
ΥΠΟΕΝΟΤΗΤΑ 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

Στα πλαίσια της υποενότητας αυτής θα γίνει αναφορά στις βασικές αρχές λειτουργίας του συμπιεστή, καθώς και στη χρήση του στο ψυκτικό κύκλωμα. Επίσης, στην υποενότητα αυτή ορίζονται ο λόγος συμπίεσης, ο ισεντροπικός και ογκομετρικός βαθμός απόδοσης και δίνεται η συσχέτισή τους με την απόδοση του συμπιεστή και του ψυκτικού κυκλώματος.

1.1 Εισαγωγή στους συμπιεστές

Συμπιεστής (compressor) αερίου είναι η μηχανή που συμπιέζει ένα αέριο, αυξάνει δηλαδή την πίεσή του, δημιουργώντας έτσι δύο στάθμες πίεσης: της χαμηλής και της υψηλής. Συμπιεστές δεν χρησιμοποιούνται μόνο στην ψύξη και στον κλιματισμό, αλλά και αρκετές άλλες εφαρμογές.

Ειδικά για ψύξη και κλιματισμό, ο συμπιεστής εκτός από την ανύψωση της πίεσης, εξασφαλίζει και διατηρεί την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου στο ψυκτικό κύκλωμα, υπερνικώντας τόσο τις τριβές για τη ροή του ψυκτικού μέσου όσο και τη διαφορά πίεσης που επικρατεί μεταξύ των στοιχείων συμπύκνωσης και ατμοποίησης. Επιπλέον, κατά τη συμπίεση, αυξάνεται η θερμοκρασία των ατμών του ψυκτικού ρευστού (θερμοκρασία συμπύκνωσης) σε επίπεδα υψηλότερα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε οι υπέρθερμοι αυτοί ατμοί να μπορούν να αποβάλλουν, μέσω του συμπυκνωτή, τη θερμότητα που έλαβαν από τον ατμοποιητή και τον συμπιεστή με ταυτόχρονη συμπύκνωσή τους.

Ο συμπιεστής κατά τη λειτουργία του απορροφά μηχανική ενέργεια, η οποία δίνεται στην άτρακτο περιστροφής του. Μοιάζει κατασκευαστικά με παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης ή με στροβιλομηχανές (turbo), με τη διαφορά όμως ότι αυτές οι

μηχανές δίνουν ισχύ στην άτρακτο (παράγουν έργο), ενώ ο συμπιεστής λαμβάνει ισχύ στην άτρακτο (καταναλώνει έργο).

Συνήθως, η κίνηση του συμπιεστή γίνεται με ηλεκτροκινητήρα, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις στις οποίες η κίνηση του συμπιεστή δίνεται με Μ.Ε.Κάλλο τρόπο παραγωγής μηχανικής ενέργειας. Η μηχανική ενέργεια που δίνεται στον συμπιεστή για τη λειτουργία του μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία αποβάλλεται συνεχώς για την αποφυγή υπερθέρμανσής του.

Ο συμπιεστής αναρροφά κορεσμένο ατμό χαμηλής πίεσης, τον οποίο συμπιέζει και τον μετατρέπει σε υπέρθερμο ατμό υψηλής πίεσης. Χωρίζει το κύκλωμα ψύξης σε δύο πλευρές:

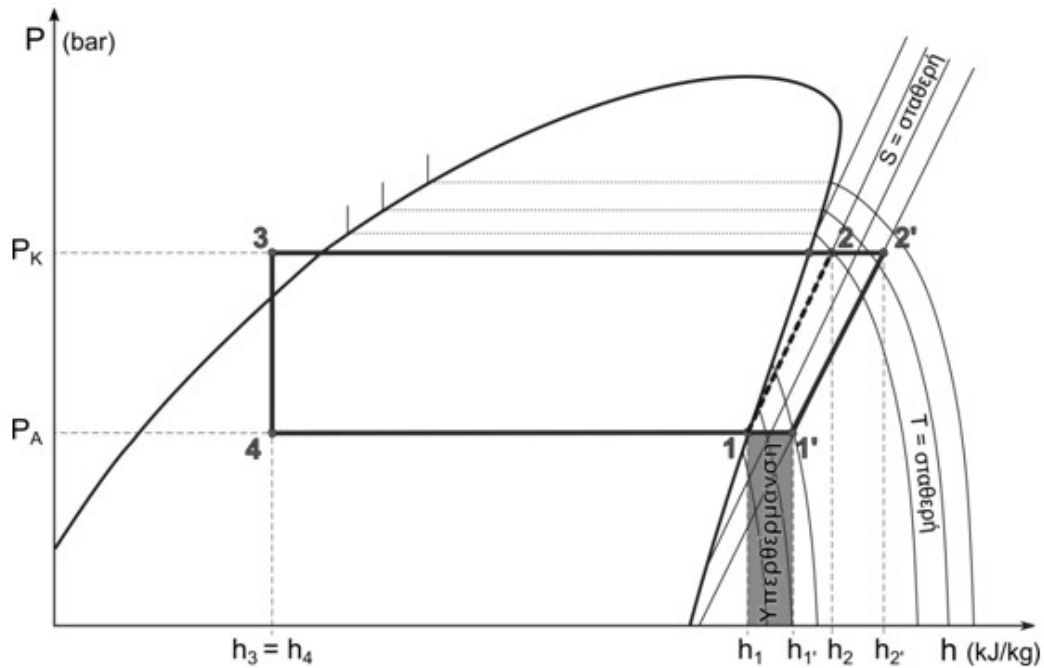
- χαμηλής πίεσης (αναρρόφησης),
- υψηλής πίεσης (κατάθλιψη).

