

# **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ**

## **Ταξινόμηση Συστημάτων.**

Τα κριτήρια ταξινόμησης των ψυκτικών μονάδων απορρόφησης  $H_2O - LiBr$  είναι ο τρόπος θέρμανσης της κύριας ατμογεννήτριας και το αν η μονάδα έχει μια ή περισσότερες ατμογεννήτριες.

Έτσι διακρίνονται σε :

- Εμμέσου Θέρμανσης (indirect fired) ψυκτικές μονάδες, όπου η τροφοδότηση της ατμογεννήτριας γίνεται από ένα boiler με ατμό ή ζεστό νερό και Αμέσου Θέρμανσης (direct fired) ψύκτες, όπου η θέρμανση της ατμογεννήτριας γίνεται απευθείας μέσω της καύσης υγρών ή κυρίως αερίων καυσίμων.
- Μονοβάθμιες (single – stage) εγκαταστάσεις εάν έχουν μια ατμογεννήτρια και σε Πολυβάθμιες (multi – stage) εγκαταστάσεις εάν έχουν μια κύρια (primary) και μια ή περισσότερες δευτερεύουσες ατμογεννήτριες (secondary).
- ❖ Όλες οι εμπορικώς διατιθέμενες ψυκτικές μονάδες αμέσου θέρμανσης είναι διβάθμιες (two – stage machines).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στις ψυκτικές μονάδες  $H_2O - LiBr$  χρησιμοποιούνται υδρόψυκτοι συμπυκνωτές (παρουσία πύργων ψύξης) σε αντίθεση με τους ψύκτες  $NH_3 - H_2O$  που έχουν αερόψυκτους συμπυκνωτές (air-cooled condensers).

Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την ψύξη νερού κλιματιστικών εγκαταστάσεων. Λόγω της χρησιμοποίησης του νερού ως ψυκτικού μέσου στις διατάξεις αυτές η θερμοκρασία παραγωγής ψυκτικής ισχύος δεν κατέρχεται συνήθως κάτω των  $+ 4C$ .

Οι διατάξεις απορρόφησης αυτού του είδους κατασκευάζονται σε δυο τύπους μεγάλης και μικρής ψυκτικής ισχύος. Οι μεγάλης ισχύος μονάδες κατασκευάζονται για ψυκτική ισχύ από 100 μέχρι 1500 ψυκτικούς τόνους (R.T) δηλ. από 0.35 μέχρι 5.3 MW και οι μικρές για ισχύ από 3 έως 25 R.T δηλ. από 0.01 έως 0.088 MW.

Οι διατάξεις μεγάλης ισχύος διακρίνονται από κατασκευαστικής πλευράς σε μονάδες δυο κελύφων (double effect) και μονάδες ενός κελύφους. Στην πρώτη περίπτωση το επάνω κέλυφος περικλείει την ατμογεννήτρια και τον συμπυκνωτή (υψηλή πίεση) και το κάτω τον απορροφητή και το στοιχείο ατμοποίησης (χαμηλή πίεση). Παρά την χρήση των όρων χαμηλή και υψηλή πίεση δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι ολόκληρη η μονάδα λειτουργεί υπό κενό και ότι στο επάνω κέλυφος επικρατεί πίεση περίπου 0.1 ata και στο κάτω 0.01 ata. Για τον λόγο αυτό οι μονάδες αυτές είναι ευαίσθητες στην παρουσία αδρανών αερίων, τα οποία ελαττώνουν το αναγκαίο κενό και γι'αυτό εφοδιάζονται πάντα με διάταξη εξαέρωσης.

Για ευχερέστερη σύγκριση και για μονοσήμαντο καθορισμό της ψυκτικής ισχύος αυτών των ψυκτικών διατάξεων έχουν γίνει αποδεκτές ως ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας αυτών (ASHRAE) τα παρακάτω:

- 1) Θερμοκρασία εξόδου νερού από τον ψύκτη 6.7 C (44 F)
- 2) Θερμοκρασιακή διαφορά ψυχομένου νερού 5.5 C (10 F)
- 3) Θερμοκρασία εισόδου νερού στον πύργο ψύξης 29.4 C (85 F). Είναι σημαντικό η θερμοκρασία αυτή να κυμαίνεται μεταξύ 23.9 C και 29.4 C ώστε να αποφεύγονται προβλήματα κρυστάλλωσης του ψυκτικού μέσου.

### **Ψύκτες Απορρόφησης Άμεσου – Εμμέσου Θέρμανσης.**

(Direct – Indirect Fired Absorption Chillers)

#### **1. Άμεσης Θέρμανσης (Gas – Fired Absorption Chillers).**

Οι ψύκτες απορρόφησης άμεσης θέρμανσης που διατίθενται στο εμπόριο έχουν ονομαστικές ισχύεις που ξεκινούν από τα 105 KW (30 RT) και φθάνουν τα 3800 KW (1080 RT).

Έχουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά :

- Χρησιμοποιούν ως κύρια πηγή ενέργειας Φυσικό Αέριο ή LPG:
  - ✓ Μειωμένο κόστος λειτουργίας λόγω της ανταγωνιστικής τιμολογιακής πολιτικής για το Φυσικό Αέριο.
  - ✓ Η χρησιμοποίηση Φυσικού Αερίου αντί ηλεκτρισμού πρακτικά μηδενίζει την απαιτούμενη ηλεκτρική εγκατάσταση για κλιματισμό εφόσον η απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς κυμαίνεται από 1.2 έως 2.3 KW.
- Η λειτουργία τους στηρίζεται στον ψυκτικό κύκλο H<sub>2</sub>O – LiBr με διπλό κέλυφος:
  - ✓ Οι ψύκτες άμεσης θέρμανσης χρειάζονται 1 BTU (1.055 KJ) από το καύσιμο αέριο (ισχύς καυσίμου) για κάθε BTU ψυκτικής ισχύος που παράγουν (COP = 1.0). Με την κατασκευή όμως διπλού κελύφους καθώς και την χρησιμοποίηση πιεστικού καυστήρα επιτυγχάνεται υψηλός συντελεστής συμπεριφοράς (COP ~ 1.5 για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας) και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 40% σε σχέση με μονοβάθμιες εγκαταστάσεις.
  - ✓ Επίσης λόγω του two-stage refrigeration cycle μειώνεται η απορριπτόμενη θερμότητα και επομένως το μέγεθος του Πύργου Ψύξης κατά 20% σε σχέση με τις single-stage μονάδες.
- Έχουν ταυτόχρονη δυνατότητα παραγωγής νερού ψύξης και θερμού νερού (κοντά στους 80C ).
- Έχουν λειτουργικό σχεδιασμό με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η εγκατάσταση και συντήρησή τους.
- Διαθέτουν καυστήρα χαμηλών εκπομπών NO<sub>x</sub> (< 30 ppm).
- Έχουν αντλία διαλύματος LiBr με inverter: Βέλτιστη απόδοση στο μερικό φορτίο.

- Τέλος διαθέτουν ενσωματωμένο χειριστήριο με μικροεπεξεργαστή για τον έλεγχο,προγραμματισμό και την διάγνωση λειτουργίας ή βλαβών.

Ειδικά για τους διβάθμιους ψύκτες απορρόφησης άμεσης θέρμανσης παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες οι τυπικές παράμετροι λειτουργίας τους και τα συνήθη φυσικά τους χαρακτηριστικά.

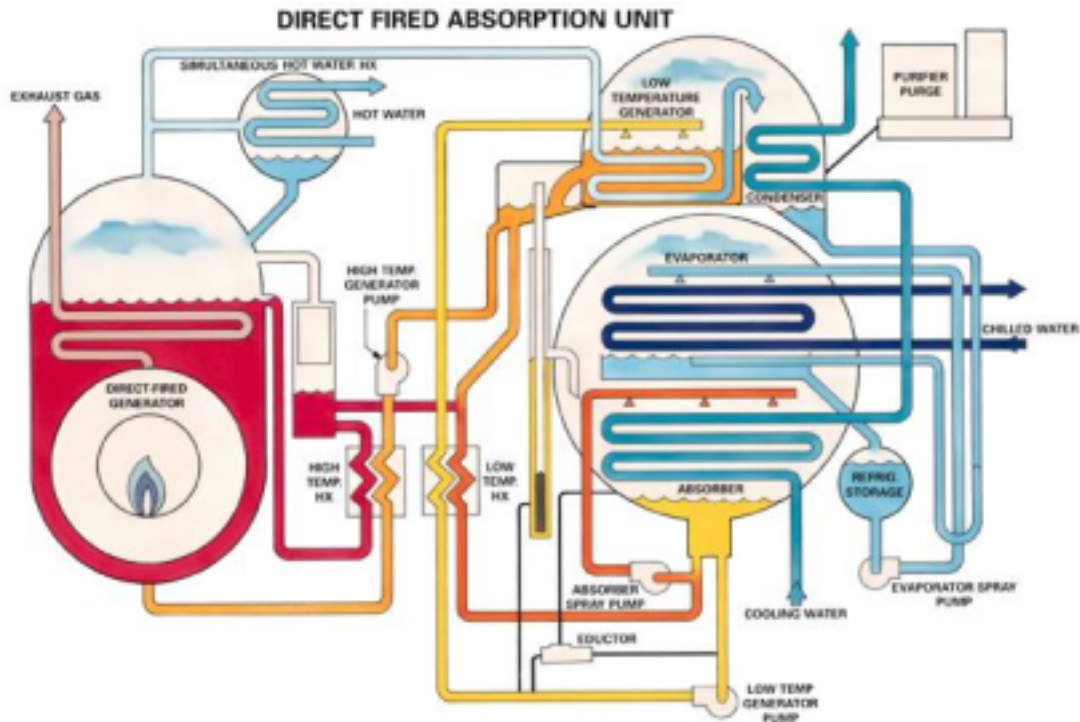
<i>Χαρακτηριστικά Ψύκτη</i>	<i>Τυπική Τιμή</i>	<i>Εύρος Λειτουργίας</i>
<i>Κατανάλωση Καυσίμου (Α.Θ.Α.)</i>	12000 BTU/RT*hr	11400 – 13000 BTU/RT*hr
<i>COP Ψύξης (Α.Θ.Α.)</i>	1.0	-
<i>Θερμ.Εισόδου Νερού Ψύξης</i>	29 C (85 F)	22.2 C (72 F) ελάχιστη
<i>Θερμ.Εξόδου Νερού Ψύξης</i>	35 C (95 F)	41 C (105 F) μέγιστη
<i>Παροχή Νερού Ψύξης</i>	0.08 lps/KW (4.5 gpm/ton)	0.17 – 0.34 lps/KW (2.5-5 gpm/ton)
<i>Θερμ. Εισόδου Ψυχόμενου Νερού</i>	12 C (54 F)	-
<i>Θερμ.Εξόδου Ψυχόμενου Νερού</i>	7 C (44 F)	5.6 – 16 C (42 – 60 C).
<i>Παροχή Ψυχ.Νερού</i>	0.14 lps/KW (2.4 gpm/ton)	-
<i>Ηλεκτρική Κατανάλωση</i>	0.003 – 0.011 KWe/KW	-

Πίνακας 1. Τυπικά Χαρακτηριστικά Λειτουργίας Διβάθμιου Ψύκτη Αμέσου Θέρμανσης

<i>Χαρακτηριστικά Ψύκτη</i>	<i>Μικρότερη Μονάδα</i>	<i>Μεγαλύτερη Μονάδα</i>
<i>Ονομαστική Ισχύ</i>	20 tons (70 KW)	1500 tons (5300 KW)
<i>Διαστάσεις</i>		
<i>Μήκος</i>	1.8 m ( 6 ft)	8.8 m (29 ft)
<i>Πλάτος</i>	1.5 m (5 ft)	5.8 m (19 ft)
<i>Ύψος</i>	1.8 m (6 ft)	4 m ( 13 ft)
<i>Βάρος Εγκατάστασης</i>	1.542 Kgr (3400 lbs)	79380 Kgr (175000 lbs)

Πίνακας 2. Τυπικά Φυσικά Χαρακτηριστικά Διβάθμιου Ψύκτη Αμέσου Θέρμανσης.

Στο σχ.3 απεικονίζεται μια ψυκτική διάταξη H<sub>2</sub>O – LiBr αμέσου θέρμανσης



Σχ.3. Ψυκτική Μονάδα Απορρόφησης Άμεσης Θέρμανσης.

## 2. Έμμεσης Θέρμανσης ( Steam / Hot Water – Fired Absorption Chillers).

Η ονομαστική ισχύς των μονοβάθμιων εγκαταστάσεων κυμαίνεται από 400 KW (110 RT) έως 6000 KW (1705 RT) ενώ των διβάθμιων κυμαίνεται από 1400 KW (400 RT) έως 4300 KW (1220 RT).

Οι ψύκτες αυτού του είδους παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά :

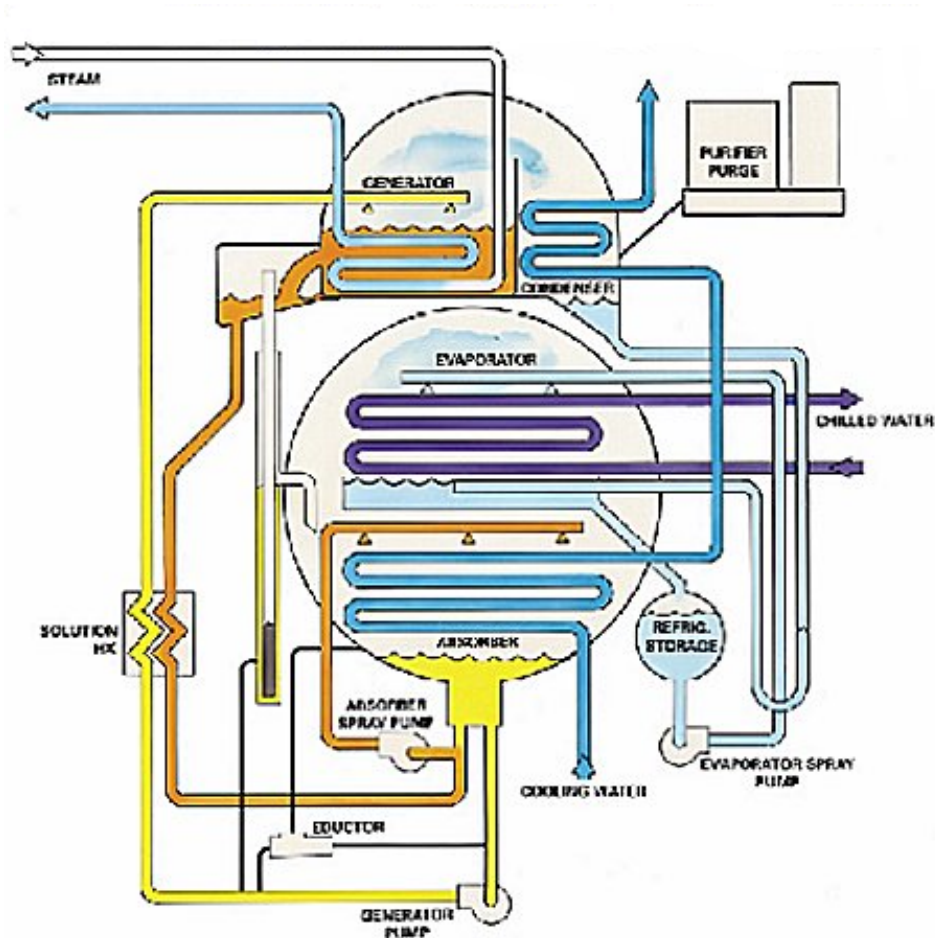
### ❑ Βελτιώμενος Ψυκτικός Κύκλος :

- ✓ Χρησιμοποίηση θερμού νερού θερμοκρασίας 130 C περίπου ή υπέρθερμου ατμού πίεσης κοντά στο 1 bar ως κύριας πηγή ενέργειας.
- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας με χρησιμοποίηση της θερμικής ενέργειας ατμού χαμηλής πίεσης που οδηγείται για απόρριψη για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος.
- ✓ Παραγωγή Ψύξης σε Μονάδες Τρι-Παραγωγής (Trigeneration Plants) ή σε Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου – Μεγιστοποίηση του συνολικού βαθμού απόδοσης.

### ❑ Ελάχιστα κινούμενα μέρη : Ερμητικά κλειστός συμπιεστής που ψύχεται με απεσταγμένο ψυκτικό μέσο (νερό).

- ✓ Αμελητέες μηχανικές απώλειες – Μηδαμινές απαιτήσεις συντήρησης.

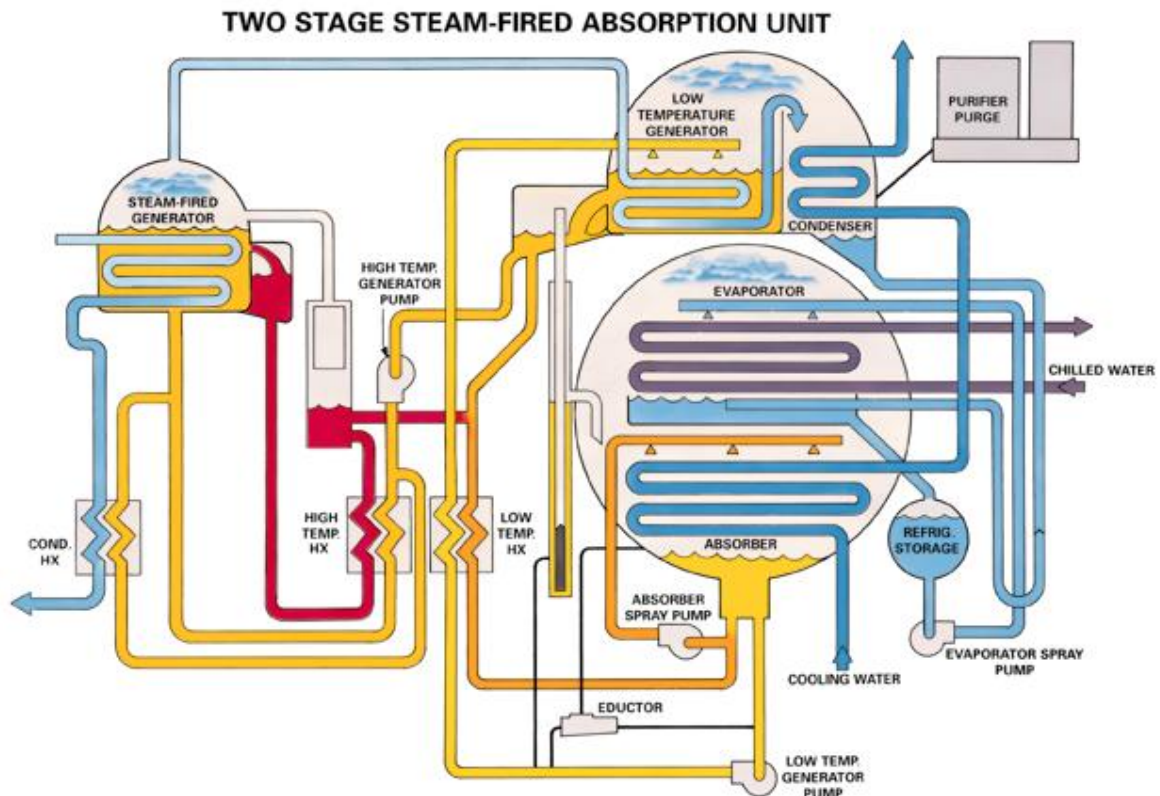
Οι μονοβάθμιοι ψύκτες απορρόφησης λειτουργούν βέλτιστα για πίεση ατμού τροφοδοσίας που κυμαίνεται από 12 έως 15 psig (0.827 – 1.034 bar) και καταναλώνουν περίπου 18 lb/hr ατμό για κάθε ψυκτικό τόνο που παράγουν (2.3 Kgr/hr για κάθε KW ψυκτ.ισχύος).Οι μονοβάθμιοι ψύκτες είναι δυνατό να τροφοδοτηθούν και με ζεστό νερό.Στο σχήμα 4 εικονίζεται μια μονοβάθμια ψυκτική διάταξη έμμεσης θέρμανσης με ατμό.



Σχ.4. Μονοβάθμια Ψυκτική Διάταξη Απορρόφησης H<sub>2</sub>O – LiBr Εμμέσου Θέρμανσης (με Ατμό).

Οι διβάθμιοι ψύκτες συνήθως τροφοδοτούνται με ατμό πίεσης 100 psig (6.9 bar) και καταναλώνουν περίπου 10 lb/h ατμό για κάθε παραγόμενο RT (1.3 Kgr/h ατμό για κάθε KW ψυκτικής ισχύος). Η πίεση του ατμού μπορεί να κυμανθεί από 144 psig (9.94 bar) μέχρι 60 psig (4.14 bar).

Είναι προφανές ότι όσο χαμηλότερη είναι η πίεση του ατμού τροφοδοσίας του ψύκτη τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση της παραγόμενης ψυκτικής ισχύος και του συντελεστή συμπεριφοράς. Στο σχήμα 5 εικονίζεται ένας διβάθμιος ψύκτης που θερμαίνεται με ατμό.



Σχ.5. Διβάθμια Ψυκτική Διάταξη Απορρόφησης H<sub>2</sub>O – LiBr Έμμεσης Θέρμανσης (με Ατμό).

## Σύγκριση Ψυκτών Απορρόφησης & Ηλεκτρικών Ψυκτών.

### a. Πλεονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης.

- Έχουν ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση σε αντίθεση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ψύκτες απορρόφησης να εμφανίζουν σημαντικά ενεργειακά πλεονεκτήματα κυρίως όταν τροφοδοτούνται από απορριπτόμενη θερμότητα.
- Οι ψυκτικές μονάδες απορρόφησης που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες τρι-παραγωγής (παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ισχύος). Έτσι προσφέρουν την δυνατότητα σημαντικής αύξησης του συνολικού βαθμού απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής. Με άλλα λόγια αυτές οι μονάδες συνεισφέρουν τα μέγιστα σε οποιαδήποτε προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας, μειώνοντας παράλληλα το συνολικό κόστος λειτουργίας.
- Οι ψύκτες απορρόφησης είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες. Συγκεκριμένα αφού η αρχή λειτουργίας τους δεν στηρίζεται στην χρήση κανενός είδους συμβατικού ψυκτικού μέσου (CFCs, HCFCs και HFCs), έχουν μηδενική επίδραση στην καταστροφή του όζοντος: ODP = 0 (Ozone Depletion Potential) και μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ειδικά οι ψύκτες που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό έχουν αρκετά μικρότερο

GWP (Global Potential Warming) από τους ψύκτες που καίνε αέριο (gas-fired chillers) και εκπέμπουν CO<sub>2</sub>, αν και η καύση αερίου και ειδικά φυσικού αερίου θεωρείται φιλική προς το περιβάλλον αφού δεν παράγονται SO<sub>2</sub>, SO, αιθάλη και στερεά σωματίδια, ρύποι ιδιαίτερα ζημιογόνοι για τον ανθρώπινο παράγοντα.

- Οι ψύκτες άμεσης θέρμανσης έχουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης διαφόρων καυσίμων μέσω (Diesel θέρμανσης, φυσικό αέριο, LPG, βιοαέριο κ.α.). Το γεγονός αυτό καθιστά ιδανική την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει επαρκής ηλεκτρική ισχύς για τους παραδοσιακούς ηλεκτρικούς ψύκτες. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια με ήδη επιβαρυνόμενη εγκατεστημένη ηλεκτρική εγκατάσταση από άλλες ενεργοβόρες διεργασίες. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι, πολλοί από τους καυστήρες που συνοδεύουν τις μηχανές απορρόφησης είναι "διπλού καυσίμου" (dual fuel) και μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε με φυσικό αέριο είτε με πετρέλαιο. Αυτή η ευελιξία είναι ιδιαίτερα ελκυστική σε εφαρμογές όπου το πετρέλαιο είναι εύκολα διαθέσιμο π.χ. απομακρυσμένες περιοχές.
- Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις απορρόφησης έχουν ελάχιστα κινούμενα μέρη (αντλίες ανακυκλοφορίας ψυκτικού μέσου/απορροφητή). Για παράδειγμα ένας ψύκτης απορρόφησης 500 RT έχει 3 αντλίες που καταναλώνουν περίπου 5 hp (3.7 KW) ανά ώρα. Επόμενος έχουν μεγάλο μηχανικό βαθμό απόδοσης, μικρές απαιτήσεις εποπτείας και συντήρησης και υψηλή αξιοπιστία.
- Τέλος παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών. Ένα absorption chiller ακούγεται όπως ένας ιδίου μεγέθους λέβητας με θορύβους σπηλαίωσης. Οπότε λόγω ανυπαρξίας ταλαντώσεων και θορύβου δεν απαιτείται απομόνωση των κραδασμών και ηχομόνωση του χώρου εγκατάστασης της ψυκτικής μηχανής.

#### **b. Μειονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης.**

- Έχουν χαμηλό συντελεστή συμπεριφοράς (COP) σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες:
  - K Ψύκτης Απορρόφησης COP = 0.73 – 1.23.
  - K Συμβατικός Ψύκτης COP = 2.37.
- Οι ψύκτες απορρόφησης αποβάλλουν μεγαλύτερο ποσό θερμότητας προς το περιβάλλον από ότι οι συμβατικές μονάδες ψύξης. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής :

- Η θερμική ισχύς που παρέχεται μέσω του ατμού στην ατμογεννήτρια του ψύκτη απορρόφησης είναι :  $Q_{\text{ατμού}} = Q_{\psi} / \text{COP}$  όπου  $Q_{\psi}$  είναι η παραγόμενη ψυκτική ισχύς και COP είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς της ψυκτικής μονάδας.
- Η θερμότητα συμπύκνωσης που απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω του πύργου ψύξης είναι :  $Q_{\Sigma} = Q_{\text{ατμού}} + Q_{\psi}$ . Οπότε αντικαθιστώντας στην 2<sup>η</sup> σχέση το  $Q_{\text{ατμού}}$  από την 1<sup>η</sup> σχέση προκύπτει ότι :

$$Q_{\Sigma} = Q_{\psi} * [1 + (1 / \text{COP})]$$

- Άρα για τις ανωτέρω τιμές του COP στους ψύκτες απορρόφησης, το απορριπτόμενο ποσό θερμότητας είναι από 1.8 έως 2.5 φορές μεγαλύτερο από την παραγόμενη ψυκτική ισχύ. Αντίθετα στους συμβατικούς ψύκτες το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στο περιβάλλον είναι 30 – 40 % μεγαλύτερο από την ψυκτική ισχύ.Επομένως απαιτείται η εγκατάσταση μεγαλύτερων πύργων ψύξης στις εγκαταστάσεις με απορρόφηση.
- Έχουν σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με τις κλασσικές ψυκτικές διατάξεις.Ένας ψύκτης απορρόφησης καταλαμβάνει 50 % μεγαλύτερη επιφάνεια από ότι ένας ηλεκτρικός ψύκτης ίδιας ισχύος, με αποτέλεσμα την κάλυψη μεγάλου μέρους του μηχανοστασίου.
- Τέλος έχουν μεγαλύτερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης ανα KW σε σχέση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης.