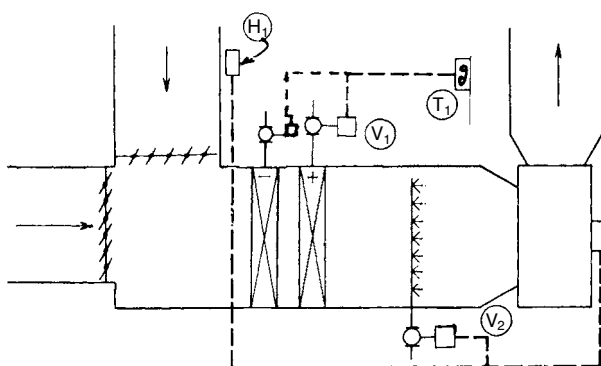


Σχήμα 10-12. Υγραντήρες διαφόρων τύπων.

Στο σχήμα 10-13 φαίνεται η σχηματική παράσταση μίας κεντρικής μονάδας κλιματισμού με αυτόματο έλεγχο της θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο. Το αισθητήριο του υγροστάτη «αισθάνεται» και παρακολουθεί κάθε αλλαγή στην υγρασία του χώρου (σχετική υγρασία). Όταν η υγρασία του χώρου στον οποίο βρίσκεται το αισθητήριο του υγροστάτη «αισθανθεί» ότι η υγρασία στον κλιματιζόμενο χώρο έχει ξεπεράσει το κατώτατο όριο στο οποίο έχει ρυθμιστεί ο υγροστάτης, ενεργοποιεί το μηχανισμό ελέγχου του υγροστάτη (H1) και αυτός με τη σειρά του δίνει εντολή στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχου του νερού (V) να ανοίξει και να τροφοδοτήσει με νερό τον υγραντήρα. Ο υγραντήρας με τη σειρά του αρχίζει να ψεκάζει νερό στο θερμαινόμενο αέρα. Η διαδικασία ύγρανσης του αέρα συνεχίζεται μέχρι που η σχετική

υγρασία του χώρου φθάσει στο επίπεδο στο οποίο έχει ρυθμισθεί ο υγροστάτης (π.χ. 50%).

Τότε αρχίζει η αντίστροφη διαδικασία. Δηλαδή το αισθητήριο υγρασίας ενεργοποιεί το μηχανισμό ελέγχου του υγροστάτη, ο υγροστάτης με τη σειρά του δίνει εντολή στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα να σταματήσει την παροχή νερού προς τον υγραντήρα και να σταματήσει έτσι η ύγρανση του αέρα. Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της κλιματιστικής μονάδας, ώστε η σχετική υγρασία του χώρου να διατηρείται πάντα μέσα στα όρια της άνεσης.

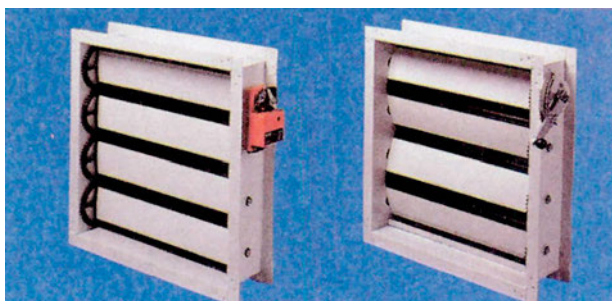


Σχήμα 10-13. Σχηματική παράσταση κεντρικής μονάδας κλιματισμού με έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

10-5. Έλεγχος του φρέσκου (ή νωπού) αέρα και του εξαερισμού

Η ανανέωση του αέρα ενός κλιματιζόμενου χώρου και ο ταυτόχρονος **εξαερισμός** του είναι ένα από τα σπουδαιότερα στοιχεία δημιουργίας συνθηκών άνεσης και υγείας των ανθρώπων που ζουν και εργάζονται στο χώρο. Στο κεφάλαιο περί ψυκτικών φορτίων, υπολογίσαμε το ψυκτικό φορτίο που προσθέτει στο χώρο ο φρέσκος αέρας που απαιτείται από κάθε περίπτωση κλιματιζόμενου χώρου. Όσο αυξάνεται το ποσό του φρέσκου αέρα τόσο αυξάνεται και το ψυκτικό φορτίο και φυσικά το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ο κλιματιζόμενος χώρος απαιτεί 100% φρέσκο αέρα (όπως στην περίπτωση μεγάλων στεγανών υαλοφρακτων κτιρίων). Σε άλλες περιπτώσεις οι απαιτήσεις σε φρέσκο αέρα είναι οι ελάχιστες (20-25%). Αν οι απαιτήσεις της εγκατάστασης

σε φρέσκο αέρα είναι σταθερές, τότε μπορούμε να ρυθμίσουμε το ποσό του φρέσκου αέρα κατά τη δοκιμαστική λειτουργία της εγκατάστασης και να λειτουργεί η εγκατάσταση μόνιμα και σταθερά με την αρχική αυτή ρύθμιση.



Σχήμα 10-14. Πολύφυλλο διαφράγματα (ντάμπερ) αέρα. Α. Κινούμενο με μικρό ηλεκτροκινητήρα (σερβομοτέρ). Β. Χειροκίνητο.

Όμως, για να εξασφαλίσουμε άνεση στο χώρο αλλά και οικονομική λειτουργία της εγκατάστασης σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας της, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα αυτόματης αυξομείωσης του ποσού του φρέσκου αέρα και του εξαερισμού, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στον κλιματιζόμενο χώρο (παρουσία CO₂, καπνός, οσμές κλπ.) ή στο περιβάλλον. Στο σχήμα (10-15) παρουσιάζεται σχηματικά ένα αυτόματο σύστημα αυξομείωσης της ποσότητας του φρέσκου αέρα σε κεντρική κλιματιστική μονάδα, **ανάλογα με την επικρατούσα θερμοκρασία περιβάλλοντος**. Η ίδια διάταξη θα μπορούσε να λειτουργήσει και για τον έλεγχο του CO₂ ή άλλων ανεπιθύμητων στοιχείων (καπνός, οσμές κλπ.) στον κλιματιζόμενο χώρο. Βέβαια σ' αυτή την περίπτωση, αντί του θερμοστάτη εξωτερικού (φρέσκου αέρα), θα υπήρχε στον κλιματιζόμενο χώρο αισθητήριο CO₂ που θα ενεργοποιούσε ανάλογα το σερβομοτέρ των ντάμπερ, για αύξηση ή ελάττωση της ποσότητας του φρέσκου αέρα και παράλληλα ανάλογη απαγωγή αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο. Το σύστημα αυτόματης ανάμιξης φρέσκου αέρα και αέρα επιστροφής του σχήματος (10-15) περιλαμβάνει:

- Ένα **αισθητήριο θερμοκρασίας** στον εισερχόμενο φρέσκο αέρα
- Ένα **θερμοστάτη**, που ενεργοποιείται από το αισθητήριο
- Έναν **ηλεκτροκινητήρα ή σερβομοτέρ**, που είναι συνδεδεμένος με τους άξονες των διαφραγμάτων (ντάμπερ) ανάμιξης φρέσκου και επιστρέφοντος αέρα.

ανάλογη αύξηση του αέρα επιστροφής. Παράλληλα όμως, έχει δοθεί εντολή και στον ηλεκτροκινητήρα ελέγχου του εξαερισμού να ανοίξει το ντάμπερ εξαερισμού σε ποσοστό ανάλογο με εκείνο του φρέσκου αέρα. Έτσι διατηρείται μία θερμοκρασία στον **αέρα ανάμιξης περίπου σταθερή**. Μ' αυτό τον τρόπο τα ψυκτικά φορτία από φρέσκο αέρα περιορίζονται και η εγκατάστασή μας λειτουργεί πιο οικονομικά. Στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία περιβάλλοντος (φρέσκου αέρα) πέσει κάτω από τη θερμοκρασία που θέλουμε στον κλιματιζόμενο χώρο (στην περίπτωση μας 26°C), σε συνεργασία και με το θερμοστάτη χώρου, η εγκατάσταση μπορεί να λειτουργεί με φρέσκο αέρα 100%. Το συγκρότημα ψύξης σταματά να λειτουργεί και έτσι ο κλιματισμός (ψύξη) του χώρου πραγματοποιείται μόνο με το φρέσκο αέρα και επομένως με μικρό κόστος.

10-6. Αυτόματος έλεγχος κεντρικής μονάδας κλιματισμού

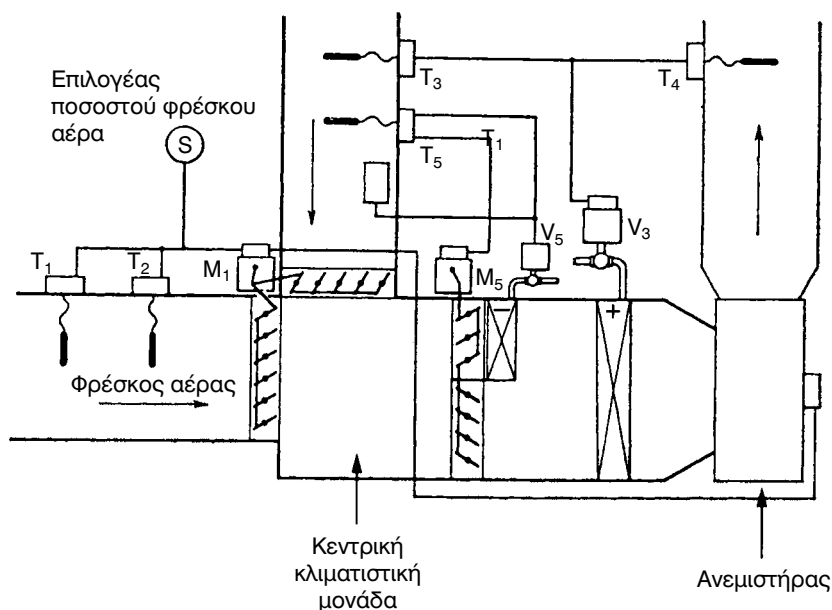
Ο αυτόματος έλεγχος των ψυχομετρικών στοιχείων του αέρα, αλλά και της ποιότητας του προσαγόμενου αέρα σ' έναν κλιματιζόμενο χώρο, γίνεται συνήθως μ' ένα συνδυασμό αυτοματισμών. Αντιπροσωπευτικοί τέτοιοι αυτοματισμοί αναπτύχθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και οι άλλοι αυτοματισμοί που αναφέρονται στο ειδικό μάθημα αυτοματισμών το οποίο διδάσκεται στον πρώτο κύκλο σπουδών των ΤΕΕ. Η αλλαγή στη λειτουργία της εγκατάστασης κλιματισμού από θέρμανση σε ψύξη και αντίστροφα μπορεί να γίνει **χειροκίνητα ή αυτόματα**. Στην περίπτωση αυτόματης αλλαγής από τη μία κατάσταση στην άλλη, ο σχεδιασμός του αυτόματου ελέγχου πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός και επιμελημένος, ώστε να αποκλείεται η ταυτόχρονη λειτουργία θέρμανσης και ψύξης που μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες καταστάσεις και αντισυμβατική λειτουργία της εγκατάστασης.

Ένα σχετικά απλό σύστημα αυτοματισμού κεντρικής μονάδας για όλο το χρόνο φαίνεται στο σχήμα 10-16. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει **έλεγχο θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και φρέσκου αέρα**.

Α. Έλεγχος του φρέσκου αέρα.

Με τον επιλογέα φρέσκου αέρα (**S**), επιλέγουμε το ποσοστό του φρέσκου αέρα που επιθυμούμε σε μία συγκεκριμένη περίπτωση κλιματισμού (πχ. 25%, 50%, 75%, ή 100%). Το ποσοστό φρέσκου αέρα που θα επιλέξουμε

(πχ. 25%) θα είναι το ελάχιστο ποσοστό στο οποίο επιτρέπεται να λειτουργεί η μονάδα. Επομένως το ποσοστό αυτό μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 100%, αλλά ποτέ δεν μπορεί να πέσει κάτω του 25%, το οποίο καλύπτει τις ανάγκες του κλιματιζόμενου χώρου σε φρέσκο αέρα. Το ποσοστό του φρέσκου αέρα και του αέρα ανακυκλοφορίας ελέγχεται από τους **θερμοστάτες (T_1) και (T_2)**. Οι θερμοστάτες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε οι εντολές προς τον ηλεκτροκινητήρα (**M_1**) και τα διαφράγματα που ελέγχει να έχουν ως αποτέλεσμα την αυξομείωση των ποσοστών φρέσκου αέρα, ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (φρέσκου αέρα). Βέβαια, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η αυτόματη αυξομείωση του φρέσκου αέρα, θα γίνεται μόνο μεταξύ των ποσοστών 25% και 100%. **Σε καμία περίπτωση το ποσοστό του φρέσκου αέρα δεν μπορεί να πέσει κάτω από το ελάχιστο όριο του 25% στο οποίο έχει ρυθμιστεί ο επιλογέας (S).**



Σχήμα 10-16. Σχηματική παράσταση αυτόματου ελέγχου κεντρικής μονάδας κλιματισμού για όλο το χρόνο.

B. Έλεγχος της θερμοκρασίας.

Ο θερμοστάτης (T_3), το αισθητήριο του οποίου είναι τοποθετημένο στον αέρα επιστροφής, ελέγχει τη βαλβίδα (V_3) παροχής ζεστού νερού (ή ατμού) προς το στοιχείο θέρμανσης κατά τη λειτουργία θέρμανσης του κλιματιζόμενου χώρου. Όταν η θερμοκρασία του αέρα επιστροφής (που είναι η θερμοκρασία του θερμαινόμενου χώρου) γίνει μικρότερη της επιθυμητής, τότε ο θερμοστάτης (T_3) δίνει εντολή στη βαλβίδα (V_3) να ανοίξει και να τροφοδοτηθεί με ζεστό νερό το στοιχείο θέρμανσης. Ο αέρας που περνά από το στοιχείο θέρμανσης θερμαίνεται και με τη βοήθεια του ανεμιστήρα προσάγεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Όταν ικανοποιηθεί η θερμοκρασία του χώρου, αρχίζει η αντίστροφη διαδικασία που κλείνει τη βαλβίδα παροχής ζεστού νερού (V_3) προς το στοιχείο θέρμανσης και σταματά την παροχή ζεστού νερού προς το στοιχείο θέρμανσης.

Ο θερμοστάτης (T_4), το αισθητήριο του οποίου βρίσκεται στον αέρα παροχής, ελέγχει επίσης τη βαλβίδα παροχής ζεστού νερού (V_3) προς το στοιχείο θέρμανσης, ανεξάρτητα από τις εντολές του θερμοστάτη (T_3). Έτσι, ο αέρας προσαγωγής που αναχωρεί από την κεντρική κλιματιστική μονάδα θα έχει πάντα τη θερμοκρασία που έχουμε επιλέξει ως ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής. Ο θερμοστάτης (T_5) ελέγχει τη βαλβίδα παροχής κρύου νερού (V_5), προς το στοιχείο ψύξης. Ο ίδιος θερμοστάτης ελέγχει παράλληλα και τον ηλεκτροκινητήρα των διαφραγμάτων (ντάμπερ) του στοιχείου ψύξης και του αέρα παράκαμψης (bypass). Όταν η κλιματιστική μονάδα λειτουργεί στο **θερινό κύκλο** (ψύξη) και η θερμοκρασία του αέρα που επιστρέφει είναι μεγαλύτερη από αυτή που έχουμε επιλέξει για τον κλιματιζόμενο χώρο (πχ. 30 °C), ο θερμοστάτης (T_5) δίνει εντολή στη βαλβίδα παροχής κρύου νερού (V_5) να ανοίξει και να τροφοδοτηθεί το στοιχείο ψύξης με κρύο νερό. Έτσι, ο αέρας που περνά από το στοιχείο ψύξης, ψύχεται και στέλνεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Όταν ικανοποιηθεί η θερμοκρασία του χώρου, αρχίζει η αντίστροφη διαδικασία για να σταματήσει η παροχή κρύου νερού προς το στοιχείο ψύξης και να σταματήσει η ψύξη του αέρα.

Γ. Έλεγχος της υγρασίας.

Για τον έλεγχο της υγρασίας τοποθετείται στον αεραγωγό επιστροφής ένας υγραστοστάτης αεραγωγού (**H**), το αισθητήριο του οποίου παρακολουθεί τη σχετική υγρασία του αέρα επιστροφής και επομένως και τη σχετική υγρασία του κλιματιζόμενου χώρου. Όταν η σχετική υγρασία του αέρα επιστροφής είναι μεγαλύτερη από το επιθυμητό όριο στο οποίο έχει ρυθμιστεί ο υγραστοστάτης (**H**), το αισθητήριο του υγραστοστάτη ενεργοποιεί το μηχανισμό του υγραστοστάτη, ο οποίος με τη σειρά του ανοίγει τελείως τη βαλβίδα παροχής κρύου νερού (**V₅**) και επιτρέπει τη μέγιστη παροχή κρύου νερού από το στοιχείο ψύξης. Έτσι προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας του αέρα που περνά από το στοιχείο ψύξης και δημιουργείται αφύγρανση του ψυχόμενου αέρα. Ο αέρας που αφυγράνθηκε (αυτός που πέρασε από το στοιχείο ψύξης) αναμιγνύεται στη συνέχεια με τον αέρα παράκαμψης (by-pass), για να προκύψει έτσι ο αέρας με τη σωστή σχετική υγρασία που θα σταλεί στη συνέχεια στον κλιματιζόμενο χώρο με τη βοήθεια του ανεμιστήρα. Όταν η σχετική υγρασία στον κλιματιζόμενο χώρο ικανοποιηθεί, αρχίζει η αντίστροφη διαδικασία για να μειωθεί η παροχή κρύου νερού προς το στοιχείο ψύξης ή και να σταματήσει τελείως η παροχή (να κλείσει τελείως η βαλβίδα παροχής κρύου νερού **V₅**). Αν από την προαναφερθείσα διαδικασία αφύγρανσης προκύψει αέρας με θερμοκρασία μικρότερη από την επιθυμητή, τότε ενεργοποιείται ο θερμοστάτης (**T₄**) που βρίσκεται στον αεραγωγό προσαγωγής κλιματισμένου αέρα, δίνει εντολή στη βαλβίδα (**V₃**) να ανοίξει και να τροφοδοτήσει με ζεστό νερό το στοιχείο θέρμανσης (αναθέρμανσης). Έτσι, ο κρύος αέρας που προέκυψε από τη διαδικασία της αφύγρανσης θερμαίνεται στη σωστή θερμοκρασία που πρέπει να έχει ο κλιματισμένος αέρας προσαγωγής και στέλνεται στον κλιματιζόμενο χώρο με τη βοήθεια του ανεμιστήρα. Παρατηρούμε στο σύστημα αυτοματισμού που αναπτύχθηκε πιο πάνω, ότι κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης μπορεί να απαιτηθεί η ταυτόχρονη παροχή κρύου και ζεστού νερού (αναθέρμανσης) στην κλιματιστική μονάδα. Βέβαια, σ' αυτές τις περιπτώσεις, είναι φανερό ότι το κόστος λειτουργίας της κλιματιστικής μονάδας ανεβαίνει σημαντικά. Από πλευράς ψυχομετρίας, τη λειτουργία αυτή την είδαμε στην παράγραφο (2-12).

10-7. Σύγχρονες τάσεις στον αυτόματο έλεγχο των εγκαταστάσεων κλιματισμού

Με την ανάπτυξη της σύγχρονης ηλεκτρονικής τεχνολογίας, είναι φυσικό ο αυτοματισμός των εγκαταστάσεων κλιματισμού να ακολουθήσει τις εξελίξεις. Έτσι, σήμερα ο αυτοματισμός των εγκαταστάσεων κλιματισμού δεν περιορίζεται μόνο στον έλεγχο των βασικών ψυχομετρικών στοιχείων του αέρα (θερμοκρασία, υγρασία, καθαρότητα), αλλά με τις απεριόριστες δυνατότητες που του δίνει η ψηφιακή τεχνολογία επεμβαίνει και σε πολλές άλλες παραμέτρους μίας εγκατάστασης κλιματισμού. Τέτοιες παράμετροι μπορεί να είναι:

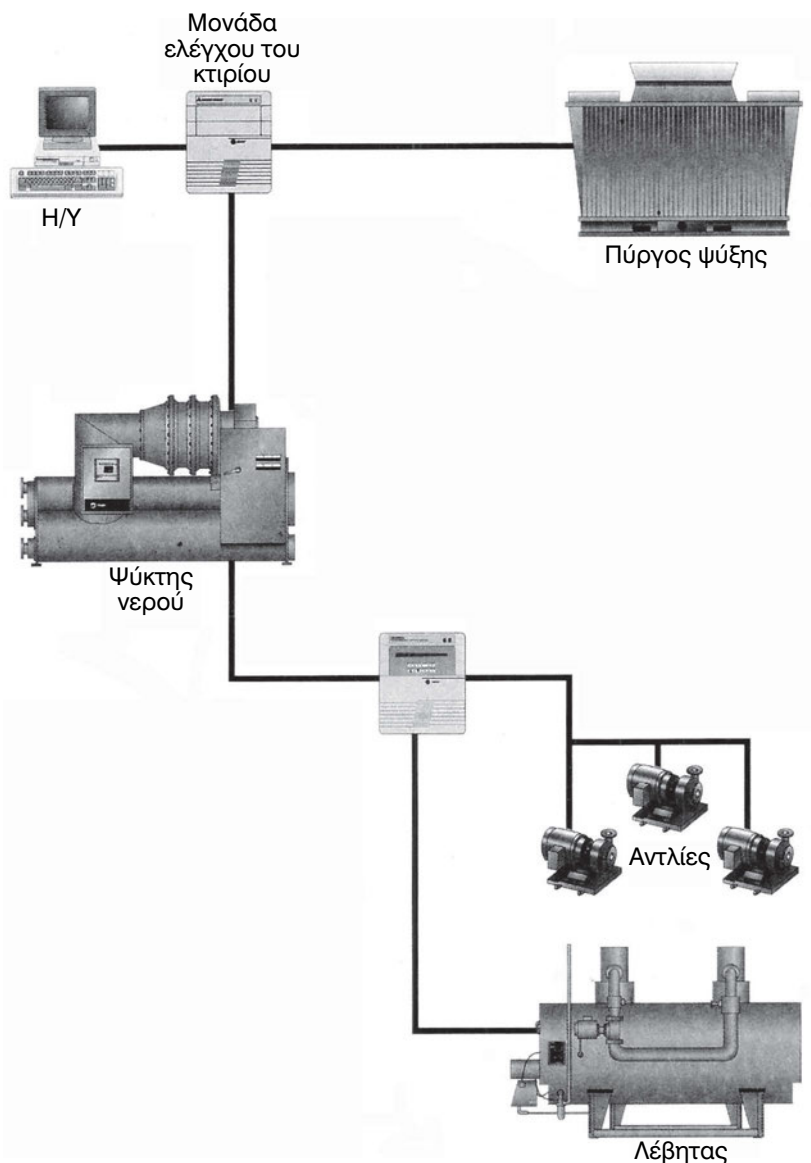
ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ
1050	Κλιματισμός	16	Ζώνες Μ/Θ
53	Ψυχροστάσιο	55	Ηλεκτροστάσιο
192	Αντλίες νερού	75	Εξαερισμός
19	Εναλλάκτες	26	Ανελκυστήρας
57	Ζώνες φωτισμού	30	Λεβητοστάσιο
51	Ζώνες FCU	319	Διάφορα σημεία
14	Ζεστό νερό χρήσης		

Σχήμα 10-17. Πίνακας από πρόγραμμα Η/Υ με αρίθμηση των ελεγχόμενων σημείων στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις κτιρίου.

- Η εξοικονόμηση ενέργειας
- Η ανά πάσα στιγμή καταγραφή της κατάστασης και των στοιχείων λειτουργίας:
 - **των συμπιεστών** (πιέσεις, θερμοκρασίες, κατανάλωση ενέργειας, εντοπισμός βλαβών κλπ.).
 - **των συμπυκνωτών** (πιέσεις, θερμοκρασίες νερού και ψυκτικού).
 - **των ψυκτών νερού** (πιέσεις, θερμοκρασίες νερού και ψυκτικού),
 - **των ανεμιστήρων** των κεντρικών μονάδων κλιματισμού (στροφές, στάθμη θορύβου, m³/s).

- **των πύργων ψύξης** (πιέσεις, θερμοκρασίες του νερού και του αέρα περιβάλλοντος, κατάσταση των ανεμιστήρων).
- **των αντλιών - κυκλοφορητών** των κυκλωμάτων νερού (πύργου ψύξης και κλιματιστικών μονάδων).
- Το μηνιαίο και ετήσιο κόστος λειτουργίας κάθε καταναλωτικής μονάδας (συμπιεστών, αντλιών, ανεμιστήρων κλπ.).
- Τα προγράμματα συντήρησης των διαφόρων τμημάτων και εξαρτημάτων όλης της εγκατάστασης.

Τα αισθητήρια που τοποθετούνται σε κάθε ένα από τα προαναφερθέντα εξαρτήματα ονομάζονται στην ψηφιακή γλώσσα και **αναλογικά όργανα εισόδου**. Τα αναλογικά όργανα εισόδου μεταφέρουν συνεχώς πληροφορίες (ηλεκτρικά σήματα) από το ελεγχόμενο σύστημα (πχ. από το συμπιεστή) προς το πλησιέστερο **σημείο συγκέντρωσης πληροφοριών (ψηφιακοί ελεγκτές ή controllers)**.



Σχήμα 10-18. Σχηματική παράσταση κεντρικού ελέγχου, μέσω H/Y, εγκατάστασης κλιματισμού.

Εκεί οι πληροφορίες επεξεργάζονται (μέσω μικροεπεξεργαστών) για να δοθούν στη συνέχεια εντολές στα **αναλογικά όργανα εξόδου** (βάνες, ντάμπερς, ηλεκτρικοί διακόπτες ισχύος κλπ.), για τις αναγκαίες διορθώσεις, ώστε να διατηρείται πάντα η καλύτερη δυνατή κατάσταση στον κλιματιζόμενο χώρο. Ολόκληρο το σύστημα ελέγχεται από H/Y και υπάρχει

αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ χρήστη (τεχνικού) και ψηφιακών ελεγκτών (controllers) ώστε να γίνονται οι αναγκαίες ρυθμίσεις στις διάφορες παραμέτρους που ελέγχει το σύστημα, ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του κλιματιζόμενου χώρου. Ο ολοκληρωμένος έλεγχος και η διαχείριση όλων των παραμέτρων της εγκατάστασης υποστηρίζεται από **ανάλογο λογισμικό**, το οποίο δίνει τη δυνατότητα έγχρωμης απεικόνισης όλων των σημείων ελέγχου και άμεσης παρακολούθησης των επεμβάσεων του χρήστη (τεχνικού), καθώς και το αποτέλεσμα των επεμβάσεών του.

Temperature Settings

Set Temperature Limits (°C)

Cooling set temperature		Heating set temperature	
Minimum	20	Minimum	18
Maximum	27	Maximum	24

Room Temperature Limits (°C)

Minimum Night	Maximum Day
15	36

Sliding Temperature (°C)

Set temperature		Outdoor temperature	
Lower	20	Lower	20
Higher	25	Higher	30

☐ No sliding temperature

Change-over temperature difference (°C) 2

OK Cancel Help

Minimum cooling set temperature

Σχήμα 10-19. Οθόνη H/Y στην οποία φαίνονται οι ρυθμίσεις θερμοκρασιών (temperature settings) στις οποίες μπορεί να επέμβει ο χρήστης (τεχνικός) για διορθώσεις.

Στο σχήμα (10-19) φαίνονται όλες οι ρυθμίσεις θερμοκρασίας που μπορεί να κάνει ο υπεύθυνος τεχνικός της εγκατάστασης μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Παρατηρούμε ότι ο τεχνικός μπορεί να ρυθμίσει τις **μέγιστες** και τις **ελάχιστες θερμοκρασίες** για χειμώνα και καλοκαίρι καθώς και να ενημερώνεται συνεχώς για τις θερμοκρασίες που επικρατούν στους διά-

φορους χώρους της εγκατάστασης. Με τον ίδιο τρόπο ο χειριστής του Η/Υ μπορεί να παρακολουθεί, να ελέγχει και να επεμβαίνει διορθωτικά σε όλες τις ελεγχόμενες παραμέτρους της κλιματιστικής εγκατάστασης αλλά και όλων των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων του κτιρίου.



Σχήμα 10-20. Ο έλεγχος των στοιχείων τερματικής μονάδας κλιματισμού, όπως εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ σε κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίων (B.M.S.).

Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης των κτιρίων (Building Management Systems) αποτελούν ξεχωριστό κλάδο της σύγχρονης ηλεκτρονικής τεχνολογίας και της πληροφορικής, που διαρκώς βελτιώνονται με την προσθήκη ελέγχου όλο και περισσότερων παραμέτρων. Το κέντρο ελέγχου όλου του συστήματος βρίσκεται μέσα στο ελεγχόμενο κτίριο, αλλά μπορεί να γίνονται επεμβάσεις και από άλλα σημεία του κτιρίου μέσω τερματικού που είναι εγκατεστημένο σε συγκεκριμένο χώρο του κτιρίου. Επίσης, μπορούμε να έχουμε **έλεγχο της κατάστασης του κτιρίου και από απόσταση** (εκτός κτιρίου ή πόλης) μέσω modem. Οι δυνατότητες που μας παρέχει το σύστημα είναι τεράστιες, χρειάζεται όμως συνεχής εκπαίδευση του προσωπικού που εμπλέκεται στη διαχείριση του κτιρίου και βαθιά γνώση όλου του συστήματος.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου που συναντάμε στις εγκαταστάσεις κλιματισμού ελέγχουν βασικά **τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ποιότητα του αέρα** στον κλιματιζόμενο χώρο.
- Υπάρχουν επίσης και συστήματα που **προστατεύουν** τις εγκαταστάσεις ή εξασφαλίζουν την **οικονομική τους** λειτουργία τα οποία δεν είναι μικρότερης σπουδαιότητας. Αντίθετα η ασφάλεια ακριβών εξαρτημάτων της εγκατάστασης, όπως οι συμπιεστές και η οικονομική λειτουργία τους, απασχολούν όλο και περισσότερο τους μελετητές και τους ιδιοκτήτες των κλιματιζόμενων κτιρίων.
- Οι αυτοματισμοί, ανάλογα με το ρευστό που ελέγχουν, διακρίνονται σε αυτοματισμούς ελέγχου της ροής του **ψυκτικού ρευστού, του νερού και του αέρα**.
- Ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μέσο λειτουργίας τους, χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Έτσι έχουμε:
 - **Ηλεκτρικούς** ή ηλεκτρονικούς αυτοματισμούς (ηλεκτρικού ρεύματος).
 - **Πνευματικούς** (ξηρού αέρα).
 - **Υδραυλικούς** (υδραυλικής πίεσης).
 - **Μικτά συστήματα** (π.χ. ηλεκτρικού ρεύματος και ξηρού αέρα).
- Κάθε σύστημα αυτοματισμού αποτελείται από τρία βασικά εξαρτήματα:
 - **Το αισθητήριο**
 - **Το ρυθμιστή.**
 - **Τη συσκευή ελέγχου.**
- Τα συστήματα αυτοματισμού διακρίνονται σε συστήματα **κλειστού και ανοιχτού** κυκλώματος.
- Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος έχουμε συνεχή “**επικοινωνία**” μεταξύ του στοιχείου που θέλουμε να ρυθμίσουμε (π.χ. θερμοκρασία ενός χώρου) και του **ρυθμιστή** (θερμοκρασία στην οποία έχουμε ρυθμίσει ένα θερμοστάτη).

- Στην περίπτωση όμως των συστημάτων ανοιχτού κυκλώματος, το αισθητήριο δεν επηρεάζεται από το αποτέλεσμα της λειτουργίας της συσκευής ελέγχου (π.χ. από τη θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου), αλλά από άλλους παράγοντες (π.χ. από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος).
- Ο αυτόματος **έλεγχος της υγρασίας** απαιτεί έναν υγραστάτη, ο οποίος περιλαμβάνει το **αισθητήριο υγρασίας**, και το **ρυθμιστή**, καθώς και τον **ελεγκτή** (υγραντήρα). Ο υγραστάτης βρίσκεται συνήθως στον κλιματιζόμενο χώρο, ενώ ο υγραντήρας στην κεντρική κλιματιστική μονάδα.
- Ο αυτόματος έλεγχος της ποσότητας του φρέσκου (νωπού) αέρα γίνεται με ειδικούς μηχανισμούς που περιλαμβάνουν:
 - **Αισθητήριο** παρουσίας στο χώρο CO₂, οσμών, κάπνας, κλπ. ή αισθητήριο θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος (φρέσκου αέρα).
 - **Ρυθμιστή** (ανάλογο με το είδος του αισθητηρίου).
 - **Συσκευή** ελέγχου (στην περίπτωσή μας τα σερβομοτέρ των διαφραγμάτων νωπού και αέρα επιστροφής καθώς και του εξαερισμού).
- Ο απαιτούμενος φρέσκος αέρας σε μία εγκατάσταση κλιματισμού μπορεί να κυμαίνεται από **25%** του ολικού όγκου του κλιματιζόμενου αέρα έως και **100%** σε ειδικές κατηγορίες κτιρίων.
- Όσο λιγότερος είναι ο όγκος του φρέσκου αέρα, τόσο πιο **οικονομικά** λειτουργεί η εγκατάσταση, αλλά και τόσο **μειώνεται η ποιότητα** του κλιματισμένου αέρα.
- Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις κλιματισμού, χρησιμοποιούνται συστήματα **προηγμένης ηλεκτρονικής τεχνολογίας** τα οποία, εκτός από τον έλεγχο των στοιχείων που αναφέρθηκαν παραπάνω (θερμοκρασία, υγρασία, καθαρότητα, κίνηση του αέρα, ποσοστό φρέσκου αέρα κλπ.), μπορούν ταυτόχρονα να καταγράφουν κάθε στιγμή **όλα τα στοιχεία και τις παραμέτρους λειτουργίας** των εξαρτημάτων (μηχανημάτων) της κλιματιστικής εγκατάστασης (πιέσεις, θερμοκρασίες, καταναλώσεις ενέργειας, εντοπισμό βλαβών, κόστος λειτουργίας κάθε κατανάλωσης, προγράμματα συντήρησης κλπ.).
- Όλο το σύστημα αυτοματισμών μιας σύγχρονης μεγάλης κλιματιστικής εγκατάστασης ελέγχεται από **κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή**, που

διαθέτει **ανάλογο λογισμικό**, μέσα από το οποίο ο υπεύθυνος τεχνικός έχει όλη την εικόνα λειτουργίας και ελέγχου της εγκατάστασης.

- Οι σύγχρονες τάσεις κατασκευής, λειτουργίας και ελέγχου των ηλεκτρο-μηχανολογικών εγκαταστάσεων των κτιρίων, δημιούργησαν τα κεντρικά συστήματα διαχείρισης κτιρίων (**Building Management Systems**) που αποτελούν έναν ξεχωριστό κλάδο της ηλεκτρονικής τεχνολογίας και της πληροφορικής.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Ποια είναι τα βασικά στοιχεία του αέρα που πρέπει να ελέγχει ένα στοιχειώδες σύστημα αυτομάτου ελέγχου στον κλιματισμό;
2. Δείξτε διαγραμματικά τη δομή και λειτουργία ενός αυτοματισμού ανοιχτού κυκλώματος.
3. Ποια είναι τα βασικά εξαρτήματα ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου της θερμοκρασίας ενός χώρου, σε κλειστό κύκλωμα (βρόγχο);
4. Σχεδιάστε στοιχειώδες διάγραμμα αυτοματισμού για τον έλεγχο της θερμοκρασίας χώρου σε κλειστό κύκλωμα και εξηγήστε τη λειτουργία του.
5. Σχεδιάστε διάγραμμα κλειστού κυκλώματος στο οποίο να φαίνονται οι διαδοχικές φάσεις αυτοματισμού για τον έλεγχο της υγρασίας ενός κλιματιζόμενου χώρου. Εξηγήστε σύντομα τη λειτουργία του.
6. Σχεδιάστε σύστημα ελέγχου της ποσότητας κλιματισμένου αέρα (V.A.V.) και εξηγήστε τη λειτουργία του.
7. Σχεδιάστε, διαγραμματικά, σύστημα ελέγχου του όγκου του φρέσκου αέρα και του εξαερισμού του κλιματιζόμενου χώρου και εξηγήστε τη λειτουργία του.
8. Σχεδιάστε, διαγραμματικά κεντρική κλιματιστική μονάδα επεξεργασίας του αέρα και τοποθετήστε αυτοματισμούς που να ελέγχουν ταυτόχρονα:
Τη θερμοκρασία.
Την υγρασία.
Τον φρέσκο αέρα.
9. Ποια βασικά εξαρτήματα του αυτοματισμού περιλαμβάνονται σ' ένα θερμοστάτη χώρου;
10. Γιατί δεν επιλέγουμε πάντα 100% φρέσκο αέρα στις εγκαταστάσεις κλιματισμού;

11. Τι εννοούμε με τον όρο **inverter** και σε ποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται στον κλιματισμό;
12. Τι εννοούμε με τον όρο **αναλογικά όργανα εισόδου** στην ψηφιακή γλώσσα των αυτοματισμών και τι με τον όρο **αναλογικά όργανα εξόδου**; Αναφέρετε σχετικά παραδείγματα.
13. Ποια είναι τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης κτιρίων (**Building Management Systems**);

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ *ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ*

ΤΕΧΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ _ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ

ΠΡΟΤΥΠΑ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΙ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ & ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ

- 1.1. ASHRAE - Fundamentals
- 1.2. ASHRAE - HVAC Systems and Equipment
- 1.3. ASHRAE - HVAC Applications
- 1.4. ASHRAE - Refrigeration
- 1.5. ASHRAE - Load Calculation Manual
- 1.6. ASHRAE - Air Conditioning Engineer's Handbook
- 1.7. J. KLOTE & J. MILKE - Smoke management
- 1.8. CARRIER - System design manual
- 1.9. TRANE - Applications Engineering Manual
- 1.10. TOUR & ANDERSSON - Balancing manuals 1,2
- 1.11. BROWN & MARCO - Introduction to heat transfer
- 1.12. D.Q.KERN - Process of heat transfer
- 1.13. A. FRAAS - Heat exchangers
- 1.14. RECKNAGEL & SPRENGER - Θέρμανση και κλιματισμός
- 1.15. EUROVENT - Directory of certified products
- 1.16. ΕΥΓΕΝΙΔΙΟ ΙΔΡΥΜΑ - Κλιματισμός
- 1.17. Ν.Α. ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗ - Σημειώσεις μηχανικής των ρευστών
- 1.18. Β.Η. ΣΕΛΛΟΥΝΤΟΣ - Θέρμανση και κλιματισμός
- 1.19. Α. ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΥ - Κλιματισμός
- 1.20. Κ. ΔΙΑΚΟΥΜΑΚΟΥ - Η απόδοση των Κεντρικών Μονάδων Κλιματισμού

2. ΠΡΟΤΥΠΑ

- 2.1. ISO-31 «Units & Symbols»
- 2.2. ISO-7345 «Thermal Insulation - Physical quantities & definitions»
- 2.3. ISO-6946 «Thermal Insulation - Calculation methods»

- 2.4. ISO-9164 «Space heating requirements for residential buildings»
- 2.5. EN-832 «Calculation of energy use for residential buildings»
- 2.6. EN-779 «Particulate Air Filters»
- 2.7. EN-1822 «Particle Air Filters»
- 2.8. EN-12097 «Ventilation for buildings»
- 2.9. ANSI ARI-410 «Air Cooling & Air Heating Coils»
- 2.10. ASHRAE 62-1989 «Ventilation for Acceptable Air Quality»

3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ & ΝΟΜΟΙ

- 3.1. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2423/86 - Κλιματισμός
- 3.2. Νόμος 16/1996 (τεχνική οδηγία ΕΟΚ 89/654) «Προδιαγραφές ασφαλείας εργασιακών χώρων»
- 3.3. Νόμος 1568/85 «Υγιεινή και Ασφάλεια Εργαζομένων»

4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

- 4.1. ASHRAE Journal
- 4.2. ΔΕΛΤΙΟ Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων-Ηλεκτρολόγων
- 4.3. ΤΕΧΝΙΚΑ
- 4.4. -20/+35

5. ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ASHRAE, No 1, SI

Copyright © 1992 by the American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. www.ashrae.org Used by permission

6. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Οι συμβολισμοί των τμημάτων των Κεντρικών Κλιματιστικών Μονάδων, που φαίνονται στο σχήμα 8.37 (σελ. 381), έχουν ληφθεί από τον αντίστοιχο τεχνικό οδηγό της εταιρίας "Χ.&Β. ΦΥΡΟΓΕΝΗΣ Α.Β.Ε."

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΤΑΙΡΕΙΩΝ

Αναφέρονται παρακάτω, κατά **αλφαβητική σειρά**, όλες οι εταιρείες που συμμετείχαν στην προσπάθεια της σύνταξης του παρόντος βιβλίου, δίνοντας την άδεια στους συγγραφείς του βιβλίου να χρησιμοποιήσουν ως πηγές διάφορα τεχνικά τους φυλλάδια, φωτογραφίες, σχήματα κλπ.

Τους εκφράζουμε τις θερμές μας ευχαριστίες.

ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ & ΥΙΟΙ Α.Ε.

ΒΙΟΣΩΛ Α.Β.Ε.

ΔΑΜΠΑΣΙΝΑΣ ΘΕΡΜΟΨΥΚΤΙΚΗ Α.Β.Ε.Ε.

ΔΡΑΚΟΣ-ΠΟΛΕΜΗΣ Α.Ε.

ΤΕΨΑ Ε.Π.Ε.

Χ.&Β. ΦΥΡΟΓΕΝΗΣ Α.Β.Ε.

ΑΑΦ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ALCO, MYL, EURO-AIR (HELCOMA)

CONDAIR (ΒΙΟΣΩΛ Α.Β.Ε.)

CARRIER (CARRIER HELLAS Α.Ε.)

DAIKIN (KLIMATAIR Α.Ε.)

HOVAL (ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΙΑ Ε.Ε.)

INTERTHERM (Γ. Ι. ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Ε.Π.Ε.)

JOHNSON CONTROLS, THIES (ΜΑΝΤΑΝΟΒΙΤΣ - ΚΑΤΣΑΡΟΣ Α.Ε.Β.Ε.)

LIEBERT (ΑΛΦΑ-ΓΚΡΙΣΙΝ INFOTECH Α.Ε.)

MICROAIR (ΖΗΣΗ Ε.Π.Ε.)

POLYKEM Α.Ε.

**SIEMENS, HVAC PRODUCTS (SIEMENS BUILDING TECHNOLOGY -
ΥΠΟΚ/ΜΑ ΕΛΛΑΔΑΣ)**

ΤΑ (TETRAGON HELLAS Ε.Π.Ε.)

TESTO (SIGMA HELLAS Ε.Π.Ε.)

TRANE (TRANE HELLAS Α.Ε.)

YORK (YORK HELLAS Α.Ε.)

WILO (WILO HELLAS Α.Β.Ε.Ε.)

ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ

Το παρόν βιβλίο προορίζεται αποκλειστικά για παιδαγωγικούς σκοπούς. Η εκμετάλλευση των πνευματικών δικαιωμάτων του παρόντος βιβλίου έχει μεταβιβαστεί από τους συγγραφείς στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο.

Εξαιρούνται ο **ψυχρομετρικός χάρτης της ASHRAE**, καθώς και οι **φωτογραφίες** και τα **σχήματα** που προέρχονται τρίτους. Επί αυτών το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο έχει μόνο την **άδεια χρήσης** τους για τις ανάγκες του παρόντος βιβλίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ.....	9
0-1. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ SI	11
0-2. Η ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΟ ΆΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	13
0-3. ΟΙ ΤΥΠΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....	14
0-4. ΟΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	15
0-5. ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΕΖΩΝ ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	16
0-6. Ο ΒΑΘΜΟΣ ΚΕΛΣΙΟΥ (°C) ΚΑΙ Ο ΒΑΘΜΟΣ ΚΕΛΒΙΝ (K)	17
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	19
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	20
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ.....	25
1-1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	27
1-2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	29
1-3. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	30
1-4. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΚΟΠΟ.....	31
1-5. ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΠΟΧΗ	32
1-6. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΝ.....	33
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	39
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑΣ	41
2-1. ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑΣ.....	45
2-2. Ο ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ.....	43
2-3. ΤΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ (ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΑ) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	48

2-4. Η ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΧΑΡΤΗ	50
2-5. ΕΞΑΣΚΗΣΗ ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΧΑΡΤΗ	52
2-6. ΟΛΙΚΗ, ΑΙΣΘΗΤΗ ΚΑΙ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.....	54
2-7. ΟΛΙΚΟ, ΑΙΣΘΗΤΟ ΚΑΙ ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΦΟΡΤΙΟ	58
2-8. ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΟΥΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	59
2-9. Ο ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (SHR Ή SHF)	60
2-10. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΜΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ (KM)	61
2-11. Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	65
2-12. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ ..	66
2-13. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ (BF)	69
2-14. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ BF	71
2-15. Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΒΑΣΕΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	71
2-16. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΑΕΡΑ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	75
2-17. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ	78
2-18. Η ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ Η ΥΓΡΑΝΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	81
2-19. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΥΓΡΑΝΣΗ	83
2-20. Η ΥΓΡΑΝΣΗ ΕΝΟΣ ΧΩΡΟΥ.....	88
2-21. ΆΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ	91
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	93
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	95
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	105
3-1. Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΝΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	108
3-2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΑΙ ΤΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	116
3-3. ΤΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	118
3-4. ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	121

3-5. Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ Ή ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	126
3-6. ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΕΙΣΟΔΟ ΨΥΧΡΟΥ ΑΕΡΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	127
3-7. Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	135
3-8. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	139
3-9. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	141
3-10. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	148
3-11. Η ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ.....	154
3-12. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	158
3-13. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ	165
3-14. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΦΩΤΑ, ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	167
3-15. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΦΩΤΑ	170
3-16. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	171
3-17. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	173
3-18. ΤΑ ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	175
3-19. Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	176
3-20. Η ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΕΝΟΣ ΧΩΡΟΥ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ .	178
3-21. ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΠΛΩΝ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ.....	180
3-22. ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ	181
3-23. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΧΩΡΟΥ	183
3-24. Ο ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ	184
3-25. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ.....	185
3-26. ΤΙ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΕΧΟΥΜΕ ΟΤΑΝ Ο ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΕ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ	190
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	192
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	194
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	197

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ	201
4-1. ΓΕΝΙΚΑ	203
4-2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΥΣ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ	204
4-3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ	209
4-4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ	215
4-5. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	216
4-6. Η ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥ ΣΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ..	221
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	223
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	225
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	227
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΤΟΜΙΑ ΑΕΡΑ	229
5-1. ΓΕΝΙΚΑ	231
5-2. ΣΤΟΜΙΑ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ	232
5-3. Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΤΟΙΧΟΥ	235
5-4. ΣΤΟΜΙΑ ΟΡΟΦΗΣ	241
5-5. Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΟΡΟΦΗΣ	244
5-6. ΣΤΟΜΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΜΙΑ ΦΡΕΣΚΟΥ ΑΕΡΑ	246
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	248
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	249
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ	251
6-1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ	253
6-2. ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ	254
6-3. ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ	255
6-4. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ	264
6-5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ ...	265
6-6. ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	268
6-7. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟ ΝΕΡΟ	269
6-8. Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ	270
6-9. Η ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΜΙΑ ΚΜ	271
6-10. Η ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΩΝ ΜΕ ΧΑΛΚΟΣΩΛΗΝΕΣ	275
6-11. Η ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ...	276
6-12. Η ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΜΕ ΑΠΛΕΣ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΝΕΣ	278
6-13. ΟΙ ΑΠΛΕΣ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΝΕΣ	279
6-14. Η ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ	281

6-15. Η ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΚΜ....	282
6-16. Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ	284
6-17. ΤΟ ΥΔΡΟΨΥΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	285
6-18. ΤΟ ΑΕΡΟΨΥΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	290
6-19. ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΜΕ ΝΕΡΟ	292
6-20. Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΨΥΧΡΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	294
6-21. Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	297
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	304
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	306
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	308
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ-ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ	311
7-1. ΠΩΣ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΕΤΑΙ Η ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	313
7-2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΙΕΠΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	316
7-3. ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΟΗΣ ΣΤΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ	320
7-4. ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΡΕΥΣΤΩΝ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΤΑ ΔΥΟ ΣΕ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	321
7-5. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	323
7-6. ΠΛΑΚΟΕΙΔΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΥΓΡΩΝ	324
7-7. ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ (ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΣΩΛΗΝΩΝ)	326
7-8. ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (COILS) ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ	330
7-9. ΟΙ ΠΛΑΚΟΕΙΔΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΑΕΡΟΣ-ΑΕΡΟΣ.....	335
7-10. ΟΙ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ.....	337
7-11. ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΑΕΡΟΣ-ΑΕΡΟΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΔΥΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	339
7-12. ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	341
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	342
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	345

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	349
8-1. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	352
8-2. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	352
8-3. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	353
8-4. ΟΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ (ΤΚΜ)	354
8-5. ΟΙ ΤΚΜ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΝΕΡΟΥ	355
8-6. ΤΚΜ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ (DX)	361
8-7. ΜΕΣΑΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....	364
8-8. ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ (ΚΚΜ Η ΑΗΥ)	370
8-9. Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΚΜ	377
8-10. ΟΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΙΑΣ ΚΜ	380
8-11. ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΜ	382
8-12. Η ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	396
8-13. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	400
8-14. ΟΙ ΚΜ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	404
8-15. ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	408
8-16. Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΜ	413
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	416
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	418
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	422
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	427
9-1. ΠΩΣ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΕΤΑΙ Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	429
9-2. Η ΦΥΣΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	430
9-3. Η ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	430
9-4. ΠΑΡΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	431
9-5. ΠΩΣ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΕΤΑΙ Ο ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΧΩΡΟΥ	432
9-6. ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	432
9-7. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	433
9-8. ΤΟ ΤΕΤΡΑΣΩΛΗΝΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΤΚΜ ΝΕΡΟΥ	436
9-9. ΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΜΟΝΟ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΟΣ ΑΕΡΑ.....	437
9-10. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	441
9-11. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΠΡΟΚΛΙΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	445
9-12. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ VAV	450

ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	458
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	460
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	462

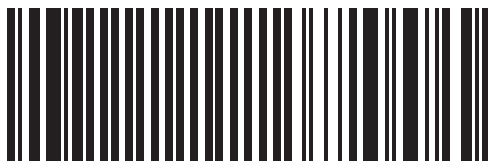
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΕΝΤΡΙΚΟ

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ.....	463
10-1. Ο ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ	465
10-2. Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ.....	468
10-3. ΤΑ ΜΕΣΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ....	470
10-4. ΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ	472
10-5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΦΡΕΣΚΟΥ (Ή ΝΩΠΟΥ) ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ	477
10-6. ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	480
10-7. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	484
ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	489
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	492
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	495

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.

Κωδικός βιβλίου: 0-24-0058
ISBN Set 978-960-06-3156-2
Τ.Β´ 978-960-06-3158-6



(01) 000000 0 24 0058 7