



RASHLADNI UREĐAJI I TOPLOTNE PUMPE

MAŠINE ZA HLAĐENJE

- Hlađenjem se naziva proces pri kome se od nekog tela (*hlađeni objekat*) odvodi toplota i predaje nekom drugom telu (*toplotni ponor*).
- 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).
- sve toplotne mašine koje rade po nekom levokretnom ciklusu odvođe toplotu (*rashladni učinak* \dot{Q}_H) od *izvora* niže temperature (T_H) i predaju toplotu (*grejni učinak* \dot{Q}_G) *ponoru* više temperature ($T_G > T_H$).

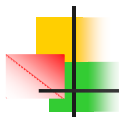


MAŠINE ZA HLAĐENJE

Fizičke osnove hlađenja

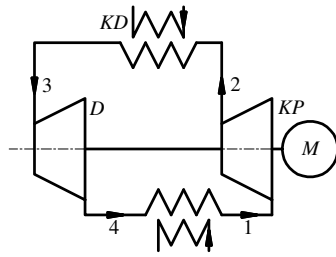
Najvažniji procesi koji su našli značajniju primenu za postizanje niskih temperatura u praksi su:

- Ekspanzija gasova i para (sa odvođenjem rada).
- Ekspanzija bez odvođenja rada (adijabatsko prigušivanje);
- Termoelektrični efekat
- Efekat rastvaranja (rashladne smeše)

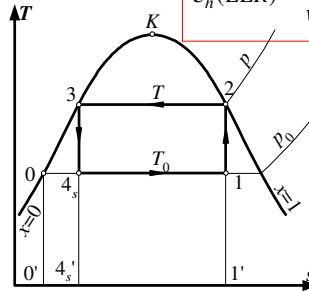


MAŠINE ZA HLAĐENJE

Levokretni procesi sa utroškom rada (1)



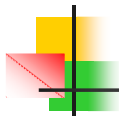
a)



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

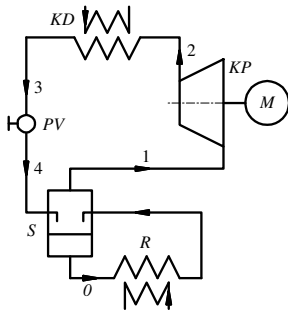
Parna kompresorska mašina koja radi po ciklusu **Carnot**:

a) šema (KP - kompresor; KD - kondenzator; D – detander; R - isparivač); b) T-s dijagram

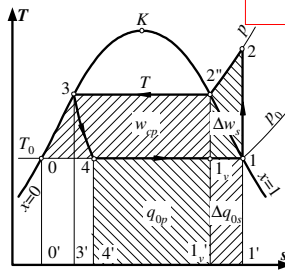


MAŠINE ZA HLAĐENJE

Levokretni procesi sa utroškom rada (2)



a)



b)

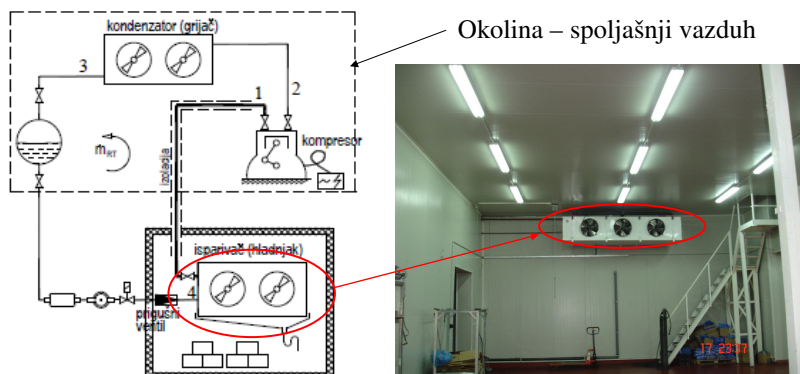
$$\varepsilon_h(EER) = \frac{q_0}{w} = \frac{q_0}{w_c - w_d} = \frac{q_0}{q - q_0}$$

Parna kompresorska mašina sa prigušnim ventilom i suvim usisavanjem: a) šema mašine

