



# ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά



# Τρόποι Λειτουργίας των Συστημάτων Συμπαραγωγής

-Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής, δηλ. οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή, είναι οι ακόλουθοι:

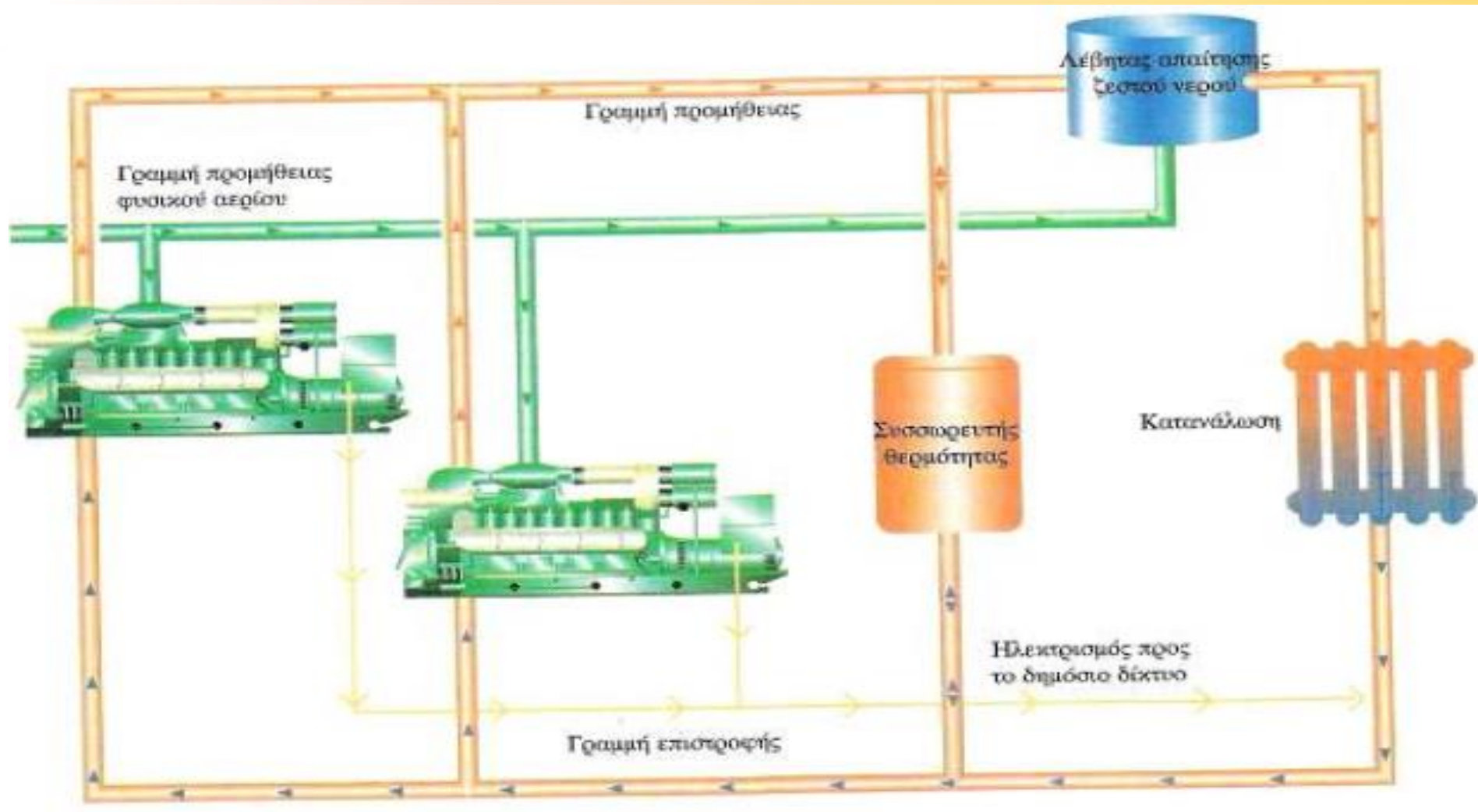
- Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο (electricity match): Εάν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια περισσότερη από το φορτίο, η περίσσεια πωλείται στο εθνικό δίκτυο. Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μικρότερη από το φορτίο, το έλλειμμα συμπληρώνεται από το δίκτυο.
- Παραγωγή θερμότητας ίσης με το θερμικό φορτίο (heat match): Βοηθητικός λέβητας συμπληρώνει τις πρόσθετες ανάγκες σε θερμότητα, εάν χρειασθεί. Επίσης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ψυγείων ικανών να αποβάλουν την περίσσεια θερμότητα, εάν προκύψει ανάγκη.
- Μικτός τρόπος, δηλαδή παρακολούθηση άλλοτε του ηλεκτρικού φορτίου (τρόπος α΄) και άλλοτε του θερμικού φορτίου (τρόπος β΄).
- Πλήρης κάλυψη του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το εθνικό δίκτυο: Αυτός ο τρόπος λειτουργίας απαιτεί επαρκή εφεδρεία ισχύος και επομένως περίπλοκο σύστημα συμπαραγωγής. Είναι η πιο ακριβή λύση, τουλάχιστον από πλευράς αρχικού κόστους.



# Τρόποι Λειτουργίας των Συστημάτων Συμπαγωγής

- ✓ Ο πρώτος τρόπος εμφανίζει την υψηλότερη ενεργειακή και οικονομική απόδοση για συστήματα στο βιομηχανικό και εμπορικό-κτιριακό τομέα.
- ✓ Για σταθμούς συμπαγωγής του συστήματος ηλεκτρισμού της χώρας, η επιλογή του τρόπου λειτουργίας, εξαρτάται από τις ευρύτερες ανάγκες του δικτύου, τις διαθέσιμες μονάδες και τις υποχρεώσεις απέναντι στους καταναλωτές ηλεκτρισμού και θερμότητας.

# Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής



Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού χρήσης με την μέθοδο της Συμπαγωγής χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το Φυσικό Αέριο.



# Συμπαραγωγή



$$\left(1 - \frac{2.50}{4.33}\right) \cdot 100 = 42\% \text{ Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας με συμπαρογωγή}$$



# Σύστημα Ελέγχου

Σημαντική συμβολή στη διαθεσιμότητα των μονάδων συμπαραγωγής έχει ο αυτόματος έλεγχος της λειτουργίας. Μικροεπεξεργαστές, εγκατεστημένοι στο χώρο όπου βρίσκεται η μονάδα, παρακολουθούν τις τιμές σημαντικών παραμέτρων και μεταβιβάζουν τις σχετικές πληροφορίες σε κεντρική μονάδα ελέγχου. Την παράλληλη λειτουργία του σταθμού συμπαραγωγής με το κεντρικό δίκτυο εξασφαλίζει ο κατασκευαστής με τη χρήση ηλεκτροκινούμενου διακόπτη ισχύος.

**-Ο σταθμός συμπαραγωγής πρέπει να παρακολουθείται και να ελέγχεται συνεχώς για τα εξής:**

- Πιθανή διακοπή της κεντρικής παροχής
- Συγχρονισμός με το κεντρικό δίκτυο
- Προστασία από βραχυκύκλωμα
- Αντιστάθμιση αέργου ισχύος
- Θερμότητα ζεστού αέρα



# Συστήματα Τριπαραγωγής

- ✓ Ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας περιορίζεται σε υψηλούς βαθμούς απόδοσης πρακτικά μόνο κατά τις χρονικές περιόδους που ταυτόχρονα με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας υφίσταται και ζήτηση θερμότητας.
- ✓ Στην περίπτωση που η θερμότητα ενός συστήματος συμπαραγωγής αποσκοπεί στη θέρμανση κλιματιζόμενων χώρων, η χρονική περίοδος κατά την οποία το σύστημα αποδίδει το μέγιστο ενεργειακό όφελος, και εμφανίζει τη μέγιστη απόδοση, περιορίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες.
- ✓ Πρακτικά κατά την περίοδο μη ύπαρξης ζήτησης θερμικής ισχύος το σύστημα παύει να λειτουργεί ως σύστημα συμπαραγωγής, καθώς πλέον περιορίζεται αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.
- ✓ Στις ανωτέρω περιπτώσεις ανήκουν οι περισσότερες εφαρμογές που υλοποιούνται και στην Ελλάδα, όπου η σκοπιμότητα ύπαρξης συστήματος συμπαραγωγής υφίσταται ετησίως για μία περίοδο της τάξης των 5 έως 8 μηνών για τη νότια και βόρεια Ελλάδα, αντίστοιχα.
- ✓ Συνεπώς η εφαρμογή συστημάτων συμπαραγωγής στον κτιριακό τομέα αποκλειστικά για κάλυψη των θερμικών φορτίων είναι αντιοικονομική, λόγω των περιορισμένων ετήσιων ωρών λειτουργίας.



# Συστήματα Τριπαραγωγής

- ✓ Με βάση τα ανωτέρω και με στόχο τη μεγιστοποίηση της περιόδου λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής, αναπτύσσονται τα συστήματα τριπαραγωγής, στα οποία η παραγόμενη θερμότητα από τις μονάδες ισχύος του συστήματος αξιοποιείται και για την παραγωγή ψύξης κατά τους θερινούς μήνες.
- ✓ Ψύξη μπορεί να παραχθεί από τη θερμότητα ενός σταθμού συμπαραγωγής, μέσω των κύκλων απορρόφησης ή προσρόφησης, με μονάδες τριπαραγωγής.



# Συστήματα Τριπαραγωγής

## -Τι είναι η Τριπαραγωγή?

Τριπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας και ψύξης από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

- ✓ Η μέθοδος της τριπαραγωγής βρίσκει εφαρμογή στον κτιριακό τομέα κυρίως σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κτίρια γραφείων και εμπορικά κέντρα ή σε συστήματα τηλεθέρμανσης - τηλεψύξης. Γενικά χρησιμοποιείται σε κτίρια με ταυτόχρονες συνεχείς ανάγκες για ηλεκτρισμό και θέρμανση ή/και ψύξη που υπερβαίνουν τις 4.500 – 5.000 ώρες ετησίως.
- ✓ Οι μονάδες τριπαραγωγής βασίζονται κυρίως σε εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης (ντιζελογεννήτριες) ή μικροστροβίλους, συνδυασμένες με κύκλο απορρόφησης για ψύξη. Σε μελλοντικές εφαρμογές τριπαραγωγής, παρουσιάζει ενδιαφέρον και η χρήση κυψελών καυσίμου.



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

- ✓ Οι ψύκτες απορρόφησης ακολουθούν τις βασικές διεργασίες της συμπύκνωσης - εξάτμισης του βασικού ψυκτικού κύκλου για την παραγωγή ψύξης.
- ✓ Όπως μία συμβατική συσκευή παραγωγή ψύξης, διαθέτουν εξατμιστή και συμπυκνωτή, όπου εκτονώνεται το ψυκτικό μέσο.
- ✓ Ωστόσο, αντί του μηχανικού έργου, οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν θερμότητα ως ενεργειακή πηγή.
- ✓ Η θερμότητα αυτή παράγεται είτε άμεσα με καύση καυσίμου σε κάποιο καυστήρα, είτε έμμεσα, με χρήση ατμού, ζεστού νερού ή από περίσσεια / ανάκτηση θερμότητας.
- ✓ Οι εφαρμογές ψύξης με απορρόφηση απαιτούν παροχή θερμότητας σε θερμοκρασίες από 100 – 200 °C.

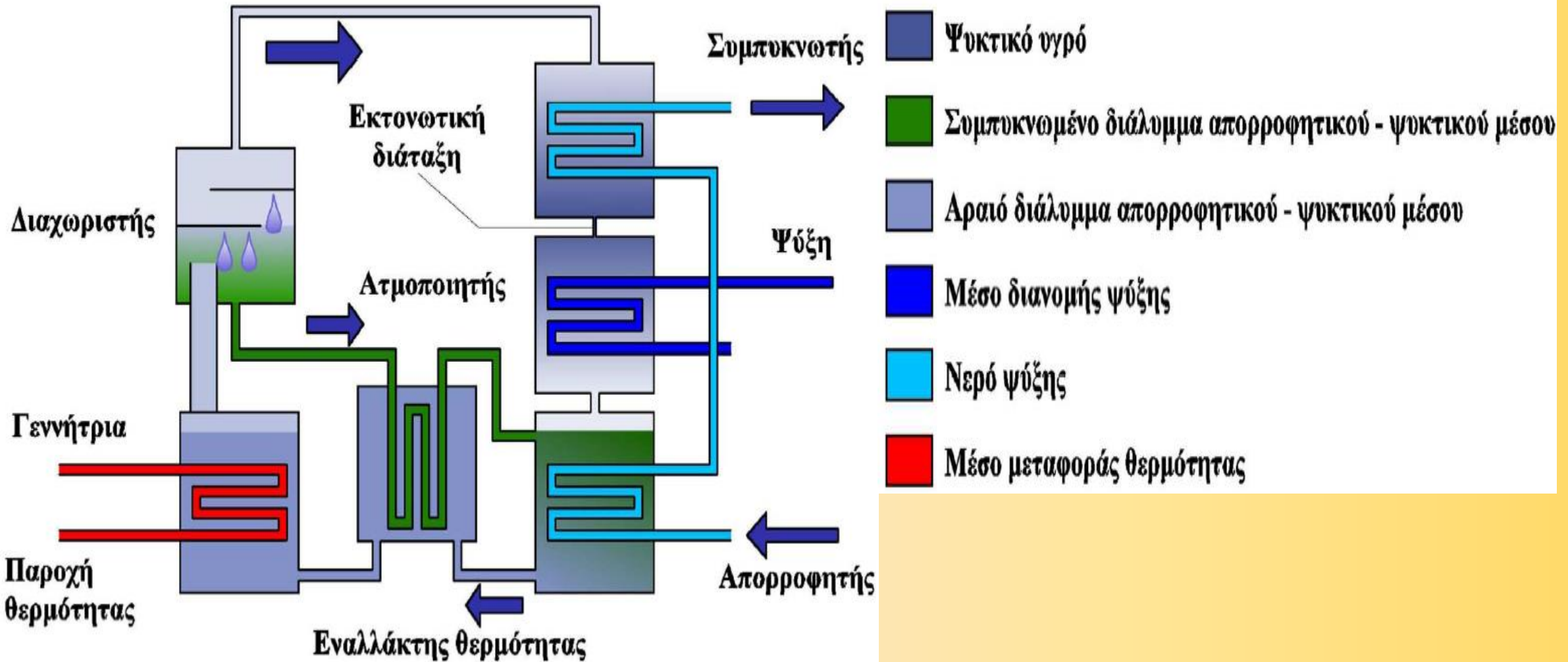


# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

- ✓ Ιδιαίτερα δημοφιλής είναι την τελευταία δεκαετία η παραγωγή της θερμότητας που απαιτείται για τη λειτουργία ψύκτη απορρόφησης από ηλιακούς συλλέκτες.
- ✓ Στην περίπτωση αυτή, έχει καθιερωθεί η ονομασία της συνολικής διαδικασίας παραγωγής ψύξης με αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των ηλιακών συλλεκτών, ως «ηλιακός κλιματισμός».
- ✓ Οι μηχανές απορρόφησης, που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο, τροφοδοτούνται με ατμό, ζεστό νερό ή τα αέρια καύσης, που μπορούν να παράγονται και από συστήματα συμπαραγωγής.
- ✓ Στην πιο απλή σχεδιάσή της, η μηχανή απορρόφησης αποτελείται από εξατμιστή (ατμοποιητή), συμπυκνωτή, απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος.
- ✓ Στον κύκλο απορρόφησης, η συμπίεση ατμού του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με συνδυασμό του απορροφητή, της αντλίας διαλύματος και της γεννήτριας.



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση



Αρχή λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονού σταδίου



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

## -Αρχή Λειτουργίας

- Στον εξατμιστή της συσκευής, απορροφάται θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο, παράγοντας ψύξη και ατμοποιώντας το ψυκτικό μέσο.
- Ο ατμός του ψυκτικού μέσου, που παράγεται στον εξατμιστή, απορροφάται σε ένα απορροφητικό υγρό μέσα στον απορροφητή.
- Το απορροφητικό μέσο, το οποίο πλέον ονομάζεται «ασθενές απορροφητικό», διοχετεύεται με αντλίες στη γεννήτρια.
- Εκεί προσδίδεται θερμότητα από την εξωτερική πηγή προς το μίγμα απορροφητικού - ψυκτικού μέσου, με αποτέλεσμα το ψυκτικό μέσο να αποδεσμεύεται ως ατμός υψηλής πίεσης.
- Γίνεται, συνεπώς, κατανοητό ότι ο συνδυασμός του απορροφητή, της αντλίας ασθενούς απορροφητικού και της γεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ατμού ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσης, όπως ακριβώς και ο μηχανικός συμπιεστής σε μία συμβατική συσκευή παραγωγής ψύξης.
- Ο ατμός του ψυκτικού μέσου διαχωρίζεται πλήρως από πιθανά υπολείμματα απορροφητικού μέσου σε ένα διαχωριστή.



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

## -Αρχή Λειτουργίας

- Το αναγεννημένο ή «ισχυρό απορροφητικό» οδηγείται στη συνέχεια πίσω στον απορροφητή, για να συλλέξει εκ νέου ψυκτικό ατμό.
- Ο ατμός του ψυκτικού μέσου θα συμπυκνωθεί στο συμπυκνωτή για τη μείωση της θερμοκρασίας του και θα εκτονωθεί σε εκτονωτική διάταξη για την πτώση της πίεσής του και την πλήρη υγροποίησή του, πριν οδηγηθεί και πάλι στον ατμοποιητή για την εκ νέου ατμοποίησή του και την παραγωγή ψύξης.



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

## -Ροές Θερμότητας στο Βασικό Κύκλο

- Απορρόφηση θερμότητας στον εξατμιστή (ή ατμοποιητή) από τον κλιματιζόμενο χώρο και παραγωγή ψύξης, σε χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο
  - Απόρριψη θερμότητας στο συμπυκνωτή προς το περιβάλλον, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο
  - Απόρριψη θερμότητας από τον απορροφητή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο
  - Παροχή θερμότητας στη γεννήτρια, σε υψηλό θερμοκρασιακό επίπεδο
- ✓ Σε έναν κύκλο απορρόφησης, ψυκτικό μέσο και απορροφητικό συγκροτούν το «ζεύγος εργασίας».
- ✓ Διαχρονικά έχουν δοκιμαστεί πολλά ζεύγη εργασίας.

## -Τα δύο ζεύγη εργασίας που έχουν καθιερωθεί είναι:

- Διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (Li-Br), ως απορροφητικό, με νερό
- Αμμωνία (NH<sub>3</sub>) με νερό



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

- ✓ Για συστήματα ψύξης βρωμιούχου λιθίου - νερού, η πηγή θερμότητας πρέπει να είναι σε ελάχιστη θερμοκρασία των 70-90 °C, για συστήματα μονού σταδίου.
- ✓ Σε συστήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία η θερμική ενέργεια παρέχεται σε θερμοκρασία 100-120 °C (μονού σταδίου).
- ✓ Το ζεύγος νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ψύξης αέρα, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 0 °C.
- ✓ Το ζεύγος αμμωνίας-νερού χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε εφαρμογές κατάψυξης, με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, μικρότερες των 0 °C.
- ✓ Τα επίπεδα πίεσης της μηχανής αμμωνίας - νερού είναι συνήθως υψηλότερα της ατμοσφαιρικής πίεσης, ενώ οι μηχανές νερού - βρωμιούχου λιθίου λειτουργούν κατά κανόνα σε μερικό κενό.
- ✓ Το σύστημα διπλού σταδίου χρησιμοποιεί δύο συγκροτήματα γεννήτριας – απορροφητήρα σε στάδια (σειρά), προκειμένου να χρησιμοποιήσει τη θερμότητα που παρέχεται περίπου δύο φορές.
- ✓ Η θερμότητα παρέχεται σε περίπου 170 °C στην πρώτη γεννήτρια και η θερμότητα που απορρίφθηκε από τον αντίστοιχο συμπυκνωτή χρησιμοποιείται, για να δώσει ενέργεια στη δεύτερη γεννήτρια σε χαμηλότερο επίπεδο, της τάξης των 100°C, όπως σε συστήματα μονού σταδίου.



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

**-Πλεονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων βασισμένα σε κύκλο συμπίεσης:**

- Πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Ελάχιστα κινούμενα τμήματα, με αποτέλεσμα το μεγάλο χρόνο ζωής, την αυξημένη αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος συντήρησης
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών
- Φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα με μηδενικές εκπομπές ρύπων και ουσιών καταστροφής του όζοντος



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

**-Μειονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων βασισμένα σε κύκλο συμπίεσης:**

- Μονάδες μεγάλης ισχύος με μεγάλο βάρος
- Σχετικά υψηλό αρχικό κόστος
- Κατανάλωση νερού σε πύργους ψύξης
- Χαμηλός συντελεστής συμπεριφοράς



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση

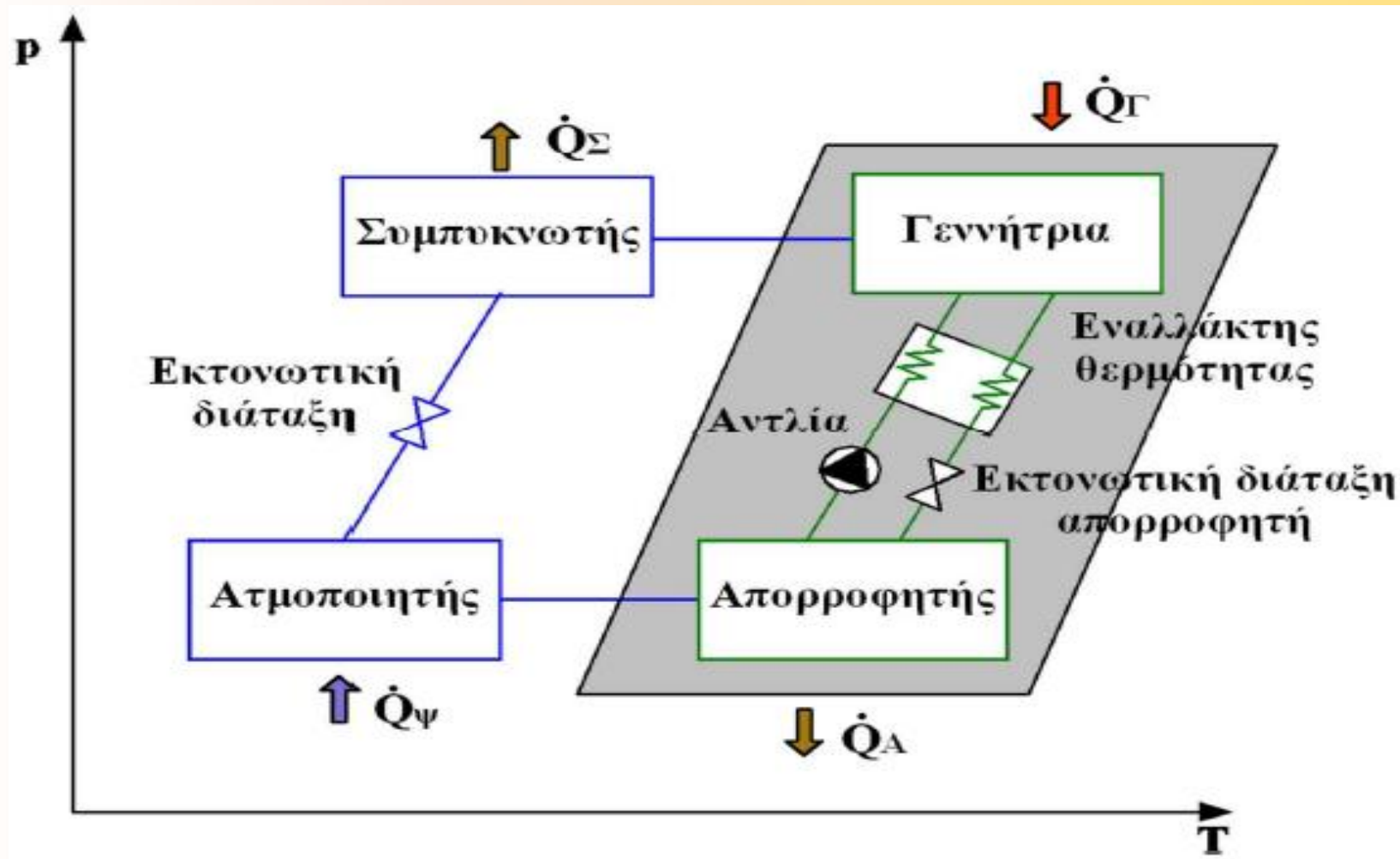
Κατά αντιστοιχία με το συμβατικό κύκλο ψύξης, ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς (Coefficient of Performance, COP) σε ένα κύκλο απορρόφησης, ορίζεται ως ο λόγος της θερμικής ισχύος που απορρίπτεται στον ατμοποιητή, δηλαδή της οφέλιμης ψυκτικής ισχύος  $Q_{\psi}$ , προς την απορροφούμενη θερμική ισχύ στη γεννήτρια  $Q_{th}$ :

$$COP = \frac{Q_{\psi}}{Q_{th}}$$

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς σε ένα κύκλο απορρόφησης παίρνει τιμές μεταξύ 0.60 και 0.70, σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες σε ένα συμβατικό κύκλο ψύξης.



# Βασικές Αρχές Ψύξης με Απορρόφηση



Αρχή λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονού σταδίου



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού – διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

- ✓ Τα περισσότερα συστήματα απορρόφησης που βασίζονται στο διάλυμα νερού – βρωμιούχου λιθίου έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές ψύξης αέρα.
- ✓ Τα συστήματα αυτά εμφανίστηκαν περί το 1900, πολύ πριν από αυτά του κύκλου συμπύεσης.
- ✓ Για ιστορικούς λόγους, δίνεται από τους κατασκευαστές η μονάδα μέτρησης δίνεται σε RT (ψυκτικοί τόνοι – Refrigeration Tons).
- ✓ 1RT αντιστοιχεί σε περίπου 3,52kW ψύξης

## -Αρχή Λειτουργίας

- Στο απορροφητικό σύστημα νερού – βρωμιούχου λιθίου το νερό χρησιμοποιείται ως ψυκτικό υγρό και το βρωμιούχο λίθιο ως απορροφητικό υγρό.
- Καθώς το νερό, ως ψυκτικό μέσο, ρέει μέσα στις σωληνώσεις του εξατμιστή ψύξης νερού (ατμοποιητής), ένα μέρος του γίνεται ατμός.
- Κατ' αυτόν τον τρόπο, όμως, το παραμένον νερό ψύχεται και στη συνέχεια χρησιμοποιείται, για να ψύξει το χώρο που κλιματίζεται.
- Η θερμότητα που απορροφά το ψυκτικό νερό, με τον τρόπο αυτό, προκαλεί περισσότερο νερό να εξατμιστεί.



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

- Όταν το ψυκτικό νερό ατμοποιείται, έχοντας απορροφήσει θερμότητα στον εξατμιστή, ρέει προς τον απορροφητήρα, ελκόμενο λόγω της απορρόφησής του από το βρωμιούχο λίθιο.
- Ο ψυκτικός ατμός συλλέγει τη θερμότητα στον εξατμιστή και την οδηγεί προς το απορροφητικό υγρό.
- Ο ατμός οδηγείται εκεί από το απορροφητικό βρωμιούχο λίθιο.
- Κατά την πρόοδο της διαδικασίας, ο ατμός μετατρέπεται πάλι σε νερό.
- Το μίγμα νερού και υγρού λιθίου ρέει προς τη γεννήτρια - διαχωριστήρα.
- Στη γεννήτρια το μίγμα θερμαίνεται, μέχρις ότου αρχίσει ο βρασμός του νερού και η μετατροπή του σε ατμό.
- Κατ' αυτόν τον τρόπο το ψυκτικό νερό διαχωρίζεται από το απορροφητικό βρωμιούχο λίθιο. Το απορροφητικό υγρό ρέει υπό πίεση στο συμπυκνωτή.
- Στο συμπυκνωτή το νερό ψύχεται και επιστρέφει στην υγρή κατάστασή του, καθώς η θερμότητα μεταδίδεται από τον ατμό του νερού μέσω των τοιχωμάτων του συμπυκνωτή.
- Το ψυκτικό νερό είναι ακόμα υπό υψηλή πίεση.

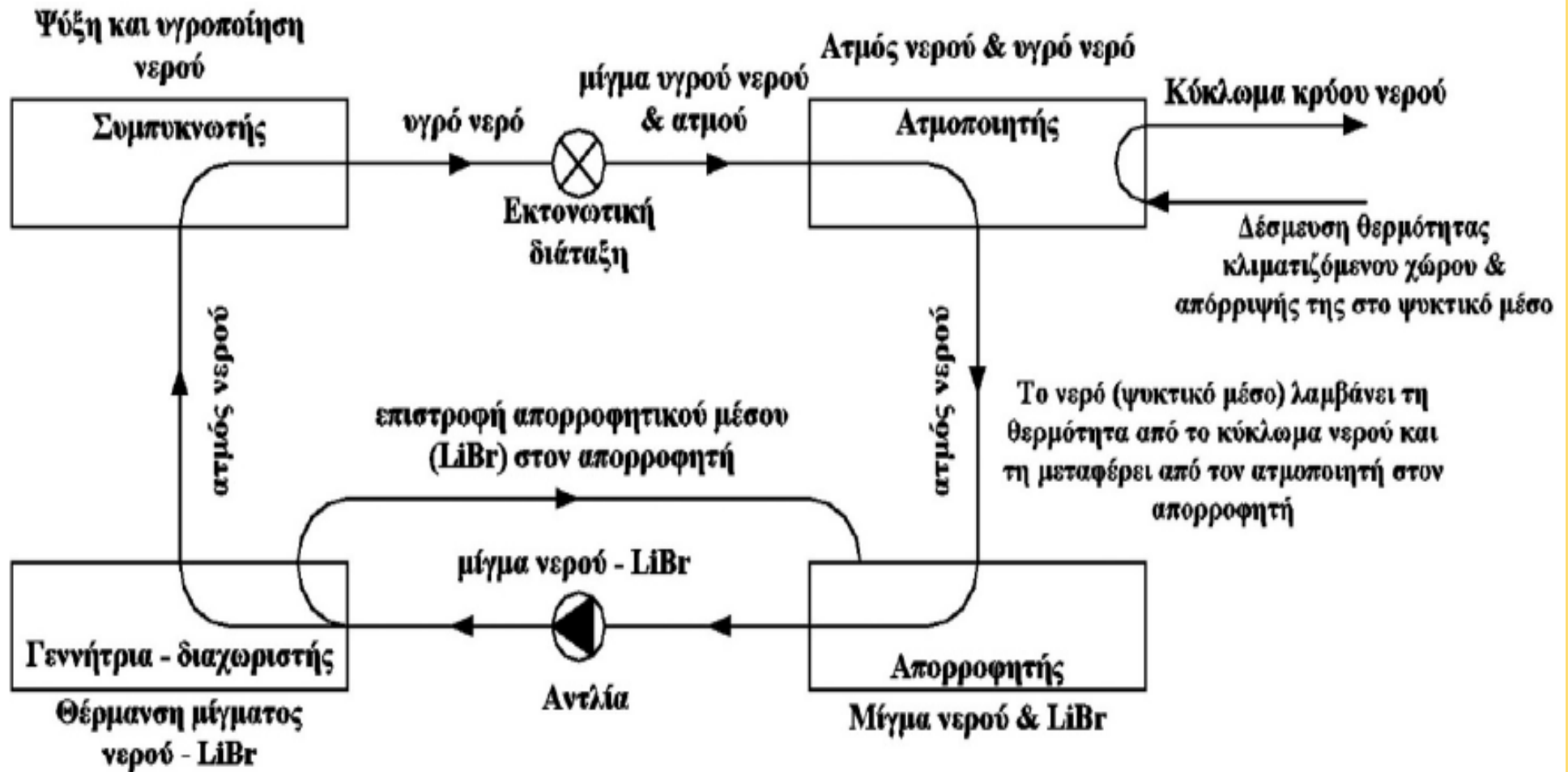


# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

- Στη συνέχεια ο ατμός, διερχόμενος μέσω ενός εκτονωτικού ρυθμιστικού, οδηγείται στον εξατμιστή ψύξης νερού χαμηλής πίεσης.
- Ένα μέρος του ψυκτικού νερού εξατμίζεται εκεί, και ο ψυκτικός κύκλος επαναλαμβάνεται.



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)



Κύκλος απορρόφησης με διάλυμα βρωμιούχου λιθίου - νερού



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

- ✓ Οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν συστήματα μονού σταδίου με ισχύ ψύξης 100 έως 1.500RT, δηλαδή 350 kW – 5.200 kW.
- ✓ Αυτά μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας με καυσαέρια ή με ατμό θερμοκρασίας από 110 έως 120 °C.
- ✓ Εναλλακτικά, μπορούν να τροφοδοτηθούν με υπέρθερμο νερό στους 115 έως 150 °C και με μέγιστη πίεση 9 bar.
- ✓ Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι της τάξης του 0,7.
- ✓ Τα συστήματα διπλού σταδίου είναι περίπου στο ίδιο φάσμα ψυκτικής ισχύος με αυτά του μονού σταδίου.
- ✓ Η ελάχιστη ικανότητα ψύξης, που προσφέρεται στην αγορά, είναι λίγο υψηλότερη από αυτή των συστημάτων μονού σταδίου (περί τα 500 kW).
- ✓ Ο ατμός είναι το προτιμώμενο μέσο τροφοδοσίας για ένα τέτοιο σύστημα, σε πιέσεις από 9 – 10 bar, που αντιστοιχεί σε περιοχή θερμοκρασιών 175 έως 185 °C.
- ✓ Το σύστημα διπλού σταδίου λειτουργεί, επίσης, και με υπέρθερμο νερό, η θερμοκρασία του οποίου κυμαίνεται μεταξύ 155 – 205 °C.



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

- ✓ Ο συντελεστής συμπεριφοράς, σε κάθε περίπτωση, είναι από 0,9 έως 1,2.
- ✓ Αυτό σημαίνει ότι ο πύργος ψύξης που απαιτείται για έναν ψύκτη διπλού σταδίου είναι μικρότερος από ό,τι για έναν μονού σταδίου κατά περίπου 40%.
- ✓ Η πολυπλοκότητα των ψυκτών διπλού σταδίου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους τους, σε αντίθεση με αυτούς του μονού σταδίου.
- ✓ Όλες οι εμπορικά διαθέσιμες μηχανές συστημάτων κύκλου απορρόφησης απορρίπτουν θερμότητα σε ένα κύκλωμα πύργου ψύξης.
- ✓ Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι θερμοκρασίες στο κύκλωμα πύργου ψύξης είναι 32 – 37 °C.
- ✓ Οι μονάδες διπλού σταδίου γενικά προτιμώνται περισσότερο από αυτές του μονού σταδίου, λόγω της αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας και της μειωμένης κατανάλωσης νερού.
- ✓ Το κόστος μιας μονάδας ανά kW της ψυκτικής ικανότητας εξαρτάται από το μέγεθός της, αλλά γίνεται σχεδόν σταθερό πάνω από 2.000 kW.

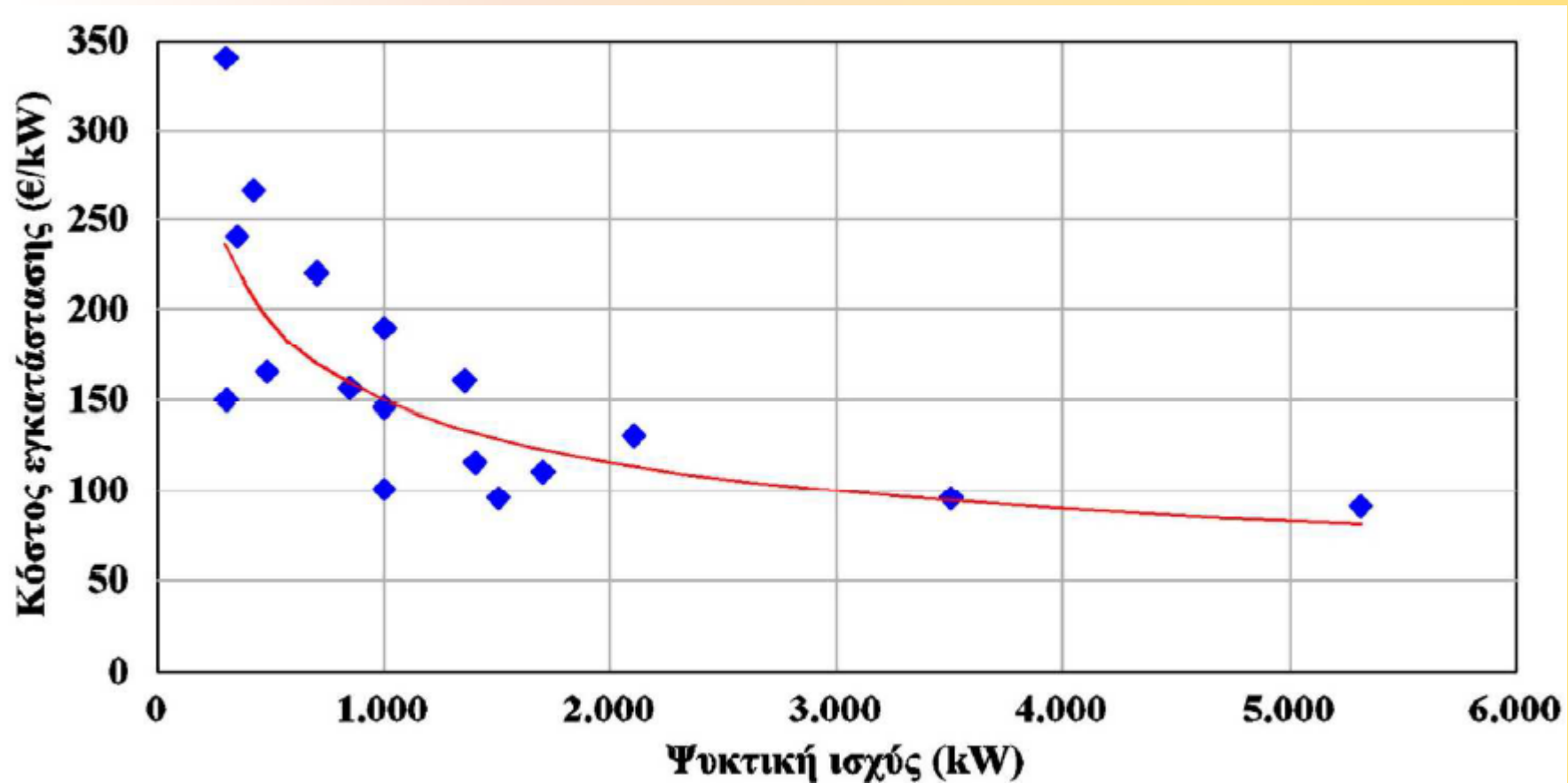


# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

- ✓ Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι το σύστημα διπλού σταδίου είναι τουλάχιστον 20% ακριβότερο (μπορεί να φθάσει και στο 30-40% ανάλογα με τη χρήση του συστήματος) από το αντίστοιχο σύστημα μονού σταδίου με την ίδια ικανότητα.
- ✓ Ο λόγος για το υψηλότερο κόστος είναι η επιπλέον γεννήτρια και ο συμπυκνωτής κατά το σχεδιασμό.
- ✓ Δεύτερος εμπειρικός κανόνας είναι ότι μια μονάδα τροφοδοτούμενη με ζεστό νερό είναι περίπου 25% πιο ακριβή από ότι μία μονάδα ατμού με την ίδια ικανότητα.
- ✓ Η αιτία είναι ότι το μέγεθος των αγωγών, που απαιτούνται για μια δεδομένη παροχή θερμικής ενέργειας στο μηχάνημα απορρόφησης, είναι μεγαλύτερο με ζεστό νερό από ό,τι με ατμό.



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr)



Κόστος συστημάτων απορρόφησης Li Br μονού σταδίου (τιμές 2008)



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα Αμμωνίας - Νερού ( $\text{NH}_3$ – $\text{H}_2\text{O}$ )

- ✓ Τα συστήματα αμμωνίας – νερού έχουν σχεδιαστεί κυρίως για βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης, π.χ. ψύξη τροφίμων ή διαδικασία κατάψυξης, με θερμοκρασίες εξάτμισης περίπου στους  $-60^\circ\text{C}$ .
- ✓ Αυτό το είδος των μηχανών είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες κοντά ή χαμηλότερες των  $0^\circ\text{C}$ , δεδομένου ότι οι μονάδες νερού – βρωμιούχου λιθίου δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε αυτό το εύρος θερμοκρασίας.
- ✓ Η θερμοκρασία στην οποία ο ατμός πρέπει να παρέχεται για την τροφοδοσία της μονάδος εξαρτάται από τη διαθέσιμη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και τη θερμοκρασία ψύξης, που πρέπει να επιτευχθεί.
- ✓ Τα συστήματα αυτά δεν ενδείκνυνται για εγκαταστάσεις σε κτίρια με μονάδες συμπαραγωγής.



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα Αμμωνίας - Νερού ( $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ )

## -Αρχή Λειτουργίας

- Σ' ένα απορροφητικό σύστημα αμμωνίας – νερού, το νερό είναι το απορροφητικό μέσο και η αμμωνία το ψυκτικό υγρό.
- Καθώς η υγρή αμμωνία ρέει μέσα στις σωληνώσεις του εξατμιστή ψύξης νερού χαμηλής πίεσης, ένα μέρος της ατμοποιείται, απάγοντας θερμότητα από το νερό που διέρχεται από τον εξατμιστή.
- Το παραγόμενο ψυχρό νερό χρησιμοποιείται για την ψύξη του κλιματιζόμενου χώρου.
- Η μεταφορά της θερμότητας από το νερό θερμαίνει την υγρή αμμωνία με αποτέλεσμα να ατμοποιείται μεγαλύτερη ποσότητά της, και έτσι να προκαλείται περισσότερη ψύξη.
- Η αμμωνία στον εξατμιστή, έχοντας παραλάβει θερμότητα από το νερό, μετατρέπεται σε ατμό.
- Ο ατμός της αμμωνίας έλκεται προς τον απορροφητήρα.
- Ο ατμός της αμμωνίας ενώνεται με το απορροφητικό νερό, για να παράγει ένα υγρό μίγμα.
- Αυτό το υγρό μίγμα αμμωνίας και νερού ρέει προς τη γεννήτρια – διαχωριστή.
- Στη γεννήτρια το μίγμα θερμαίνεται, μέχρι να διαχωριστεί.

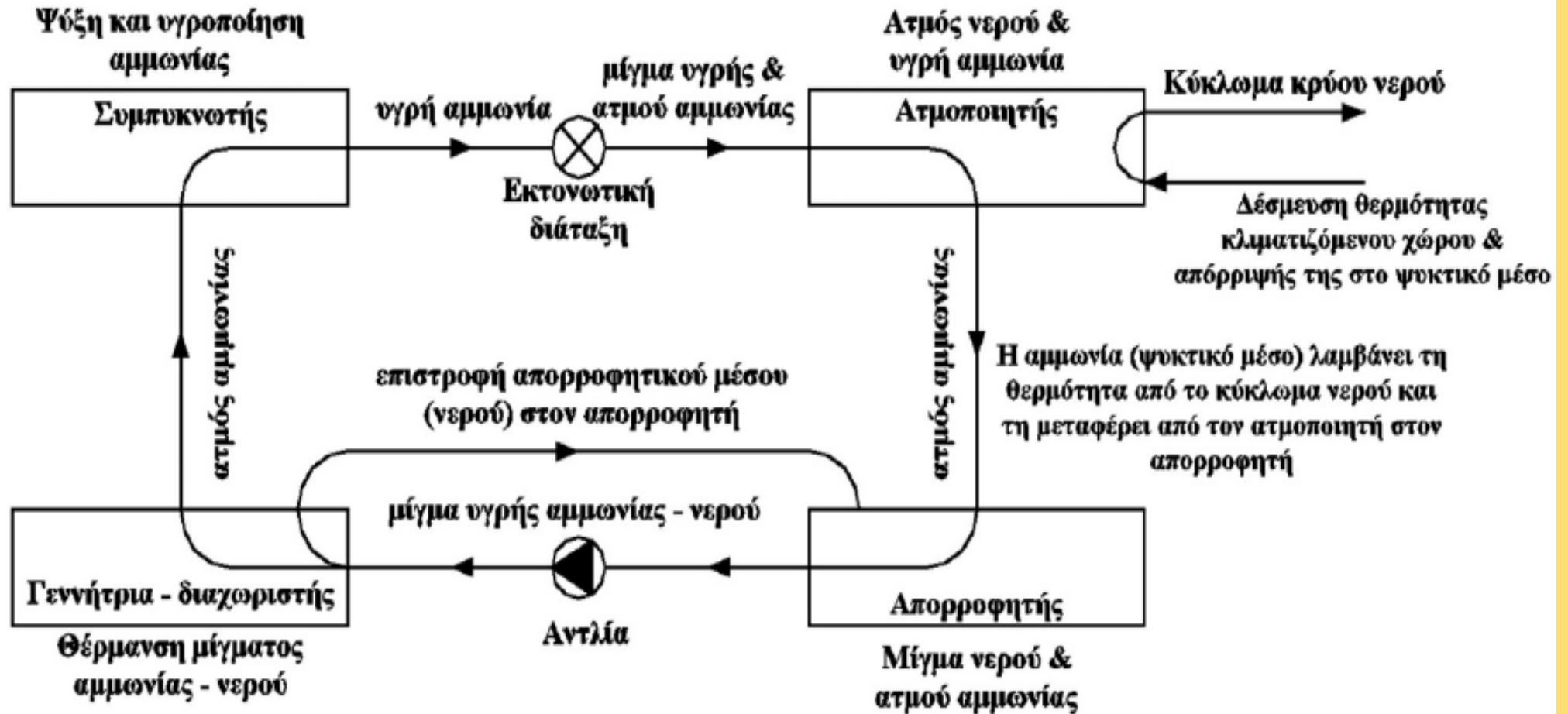


# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα Αμμωνίας - Νερού ( $\text{NH}_3$ – $\text{H}_2\text{O}$ )

- Το ψυκτικό υγρό – αμμωνία θερμαινόμενο ατμοποιείται, και έτσι διαχωρίζεται από το απορροφητικό νερό.
- Η αμμωνία, δηλαδή, διαχωρίζεται από το νερό με τη θερμότητα, που προστίθεται στη γεννήτρια.
- Έτσι η αμμωνία είναι τώρα σε υψηλότερη πίεση απ' ό,τι ήταν, πριν θερμανθεί.
- Το απορροφητικό νερό επιστρέφει στον απορροφητήρα.
- Ο αμμωνιακός ατμός, έχοντας υψηλή πίεση, ρέει προς το συμπυκνωτή.
- Στο συμπυκνωτή η θερμότητα μεταδίδεται από τον αμμωνιακό ατμό μέσω των τοιχωμάτων του στο ρεύμα αέρα που περνά από το στοιχείο του συμπυκνωτή.
- Έτσι ο αμμωνιακός ατμός ψύχεται, υγροποιείται και ρέει σε υγρή μορφή και με υψηλή πίεση προς τον εξατμιστή.
- Η υγρή αμμωνία, πριν εξατμιστεί, περνά από ένα εκτονωτικό ρυθμιστικό μηχανήμα, που ρυθμίζει την ποσότητα και την πίεσή της, και οδηγείται στον εξατμιστή ψύξης νερού χαμηλής πίεσης.
- Η αμμωνία ως ψυκτικό είναι πάλι ατμός, και έτσι ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



# Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα Αμμωνίας - Νερού ( $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ )



Κύκλος απορρόφησης με διάλυμα αμμωνίας - νερού



# Λοιπός εξοπλισμός συστημάτων ψύξης απορρόφησης

## -Δεξαμενή Αποθήκευσης

Η δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία είναι ένα θερμομονωμένο δοχείο, αποτελεί βασικό στοιχείο μιας εγκατάστασης ψύξης με απορρόφηση, ειδικά όταν η παροχή θερμικής ισχύος δεν είναι σταθερή.

- ✓ Οι περιπτώσεις αυτές μπορεί να προκύψουν σε συστήματα ηλιακού κλιματισμού, όταν δηλαδή η παροχή θερμότητας βασίζεται σε πεδίο ηλιακών συλλεκτών, αλλά ακόμα και σε συστήματα συμπαραγωγής, όταν η διαθεσιμότητα ισχύος καθορίζεται πρώτιστα από τη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος και όχι από τη ζήτηση θερμότητας.
- ✓ Η δεξαμενή αποθήκευσης εξομαλύνει τη ροή νερού σταθερής θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και του συστήματος ψύξης, αποθηκεύει θερμότητα από τη μονάδα παραγωγής, όταν αυτή υπερκαλύπτει τη ζήτηση θερμικής ισχύος από το σύστημα ψύξης, και τροφοδοτεί με θερμότητα τον ψύκτη, όταν η συλλεγόμενη ενέργεια δεν είναι αρκετή.
- ✓ Τέλος μειώνει τη ισχύ της εφεδρικής πηγής θερμότητας και ομαλοποιεί τη λειτουργία της.



# Λοιπός εξοπλισμός συστημάτων ψύξης απορρόφησης

## **-Εφεδρική Πηγή Θερμότητας**

Η εφεδρική πηγή θερμότητας είναι ένας καυστήρας πετρελαίου ή αερίου ή ακόμα και βιομάζας, που χρησιμοποιείται, για να καλύψει την απαιτούμενη θερμότητα για κλιματισμό το καλοκαίρι, όταν η διαθέσιμη θερμότητα από το σύστημα συμπαραγωγής δεν είναι επαρκής. Η ίδια πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιπλέον θερμότητα που απαιτείται για θέρμανση κατά τη χειμερινή περίοδο.

## **-Πύργος Ψύξεως**

Ο πύργος ψύξεως είναι ένας ειδικού τύπου εναλλάκτης θερμότητας, στον οποίο το νερό έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον, για να μεταφέρει σε αυτό την απορριπτόμενη θερμότητα. Ο πύργος ψύξεως χρησιμοποιείται, για να μεταφέρει την απορριπτόμενη θερμότητα από τον ψύκτη στο περιβάλλον.

## **-Συστήματα Διαχείρισης και Αυτοματισμού**

Μια εγκατάσταση ψύξης με απορρόφηση, για να επιτυγχάνει τη μέγιστη δυνατή απόδοση με ασφάλεια, πρέπει να είναι εξοπλισμένη με ένα σύστημα αυτοματισμών, όπως αισθητήρες, ηλεκτροβάνες, μικροεπεξεργαστές και πίνακες ελέγχου. Ο σωστός προγραμματισμός του συστήματος αυτοματισμού αποτελεί ζωτικής σημασίας συστατικό για τη σωστή λειτουργία του.



# Σύνοψη τεχνολογιών ψύξης με απορρόφηση

*Πίνακας 4.3: Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης NH<sub>3</sub> και LiBr (τιμές 2010).*

	Διάλυμα νερού – NH <sub>3</sub>	Διάλυμα νερού – LiBr	
Εφαρμογή – στάδιο	Μονό	Μονό	Διπλό
Ψυκτική ικανότητα (kW)	20 – 2.500	300 – 5.000	300 – 5.000
Θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς	0,6 – 0,7	0,5 – 0,6	0,9 – 1,1
Εύρος θερμοκρασίας προσδιδόμενης θερμότητας (°C)	120 – 132	120 – 132	150 – 170
Κόστος συστήματος (€/RT)	1.250 – 1.750	870 – 920	930 – 980

- ✓ Υπάρχουν ψύκτες απορρόφησης που λειτουργούν με θερμό νερό (80 - 90 °C), έστω και αν ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι μικρότερος.
- ✓ Το κόστος συντήρησης των μηχανών απορρόφησης διαφοροποιείται σημαντικά, ανάλογα με το είδος της συμφωνίας του κατασκευαστή / εγκαταστάτη με το χρήστη του συστήματος τριπαραγωγής.

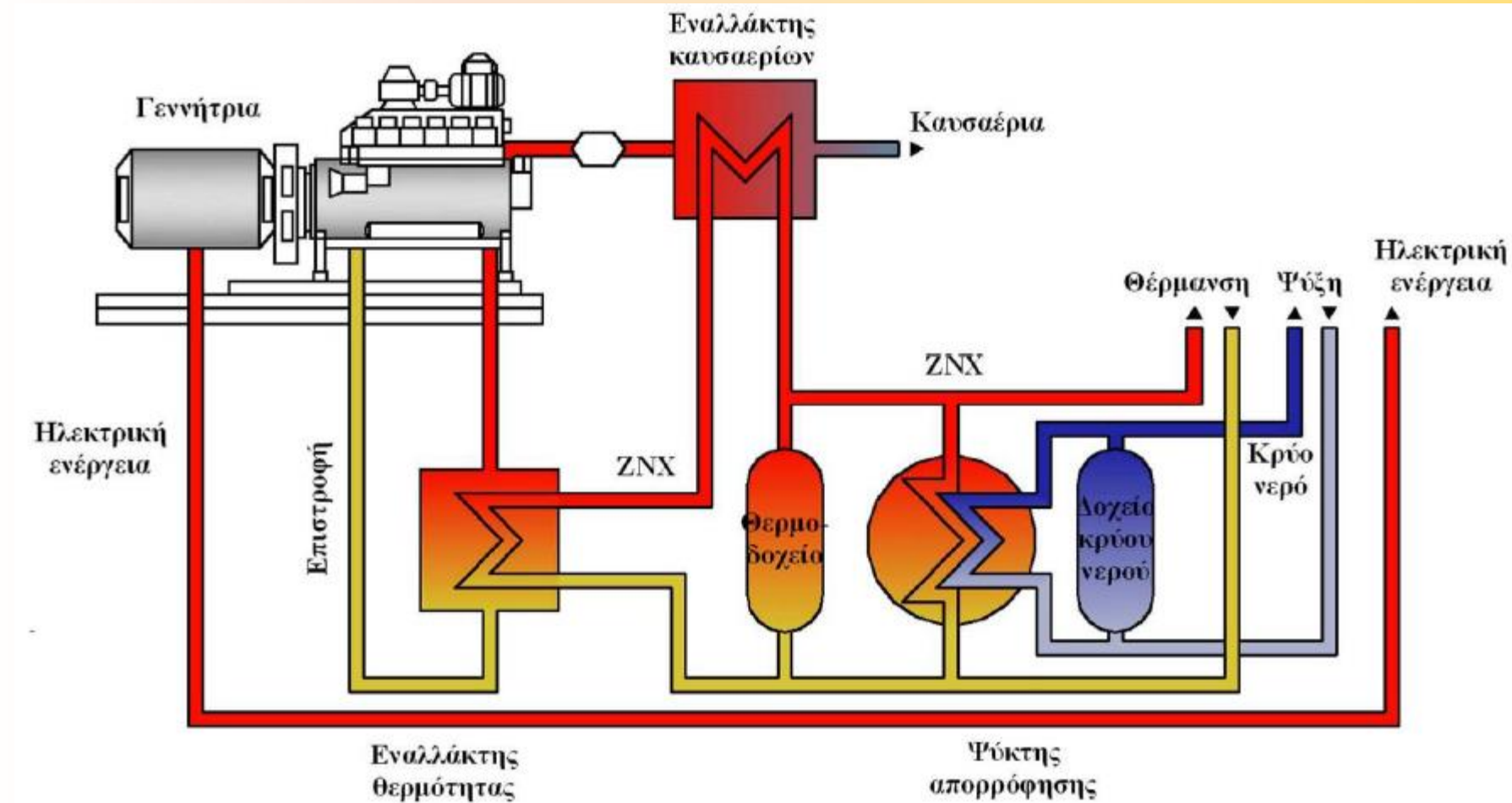


# Σύνοψη τεχνολογιών ψύξης με απορρόφηση

- ✓ Στις περισσότερες περιπτώσεις η συμφωνία περιλαμβάνει τη συντήρηση ολόκληρου του συστήματος θέρμανσης / ψύξης / κλιματισμού.
- ✓ Σε ορισμένες περιπτώσεις παρέχει και τη λειτουργία καθώς και συντήρηση όλου του συστήματος, στο πλαίσιο μιας ενιαίας σύμβασης παροχής ενεργειακών υπηρεσιών.



# Σύνοψη τεχνολογιών ψύξης με απορρόφηση



Σύστημα συμπαραγωγής με ψύκτη απορρόφησης