Στην είσοδο (αναρρόφηση) πρέπει να εισάγεται το ψυκτικό σε αέρια κατάσταση χωρίς ποσοστό υγρασίας. Η υγρή φάση θα καταστρέψει τον συμπιεστή (πρόβλημα σπηλαίωσης), για αυτό πρέπει να εισάγεται σε κατάσταση ατμού, πράγμα που εξασφαλίζεται με την υπερθέρμανση του ψυκτικού, ώστε αυτό να μην εισάγεται ως κορεσμένος αλλά ως υπέρθερμος ατμός, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.

¹ Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.

² Υπερθέρμανση στο ψυκτικό μέσο γίνεται στην έξοδό του από τον ατμοποιητή και είναι η προσθήκη θερμότητας προς το ψυκτικό μέσο (που έχει γίνει όλο ατμός), με αποτέλεσμα να ανέβει η θερμοκρασία του και να γίνει υπέρθερμο.

Σχήμα 1. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα πίεσης (P) - ενθαλπίας (h)



1-2-3-4: ψυκτικός κύκλος χωρίς υπερθέρμανση

1-2'-3-4: ψυκτικός κύκλος με υπερθέρμανση

Μετά την αναρρόφηση των ατμών του ψυκτικού ρευστού γίνεται η συμπίεση, οπότε αυξάνεται η πίεση αλλά και η θερμοκρασία, ενώ μικραίνει ο όγκος του αερίου. Η συμπίεση μπορεί να γίνεται με διάφορους μηχανισμούς που περιγράφονται σε επόμενη υποενότητα.

Οι συμπιεστές υπάρχουν σε δύο βασικούς τύπους:

- θετικού εκτοπίσματος, και
- δυναμικούς.

Οι συμπιεστές θετικού εκτοπίσματος αυξάνουν την πίεση των ατμών του ψυκτικού μειώνοντας τον όγκο του. Παραδείγματα είναι οι παλινδρομικοί, οι περιστροφικοί κ.λπ. Στους συμπιεστές θετικού εκτοπίσματος **εκτόπισμα** ονομάζεται ο όγκος που θεωρητικά εκτοπίζεται από τον συμπιεστή, δηλαδή ο συνολικός διαθέσιμος όγκος του χώρου συμπίεσης.

Οι δυναμικοί συμπιεστές, με το περιστρεφόμενο τμήμα τους, μεταφέρουν στροφορμή στους ατμούς του ψυκτικού ρευστού που στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση της πίεσης. Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής ανήκει στον τύπο αυτό.

Για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του συμπιεστή χρησιμοποιούνται αντίστοιχες διατάξεις και συσκευές ρύθμισης και προστασίας, οι οποίες τον προστατεύουν από υπερθέρμανση ή υπερπίεση και ρυθμίζουν την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου. Επίσης για να ψύχονται και να λιπαίνονται τα εξαρτήματά του χρειάζεται ειδικό έλαιο, του οποίου η ποσότητα πρέπει να είναι καθορισμένη και να ελέγχεται περιοδικά.

1.1.1 Λόγος συμπίεσης (CR)

Ο λόγος της απόλυτης πίεσης κατάθλιψης ($P_{κατ}$) προς την απόλυτη πίεση αναρρόφησης ($P_{αν}$) ονομάζεται λόγος συμπίεσης CR (compression ratio). Δηλαδή:

$$CR = P_{κατ}/P_{αν}$$

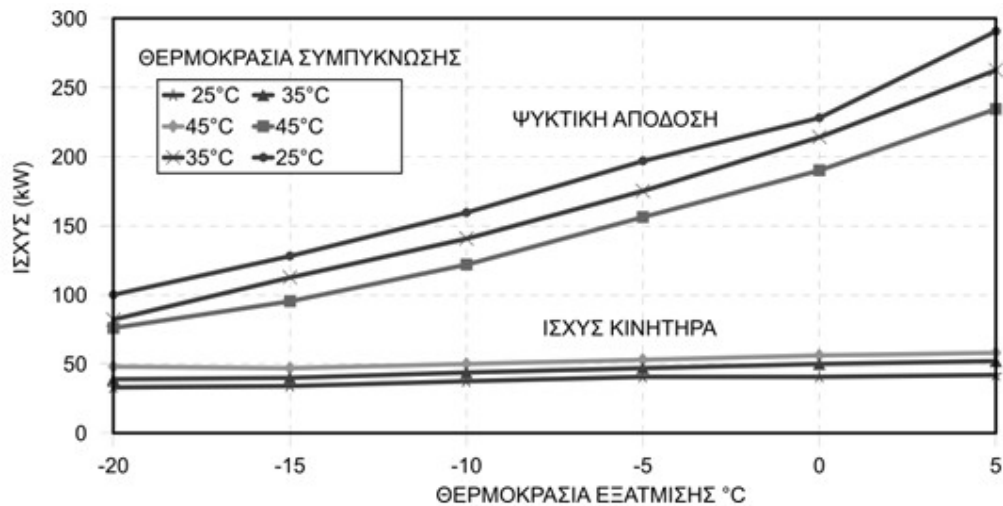
Η τιμή του λόγου συμπίεσης εξαρτάται από το μέγεθος της πίεσης που επικρατεί κάθε στιγμή στην γραμμή κατάθλιψης και της αναρρόφησης και σχετίζεται στενά με την απόδοση του συμπιεστή. Όσο αυξάνεται ο CR, ελαττώνεται η απόδοση του συμπιεστή, γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να περιορίζεται ο λόγος συμπίεσης σε όσο το δυνατόν χαμηλές τιμές.

Ο λόγος συμπίεσης, μαζί με το εκτόπισμα και τους βαθμούς απόδοσης, είναι από τα πιο σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά ενός συμπιεστή.

1.2 Απόδοση συμπιεστή

Η **απόδοση συμπιεστή** συχνά παρουσιάζεται από τους κατασκευαστές είτε υπό μορφή διαγράμματος (διάγραμμα 1) είτε από πίνακες απόδοσης και ισχύος για την περιοχή θερμοκρασιών συμπύκνωσης και εξάτμισης.

Διάγραμμα 1. Συμπιεστής ανοιχτού τύπου



Πηγή: Οδηγός Ψύξης, 1996, ΚΑΠΕ

Η **απόδοση του ψυκτικού συστήματος** αποδίδει την ενεργειακή απόδοση ολόκληρου του ψυκτικού κύκλου και συνήθως εκφράζεται με τον συντελεστή συμπεριφοράς (COP). Ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) ορίζεται ως το πηλίκο της αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος (\dot{Q}_ψ) προς την κατανάλωση μηχανικής ισχύος (P) που δίνεται στην άτρακτο του συμπιεστή, δηλαδή:

$$COP = \frac{\dot{Q}_\psi}{P_e}$$

Ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) ενός ψυκτικού συγκροτήματος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- το ψυκτικό μέσο,
- τη διάταξη του κύκλου,
- τις θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξάτμισης,
- την απόδοση του συμπιεστή, και
- την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον βοηθητικό εξοπλισμό.

Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες έχει μια συγκεκριμένη επίδραση στο COP και οπωσδήποτε στη συνολική ενεργειακή απόδοση. Για παράδειγμα, μείωση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης κατά 1°C μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή κατανάλωση του συμπιεστή κατά 3%.

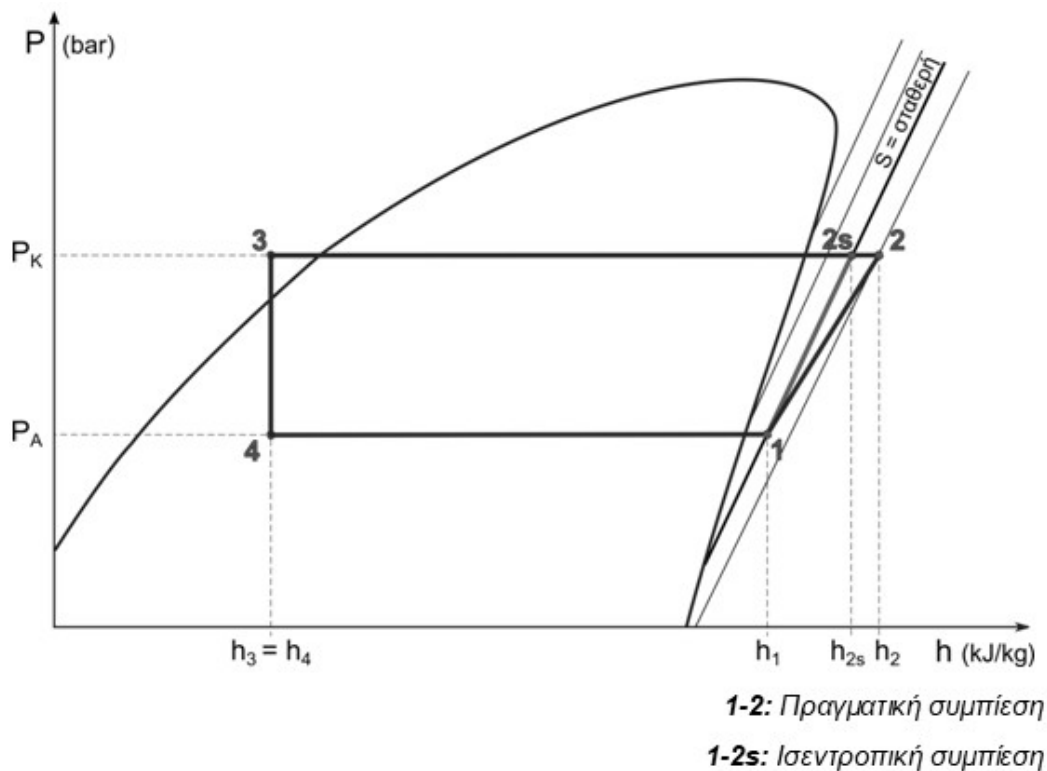
Η απόδοση του συμπιεστή είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση του συμπιεστή και κατ' επέκταση το συντελεστή συμπεριφοράς του συστήματος ψύξης.

1.2.1 Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης συμπιεστή

Ιδανικά ο συμπιεστής συμπιέζει τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού με ισεντροπική - αδιαβατική μεταβολή. Ατμός χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας εισέρχεται από τον ατμοποιητή στον συμπιεστή και ανυψώνεται ισεντροπικά (με σταθερή εντροπία) η πίεσή του.

Η πραγματική συμπίεση δεν είναι αδιαβατική-ισεντροπική. Ο συμπιεστής δεν μπορεί να είναι τέλεια μονωμένος, και συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Αυτό διαπιστώνεται εύκολα, ακουμπώντας το χέρι πάνω στο κέλυφος, το οποίο είναι θερμό, μόλις ο συμπιεστής λειτουργεί, άρα συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον και η εντροπία δεν παραμένει σταθερή, αλλά αυξάνεται. Η θεωρητική (ισεντροπική) και η πραγματική συμπίεση φαίνεται στο διαγράμματα $p-h$ του σχήματος 2.

Σχήμα 2. Ισεντροπική και πραγματική συμπίεση σε διάγραμμα $p-h$



Ο βαθμός απόδοσης (ισεντροπικός) ενός συμπιεστή λαμβάνει χώρα για να χαρακτηρίσει το πόσο απέχει η απόδοση του συμπιεστή από την ιδανική (αδιαβατική και αντιστρεπτή) ισεντροπική διεργασία. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή τόσο περισσότερο πλησιάζει την ιδανική αυτή λειτουργία. Ο βαθμός απόδοσης (n_{is}) του συμπιεστή ορίζεται σαν:

$$n_{is} = \frac{\text{Θεωρητικό Έργο συμπίεσης } (w_{c(th)})}{\text{Πραγματικό Έργο συμπίεσης } (w_c)}$$

Σύμφωνα με το σχήμα 2, ο βαθμός απόδοσης του συμπιεστή θα δίνεται από τη σχέση:

$$n_{is} = \frac{w_{c(th)}}{w_c} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

όπου:

h_{2s} = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του συμπιεστή εκτελώντας ισεντροπική διεργασία (kJ/kg),

h_2 = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του συμπιεστή εκτελώντας μη-ισεντροπική διεργασία (kJ/kg) και

h_1 = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην είσοδο του συμπιεστή (kJ/kg)

Τυπικές τιμές που λαμβάνει ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης είναι από 0,7 έως 0,85.

1.2.2 Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης συμπιεστή

Ο λόγος του όγκου του ψυκτικού αερίου που πραγματικά καταθλίβεται προς τον συμπυκνωτή (V_{π}) προς το εκτόπισμα (V_g) του συμπιεστή (θεωρητικός όγκος συμπίεσης), ονομάζεται ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή. Δίνεται από τη σχέση:

$$n_v = \frac{V_{\pi}}{V_g}$$

όπου:

V_{π} : ο πραγματικός όγκος συμπίεσης και

V_g : ο συνολικός διαθέσιμος όγκος συμπίεσης (εκτόπισμα)

Ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης των συμπιεστών δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως: