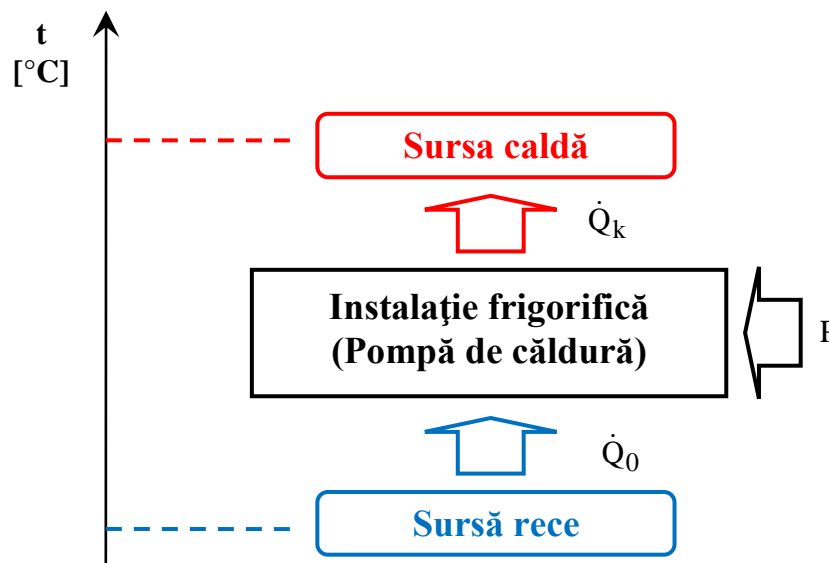


PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE A INSTALAȚIILOR FRIGORIFICE

Instalațiile frigorifice și pompele de căldură, sunt mașini termice care au rolul de a prelua căldură de la un mediu având temperatura mai scăzută și de a o ceda unui mediu având temperatura mai ridicată, așa cum se observă și pe schema energetică din figura alăturată. Acesta poate să fie considerat cel mai simplu model de instalație frigorifică, deoarece nu conține nici un element de natură constructivă. Din acest punct de vedere, poate să fie asimilat cu o "cutie neagră", a cărei funcționare va fi analizată în continuare și care urmează să fie "deschisă" pentru a i se studia componența și a i se releva secretele de proiectare, exploatare și automatizare.



Schema energetică a instalațiilor frigorifice și a pompelor de căldură

Mediul cu temperatura mai scăzută, de la care se preia căldură este denumit *sursă rece*, iar mediul cu temperatura mai ridicată, căruia i se cedează căldură, este denumit *sursă caldă*. Deoarece au capacitate termică infinită, *temperaturile surselor de căldură rămân constante* chiar dacă acestea schimbă căldură.

Fluxul de căldură absorbită de la sursa rece a fost notat cu \dot{Q}_0 , iar fluxul de căldură cedată sursei calde, a fost notat cu \dot{Q}_k .

Conform principiului doi al termodinamicii, pentru transportul căldurii, în condițiile prezentate, este necesar un consum de energie, notat cu P .

În cazul instalațiilor frigorifice, sursa rece se găsește sub temperatura mediului ambiant, iar procesul de coborâre a temperaturii sub această valoare, este denumit *răcire artificială*.

Agentul de lucru, care evoluează în aceste instalații, este denumit agent frigorific.

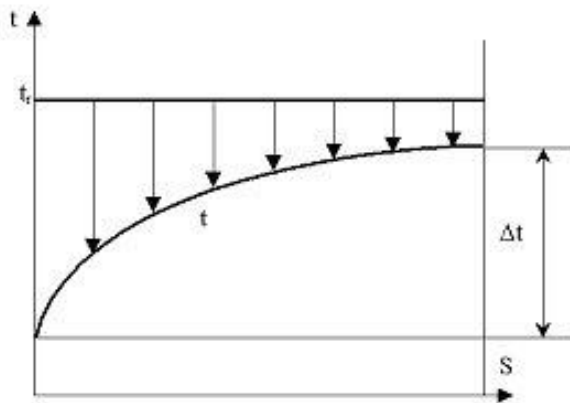
Pentru a putea să preia căldură de la sursa rece, agentul frigorific trebuie să aibă temperatura mai mică decât aceasta.

În timpul preluării de căldură de la sursa rece, agentul frigorific se poate comporta în două moduri diferite:

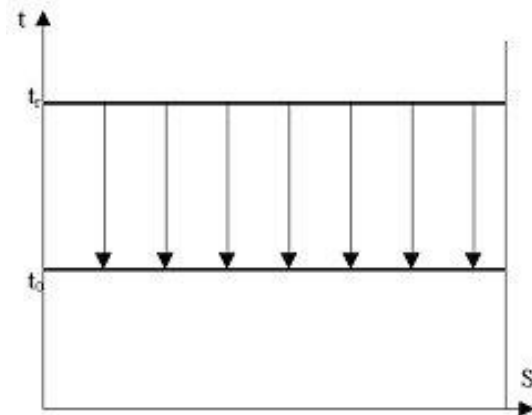
- se poate încălzi mărimu-și temperatura;
- poate să-și mențină temperatura constantă.

Cele două posibile variații de temperatură (t) a agentului de lucru, de-a lungul suprafețelor de schimb de căldură (S), sunt prezentate în figurile alăturate. Cu t_r a fost notată temperatura sursei reci, iar săgețile reprezintă sensul transferului termic (de la sursa rece la agentul frigorific).

Este evident că menținerea constantă a temperaturii agentului frigorific în timpul preluării de căldură, este posibilă numai în condițiile în care se produce transformarea stării de agregare și anume *vaporizarea*.



Încălzirea agentului de lucru în timpul preluării de căldură



Absorbția de căldură de la sursa rece, cu menținerea constantă a temperaturii

Relațiile pentru calculul căldurii absorbite (Q_0) în cele două situații sunt:

$$Q_0 = m_1 \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{kJ}],$$

pentru cazul fără schimbarea stării de agregare, unde m_1 [kg] este cantitatea de agent de lucru care se încălzește, c_p [kJ·kg⁻¹·K] este căldura specifică, iar Δt [K] este variația temperaturii agentului frigorific între stările de ieșire și intrare, în contact termic cu sursa rece, respectiv:

$$Q_0 = m_2 \cdot r \quad [\text{kJ}],$$

pentru cazul cu schimbarea stării de agregare, unde m_2 [kg] este cantitatea de agent de lucru care vaporizează, iar r [kJ·kg⁻¹] este căldura latentă de vaporizare a agentului frigorific, la temperatura de vaporizare t_0 .

Pentru a se realiza un transfer termic eficient, Δt este limitată la cel mult câteva grade. Schimbul de căldură la diferențe finite de temperatură este însoțit de ireversibilități de natură internă și cu cât diferențele de temperatură sunt mai mari, cu atât transferul termic este mai puțin eficient. Din această perspectivă *este preferabilă varianta cu schimbarea stării de agregare*, căreia îi corespunde o temperatură constantă a agentului frigorific și o diferență de temperatură constantă, care poate să fie micșorată prin soluții tehnologice. În varianta fără schimbarea stării de agregare, pentru a absorbi mai multă căldură, este nevoie de o încălzire mai pronunțată a agentului frigorific, însoțită și de creșterea diferenței medii de temperatură, față de sursa rece, deci de un caracter ireversibil mai accentuat. În aceste condiții, pentru orice substanță $r \gg c_p \Delta t$. Comparând relațiile anterioare apare evident că pentru a absorbi aceeași căldură Q_0 , fără schimbarea stării de agregare, este necesară o cantitate mult mai mare de agent frigorific, decât în cazul cu schimbarea stării de agregare, deci $m_1 \gg m_2$. Acesta este al doilea motiv pentru care *este preferabilă varianta cu schimbarea stării de agregare*.

Dacă se consideră cazul funcționării continue a acestor tipuri de instalații, mărimea caracteristică pentru intensitatea transferului termic nu mai este căldura, ci *fluxul termic* absorbit de agentul frigorific de la sursa rece, sau sarcina termică a vaporizatorului, mărime notată cu \dot{Q}_0 . Această mărime este denumită și *putere termică*, iar în cazul instalațiilor frigorifice *putere frigorifică*. Pentru a rescrie relațiile anterioare, folosind această mărime, cantitățile de agent frigorific, m_1 și m_2 , trebuie să fie înlocuite cu *debitele masice*, notate cu \dot{m}_1 respectiv \dot{m}_2 . Dacă se împart cele două relații la timp, se obține:

$$\dot{Q}_0 = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{kW}],$$

$$\dot{Q}_0 = \dot{m}_2 \cdot r \quad [\text{kW}].$$

În această situație, transferul termic dintre sursa rece și agentul frigorific, în condițiile vaporizării celui din urmă, este caracterizat prin debite masice mult mai reduse decât în absența schimbării stării de agregare.

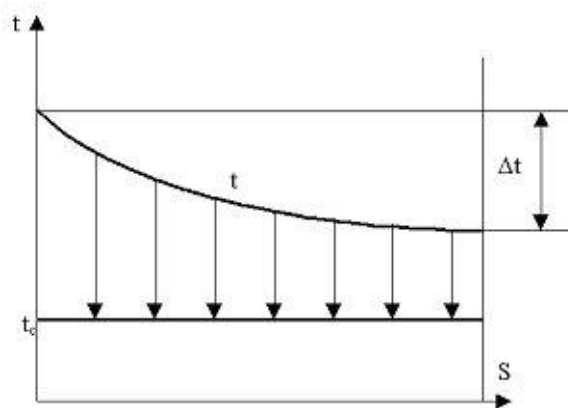
Pentru a putea să cedeze căldură sursei calde, agentul frigorific trebuie să aibă temperatura mai mare decât aceasta.

În timpul cedării de căldură către sursa caldă, agentul frigorific se poate comporta, ca și în cazul interacțiunii termice cu sursa rece, în aceleași două moduri diferite:

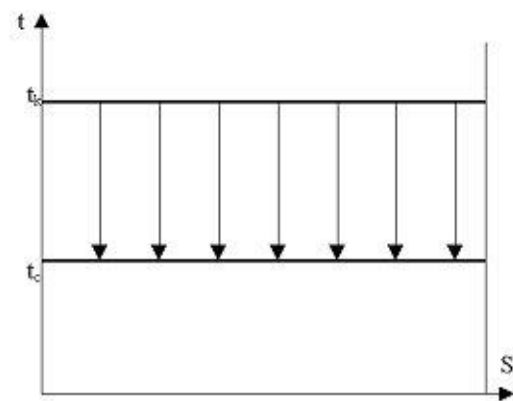
- se poate răci micșorându-și temperatura;
- poate să-și mențină temperatura constantă.

Cele două posibile variații de temperatură (t) a agentului de lucru, de-a lungul suprafețelor de schimb de căldură (S), sunt prezentate în figurile alăturate. Cu t_c a fost notată temperatura sursei calde, iar săgețile reprezintă sensul transferului termic (de la agentul frigorific spre sursa rece).

Este evident că menținerea constantă a temperaturii agentului frigorific în timpul cedării de căldură, este posibilă numai în condițiile în care se produce transformarea stării de agregare și anume ***condensarea***.



Răcirea agentului de lucru în timpul cedării de căldură



Cedarea de căldură spre sursa caldă, cu menținerea constantă a temperaturii

Relațiile pentru calculul căldurii cedate (Q_k) în cele două situații sunt:

$$Q_k = m_1 \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{kJ}],$$

pentru cazul fără schimbarea stării de agregare, unde m_1 [kg] este cantitatea de agent de lucru care se răcește, c_p [kJ·kg⁻¹K] este căldura specifică, iar Δt [K] este variația temperaturii agentului frigorific între stările de intrare și ieșire, în contact termic cu sursa caldă, respectiv:

$$Q_k = m_2 \cdot r \quad [\text{kJ}],$$

pentru cazul cu schimbarea stării de agregare, unde m_2 [kg] este cantitatea de agent de lucru care condensează, iar r [kJ·kg⁻¹] este căldura latentă de condensare a agentului frigorific la temperatura de condensare t_k , egală cu căldura latentă de vaporizare la aceeași temperatură.

Din aceleași considerente, menționate la schimbul de căldură cu sursa rece, pentru a avea un transfer termic eficient cu sursa caldă, Δt este limitată tot la cel mult câteva grade.

Din nou **este preferabilă varianta cu schimbarea stării de agregare**. Același raționament aplicat în situația preluării de căldură de la sursa rece, evidențiază și pentru cazul contactului termic cu sursa caldă, că este necesară o cantitate mai mică de agent frigorific în varianta cu schimbarea stării de agregare, motiv pentru care iarăși **este preferabilă varianta cu schimbarea stării de agregare**.

Pentru cazul funcționării continue a acestor tipuri de instalații, utilizând *fluxul termic* cedat de agentul frigorific sursei calde, sarcina termică, sau puterea termică a condensatorului, mărime notată cu \dot{Q}_k și *debitele masice*, notate tot cu \dot{m}_1 respectiv \dot{m}_2 , împărțind relațiile anterioare la timp, se obține:

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{kW}],$$

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_2 \cdot r \quad [\text{kW}].$$

Din nou transferul termic dintre sursa de căldură și agentul frigorific, în condițiile schimbării stării de agregare, este caracterizat prin debite masice mult mai reduse decât în absența acestora.

Acest aspect are implicații importante asupra întregii instalații. Debite mai reduse înseamnă consumuri de energie mai reduse pentru vehicularea agentului de lucru, diametre mai reduse pentru conducte, respectiv elemente geometrice mai reduse din punct de vedere dimensional, pentru schimbătoarele de căldură.

Din motivele prezentate anterior, în majoritatea covârșitoare a instalațiilor frigorifice și a pompelor de căldură, **este preferat transferul termic între agentul de lucru și sursele de căldură, prin schimbarea stării de agregare**.

Cele două aparate ale instalației frigorifice, sau pompei de căldură, aflate în contact cu sursele de căldură, sunt unele dintre cele mai importante părți ale acestor instalații și se numesc, vaporizator (notat cu V) și condensator (notat cu K).

Efectul util al instalațiilor frigorifice, sau *frigul artificial*, se realizează în vaporizator, prin preluare de căldură de la sursa rece.

Efectul util al pompelor de căldură, se realizează în condensator, prin cedare de căldură sursei calde.

Conform principiului doi al termodinamicii, căldura nu poate să treacă de la sine, de la o temperatură mai scăzută (sursa rece) la una mai înaltă (sursa caldă), fără un consum de energie (mecanică sau de altă natură) din exterior.

Energia consumată din exterior, pentru funcționarea instalației, este o putere mecanică sau termică, a fost notată cu P și se măsoară în [kW].

Dacă se efectuează un bilanț energetic pentru instalațiile frigorifice, sau pompele de căldură, respectiv dacă se aplică principiul întâi al termodinamicii, se observă că suma dintre energiile introduse în sistem, adică sarcina termică a vaporizatorului \dot{Q}_0 și puterea P, este

egală cu energia evacuată din sistem și anume sarcina termică a condensatorului \dot{Q}_k . Matematic acest lucru se poate scrie sub forma:

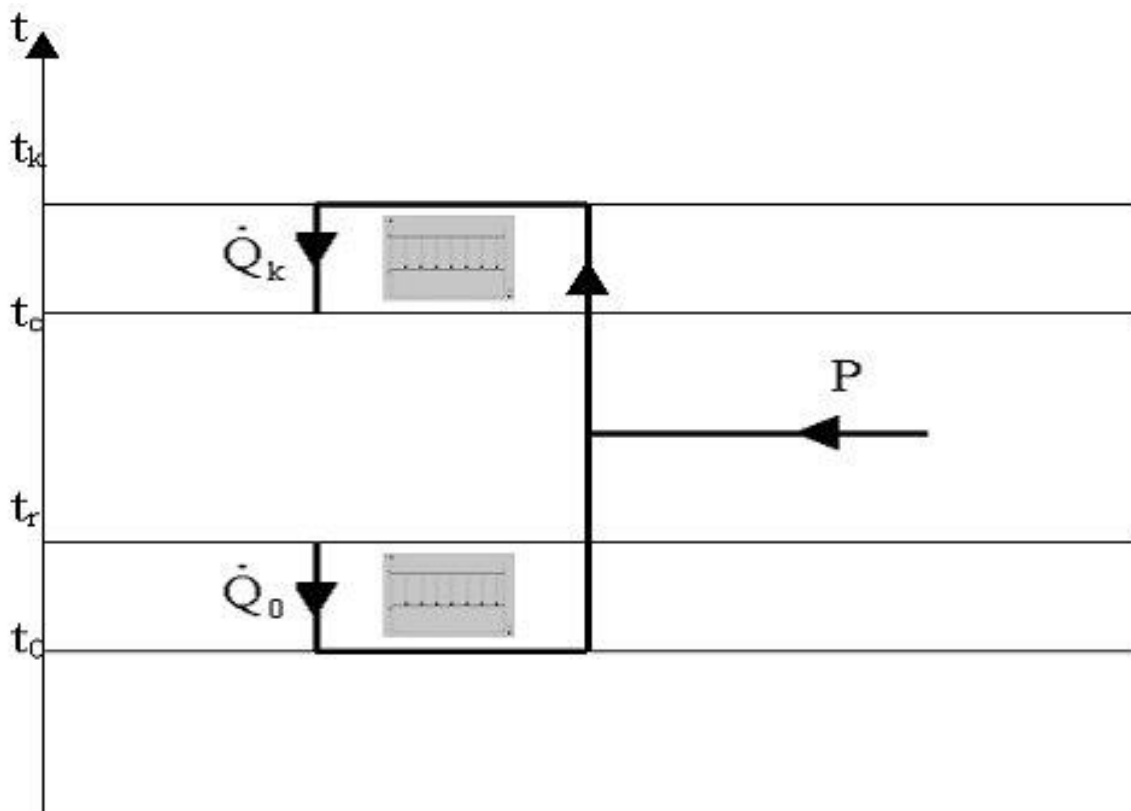
$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_0 + P \quad [\text{kW}].$$

Temperaturii t_0 la care vaporizează agentul frigorific, denumită **temperatură de vaporizare**, îi corespunde o presiune de saturație unică, notată p_0 și denumită **presiune de vaporizare**.

Analog, temperaturii la care condensează agentul frigorific, denumită **temperatură de condensare**, îi corespunde o presiune de saturație unică, notată p_k și denumită **presiune de condensare**.

Deoarece *agentul frigorific are în orice punct al vaporizatorului temperatura mai mică decât temperatura sursei reci*, atunci $t_0 < t_r$. Analog, deoarece *agentul frigorific are în orice punct al condensatorului temperatura mai mare decât temperatura sursei calde*, atunci $t_k > t_c$. Pentru că temperaturile surselor de căldură sunt în relația evidentă $t_c > t_r$, rezultă clar că *temperatura de condensare este mai mare decât temperatura de vaporizare* ($t_k > t_0$), deci este evident că și $p_k > p_0$. Valorile presiunilor de vaporizare și condensare vor fi asigurate de alte două aparate care trebuie să intre în componența acestor instalații.

Ținând seama de nivelul de temperatură la care se schimbă energie între agentul frigorific și sursele de căldură, se poate reprezenta, ca în figura alăturată, o schemă a fluxurilor energetice din instalațiile frigorifice și pompele de căldură.



Schema fluxurilor energetice din instalațiile frigorifice și pompele de căldură

Ca o aplicație a celor prezentate anterior, se poate arăta că *vaporizarea se realizează în scopul preluării de căldură* de către agentul de lucru aflat inițial în stare lichidă și la sfârșit în stare de vapori, iar *condensarea se realizează în scopul evacuării de căldură* de către agentul de lucru aflat inițial în stare de vapori și la sfârșit în stare lichidă.

Părțile componente ale instalațiilor frigorifice

S-a arătat anterior că *presiunea de condensare are o valoare mai ridicată decât cea de vaporizare* ($p_k > p_0$), deci în instalațiile de acest tip, ***se consumă energie pentru creșterea presiunii vaporilor*** furnizați de *vaporizator*, unde s-au format preluând căldură de la sursa rece, până la presiunea din *condensator*, unde vor ceda căldură sursei calde.

Acest proces se poate realiza într-o mașină denumită ***compresor***, având tocmai rolul de a comprima vaporii sau gaze, bineînțeles cu ajutorul unui consum de energie mecanică. ***Există și alte soluții tehnice pentru realizarea comprimării vaporilor în instalații frigorifice sau pompe de căldură, utilizând însă energie termică în locul celei mecanice.***

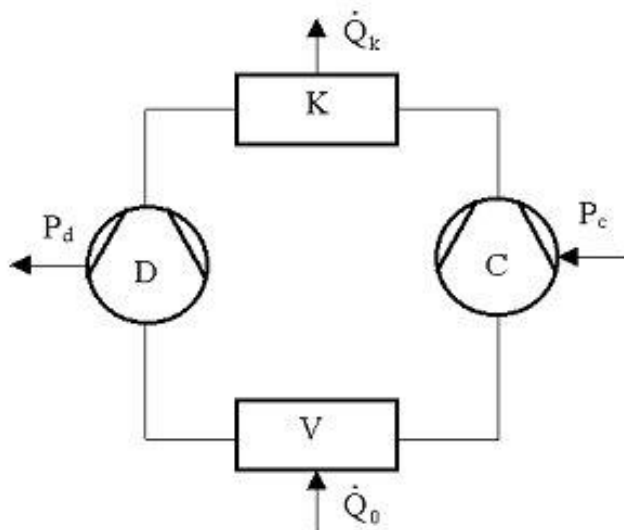
Dacă vaporizatorul și condensatorul sunt schimbătoare de căldură și prezintă o suprafață de transfer termic pentru asigurarea interfeței dintre agentul frigorific și sursele de căldură, compresorul este o mașină mai complexă din punct de vedere constructiv, cu piston în interiorul unui cilindru, cu șurub, cu lamele culisante într-un rotor montat excentric față de stator, sau având alte construcții. În toate aceste situații, ***comprimarea se realizează prin reducerea volumului agentului de lucru antrenat.*** Există și turbocompressoare, acestea având funcționarea bazată pe legile gazodinamicii, transformând energia cinetică în energie potențială de presiune. Puterea necesară din exterior, pentru desfășurarea procesului, numită ***putere de comprimare***, se notează cu P_c [kW].

După comprimare, vaporii de agent frigorific cedează căldură în condensator, sursei calde și așa cum s-a arătat, condensează la valoarea p_k a presiunii, deci la sfârșitul procesului, agentul frigorific părăsește aparatul schimbător de căldură în stare lichidă. Condensul, pentru a reveni în vaporizator trebuie să-și micșoreze presiunea până la valoarea p_0 .

Din punct de vedere energetic, destinderea se realizează cel mai eficient, într-o mașină numită ***detentor***. Aceasta are avantajul că *produce energie mecanică*, respectiv putere, capabilă să compenseze o parte din consumul necesar pentru antrenarea compresorului. Din punct de vedere constructiv, detentorul este fie o mașină cu piston într-un cilindru, fie una de tip rotativ, cu circulația radială sau axială a agentului frigorific. Indiferent de construcție, agentul de lucru cedează pistonului sau rotorului o parte din energia sa potențială de presiune și astfel se destinde până la presiunea de vaporizare. Puterea furnizată în timpul destinderii, numită ***putere de destindere***, se notează cu P_d [kW].

Agentul frigorific la presiunea p_0 , în stare lichidă, intră în vaporizator, unde absoarbe căldură de la sursa rece, vaporizează și apoi pătrunde în compresor, iar în continuare funcționarea instalației se realizează prin parcurgerea continuă a celor patru aparate. Procesele de lucru care se desfășoară în acestea, respectiv vaporizare, comprimare, condensare și destindere, alcătuiesc împreună ***ciclul termodinamic inversat ideal***, după care funcționează instalațiile frigorifice și pompele de căldură.

În consecință, **instalațiile frigorifice și pompele de căldură, au în componență cel puțin patru elemente componente:** vaporizator (V), compresor (C), condensator (K) și detentor (D), iar cea mai simplă schemă constructivă a instalațiilor de acest tip poate să fie reprezentată ca în figura alăturată.



Schema constructivă și funcțională a instalațiilor frigorifice și pompelor de căldură

De cele mai multe ori, sursa rece, sau mediul răcit de vaporizator, este reprezentată de aerul din jurul acestui schimbător de căldură, de apă, sau de alte lichide, denumite generic **agenți intermediari**. Practic agentul frigorific vaporizează absorbind căldură de la aceste substanțe.

Pentru condensator, sursa caldă, sau mediul încălzit, este reprezentată de aerul din mediul ambiant, de apă, sau simultan de apă și aer. Acestea, prin suprafața de schimb de căldură, preiau de la agentul frigorific toată căldura latentă de condensare. În practică, de multe ori se spune că apa sau aerul, sunt agenții de răcire ai condensatoarelor.

Atât pentru vaporizator cât și pentru condensator, există numeroase tipuri și variante constructive.

Energia, sau puterea (P) necesară din exterior pentru funcționarea acestor instalații, este reprezentată de diferența dintre puterea de comprimare (P_c) și puterea de destindere (P_d), deci:

$$P = P_c - P_d \quad [\text{kW}].$$

Ținând seama de relația anterioară ecuația de bilanț energetic rămâne valabilă.

Din punct de vedere al analizelor energetice, pentru a elimina dependența de cantitatea de substanță, respectiv de debitul masic al agentului de lucru din instalație, vor fi considerate schimburile energetice specifice, adică raportate la un kilogram de substanță. Acestea sunt:

- puterea frigorifică specifică:

$$q_0 = \dot{Q}_0 / \dot{m} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}];$$

- lucrul mecanic specific de comprimare:

$$l_c = P_c / \dot{m} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}];$$

- sarcina termică specifică a condensatorului:

$$q_k = \dot{Q}_k / \dot{m} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}];$$

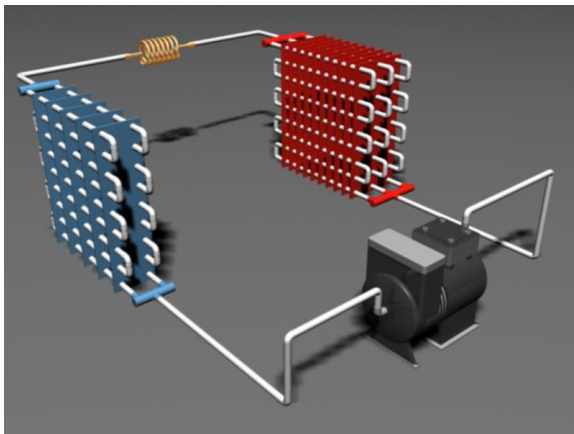
- lucrul mecanic specific de destindere:

$$l_d = P_d / \dot{m} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}].$$

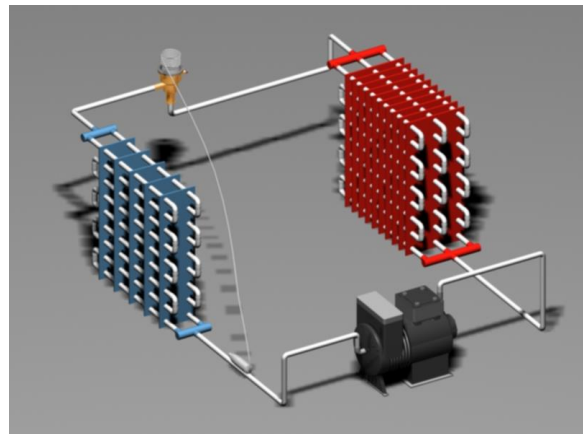
*Detentorul din instalațiile frigorifice ar fi o mașină foarte complexă și în consecință foarte scumpă, indiferent de construcția acestuia. Complexitatea constructivă a detentorului, nu este justificată de producerea unui efect util pe măsură, deoarece destinderea agentului frigorific, se produce în domeniul în care agentul frigorific se găsește preponderent în fază lichidă, (în detentor intră lichidul furnizat de condensator) și este cunoscut că prin destinderea lichidului, se produce un lucru mecanic, respectiv o putere de destindere mult mai redusă decât în cazul destinderii vaporilor. Cu toate că din punct de vedere termodinamic și energetic, cea mai eficientă soluție pentru realizarea destinderii, este reprezentată de utilizarea detentorului, din punct de vedere tehnologic și economic, acesta nu este rentabil. Practic, în construcția instalațiilor frigorifice, detentorul este înlocuit de un dispozitiv mult mai simplu din punct de vedere constructiv, în care **destinderea este realizată prin laminare**. Acest dispozitiv este fie un *tub capilar*, în sistemele de putere frigorifică redusă, fie un *ventil de laminare*, în sistemele și instalațiile de putere frigorifică medie sau mare.*

Instalațiile frigorifice având în componență aceste dispozitive de destindere, sunt ceva mai puțin eficiente decât cele prezentate în figura 8, deoarece nu mai produc lucru mecanic, respectiv putere de destindere, dar sunt mult mai rentabile din punct de vedere tehnico-economic, reprezentând practic singurele soluții tehnice utilizate în prezent, în construcția instalațiilor frigorifice cu comprimare mecanică de vapori, de tipul celor prezentate anterior.

În figura alăturată, în stânga este prezentată o schemă constructivă a unei instalații de putere frigorifică redusă în care laminarea este realizată prin tub capilar, iar în dreapta, schema unei instalații de putere frigorifică medie, în care laminarea este realizată într-un ventil de laminare termostatic.



Instalație frigorifică cu tub capilar

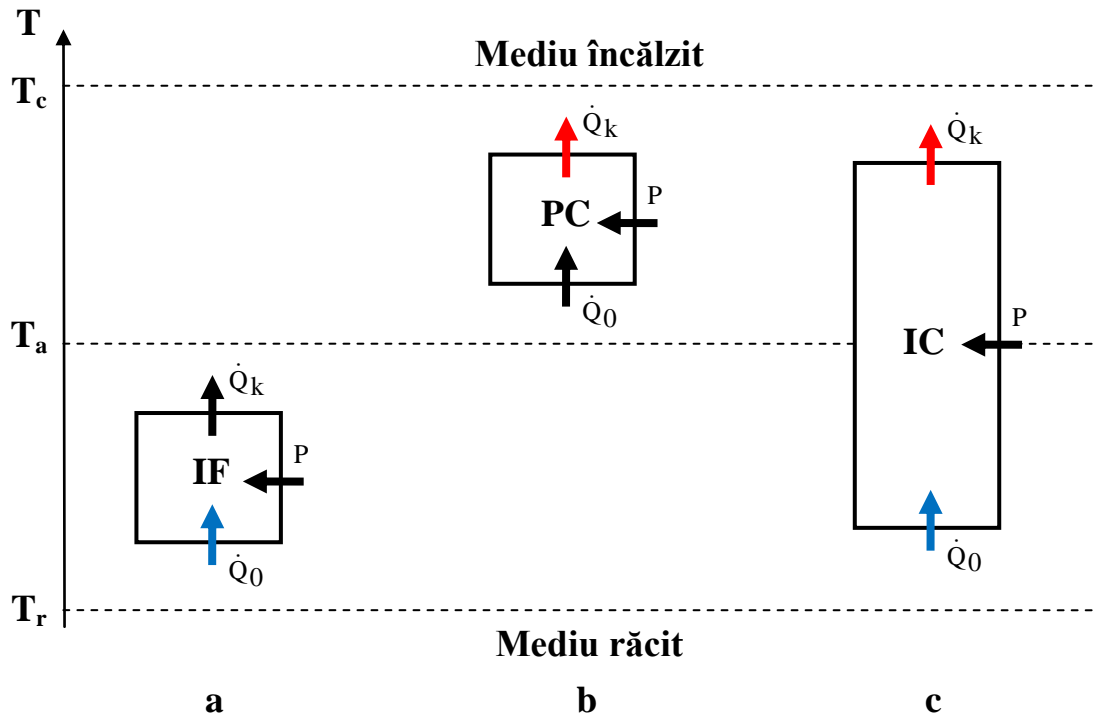


Instalație frigorifică cu ventil de laminare termostatic

Bulbul care poate fi observat pe conducta de aspirație, are rolul de a controla procesul de laminare, în vederea eliminării pericolului ca eventuale picături de lichid nevaporizat să ajungă în compresor. Laminarea este controlată prin valoarea temperaturii vaporilor la ieșirea din vaporizator, de unde provine și denumirea acestui aparat: ventil de laminare termostatic.

Comparație între instalațiile frigorifice și pompele de căldură

Din punct de vedere principal, ciclul termodinamic inversat, după care funcționează cele două tipuri de instalații, este identic. *Ceea ce diferă, este numai nivelul de temperatură la care se găsesc sursele de căldură*, față de temperatura mediului ambiant, notată cu t_a [$^{\circ}\text{C}$], respectiv T_a [K].



Scheme de instalații funcționând după cicluri termodinamice inversate
a) Instalație frigorifică (IF); b) Pompă de căldură (PC); c) Instalație combinată (IC)

Pentru a simplifica analiza comparativă a ciclurilor acestor instalații, se consideră că între sursele de căldură și agentul frigorific, *schimbul de căldură se desfășoară în condiții ideale*, adică la *diferențe infinite mici de temperatură*. Acest tip de transfer termic presupune *suprafețe infinite de mari* pentru transmiterea căldurii și o *durată infinite de mare*, ceea ce nu se poate întâlni în realitate. Din punct de vedere teoretic, aceste ipoteze au însă avantajul că simplifică mult analiza ciclurilor termodinamice. În aceste condiții temperatura sursei reci poate să fie considerată egală cu temperatura de vaporizare a agentului frigorific, iar temperatura sursei calde poate să fie considerată egală cu temperatura de condensare.

În figura anterioară, sunt prezentate trei scheme de instalații funcționând după cicluri termodinamice inversate:

- **Instalațiile frigorifice**, au temperatura sursei reci t_r [$^{\circ}\text{C}$] sau T_r [K], egală cu temperatura de vaporizare t_0 [$^{\circ}\text{C}$] sau T_0 [K], mai mică decât temperatura mediului ambiant t_a [$^{\circ}\text{C}$] sau T_a [K]. În această situație particulară, sursa rece mai este denumită și *mediu răcit*. Rolul acestor instalații este de a prelua căldură de la mediul răcit, în scopul răcirii sau menținerii unei temperaturi scăzute a acestuia. Căldura absorbită Q_0 , sau puterea frigorifică absorbită \dot{Q}_0 , reprezintă efectul util al acestor instalații. Sursa caldă, în cazul instalațiilor frigorifice este reprezentată de mediul ambiant.

- **Instalațiile de pompă de căldură**, au temperatura sursei calde $t_c[^\circ\text{C}]$ sau $T_c[\text{K}]$, egală cu temperatura de condensare $t_k[^\circ\text{C}]$ sau $T_k[\text{K}]$, mai mare decât temperatura mediului ambiant $t_a[^\circ\text{C}]$ sau $T_a[\text{K}]$. În această situație particulară, sursa caldă mai este denumită și *mediu încălzit*. Rolul acestor instalații este de a ceda căldură mediului încălzit, în scopul încălzirii sau menținerii unei temperaturi ridicate a acestuia. Căldura cedată Q_k , numită uneori și căldură pompată, sau sarcina termică a condensatorului \dot{Q}_k , reprezintă efectul util al acestor instalații. Sursa rece, în cazul pompelor de căldură este reprezentată de mediul ambiant.
- **Instalațiile combinate**, au temperatura sursei reci, egală cu temperatura de vaporizare, mai mică decât temperatura mediului ambiant, iar temperatura sursei calde, egală cu temperatura de condensare, mai mare decât temperatura mediului ambiant. Rolul acestor instalații este de a absorbi căldură de la mediul răcit și simultan de a ceda căldură mediului încălzit. Aceste echipamente au un dublu efect util, reprezentat evident de sarcinile termice ale vaporizatorului \dot{Q}_0 și condensatorului \dot{Q}_k .

Din punct de vedere energetic, parametrul de performanță al acestor instalații este coeficientul de performanță, această denumire provenind din literatura de specialitate de limbă engleză (*Coefficient Of Performance*) de unde provine și notația COP.

COP poate fi calculat pentru fiecare din instalațiile prezentate:

- Pentru instalațiile frigorifice:
$$\text{COP}_{\text{IF}} = \frac{\dot{Q}_0}{P}$$
- Pentru pompele de căldură:
$$\text{COP}_{\text{PC}} = \frac{\dot{Q}_k}{P}$$
- Pentru instalațiile combinate:
$$\text{COP}_{\text{IC}} = \frac{\dot{Q}_0 + \dot{Q}_k}{P}$$