

## RASHLADNI UREĐAJI I TOPLOTNE PUMPE

### 9.1 MAŠINE ZA HLAĐENJE

Zadatak mašina za hlađenje jeste da ohlade izvesna tela ili predmete do temperature niže od temperature okoline i da ih na toj temperaturi održavaju.

Hlađenjem se naziva proces pri kome se od nekog tela (*hlađeni objekat*) odvodi toplota i predaje nekom drugom telu (*toplotni ponor*). Ako se pri tome hlađenom objektu ne dovodi tehnički rad, njegova entalpija će opadati, a kada nema ni promene faze<sup>3</sup> opadaće i njegova temperatura.

Toplota odvedena od hlađenog tela naziva se *toplotom hlađenja* (J ili kJ), a odvedena toplota hlađenja u jedinici vremena naziva se *rashladnim učinkom* (W ili kW).

Pošto se trajno hlađenje može obezbediti jedino ponorom beskonačnog toplotnog kapaciteta, najpre će biti razmotren slučaj kada je *okolina* toplotni ponor. Ako je temperatura  $\theta_h$  hlađenog objekta viša od temperature  $\theta_{ok}$  okoline proces se može odvijati spontano (sam od

sebe), tj. bez utroška rada i bez ikakvih promena na telima van sistema hlađeni objekat - okolina (toplotni ponor). Takvo hlađenje naziva se *prirodnim hlađenjem*; kako se ono odvija samo od sebe, ono se jedino može ubrzavati (intenziviranjem razmene toplote) ili usporavati (npr. postavljanjem toplotne izolacije između hlađenog objekta i toplotnog ponora).

Međutim, kada je  $\theta_h < \theta_{ok}$ , iz iskustva je poznato da hlađenje ne može biti spontano, tj. ne može se odvijati samo od sebe<sup>4</sup>, već se mora uključiti u neki pogodan *kompensacioni proces*.

Kada kompensacioni proces obavlja neka radna materija, prelaz toplote sa izvora niže na ponor više temperature se može *trajno* (neprekidno) odvijati jedino ako se ta radna materija periodički vraća u početno stanje, tj. ako mašina obavlja *kružni kompensacioni proces*.

Kompensacioni proces je najčešće neki od klasičnih levokretnih kružnih procesa (levokretnih ciklusa) sa utroškom *mehaničkog rada*. Po takvim ciklusima rade tzv. *kompresorske mašine*; one prema vrsti radne materije mogu biti *gasne* (kada radna materija tokom kružnog procesa ne menja agregatno stanje) ili *parne kompresorske mašine* (čiji se ciklus najvećim delom odvija u području vlažne pare). Ako se u kompensacionom procesu koristi toplota, rashladna mašina radi po nekom *kombinovanom (integrisanom) ciklusu*, koji u stvari predstavlja spregu desnokretnog i levokretnog ciklusa. Po kombinovanim ciklusima rade *ejektorske* i *sorpzione mašine*

Kao kompensacioni proces se može iskoristiti i otvoreni proces kod koga se smanjenje entropije hlađenog objekta usled odvođenja toplote u potpunosti kompenzuje porastom entropije usled trajne promene fizičkog stanja i/ili hemijske strukture neke materije (tzv. rashladne smese). Pošto je za odvijanje otvorenog procesa potrebno potrošiti određene količine takve rashladne materije, otvoreni procesi se još nazivaju i potrošnim procesima.

Razmatranja slična prethodnim se mogu sprovesti i kada nekom telu (*grejani objekat*) treba dovoditi toplotu iz nekog izvora toplote. Ako je temperatura izvora viša od temperature

<sup>3</sup> Ako ne nastaje kondenzacija, odnosno desublimacija ili očvršćavanje (zaleђivanje).

<sup>4</sup> Ova iskusvena spoznaja predstavlja jedan od iskaza II zakona Termodinamike.

grejanog objekta, proces grejanja se odvija spontano, tj. sam od sebe; takvo je npr. tradicionalno grejanje kada su toplotni izvor produkti sagorevanja fosilnih goriva ili biomase.

Međutim, ako se za grejanje želi koristiti termodinamički bezvredna toplota iz okoline, pri čemu je temperatura grejanog objekta viša od temperature okoline, u takvo grejanje se mora uključiti u neki pogodan kompenzacioni proces (npr. levokretni) sa utroškom rada. Uređaji pomoću kojih se to ostvaruje nazivaju se **toplotnim pumpama**.

Dakle, sve toplotne mašine koje rade po nekom levokretnom ciklusu odvođe toplotu (*rashladni učinak*  $Q_H$ ) od *izvora* niže temperature ( $T_H$ ) i predaju toplotu (*grejni učinak*  $Q_G$ ) *ponoru* više temperature ( $T_G > T_H$ ).

Ako je pri tome ponor okolina ( $T_G = T_{ok}$ ), njoj se predaje termodinamički bezvredna toplota, pa po rashladnom učinku  $\Phi_H$ , koji je jedino koristan, mašina se naziva *rashladnom mašinom*, a izvor *hlađenim objektom*.

Analogno tome, ako je izvor okolina ( $T_H = T_{ok}$ ), od nje se uzima termodinamički bezvredna toplota, koristan je grejni učinak  $Q_G$  i mašina se po njemu naziva *toplotnom pumpom*, a ponor *grejanim objektom*.

### 9.1.1 Fizičke osnove hlađenja

Odvođenje toplote od hlađenog objekta moguće je samo njegovim dovođenjem u termički kontakt sa nekom radnom materijom niže temperature. Najvažniji procesi koji su našli značajniju primenu za postizanje niskih temperatura u praksi su:

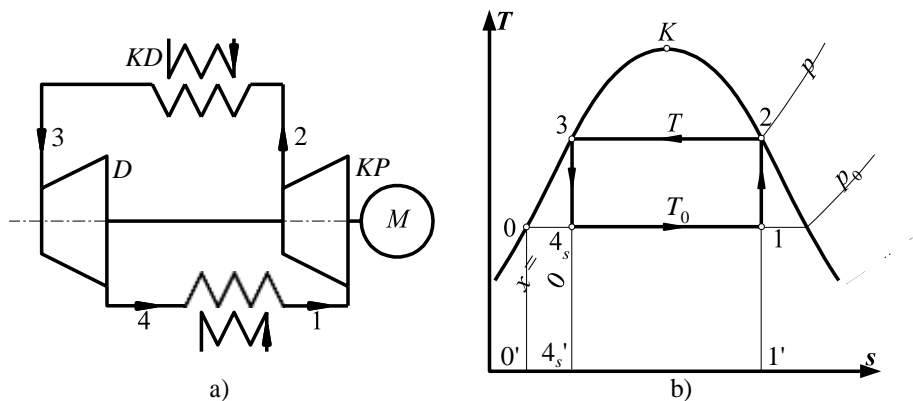
- Ekspanzija gasova i para (sa odvođenjem rada). Najveće snižavanje temperature pri ekspanziji od datog početnog do datog krajnjeg pritiska se postiže u slučaju kada je ta ekspanzija adijabatska i kvazistatička (tj. izentropska).
- Ekspanzija bez odvođenja rada (adijabatsko prigušivanje);
- Termoelektrični efekat (propuštanjem električne struje kroz spoj dva različita provodnika u pogodnom smeru može se postići hlađenje tog spoja);
- Efekat rastvaranja (rashladne smeše) (pri adijabatskom mešanju dve materije, temperatura rastvora može biti i znatno niža od početne temperature komponenata).

### 9.1.2 Levokretni procesi sa utroškom rada

Levokretni ciklusi sa utroškom rada su kompenzacioni procesi koji omogućavaju trajno prebacivanje toplote iz izvora niže u ponor više temperature. Kada su i izvor i ponor beskonačnih toplotnih kapaciteta, promene stanja izvora i ponora su izotermske. Povratan ciklus u tom slučaju može biti levokretni ciklus Carnot koji sačinjavaju dve izentropie i dve izoterme.

Procese izotermskog dovođenja odnosno odvođenja toplote levokretnog ciklusa *Carnot* je relativno lako ostvariti kada se radi o vlažnoj pari jednokomponentne radne materije. Tada se ti procesi poklapaju sa izobarskim procesima isparavanja, odnosno kondenzacije. Šema parne kompresorske mašine koja radi po levokretnom ciklusu *Carnot* i ciklus u  $T-s$  dijagramu

prikazani su na sl. 9.1.a i sl. 9.1.b; mašina se sastoji od kompresora (proces 1-2), kondenzatora (proces 2-3), ekspanzione mašine (proces 3-4) i isparivača (proces 4-1).



Sl. 9.1. Parna kompresorska mašina koja radi po ciklusu **Carnot**:  
a) šema (KP - kompresor; KD - kondenzator; D – detander; R - isparivač); b) T-s dijagram

Po definiciji, koeficijent hlađenja rashladnog ciklusa je

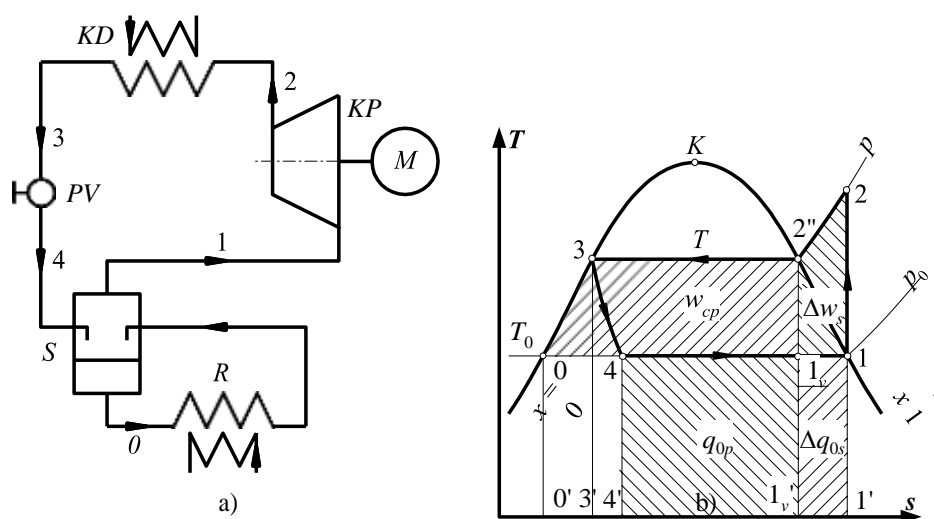
$$\varepsilon_h (EER) = \frac{q_0}{w} = \frac{q_0}{w_c - w_d} = \frac{q_0}{q - q_0} \quad (9.1)$$

i predstavlja toplotu hlađenja (odvedenu od hlađenog objekta) po jedinici utrošenog rada.

Iako nema problema pri izotermskoj razmeni toplote ciklus **Carnot** sa vlažnom parom nije pogodan za praktičnu primenu jer ima tehničkih problema pri sabijanju i ekspanziji. Zato se ciklus tehnički pojednostavljuje na sledeći način:

1) detander se zamenjuje neuporedivo jevtinijim prigušnim ventilom, tj. izentropska ekspanzija se zamenjuje adijabatskim prigušivanjem (sl. 9.2); pošto je to izentalpski proces ( $h=const$ ) biće  $h_3 = h_4 > h_{4s}$ ;

2) da bi se izbegli problemi usled usisavanja vlažne pare uvodi se tzv. suvo usisavanje; tj. kompresor usisava suvozasićenu paru stanja 1 (sl. 9.2b), koja, nakon izentropskog sabijanja, u kondenzator ulazi kao pregrejana para stanja 2, kondenzuje se i u prigušni ventil ulazi kao ključala tečnost stanja 3; posle adijabatskog prigušivanja iz prigušnog ventila izlazi vlažna para stanja 4.

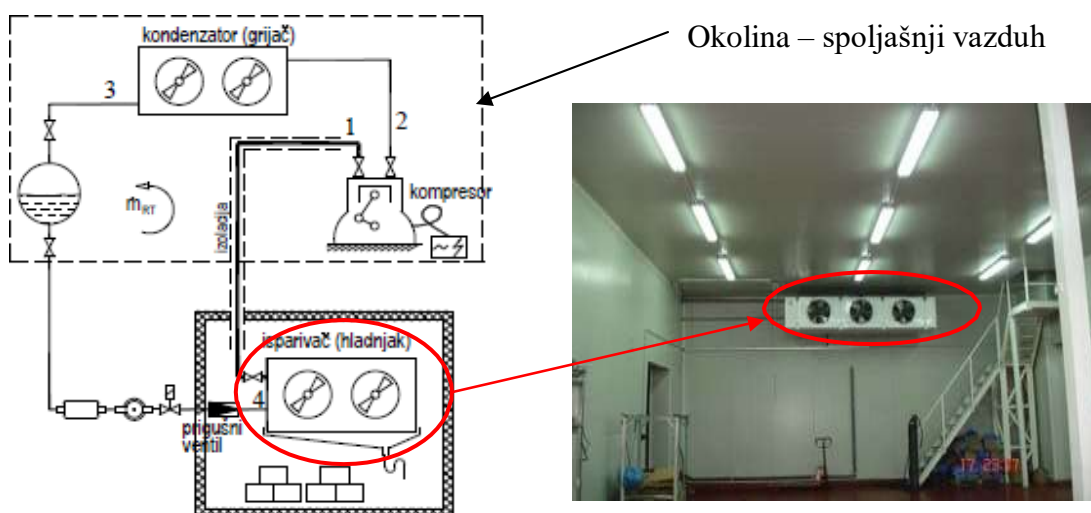


Sl. 9.2 Parna kompresorska mašina sa prigušnim ventilom i suvim usisavanjem: a) šema mašine (S - separator); b) ciklus u „T-s“ dijagramu

Opisani ciklus sa prigušivanjem i suvim usisavanjem pri umerenim razlikama temperature kondenzacije i isparavanja je tehnički izvodljiv i često ima prihvatljiv koeficijent hlađenja. Stoga se on koristi i kao uporedni ciklus sa čijim se koeficijentom hlađenja upoređuju koeficijenti hlađenja drugih modifikovanih ciklusa.

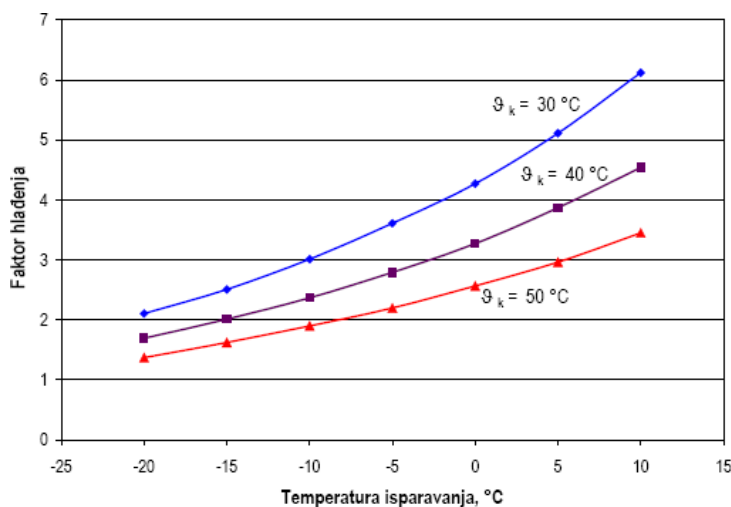
Sa porastom razlike između temperatura kondenzacije i isparavanja dolaze sve više do izražaja osnovni nedostaci uporednog ciklusa (prigušivanje i razmena toplote pri konačnim razlikama temperature kod hlađenja pregrejane pare u kondenzatoru, padovi pritiska pri strujanju rashladnog fluida, itd.), pa se primenjuju određene mere u cilju povećanja koeficijenta hlađenja. One se mogu svrstati u tri kategorije:

- prehlađivanje kondenzata;
- višestepeno prigušivanje;
- višestepeno sabijanje sa međuhlađenjem.



Slika 9.3 Šema kompresorske rashladne instalacije i izgled hladnog prostora sa isparivačem (hladnjakom)

U zavisnosti od temperatura isparavanja i kondenzacije rashladnog fluida, kao i karakteristika rashladnog kompresora i samog ciklusa, razlikuju se vrednosti koeficijenta hlađenja.



Slika 9.4 Zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a

Koeficijent hlađenja postiže vrednosti od 1,5 (kod rashladnih uređaja koji se koriste za duboko zamrzavanje robe), do 3,5 i više kod rashladnih uređaja koji se koriste za komforno hlađenje. Vrednosti koeficijenta hlađenja u graničnim slučajevima mogu biti manje od jedan, ali i veće od 6. Na slici 9.4 prikazana je zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a.

Primene veštačkog hlađenja se razvrstavaju u tri grupe :

- za održavanje kvaliteta materijala, tj. za usporavanje nepoželjnih promena hemijskih, biohemijskih strukturnih karakteristika raznih proizvoda, u prvom redu za konzervisanje namirnica;
- za stvaranje i održavanje karakteristika ambijenta, tj. da bi se ostvarila klimatizacija prostora u kojima se živi, radi i/ili obavljaju razne proizvodne aktivnosti;
- kada veštačko hlađenje predstavlja glavni ili sporedni proces pri ostvarivanju neke aktivnosti (proizvodnja, istraživanje, lečenje, sport itd.).

Nastaviće se....