

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Β' ΤΑΞΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΠΑΛ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΣΕΡΡΩΝ

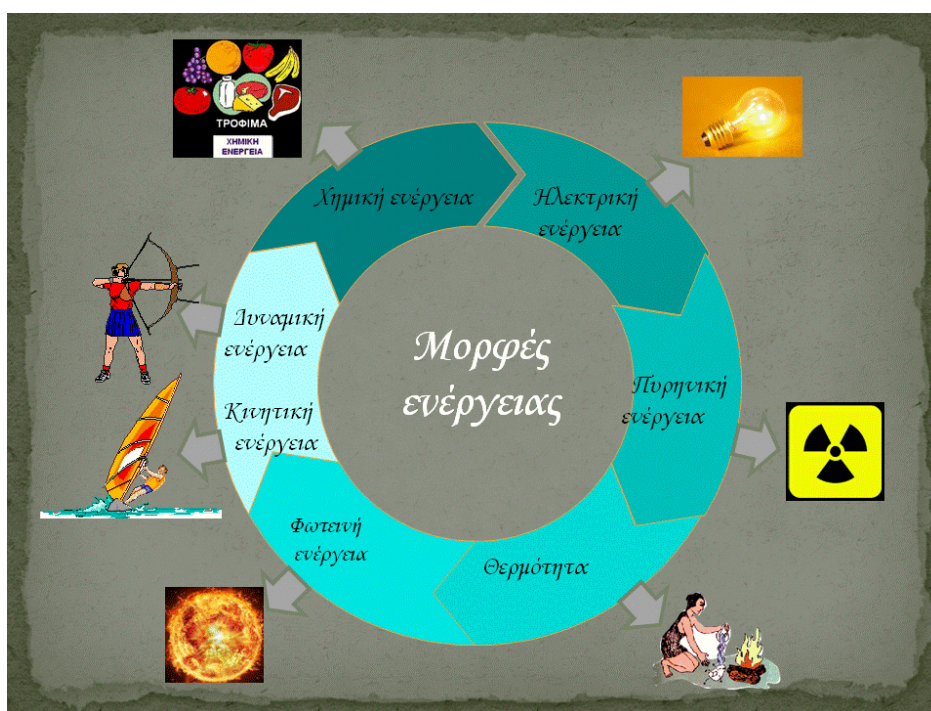
ΠΗΓΕΣ : Ν. Χονδράκης, Εγκαταστάσεις Ψύξης, Διαδίκτυο

Η **θερμοδυναμική** είναι η μελέτη της μετατροπής ενέργειας¹ σε θερμότητα² και αντίστροφα, μέσα από τη μελέτη θερμικών διεργασιών.

Με τον όρο διεργασία εννοούμε την μετάβαση από τη μια κατάσταση ενός συστήματος σε μια άλλη.

Ανάλογα με τον τρόπο που έχει αποκτηθεί, ανταλλαχθεί ή αποθηκευτεί, μπορούμε να μιλήσουμε για πολλές μορφές ενέργειας, π.χ :

1. Μηχανική ενέργεια, που συνδυάζει την κινητική και τη δυναμική.
2. Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, που συνδυάζει την ηλεκτρική και τη φωτεινή ή ενέργεια ακτινοβολίας
3. Πυρηνική ενέργεια
4. Θερμική ενέργεια
5. Χημική ενέργεια



¹ **Ενέργεια**, είναι η ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να παράγει έργο.

² Η **θερμότητα** και η **θερμοκρασία** είναι διακριτές, ωστόσο συχνά συγγεόμενες έννοιες. Η θερμοκρασία είναι καταστατικό μέγεθος, δηλαδή εξαρτάται αποκλειστικά από την κατάσταση ενός συστήματος. Αντιθέτως, η θερμότητα είναι ενέργεια που προκύπτει από τις θερμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωμάτων.

Η έννοια της θερμοκρασίας - Τι είναι θερμοκρασία;

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα μέτρο του πόσο θερμό ή ψυχρό είναι ένα σώμα

Υποκειμενική παρατήρηση: Ένα σώμα Α είναι θερμότερο ή ψυχρότερο από ένα σώμα Β.

Αρα ο ακριβής ορισμός της δεν μπορεί να στηριχθεί σε υποκειμενικά κριτήρια.

Επιπλέον, η περιοχή θερμοκρασιών που μπορούμε να αισθανθούμε είναι προφανώς πολύ περιορισμένη.

Αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της θερμοκρασίας είναι η τάση που έχει να εξισώνεται.

Για παράδειγμα, ένα φλυτζάνι με ζεστό καφέ που αφήνετε στο τραπέζι, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα κρυώσει. Αντίθετα ένα παγωμένο ποτό θα ζεσταθεί. Με άλλα λόγια, όταν δύο σώματα που αρχικά δημιουργούν διαφορετική αίσθηση θερμοκρασίας (το ένα ψυχρότερο ή θερμότερο από το άλλο) έρθουν σε επαφή μεταξύ τους, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα δημιουργούν την ίδια αίσθηση θερμοκρασίας, δηλαδή οι θερμοκρασίες τους τελικά θα εξισωθούν.

Όταν οι θερμοκρασίες εξισωθούν, λέμε ότι τα δύο σώματα βρίσκονται σε **θερμική ισορροπία** μεταξύ τους.

Θερμοκρασία ενός συστήματος είναι μια ιδιότητα η οποία καθορίζει αν το σύστημα είναι σε θερμική ισορροπία με άλλα συστήματα.

Μηδενικός νόμος της Θερμοδυναμικής

Δύο σώματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, εάν και τα δύο έχουν την ίδια τιμή θερμοκρασίας ακόμη και όταν δεν βρίσκονται μεταξύ τους σε επαφή. Η θερμοκρασία όλων των συστημάτων που θα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με ένα θερμόμετρο θα μπορεί να αναπαρασταθεί με έναν αριθμό.

Θερμοδυναμικά συστήματα - Θερμοδυναμική ισορροπία

Ένα σύστημα που δεν επηρεάζεται με κανένα τρόπο από το περιβάλλον του ονομάζεται απομονωμένο (ή μονωμένο).

Γενικά το περιβάλλον ενός συστήματος ασκεί δυνάμεις στο σύστημα.

Α. Μηχανική ισορροπία : Όταν όλες οι δυνάμεις που ασκούνται τόσο στο εσωτερικό του ιδίου του συστήματος όσο και μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντός του αλληλοεξουδετερώνονται.

Β. Χημική ισορροπία : Ένα σύστημα βρίσκεται σε χημική ισορροπία όταν η χημική του σύσταση δεν μεταβάλλεται με το πέρασμα του χρόνου.

Γ. Θερμική ισορροπία : Ένα σύστημα σε μηχανική και χημική ισορροπία λέμε ότι βρίσκεται σε θερμική ισορροπία αν οι θερμοδυναμικές συντεταγμένες του παραμένουν σταθερές, όταν αυτό βρεθεί σε επαφή με το περιβάλλον του μέσω διαθερμικού τοιχώματος. Όλα τα μέρη του συστήματος έχουν την ίδια θερμοκρασία και αυτή η θερμοκρασία είναι ίδια με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντός του.

Δ. Θερμοδυναμική ισορροπία : Όταν ένα σύστημα βρίσκεται σε μηχανική, χημική και θερμική ισορροπία τότε λέμε ότι βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία.

ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

- Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί, ούτε να καταστραφεί, μπορεί μόνο να μετατραπεί από τη μια μορφή στην άλλη.

$$\Delta U = Q - W$$

Ουσιαστικά ο πρώτος νόμος εκφράζει την αρχή της διατήρησης της ενέργειας:

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΔΕΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΑΡΑΧΘΕΙ ΟΥΤΕ ΝΑ ΚΑΤΑΣΤΡΑΦΕΙ ΑΛΛΑ ΜΟΝΟ ΝΑ ΑΛΛΑΖΕΙ ΜΟΡΦΗ.

Σε ένα κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα³, η θερμότητα Q , δηλ. η ενέργεια που μεταφέρεται σ' ένα σύστημα από το περιβάλλον λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, είναι ίση με τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος ΔU και της ενέργειας που μεταφέρεται μέσω του έργου W από το σύστημα στο περιβάλλον.

☞ Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος (§ 2-8)

Ας υποθέσουμε ότι σε μια ποσότητα αερίου προσφέρουμε θερμότητα Q .

Το αποτέλεσμα είναι αφενός να ζεσταθεί το αέριο, οπότε θ' αυξηθεί η εσωτερική ενέργεια του...

και αφετέρου το αέριο (λόγω αύξησης της πίεσης του) να μετακινήσει το έμβολο και να παράγει έργο.

Από την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας:

Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος: $Q = \Delta U + W$

- Ο δεύτερος νόμος υπαγορεύει το αδύνατο κατασκευής ενός αεικίνητου⁴.

Η θεμελιώδης εξίσωση : $\Delta U = \Delta q + W$

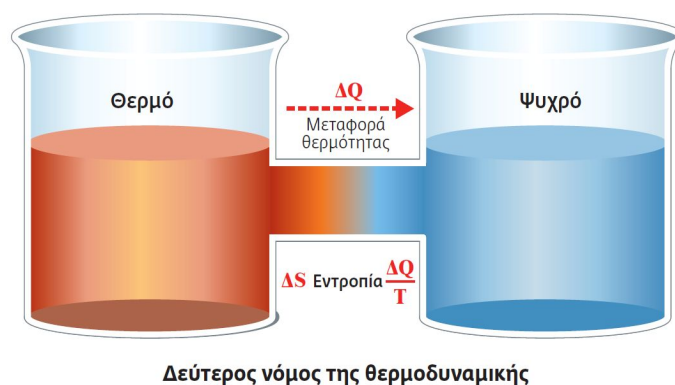
Αν δεν παράγεται μη – μηχανικό έργο τότε $W = - P \cdot dV$

Επίσης, $\Delta S = \Delta Q / T \quad \longrightarrow \quad Q = T \cdot \Delta S$

Άρα η εξίσωση γίνεται : $\Delta U = T \cdot \Delta S - P \cdot dV$

³ Στη θερμοδυναμική, ένα κλειστό σύστημα μπορεί να ανταλλάξει ενέργεια (ως θερμότητα ή έργο (φυσική)), αλλά όχι ύλη, με το περιβάλλον του.

⁴ Αεικίνητο χαρακτηρίζεται το σώμα ή ο μηχανισμός που βρίσκεται για πάντα σε κίνηση χωρίς να δαπανάται ενέργεια για να συνεχιστεί η κίνηση του ή να απαιτείται για την κίνηση κάποια εξωτερική ενεργειακή πηγή.



Ρούντολφ Κλαούζιους : είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μια συσκευή η οποία να λειτουργεί σε κύκλο και να έχει ως μοναδικό αποτέλεσμα την αφαίρεση θερμότητας από ένα σώμα σε μια θερμοκρασία και την απορρόφηση ίσης ποσότητας θερμότητας από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας.

- Ο τρίτος νόμος της θερμοδυναμικής ορίζει ότι η **εντροπία**⁵ ενός συστήματος σε απόλυτη θερμοκρασία ($T = 0 \text{ K}$) είναι μηδέν (δηλαδή $S = 0$).

Η φυσική ερμηνεία αυτού του νόμου, υποδεικνύει ότι είναι αδύνατον η θερμοκρασία ενός συστήματος να φτάσει μέσω μιας διεργασίας στο απόλυτο μηδέν της κλίμακας Κέλβιν σε πεπερασμένο αριθμό βημάτων.

Καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων.

Στη θερμοδυναμική και στη χημεία η **καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων** είναι μια εξίσωση που ισχύει σε δύο διαφορετικές καταστάσεις κάποιου ιδανικού αερίου.

Προκύπτει από τους νόμους των Μπόιλ-Μαριότ και του Γκαι-Λυσάκ και ισούται, στην πιο συνήθη μορφή της, με:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Όπου **p**: η πίεση του αερίου, **V**: ο όγκος του αερίου, **n**: ο αριθμός των γραμμομορίων του αερίου, **R**: η παγκόσμια σταθερά των αερίων με τιμή $8,314 \text{ J / mol.K}$ στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I) και **T**: η απόλυτη θερμοκρασία σε μονάδες Κέλβιν (**273 °C**).

Η καταστατική εξίσωση, όπως και οι νόμοι των αερίων, ισχύει για τα ιδανικά αέρια, όμως μπορεί να εφαρμοστεί σε καλή προσέγγιση και σε πραγματικά αέρια. Ένας μνημονικός κανόνας είναι η φράση: **ΠαΒε Να ΡωΤάς**.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΚΑΙ ΤΟ 2ο ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΞΙΩΜΑ

⁵ **ΕΝΤΡΟΠΙΑ:** Μέτρο της 'αταξίας' ενός συστήματος S (J / mol.K). Ορυκτά με απλές ατομικές δομές έχουν μικρή εντροπία, ενώ αυτά με πολύπλοκες ατομικές δομές έχουν μεγάλη εντροπία.

Στην Θερμοδυναμική το 2^ο θερμοδυναμικό αξίωμα εκφράζεται :

$$\Delta S \geq \frac{Q}{T}$$

όπου Q είναι η εισροή ή εκροή θερμότητας σε ένα κλειστό σύστημα που βρίσκεται σε απόλυτη θερμοκρασία T.

Η ισότητα ισχύει μόνο για τις ψευδοστατικές⁶ μεταβολές.

Το T.ΔS είναι ένα μέτρο της «τάξης» που χαρακτηρίζει την ενέργεια ενός συστήματος.

Σύμφωνα με αυτή τη μακροσκοπική σχέση, όταν εισρέει θερμότητα σε ένα σύστημα υπό σταθερή θερμοκρασία, η εντροπία του αυξάνεται.

Μικροσκοπικά η εντροπία δηλώνει την αταξία του συστήματος

Πώς λοιπόν $Q/T > 0$ συνεπάγεται μεγαλύτερη αταξία;

Για να εισρέει θερμότητα σε ένα σύστημα και αυτό να παραμένει σε σταθερή θερμοκρασία, θα πρέπει να αυξάνεται ο όγκος του αλλιώς θα αυξανόταν η εσωτερική του ενέργεια και επομένως η θερμοκρασία του. Η αύξηση του όγκου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του χώρου στον οποίο μπορεί να κινηθεί κάθε άτομο, πράγμα που συνεπάγεται τη μείωση των αποστάσεων μεταξύ των ενεργειακών σταθμών, ε. Αν η εσωτερική ενέργεια του συστήματος είναι αρχικά ίση με εNE, για να παραμείνει σταθερή (η θερμοκρασία είναι σταθερή), δεδομένου ότι η ε μειώνεται καθώς αυξάνεται ο όγκος, θα πρέπει να αυξηθεί το NE. Αυτό σημαίνει ότι το πλήθος των κβάντων του συστήματος αυξάνεται όταν εισρέει σε αυτό θερμότητα ενώ η θερμοκρασία του διατηρείται σταθερή. Αύξηση του πλήθους των ενεργειακών κβάντων συνεπάγεται περισσότερους συνδυασμούς για την κατανομή τους στα άτομα και επομένως μεγαλύτερη αταξία. Αυτή είναι η εξήγηση, εξετάζοντας το φαινόμενο μικροσκοπικά, για το ότι η μεταβολή της εντροπίας είναι Q/T.

Η εντροπία είναι ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της φυσικής τάσης ενός συστήματος να αποκτήσει στατιστική ισορροπία.

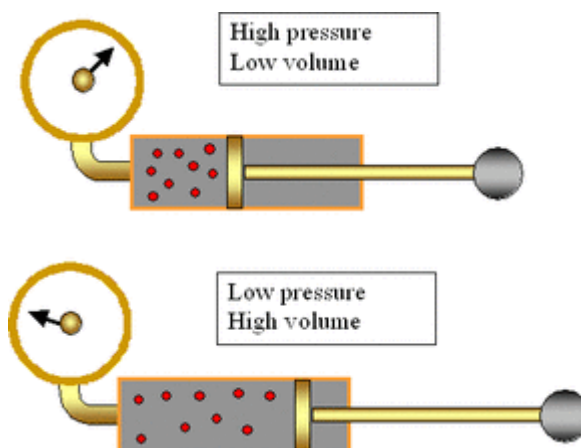
Νόμος του Μπόιλ - (Ισόθερμη μεταβολή)

⁶ Όταν μια διεργασία πραγματοποιείται κατά τέτοιον τρόπο ώστε καθ' όλη τη διάρκειά της το σύστημα να βρίσκεται απειροελάχιστα κοντά σε κατάσταση ισορροπίας η διεργασία ονομάζεται **ψευδοστατική** διεργασία. Η ψευδοστατική διεργασία μπορεί να θεωρηθεί σα μια διεργασία η οποία είναι αρκετά αργή ώστε να επιτρέπει στο σύστημα να αναπροσαρμόζεται εσωτερικά και οι ιδιότητές του σ' ένα σημείο του να μην μεταβάλλονται γρηγορότερα από ότι σε ένα άλλο σημείο του.

Ο όγκος ενός αερίου είναι **αντιστρόφως ανάλογος** της πίεσης αυτού, σε σταθερή θερμοκρασία.

Για τις μεταβολές πίεσης και θερμοκρασίας αν P_1 η αρχική πίεση του αερίου, V_1 ο αρχικός **αιδικός όγκος**⁷ του και T η σταθερή θερμοκρασία του και προκληθεί μεταβολή της πίεσης και του όγκου του σε P_2 και V_2 κατά τρόπο που η θερμοκρασία μείνει αμετάβλητη, τότε μεταξύ των παραπάνω στοιχείων του αερίου θα ισχύει η μαθηματική σχέση:

$$P_1 / P_2 = V_2 / V_1 \text{ ή και ακόμη } P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$



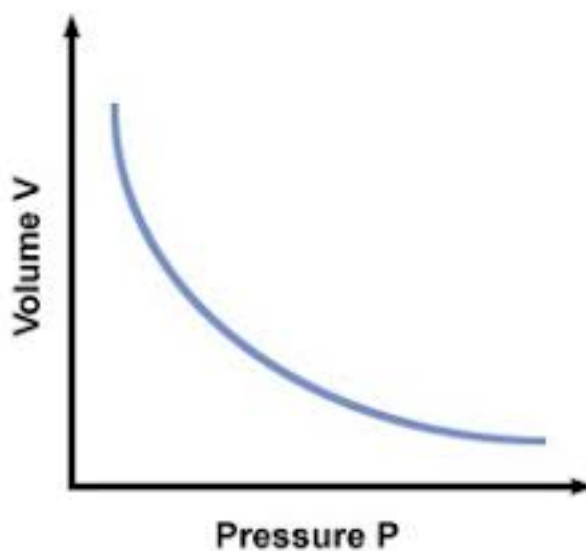
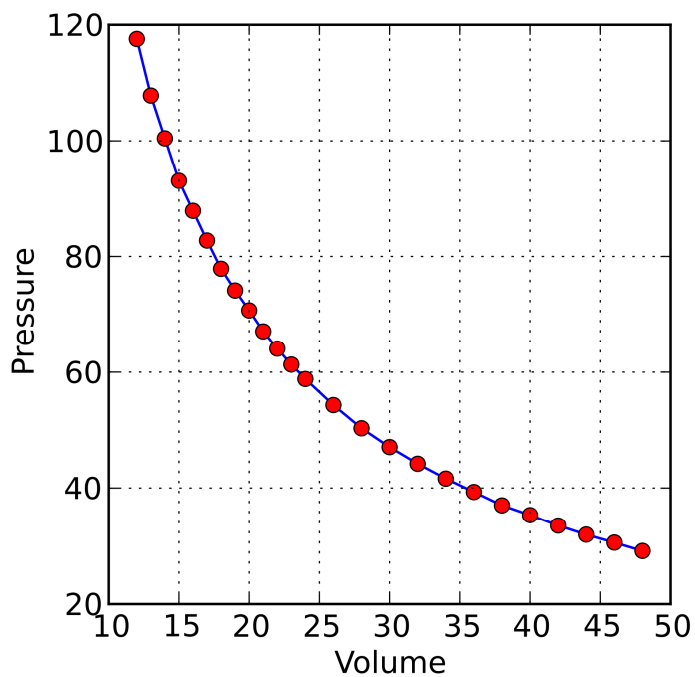
$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

P = Pressure of the gas

V = Volume of the gas

Temperature must be constant

⁷ **Ειδικός όγκος** ενός αερίου στο μετρικό σύστημα είναι ο όγκος σε m³ που καταλαμβάνει 1 kg βάρους του.



Το γινόμενο επομένως $P \cdot V$ είναι σταθερό και ισούται με $n \cdot R \cdot T$ όπου n ο αριθμός των γραμμομορίων τού αερίου και R η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων που στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I) έχει τιμή $8,314 \text{ J / mol.K}$

Νόμος Gay - Lussac (Ισοβαρής μεταβολή)

Ο νόμος της ισοβαρούς μεταβολής αναφέρει πως υπό σταθερή πίεση (P) και για ορισμένη μάζα αερίου, ο όγκος (V) είναι ανάλογος της απόλυτης θερμοκρασίας (T).

$$V / T = n.R / P = \text{σταθ.}$$

όπου n ο αριθμός των γραμμομορίων τού αερίου και R η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων που στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I) έχει τιμή 8,314 J / mol.K

Αν ορισμένη ποσότητα ιδανικού αερίου μεταβαίνει ισοβαρώς (P=σταθ.) από την θερμοδυναμική κατάσταση A (P, V₁, T₁) στην κατάσταση B (P, V₂, T₂) τότε ισχύει η σχέση:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

T = Temperature of the gas

V = Volume of the gas

Pressure must be constant

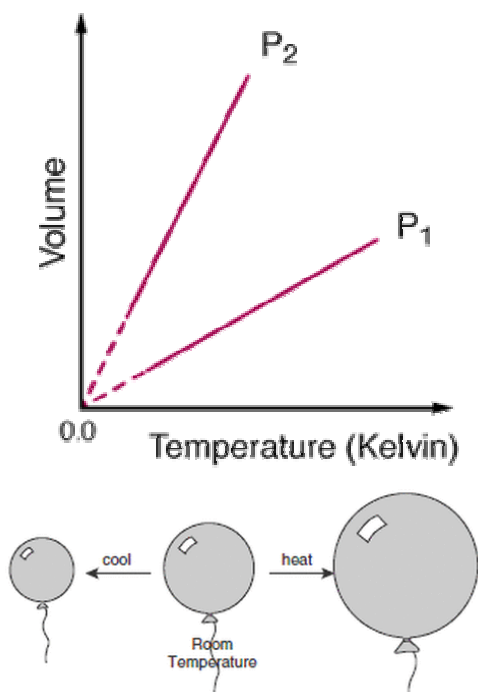
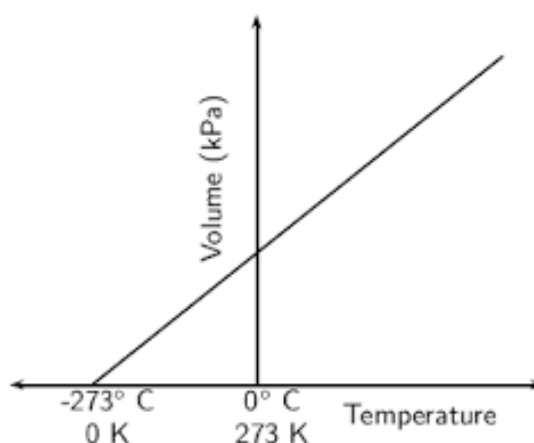
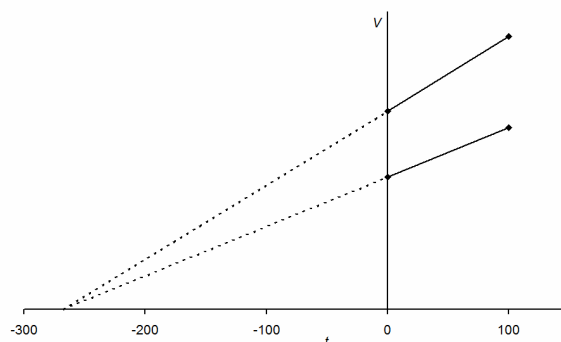


Figure 8.4 Volume–temperature relationship for gases.



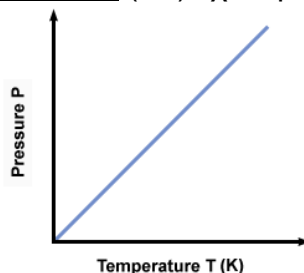
Ο νόμος του *Gay Lussac*, όπως και οι άλλοι νόμοι των αερίων, ισχύει επακριβώς για ιδανικά αέρια*. Οι νόμοι όμως μπορούν να εφαρμοστούν σαν καλή προσέγγιση και σε πραγματικά αέρια.

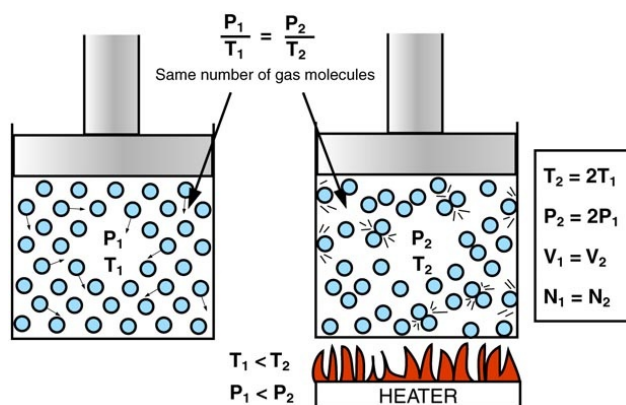
Νόμος τού Charles (Ισόχωρη μεταβολή)

Ο νόμος τού **Charles** (ή νόμος της ισόχωρης μεταβολής) λέει πως η πίεση P είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας T μιας ορισμένης ποσότητας ιδανικού αερίου, υπό την προϋπόθεση ο όγκος να είναι σταθερός ($V=\text{σταθ.}$).

$$P / T = n.R / V = \text{σταθ.}$$

όπου n ο αριθμός των γραμμομορίων τού αερίου και R η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων που στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I) έχει τιμή $8,314 \text{ J / mol.K}$





Αν ορισμένη ποσότητα ιδανικού αερίου μεταβαίνει ισόχωρα ($V = \text{σταθ.}$) από την θερμοδυναμική κατάσταση Α (P_1, V, T_1) στην κατάσταση Β (P_2, V, T_2) τότε ισχύει η σχέση:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Ο νόμος του Charles, όπως και οι άλλοι νόμοι των αερίων, ισχύει επακριβώς για ιδανικά αέρια. Οι νόμοι όμως μπορούν να εφαρμοστούν σαν καλή προσέγγιση και σε πραγματικά αέρια.⁸

Το **ιδανικό αέριο αποτελεί ένα μοντέλο, χρήσιμο για να μελετηθούν κατά προσέγγιση οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των αερίων. Σε ένα πρώτο επίπεδο, ιδανικό αέριο ονομάζεται εκείνο που επαληθεύει τους νόμους των Boyle-Mariotte και Gay-Lussac που συντίθενται σε ενιαίο νόμο υπό την μορφή της γενικής εξίσωσης γινομένων:*

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T = n \cdot R \cdot T$$

όπου

- V ο ειδικός όγκος
- T η απόλυτη θερμοκρασία
- n ο αριθμός των γραμμομορίων
- R η παγκόσμια σταθερά των αερίων
- k_B η σταθερά του Μπόλτςμαν⁹

Οι δύο μορφές της παραπάνω σχέσης είναι ισοδύναμες. Η εξίσωση αυτή ονομάζεται επίσης **εξίσωση ελαστικότητας** ή **γενική εξίσωση της κατάστασης** του αερίου και παρέχει την σχέση που συνδέει τα τρία χαρακτηριστικά στοιχεία του δηλαδή πίεση, ειδικό

⁸ **Αδιαβατική μεταβολή**, σημαίνει πως δεν υφίσταται συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και **Ισεντροπική μεταβολή**, σημαίνει πως δεν υφίσταται συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και επιπλέον είναι και αντιστρεπτή (δεν υπάρχουν εσωτερικές απώλειες).

⁹ Νόμος των Stefan - Boltzmann, : η ικανότητα ολικής εκπομπής (= ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας εκπεμπόμενη ενέργεια) ενός σώματος είναι ανάλογη προς την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας.

όγκο και θερμοκρασία του και ισχύει για οποιαδήποτε κατάσταση του αερίου εφόσον εκείνο βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία.

Οι παραδοχές που γίνονται για το ιδανικό αέριο είναι οι εξής:

- Τα μόρια που το αποτελούν είναι σημειακά και πεπερασμένης μάζας.
- Τα μόρια συγκρούονται μεταξύ τους σύμφωνα με τους νόμους κρούσης των σφαιρών.

Σε συνδυασμό με το σημειακό χαρακτήρα των σωματιδίων, αυτό σημαίνει ότι θεωρούμε τις κρούσεις πάντα μετωπικές, όπου το μόνο που μεταβάλλεται είναι το μέτρο και η φορά (όχι όμως η διεύθυνση) της ταχύτητας των σωματιδίων. Οι κρούσεις είναι ελαστικές οπότε το σύνολο της κινητικής ενέργειας των μορίων διατηρείται.

- Τα μόρια δεν αλληλεπιδρούν με κανέναν άλλο τρόπο μεταξύ τους. Δεν υπάρχουν δηλαδή, για παράδειγμα, ηλεκτρικές δυνάμεις έλξης ή άπωσης.

Τα πραγματικά αέρια αποκλίνουν από αυτό το μοντέλο, καθώς δεν είναι σημειακά, και οι κρούσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους είναι πιο περίπλοκες. Ρεαλιστικότερα μοντέλα που περιγράφουν πραγματικά (αλληλεπιδρώντα) αέρια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Φαινομενολογικά και θεωρητικά.

Παράδειγμα φαινομενολογικού μοντέλου αποτελεί η εξίσωση Van der Waals¹⁰, ενώ παράδειγμα θεωρητικού μοντέλου αποτελεί καταστατική εξίσωση Virial¹¹.

¹⁰ Δυνάμεις van der Waals είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ατόμων που συγκροτούν ένα μόριο.

¹¹ Καταστατική εξίσωση Virial : προσέγγιση στα πραγματικά αέρια.

	ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ $pV = nRT$			1 ^{ος} ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ $Q = \Delta U + W$		
	p	V	T	Q	W	ΔU
ΙΣΟΘΕΡΜΗ (ή ΑΔΥΤΡΟ-ΙΣΟΒΑΡΗ ΚΙΝΗΣΗ)	$pV = \text{σταθ.}$ (BOYLE)	$p_1V_1 = p_2V_2$	$T = \text{σταθ.}$ $\Delta T = 0$	$Q = W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} =$ $= p_1V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = p_2V_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$		0
ΙΣΟΧΩΡΗ (ή ΑΔΥΤΡΟ-ΙΣΟΒΟΛΗ ΚΙΝΗΣΗ) (ή ΑΔΥΤΡΟ-ΙΣΟΒΟΛΗ ΚΙΝΗΣΗ)	$\frac{p}{T} = \text{σταθ.}$ (CHARLES)	$V = \text{σταθ.}$ $\Delta V = 0$ $nR\Delta T = \Delta p \cdot V$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	$Q = nC_V\Delta T$	0	$\Delta U = Q = nC_V\Delta T$
ΙΣΟΒΑΡΗΣ (ή ΑΔΥΤΡΟ-ΙΣΟΒΑΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗ) (ή ΑΔΥΤΡΟ-ΙΣΟΒΑΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗ)	$p = \text{σταθ.}$ $\Delta p = 0$	$\frac{V}{T} = \text{σταθ.}$ (GAY-LUSSAC) $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$		$Q = W + \Delta U$ $Q = nC_p\Delta T$	$W = p\Delta V = nR\Delta T$ $\frac{Q}{\Delta U} = \frac{C_p}{C_V} = \gamma$ $\frac{W}{\Delta U} = \frac{C_p - C_V}{C_V} = \gamma - 1$ $\frac{Q}{W} = \frac{C_p}{C_p - C_V} = \frac{\gamma}{\gamma - 1}$	$\Delta U = nC_V\Delta T$
ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ (ή ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ) (ή ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ)	$p \cdot V^\gamma = \text{σταθ.}$ (POISSON)	$p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma$ $T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$ $p_1^{1/\gamma}T_1^\gamma = p_2^{1/\gamma}T_2^\gamma$		0	$W = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{\gamma - 1}$ $W = -\Delta U = -nC_V\Delta T$	$\Delta U = nC_V\Delta T$ $\Delta U = -W$
ΚΥΚΛΙΚΗ	—	—	$\Delta T = 0$	$Q = W = \text{Εμβαδόν κλειστού}$ $\text{στη διάγραμμα } p-V$		0
ΤΥΧΑΙΑ	$pV = nRT$ $p_1V_1 = n_1RT_1$ $p_2V_2 = n_2RT_2$	$p_2V_2 - p_1V_1 = nR\Delta T$ $p_1V_1/T_1 = p_2V_2/T_2$		$Q = \Delta U + W$ $Q = nC\Delta T$	$W = \text{Εμβαδόν}$ (στη διάγραμμα p-V)	$\Delta U = nC_V\Delta T$ (μόνο) $\frac{3}{2}nR\Delta T$ (μονοατομικά)

Ενθαλπία

Η Ενθαλπία είναι θερμοδυναμικό μέγεθος που αντιπροσωπεύει το ολικό ποσό θερμότητας που περιέχει ένα θερμοδυναμικό σύστημα.

Ειδικότερα αποτελεί το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας ενός σώματος και του γινομένου της εσωτερικής πίεσης επί του όγκου που καταλαμβάνει μια ουσία.

Το γινόμενο εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για να εκτοπίσει το σώμα το περιβάλλον του και να καταλάβει τη θέση στην οποία βρίσκεται.

$$H = U + P.V$$

Παλαιότερα αντί του όρου "ενθαλπία" χρησιμοποιούσαν ο όρος "περιεχόμενη θερμότητα".

Με τον ελληνικό όρο, διεθνή σήμερα, **Ενθαλπία** - που προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα ενθάλπω = ζεσταίνω, κρύβω μέσα μου, περιθάλπω - χαρακτηρίζεται στη Χημεία η ενέργεια που προσφέρεται κατά τη θέρμανση ουσιών και που εγκλωβίζεται στα μόριά τους ιδίως σε εκείνα των υδρατμών τους. Συνέπεια αυτού είναι ότι τα μόρια αυτά έχουν μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο από τα αρχικά μόρια. Έτσι στη γλώσσα της χημείας η ενθαλπία αποτελεί το **θερμικό περιεχόμενο** κάθε χημικού συστήματος η οποία και συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα **H**.

Η ενέργεια αυτή οφείλεται στις δυνάμεις των χημικών δεσμών που συγκρατούν τα άτομα μέσα στο μόριο, αλλά και στη κίνηση των ατόμων, των ηλεκτρονίων καθώς και του ίδιου του μορίου. Έτσι η χημική αυτή ενέργεια παραμένει εγκλωβισμένη μέσα στο μόριο που μπορεί να αποδοθεί άλλοτε εύκολα π.χ. με σπινθήρα στη βενζίνη, και άλλοτε δύσκολα.

Η ενθαλπία είναι προσδιοριστική έννοια στις χημικές αντιδράσεις.

Εσωτερική ενέργεια (U) ενός φυσικού συστήματος λέγεται η συνολική κινητική και δυναμική ενέργεια την οποία περικλείουν όλα τα μόρια του συστήματος.

Στη Θερμοδυναμική αποδεικνύεται πως όταν ένα σύστημα μεταβάλλεται έτσι, ώστε η πίεση να παραμένει σταθερή (π.χ. ισοβαρής μεταβολή ενός αερίου), η διαφορά της ενθαλπίας μεταξύ της αρχικής και τελικής καταστάσεως δίνει το ολικό ποσό θερμότητας το οποίο απορρόφησε ή απέδωσε το σύστημα κατά τη μεταβολή αυτή.

Αν η μεταβολή γίνει υπό σταθερό όγκο, τότε το ποσό αυτό της θερμότητας δίνεται από τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος.

ΙΔΑΝΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

d =πυκνότητα, N =αριθμός μορίων, N_A =αριθμός Avogadro, m =μάζα μορίου, V =όγκος αερίου,
 M =γραμμομοριακή μάζα=μάζα 1 mol σε kg, M_r =σχετική μοριακή μάζα, f =βαθμοί ελευθερίας αερίου

Πίεση: $p = \frac{1}{3} \frac{Nm}{V} \overline{v^2} = \frac{1}{3} d \cdot \overline{v^2}$,

Μέση μεταφορική κινητική ενέργεια μορίων αερίου: $\overline{K} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$ όπου $k = \frac{R}{N_A}$ = Σταθερά Boltzmann

Μέση ταχύτητα κάθε μορίου του αερίου

$$\overline{v} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_N}{N} < \sqrt{\overline{v^2}} = v_{\text{εφ}}$$

Ενεργός ταχύτητα κάθε μορίου του αερίου $\sqrt{\overline{v^2}} = v_{\text{εφ}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3P}{d}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}$

Εσωτερική ενέργεια μονοατομικού αερίου: $U = N \overline{K} = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT$, Γενικά: $U = \frac{f}{2} nRT$ με $f=3$ ή 5 ή 7

Ειδικές γραμμομοριακές θερμότητες μονοατομικού αερίου $C_p = \frac{5R}{2}$, $C_v = \frac{3R}{2}$, $C_p - C_v = R$

Γενικά πολυατομικού αερίου: $C_p - C_v = R$, $C_v = \frac{f}{2} \cdot R$, $C_p = \frac{f+2}{2} \cdot R$ με $f=3$ ή 5 ή 7

Αδιαβατικός συντελεστής μονοατομικού αερίου: $\gamma = \frac{5}{3} = \frac{C_p}{C_v}$. Γενικά: $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{f+2}{f}$ με $f=3$ ή 5 ή 7

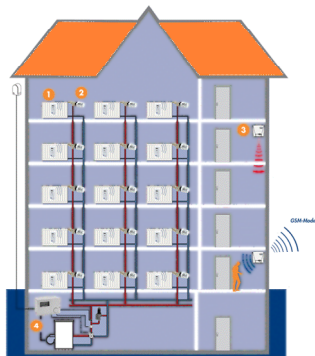
$C_p = \gamma C_v$, $C_p = C_v + R$ άρα: $C_v = \frac{R}{\gamma - 1}$ και $C_p = \frac{\gamma \cdot R}{\gamma - 1}$

Αριθμός moles: $n = \frac{m_{\text{αερίου}}}{M} = \frac{N}{N_A} = \frac{V_{\text{αερίου}}}{V_{\text{mol}}}$, $m_{\text{αερίου}} = Nm$, $M = N_A m$, $M = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$

ΙΣΟΘΕΡΜΗ T =σταθερή Για n =σταθ. ισχύει ο Νόμος Boyle: PV =σταθερό $P_A V_A = P_B V_B$			
ΙΣΟΒΑΡΗΣ P =σταθερή, Για n =σταθ. ισχύει: $\frac{V}{T}$ =σταθερό $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$ (N. Gay-Lussac)			
ΙΣΟΧΩΡΗ V =σταθερή, για n =σταθ: $\frac{P}{T}$ =σταθερό $\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B}$ (N. Charles)			
ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ Για n =σταθ.: Νόμος Poisson PV^γ =σταθ $P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma$ ή $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$			

Εφαρμογές Θερμοδυναμικής

ΘΕΡΜΑΝΣΗ



ΛΕΒΗΤΕΣ

Γενικά για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους του κτιρίου απαιτείται μία πηγή παραγωγής θερμότητας. Ο συνηθέστερος τρόπος παραγωγής θερμότητας είναι η καύση στερεών, υγρών ή αερίων καυσίμων στο λέβητα της κεντρικής εγκατάστασης.

Οι λέβητες που χρησιμοποιούνται σύμφωνα με την Τ.Ο.ΤΕΕ 2412/2 προορίζονται για τη θέρμανση νερού μέχρι θερμοκρασίας 110 °C και πίεση λειτουργίας μέχρι 6 bar.

Σε δίκτυα που λειτουργούν με ατμό ή νερό θερμοκρασίας > 110 °C ή άλλα υγρά (π.χ. λάδι) προβλέπονται ειδικοί λέβητες που ξεφεύγουν από τα όρια του παρόντος βιβλίου.

Τα βασικά μέρη ενός λέβητα είναι ο **θάλαμος καύσης** (ή θερμαντήρας) και ο **υδροθάλαμος**. Ο θάλαμος καύσης αποτελείται από το σύστημα παροχής και ανάμματος του καυσίμου (καυστήρας), τον **φλογοθάλαμο**, τους **φλογοαυλούς**, τον **καπνοθάλαμο** και τον **καπναγωγό**.

Διάκριση λεβήτων

Οι λέβητες ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους διακρίνονται σε:

- χυτοσιδηρούς (ή μαντεμένιους) και
- χαλύβδινους (ή συγκολλητούς)

Οι λέβητες ανάλογα με τη θερμική τους ισχύ διακρίνονται σε:

- Μικρούς λέβητες, όταν η θερμική ισχύς τους είναι κατώτερη των 60 kW (52.000 kcal/h)
- Μεσαίου μεγέθους λέβητες, όταν η θερμική ισχύς τους κυμαίνεται από 60 kW έως 350 kW (52.000 - 300.000 kcal/h)
- Μεγάλους λέβητες, όταν η θερμική ισχύς τους είναι μεγαλύτερη των 350 kW (300.000 kcal/h)

Σε πολλές περιπτώσεις το μέγεθος ή η θερμική ισχύς των λεβήτων, αναφέρεται σε τετραγωνικά μέτρα (m²) θερμαινόμενης επιφάνειας συναλλαγής του καυσαερίου με το νερό.

Σ' αυτές τις περιπτώσεις, σε συνδυασμό με το βαθμό απόδοσης και την παραδοχή ότι κάθε 1 m² θερμαινόμενης επιφάνειας αποδίδει περίπου 10.000 kcal/h, προκύπτει η θερμική ισχύς. Για παράδειγμα, λέβητας με θερμαινόμενη επιφάνεια 5 m² και βαθμό απόδοσης 0,90 αποδίδει θερμική ισχύ: $5 \cdot 0,9 \times 10.000 = 45.000 \text{ kcal/h}$

Σύγκριση χυτοσιδηρών και χαλύβδινων λεβήτων

Τα πλεονεκτήματα των χαλύβδινων λεβήτων είναι τα παρακάτω:

- Μικρό βάρος
- Δυνατότητα επισκευής με συγκόλληση
- Μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις
- Μικρή ευαισθησία στην έλλειψη νερού και στην παρουσία λεβητόλιθου

Τα πλεονεκτήματα των χυτοσιδηρών λεβήτων είναι τα παρακάτω:

- Μικρός όγκος
- Μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση και επομένως παράταση της ζωής τους
- Εύκολη μεταφορά και συναρμολόγηση μέσα στο λεβητοστάσιο
- Επειδή αποτελούνται από τυποποιημένα τεμάχια, μπορούμε εύκολα να προσθέσουμε τεμάχια για αύξηση της θερμικής ισχύος ή να αντικαταστήσουμε τα φθαρμένα τεμάχια.

Βαθμός απόδοσης - συντήρηση λεβήτων

Ο βαθμός απόδοσης αναφέρεται σε εργαστηριακές συνθήκες λειτουργίας. Προϋποθέτουν δηλαδή καύσιμα καλής ποιότητας, σωστές ρυθμίσεις, καλή κατάσταση και ικανοποιητική καθαρότητα των επιφανειών που μετέχουν στην συναλλαγή θερμότητας και την σωστή παροχή νερού στο λέβητα.

Ο μελετητής θα πρέπει να έχει υπόψη τις παραπάνω συνθήκες - που σπάνια τηρούνται στις αληθινές εγκαταστάσεις - στην τελική επιλογή του μοντέλου του λέβητα. Η συντήρηση των λεβήτων (ετήσια ή μηνιαία σε μεγάλες εγκαταστάσεις) έχει σαν βασικό στόχο τον καθαρισμό των θερμαινόμενων επιφανειών από την αιθάλη (κάπνα) που σχηματίζεται κατά την λειτουργία του λέβητα.

Παράλληλα η ρύθμιση της καύσης με ειδικά όργανα, επιτυγχάνει ώστε ο βαθμός απόδοσης του λέβητα να πλησιάζει τον ονομαστικό βαθμό απόδοσης.

Ηλεκτρικός πίνακας λειτουργίας

Οι σύγχρονοι λέβητες διαθέτουν ενσωματωμένους ηλεκτρικούς πίνακες ελέγχου και αυτοματισμού. Έτσι απλοποιείται η ηλεκτρική τους εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία.

Σε μικρούς λέβητες αρκεί η σύνδεση τους στο δίκτυο των 230 V και η ηλεκτρική σύνδεση των θερμοστατών με τον κυκλοφορητή.



Χυτοσιδηροί λέβητες

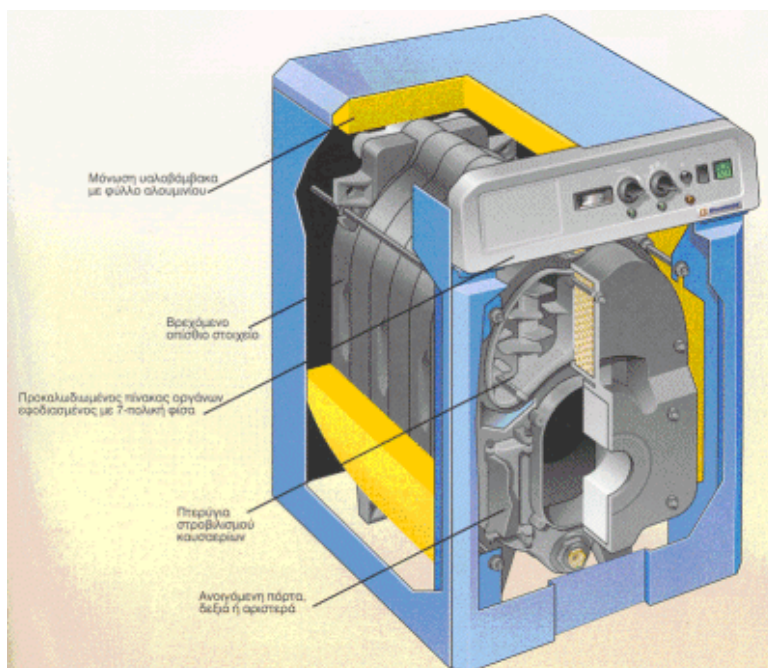
Οι χυτοσιδηροί λέβητες κατασκευάζονται από συναρμολογημένα χυτά τεμάχια, τα οποία συναρμολογούνται με αυστηρές προδιαγραφές για να δημιουργήσουν τον στεγανό υδροθάλαμο και το θάλαμο καύσης.

Τα χυτά τεμάχια (ή στοιχεία) κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο GG20 πάχους συνήθως 7 mm, ανθεκτικό σε διάβρωση, με καθαρή επιφάνεια χυτού και χαμηλό ποσοστό φωσφόρου. Η επιφάνεια των στοιχείων που έρχεται σε επαφή με το νερό περιλαμβάνει πτερύγια για την αύξηση της θερμικής συναλλαγής καυσαερίων-νερού.

Τα στοιχεία συναρμολογούνται μεταξύ τους με δύο κωνικά νίπελ.

Για μικρούς και μεσαίους λέβητες η συναρμολόγηση γίνεται στο εργοστάσιο κατασκευής τους. Για μεγαλύτερους λέβητες τα στοιχεία μεταφέρονται και συναρμολογούνται στο χώρο του λεβητοστασίου.

Ο συναρμολογημένος λέβητας δοκιμάζεται σε πίεση 6 bar με νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και 4,5 bar με νερό θερμοκρασίας 110 °C.



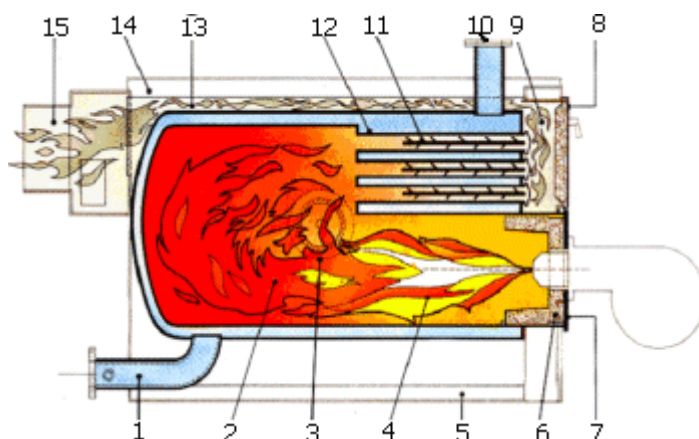
Χαλύβδινοι λέβητες

Οι χαλύβδινοι λέβητες κατασκευάζονται με συγκόλληση προδιαμορφωμένων χαλυβδοελασμάτων (λαμαρίνων) και σωλήνων (τούμπα) στο εργαστάσιο κατασκευής τους και παραδίδονται σε ενιαία σύνολα.

Για πολύ μεγάλους λέβητες παραδίδονται και σε τεμάχια τα οποία συγκολλούνται από ειδικούς τεχνίτες του εργαστασίου κατασκευής τους στο χώρο του λεβητοστασίου.

Ανάλογα με τη μορφή του φλογοθαλάμου και του υδροθαλάμου, επομένως και της διαδρομής των καυσαερίων, οι χαλύβδινοι λέβητες διακρίνονται σε **αεριοαυλωτούς** και **υδροαυλωτούς**. Εάν δηλαδή τα καυσαέρια οδεύουν προς την καπνοδόχο μέσα σε αυλούς (σωλήνες) που περιβάλλονται από νερό τότε έχουμε τους αεριοαυλωτούς λέβητες.

Εάν μέσα από τους αυλούς κυκλοφορεί το νερό και γύρω από τους αυλούς κινούνται τα καυσαέρια τότε έχουμε τους υδροαυλωτούς λέβητες.



Τεχνικά στοιχεία

- Τα όρια της ονομαστικής απόδοσης ισχύος (Q_{min} και Q_{max}) σε kW ή kcal/h ή Btu/h.
- Η μονάδα μέτρησης επιλέγεται από την αναπτυσσόμενη λίστα στη γραμμή εργαλείων.
- Οι εξωτερικές διαστάσεις Ύψος x Μήκος x Πλάτος (H, L, W) σε mm
- Η διάμετρος του στομίου της καπνοδόχου (R) σε mm.
- Οι ονομαστικές διαμέτροι (D_{in} και D_{out}) της εισόδου και εξόδου του νερού αντίστοιχα, σε ίντσες ή DN.
- Το βάρος (χωρίς νερό) σε kg.
- Ο όγκος του νερού σε lit.
- Η πτώση πίεσης του νερού (Δp) σε mmWS.
- Τα όρια της παροχής του πετρελαίου (W_{min} και W_{max}) σε kg/h.

Καυστήρες

Η βασική διάκριση των καυστήρων βασίζεται στο είδος του καυσίμου για το οποίο προορίζεται. Στην αγορά συναντάμε:

- Καυστήρες κονιοποιημένων στερεών
- Καυστήρες υγρών καυσίμων
- Καυστήρες αερίων καυσίμων
- Μεικτοί καυστήρες (υγρών και αερίων καυσίμων, εναλλακτικά)

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας οι καυστήρες διακρίνονται σε:

- Καυστήρες **μονοβάθμιοι**. Η παροχή του ατμοσφαιρικού αέρα και του καυσίμου είναι σταθερή κατά την διάρκεια λειτουργίας.
- Καυστήρες **πολυβάθμιοι**. Η παροχή του ατμοσφαιρικού αέρα και του καυσίμου μεταβάλλεται σε προκαθορισμένα στάδια. Η αλλαγή από το ένα στάδιο στα άλλο γίνεται αυτόματα ή χειροκίνητα.
- Καυστήρες **αυτόματοι**. Η παροχή του ατμοσφαιρικού αέρα και του καυσίμου ρυθμίζεται κατά τρόπο συνεχή με βάση το φορτίο της εγκατάστασης.

Οι σύγχρονοι καυστήρες είναι **πιεστικοί**, δηλαδή το καύσιμο προσάγεται υπό πίεση στον φλογοθάλαμο όπου και διασκορπίζεται.



Τεχνικά Χαρακτηριστικά

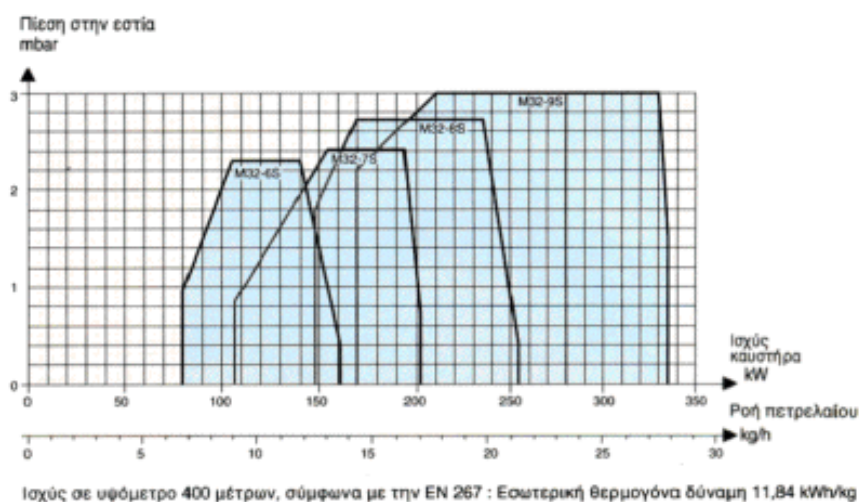
Παρακάτω βλέπουμε ένα πίνακα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού πιεστικού καυστήρα πετρελαίου όπως τα συναντάμε στα τεχνικά φυλλάδια των εταιρειών κατασκευής.

ΤΥΠΟΣ	359T1
Θερμική ισχύς – παροχή	1,9 – 3,0 kg/h – 22,5 – 35,6 kW
Καύσιμο	Πετρέλαιο diesel μεγίστης ρευστότητας 6 mm ² /s στους 20° C
Ηλεκτρική παροχή	Μονοφασική, ~50Hz 230 V ± 10%
Κινητήρας	0,85 A – 2750 σ.α.λ. – 289 rad/s
Πυκνωτής	4μF
Μετασχηματιστής έναυσης	Δευτερείον 8 kV – 16 mA
Αντλία	Πίεση: 8 – 15 bar
Απορροφώμενη ηλεκτρική ισχύ	0,17 kW

Συνεργασία καυστήρα με λέβητα

Σύμφωνα με την Τ.Ο.ΤΕΕ 2421/2, ο καυστήρας σε συνεργασία με το φλογοθάλαμο του λέβητα με τον οποίο θα συνδεθεί, πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη και ασφαλή καύση του καυσίμου και να παρέχει την προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή ισχύ λειτουργίας και επίπεδο πίεσης.

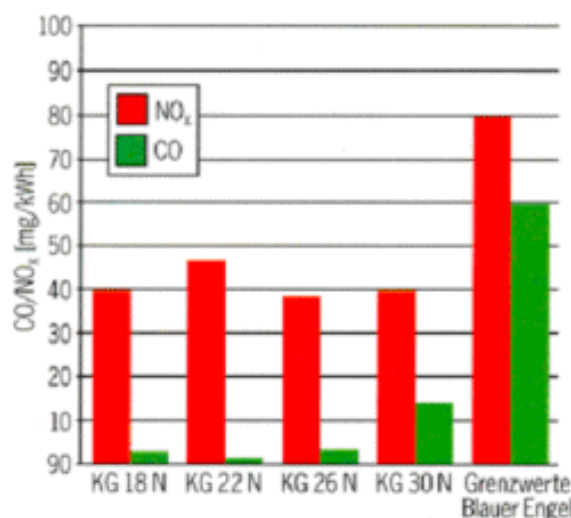
Επειδή οι περισσότεροι σύγχρονοι λέβητες λειτουργούν με αντίθλιψη, οι ανεμιστήρες των καυστήρων πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόσουν την πίεση του προσαγόμενου αέρα στην αντίθλιψη του λέβητα.



Οικολογικοί καυστήρες

Το φαινόμενο θερμοκηπίου που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας οφείλεται βασικά στην καύση των υγρών και στερεών καυσίμων (καύσιμα απολιθωμάτων). Η προσπάθεια μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου οδήγησε σε μια κατηγορία καυστήρων, τους οποίους οι κατασκευαστές τους ονομάζουν οικολογικούς και χαρακτηρίζονται από διατάξεις αυτομάτων ρυθμίσεων και συστήματα ανακύκλωσης των καυσαερίων. Στους οικολογικούς καυστήρες επιδιώκεται η πλήρης καύση, χαμηλό ποσοστό CO, μικρός δείκτης αιθάλης (<2) και χαμηλή εκπομπή οξειδίων του αζώτου (NOx).





Καυστήρες υγρών καυσίμων

Οι καυστήρες πετρελαίου είναι ηλεκτροκίνητες συσκευές που διαθέτουν τον αναγκαίο εξοπλισμό και τους απαραίτητους αυτοματισμούς για την προσαγωγή, τον διασκορπισμό, την ανάμειξη με τον αέρα και την καύση του καυσίμου.

Ο διασκορπισμός και η ανάμειξη των σταγονιδίων του καυσίμου με τον αέρα γίνεται στο φλογοθάλαμο του λέβητα.

Οι καυστήρες υγρών καυσίμων των κεντρικών θερμάνσεων, καταναλώνουν σχεδόν αποκλειστικά ελαφρύ πετρέλαιο και σπανιότερα μαζούτ. Η βασική τους λειτουργία συνίσταται στον διασκορπισμό του καυσίμου σε κατάλληλα λεπτά σωματίδια, η έντονη ανάμειξή του με την σωστή ποσότητα αέρα και η έναυση και διατήρηση της καύσης.

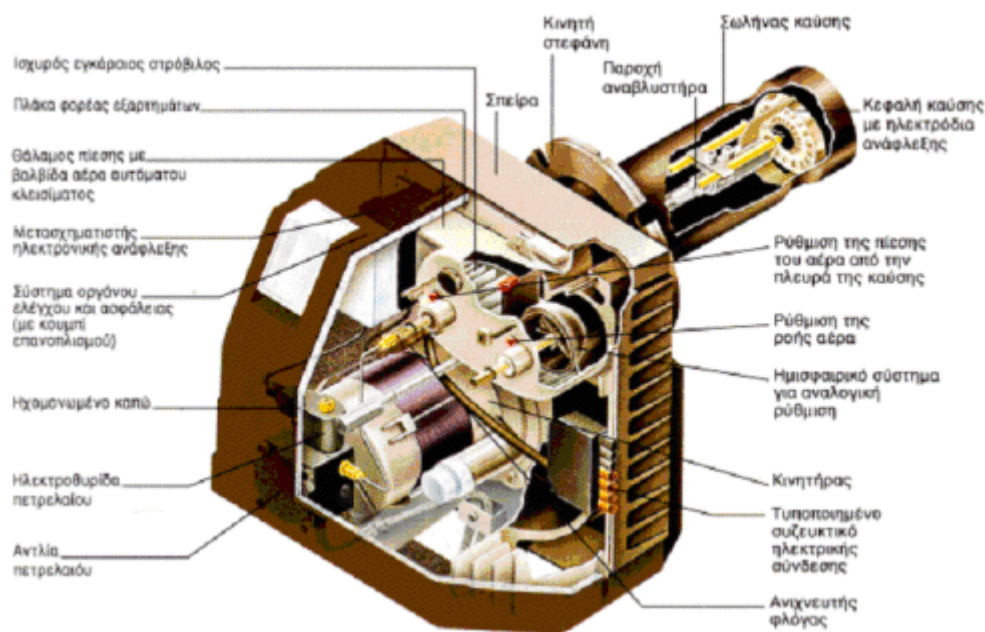
Σημειώνεται ότι με το οξυγόνο του αέρα αντιδρούν μόνο αέρια και ατμοί. Έτσι η δημιουργία μείγματος απαιτεί τη μετάβαση του υγρού καυσίμου στην αέρια φάση.

Στη χώρα μας χρησιμοποιούμε ως πετρέλαιο καύσης, πετρέλαιο Diesel που είναι κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου. Η ατμοποίηση του ελαφρού πετρελαίου μπορεί να γίνει με τη θέρμανση σε περίπου 360-380 °C. Η συνηθισμένη τεχνική της καύσης του πετρελαίου συνίσταται στη δημιουργία ενός νέφους λεπτών σταγόνων που αιωρούνται μέσα στον φλογοθάλαμο και στην καύση τους μέσα σ' αυτόν. Η έναυση της καύσης γίνεται με τη βοήθεια σπινθήρα που παράγει το σύστημα έναυσης. Κατόπιν, η συντήρηση της καύσης γίνεται από την ίδια τη φλόγα.

Τα μέρη του καυστήρα υγρών καυσίμων

Για το σύνολο σχεδόν των καυστήρων υγρού καυσίμου συναντάμε τα παρακάτω μέρη:

- Το **κέλυφος** του καυστήρα (ή περίβλημα) είναι κατασκευασμένο συνήθως από πλαστικό και προστατεύει τα εσωτερικά μέρη του καυστήρα από σκόνη ή κτυπήματα. Αφαιρείται εύκολα για την επιθεώρηση, τον καθαρισμό, επισκευή ή ρύθμιση του καυστήρα.
- Το **άνοιγμα προσαγωγής** αέρα με ρυθμιζόμενο διάφραγμα (ντάμπερ). Μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε μέσα σε κάποια όρια την ποσότητα του προσαγόμενου αέρα.
- Ο **ανεμιστήρας** με κεκλιμένα πτερύγια που εξασφαλίζει την αναγκαία παροχή αέρα για την καύση του καυσίμου.
- Ο **ηλεκτρικός κινητήρας** που δίνει κίνηση στον άξονα του ανεμιστήρα. Συνήθως είναι ένας μονοφασικός ασύγχρονος κινητήρας με μικρή ισχύ.
- Ο **ηλεκτρικός πίνακας** αυτόματης λειτουργίας. Περιλαμβάνει όλα τα όργανα (ρελέ, αντιστάσεις, κ.λπ.) που ρυθμίζουν την λειτουργία του καυστήρα και την διακόπτουν σε περίπτωση έλλειψης φλόγας ή καυσίμου ή για άλλο λόγο.
- Ο **μετασχηματιστής έναυσης** που δημιουργεί την αναγκαία τάση (6.000-10.000 V) για τη δημιουργία ηλεκτρικού σπινθήρα, μεταξύ δύο ηλεκτροδίων που βρίσκονται κοντά στο ακροφύσιο και είναι απαραίτητα για την έναυση.
- Η **αντλία καυσίμου** απορροφά το καύσιμο από τη δεξαμενή και με τη βοήθεια του ακροφυσίου διασκορπισμού το εκτινάσσει με πίεση 10-12 bar. Η παροχή της αντλίας είναι πάντα μεγαλύτερη από την παροχή του ακροφυσίου και έτσι η περίσσεια επιστρέφει στη δεξαμενή.
- Το **ακροφύσιο διασκορπισμού** (μπέκ) είναι το τμήμα του καυστήρα από το οποίο εξέρχεται το καύσιμο. Μετατρέπει την πίεση (δυναμική ενέργεια) του καυσίμου σε κινητική ενέργεια, δηλαδή σε υψηλή ταχύτητα. Η διαμόρφωση του ακροφυσίου είναι τέτοια ώστε το καύσιμο διασκορπίζεται με τη μορφή μικρών σταγονιδίων. Τα ακροφύσια χαρακτηρίζονται από την παροχή τους σε lit/h ή gal/h. Η ροή του καυσίμου από την έξοδο της αντλίας μέχρι το μπέκ ελέγχεται από ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.
- Το **φωτοκύτταρο εντοπισμού** της φλόγας παρακολουθεί την εξέλιξη της καύσης. Σε περίπτωση απώλειας της φλόγας, το φωτοκύτταρο δίνει εντολή στον πίνακα αυτοματισμού και αυτός διακόπτει τη λειτουργία του καυστήρα. Η επανεκκίνηση του καυστήρα απαιτεί τη χειροκίνητη εκκίνησή του.
- Η **κεφαλή καύσης** εξασφαλίζει τη σωστή ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα, τη σταθεροποίηση της φλόγας και γενικότερα την ικανοποιητική λειτουργία της καύσης.



Πιεστικοί καυστήρες αερίου

Σε αντίθεση με τους καυστήρες αερίου φυσικού ελκυσμού, που χρησιμοποιούνται σε όλες τις μικροσυσκευές του αερίου πόλεως και είναι γνωστοί ως ατμοσφαιρικοί καυστήρες αερίου, οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται επάνω σε σύγχρονους πιεστικούς λέβητες κεντρικής Θερμάνσης είναι κι αυτοί πιεστικοί καυστήρες αερίου, εφοδιασμένοι με φυσητήρα του αέρα καύσεως.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Παρακάτω βλέπουμε ένα πίνακα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού πιεστικού καυστήρα αερίου όπως τα συναντάμε στα τεχνικά φυλλάδια των εταιρειών κατασκευής.

Τα μέρη του πιεστικού καυστήρα αερίου

Ένας πιεστικός καυστήρας αερίου αποτελείται από τα παρακάτω:

Κεφαλή καύσης

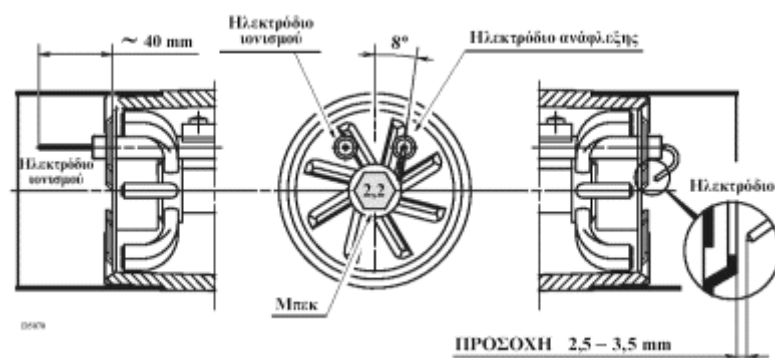
Η **κεφαλή καύσης** των καυστήρων αερίου μοιάζει με την κεφαλή καύσης των καυστήρων πετρελαίου. Στη θέση του μπεκ υπάρχει το ακροφύσιο του αερίου, επάνω στο οποίο υπάρχουν οι οπές εκροής του. Αυτές είναι διαφορετικές ανάλογα με το αέριο (αέριο πόλης/φυσικό αέριο/υγραέριο).

Ο βαθμός απόδοσης της καύσης επηρεάζεται σημαντικά από την περίσσεια αέρα. Γι' αυτό η ρύθμιση του αέρα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και ακρίβεια.

Με το κατάλληλο σύστημα ανάμειξης αέρα και καυσίμου επιτυγχάνεται ταχύτητα ροής του αέρα απόλυτα αντίστοιχη της ταχύτητας καύσης (ανάφλεξης κ.λ.π.) και προκύπτει μια "σταθερή" φλόγα.

Εάν αυξηθεί η ταχύτητα ροής του αέρα της καύσης, απομακρύνεται η φλόγα από την κεφαλή του καυστήρα και μπορεί ακόμα να σβήσει. Αντίθετα αν η ταχύτητα ροής του αέρα της καύσης είναι μικρότερη από την ταχύτητα ανάφλεξης του αερίου, προκύπτει ατελής καύση, εμφανίζεται μονοξειδίο του άνθρακα και πρόωρη καταστροφή του συστήματος ανάμειξης (ιδιαίτερα του διασκορπιστήρα).

Στη διαμόρφωση της κεφαλής και του ακροφυσίου ακολουθούνται δύο αρχές σχεδίασης. Με τη μία επιδιώκουμε την τέλεια προανάμειξη αέρα και αερίου και την καύση με τελείως γαλάζια φλόγα. Με την άλλη έχουμε μερική μετανάμειξη αέρα-καυσίμου, έτσι που η καύση να γίνει με λευκή ακτινοβολούσα φλόγα.



Φυσητήρας αέρα

Ο **φυσητήρας του αέρα** της καύσης χρησιμεύει για να υπερνικά τις αντιστάσεις ροής των καυσαερίων μέσα από τα τούμπα του λέβητα. (αντίθλιψη). Κάθε κατασκευαστής καυστήρων δίδει το διάγραμμα της ικανότητας του καυστήρα. Ανάλογα με την προβλεπόμενη ισχύ του λέβητα και την αντίστοιχη αναγκαία παροχή αερίου σε Nm³/h = ισχύς λέβητα, δίδεται η καμπύλη της μέγιστης αντίθλιψης με την οποία μπορεί να εργαστεί ο καυστήρας.

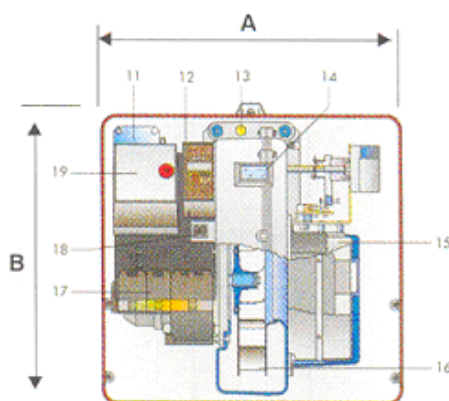
Οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται στους πιεστικούς καυστήρες αερίου είναι φυγοκεντρικοί και πρέπει να εξασφαλίζουν τόσο την απαραίτητη ποσότητα αέρα για την πλήρη καύση του αέρα, όσο και την απαραίτητη πίεση για την αντιμετώπιση των τριβών αντίθλιψης του λέβητα.

Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αερίου έχει πολλαπλή λειτουργία. Κατ' αρχή κάνει πλήρη διακοπή του αερίου όταν διακοπεί η λειτουργία του καυστήρα κανονικά από τον υδροστάτη ή από κάποια ανωμαλία.

Δεύτερον, από αυτήν ρυθμίζεται η ποσότητα του αερίου που θα τροφοδοτήσει τον καυστήρα. Τρίτον, στη φάση της έναυσης ξεκινά με παροχή από 10-40% της ονομαστικής παροχής κατά την επιθυμία μας και, τέλος, έχει μια υδραυλική διάταξη επιβράδυνσης του ανοίγματός της από την παροχή εναύσης μέχρι την παροχή της κανονικής λειτουργίας όπου την ρυθμίσαμε. Αυτή η προοδευτική παροχή αερίου στο ξεκίνημα είναι πολύ σημαντική για να έχουμε ομαλή έναυση σε λέβητες αντίθλιψης (πιεστικούς). Κάθε βαλβίδα πρέπει να έχει δύο θέσεις ρύθμισης, μία για την παροχή έναυσης και μία για την πλήρη παροχή.

Τα μέρη ενός καυστήρα αερίου(από φυλλάδιο της RIELLO).



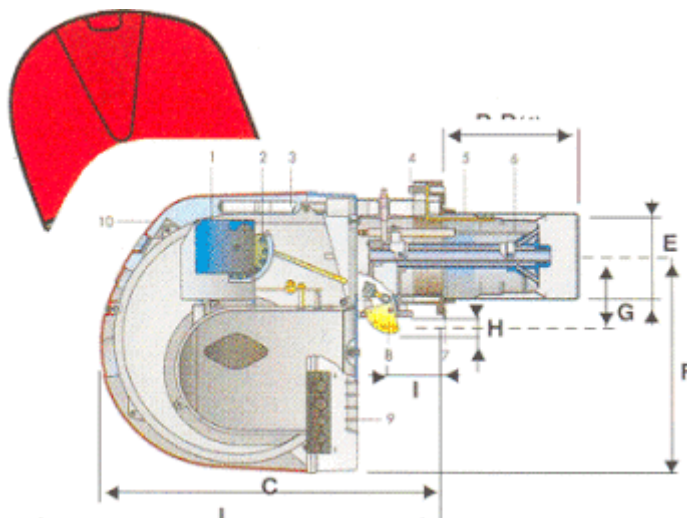
1. σερβοκινητήρας ελέγχου πεταλούδας αερίου και ντάμπερ αέρος.
2. ρύθμιση σχέσης αέρα - αερίου
3. μπάρες κυλίσεως σώματος καυστήρα
4. ρύθμιση κεφαλής καύσεως καυστήρα
5. κεφαλή καύσεως
6. ηλεκτρόδια
7. φλάντζα στήριξης
8. βαλβίδα αερίου (πεταλούδα)
9. είσοδος αέρα καύσεως
10. κάλυμμα καυστήρα
11. πιεζοστάτης αέρα
12. πίνακας ενδεικτικών λειτουργιών (LP ή STATUS)
13. ρύθμιση κεφαλής καύσεως
14. παρατηρητήριο φλόγας
15. ντάμπερ αέρος
16. ανεμιστήρας με πτερύγια ανεστραμμένα προς τα πίσω
17. ηλεκτρικοί ταχυσύνδεσμοι
18. χειροκίνητοι διακόπτες 1ης και 2ης φλόγας και ON/OFF
19. πίνακας ελέγχου



Ηλεκτρονική συσκευή ελέγχου της φλόγας

Η ηλεκτρονική συσκευή ελέγχου της φλόγας δεν λειτουργεί με φωτοκύτταρο όπως γίνεται στους καυστήρες πετρελαίου. Στους καυστήρες αερίου η φλόγα δεν είναι πάντα φωτεινή και έτσι δεν μπορούμε να την ελέγξουμε με φωτοκύτταρο. Αντί για φωτοκύτταρο, έχουμε ένα ηλεκτρόδιο ιονισμού που βγαίνει μπροστά από το δίσκο σταθεροποίησης της φλόγας.

Εφ' όσον το ηλεκτρόδιο είναι μέσα σε φλόγα, γίνεται αγώγιμο, λόγω του ιονισμού του καυσαερίου υψηλής θερμοκρασίας. Το ρεύμα που περνάει είναι της τάξης του 1 - 5μΑ. Εφόσον δεν υπάρχει αυτή η μικρή ροή ρεύματος, η ηλεκτρονική συσκευή διακόπτει τη λειτουργία του καυστήρα και ενεργοποιεί το κόκκινο κουμπί. Για να ξεκινήσει η καύση πρέπει να πιεστεί με το χέρι το κόκκινο κουμπί, και να αρχίσει πλήρης διαδικασία με το πρόγραμμα απόπλυσης της εστίας του λέβητα με καθαρό αέρα, πριν ανοίξει η βαλβίδα του αερίου και ο σπινθηριστής της εναύσεως.

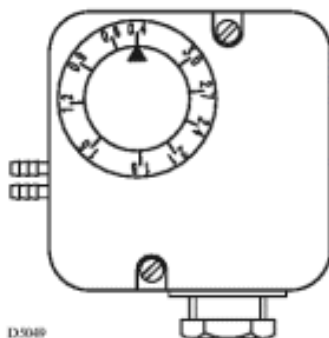


Πιεζοστάτης αερίου

Ο **πιεζοστάτης αερίου** ελέγχει την πίεση του αερίου πριν από την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, αν η πίεση του δικτύου που είναι χαμηλή, δεν αφήνει τον καυστήρα να ξεκινήσει.

Η παροχή περιέχει ένα ειδικό για αέριο φίλτρο και έναν σταθεροποιητή της πίεσης, έτσι ώστε οι διακυμάνσεις της πίεσης στο δίκτυο να μην επηρεάζουν την αναλογία αέρα - αερίου, την ποιότητα της καύσης και το βαθμό απόδοσης.

Οι κατασκευαστές δίδουν αναλυτικά σχέδια στα οποία προτείνουν σειρά οργάνων μετρήσεων, αυτοματισμού και ασφάλειας, μεταξύ της άφιξης του καυσίμου αερίου και του καυστήρα.



1. Αγωγός παροχής αερίου
2. Χειροκίνητη βάνα (με ευθύνη του εγκατάσταση)
3. Μανόμετρο πίεσης αερίου (με ευθύνη του εγκαταστάτη)
4. φίλτρο
5. πιεζοστατης αερίου
6. Βαλβίδα ασφαλείας
6. Σταθεροποιητής πίεσης
7. Βαλβίδα ρύθμισης

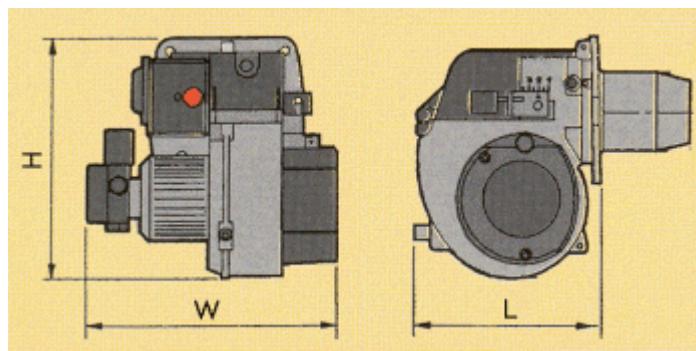
M1: Σημείο για την μέτρηση της πίεσης τροφοδοσίας

M2: Σημείο για την μέτρηση της πίεσης στην κεφαλή.

Τεχνικά στοιχεία

Για κάθε καυστήρα υπάρχουν καταχωρημένα τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Τα όρια της ονομαστικής απόδοσης (Q_{min} και Q_{max}) σε kW ή kcal/h ή Btu/h. Η μονάδα μέτρησης επιλέγεται από την αναπτυσσόμενη λίστα στη γραμμή εργαλείων.
- Οι αντίστοιχες παροχές του πετρελαίου (W_{min} και W_{max}) σε kg/h.
- Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, δηλαδή :
 - α) Φάσεις
 - β Τάση (V)
 - γ) Συχνότητα (Hz)
 - δ) Ισχύς (W)
- Οι εξωτερικές διαστάσεις Ύψος x Μήκος x Πλάτος (H, L, W) σε mm



- Το βάρος σε kg.
- Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, δηλαδή :
 - α) Φάσεις
 - β) Τάση (V)
 - γ) Συχνότητα (Hz)
 - δ) Ισχύς (W)

Θερμαντικά σώματα

Σε κάθε χώρο, ο οποίος πρόκειται να θερμανθεί, πρέπει να εγκατασταθούν ένα ή περισσότερα θερμαντικά σώματα, δηλαδή τοπικές συσκευές που τροφοδοτούνται με ζεστό νερό και αποδίδουν θερμότητα στο χώρο. Τα θερμαντικά σώματα ζεστού νερού τροφοδοτούνται με νερό σχετικά υψηλής θερμοκρασίας (70-90 °C) και αποκτούν μια μέση θερμοκρασία στην επιφάνειά τους ($\theta_m=65-70$ °C), η οποία διαφέρει 45-65 °C από τη θερμοκρασία του αέρα και των αντικειμένων του θερμαινόμενου χώρου.

Η θερμοκρασιακή αυτή διαφορά είναι η αιτία της ροής θερμότητας από το θερμαντικό σώμα προς το περιβάλλον του χώρου. Η ροή της θερμότητας γίνεται με τρεις τρόπους, δηλαδή με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία.

Ονομαστική Θερμική Ισχύς

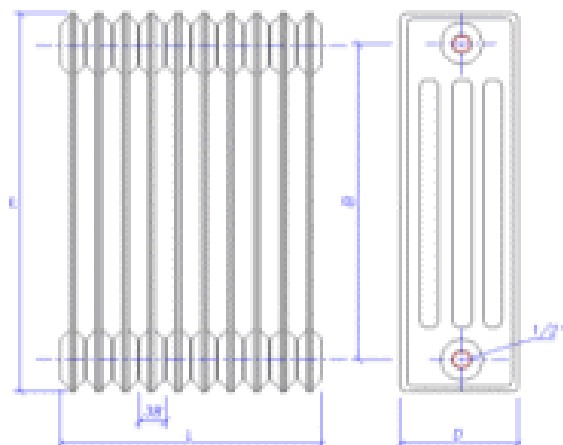
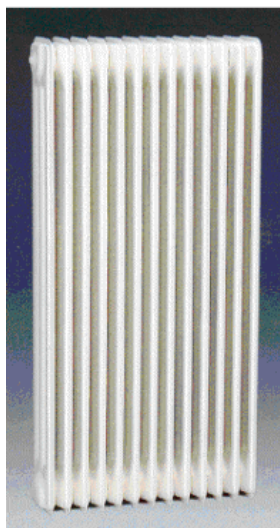
Η θερμαντική ικανότητα ενός θερμαντικού σώματος όταν αναφέρεται σε προκαθορισμένες (κανονικές) συνθήκες λειτουργίας, ονομάζεται ονομαστική θερμική ισχύς ή απόδοση (Q_{60}) και μετριέται σε W.

Ως κανονικές συνθήκες λειτουργίας τόσο οι κανονισμοί DIN όσο και η TOTEE 2421 θεωρούν τις παρακάτω:

- Θερμοκρασία προσαγωγής θερμού νερού $\theta_n = 90$ °C
- Θερμοκρασία επιστροφής θερμού νερού $\theta_r = 70$ °C
- Θερμοκρασιακή διαφορά $\theta_n - \theta_r = 20$ grd
- Θερμοκρασία αέρα (συμβατική τιμή) $\theta_L = 20$ °C
- Μέση υπερθερμοκρασία $\Delta\theta = 60$ grd
- Πίεση του αέρα $p_a = 1$ bar

Συνήθη θερμαντικά σώματα ακτινοβολίας (με φέτες)

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα τα συνήθη ή κοινά θερμαντικά σώματα ακτινοβολίας κατασκευάζονται από διαδοχικές φέτες ή στοιχεία τυποποιημένων διαστάσεων. Κάθε στοιχείο μπορεί να είναι δίστηλο, τρίστηλο ή τετράστηλο ως προς το πλάτος του και ως προς το ύψος του χαρακτηρίζεται από την απόσταση μεταξύ των μουφών προσαγωγής και απαγωγής του νερού που είναι 355, 505, 655 ή 905 mm.

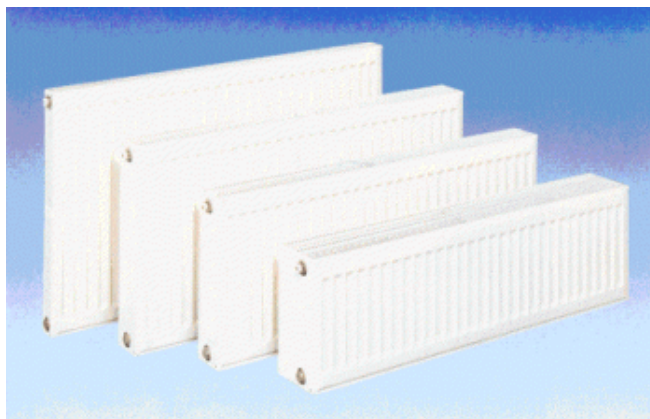


	D [mm]
Δίστηλο (II)	65
Τρίστηλο (III)	135
Τετράστηλο (IV)	195

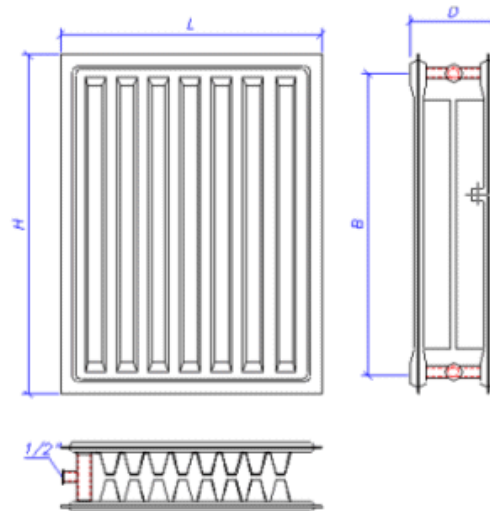
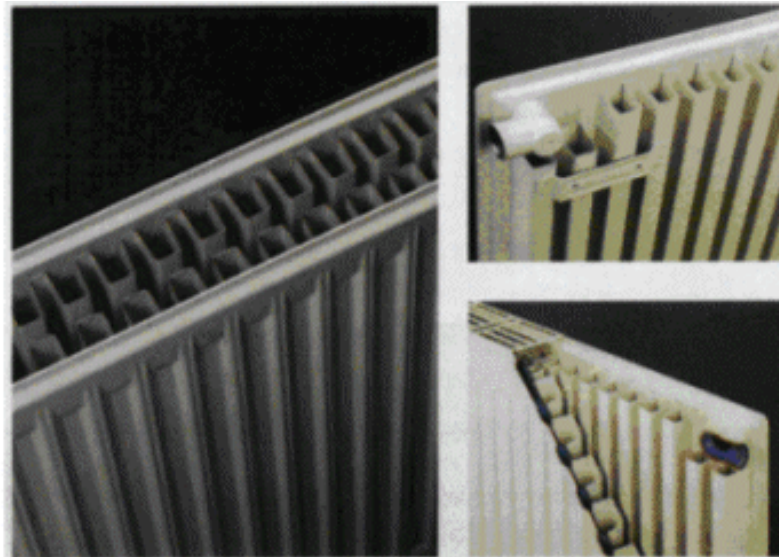
B=355, 505, 655, 905
H=B+50

Επίπεδα θερμαντικά σώματα (τύπου panel)

Τα επίπεδα θερμαντικά σώματα χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη, σχεδόν επίπεδη, θερμαντική επιφάνειά τους με κύριο γνώρισμα το πολύ μικρό πάχος τους. Λειτουργούν κυρίως σαν θερμαντικά σώματα ακτινοβολίας και λιγότερο σαν θερμαντικά σώματα επαφής - μεταφοράς. Κατασκευάζονται από χαλυβδοέλασμα ψυχρής εξέλασης, πάχους 1,25 mm, σύμφωνα με το DIN 1623. Οι πλάκες της θερμαντικής τους επιφάνειας είναι διαμορφωμένες κατά τρόπο ώστε να βρέχονται σε όλη την επιφάνεια και να επιτυγχάνεται υψηλή θερμική απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σε πολλά μοντέλα υπάρχουν συγκολλημένοι μαϊάνδροι που αυξάνουν την επιφάνεια επαφής με τον αέρα του χώρου έτσι ώστε να αυξηθεί η ροή θερμότητας δια αγωγής - μεταφοράς.

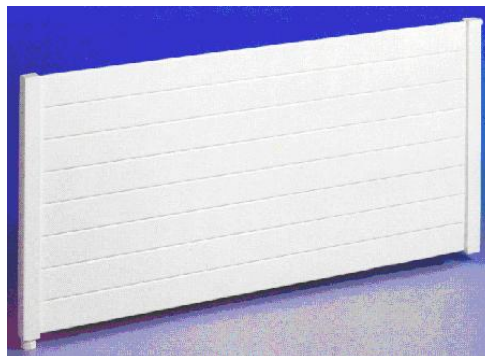


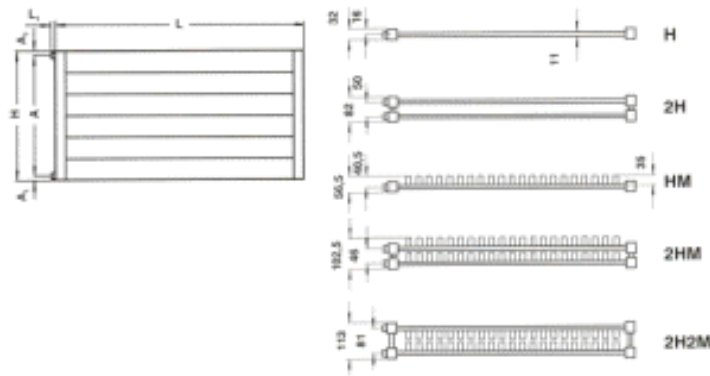
ΜΕΓΕΘΟΣ PANEL		CP10	CP10F CP12F	CP14F
TW1-TW2	TA	KCAL/hr		
90-80	18	555	820	1205
	20	535	790	1170
	22	515	765	1130
90-70	18	500	740	1085
	20	480	710	1050
	22	465	685	1015
80-70	18	450	665	980
	20	430	640	945
	22	415	615	910
80-60	18	395	590	870
	20	380	565	835
	22	365	545	800
70-60	18	350	525	770
	20	335	500	735
	22	320	480	700
70-50	18	305	455	670
	20	290	430	635
	22	275	410	600



Θερμαντικοί άβακες

Κατασκευάζονται από πεπλατυσμένους χαλύβδινους σωλήνες, οι οποίοι τοποθετούνται σε διαδοχικές σειρές και ηλεκτροσυγκολλούνται. Οι άβακες χαρακτηρίζονται από το πολύ μικρό πάχος, την εύκολη προσαρμογή στις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις και την υψηλή τους θερμική απόδοση ανά m^2 . Μπορούν να παραγγελθούν και σε μη τυποποιημένες διαστάσεις.





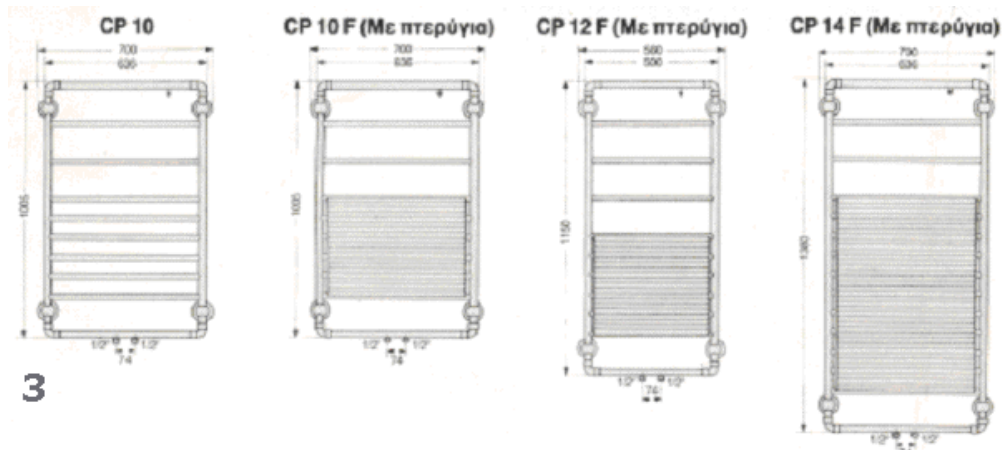
Κονβεκτέρ

Τα κονβεκτέρ πρακτικά είναι άβακες στους οποίους έχουν ηλεκτροσυγκολληθεί μαιανδροφόρες επιφάνειες. Αποδίδουν τη θερμότητα κυρίως δια μεταφοράς. Οι άβακες και τα κονβεκτέρ κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις αλλά μπορούν κατόπιν παραγγελίας να παραδοθούν και σε οποιοδήποτε άλλο μήκος.



Χάλκινα θερμαντικά σώματα μπάνιου

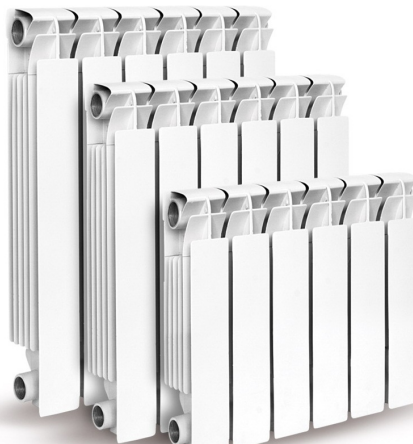
Στην αγορά υπάρχει τεράστια ποικιλία από θερμαντικά σώματα για το χώρο του μπάνιου, που πέρα από τη θέρμανση του χώρου χρησιμοποιούνται για το στέγνωμα ρούχων και πετσετών. Παράλληλα, λειτουργούν και ως κρεμάστρες. Για αποφυγή διάβρωσης στον υγρό χώρο του μπάνιου, κατασκευάζονται από χαλκοσωλήνες και βάφονται σε μεγάλη ποικιλία χρωμάτων.



3

Χυτοπρεσαριστά θερμαντικά σώματα αλουμινίου

Κατασκευάζονται από ειδικό κράμα αλουμινίου (UNI 5076) - θερμοκρασία χύτευσης 800°C υπό πίεση 900 τόνων - εκμεταλλεύεται πλήρως όλα τα τεχνικά και θερμικά χαρακτηριστικά του υλικού. (Υψηλή θερμική αγωγιμότητα). Η εσωτερική επιφάνεια του θερμ. σώματος είναι λεία και επικαλύπτεται με μία σκληρή στρώση οξειδίου, ώστε να έχει υψηλή αντίσταση στη διάβρωση και οξείδωση.



Τοπικές Μονάδες ανεμιστήρα - στοιχείου (Fan - Coil Unit)

Οι τοπικές μονάδες ανεμιστήρα - στοιχείου - στη διεθνή βιβλιογραφία Fan-Coil Unit (FCU) - χρησιμοποιούνται βασικά στον κλιματισμό, δηλαδή το νερό που στέλνουμε στα FCU είναι ζεστό το χειμώνα ($50-90^{\circ}\text{C}$) και κρύο ($4-8^{\circ}\text{C}$) το καλοκαίρι.

Αποτελούνται από ένα στοιχείο (coil) και ένα ανεμιστήρα (fan) μέσα σε ένα στιβαρό κέλυφος. Βασικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα θερμαντικά σώματα φυσικής κυκλοφορίας είναι η μεγάλη θερμική τους απόδοση που οφείλεται στην εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα μέσα από το στοιχείο. Βασικό μειονέκτημα της είναι ο έστω και μικρός θόρυβος που δημιουργεί ο αέρας.



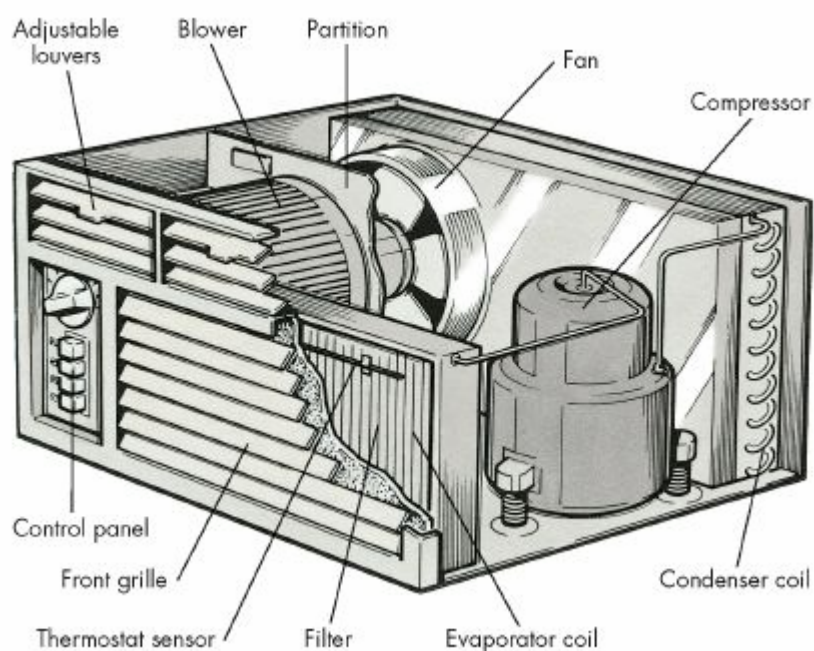
Τεχνικά χαρακτηριστικά

Για κάθε θερμαντικό σώμα υπάρχουν καταχωρημένα τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Η ονομαστική απόδοση (Q_{60}) σε [W] ή [kcal/h] ή [Btu/h]
- Οι εξωτερικές διαστάσεις Μήκος x Ύψος x Βάθος **LxHxD** σε [mm] ή [inches]
- Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των μπουφών , **B**
- Η οριζόντια απόσταση μούφα-τοίχος, **C**
- Το βάρος (χωρίς νερό) σε [kg]
- Η χωρητικότητα σε [lit] νερού

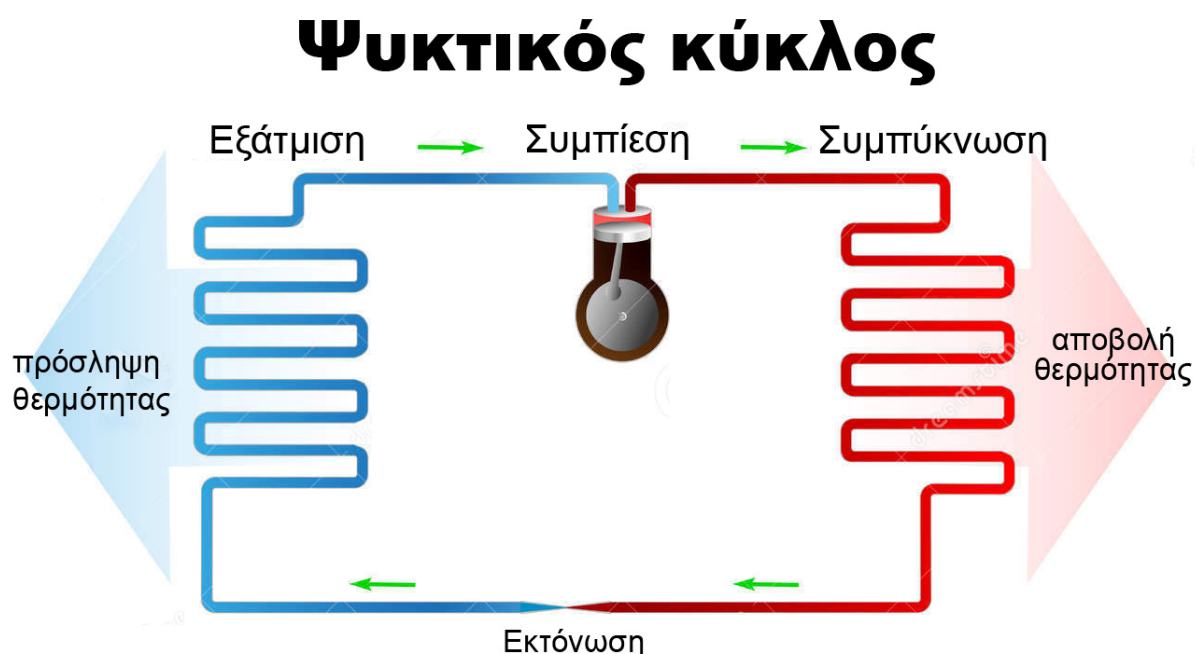


ΨΥΞΗ & ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ



Ο ΨΥΚΤΙΚΟΣ κύκλος

Ο ψυκτικός κύκλος είναι ένας **θερμοδυναμικός κύκλος** που παριστάνει σε ένα διάγραμμα τις μεταβολές που γίνονται στο **ψυκτικό μέσον** (ή ρευστό) από τη στιγμή που συμπιέζεται στον **συμπιεστή** μέχρι να επιστρέψει σε αυτόν, έχοντας καταφέρει να ψύξει τον χώρο που βρίσκεται ο **εξατμιστής**.



Τα ψυκτικά ρευστά όταν υγροποιηθούν αποβάλλουν θερμότητα και όταν ατμοποιηθούν απορροφούν θερμότητα.

Στην τεχνητή ψύξη το ψυκτικό ρευστό υποβάλλεται διαδοχικά σε ατμοποίηση και **υγροποίηση** συνεχώς, δηλ. απορροφά θερμότητα από ένα χώρο και την αποβάλλει σε άλλο.

Η διαδοχική αυτή ατμοποίηση και υγροποίηση του ψυκτικού ρευστού ονομάζεται ψυκτικός κύκλος.

Μεταβολές του νερού

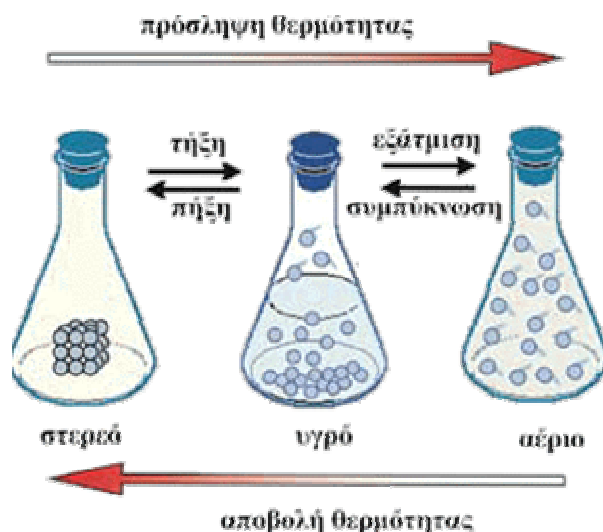


Ας εξετάσουμε τις μεταβολές του νερού¹².

Σε πολλή χαμηλή θερμοκρασία το νερό είναι στην στερεά κατάσταση δηλ. σε **στερεά φάση (πάγος)**. Όταν αρχίσουμε και ζεσταίνουμε τον πάγο, η θερμοκρασία του θα αυξάνεται και κάποια στιγμή θα αρχίσει να λιώνει. Θα μετατρέπεται σε **υγρό**, το γνωστό **νερό**. Μετά από κάποιο χρόνο, και εφόσον συνεχίζουμε τη θέρμανση, θα έχει μετατραπεί όλο σε υγρό, θα είναι στην **φάση του υγρού**.

Αν συνεχίσουμε τη θέρμανση του νερού η θερμοκρασία του θα αυξάνεται και κάποια στιγμή θα αρχίσει να βράζει. Θα μετατρέπεται σε **ατμό**. Μετά από αρκετό χρόνο θα είναι όλο ατμός, θα έχει μεταβεί στην **αέρια φάση**.

Αν συνεχιστεί η θέρμανση του ατμού η θερμοκρασία θα αυξάνεται και άλλο.



Στη διαδικασία που περιγράφηκε πριν, έχουμε τους ορισμούς διαφόρων φαινομένων.

1. **Τήξη**: όταν μεταβαίνει το στερεό στην υγρή φάση (με θέρμανση).

¹² Οι ίδιοι ορισμοί ισχύουν και για τις άλλες ουσίες, όπως είναι τα διάφορα ψυκτικά μέσα.

2. **Πήξη ή στερεοποίηση:** όταν πηγαίνει το υγρό στη στερεά φάση (με ψύξη).
3. **Βρασμός ή εξάτμιση:** όταν μεταβαίνει το υγρό στην αέρια φάση (με θέρμανση).
4. **Υγροποίηση:** όταν μεταβαίνει το στερεό στην υγρή φάση (με θέρμανση) ή όταν μεταβαίνει το αέριο στην υγρή φάση (με ψύξη).

Στη δεύτερη περίπτωση που το αέριο μετατρέπεται σε υγρό με ψύξη η μεταβολή ονομάζεται **συμπύκνωση**.

Επομένως για τη μετατροπή του πάγου σε ατμό, από τη στερεά φάση στην αέρια, έχουμε τις εξής μεταβολές κατά τη θέρμανση, η οποία θεωρούμε ότι γίνεται συνέχεια σε όλη τη διαδικασία (*υποθέτουμε ότι η πίεση είναι μία ατμόσφαιρα*):

A. **Θέρμανση του πάγου.** Άνοδος της θερμοκρασίας του.

B. Αρχή της **υγροποίησης** του πάγου στους 0°C. Υγροποίηση με σταθερή θερμοκρασία. Ενώ δηλαδή θερμαίνεται ο πάγος που λιώνει, η θερμοκρασία του δεν μεταβάλλεται. Παραμένει στους 0°C. Αυτό συμβαίνει μέχρι να λιώσει όλος ο πάγος.

C. Μόλις λιώσει όλος ο πάγος και γίνει νερό, αρχίζει και η θερμοκρασία να αυξάνεται. Συνεχίζουμε τη θέρμανση και η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από την αρχική των 0°C μέχρι τους 100°C. Τότε αρχίζει ο **βρασμός (εξάτμιση)**.

D. Κατά τη διάρκεια του βρασμού (ή της εξάτμισης), ενώ το νερό θερμαίνεται, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους 100 °C. Αυτό ισχύει μέχρι να εξατμιστεί όλο το νερό. Μόνο όταν εξατμιστεί όλο το νερό θα αλλάξει η θερμοκρασία.

E. Όταν εξατμιστεί όλο το νερό και συνεχίσουμε τη θέρμανση, θα αρχίσει η θερμοκρασία να πηγαίνει πάνω από τους 100°C. Θα συνεχίσει να αυξάνεται όσο θερμαίνουμε.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, στις μεταβολές A, C και E η θερμοκρασία του συστήματος μεταβάλλεται ενώ στις B και D, αν και ζεσταίνεται το σύστημα, η θερμοκρασία δεν αλλάζει.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Στο σύστημα δίνουμε συνέχεια θερμότητα.

Στις τρεις φάσεις που μεταβάλλεται η θερμοκρασία, η θερμότητα που δίνουμε ονομάζεται **αισθητή**, ενώ όταν το νερό αλλάζει φάση και η θερμοκρασία δε μεταβάλλεται η θερμότητα ονομάζεται **λανθάνουσα**.

Κατά τις αλλαγές φάσεις η λανθάνουσα θερμότητα που δίνουμε γίνεται κινητική ενέργεια των μορίων του νερού, για να αλλάξει φάση.

Η **αισθητή θερμότητα** αυξάνει και αυτή την κινητική ενέργεια των μορίων του νερού αλλά μεταβάλει και τη θερμοκρασία του πάγου, του νερού ή του ατμού.

Μπορούμε να πούμε τους ορισμούς:

1. Αισθητή είναι η θερμότητα που δίνουμε σε μία ουσία και η θερμοκρασία της μεταβάλλεται. (*Δεν έχουμε αλλαγή φάσης*) .

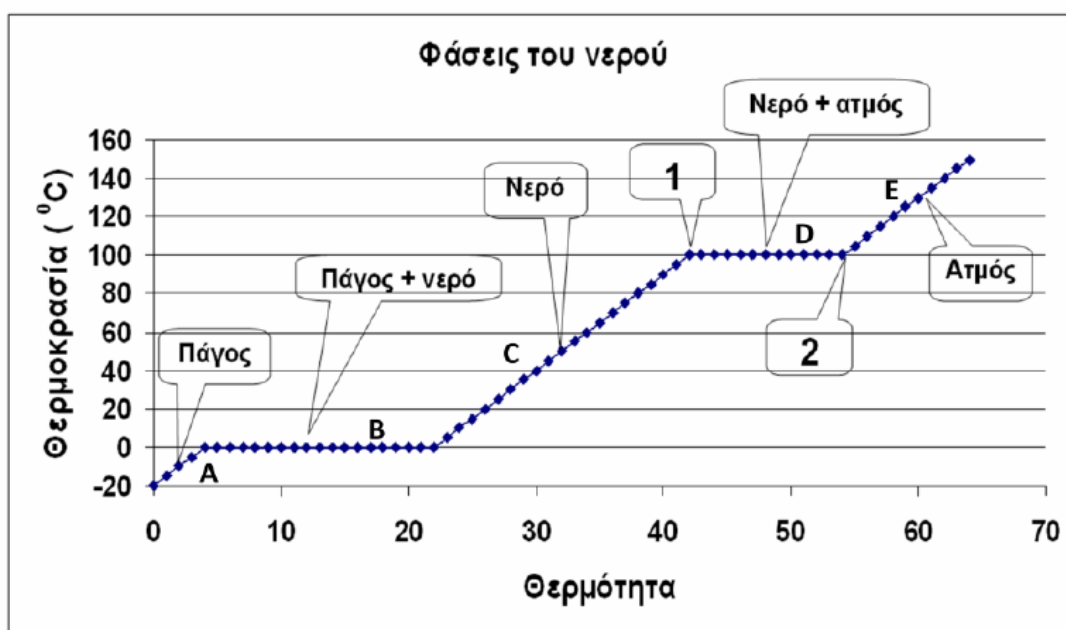
2. Λανθάνουσα είναι η θερμότητα που δίνουμε σε μία ουσία κατά την αλλαγή της φάσης και η θερμοκρασία της δεν μεταβάλλεται.

Έτσι έχουμε τη **λανθάνουσα θερμότητα τήξης** όταν γίνεται η τήξη, ή τη **λανθάνουσα θερμότητα πήξης** όταν γίνεται η πήξη. Αντίστοιχα έχουμε τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης (λέγεται και συμπύκνωσης) και ατμοποίησης.

Εννοείται ότι κατά την τήξη ή την ατμοποίηση δίνουμε θερμότητα, ενώ κατά την πήξη ή τη συμπύκνωση παίρνουμε.

Ας υποθέσουμε ότι σε ένα δοχείο έχουμε πάγο σε θερμοκρασία -20°C και αρχίζουμε να το θερμαίνουμε δίνοντας χρονικώς σταθερά ποσά θερμότητας. Ο πάγος θα ακολουθήσει τις φάσεις που περιγράφηκαν μόλις πριν.

Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα με τις μεταβολές που γίνονται. Στον κάθετο άξονα είναι η θερμοκρασία του νερού και στον οριζόντιο η θερμότητα που δίνουμε. Στον οριζόντιο άξονα θα μπορούσε να είναι και ο χρόνος αφού δίνουμε σταθερά ποσά θερμότητας.



Φαίνεται ότι στις φάσεις Α, C και E η θερμοκρασία αυξάνεται (αισθητή θερμότητα – η γραμμή του διαγράμματος ανέρχεται) ενώ στις φάσεις Β και D η θερμοκρασία μένει σταθερή (λανθάνουσα θερμότητα – η γραμμή μένει οριζόντια).

Στο σημείο 1 (σημείο βρασμού και θερμοκρασία βρασμού) αρχίζει η ατμοποίηση του νερού. Εκεί το νερό λέμε ότι είναι στο σημείο **κορεσμένου υγρού**. Αυτό σημαίνει ότι λίγο αν θερμανθεί θα αρχίσει η μετατροπή σε αέριο.

Στο σημείο 2 ο ατμός λέγεται **κορεσμένος**. Αυτό σημαίνει ότι αν τον ψύξουμε λίγο θα αρχίσει η υγροποίηση. Όταν θερμάνουμε τον κορεσμένο ατμό και η θερμοκρασία του υπερβεί τους 100°C τότε λέμε ότι ο ατμός είναι **υπέρθερμος**. Αντίστοιχα όταν το νερό είναι κάτω από τους 100°C λέμε ότι είναι **υπόψυκτο**.

Όταν θερμάνουμε τον κορεσμένο ατμό, αυτός γίνεται υπέρθερμος.

Όταν ψύξουμε το κορεσμένο νερό αυτό γίνεται υπόψυκτο.

Σε όλες τις προηγούμενες μεταβολές υποθέτουμε ότι η πίεση ήταν μία ατμόσφαιρα (1 atm) που έμενε σταθερή σε όλη τη διαδικασία. Όμως αν αλλάξει η πίεση τότε αλλάζει και η θερμοκρασία που γίνεται η εξάτμιση και όλες οι αλλαγές φάσης.

Συγκεκριμένα, όταν ελαττωθεί η πίεση το νερό βράζει σε χαμηλότερη θερμοκρασία, ενώ βέβαια όταν μεγαλώνει η πίεση τότε αυξάνεται και η θερμοκρασία βρασμού.

Αυτός είναι ένας βασικός κανόνας διότι σε αυτόν στηρίζεται η μετατροπή του ψυκτικού μέσου από υγρό σε αέριο και το αντίστροφο, με αποτέλεσμα να έχουμε την παραγωγή της ψύξης σε ψυγεία και κλιματιστικές εγκαταστάσεις.

Πρέπει να γίνει σαφές ότι αν η πίεση που γινόταν το ανωτέρω πείραμα ήταν μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, τότε θα είχαμε τα ίδια φαινόμενα και μεταβολές φάσεων, αλλά αυτές θα γινόταν σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

Αντιθέτως, αν η πίεση στην επιφάνεια του νερού ήταν μικρότερη από την ατμοσφαιρική, τότε τα ίδια φαινόμενα θα συνέβαιναν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Αν πάμε να βράσουμε νερό σε ένα πολύ ψηλό βουνό θα διαπιστώσουμε ότι αυτό γίνεται πιο γρήγορα απ' ό,τι στην επιφάνεια της θάλασσας. Όμως, αν τοποθετήσουμε ένα θερμόμετρο στο νερό που βράζει, θα διαπιστώσουμε ότι η θερμοκρασία είναι λιγότερη από 100°C. Είναι περίπου 81 °C σε υψόμετρο 6000 μέτρων, ενώ αν πάμε ακόμα ψηλότερα η θερμοκρασία βρασμού του νερού θα πέσει ακόμα χαμηλότερα, στους 70°C στην κορυφή του Έβερεστ με υψόμετρο 8848 μέτρα.

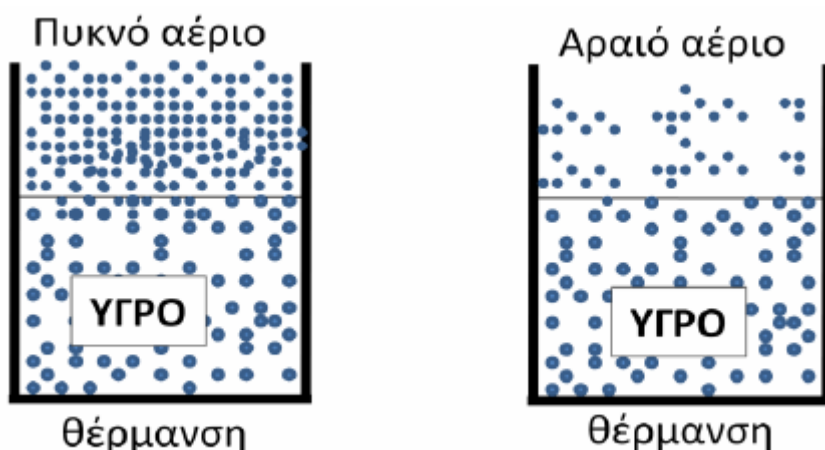
Αυτές οι αλλαγές οφείλονται στην χαμηλότερη πίεση του αέρα που έχουμε σε μεγαλύτερα υψόμετρα. (Σε υψόμετρο 6000 μέτρων η πίεση του αέρα είναι περίπου μισή ατμόσφαιρα και στην κορυφή του Έβερεστ κάπου 0,3 ατμόσφαιρες).

Μπορούμε να εξηγήσουμε την αλλαγή στη θερμοκρασία βρασμού του νερού ως εξής: όταν η πίεση είναι μικρή τότε πάνω από την επιφάνεια του νερού υπάρχουν λιγότερα μόρια αέρα και έτσι τα μόρια του νερού δεν χρειάζονται πολλή ενέργεια για να ξεφύγουν από το σώμα του νερού και να γίνουν ατμός, μαζί και μέσα στον αέρα.

Σημειώνεται ότι το νερό (και κάθε υγρό) ξεκινά να βράζει όταν τα μόριά του αποκτήσουν πολλή ενέργεια λόγω της θέρμανσής τους και ξεπηδήσουν πάνω από την επιφάνεια του υγρού.

Αν είναι πυκνό το αέριο πάνω από το υγρό, θα δυσκολευτούν να ξεπηδήσουν τα μόρια του υγρού και αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να το θερμάνουμε περισσότερο, άρα θα ανέβει η θερμοκρασία βρασμού. Αν όμως το αέριο είναι αραιό πάνω από το υγρό, τότε θα ξεπηδήσουν πιο εύκολα και η θερμοκρασία βρασμού θα είναι χαμηλότερη.

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται το υγρό με τα μόριά του και στην επιφάνεια το αέριο, στην αριστερή πλευρά πιο πυκνό από ότι στη δεξιά εικόνα. Είναι λογικό ότι τα μόρια του υγρού θα δυσκολευτούν στην αριστερή εικόνα σε σχέση με τη δεξιά να αναπηδήσουν και να εισέλθουν μέσα στο αέριο. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αποκτήσουν μεγαλύτερη ενέργεια, άρα να βρεθούν σε υψηλότερη θερμοκρασία.



Όπως αναφέρθηκε το παράδειγμα με το βράσιμο του νερού σε χαμηλή πίεση στο βουνό προηγουμένως, θα αναφέρουμε ένα αντίστοιχο παράδειγμα από την καθημερινότητά μας, που αντιστοιχεί στο βράσιμο του νερού σε υψηλή πίεση, λίγο πάνω από την ατμοσφαιρική.

Όλοι γνωρίζουμε ότι το μαγείρεμα στη χύτρα ταχύτητας γίνεται πιο γρήγορα, απ' ότι στην απλή κατσαρόλα. Αυτή η ταχύτητα στο βράσιμο οφείλεται στο ότι αυτό γίνεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία. **Η αύξηση της θερμοκρασίας** του φαγητού μέσα στο σκεύος επιτυγχάνεται με την **αύξηση της πίεσης** μέσα σε αυτό.

Η εξήγηση είναι η εξής: Όταν αρχίσει να βράζει στην αρχή-αρχή το φαγητό, αυτό γίνεται στην ατμοσφαιρική πίεση, που υπάρχει μέσα στη χύτρα και πάνω από το περιεχόμενο. Όσο βράζει όμως, ο ατμός που παράγεται δεν βγαίνει από τη χύτρα και έτσι αυξάνεται η πίεση μέσα, διότι η βαλβίδα που υπάρχει δεν αφήνει τον ατμό να βγει έξω.

Η βαλβίδα θα ανοίξει και θα επιτρέψει στον ατμό να βγει, μόνο όταν η πίεση φτάσει σε ένα προκαθορισμένο όριο, που συνήθως είναι 0.5 – 1.0 ατμόσφαιρα **πάνω** από την ατμοσφαιρική πίεση (δηλ. 1.5 – 2 ατμ.).

Στη μισή ατμόσφαιρα (δηλαδή στις 1,5 ατμόσφαιρες απόλυτη πίεση) το νερό βράζει περίπου στους 112°C , ενώ στις 2 ατμόσφαιρες απόλυτη πίεση βράζει στους 120°C.

Όσο μεγαλύτερη η πίεση τόσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία βρασμού, όχι μόνο του νερού αλλά και όλων των άλλων υγρών.

Από τη θερμοδυναμική είναι γνωστό ότι υπό την ίδια πίεση, η **θερμοκρασία βρασμού** μιας ουσίας είναι **ίδια** με τη **θερμοκρασία συμπύκνωσής** της.

Συμπύκνωση, όπως είπαμε λίγο πιο πάνω, είναι η αντίστροφη διαδικασία του βρασμού (που στο μάθημά μας ονομάζεται και εξάτμιση), δηλαδή η μετατροπή με ψύξη ενός αερίου σε υγρό.

Για παράδειγμα αν έχουμε ατμό νερού θερμοκρασίας 150°C (υπέρθερμος ατμός) σε πίεση μιας ατμόσφαιρας και τον ψύξουμε στους 100°C τότε θα αρχίσει η υγροποίησή του (ή συμπύκνωση), που είναι και η θερμοκρασία βρασμού του. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στην παραγωγή της ψύξης: **αν θέλουμε να υγροποιήσουμε υπέρθερμο ατμό μπορούμε να μειώσουμε την θερμοκρασία του χωρίς να μεταβληθεί η πίεση.**

Προχωράμε τώρα σε θέματα σχετικά με τα διαγράμματα. Επειδή ο ψυκτικός κύκλος κατασκευάζεται σε ένα διάγραμμα με άξονες την πίεση και την ενθαλπία, θα πρέπει να εξηγήσουμε τις έννοιες αυτών των δύο μεγεθών.

Η πίεση είναι περισσότερο γνωστή από την ενθαλπία, γι' αυτό απλά θα υπενθυμίσουμε λίγα στοιχεία για αυτήν που πρέπει να γνωρίζετε.

Πίεση ορίζεται ως το πηλίκο της δύναμης που ασκείται σε μια επιφάνεια προς το εμβαδόν αυτής της επιφάνειας.

Η πίεση ενός αερίου που βρίσκεται σε ένα δοχείο είναι η πίεση που ασκούν τα μόρια του αερίου στα τοιχώματα του δοχείου.

Η πίεση που ασκείται σε μια επιφάνεια του δοχείου είναι το άθροισμα των δυνάμεων κάθε μορίου χωριστά που ασκεί στο τοίχωμα προς το εμβαδόν του τοιχώματος.

Επειδή τα μόρια του αερίου είναι παρά πολλά, κάθε στιγμή θεωρούμε ότι πέφτει στο τοίχωμα ένας σταθερός αριθμός μορίων με την ίδια ταχύτητα (άρα και δύναμη), που ασκούν μια δύναμη στο τοίχωμα, που αν διαιρεθεί με την επιφάνεια θα μας δώσει την πίεση.

Ενθαλπία

Η **ενθαλπία** είναι ένα μέγεθος που δείχνει **την ποσότητα της ενέργειας** που υπάρχει στη **μάζα μιας ουσίας**, και έχει ως σύμβολο το **H**. Η μηχανική ενέργεια που οφείλεται στη θέση και στην ταχύτητα της ουσίας ως σύνολο, θεωρούμε ότι δεν υπολογίζεται σε αυτήν, είτε επειδή είναι μικρή (αμελητέα) είτε επειδή δε μας ενδιαφέρει.

Επομένως η ενθαλπία συνυπολογίζει την ενέργεια που έχουν τα μόρια της ουσίας, που για το σκοπό του μαθήματος η ουσία είναι πάντα σε **ρευστή κατάσταση**, δηλαδή είναι υγρή, αέρια ή μίγμα αυτών των δύο.

Τα μόρια λοιπόν της ουσίας έχουν ενέργεια λόγω της ταχύτητας τους και λόγω της πίεσής τους.

Η **ταχύτητα των μορίων** είναι **αντίστοιχη της θερμοκρασίας** της ουσίας, και παριστάνει την **εσωτερική ενέργεια** της ουσίας. Αυτή συμβολίζεται με το γράμμα **U**.

Η πίεση της ουσίας συμμετέχει στην ενθαλπία ουσιαστικά μόνο αν η ουσία είναι σε αέρια κατάσταση και όχι σε υγρή.

Η ενέργεια λόγω της πίεσης δίνεται από τη σχέση όπου είναι η τιμή της πίεσης και ο όγκος που βρίσκεται το αέριο.

Τελικά η ενθαλπία δίνεται από τον τύπο: **$H = U + P.V$**

Η ενθαλπία έχει μονάδες ενέργειας άρα: kJ.

Τις ίδιες μονάδες φυσικά έχει και η εσωτερική ενέργεια **U** καθώς και το γινόμενο **P.V**.

Στην πράξη όμως χρησιμοποιούνται οι μονάδες της ενέργειας ανά μονάδα βάρους της ουσίας, δηλαδή: **kJ / kg**.

Τότε ο συμβολισμός του προηγούμενου τύπου αλλάζει ελαφρώς και γίνεται:

$$h = u + P.v$$

Στον τύπο αυτόν έχουμε ακριβώς τα ίδια μεγέθη, μόνο που εκφράζουν τις έννοιες που συμβολίζουν ανά κιλό ουσίας. Σε αυτή την περίπτωση η ενθαλπία λέγεται «**ειδική ενθαλπία**», η εσωτερική ενέργεια λέγεται «**ειδική εσωτερική ενέργεια**» και ο όγκος λέγεται «**ειδικός όγκος**».

Εκείνο που πρέπει να θυμόμαστε κυρίως από την έννοια της **ενθαλπίας** είναι ότι παριστάνει το **συνολικό ποσό ενέργειας που περιλαμβάνεται στην ποσότητα ενός ρευστού**. Αυτό σημαίνει πως αν γνωρίζουμε την ενθαλπία μιας ουσίας σε μια κατάσταση και την ενθαλπία σε μια άλλη κατάσταση της ουσίας, τότε η διαφορά των δύο ενθαλπιών δείχνει την αύξηση ή τη μείωση της ενέργειας στην ουσία κατά τη μεταβολή.

Για παράδειγμα, έστω ένα αέριο ότι έχει ειδική ενθαλπία 300 kJ / kg και το συμπιέσουμε και η ενθαλπία του αυξηθεί στα 350 kJ / kg. Αυτές τις τιμές θα μπορούσαμε να τις πάρουμε από πίνακες που υπάρχουν για τα αέρια, εφόσον γνωρίζουμε τις πιέσεις και θερμοκρασίες των δύο καταστάσεων. Η αύξηση της ενθαλπίας κατά 50 kJ / kg οφείλεται στη συμπίεση και μπορούμε να πούμε ότι το μηχανήμα που συμπιέζει το αέριο (συμπιεστής) προσθέτει

ενέργεια ίση με 50 kJ σε κάθε κιλό από αυτό. Από αυτή την τιμή των 50 kJ μπορούμε να κάνουμε υπολογισμό για την ενέργεια που καταναλώθηκε από το μηχάνημα συμπίεσης.

Από τις σχέσεις που δίνουν πιο πάνω την ενθαλπία, φαίνεται ότι **σε μια ουσία αν αυξηθεί η θερμοκρασία και η πίεση θα αυξηθεί και η ενθαλπία**. Αντιθέτως, αν αυτά μειωθούν η ενθαλπία θα μειωθεί.

Στον ψυκτικό κύκλο η ενθαλπία υφίσταται τέτοιες μεταβολές, αφού συνεχώς γίνεται συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον του ψυκτικού και έχουμε μεταβολές στην πίεσή του όταν είναι σε αέρια κατάσταση κυρίως.

Παραγωγή ψύξης – Ψυκτικό κύκλωμα

Η παραγωγή της ψύξης επιτυγχάνεται γενικώς μόνο με εξάτμιση υγρού (ή με την τήξη στερεού). Πολλές φορές για να γίνουν αυτές οι μεταβολές δεν είναι τόσο εύκολο. Αντιθέτως, η παραγωγή της θέρμανσης είναι μία εύκολη υπόθεση (και πολλές φορές ανεπιθύμητη).

Πολύ εύκολα τρίβοντας τα χέρια μας τα ζεσταίνουμε, ή ανάβοντας ένα ξύλο ζεσταινόμαστε, ή όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαπερνά μια ηλεκτρική αντίσταση εκείνη θερμαίνεται. Όμως για την ψύξη χρειαζόμαστε ένα πολύπλοκο μηχανισμό όπως είναι το ψυγείο ή το κλιματιστικό.

Σε όλα τα μηχανήματα που παράγουν την ψύξη, αυτό επιτυγχάνεται με το να εξατμιστεί ένα υγρό.

Και στην καθημερινή ζωή όμως έχουμε ψύξη με την εξάτμιση.

Αν πέσει στο χέρι μας λίγο οινόπνευμα ή βενζίνη, σχεδόν αμέσως το χέρι μας κρυώνει αφού το υγρό εξατμίζεται. Η βενζίνη εξατμίζεται διότι παίρνει θερμότητα από την επιφάνεια του χεριού μας και τα μόριά της αποκτούν μεγαλύτερη ταχύτητα (κινητική ενέργεια) ώστε να πάνε στην αέρια φάση. Ο λόγος που κρυώνουμε εκείνη την ώρα είναι ότι δίνουμε θερμότητα. Γενικά, όταν δίνει ο οργανισμός μας (ή ένα μέλος του) θερμότητα αισθανόμαστε ότι κρυώνουμε.

Προηγουμένως είδαμε ότι η **εξάτμιση ενός υγρού γίνεται με τη θέρμανσή του**. Γίνεται όμως και με **μείωση της πίεσής του**, εφαρμόζοντας δηλαδή τον κανόνα που προαναφέραμε, ότι η μείωση της πίεσης σε ένα υγρό μειώνει και τη θερμοκρασία εξάτμισής του.

Για παράδειγμα αν έχουμε νερό σε ένα δοχείο και η θερμοκρασία του είναι 70°C τότε αν μειώσουμε την πίεση στα 0,3bar θα δούμε το νερό να βράζει, αρκεί να διατηρήσουμε σε αυτά τα επίπεδα την πίεση.

Στις συγκολλήσεις με τη λεγόμενη φιάλη MAPP gas αν την χρησιμοποιούμε για αρκετά συνεχόμενα λεπτά, η φιάλη έγινε αρκετά κρύα στο κάτω μέρος της.

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει αν το γκαζάκι του «καφέ» είναι αναμμένο για πολλή ώρα: το φιαλίδιο γίνεται αρκετά κρύο σε σχέση με την αρχική του θερμοκρασία.

Αν πάρετε ένα καινούριο φιαλίδιο και το τρυπήσετε, θα αρχίσει το υγρό να βγαίνει στην ατμόσφαιρα εξατμιζόμενο και θα δείτε πολύ σύντομα να παγώνει η εξωτερική του επιφάνεια.

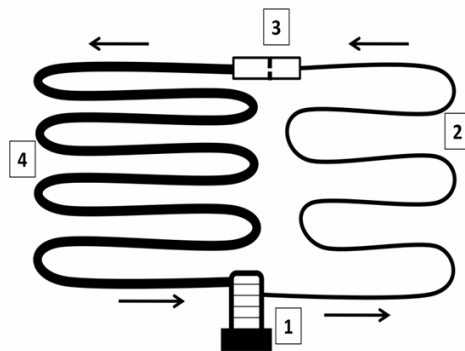
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Έστω ένα υγρό που βρίσκεται μέσα σε δοχείο με μια θερμοκρασία Θ και πίεση P , όπου P εκεί που το υγρό βράζει σε θερμοκρασία Θ . **Αν το υγρό βρεθεί σε χώρο με πίεση μικρότερη από την P , τότε θα αρχίσει να βράζει και θα ψύχει το χώρο γύρω του. Μάλιστα η θερμοκρασία μέχρι την οποία μπορεί να ψύξει το χώρο είναι εκείνη που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία βρασμού του στη πίεση P .**

Στο σχήμα φαίνονται τα βασικά μέρη ενός ψυγείου ή ενός κλιματιστικού μηχανήματος. Αν καταλάβετε πως λειτουργούν θα κατανοήσετε την παραγωγή της ψύξης. Τα τμήματα που φαίνονται στο σχήμα περιλαμβάνουν ένα μηχανήμα, το συμπιεστή με αριθμό 1, ένα μικρό όργανο με μια μικρή τρύπα το 3 και τα υπόλοιπα δύο τμήματα (τα 2 και 4) είναι απλές σωληνώσεις από χαλκό σε σχήμα εναλλακτών¹³ θερμότητας.

Θα δούμε τώρα πως εφαρμόζονται όλα αυτά που αναφέρθηκαν στην παραγωγή της ψύξης.

¹³ **Εναλλάκτης** είναι ένα σύστημα σωληνώσεων μέσα στο οποίο κυκλοφορεί ένα ρευστό και συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Π.χ. το Θ.Σ. (καλοριφέρ) μέσα στο οποίο κυκλοφορεί νερό, ή το μπόιλερ όπου ζεστό νερό μέσα σε μια σπειροειδή σωλήνα ζεσταίνει άλλο νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό του.



Στο σχήμα φαίνονται διάφορα τμήματα που είναι απαραίτητα για να έχουμε παραγωγή ψύξης, με χρήση ενός συνηθισμένου ψυκτικού μέσου¹⁴. Ο τρόπος που θα περιγράψουμε ονομάζεται **ψύξη με συμπίεση ατμών**.

Τα μέρη που βλέπετε στο σχήμα αποτελούν ένα απλό ψυκτικό κύκλωμα. Στα τέσσερα τμήματά του κυκλοφορεί εσωτερικά το ψυκτικό μέσο, το οποίο είναι ένα ρευστό που έχει διάφορες ιδιότητες, με πιο ενδιαφέρουσα αυτή τη στιγμή για μας, ότι η θερμοκρασία που βράζει (και αντιστοίχως συμπυκνώνεται) σε σχέση με το νερό είναι πολύ πιο χαμηλή, για τις ίδιες πιέσεις.

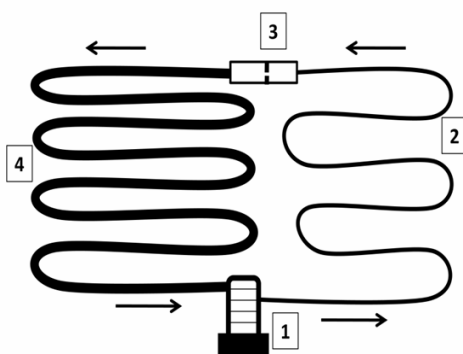
Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε για ένα τυπικό ψυκτικό μέσο και για το νερό τις θερμοκρασίες βρασμού υπό διάφορες πιέσεις. Οι πιέσεις που αναγράφονται στην πρώτη γραμμή είναι εκείνες που συνήθως εφαρμόζονται στις εγκαταστάσεις ψύξης, άρα για το ψυκτικό αυτό οι θερμοκρασίες βρασμού είναι κατάλληλες για παραγωγή ψύξης, εφόσον βέβαια καταφέρουμε να επιτύχουμε τις αντίστοιχες πιέσεις. Παρατηρούμε ότι για μια πίεση του πίνακα αν η θερμοκρασία, είτε του νερού είτε του ψυκτικού, είναι μικρότερη από εκείνη του πίνακα τότε η ουσία είναι σε υγρή μορφή και αν είναι μεγαλύτερη τότε είναι σε αέρια μορφή.

ΠΙΕΣΗ (bar)	0,5	1	2	3	5	8	10	15
ΝΕΡΟ (°C)	81	100	120	134	152	170	180	199
ΨΥΚΤΙΚΟ (°C)	-55	-40	-25	-15	0	12	22	40

Για παράδειγμα, αν η πίεση είναι 3 bar και η θερμοκρασία μιας ποσότητας νερού είναι κάτω από τους 134 °C τότε το νερό είναι σε υγρή μορφή και αν είναι πάνω από αυτή τη θερμοκρασία τότε έχει γίνει υδρατμός. Για δε το ψυκτικό, αν η θερμοκρασία είναι μικρότερη

¹⁴ **Ψυκτικό μέσον** είναι μια ουσία (χημική ένωση ή μίγμα ενώσεων) που έχει θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ψύξης. Για παράδειγμα, έχει χαμηλή θερμοκρασία βρασμού, κλπ.

από τους -15°C το ψυκτικό είναι υγρό και αν είναι μεγαλύτερη τότε είναι αέριο.



Ο **συμπιεστής με αρ.1** στο σχήμα είναι ένα μηχάνημα σαν το γνωστό κομπρεσέρ που συμπιέζει τον αέρα, π.χ. στο λάστιχο του αυτοκινήτου. Σε αυτόν πηγαίνει από αριστερά ο σωλήνας **4**, από τον οποίο ο συμπιεστής αναρροφά το αέριο που ο σωλήνας περιέχει.

ΠΡΟΣΟΧΗ : Στον συμπιεστή πρέπει να πηγαίνει πάντα το ψυκτικό σε αέρια φάση και ποτέ σε υγρή.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι το ψυκτικό που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις του σχήματος, αλλού είναι σε υγρή μορφή και αλλού σε αέρια και **η ποσότητά του είναι σταθερή.**

Όταν βάλουμε στο κύκλωμα των σωληνώσεων μια ποσότητα, αυτή δεν αλλάζει, εκτός αν έχουμε διαρροή, κάτι που είναι ανεπιθύμητο. Δηλαδή, αν βάλουμε μισό κιλό ψυκτικό, αυτή η ποσότητα θα πηγαиноέρχεται διαρκώς στο σύστημα του σχήματος και καμία άλλη. Έτσι εργάζονται τα ψυγεία και τα κλιματιστικά.

Το ψυκτικό αέριο αφού συμπιεστεί στο συμπιεστή, θα βγει από το σωλήνα στη δεξιά πλευρά και θα πάει στη σωληνώση **2** του σχήματος. Εκεί πηγαίνει με μεγάλη θερμοκρασία διότι με τη συμπίεση τα μόρια του αερίου αναγκάζονται να κινηθούν πιο γρήγορα, άρα η θερμοκρασία (και η πίεσή) των αερίων μεγαλώνει πολύ.

Η **σωληνώση 2** είναι ένας **εναλλάκτης θερμότητας** που ονομάζεται **συμπυκνωτής**. Στο συμπυκνωτή το ψυκτικό πηγαίνει, σε αέρια μορφή με μεγάλη θερμοκρασία και πίεση άρα μετατρέπεται σε υγρό. Αυτό γίνεται με ψύξη του συμπυκνωτή.

Δηλαδή για να υγραποιηθεί ένα αέριο θα πρέπει να μειώσουμε ή τη θερμοκρασία του ή να αυξήσουμε την πίεσή του.

Εδώ το αέριο εισέρχεται με μεγάλη πίεση και θα πρέπει να μειωθεί η θερμοκρασία του για να υγραποιηθεί. Για να γίνει όλη αυτή η διαδικασία θα πρέπει η πίεση να παραμένει υψηλή, όπως τη δημιουργεί ο συμπιεστής. Για να το πετύχουμε αυτό, στο τέλος της σωληνώσεως του

συμπυκνωτή βάζουμε ένα όργανο - με αριθμό 3 στο σχήμα - που ουσιαστικά έχει μια μικρή τρυπούλα που αφήνει ελάχιστο ψυκτικό να προχωρεί.

Άρα το περισσότερο ψυκτικό εγκλωβίζεται στο συμπυκνωτή με αποτέλεσμα να μεγαλώνει η πίεσή του. Στην ουσία μένει συνέχεια υψηλή.

Σε υψηλή πίεση, όπως γνωρίζουμε, είναι πιο εύκολο να υγροποιηθεί ένα ψυκτικό αέριο, αφού η θερμοκρασία πρέπει να κατέβει σε επίπεδα συνηθισμένων θερμοκρασιών.

Στον πίνακα που προηγήθηκε: αν η πίεση είναι 15bar η θερμοκρασία που το αέριο θα υγροποιηθεί είναι 40°C, ενώ αν η πίεση είναι 2bar η θερμοκρασία που πρέπει να πάει το αέριο για να υγροποιηθεί είναι -25°C, που είναι πολύ χαμηλή και αν την είχαμε δεν θα χρειαζόταν το ψυγείο. Το αέριο ψυκτικό στην έξοδο του συμπυκνωτή θα έχει θερμοκρασία της τάξης των 60°C και αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι γύρω στους 30°C, είναι εύκολο να μειωθεί στους 40°C η θερμοκρασία του ψυκτικού με τον αέρα του περιβάλλοντος. Αυτά περίπου γίνονται στο συμπυκνωτή στα ψυγεία και στα κλιματιστικά. Εννοείται ότι, για να πετύχουμε τη συμπύκνωση του ψυκτικού στο συμπυκνωτή πρέπει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, ώστε να μπορέσουμε να «ρίξουμε» όσο χρειάζεται τη θερμοκρασία του ψυκτικού.

Στα **οικιακά ψυγεία** συνήθως έχουμε ένα **συμπυκνωτή** που ουσιαστικά είναι ένας μακρύς λεπτός σωλήνας μέσα στον οποίο προχωρά το ψυκτικό. Μέχρι να φτάσει στο τέλος του έχει ψυχθεί αρκετά, από τον αέρα του περιβάλλοντος, ώστε να έχει μετατραπεί σε υγρό. Σημειώστε ότι όλο αυτό γίνεται στην ίδια σχεδόν με την αρχική υψηλή πίεση.

Στα **κλιματιστικά** ο **συμπυκνωτής** είναι συμπαγούς μορφής και ψύχεται με τον αέρα του περιβάλλοντος με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα και αυτό τον κάνει να ψύχεται πιο γρήγορα.

Το όργανο με αριθμό 3 είναι σαν μία μικρή τρύπα που περιορίζει το ψυκτικό στο συμπυκνωτή, ώστε η πίεση σε αυτόν να μένει υψηλή. Αυτό όμως έχει σαν συνέπεια η πίεση στην επόμενη σωλήνωση με αριθμό 4 να μένει σχετικά χαμηλή. Εκεί είναι ο **εξατμιστής** ή **ατμοποιητής**, όπου γίνεται η εξάτμιση και η παραγωγή της ψύξης. Το όργανο **3** ονομάζεται **εκτονωτικό μέσο**, διότι εκτονώνει το ψυκτικό, δηλαδή του μειώνει την πίεση και αυτός είναι ο σκοπός του.

Βέβαια, αν και θα μπορούσε, δεν είναι μια απλή τρύπα αλλά μπορεί να είναι από ένα απλό σωληνάκι μέχρι ένα σύνθετο όργανο. Πάντως ο σκοπός είναι ο ίδιος: **η μείωση της πίεσης του ψυκτικού, καθώς θα περάσει από αυτό.**

Το πιο απλό εκτονωτικό μέσο είναι ένας τριχοειδής σωλήνας, ένας σωλήνας με εσωτερική διάμετρο λίγο πάνω, λίγο κάτω από ένα χιλιοστό (**1 mm**).

Όπως περνά από μέσα το ψυκτικό λόγω των τριβών μειώνεται συνεχώς η πίεσή του. Γι αυτό είναι πολύ λεπτός: για να έχει το ψυκτικό πολλές τριβές.

Στα οικιακά ψυγεία, που χρησιμοποιείται ο τριχοειδής σωλήνας, έχει μήκος αρκετά μέτρα για να πετύχει την επιθυμητή μείωση της πίεσης. Στα επαγγελματικά ψυγεία συχνά είναι όντως μια τρύπα. Όμως όλο το όργανο είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να μπορεί το μέγεθος της τρύπας να αυξομειώνεται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του ψυγείου.

Ο **εξατμιστής** είναι ο τελικός αποδέκτης του ψυκτικού και εκεί θα πάρουμε το ψυκτικό αποτέλεσμα για το οποίο γίνονται όλα αυτά. Μόλις το ψυκτικό υγρό μπει σε αυτόν θα νιώσει τη χαμηλή πίεση και αμέσως θα αρχίσει να εξατμίζεται, όπως ήδη γνωρίζουμε σε τέτοιες περιπτώσεις.

Η εξατμισή του είναι κάτι αναγκαστικό διότι η πίεση είναι πολύ χαμηλή. Φυσικά σημασία έχει και η θερμοκρασία του χώρου έξω από τη σωλήνωση, η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία βρασμού του ψυκτικού στην πίεση που έχει εσωτερικά ο εξατμιστής.

Όλη η διαδικασία του ψυκτικού κύκλου γίνεται για να φτάσει το ψυκτικό μέσο σε υγρή μορφή στον εξατμιστή, ώστε να μπορέσει να μετατραπεί σε αέριο με την εξατμηση και έτσι να απορροφήσει τη θερμότητα του χώρου ή των προϊόντων του ψυγείου.

Όταν έχει γίνει αέριο, μετά τον εξατμιστή, πρέπει πάλι να ξαναγίνει υγρό ώστε να ξανάρθει στον εξατμιστή και να κάνει την ίδια μετατροπή σε αέριο. Φεύγοντας από τον εξατμιστή το αέριο πρέπει να οδηγηθεί στα υπόλοιπα εξαρτήματα ώστε να μετατραπεί σε υγρό. Αυτός είναι ο στόχος. Αν το ψυκτικό ήταν κάτι φθηνό και αβλαβές θα το βάζαμε με σωλήνες στα ψυγεία και στα κλιματιστικά και ας έφευγε στην ατμόσφαιρα μετά την εξατμηση.

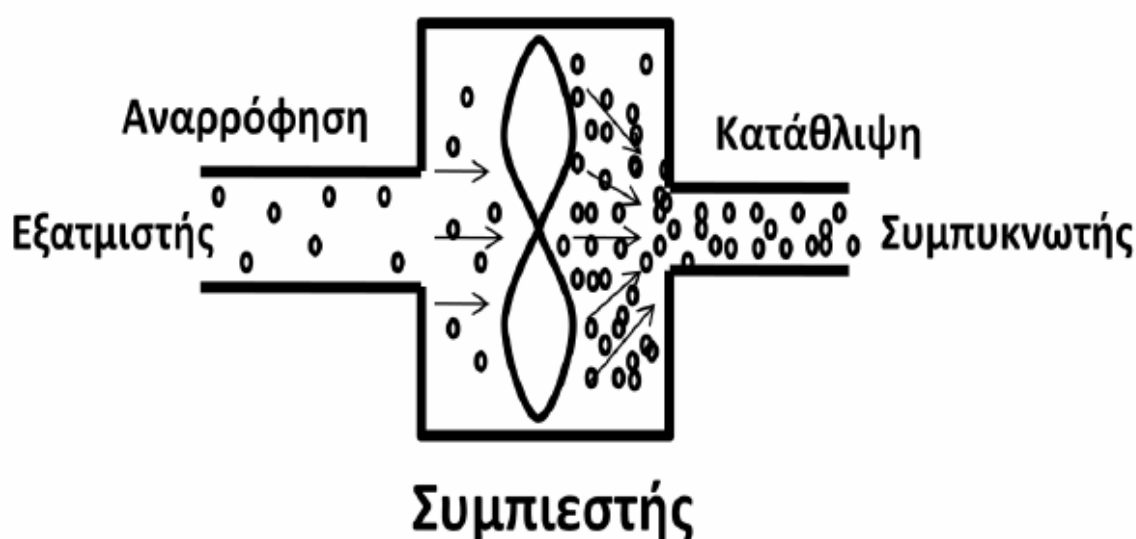
Έτσι κάνουμε με το νερό, που είναι σχετικά φθηνό. Το βάζουμε στις γλάστρες και δεν έχουμε κάνει ένα σύστημα που να το μαζεύει και να το ξαναχρησιμοποιούμε.

Προσέξτε ότι, όπως είπαμε νωρίτερα, συμπιέζουμε το ψυκτικό για να μπορέσουμε σε υψηλή πίεση να το υγροποιήσουμε ξανά πιο εύκολα. Να εξηγήσουμε όμως λίγο περισσότερο πως ο εξατμιστής καταφέρει να έχει χαμηλή πίεση. Οφείλεται στο ότι ο συμπιεστής τραβά συνεχώς το παραγόμενο από αυτόν αέριο.

Βεβαίως, και το εκτονωτικό μέσο παίζει το ρόλο του, όμως αν δεν αφαιρούσε και ο συμπιεστής συνεχώς αέριο, θα γέμιζε ο εξατμιστής ψυκτικό και πλέον η πίεση θα αυξανόταν. Όλοι οι συμπιεστές είναι έτσι κατασκευασμένοι που λειτουργούν έτσι ώστε το αέριο που συμπιέζουν, από κάπου θα πρέπει να το αναρροφούν. **Η αναρρόφηση στις ψυκτικές διατάξεις γίνεται από τον εξατμιστή.**

Με το επόμενο απλό σχήμα μπορούμε να καταλάβουμε τι συμβαίνει. Παρατηρούμε τα αραιά μόρια του **εξατμιστή** και πως πυκνώνουν στον **συμπυκνωτή**.

Ο συμπιεστής επομένως έχει **δύο** σωλήνες συνδεδεμένους σε αυτόν: ο ένας φέρνει το ψυκτικό από τον εξατμιστή και ονομάζεται **αναρρόφηση** και ο άλλος προωθεί το ψυκτικό στον συμπυκνωτή και ονομάζεται **κατάθλιψη**. Ο σωλήνας της αναρρόφησης έχει μεγαλύτερη διάμετρο από εκείνον της κατάθλιψης.



Οφείλουμε να σημειώσουμε κάτι που δεν είναι πάντα αντιληπτό σε πολλούς μαθητές: η

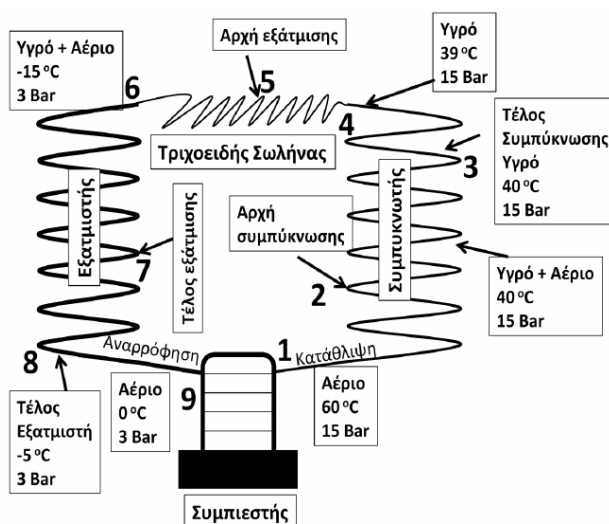
ποσότητα του ψυκτικού που ρέει στους σωλήνες των δύο προηγούμενων σχημάτων είναι **σταθερή** και **ίδια** σε όλα τα σημεία.

Αν δηλαδή από ένα σημείο του συμπυκνωτή περνούν 50 γραμμάρια ψυκτικού κάθε λεπτό, η ίδια ποσότητα περνά και από κάθε σημείο του εξατμιστή, και μέσα από το εκτονωτικό μέσο και από το συμπιεστή. Αυτός είναι «ο νόμος της συνέχειας» στα ρευστά. Όταν ένα σύστημα είναι κλειστό (δεν αλλάζει η ποσότητα του ρευστού που κυκλοφορεί σε αυτό) από κάθε διατομή του συστήματος περνά ίδια ποσότητα ρευστού. Αν από ένα σημείο περνούσε λιγότερο ψυκτικό, τότε το ρευστό θα μαζευόταν σιγά-σιγά όλο πριν από αυτό το σημείο.

Αφού κατανοήσαμε τις μεταβολές που γίνονται σε ένα κύκλωμα που παράγει ψύξη και γνωρίσαμε τα βασικά εξαρτήματά του, ας δούμε ένα αναλυτικό παράδειγμα με ένα τυπικό ψυκτικό μέσο.

Οι τιμές των πιέσεων και των θερμοκρασιών, που αναγράφονται στο επόμενο σχήμα με το ψυκτικό κύκλωμα, είναι αντιπροσωπευτικές ενός ψυγείου και δίνονται για να γίνουν περισσότερο κατανοητές οι διεργασίες στο κύκλωμα. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν τριβές στο κύκλωμα.

Το σημείο **1** είναι η **κατάθλιψη του συμπιεστή**, δηλαδή ο σωλήνας μέσα στον οποίο εισέρχεται το **συμπιεσμένο αέριο** που πλέον έχει υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Η θερμοκρασία του είναι **60°C** και η πίεση **15bar**.



Επειδή στο συμπιεστή με τη συμπίεση έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης θα έχουμε και αύξηση της ενθαλπίας του ψυκτικού.

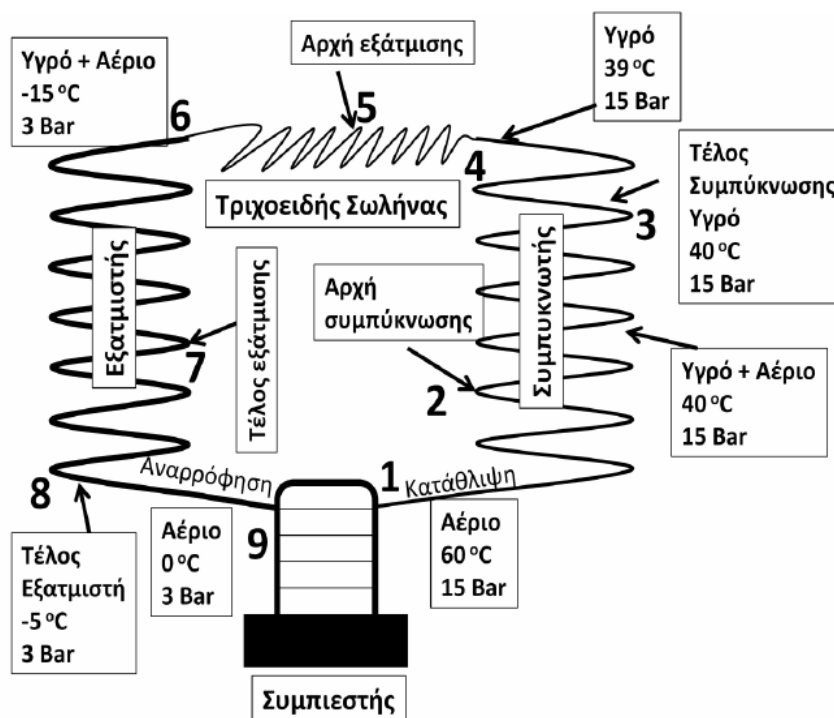
Υπενθυμίζουμε ότι η ενθαλπία μεγαλώνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης. Από την κατάθλιψη μπαίνει στον συμπυκνωτή. Ουσιαστικά η κατάθλιψη είναι η αρχή του συμπυκνωτή. Αν υποθέσουμε ότι ο συμπυκνωτής βρίσκεται σε ένα χώρο με θερμοκρασία 25°C, τότε όσο το αέριο προχωρά μέσα στο συμπυκνωτή, ψύχεται από το περιβάλλον και η θερμοκρασία του μειώνεται μέχρι να φτάσει τους 40°C.

Δηλαδή από το 1 ως το 2 έχουμε ψύξη του αερίου. Η τιμή των 40°C είναι η θερμοκρασία βρασμού που αντιστοιχεί στο ψυκτικό του ψυγείου για την πίεση των 15 bar. Πρέπει να φτάσει το ψυκτικό στους 40°C για να αρχίσει να μετατρέπεται από αέριο σε υγρό.

Στο σημείο 2 του σχήματος είναι που το ψυκτικό αέριο μόλις έχει φτάσει στους 40°C και αρχίζει η υγροποίησης του, εφόσον συνεχίζεται η ψύξη του.

Η υγροποίηση συνεχίζεται σχεδόν σε όλο το μήκος του συμπυκνωτή, μέχρι το σημείο 3, που έχει ολοκληρωθεί η συμπύκνωση. Δηλαδή, όλο το αέριο έχει μετατραπεί σε υγρό. Από εκεί και μετά, μέχρι τον τριχοειδή σωλήνα, όλο το ρευστό είναι σε υγρή μορφή. Στην σωλήνωση του συμπυκνωτή **από το 2 ως το 3**, έχουμε **ψύξη** του συμπυκνωτή, αλλά η **θερμοκρασία μένει σταθερή** γιατί το ψυκτικό αλλάζει φάση. **Άρα η θερμότητα που συναλλάσσεται με το περιβάλλον είναι λανθάνουσα θερμότητα.**

Επομένως από το 2 ως το 3 συνυπάρχει η υγρή και η αέρια φάση του ψυκτικού. Μετά από το σημείο 3, που έχει ολοκληρωθεί η υγροποίηση, το υγρό είναι υπόψυκτο, μέχρι να αρχίσει η εξάτμισή του, που θα γίνει μέσα στον τριχοειδή σωλήνα.



Όταν φτάσει στον τριχοειδή σωλήνα η θερμοκρασία του υγρού έχει μειωθεί λίγο μέχρι τους 39 $^{\circ}\text{C}$ στο σημείο με αριθμό 4. Από το 3 ως το 4 έχουμε τη λεγόμενη **υπόψυξη**.

Η υπόψυξη είναι επιθυμητή γιατί μας εξασφαλίζει ότι στο εκτονωτικό μέσο το ψυκτικό θα φτάσει σε υγρή κατάσταση.

Σε όλη την πορεία του ψυκτικού στο συμπυκνωτή, επειδή έχουμε ψύξη, η ενθαλπία του μειώνεται συνεχώς.

Στο σημείο 4 μπαίνει το υγρό στον τριχοειδή, όπου λόγω της μικρής του διατομής δημιουργούνται πολλές τριβές, με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλη πτώση πίεσης. Βλέπουμε στο σχήμα ότι στον τριχοειδή εισέρχεται με πίεση 15bar, την πίεση δηλαδή που επικρατεί στον συμπυκνωτή.

Αμέσως αρχίζει να μειώνεται η πίεση του ψυκτικού υγρού λόγω των τριβών. Η **πτώση της πίεσης** εκτός από **εκτόνωση** ονομάζεται και **στραγγαλισμός**, γι αυτό και το εκτονωτικό μέσο ονομάζεται επίσης και στραγγαλιστής.

Η πτώση της πίεσης στο υγρό το φέρνει σε συνθήκες εξάτμισης, αφού έχουμε πει ότι με την ελάττωση της πίεσης μπορούμε να εξατμίσουμε ένα υγρό. Έτσι λοιπόν το υγρό αρχίζει αν εξατμίζεται, απορροφώντας θερμότητα από τον ίδιο τον εαυτό του, με αποτέλεσμα να

μειώνεται η θερμοκρασία του. Άρα ταυτόχρονα με την πτώση της πίεσης στον στραγγαλιστή έχουμε και μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού.

ΠΙΕΣΗ (bar)	0,5	1	2	3	5	8	10	15
ΝΕΡΟ (°C)	81	100	120	134	152	170	180	199
ΨΥΚΤΙΚΟ (°C)	-55	-40	-25	-15	0	12	22	40

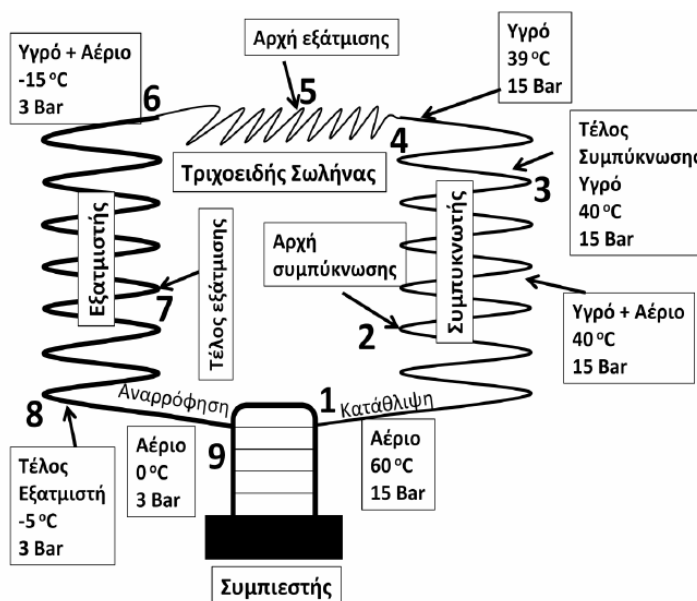
Επομένως η πτώση της πίεσης έχει σαν αποτέλεσμα να αρχίσει η εξάτμιση του υγρού αρκετά πριν φτάσει στην έξοδο του τριχοειδούς σωλήνα. Στον πίνακα με τις πιέσεις και τις θερμοκρασίες, αν η πίεση του ψυκτικού στον τριχοειδή μειωθεί από τα 15bar στα 10bar τότε η θερμοκρασία εξάτμισης θα φτάσει στους 22°C και θα αρχίσει να εξατμίζεται. Αν η πίεση είναι μεγαλύτερη από τα 10bar - 12bar για παράδειγμα, τότε η εξάτμιση δεν θα αρχίσει στους 22°C αλλά νωρίτερα σε μεγαλύτερη θερμοκρασία. Ίσως πάλι η εξάτμιση αρχίσει όταν η πίεση φτάσει στα 5bar και η θερμοκρασία έχει μειωθεί στους 0°C.

Ας πούμε ότι η εξάτμιση θα αρχίσει στο σημείο με αριθμό 5. Από εκεί και μετά θα έχουμε **συνύπαρξη της υγρής και της αέριας φάσης του ψυκτικού**. Δηλαδή από το 5 μέχρι το 6 (αλλά και μέχρι το 7, όπως θα δούμε) θα έχουμε αλλαγή φάσης, **εξάτμιση**. Να προσέξουμε ότι παρά το ότι γίνεται εξάτμιση και παρά την αλλαγή φάσης που συμβαίνει, η θερμοκρασία μειώνεται συνεχώς γιατί μειώνεται και η πίεση μέχρι το σημείο 6.

Η ενθαλπία κατά την εκτόνωση θεωρείται ότι μένει σταθερή. Χωρίς να το εξηγήσουμε περισσότερο θα αναφέρουμε ότι αυτό γίνεται γιατί **ο στραγγαλισμός θεωρείται αδιαβατική μεταβολή και γι αυτό θα είναι και ισενθαλπική**.

Συνοψίζοντας, στον τριχοειδή σωλήνα έχουμε μείωση της πίεσης, μείωση της θερμοκρασίας και η ενθαλπία μένει σταθερή.

Το ψυκτικό μπαίνει σε μεγάλη θερμοκρασία και πίεση και εξέρχεται με χαμηλές τιμές και στα δύο αυτά μεγέθη.



Στο σημείο υπ' αριθμόν 6, αμέσως μετά το τέλος του εκτονωτικού μέσου, αρχίζει ο **εξατμιστής**, το μέρος όπου παίρνουμε την επιθυμητή ψύξη. Όπως είπαμε έχει αρχίσει ήδη η εξάτμιση και στον εξατμιστή μπαίνει μίγμα υγρού και αερίου. Ασφαλώς η εξάτμιση συνεχίζεται στην σωλήνωση που αποτελεί τον εξατμιστή. Το ψυκτικό εδώ παίρνει τα θερμικά φορτία των προϊόντων του ψυγείου, και γενικότερα του χώρου στον οποίο βρίσκεται, και έτσι γίνεται η εξάτμισή του. Στον εξατμιστή η πίεση παραμένει σταθερή (θεωρούμε ότι δεν έχουμε μεγάλες τριβές όπως πριν στον τριχοειδή σωλήνα), άρα, αφού έχουμε αλλαγή φάσης, η θερμοκρασία επίσης δεν αλλάζει και είναι η θερμοκρασία εξάτμισης (βρασμού) που αντιστοιχεί στην πίεση του εξατμιστή. Επαναλαμβάνουμε ότι η πίεση διατηρείται χαμηλή διότι ταυτόχρονα με τη χρήση του εκτονωτικού μέσου η αναρρόφηση του συμπιεστή δεν αφήνει να συσσωρευτεί πολύ ψυκτικό στη σωλήνωση του εξατμιστή.

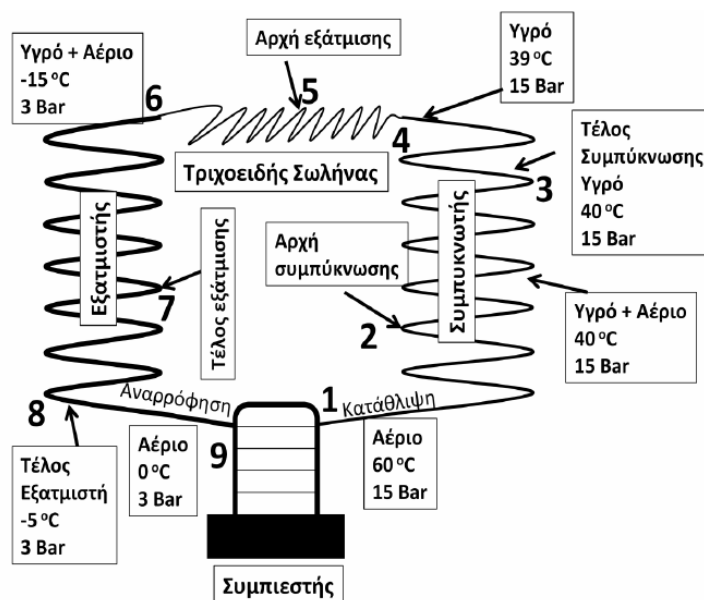
Όσο περισσότερα ζεστά προϊόντα υπάρχουν στο χώρο εξωτερικά από τον εξατμιστή (στο ψυγείο), τόσο πιο γρήγορα θα τελειώσει η εξάτμιση του υγρού, αφού θα ζεσταθεί πιο γρήγορα. Στο σχήμα το σημείο αυτό συμβολίζεται με τον αριθμό 7. Εκεί τελειώνει η εξάτμιση και από εδώ και μετά έχουμε στον εξατμιστή μόνο αέριο.

Στο σημείο 7 το αέριο εννοείται ότι είναι κορεσμένο και στη συνέχεια, αφού θερμαίνεται περαιτέρω από τα προϊόντα, γίνεται **υπέρθερμο**.

Υπέρθερμο θα είναι μέχρι να φτάσει στο συμπιεστή (αλλά και μετά από αυτόν).

Επομένως στο σημείο 7 έχουμε τη θερμοκρασία εξάτμισης -15°C και στο σημείο 8 η θερμοκρασία έχει ανέβει στους -5°C . Άρα η υπερθέρμανση θα είναι 10°C [$-5 - (-15) = 10$], αφού ως **υπερθέρμανση ορίζεται η διαφορά της θερμοκρασίας εξόδου του ψυκτικού αερίου από τον εξατμιστή, από τη θερμοκρασία εξάτμισης.**

Μετά το τέλος του εξατμιστή και μέχρι το ψυκτικό να φτάσει, μέσω του σωλήνα της αναρρόφησης, στον συμπιεστή η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται λίγο ακόμα. Ας πούμε ότι φτάνει στους 0°C στο σημείο με αριθμό 9 του σχήματος. Αν και αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας είναι υπερθέρμανση του αερίου, συνήθως δεν θεωρείται ως τέτοια, λόγω του ορισμού που προαναφέρθηκε.

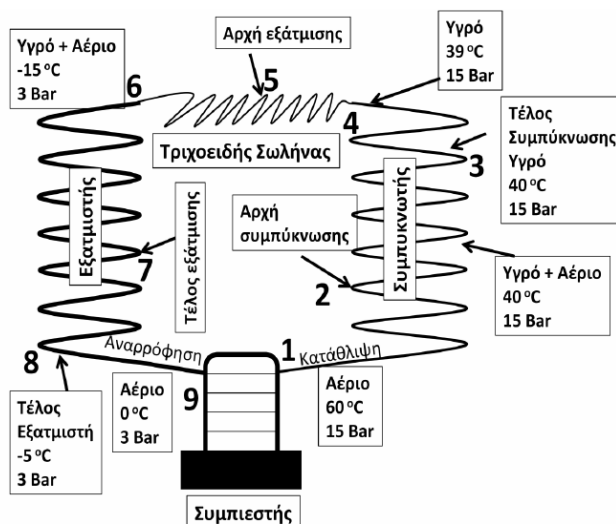


Σε όλη τη διάρκεια της εξάτμισης, αλλά και της υπερθέρμανσης, επειδή το ψυκτικό θερμαίνεται, η ενθαλπία του θα αυξάνεται. Η πίεση από την είσοδο στο 6 μέχρι την αναρρόφηση στο 9 μένει σταθερή στα 3bar. Όσο για τη θερμοκρασία, είπαμε ότι μέχρι το τέλος της εξάτμισης μένει σταθερή και μετά αυξάνεται μέχρι το συμπιεστή. Γενικά όμως θα λέγαμε ότι μένει σε χαμηλές τιμές.

Το ψυκτικό αέριο φτάνοντας στο συμπιεστή ξαναρχίζει την πορεία που μόλις περιγράψαμε. Στον πίνακα της επόμενης σελίδας συγκεντρώσαμε τις μεταβολές που

περιγράψαμε και τα διάφορα χαρακτηριστικά σε κάθε μία από αυτές.

Κάναμε την περιγραφή του ψυκτικού κυκλώματος αρκετά αναλυτικά και με τις αναγκαίες εξηγήσεις. Θα δώσουμε τώρα μια συνοπτική περιγραφή, ώστε να μπορέσετε να τη μάθετε καλύτερα και ίσως να τη θυμάστε πιο εύκολα



Ο **συμπιεστής** συμπιέζει το αέριο που έρχεται σε αυτόν από την αναρρόφηση σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία. Μέσω της κατάθλιψης το αέριο σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση πηγαίνει στον **συμπυκνωτή**. Εκεί ψύχεται συνεχώς και η θερμοκρασία του μειώνεται μέχρι τη θερμοκρασία συμπύκνωσης που αντιστοιχεί στην πίεση του συμπυκνωτή.

Η υγροποίηση του ψυκτικού αερίου συνεχίζεται μέχρι να γίνει όλο υγρό.

Το υγρό ψυκτικό ωθείται στο **εκτονωτικό μέσο** όπου στην έξοδό του η πίεσή του έχει μειωθεί μέχρι την πίεση που θέλουμε να έχει στον **εξατμιστή**.

Φτάνοντας στον εξατμιστή το ψυκτικό έχει αρχίσει να εξατμίζεται και η πίεση που έχει είναι μικρή και η θερμοκρασία του επίσης μικρή, όση η θερμοκρασία εξάτμισης που αντιστοιχεί στην πίεση που επικρατεί στον εξατμιστή.

Πριν την έξοδο από τον εξατμιστή η εξάτμιση τελειώνει και αρχίζει η υπερθέρμανση του αερίου πλέον ψυκτικού.

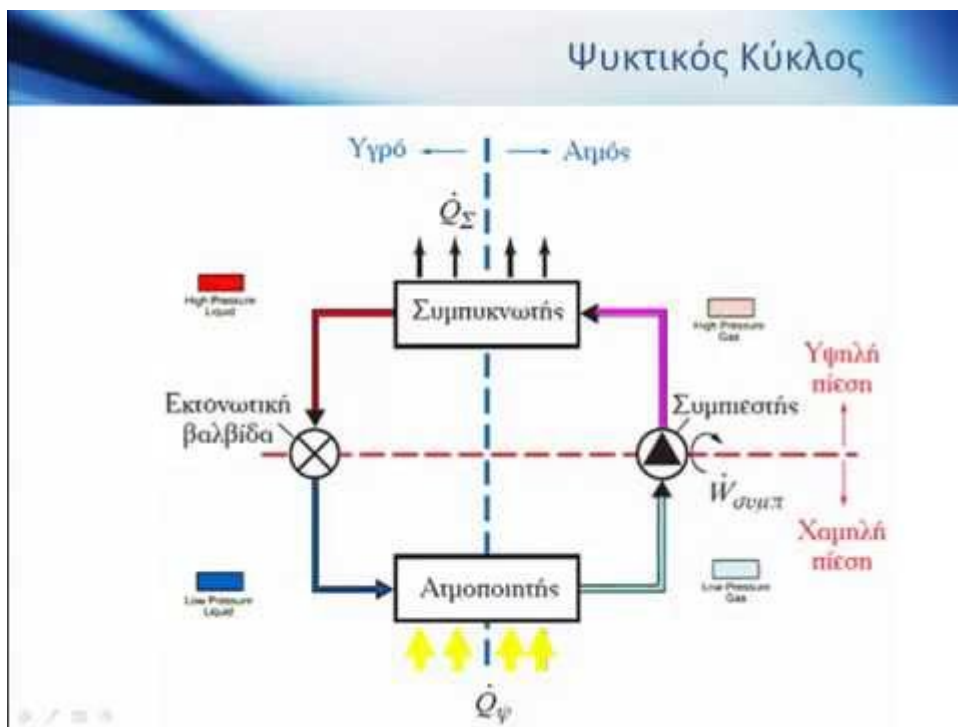
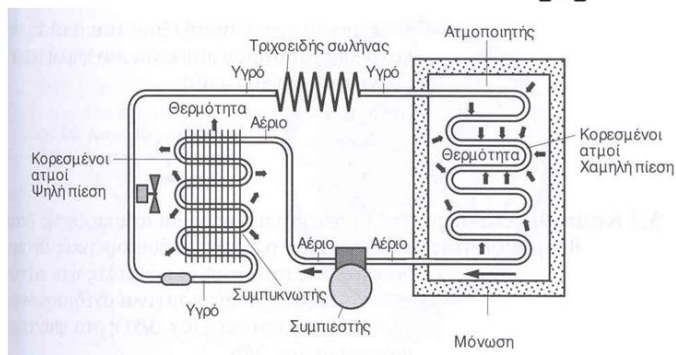
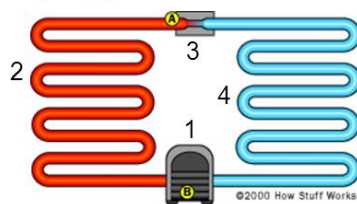
Σε αυτή την κατάσταση φτάνει στο συμπιεστή για να αρχίσει ξανά η ίδια διαδικασία.

Σημείο Ψυκτικού Κυκλώματος	Όργανο Ψυκτικού Κυκλώματος	Διεργασία	Κατάσταση ψυκτικού μέσου	Πίεση	Θερμο- κρασία	Ενθαλπία
Συμπιεστής	Συμπιεστής	Συμπίεση	Αέριο	Αυξάνεται ↓	Αυξάνεται	Αυξάνεται
1 →	Κατάθλιψη	Ψύξη	Αέριο	Σταθερή	Μειώνεται	Μειώνεται
1 - 2	Συμπυκνωτής	Ψύξη	Αέριο	Σταθερή	Μειώνεται	Μειώνεται
2 →	Συμπυκνωτής	Αρχή συμπύκνωσης	Κορεσμένο Αέριο	Σταθερή	Σταθερή	Μειώνεται
2 - 3	Συμπυκνωτής	Συμπύκνωση	Αέριο + Υγρό	Σταθερή	Σταθερή	Μειώνεται
3 →	Συμπυκνωτής	Τέλος συμπύκνωσης	Κορεσμένο Υγρό	Σταθερή	Σταθερή ↓	Μειώνεται
3 - 4	Συμπυκνωτής	Υπόψυξη	Υγρό	Σταθερή	Μειώνεται	Μειώνεται
4 →	Αρχή τριχοειδούς σωλήνα	Εκτόνωση	Υγρό	Μειώνεται ↓	Μειώνεται	Σταθερή
4 - 5	Τριχοειδής σωλήνας	Εκτόνωση	Υγρό	Μειώνεται ↓	Μειώνεται	Σταθερή
5 →	Τριχοειδής σωλήνας	Εκτόνωση – Αρχή εξάτμισης	Υγρό	Μειώνεται ↓	Μειώνεται	Σταθερή
5 - 6	Τριχοειδής σωλήνας	Εκτόνωση – Εξάτμιση	Υγρό + Αέριο	Μειώνεται ↓	Μειώνεται	Σταθερή
6 →	Αρχή εξατμιστή	Εξάτμιση	Υγρό + Αέριο	Σταθερή	Σταθερή	Αυξάνεται
6 - 7	Εξατμιστής	Εξάτμιση	Υγρό + Αέριο	Σταθερή	Σταθερή	Αυξάνεται
7 →	Εξατμιστής	Τέλος εξάτμισης	Κορεσμένο Αέριο	Σταθερή	Σταθερή ↑	Αυξάνεται
7 - 8	Εξατμιστής	Υπερθέρμανση	Αέριο	Σταθερή	Αυξάνεται	Αυξάνεται
8 - 9	Αναρρόφηση	Υπερθέρμανση*	Αέριο	Σταθερή	Αυξάνεται	Αυξάνεται
Συμπιεστής	Συμπιεστής	Συμπίεση	Αέριο	Αυξάνεται ↓	Αυξάνεται	Αυξάνεται

: Το βέλος υπονοεί ότι οι επεξηγήσεις που αντιστοιχούν στο σημείο που αναφέρεται το βέλος αφορούν το σημείο και λίγο μετά από αυτό.
↑ ή ↓ : Η θερμοκρασία ήταν σταθερή αλλά από τώρα και στο εξής θα αυξάνεται ή θα μειώνεται.
Υπερθέρμανση* : Η υπερθέρμανση εδώ είναι της αναρρόφησης και όχι του εξατμιστή, όπως αυτή ορίζεται.

Για τη λειτουργία του ψυκτικού κύκλου απαιτείται ένα ψυκτικό κύκλωμα. Ένα στοιχειώδες ψυκτικό κύκλωμα πρέπει να περιλαμβάνει:

1. Το συμπιεστή
2. Το συμπυκνωτή
3. Τον τριχοειδή σωλήνα
4. Τον ατμοποιητή



ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

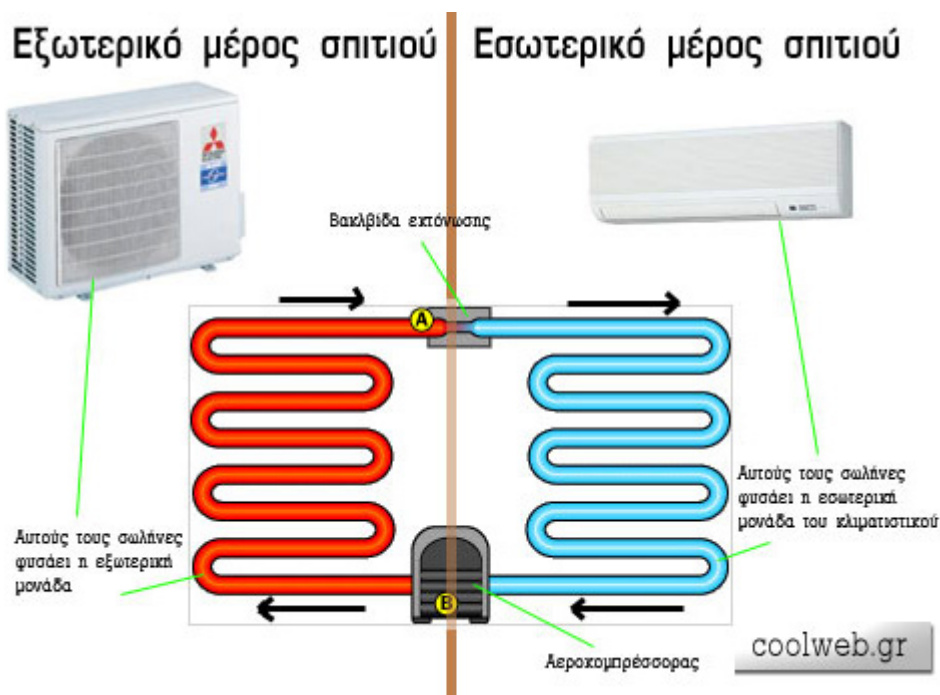
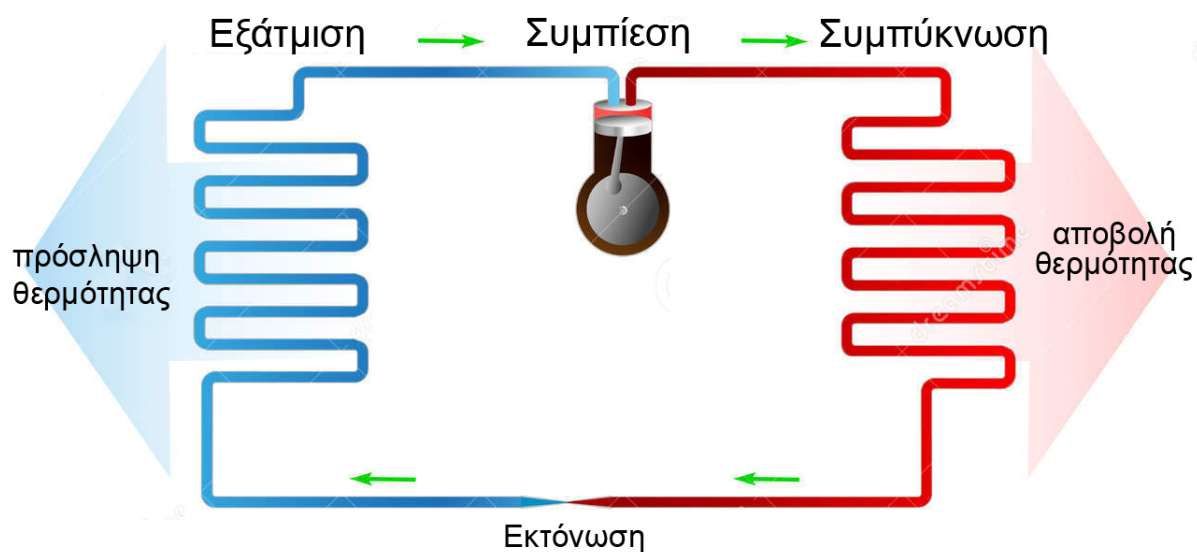
Ο όρος αναφέρεται σε οποιαδήποτε μορφή της ψύξης, θέρμανσης, εξαερισμού ή απολύμανσης που τροποποιεί την κατάσταση του αέρα.

Σύστημα κλιματισμού είναι μια συσκευή, σύστημα ή μηχανισμός που σταθεροποιείται τη θερμοκρασία του αέρα και την υγρασία εντός της περιοχής που χρησιμοποιείται για την ψύξη, καθώς και τη θέρμανση ανάλογα με τις ιδιότητες του αέρα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, συνήθως με τη χρήση του κύκλου ψύξης αλλά μερικές φορές με τη χρήση της εξάτμισης, πλέον κοινώς άνεση για την ψύξη των κτιρίων και αυτοκινήτων οχημάτων.

Οι **βασικές λειτουργίες** που επιτελούνται σε ένα σύστημα κλιματισμού είναι:

- **Θέρμανση:** είναι η διεργασία πρόσθεσης θερμικής ενέργειας (θερμότητας) στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια (βλ. θερμοστάτης).
- **Ψύξη:** είναι η διεργασία αφαίρεσης θερμικής ενέργειας (θερμότητας) από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την πτώση της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια (βλ. θερμοστάτης).
- **Υγρανση:** είναι η διεργασία πρόσθεσης νερού (υγρασίας) στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο της σχετικής υγρασίας ή τη διατήρησή της σε ορισμένα όρια.
- **Αφύγρανση:** είναι η διεργασία αφαίρεσης νερού (υγρασίας) από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την πτώση της σχετικής υγρασίας ή τη διατήρησή της σε ορισμένα όρια.
- **Ανανέωση του αέρα:** είναι η διεργασία λήψης εξωτερικού αέρα και απόρριψης αέρα από τους χώρους του κτιρίου, με σκοπό την αραίωση των αέριων προσμίξεων του αέρα και την εξασφάλιση της απαραίτητης ποιότητας του εσωτερικού αέρα.
- **Καθαρισμός του αέρα:** είναι η διεργασία αφαίρεσης των σωματιδιακών και βιολογικών προσμίξεων του αέρα με σκοπό τη βελτίωση και τη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.

Πως λειτουργεί το κλιματιστικό;



Το κλιματιστικό μηχανήμα αποτελείται από τρία μέρη - συσκευές: την εσωτερική μονάδα και την εξωτερική (συμπιεστής) και τον εξατμιστήρα η λειτουργία των οποίων βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο.

Συνδετικός κρίκος μεταξύ των συσκευών αυτών είναι το φρέον (ψυκτικό υγρό).

Ακολουθώντας τον ψυκτικό κύκλο, το κλιματιστικό αφαιρεί ποσότητες θερμότητας από τον χώρο ώστε να μειωθεί ή να αυξηθεί η θερμοκρασία.

Ένα κλιματιστικό λειτουργεί παρόμοια με ένα ψυγείο. Το ψυκτικό κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα ενώ αλλάζει η μορφή του ή η κατάστασή του. Τέσσερα είναι τα στάδια στον "κύκλο του ψυκτικού".

1 Ο συμπιεστής που κάνει το ψυκτικό να κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα είναι η καρδιά του κλιματιστικού. Πριν περάσει από το συμπιεστή, το ψυκτικό είναι σε αέρια μορφή με χαμηλή πίεση. Λόγω του συμπιεστή αυξάνει η πίεση του αερίου, θερμαίνεται και ρέει προς τον συμπυκνωτή.

2 Στον συμπυκνωτή το υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας αέριο απελευθερώνει τη θερμότητά του στον αέρα του εξωτερικού χώρου και μετατρέπεται σε υγρό υψηλής πίεσης που υποψύχεται.

3. Το ψυκτικό υψηλής πίεσης περνάει από την βαλβίδα επέκτασης, η οποία μειώνει την πίεση, και έτσι, η θερμοκρασία γίνεται χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου που ψύχεται. Με τον τρόπο αυτό έχουμε κρύο ψυκτικό υγρό χαμηλής πίεσης.

4. Το χαμηλής πίεσης ψυκτικό ρέει προς τον εξατμιστή όπου απορροφά θερμότητα από τον αέρα του εσωτερικού χώρου, εξατμίζοντάς την, και μετατρέπεται σε αέριο χαμηλής πίεσης. Το αέριο επιστρέφει στον συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Είδη

Τα πιο συνηθισμένα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για να προκαλέσουν τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα σε ένα σπίτι, είναι οι διαιρούμενες κλιματιστικές μονάδες ή split-units ή πιο συνηθισμένα air-conditioners. Η ακόμα πιο εξειδικευμένη ορολογία τα χαρακτηρίζει σαν τοπικές διαιρούμενες κλιματιστικές μονάδες ψυκτικού ρευστού – αέρα. Τοπικές γιατί τοποθετούνται σε ένα χώρο και αποδίδουν μόνο σ'αυτόν. Διαιρούμενες γιατί αποτελούνται από δύο μέρη : Την εξωτερική, που λειτουργεί κατά βάση σαν εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού ρευστού και του περιβάλλοντος και την εσωτερική, μεταξύ ψυκτικού υγρού και του εξωτερικού χώρου. Η εξωτερική μονάδα περιλαμβάνει βασικά τον συμπιεστή ο οποίος διακινεί το ψυκτικό υγρό με καθορισμένη πίεση σε όλο το κύκλωμα. Το ψυκτικό υγρό που ήταν το R-22, αντικαταστάθηκε με τα R-410A και R-407C.

Σε περίπτωση χρήσης αντλίας θερμότητας υπάρχει η δυνατότητα ο κύκλος αυτός να αντιστραφεί. Η αντλία θερμότητας είναι ένα σύστημα κλιματισμού το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση. Η αντλία θερμότητας αντλεί ενέργεια από το εξωτερικό περιβάλλον και μεταφέρει τη θερμότητα στο εσωτερικό. Η ίδια αρχή ισχύει και σε πολύ κρύες ημέρες, με θερμοκρασίες κάτω από -5°C , -10°C , ή και -15°C , ανάλογα με τον τύπο του κλιματιστικού συστήματος που χρησιμοποιείται.

ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Αερόψυκτες & υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν ως μηχανές άντλησης ενέργειας από το περιβάλλον για την παραγωγή θέρμανσης.

Αυτό σημαίνει ότι καταναλώνουν ένα πολύ μικρό ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου το 20%~40% της ονομαστικής τους ισχύος), ενώ αντλούν την υπόλοιπη ενέργεια από το περιβάλλον.

Ανάλογα με τον τρόπο άντλησης της θερμότητας χαρακτηρίζονται

- σε αερόψυκτες μονάδες (αντλούν θερμότητα από τον αέρα) ή
- υδρόψυκτες - γεωθερμικές μονάδες (αντλούν θερμότητα από τη γη)

Λόγω της συναλλαγής τους με το περιβάλλον, ο βαθμός απόδοσής τους δεν είναι σταθερός, αλλά επηρεάζεται από τις θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί η αντλία θερμότητας καθορίζει την αξιοπιστία της και την υψηλή αποδοτικότητά της.

Οι αντλίες θερμότητας υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας (βαθμός απόδοσης $> 3,3$) εντάσσονται στις ανανεώσιμες μορφές παραγωγής θερμότητας και αποτελούν καθαρή μορφή θέρμανσης με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Πρωτογενής ενέργεια και αντλία θερμότητας

Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνεται η μετατροπή των τριών βασικών καυσίμων σε θερμότητα. Τα καύσιμα είναι:

- ηλεκτρική ενέργεια
- πετρέλαιο
- φυσικό αέριο

Για την ηλεκτρική ενέργεια έχουμε δύο τρόπους μετατροπής:

- ηλεκτρική ενέργεια με άμεση μετατροπή π.χ. ηλεκτρική θερμάστρα (Electric heating)
- ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτεί αντλία θερμότητας (electr. HP)

Για κάθε καύσιμο έχουμε τρεις στήλες:

- Αριστερά είναι η πρωτογενής ενέργεια του καυσίμου δηλ. η ενέργεια που επιβαρύνει το περιβάλλον.
- Στη μέση είναι η αποδιδόμενη ενέργεια του καυσίμου που εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης της συσκευής μετατροπής π.χ λέβητας για το πετρέλαιο.
- και δεξιά είναι η καταναλισκόμενη ενέργεια για τη θέρμανση της οικίας. Ορίζεται 100% για όλα τα καύσιμα.

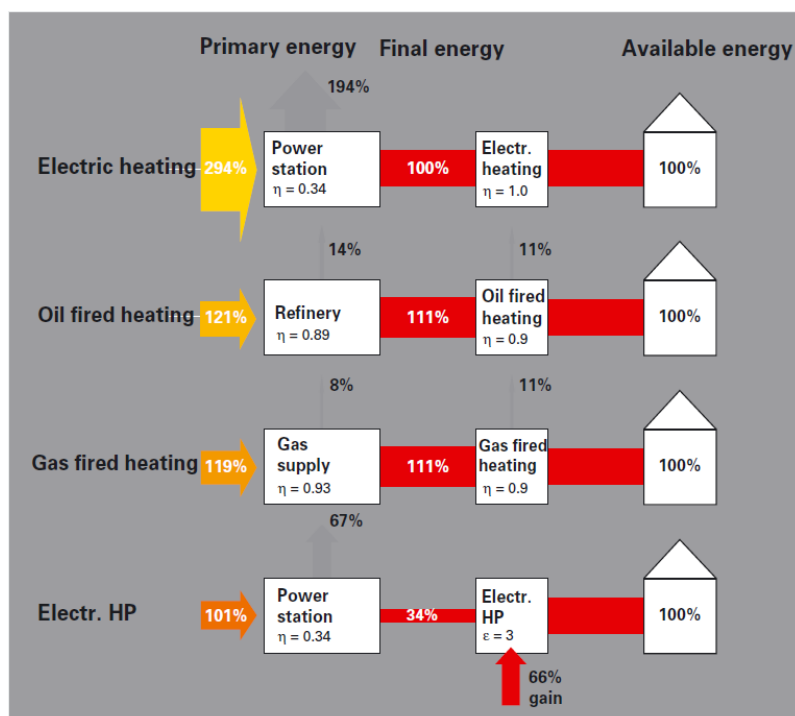
Άμεση μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε θέρμανση

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους θερμικούς σταθμούς παραγωγής με την καύση λιγνίτη, πετρελαίου, φυσικού αερίου κ.ά. είναι η πιο σπάταλη ενέργεια για το περιβάλλον, διότι ο βαθμός απόδοσης των σταθμών παραγωγής μαζί με τις απώλειες μεταφοράς είναι η $= 0,34$ δηλαδή πολύ χαμηλός.

Έτσι, για να παράγουμε 1 kWh θερμότητας θα επιβαρύνουμε το περιβάλλον με $1/0,34 = 2,94$ kWh.

Μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε θέρμανση με αντλία θερμότητας

Η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτεί μία αντλία θερμότητας με συντελεστή συμπεριφοράς COP = 3. Για 1 kWh θερμότητας θα επιβαρύνουμε το περιβάλλον με 1,01 kWh.



i Με βάση τον πίνακα, η ηλεκτρική ενέργεια όταν μετατρέπεται σε θερμότητα με τη βοήθεια αντλίας θερμότητας με συντελεστή συμπεριφοράς $COP > 3$ αφήνει το μικρότερο ενεργειακό αποτύπωμα στο περιβάλλον.

Κατάταξη λειτουργίας

Η κλάση λειτουργίας μίας αντλίας θερμότητας είναι συνάρτηση:

- της εξωτερικής θερμοκρασίας π.χ DB/WB : 7/6°C
- της θερμοκρασίας εισόδου/εξόδου του νερού
- του συντελεστή συμπεριφοράς COP που αντιστοιχεί στις παραπάνω θερμοκρασίες

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε πώς βρίσκουμε την ενεργειακή κλάση μίας αντλίας θερμότητας.

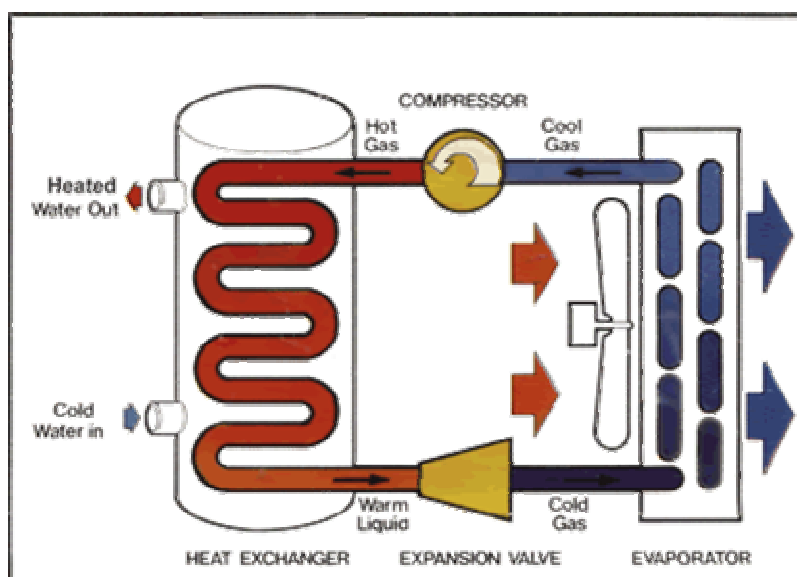
Performance class	Ambient temperature DB/WB: 7 / 6 °C	
	Inlet/outlet water temperature: 30 / 35 °C	Inlet/outlet water temperature: 40 / 45 °C
A	4.05<COP	3.20<COP
B	4.05≥COP>3.90	3.20≥COP>3.00
C	3.90≥COP>3.75	3.00≥COP>2.80
D	3.75≥COP>3.60	2.80≥COP>2.60
E	3.60≥COP>3.45	2.60≥COP>2.40
F	3.45≥COP>3.30	2.40≥COP>2.20
G	3.30≥COP	2.20≥COP

Τεχνολογία inverter

Η τεχνολογία inverter επιτρέπει στην αντλία να μεταβάλλει την απόδοσή της, διατηρώντας σταθερή ονομαστική ικανότητα θέρμανσης ακόμα και όταν η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι πολύ χαμηλή.

Επιπλέον με τη χρήση inverter εξασφαλίζεται αθόρυβη λειτουργία των αντλιών θερμότητας ακόμα και στη μέγιστη ισχύ τους.

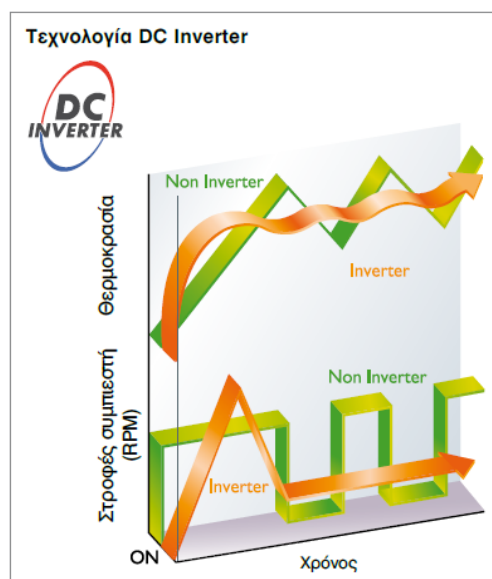
Η καρδιά μιας αντλίας θερμότητας είναι ο συμπιεστής. Ο συμπιεστής περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός ασύγχρονου επαγωγικού -συνήθως τετραπολικού- κινητήρα. Πριν από την ύπαρξη των inverters ο κινητήρας τροφοδοτείτο άμεσα με το AC ρεύμα συχνότητας 50 Hz και συνεπώς περιστρέφετο με ταχύτητα λίγο μικρότερη των 1500 rpm.



Έτσι δεν υπήρχε η δυνατότητα να ρυθμίσουμε τις στροφές του. Παράλληλα υπήρχε το πρόβλημα με το υψηλό ρεύμα εκκίνησης που χαρακτηρίζει τους ασύγχρονους κινητήρες.

Ο DC inverter παρεμβάλεται μεταξύ της AC πηγής -μονοφασικής ή τριφασικής- και του κινητήρα και κάνει τα εξής:

- Πρώτα μετατρέπει το AC ρεύμα των 50 Hz σε DC με τη βοήθεια ενός ανορθωτή.
- Κατόπιν μετατρέπει το DC σε AC ρεύμα μεταβλητής συχνότητας από περίπου 5 Hz μέχρι περίπου 50 Hz.
- Το ρυθμιζόμενης συχνότητας ρεύμα τροφοδοτεί τον επαγωγικό κινητήρα και αυτός περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη της συχνότητας.



Αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών

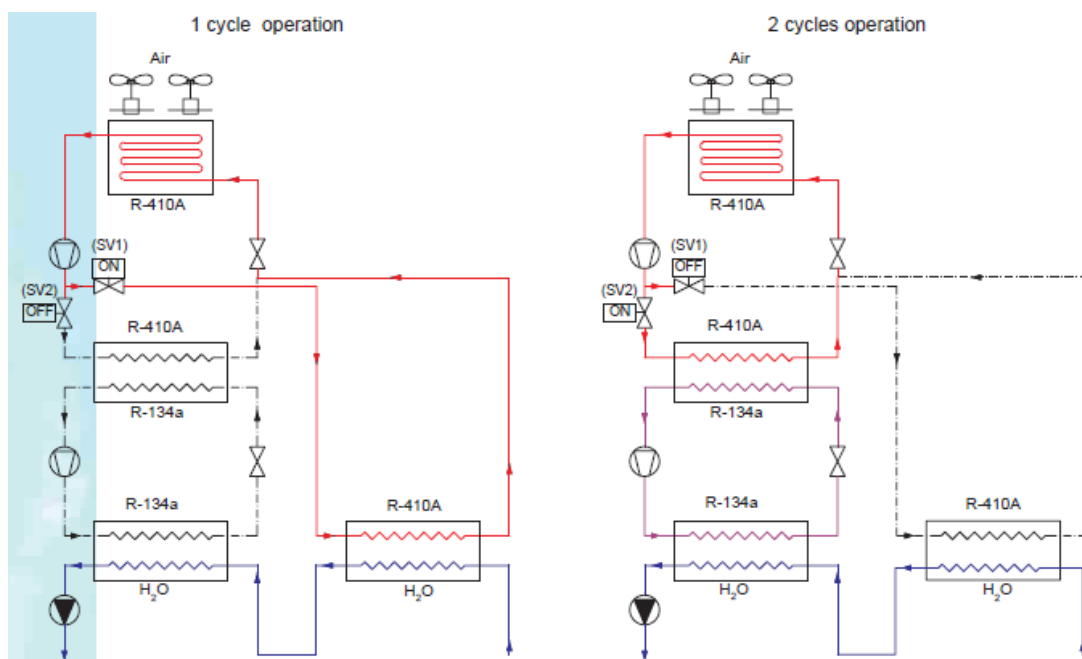
Ονομάζονται οι αντλίες που μπορούν να παράγουν ζεστό νερό θερμοκρασίας έως 80°C για τη θέρμανση χώρων με θερμαντικά σώματα.

Η καινοτομία στις αντλίες αυτές έγκειται στη δυνατότητα λειτουργίας ενός ή δύο ψυκτικών κύκλων (smart cascade) ανάλογα με τις συνθήκες (εσωτερικές και εξωτερικές) και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Το σύστημα ελέγχου της μονάδας επεξεργάζεται τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν καθώς και τις απαιτήσεις του χώρου και αποφασίζει αν θα λειτουργήσει με έναν ή δύο κύκλους έχοντας σαν βασικό κριτήριο τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας.

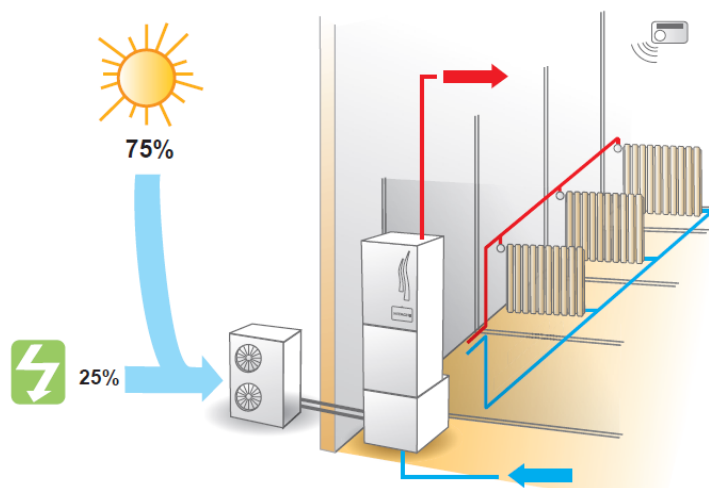
Με βάση τα παραπάνω και μέσω των inverter συμπιεστών και ανεμιστήρων επιτυγχάνει:

- την απαιτούμενη θερμοκρασία ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες
- τη σταθερή διατήρηση της απόδοσής του ακόμη και με θερμοκρασία περιβάλλοντος - 15°C
- τη μέγιστη δυνατή απόδοση με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας
- αντικατάσταση του λέβητα σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις χωρίς καμία αλλαγή και χωρίς την απαίτηση βοηθητικής πηγής ενέργειας



Διαιρούμενες και μονομπλόκ αντλίες θερμότητας

Η αντλία αποτελείται από μία μονάδα εγκατεστημένη εξωτερικά, χωρίς να καταλαμβάνει χώρο στο εσωτερικό της οικίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με την υπάρχουσα λύση θέρμανσης.



Θερμική ισχύς, COP

Η θερμική ισχύς (heating capacity) μίας αντλίας θερμότητας αέρα/νερού εξαρτάται από:

- την εξωτερική θερμοκρασία
- τη θερμοκρασία εισόδου/εξόδου του νερού

Παρακάτω βλέπουμε τον πίνακα με τις ονομαστικές αποδόσεις των αντλιών θερμότητας της σειράς YUTAKI S80 της Hitachi

Στον πίνακα αυτό βλέπουμε τη θερμική ισχύ της αντλίας θερμότητας για συγκεκριμένες συνθήκες εξωτερικού αέρα και συγκεκριμένες θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου του νερού.

Διαπιστώνουμε ότι το COP έχει τη μέγιστη τιμή για:

- θερμοκρασία εξωτερικού αέρα (DB/WB) 7/6 °C
- θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου 30/35 °C

Yutaki S80	Εσωτερική μονάδα		RWH-4.0FS(V)NFE	RWH-5.0FS(V)NFE	RWH-6.0FS(V)NFE
	Εξωτερική μονάδα		RAS-4H(V)RNME-AF	RAS-5H(V)RNME-AF	RAS-6H(V)RNME-AF
Θερμική ισχύς	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 30/35 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): 7/6 °C	kW	(Ονομ./μέγ.) 10,0/13,5	(Ονομ./μέγ.) 12,0/16,5	(Ονομ./μέγ.) 14,0/18,0
	COP (Ονομαστικό)	-	4,36	4,27	4,05
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 40/45 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): 7/6 °C	kW	(Ονομ./μέγ.) 10,0/13,5	(Ονομ./μέγ.) 12,0/16,5	(Ονομ./μέγ.) 14,0/18,0
	COP (Ονομαστικό)	-	3,45	3,42	3,32
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 47/55 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): 7/6 °C	kW	(Ονομ./μέγ.) 10,0/13,5	(Ονομ./μέγ.) 12,0/16,5	(Ονομ./μέγ.) 14,0/18,0
	COP (Ονομαστικό)	-	3,04	3,02	3,01
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 55/65 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): 7/6 °C	kW	(Ονομ./μέγ.) 10,0/13,5	(Ονομ./μέγ.) 12,0/16,5	(Ονομ./μέγ.) 14,0/18,0
	COP (Ονομαστικό)	-	2,56	2,56	2,51
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 70/80 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): 7/6 °C	kW	(μέγ.) 13,5	(μέγ.) 16	(μέγ.) 18
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 40/45 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): -7/-8 °C	kW	(μέγ.) 13	(μέγ.) 16	(μέγ.) 17,8
	COP (Ονομαστικό)	-	2,30	2,30	2,25
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 47/55 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): -7/-8 °C	kW	(μέγ.) 13,5	(μέγ.) 16	(μέγ.) 17,8
	COP (Ονομαστικό)	-	2,15	2,15	2,10
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 55/65 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): -7/-8 °C	kW	(μέγ.) 13,2	(μέγ.) 15,8	(μέγ.) 17,4
	COP (Ονομαστικό)	-	2,00	1,91	1,81
	Θερμοκρασία νερού εισόδου/εξόδου: 70/80 °C Εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB): -7/-8 °C		(μέγ.) 12,3	(μέγ.) 15,2	(μέγ.) 17,2

Πίνακας με μέγιστες θερμικές ισχύεις

Για να μπορεί ο μελετητής μηχανικός να επιλέξει την αντλία θερμότητας θα πρέπει να διαθέτει πίνακα με τις μέγιστες θερμικές ισχύεις για πολύ περισσότερες συνθήκες από αυτές που είχαμε παραπάνω. Έτσι ο κατασκευαστής δίνει και τον παρακάτω πίνακα:

4.2 Maximum heating capacity tables

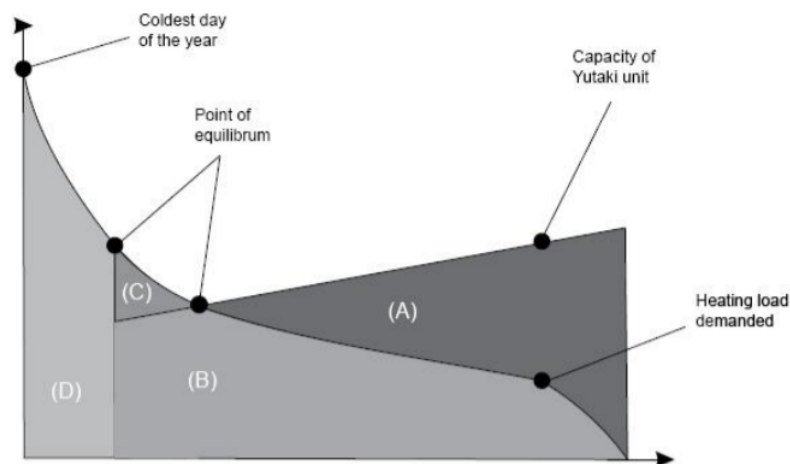
System	Water outlet temp. (°C)	Ambient temperature (°C WB)												
		-20	-15	-10	-8	-5	0	2	5	6	10	11	15	20
		CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)	CAP (kW)
RWH-4.0FS(V) NFE + RAS-4H(V) RNME-AF	80	11.2	11.7	12.1	12.3	12.5	12.9	13.1	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	75	11.4	11.9	12.3	12.5	12.7	13.1	13.3	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	70	11.6	12.1	12.5	12.7	12.9	13.2	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	65	11.7	12.2	12.6	12.8	13.0	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	60	11.9	12.4	12.8	13.0	13.2	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	55	12.2	12.6	13.0	13.2	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	50	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	45	12.7	13.1	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	40	7.3	8.3	9.3	9.8	10.5	11.9	12.4	12.7	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	35	7.8	8.9	10.0	10.5	11.2	12.4	12.9	13.2	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5

Ενισχυτική λειτουργία (Back-up)

Η αποδοτικότητα μίας αντλίας θερμότητας είναι αντιστρόφως ανάλογη με την εξωτερική θερμοκρασία. Έτσι, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέφτει κάτω από τους 0°C, η αποδοτικότητά της μειώνεται και θα πρέπει ο σχεδιαστής του συστήματος θέρμανσης να εξασφαλίζει τη θερμική άνεση του κτηρίου, είτε αυξάνοντας την ονομαστική ισχύ της μονάδας, είτε σχεδιάζοντας υποστηρικτικά συστήματα θέρμανσης σε ενισχυτική λειτουργία (Back-up).

Συνήθως εφαρμόζεται σύστημα ενίσχυσης της θέρμανσης είτε με ηλεκτρικές αντιστάσεις, είτε με εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα πετρελαίου ή αερίου ως back-up.

Στα υφιστάμενα σπίτια, είναι δυνατό να διατηρηθεί ο υπάρχων λέβητας -εάν είναι σε καλή κατάσταση- σε υποστηρικτική λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Ο λέβητας ενεργοποιείται βοηθητικά τις πιο κρύες ημέρες του έτους.



NOTE

- (A) Πλεόνασμα ισχύος Μονάδας YUTAKI
- (B) Ισχύς καλυπτόμενη από την A/Θ YUTAKI
- (C) Ισχύς καλυπτόμενη από ηλ. αντιστάσεις
- (D) Ισχύς καλυπτόμενη από boiler

Βαθμός απόδοσης COP

Ο βαθμός απόδοσης είναι ένα μέτρο της αποδοτικότητας της αντλίας θερμότητας σε τυπικές συνθήκες λειτουργίας.

Μία αντλία θερμότητας που λειτουργεί με COP 4 σημαίνει ότι παρέχει 4 kWh θερμικής ενέργειας, καταναλώνοντας 1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι αποδόσεις πιστοποιούνται από ανεξάρτητους φορείς πιστοποίησης όπως η Eurovent.

Η υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να προκύψει επίσης και από τον προηγμένο έλεγχο της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας και τη διαχείριση των επιμέρους λειτουργιών του υδραυλικού τμήματος της εγκατάστασης.

Αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας

Όταν ο μελετητής μηχανικός υπολογίζει τις θερμικές απώλειες (θερμικό φορτίο) μίας οικοδομής, λαμβάνει υπόψη τη δυσμενέστερη εξωτερική θερμοκρασία. Με βάση αυτό το φορτίο και τη θερμοκρασία εξόδου του νερού από το λέβητα π.χ 80°C, διαστασιολογεί την εγκατάσταση θέρμανσης δηλαδή:

- τα θερμαντικά σώματα
- του σωλήνες
- κ.λπ.

Στη διάρκεια όμως του χειμώνα, η εξωτερική θερμοκρασία λίγες φορές θα πέσει τόσο χαμηλά, συνεπώς η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το λέβητα δε χρειάζεται να είναι 80°C αλλά χαμηλότερη.

Στα κλασσικά συστήματα θέρμανσης με λέβητα αυτό το πετυχαίνουμε με συστήματα αντιστάθμισης που αποτελούνται από:

- το αισθητήριο της εξωτερικής θερμοκρασίας
- την ηλεκτροκίνητη τριόδη ή τετράοδη βάνα στην έξοδο του λέβητα
- τον ελεγκτή θέρμανσης

Και τώρα ερχόμαστε στην **αντλία θερμότητας**.

Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία εξόδου νερού στο υδραυλικό κύκλωμα θέρμανσης, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας.

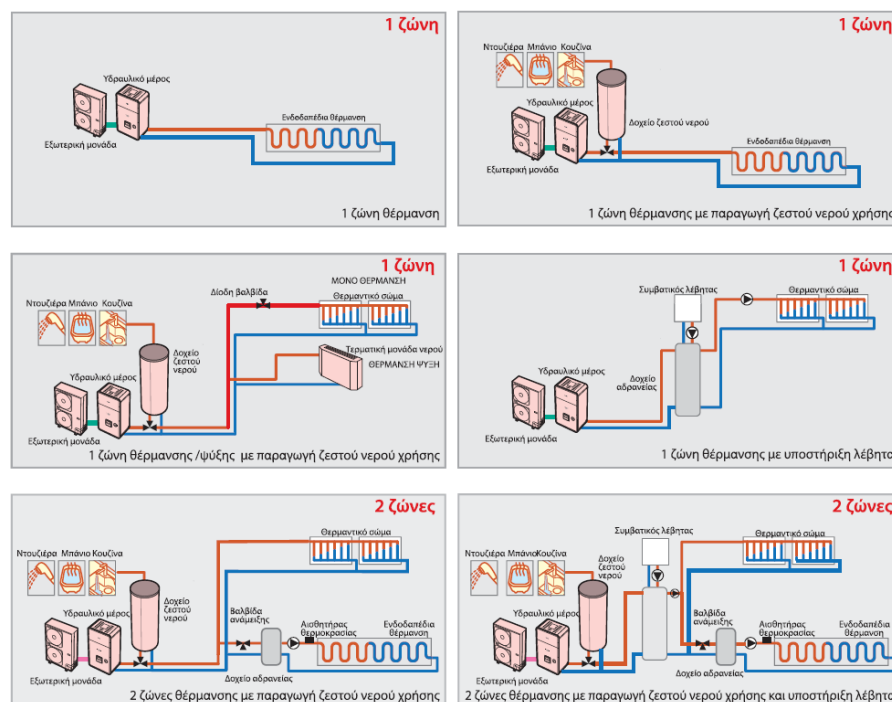
Το υδραυλικό τμήμα της εγκατάστασης μέσω συστήματος αυτοματισμού ελέγχει τη θερμοκρασία εξόδου της αντλίας θερμότητας με στόχο να την μεταβάλλει ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία.

Έτσι, η αντλία θερμότητας παρέχει πολύ ζεστό νερό μόνο όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι πολύ χαμηλή για να εξασφαλίσει την απαιτούμενη άνεση του χώρου, ενώ όσο το εξωτερικό περιβάλλον γίνεται ηπιότερο ρυθμίζει αναλογικά τη θερμοκρασία προσαγωγής για να εξασφαλίσει την άνεση με σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Σχηματική απεικόνιση εφαρμογής των αντλιών Θερμότητας

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται με τον καλύτερο τρόπο οι εφαρμογές που μπορεί να έχει μια αντλία θερμότητας:

- θέρμανση δαπέδου
- θέρμανση με κλασσικά σώματα (υφιστάμενη εγκατάσταση)
- ζεστό νερό χρήσης



Ετήσιο κόστος λειτουργίας

Βρήκα τον παρακάτω πίνακα σε ένα φυλλάδιο της Carrier και είναι απίστευτα χρήσιμος.

Η πιο οικονομική λύση είναι η γεωθερμική αντλία θερμότητας.

ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ					
Σύστημα θέρμανσης	Βαθμός Απόδοσης	Είδος και τιμή		Ευρο/ παραγόμενη kWh	Ετήσιο κόστος θέρμανσης κατοικίας με θερμαντικές ανάγκες 15.000 kWh
Ενεργειακά Τζάκια φυσικής κυκλοφορίας αέρα ή νερού	0,7	Ξύλο	0,18€/Kgr	0,05€	750€
Λέβητας Ξυλείας	0,7	Ξύλο	0,18€/Kgr	0,05€	750€
Λέβητας Βιομάζας (Pellet)	0,85	Pellet	0,28€/Kgr	0,06€	900 €
Λέβητας Φυσικού Αερίου	0,9	Φ. Αέριο	0,09€/kWh	0,09€	1.350.00€
Λέβητας Πετρελαίου	0,85	Πετρέλαιο	1,40€/lt	0,14€	2.100€
Ηλεκτρικοί Λέβητες - Αερόθερμα	1	Ηλ. Ενέργεια	0,18€/kWh	0,18€	2.700€
Θερμοσυσσωρευτές (με νυχτερινό ρεύμα)	1	Ηλ. Ενέργεια	0,07€/kWh	0,07€	1.050€
Αερόψυκτες Αντλίες Θερμότητας / SCOP	5,6	Ηλ. Ενέργεια	0,18€/kWh	0,035€	525€
Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας	6	Ηλ. Ενέργεια	0,18€/kWh	0,03€	450€

Ενεργειακή κατάταξη μίας αντλίας θερμότητας

Η Ε.Ε. αντιλαμβάνεται ότι η ενεργειακή απόδοση και η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω των αντλιών θερμότητας αποτελούν κλειδιά στην επίτευξη του ενεργειακού στόχου του 2020, για τη βιώσιμη ανάπτυξη της Ευρώπης και την προστασία του πλανήτη.

Στην αγορά είναι ήδη διαθέσιμα αρκετά κλιματιστικά και αντλίες θερμότητας υψηλής ενεργειακής κλάσης, που χρησιμοποιούν φιλικότερα ψυκτικά μέσα, έχουν εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης και καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια.

Ταυτόχρονα, η Ε.Ε. εισάγει ένα βελτιωμένο σύστημα σήμανσης της ενεργειακής κλάσης των ηλεκτρικών συσκευών όπου οι καταναλωτές θα αντιλαμβάνονται ευκολότερα πόση ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνουν οι οικιακές συσκευές τους.

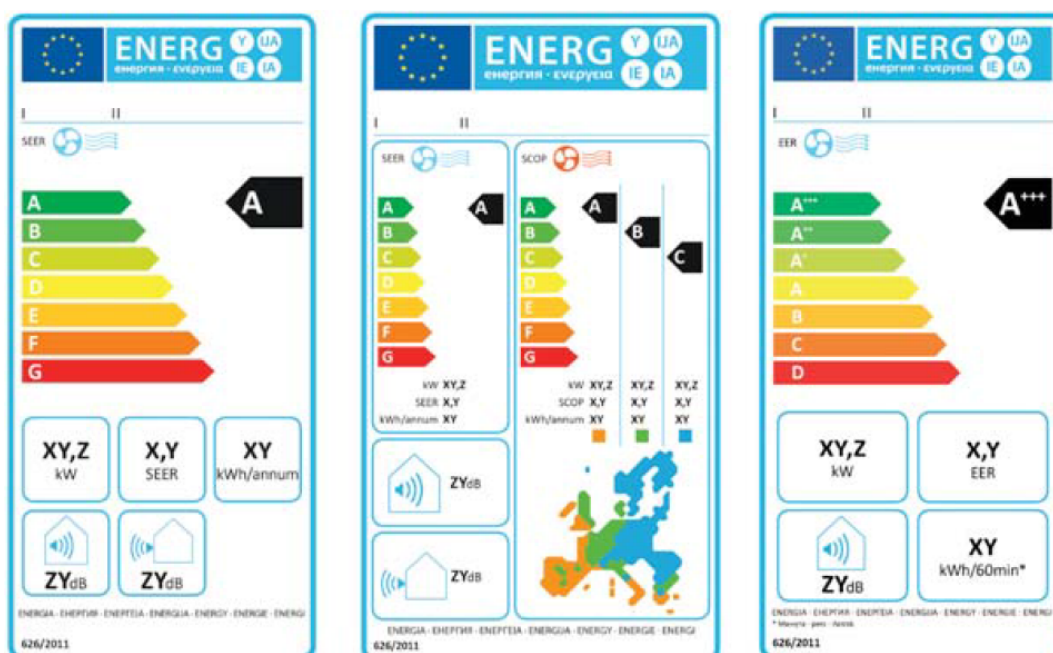
Οι νέοι κανονισμοί της Ε.Ε. αφορούν τις κλιματιστικές μονάδες με ψυκτική ή θερμαντική ικανότητα μέχρι 12 kW. Αυτά είναι κυρίως κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου (split), που λειτουργούν ως αντλίες θερμότητας, παράγοντας θερμό ή κρύο αέρα στον εσωτερικό χώρο, αντλώντας ενέργεια από το εξωτερικό περιβάλλον.

Από την 1η Ιανουαρίου 2013, το σύστημα ενεργειακής σήμανσης περιλαμβάνει τις ενεργειακές κλάσεις από A - Z και σταδιακά θα επεκταθεί έως το 2019 με την εξέλιξη της τεχνολογίας και στις ενεργειακές κλάσεις A+ έως και A+++ . Μάλιστα για τις αντλίες θερμότητας που λειτουργούν σε θέρμανση η αξιολόγηση της ενεργειακής κλάσης γίνεται με βάση την κλιματική ζώνη στην Ευρώπη που είναι εγκατεστημένη η μονάδα (για την Ελλάδα ισχύουν 4 κλιματικές ζώνες με βάση τον ΚΕΝΑΚ).

Ο νέος τρόπος ενεργειακής σήμανσης και κατηγοριοποίησης της κατανάλωσης σε ενεργειακές κλάσεις επιτρέπει στις πιο αποδοτικές μονάδες να κατηγοριοποιούνται ως κατηγορία ενεργειακής κλάσης A+++ από την 1η Ιανουαρίου 2013.

Η αναθεωρημένη σήμανση της κατανάλωσης ενέργειας των κλιματιστικών μονάδων που τέθηκε σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2013:

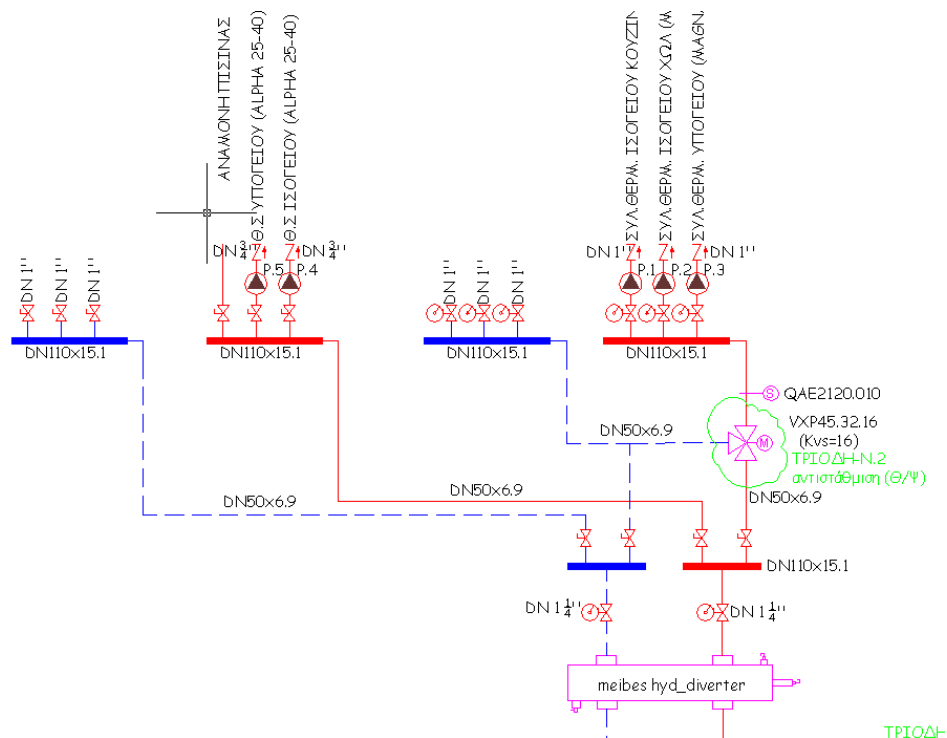
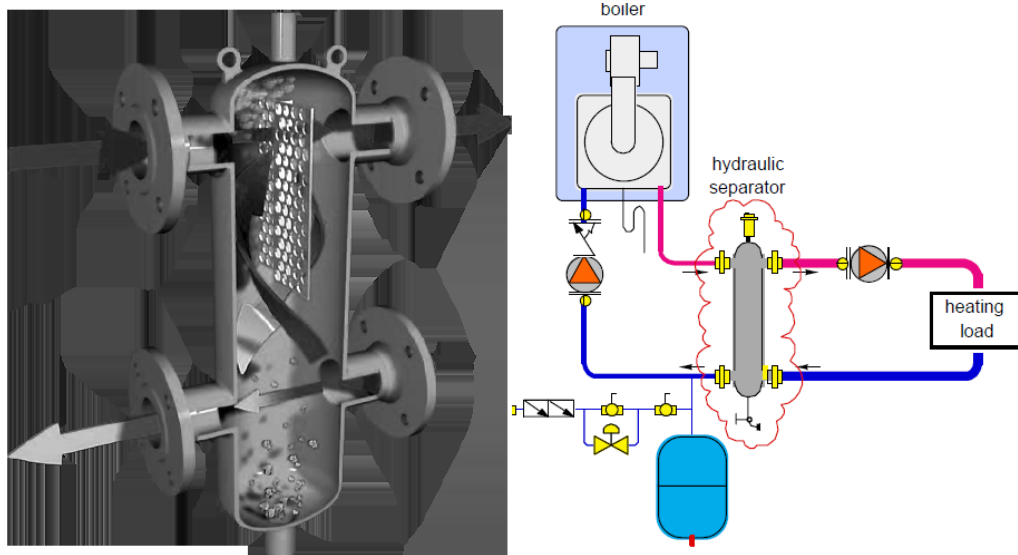
- Αριστερά: Κλιματιστικές μονάδες ψύξης
- Μέση: Αντλίες θερμότητας για ψύξη & θέρμανση
- Δεξιά: Καναλάτες κλιματιστικές μονάδες



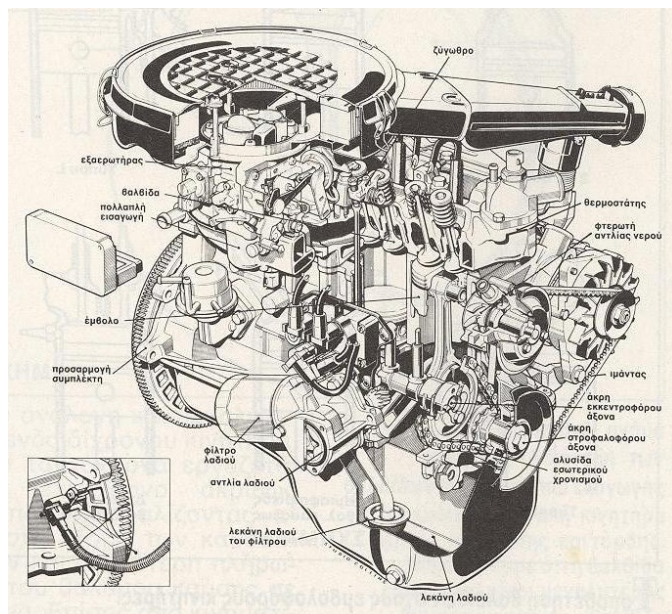
Υδραυλικός διαχωριστής

Χρησιμοποιείται στο υδραυλικό μέρος της εγκατάστασης θέρμανσης όταν υπάρχει και θερμαντήρας ΖΝΧ

Δίνει προτεραιότητα στη θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης δηλαδή το ζεστό νερό που παράγει η αντλία θερμότητας θερμαίνει ζεστό νερό χρήσης που υπάρχει στη δεξαμενή αποθήκευσης. Κατόπιν κατευθύνει το ζεστό νερό στη θέρμανση των χώρων.



ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ



Μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης ονομάζεται η κινητήρια θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής, εξ ου και η ονομασία της, σε αντίθεση με την ατμομηχανή, (όπου η καύση γίνεται εκτός, στο λέβητα).

Οι μηχανές αυτές έχει καθιερωθεί ευρύτερα ν' αναφέρονται με το κεφαλαιογράμματο αρκτικόλεξο **ΜΕΚ**.

Ως ΜΕΚ θεωρούνται γενικά οι αεριομηχανές, οι βενζινομηχανές, οι πετρελαιομηχανές και οι αεριοστροβίλοι. Γενικά στις ΜΕΚ, "εργαζόμενο μέσο", ή "εργαζόμενη ουσία" είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, (ενώ στις ατμομηχανές είναι ο ατμός).

Ο **κινητήρας εσωτερικής καύσης** είναι μια **θερμική μηχανή**, στην οποία καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια.

Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης η εκτόνωση της πίεσης των αερίων που παράγονται ασκεί δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως στα έμβολα ή στα πτερύγια.

Η μηχανή εσωτερικής καύσης (ή ΜΕΚ) διαφοροποιείται με την μηχανή εξωτερικής καύσης, όπως με ατμό ή κινητήρα Stirling, στις οποίες η ενέργεια μεταφέρεται από ένα υγρό το οποίο θερμαίνεται σε ένα λέβητα (ο οποίος βρίσκεται εκτός του κινητήρα) από ορυκτά καύσιμα ή καύση ξύλου, πυρηνική ενέργεια, ηλιακή κ.λ.π. Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών σχεδίων για τις ΜΕΚ έχουν αναπτυχθεί και κατασκευαστεί, με ποικιλία διαφορετικών πλεονεκτημάτων και αδυναμιών. Αν και υπήρξαν και εξακολουθούν να είναι πολλές οι στατικές εφαρμογές, μεγάλη χρήση των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι σε εφαρμογές και κυριαρχούν στα αυτοκίνητα, αεροσκάφη και πλοία, από το μικρότερο έως το μεγαλύτερο.

Λειτουργία 4χρονης ΜΕΚ

Οι **τετράχρονοι** κινητήρες εσωτερικής καύσης με καύσιμο βενζίνη έχουν τέσσερις φάσεις λειτουργίας («χρόνους¹⁵»):

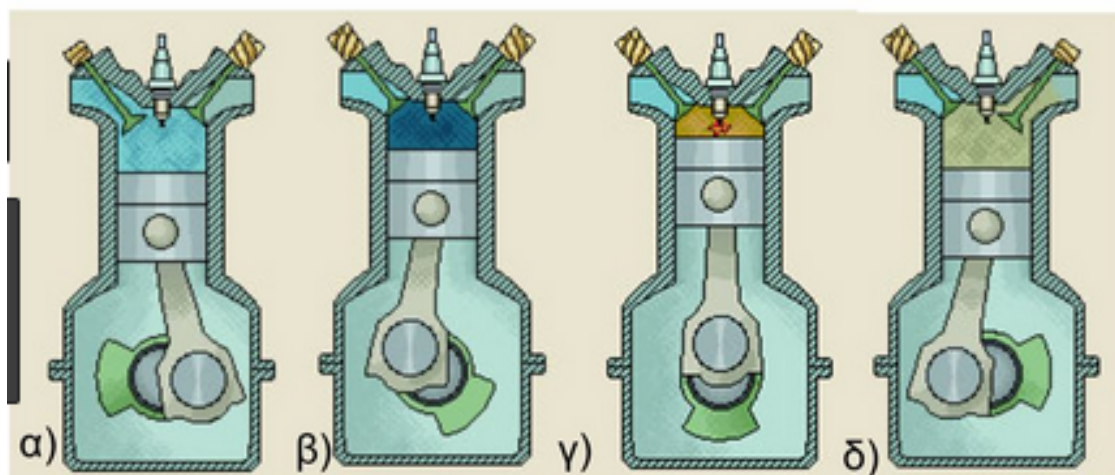
Άρα για να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας πρέπει το έμβολο να κάνει τέσσερις διαδρομές, γι' αυτό ο κινητήρας αυτός λέγεται **τετράχρονος**.

1. **Εισαγωγή.** Το καύσιμο μείγμα εισέρχεται στο θάλαμο καύσης από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής,
2. **Συμπίεση.** Το έμβολο κινείται προς το άνω νεκρό σημείο και συμπιέζει το καύσιμο μείγμα,
3. **Ανάφλεξη, Καύση / Εκτόνωση.** Η ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τον ηλεκτρικό σπινθήρα που δίνεται από το μπουζί (βενζινοκινητήρες), προκαλούν την ανάφλεξη του καύσιμου μείγματος. Η έναυση δεν γίνεται στο άνω νεκρό σημείο αλλά λίγο πιο πριν (προπορεία ανάφλεξης, «αβάνς») **Το μείγμα καίγεται και εκτονώνεται, πιέζοντας το έμβολο προς το κάτω νεκρό σημείο, παράγοντας ωφέλιμο έργο.**

¹⁵ "Χρόνος" λειτουργίας ορίζεται η διαδρομή του εμβόλου από το Άνω Νεκρό Σημείο (Α.Ν.Σ.) ως το Κάτω Νεκρό Σημείο (Κ.Ν.Σ.).

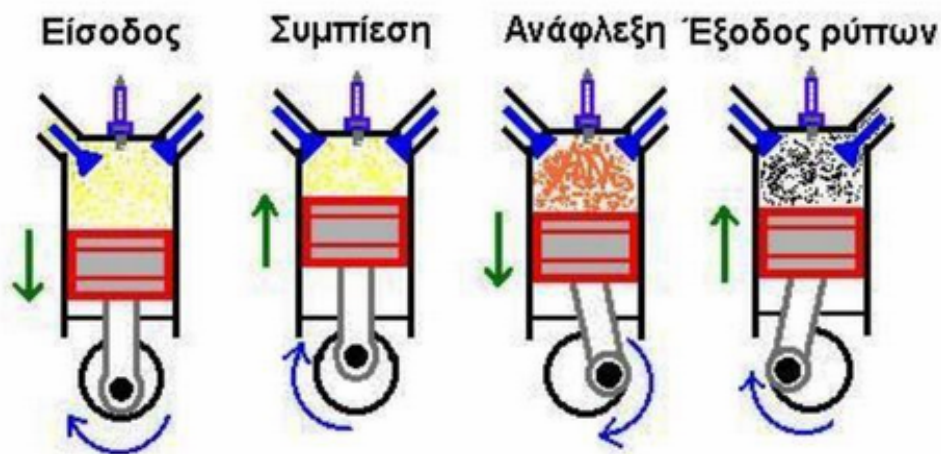
4. **Εξαγωγή.** Το έμβολο, που λόγω της πίεσης των αερίων της καύσης έχει φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο, λόγω της αδράνειας του συστήματος έμβολο-στροφαλοφόρος-σφόνδυλος, αρχίζει να κινείται προς τα άνω, σπρώχνοντας τα αέρια προς την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τα προϊόντα της καύσης εξέρχονται από το θάλαμο καύσης.

ΟΙ 5 ΦΑΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ Μ.Ε.Κ.



- α) Εισαγωγή ή αναρρόφηση του αέρα ή του καυσίμου μίγματος.
β) Συμπίεση του αέρα ή του καυσίμου μίγματος.
γ) Καύση του μίγματος αέρα – καυσίμου.
δ) Εκτόνωση « **Ωφέλιμος χρόνος** ».
ε) Εξαγωγή των καυσαερίων.

Πολλοί κινητήρες επικαλύπτουν αυτά τα βήματα στο χρόνο, οι τουρμπίνες, αεριοστροβιλοκινητήρες, κάνουν όλα τα βήματα ταυτόχρονα σε διάφορα μέρη του κινητήρα, ενώ ορισμένοι κινητήρες εσωτερικής καύσης έχουν επιπλέον βήματα, ενώ άλλοι έχουν μόνο δύο χρόνους (δίχρονοι κινητήρες).

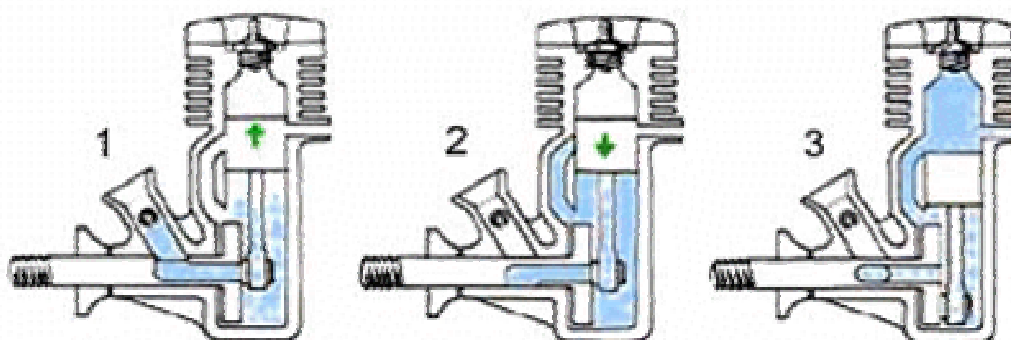


ΔΙΧΡΟΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Ο δίχρονος κινητήρας δεν έχει βαλβίδες, αλλά αντίστοιχα ανοίγματα στα τοιχώματα του κυλίνδρου, τις γνωστές πόρτες, που ανοιγοκλείνουν με το πέρασμα του εμβόλου. Σ' αυτές βασίζεται και γλυτώνει δύο χρόνους.

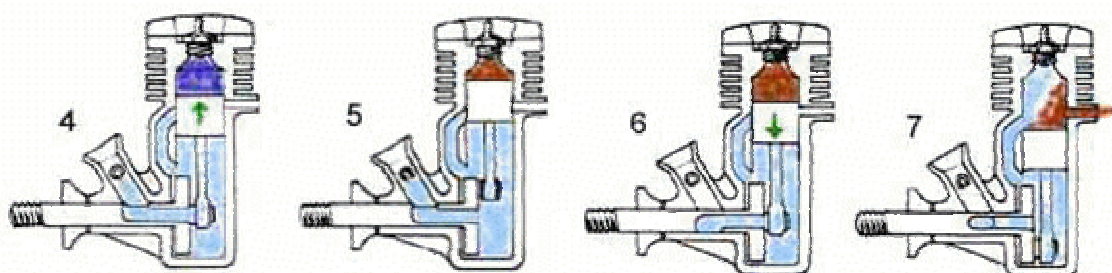
Τα τέσσερα στάδια δεν έχουν πλέον τους ίδιους χρονικούς περιορισμούς σαν την τετράχρονη. Άνοιγμα και κλείσιμο μπορούν να οριστούν από τον σχεδιαστή (σε λογικά όρια) και έτσι να πάψουν να είναι ισοδύναμα ή ανεξάρτητα μεταξύ τους. Εκεί βασίζεται και η ποικιλία των σχεδίων.

Θα παρακολουθήσουμε τα στάδια λειτουργίας ενός μονοκύλινδρου κινητήρα, με ατμοσφαιρική εισαγωγή, με το καρμπυρατέρ τοποθετημένο στο μπροστινό μέρος του, και την εξάτμιση στο πίσω μέρος του. Η μεταφορά του μίγματος αέρος-καυσίμου από το καρμπυρατέρ έως την βάση, γίνεται μέσω πόρτας στην περιφέρεια του στρόφαλου, και ομοκεντρικού αυλού στο πίσω μέρος του τελευταίου.



- Ο κινητήρας γυρίζει με εξωτερική βοήθεια και το έμβολο ανεβαίνει. Η πίεση στην βάση πέφτει και αναρροφάται μίγμα από την ανοικτή βαλβίδα.

- Το έμβολο αρχίζει να κατεβαίνει (με εξωτερική βοήθεια). Η βαλβίδα εισαγωγής έχει κλείσει. Το μίγμα στην βάση συμπιέζεται.
- Το έμβολο έχει φθάσει στο κατώτατο σημείο (με εξωτερική βοήθεια) και έχει αποκαλύψει (έχουν δηλαδή ανοίξει) τις δύο πόρτες της bypass και εξαγωγής (εξαέρμιση). Λόγω της διαφοράς πίεσης, το μίγμα ανεβαίνει από τον πλάγιο διάδρομο μεταφοράς και εισχωρεί στον ελεύθερο χώρο του κυλίνδρου, επάνω από το έμβολο. Επειδή είναι ανοικτή η πόρτα εξαγωγής, μικρό μέρος του μίγματος αρχίζει να εξέρχεται.



- Ο στρόφαλος συνεχίζει την αδρανή περιστροφή του και το έμβολο ανεβαίνει κλείνοντας την πόρτα μεταφοράς και την πόρτα εξαγωγής και στο υπόλοιπο της διαδρομής του συμπιέζει το μίγμα. (Επαναλαμβάνεται ταυτόχρονα η φάση 1).
- **Πλησιάζοντας το ανώτατο σημείο της διαδρομής το μίγμα αναφλέγεται.**
- Τα αέρια εκτονώνονται και σπρώχνουν το έμβολο προς τα κάτω. Από το σημείο αυτό ο κινητήρας έχει εκκινήσει και μπορεί να επαναλάβει μόνος του τον επόμενο κύκλο με την προϋπόθεση φυσικά ότι όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι σωστά ρυθμισμένοι (Επαναλαμβάνεται ταυτόχρονα η φάση 2).
- Καθώς το έμβολο κατέρχεται σε κάποιο σημείο ανοίγει η πόρτα εξαγωγής και τα καυσαέρια αρχίζουν να εξέρχονται. Η μεγάλη πίεση που εξασκούσαν στο έμβολο μειώνεται. Σε ελάχιστο χρόνο αργότερα ανοίγει η πόρτα μεταφοράς, και επαναλαμβάνεται η φάση 3, αλλά τώρα το φρέσκο μίγμα θα καταλάβει μόνο τον χώρο που ελευθερώνουν τα καυσαέρια, και θα αναμιχθεί με την ποσότητα των καυσαερίων που μένει στον κύλινδρο.

Ο πλήρης κύκλος του δίχρονου γίνεται μέσα σε μία ανερχόμενη και μία κατερχόμενη διαδρομή του εμβόλου. Τα τέσσερα γνωστά στάδια εμφανίζονται ως εξής:

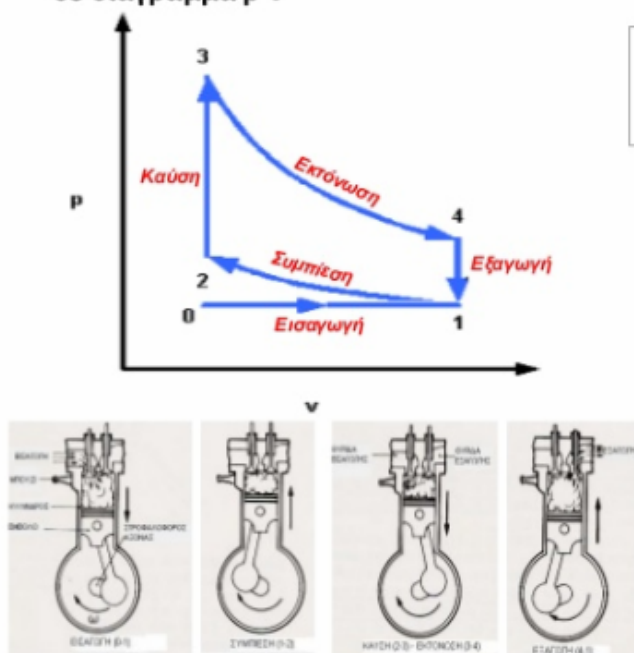
- **1ος χρόνος - διαδρομή ανόδου**
 - ο μέρος εισαγωγής
 - ο μέρος εξαγωγής
 - ο συμπίεση
- **2ος χρόνος - διαδρομή καθόδου**
 - ο ανάφλεξη - εκτόνωση
 - ο μέρος εξαγωγής
 - ο μέρος εισαγωγής

Οι δύο αυτοί χρόνοι αντιστοιχούν σε μία πλήρη περιστροφή του στροφάλου. Από τους δύο χρόνους μόνο ο ένας παράγει έργο. Για να συνεχίσει ο μονοκύλινδρος την περιστροφή στον νεκρό χρόνο βασίζεται στην αδράνεια περιστροφής του φορτίου του που μπορεί να είναι αρκετά μικρότερο από το αντίστοιχο του τετράχρονου.

ΚΥΚΛΟΣ ΟΤΤΟ & ΚΥΚΛΟΣ DIESEL

Λειτουργία βενζινοκινητήρα :

- **κύκλος Otto :** Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος 4-χρονου βενζινοκινητήρα σε διάγραμμα p-v



(1^{ος} χρόνος): **Εισαγωγή (0-1)**
Εισροή **αέρα-καυσίμου** στον κύλινδρο
Πίεση σταθερή (ατμοσφαιρική)
Θερμοκρασία μεγαλύτερη από ατμοσφαιρική

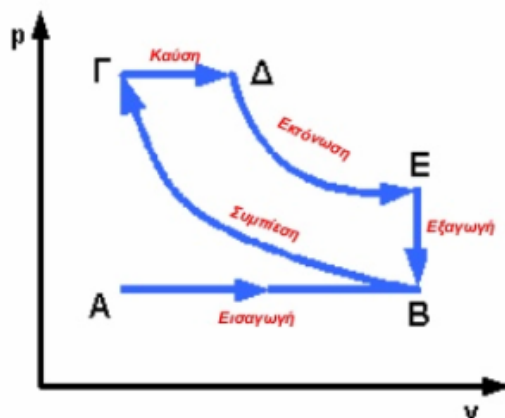
(2^{ος} χρόνος): **Συμπίεση (1-2)**
Αδιαβατική (ταχύματα θερμικά μονωμένα)
Πίεση και θερμοκρασία αυξάνονται

(3^{ος} χρόνος): **Καύση (2-3):**
Έκρηξη - Ισόχωρη (όγκος σταθερός)
Εκτόνωση (3-4):
Αδιαβατική
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

(4^{ος} χρόνος): **Εξαγωγή (4-1)**
Καυσάερια εξέρχονται στην ατμόσφαιρα
Ισόχωρη (όγκος σταθερός)
Η πίεση μειώνεται (ατμοσφαιρική)
(1-0)
Πίεση σταθερή

Λειτουργία πετρελαιοκινητήρα :

- Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος 4-χρονου πετρελαιοκινητήρα σε διάγραμμα p-v



(1^{ος} χρόνος): **Εισαγωγή (A-B)**

Είσοδος **αέρα** στον κύλινδρο
Πίεση σταθερή (ατμοσφαιρική)

(2^{ος} χρόνος): **Συμπίεση (B-Γ)**

Πίεση και θερμοκρασία αυξάνονται

(3^{ος} χρόνος): **Καύση (Γ-Δ):**

Έγχυση πετρελαίου (σταγονίδια)

Αυτανάφλεξη

Ισοβαρής - Πίεση σταθερή

Εκτόνωση (Δ-E):

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

(4^{ος} χρόνος): **Εξαγωγή (E-B)**

Καυσαέρια εξέρχονται στην ατμόσφαιρα

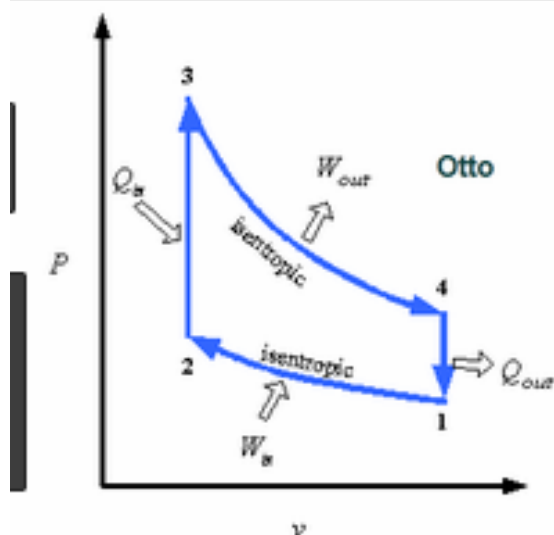
Ισόχωρη (όγκος σταθερός)

Η πίεση μειώνεται (ατμοσφαιρική)

(B-A)

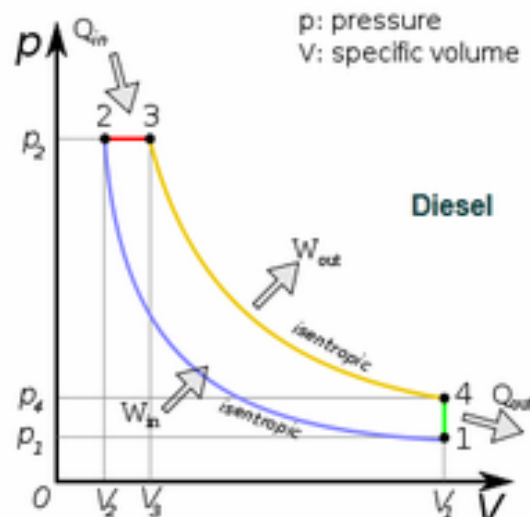
Πίεση σταθερή

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΕ Otto & Diesel



Οι μεταβολές που αποτελούν τον κύκλο Otto είναι:

- 1->2 ισηντροπική (αδιαβατική) συμπίεση
- 2->3 ισόογκη πρόσδωση θερμότητας
- 3->4 ισηντροπική (αδιαβατική) εκτόνωση
- 4->1 ισόογκη αποβολή θερμότητας



Οι μεταβολές που αποτελούν τον κύκλο Diesel είναι:

- 1->2 ισηντροπική (αδιαβατική) συμπίεση
- 2->3 ισόθλιπτη πρόσδωση θερμότητας
- 3->4 ισηντροπική (αδιαβατική) εκτόνωση
- 4->1 ισόογκη αποβολή θερμότητας

Διαφορές μεταξύ Otto και Diesel:

Οι κυριότερες διαφορές που παρουσιάζουν οι κινητήρες Otto και Diesel είναι:

❖ **Σύστημα ψεκασμού** του καυσίμου:

Οι κινητήρες Diesel δε διαθέτουν αναμεικτήρα (carburetor) και ο ψεκασμός γίνεται απευθείας στον κύλινδρο, σε αντίθεση με την πλειονότητα των κινητήρων Otto.

❖ **Σύστημα καύσης:**

Οι πετρελαιοκινητήρες δε χρησιμοποιούν σπινθηριστές για την ανάφλεξη του μείγματος. Αυτή επιτυγχάνεται με την υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη συμπίεση μέσα στον κύλινδρο.

❖ **Βάρος:**

Λόγω των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται, τα μέρη του πετρελαιοκινητήρα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή. Για το λόγο αυτό, ένας πετρελαιοκινητήρας είναι βαρύτερος από έναν βενζινοκινητήρα της ίδιας ισχύος.