(S - separator); b) ciklus u „T-s“ dijagramu

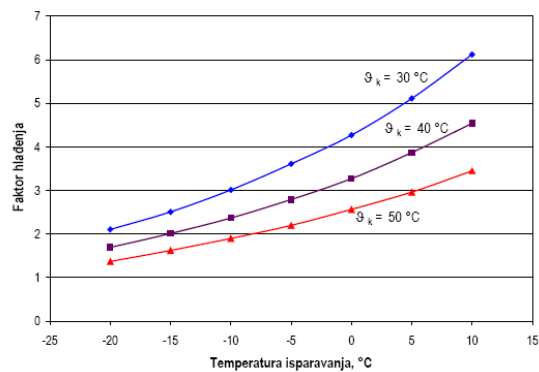
MAŠINE ZA HLAĐENJE

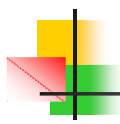
Šema kompresorske rashladne instalacije i izgled hladnog prostora sa isparivačem (hladnjakom)



MAŠINE ZA HLAĐENJE

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





MAŠINE ZA HLAĐENJE

Rashladni fluidi (1)

- Primarni rashladni fluid
- Sekundarni rashladni fluid

Neki primeri označavanja rashladnih fluida:

Brojevima od 400 do 499 označavaju se razne *zeotropske smeše*.

Brojevima od 500 do 599 označavaju se razne *azeotropske smeše*.

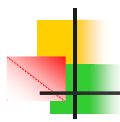
Brojevima od 600-699 obeležavaju se po proizvoljnom redosledu razna *organska jedinjenja*

HC (*ugljovodonici*), **CFC** (*potpuno halogenizovani hlorofluorouglenici*),

HCFC (*delimično halogenizovani hidrohlorofluorouglenici*),

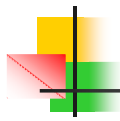
FC (*potpuno halogenizovani fluorouglenici*) i

HFC (*delimično halogenizovani hidrofleurouglenici*).



MAŠINE ZA HLAĐENJE

- **Potencijal razgradnje ozona - ODP** (*Ozone Depletion Potential*) zavisi od sposobnosti oslobađanja hlora (Cl) i broma (Br), kao i od vremenske postojanosti u atmosferi. Kao jedinična (referentna) vrednost uzeto je delovanje freona R-11. Ovaj faktor je posledica svih potencijalnih delovanja na ozon koja traju do potpune razgradnje (vrijeme raspada) za ozon štetne materije. Vodonik u molekulama HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. HFC ne sadrže hlor, pa zato ne razaraju ozon, pa je njihov ODP=0.
- **Potencijal globalnog zagrevanja - GWP** (*Global Warming Potential*) neke materije je relativni uticaj te materije na efekt staklene bašte u odnosu na uticaj CO₂. Kao referentna vrednost uzeto je delovanje CO₂ jer se u atmosferu emituje u najvećim količinama. CO₂ trajno ostaje u atmosferi, pa je zato uvek potrebno navesti za koje je vremensko razdoblje GWP izražen (20, 100 ili 500 godina). Najznačajniji gasovi staklene bašte su: CO₂, CH₄, N₂O, HFC-i, PFC-i i SF₆.

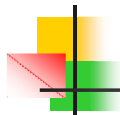


MAŠINE ZA HLAĐENJE

Rashladni fluidi (2)

- Potencijal razgradnje ozona - ODP (*Ozone Depletion Potential*)
- Potencijal globalnog zagrevanja - GWP (*Global Warming Potential*)

Rashladni fluid	ODP	GWP		
		20 god	100 god	500 god
R-11	1	4500	3400	1400
R-12	1	7100	7100	4100
R-502	0.34	-	4300	-
R-22	0.055	4200	1700	540
R-134a	0	3100	1300	-
R-404a	0	-	3800	-
R-407C	0	-	1600	-
R410A	0	-	1725	-
R-717	0	0	0	0



MAŠINE ZA HLAĐENJE

Osnovne komponente rashladnih mašina (1)

Kompresori

Prema principu rada kompresori mogu biti:

Kompresori zapreminskog dejstva u kojima se usisana para (odn. gas) sabija usled smanjivanja zatvorene radne zapremine (tzv. "ćelije") u kojoj se para nalazi.

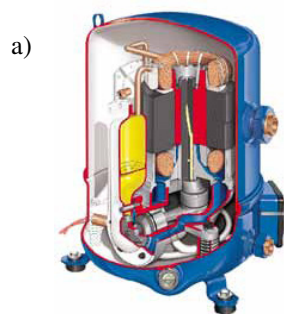
Prema načinu formiranja (odn. obliku) ćelija i kinematskim karakteristikama koje iz toga proizilaze, ovi kompresori se dele na:

- (klasične) klipne kompresore sa translatornim kretanjem klipova,
- rotacione kompresore
- spiralne kompresore

MAŠINE ZA HLAĐENJE

Osnovne komponente rashladnih mašina (2)

Kompresori

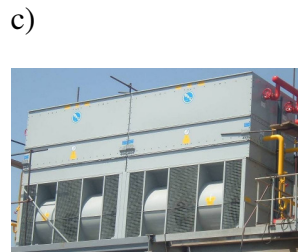
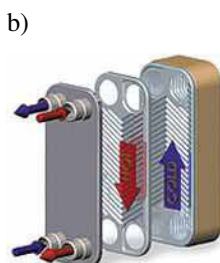
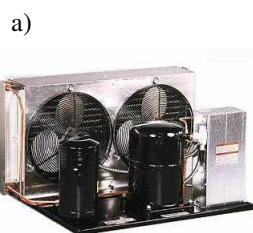


Izgled kompresora: a) klipni, b) spiralni (vijčani)

MAŠINE ZA HLAĐENJE

Osnovne komponente rashladnih mašina (3)

Kondenzatori



Izgled kondenzatora: a) vazduhom hladeni, b) vodom hladeni - pločasti, c) evaporativni

MAŠINE ZA HLAĐENJE

Osnovne komponente rashladnih mašina (4)

Isparivači

- 1) Isparivači za hlađenje tečnosti:
 - dobošasti isparivači sa cevnim snopom unutar doboša,
 - pločasti isparivači,
 - potopljeni bazenski isparivači;
- 2) Isparivači za hlađenje gasova (najčešće vazduha) izrađuju se od orebrenih cevi.
- 3) Specijalni isparivači:
 - za proizvodnju ljespičastog leda,
 - za brzu proizvodnju leda u kalupima (tzv. “rapid-ice” uređaji) itd.

MAŠINE ZA HLAĐENJE

Osnovne komponente rashladnih mašina (5)

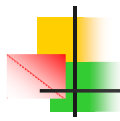
Isparivači

Važna podela isparivača je prema količini rashladnog fluida koja im se dovodi:

- suvi,
- preplavljeni



Izgled isparivača za hlađenje vazduha



MAŠINE ZA HLAĐENJE

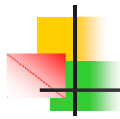
Osnovne komponente rashladnih mašina (6)

Pomoćni aparati

Pomoćni aparati su opcionalni elementi rashladne mašine čiji je zadatak da poboljšaju njene termodinamičke i/ili eksploatacione karakteristike.

I grupa: razni razmenjivači toplote (spoljašnji i unutrašnji prehladivači kondenzata, međuhladnjaci, hladnjaci ulja i sl.), prigušni separatori i/ili njihove kombinacije koje omogućavaju *modifikovanje ciklusa* u cilju *povećanja učinka i/ili koeficijenta hlađenja*.

II grupa: pomoćni aparati čiji je osnovni zadatak da spreče neželjene režime rada, ublaže ili eliminišu posledice usled nesavršenosti konstrukcije i/ili postupaka montaže i time omoguće dugotrajan i nesmetan rad, kao i lakše opsluživanje (npr. odvajajući ulja, odvajajući vazduha, filteri, sušači...)



MAŠINE ZA HLAĐENJE

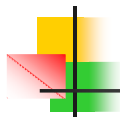
Osnovne komponente rashladnih mašina (7)

Cevovodi

povezuju sve relevantne komponente u jedinstvenu rashladnu instalaciju, odnosno toplotnu pumpu.

Automatika rada rashladnih instalacija

- Uređaji automatske zaštite i/ili upozoravanja: termostati i presostati
- Uređaji za automatsku regulaciju: optimalni regulatori

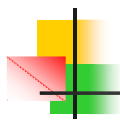


MAŠINE ZA HLAĐENJE

Osnovne komponente rashladnih mašina (8)

Merenje relevantnih parametara

- Za *merenje temperature* koriste se stakleni termometri sa tečnošću , električni termometri (najčešće otpornički, termoelektrični termometri ili bimetalni ili gasni termometri).
- Za *merenje pritiska* koriste se najčešće manovakuummetri (sa burdonovom cevi, sa pijezelektričnim davačima, ili membranski);
- Za *merenje vlažnosti vazduha* se najčešće koriste električni higrometri, psihrometri, kao i razne vrste indikatora tačke rose.
- Za *merenje protoka* koriste se razni rotometri, standardne prigušnice ili mlaznice kao i razni protokomeri sa obrtnim kolom;
u novije vreme se koriste i protokomeri koji se baziraju na **Doppler**-ovom efektu;
- Za *merenje nivoa tečnosti* koriste se davači sa plovkom i kapacitivne sonde.



MAŠINE ZA HLAĐENJE

Osnovne komponente rashladnih mašina (9)

Regulisani parametri i pripadajući regulatori

Najvažniji *relevantni parametri* od čijeg uspešnog kontrolisanja bitno zavisi ispravan rad mašine i/ili spregnutog objekta (grejanja i/ili hlađenja) su:

- Temperatura hladenog objekta;
- Protok rashladnog fluida kroz suve isparivače
- Pritisak (temperatura) isparavanja
- Pritisak (temperatura) kondenzacije
- Temperatura pare na potisu kompresora
- Nivo tečnosti rashladnog fluida u preplavljenim isparivačima ili separatorima

MAŠINE ZA HLAĐENJE

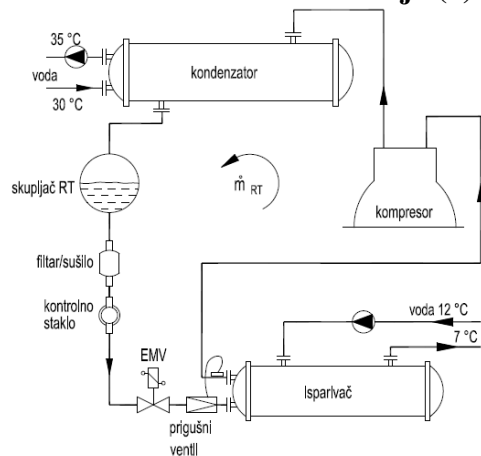
Osnovne komponente rashladnih mašina (10)

Vrste regulatora

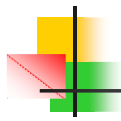
- regulatori direktnog dejstva (bez pojačivača)
- regulatori posrednog dejstva
- statičkih regulatora (tzv. Proporcionalni, ili P regulatori)
- statički regulatori (tzv. Integrirajući, ili, I regulatori)
- složeniji tipovi regulatora (npr.: *PD*, *PI* i *PID*)

MAŠINE ZA HLAĐENJE

Indirektni sistemi hlađenja (1)

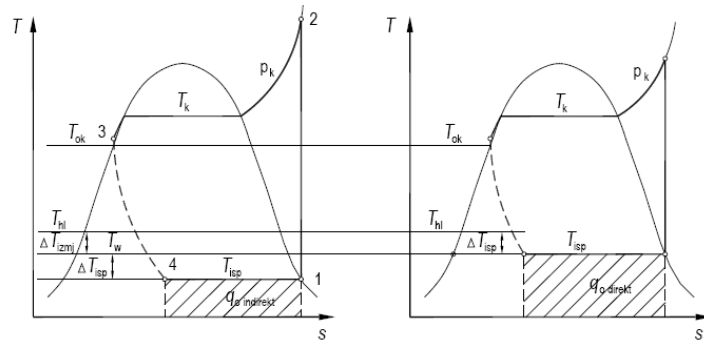


Šema čilera sa vodom hlađenim kondenzatorom

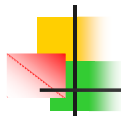


MAŠINE ZA HLAĐENJE

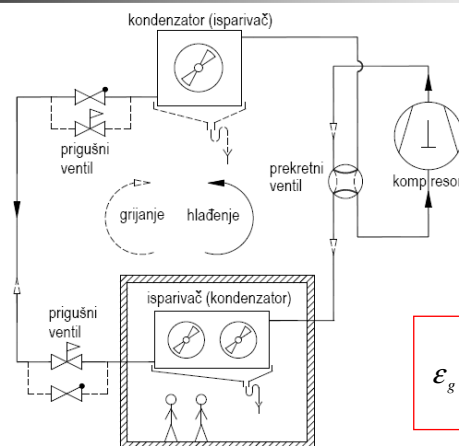
Indirektni sistemi hlađenja (2)



Prikaz poređenja indirektnog i direktnog sistema hlađenja



TOPLOTNE PUMPE (1)



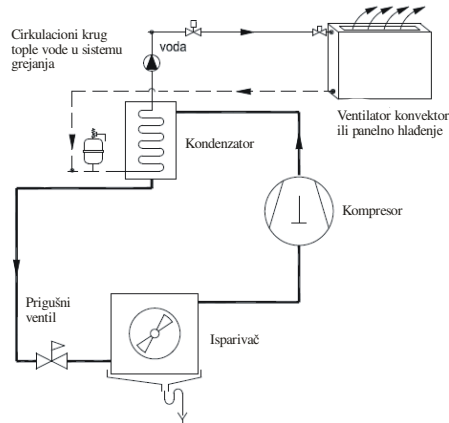
$$\varepsilon_g (COP) = \frac{q_{kond}}{w} = \frac{\dot{Q}_{kond}}{P_{komp}}$$

Prikaz rada rashladnog uređaja u režimu toplotne pumpe

TOPLOTNE PUMPE (2)

Izvori toplote toplotnih pumpi

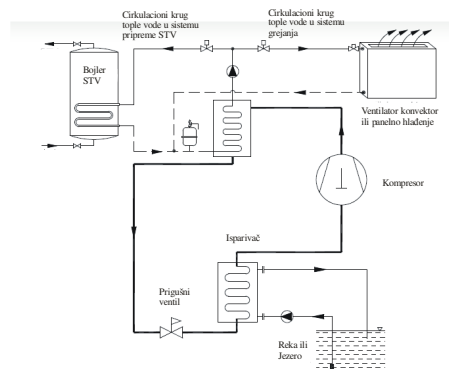
Vazduh kao izvor toplote:



TOPLOTNE PUMPE (3)

Izvori toplote toplotnih pumpi

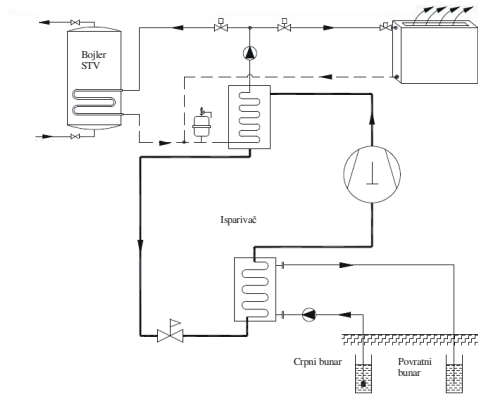
Nadzemne vode kao izvor toplote:



TOPLOTNE PUMPE (4)

Izvori toplote toplotnih pumpi

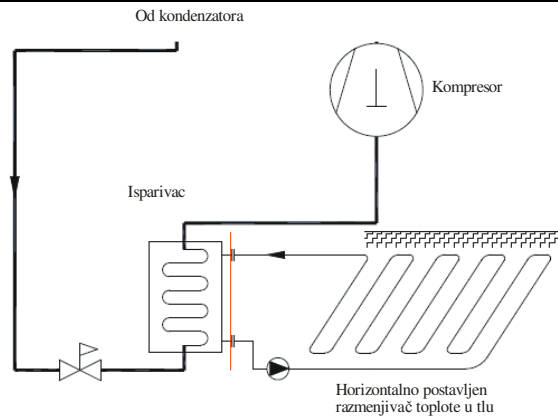
Podzemne vode kao izvor toplote:



TOPLOTNE PUMPE (5)

Izvori toplote toplotnih pumpi

Tlo kao izvor toplote (horizontalna izvedba razmenjivača toplote):



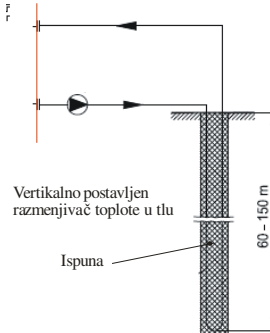
TOPLOTNE PUMPE (6)

Izvori toplote toplotnih pumpi

Tlo kao izvor toplote (vertikalna izvedba razmenjivača toplote):

do dubina od 60 do 150 m (200 m) često je prihvatljiva i u gusto naseljenim područjima, pogotovo na mestima gde je prostor uređen, pri čemu dolazi do minimalnih promena spoljnog izgleda okoline.

Razmenjivač (fabrički predmontiran) se u tlo polaže u dve osnovne izvedbe: kao dvostruka U cev ili kao koaksijalna cev pri čemu kroz unutrašnju PE cev struji hladni fluid (voda + glikol), dok se kroz spoljnu metalnu cev zagrejani fluid vraća na isparivač.



GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA HLAĐENJE

Godišnja potrebna energija za hlađenje izračunava se kao:

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_T + Q_V) \quad [\text{kWh/a}]$$

Specifična godišnja potrebna toplota za hlađenje, $Q_{C,an}$:

$$Q_{C,an} = \frac{Q_{C,nd}}{A_f} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$$

Ukupna godišnja energija za hlađenje:

$$Q_C = Q_{C,nd} + Q_{C,ls} \quad [\text{kWh/a}]$$