

# KURS ZA ENERGETSKI AUDIT 3.3

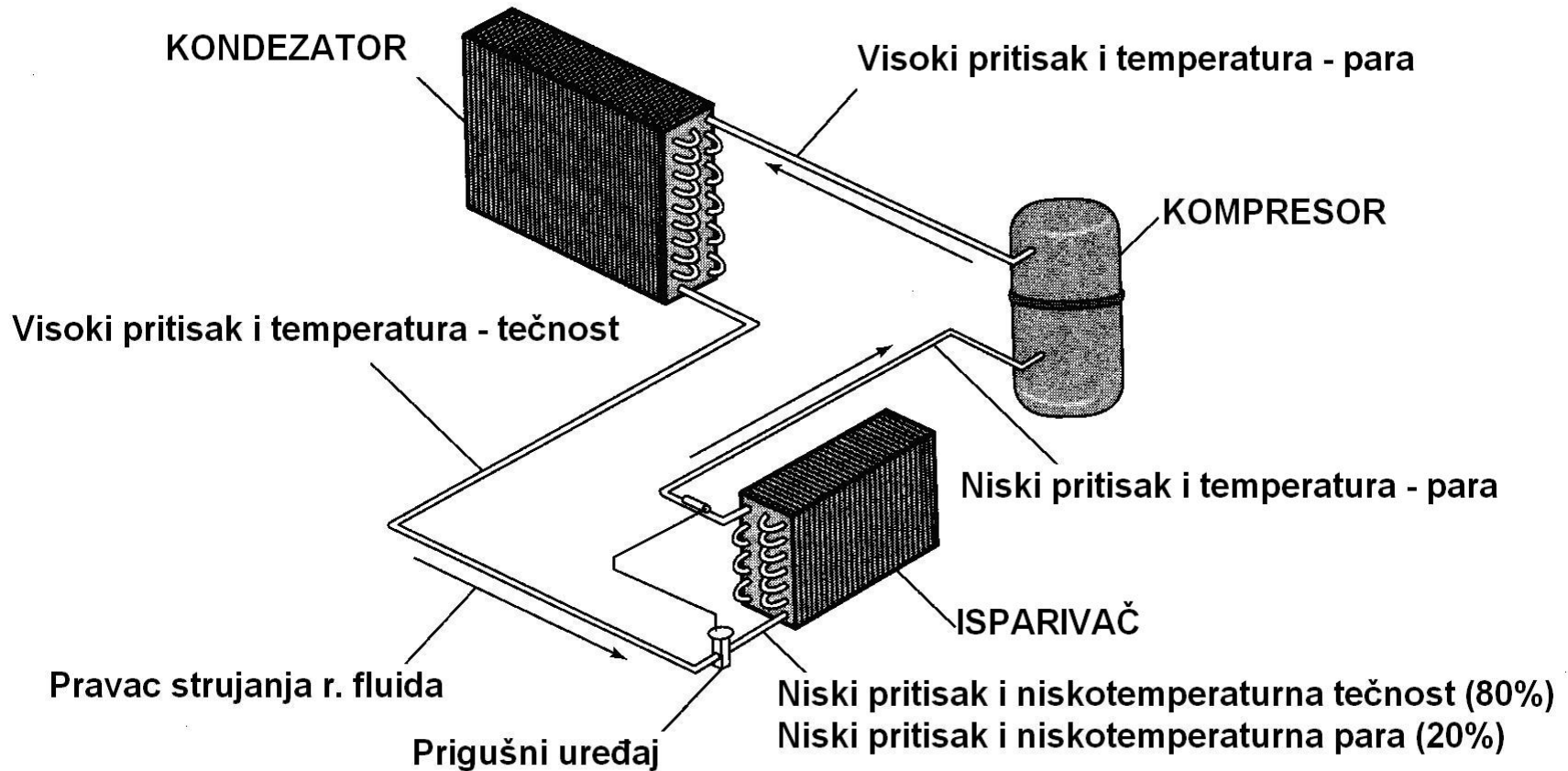
## TOPLOTNE PUMPE&RASHLADNI UREDJAJI

Pripremio: Dr Igor Vušanović

# ŠTA SU TO TOPLOTNE PUMPE?

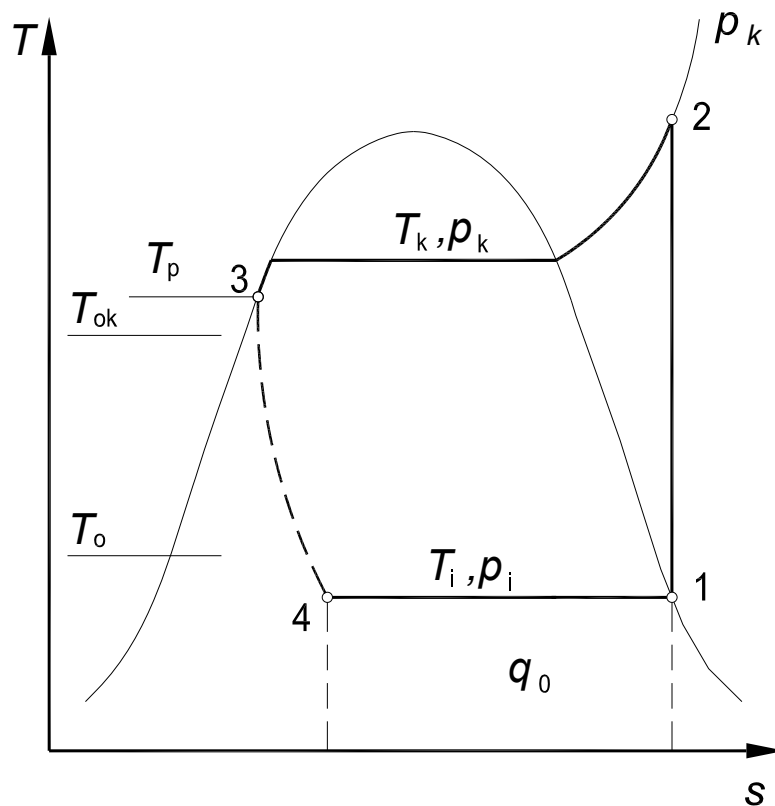
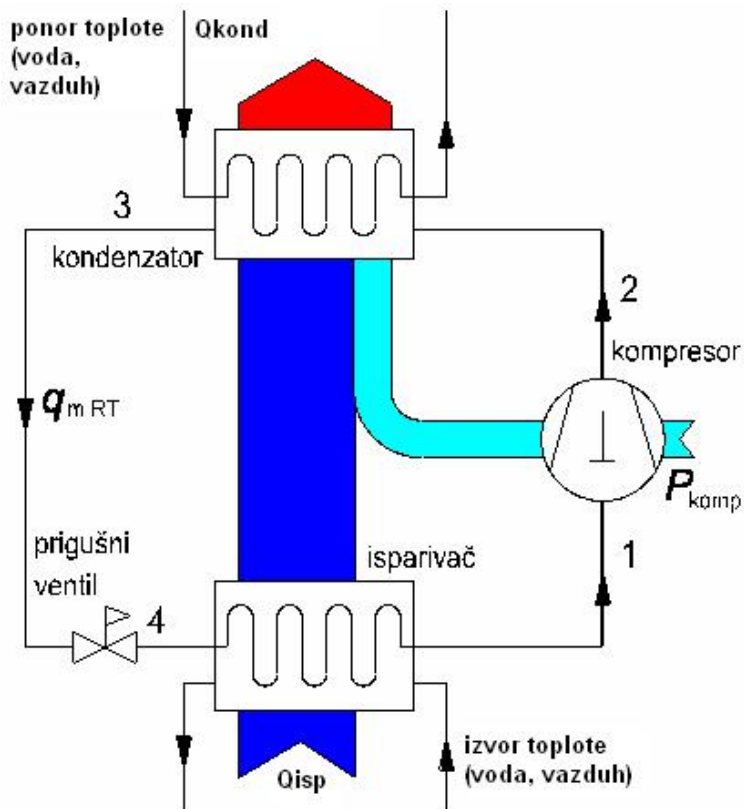
- Toplotne pumpe su uređaji za:
  - Prebacivanje toplote iz zone (prostora) sa nižom temperaturom u zonu (prostor) sa većom temperaturom;
- Toplotne pumpe su ujedno i rashladni uređaji jer:
  - "Hlade" prostor sa nižom temperaturom jer iz njega "isisavaju" toplotu;
- Kako se prebacuje toplota iz jednog u drugi prostor?

# KOJI SU OSNOVNI ELEMENTI TOPLOTNIH PUMPI?



- Osnovni elementi svake toplotne pumpe su: kompresor, isparivač, kondenzator i prigušni uređaj

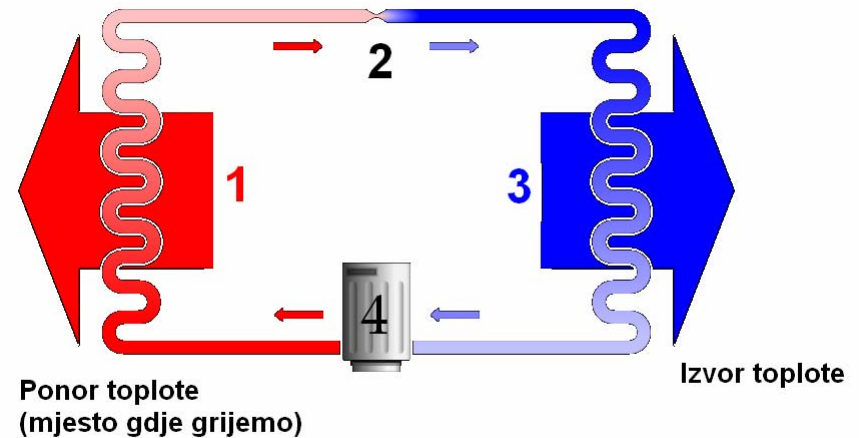
# KAKO RADE TOPLITNE PUMPE?



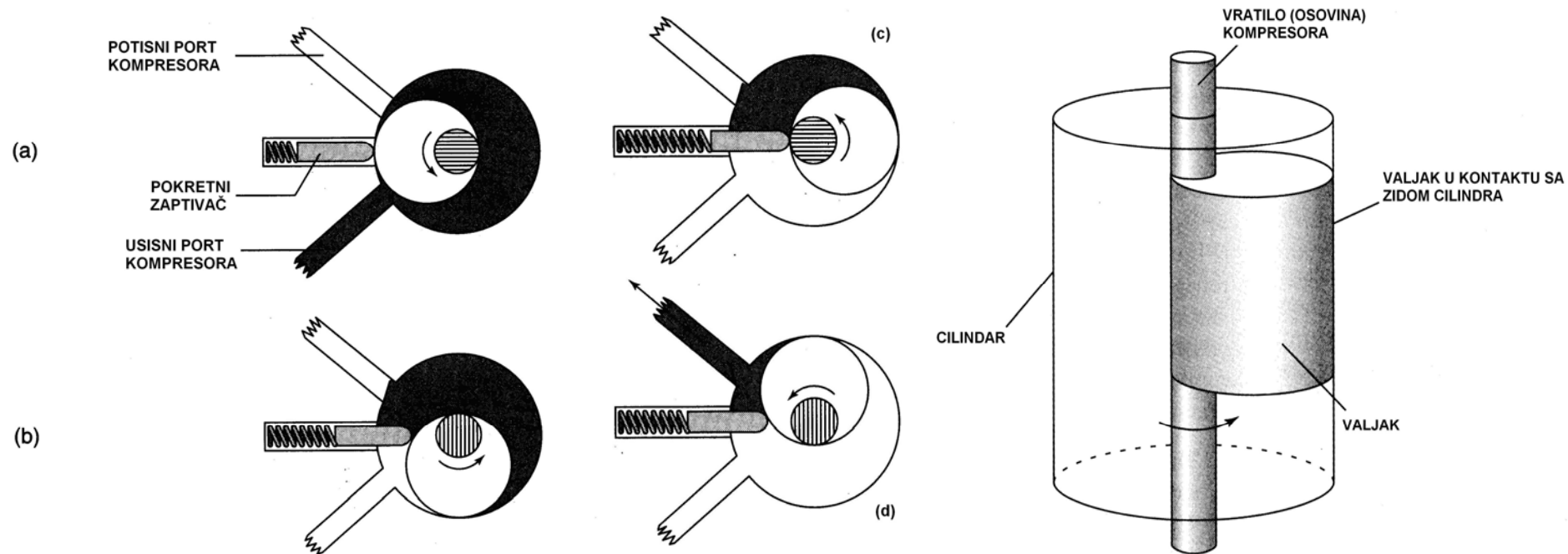
- U isparivaču se vrši isparavanje freona 4-1 (uzimanje toplote iz izvora);
- U kondenzatoru se vrši kondenzacija freona 2-3 (predaja toplote ponoru);
- Toplota koja se predaje u kondenzatoru se sastoji od:
  - Niskotemperaturne toplote okoline (60 - 70%);
  - Uloženog rada kompresora (30 - 40%);

# KOJA JE ULOGA KOMPRESORA?

- Osnovna uloga kompresora je:
  - Podizanje temperature hladne pare iz isparivača na temperaturu kondenzacije;
  - Cirkulacija rashladnog fluida kroz instalaciju;
- U zavisnosti od namjene mogu biti:
  - Rotacioni;
  - Klipni;
  - Zavojni;
  - Vijčani;
  - Centrifugalni;

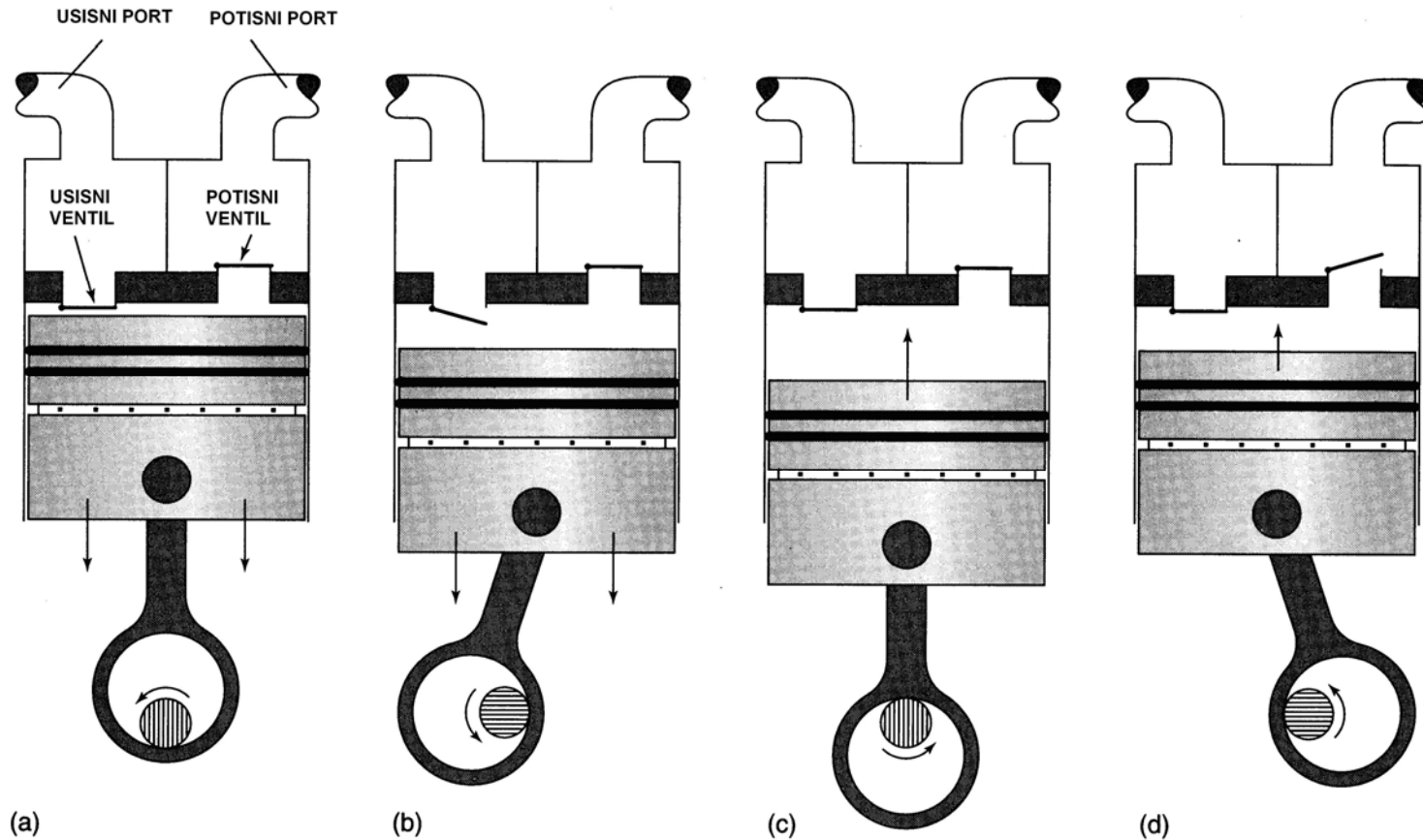


# ROTACIONI KOMPRESORI



- Valjak sa vratilom se kotrlja po površini unutrašnjeg cilindra;
- Radna zapremina je uvijek podijeljena na dva dijela: usisni i potisni;
- Prednosti: jednostavna konstrukcija, male vibracije u radu;
- Primjena: toplotne pumpe malih kapaciteta ("split" sistemi)

# KLIPNI KOMPRESORI



- **Osnovne karakteristike:**

- Veoma pouzdan rad, postizanje visokih pritisaka kondenzacije, mogućnost paralelnog povezivanja;
- Visoka rasprostranjenost u HVAC instalacijama ;

# ZAVOJNI (SCROLL) KOMPRESORI

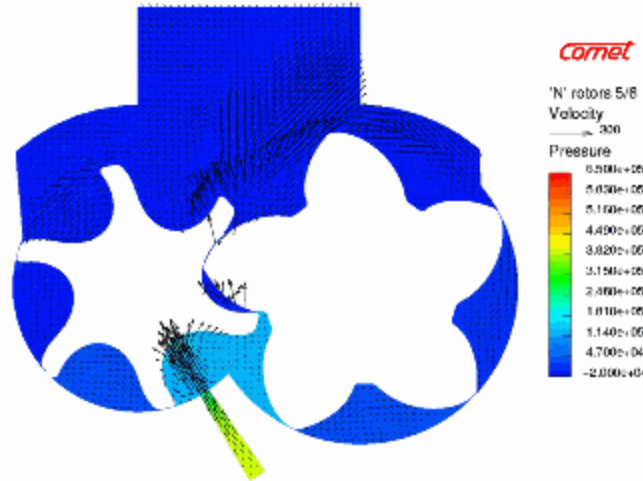
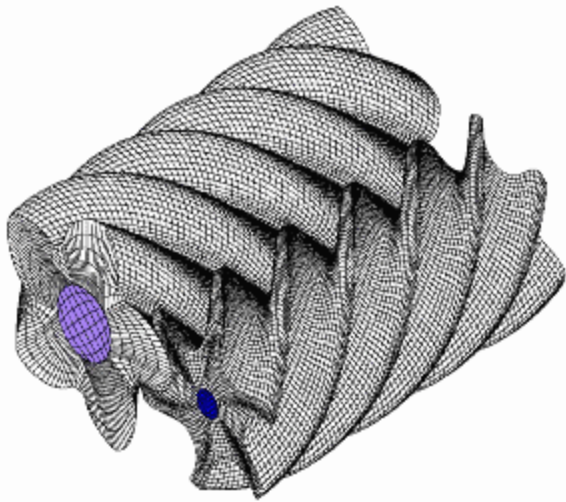


- Dvije zavojnice rotiraju jedna oko druge i obezbjeđuju kontinualno usisavanje, sabijanje i isporuku sabijenog gasa;
- Prednosti:
  - Skoro 100% volumetrijski koeficijent iskorišćenja
  - Mogućnost primjene od malih do srednjih snaga (3 - 200 KW);
  - Veoma uravnotežen i tih rad;
  - Ne postoji ventil na strani viokog pritiska;



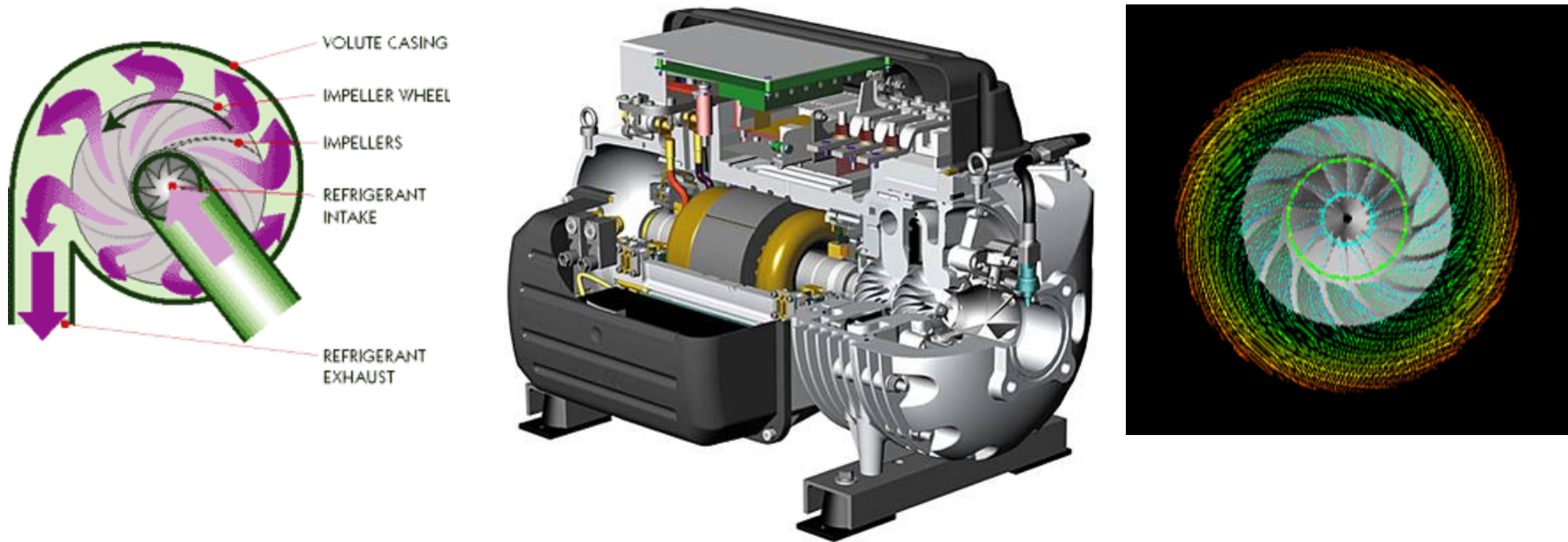


# VIJČANI (SCREW) KOMPRESORI



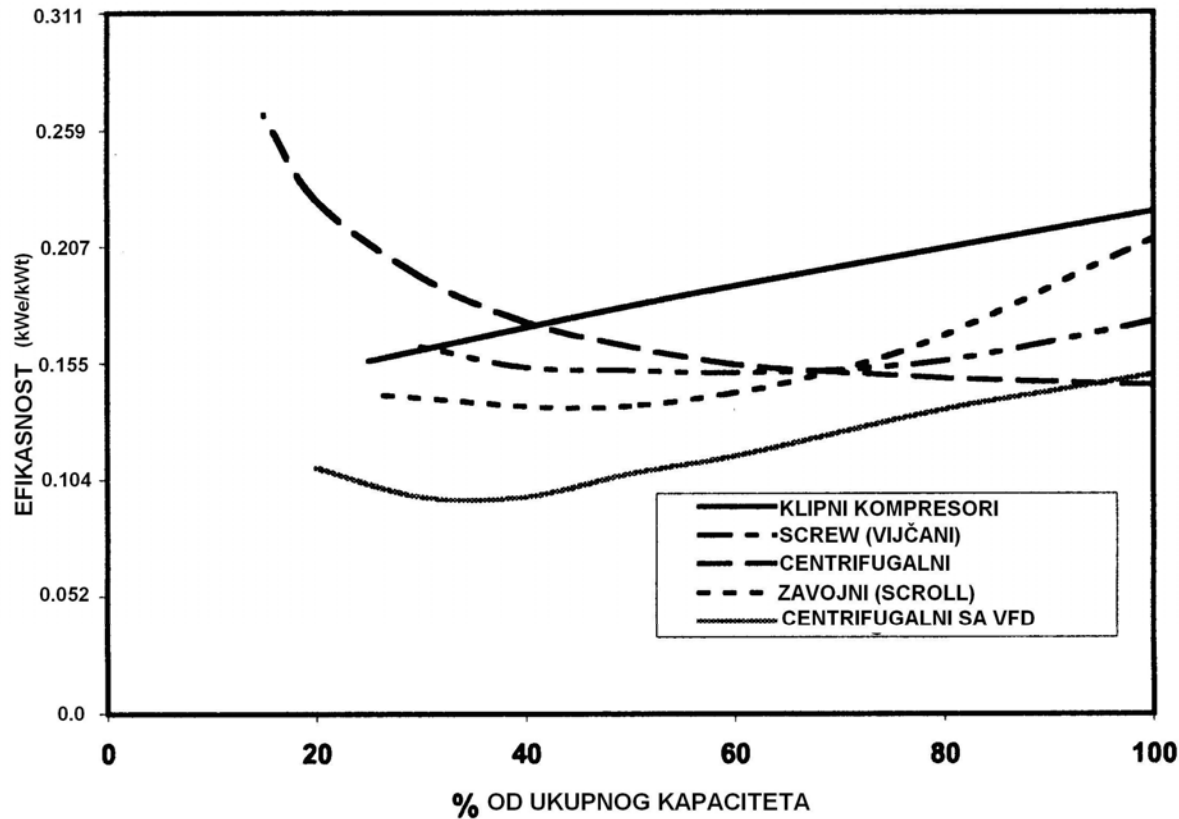
- Vijčani kompresor čine par vijaka od kojih je jedan pogonski a drugi je gonjeni;
- Po kapacitetima se ovaj vid kompresora preklapa sa klipnim i malim centrifugalniom kompresorima;
- Osnovne karakteristike:
  - Fin, ujednačen i tih rad;
  - Visoka izentropnost tokom procesa sabijanja i visok volumetrijski stepen isporuke;
  - Kod velikih snaga visok stepen iskorišćenja, veći od klipnih kompresora;

# CENTRIFUGALNI KOMPRESORI



- Centrifugalni kompresori vrše povećanje pritiska gasa putem dinamičke kompresije;
  - Prvo se vrši ubrzavanje gasa, a potom na izlazu se gas usporava na račun povećanja pritiska;
- Osnovne karakteristike i primjena:
  - Moguće ostvariti veoma velike protoke;
  - Nije moguće ostvariti visoke pritiske kondenzacije;
  - Rade sa visokim brojevima obrtaja;

# EFIKASNOST KOMPRESORA?



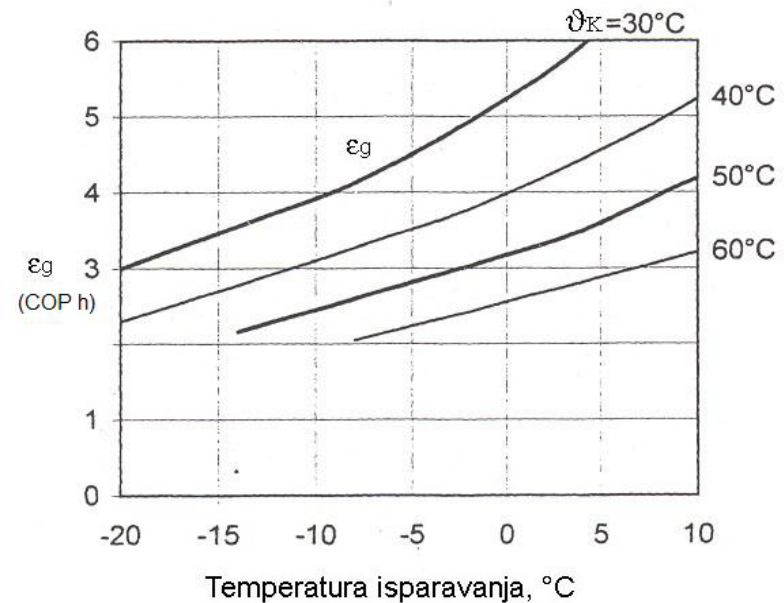
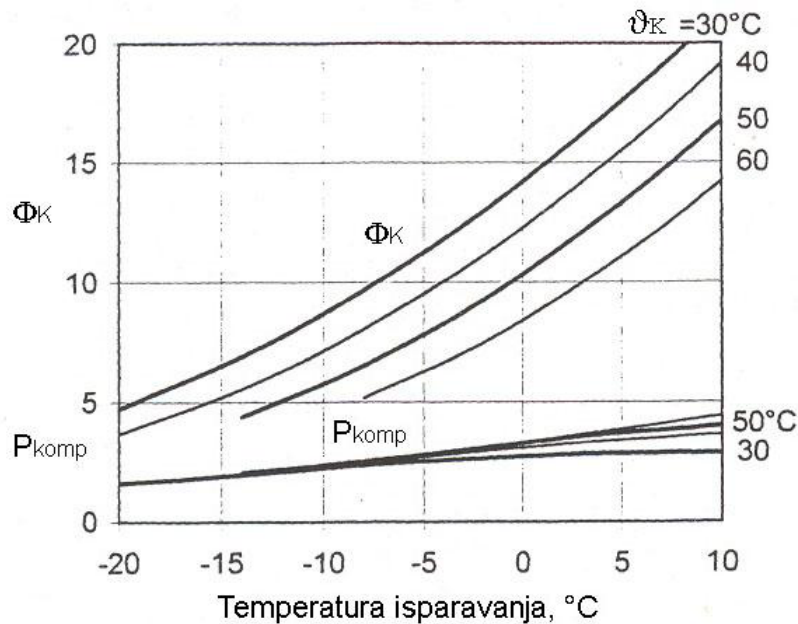
- Centrifugalni kompresori imaju veći koeficijent iskorišćenja pri malim opterećenjima i znatno više od istih kada imaju regulaciju brzine (VFD);
- Klipni kompresori imaju počenu efikasnost pri povećanju opterećenja do nominalnog;
- Scroll i Screw kompresori imaju prilično konstantnu efikasnost za širok dijapazon opterećenja.

# KAPACITETI KOMPRESORA I EFIKASNOST

Tip čilera	Nominalni kapacitet (kW)	Rashladni medijum	Opseg efikasnosti (kWe/kWt)
Klipni	50 - 1750	R-22	0.21 - 0.26
Vijčani (screw)	160 - 2350	R-134a, R-22	0.15 - 0.19
Zavojni (scroll)	30 - 200	R-22	0.21 - 0.24
Centrifugalni	500 - 18000	R-134a, R-123	0.13 - 0.18

- Kompresori se biraju na osnovu opterećenja i na osnovu rashladnog fluida koji se koristi;
  - Scroll (zavojni) kompresori imaju širok dijapazon primjene i danas su jedni od najčešće korišćenih;
  - Za konstantna opterećenja i visoke pritiske kondenzacije najčešće se koriste Klipni i screw kompresori.

# EFIKASNOST TOPLLOTNIH PUMPI

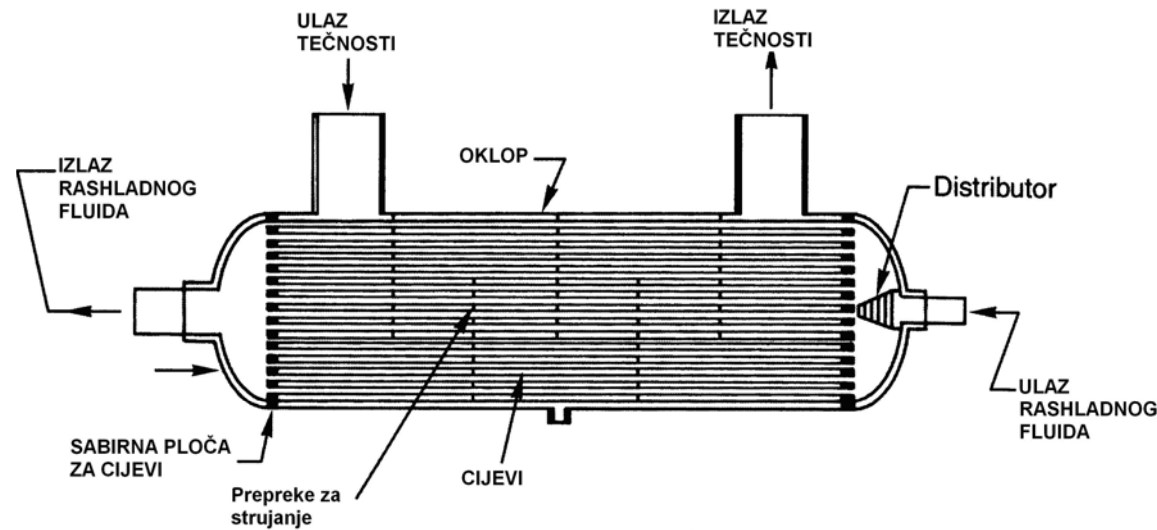


- Kapacitet hlađenja se smanjuje sa:
  - Smanjenjem temperature isparavanja
  - Povećanjem temperature kondenzacije;
  - Veći značaj ima smanjenje temperature isparavanja što je posebno problem kada uređaj radi u režimu toplotne pumpe;

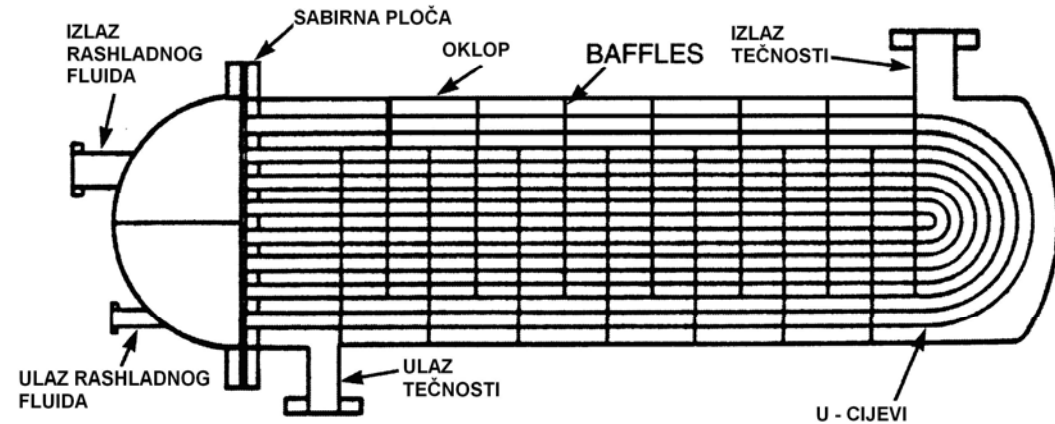
# ISPARIVAČI

- Isparivači su uređaji u kojima se:
  - Uzima toplota za potrebe rada toplotne pumpe;
  - Vrši isparavanje rashladnog fluida koji kruži u rashladnoj instalaciji;
  - Vrši oduzimanje toplote za potrebe rashlađivanja prostora kada toplotna pumpa radi u režimu hlađenja (toplota se pumpa iznutra ka spolja)
- U zavisnosti šta se hladi mogu biti:
  - Vazdušni (veće površine i dimenzije);
  - Vodeni (kompaktni i malih dimenzija);
  - Zemljani (velike dužine cijevi);

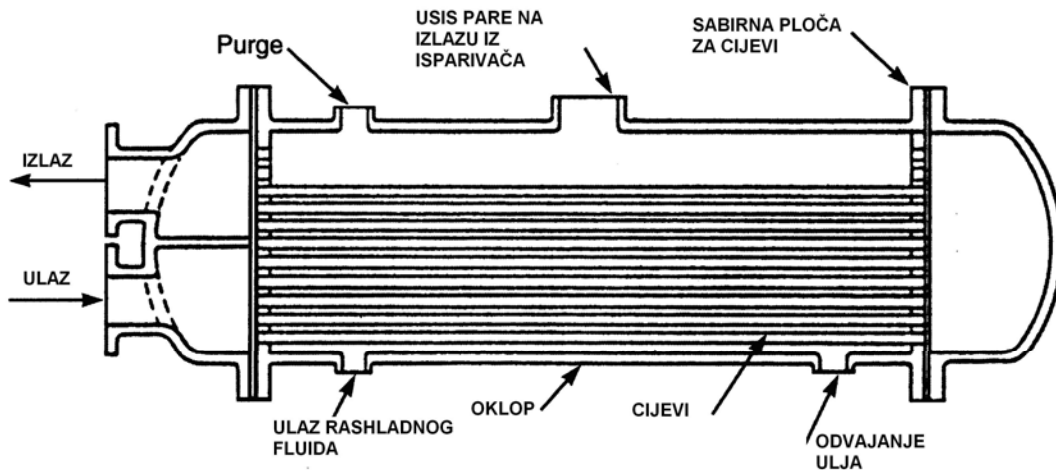
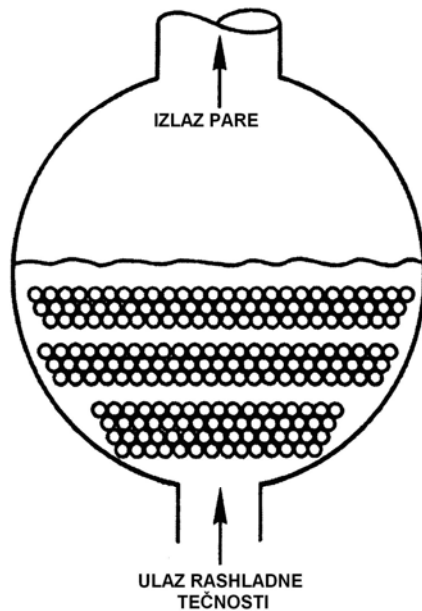
# KONSTRUKCIJE ISPARIVAČA (1)



- Vodom hlađeni su:
  - Kompaktni
  - Velikih kapaciteta;
- Ključni parametar je:
  - Broj cijevi
  - Dimenzija cijevi



# KONSTRUKCIJE ISPARIVAČA (2)



- Dobošasti isparivači
  - Rashladni fluid struji sa spoljašnje strane cijevi;
  - Nosilac toplote (voda ili neki drugi fluid) struji kroz cijevi;
- Koriste se u:
  - Industrijskim aplikacijama;
  - Tamo gdje se zahtijeva veliki kapacitet hlađenja



# KONSTRUKCIJE ISPARIVAČA (3)

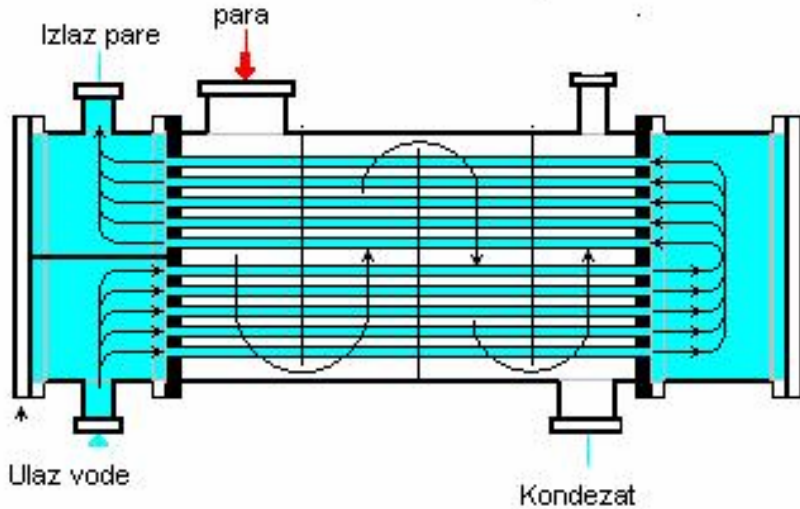


- Osnovne karakteristike vazdušnih isparivača su:
  - Relativno velike dimenzije;
  - Mali troškovi održavanja (jednostavni za rukovanje)
  - Ograničena primjena za velike snage i niske temperature (kondezacija, inje, led i sl.)
  - Ventilator obezbjeđuje prinudno strujanje vazduha neophodno za razmjenu toplote

# KONDENZATORI

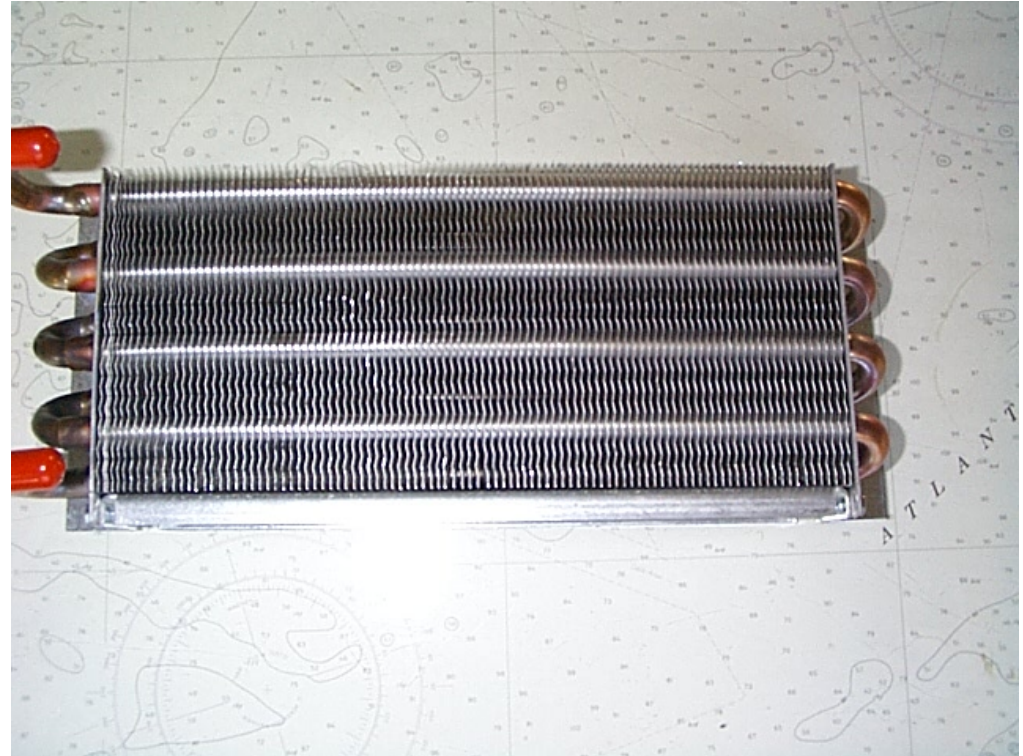
- Kondenzatori su uređaji u kojima se:
  - Predaje toplota prostoru koji se grije tokom rada toplotne pumpe;
  - Vrší kondenzacija rashladnog fluida koji kruži u rashladnoj instalaciji;
  - Vrší izbacivanje toplote u okolinu kada toplotna pumpa radi u režimu hlađenja (toplota se pumpa iznutra ka spolja)
- U zavisnosti od namjene takođe mogu biti:
  - Vazdušni (veće površine i dimenzije);
  - Vodeni (kompaktni i malih dimenzija);
  - Zemljani (velike dužine cijevi);

# KONSTRUKCIJE KONDENZATORA



- Vodeno hlađeni kondenzatori su:
  - Kompaktni, malih dimenzija i velikih kapaciteta;
  - Obezbeđuju niže temperature kondenzacije i velike stepene iskorišćenja (COP);
  - Ključni parametar je broj cijevi koji se proračunava na osnovu kapaciteta i temperature kondezacije i vode;

# KONSTRUKCIJE KONDENZATORA(2)



- Vazdušno hlađeni kondenzatori:
  - Relativno velikih dimenzija pa se u glavnom montiraju na krovovima objekata;
  - Jednostavna konstrukcija i manji investicini troškovi u odnosu na vodom hlađene kondenzatore;

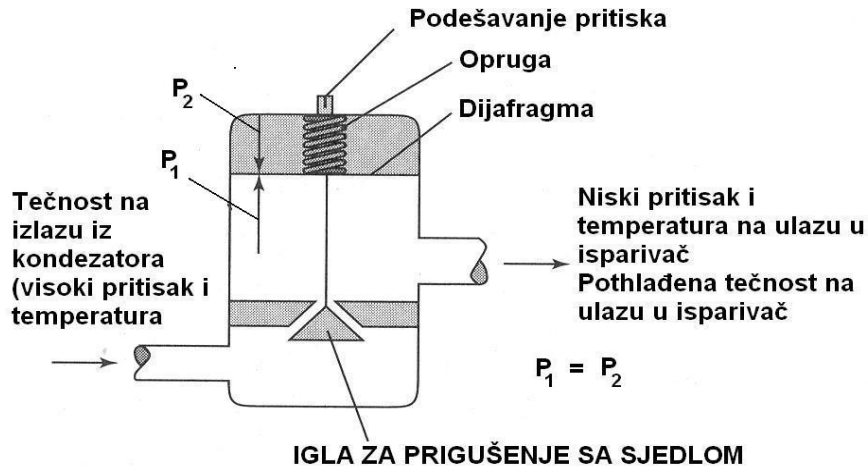
# UREĐAJI ZA PRIGUŠIVANJE



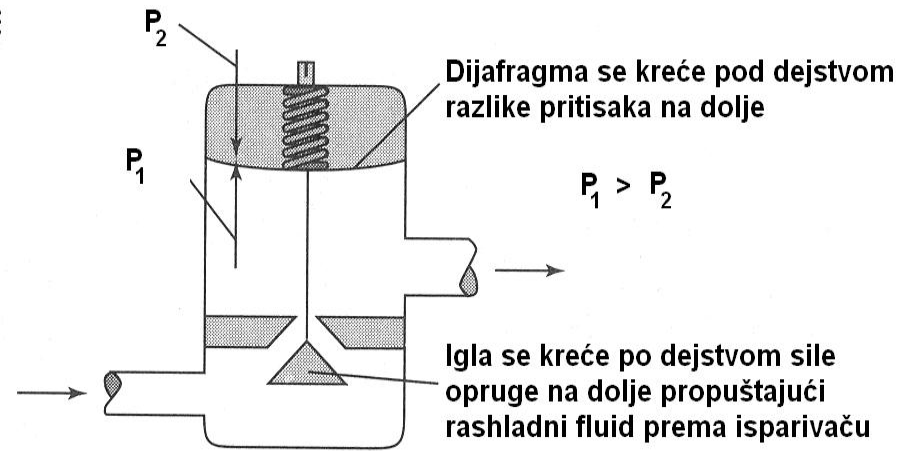
## Kapilarna cijev

- Osnovne karakteristike:
  - Jednostavna konstrukcija;
  - Primjenjuje se na instalacijama manjih rashladnih snaga kao što su kućanski aparati za hlađenje i zamrzavanje;
  - Fiksna vrijednost pada pritiska koja je određena dužinom kapilare i njenim prečnikom

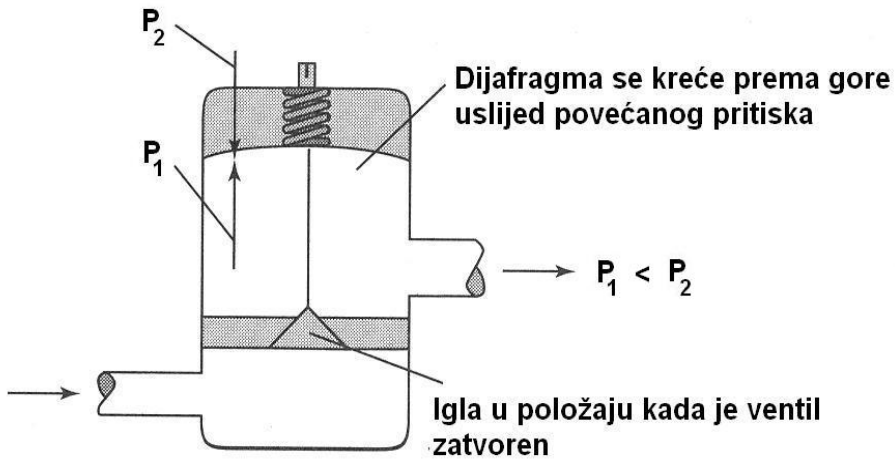
# UREĐAJI ZA PRIGUŠIVANJE (2)



a) Ventil u ravnotežnom položaju



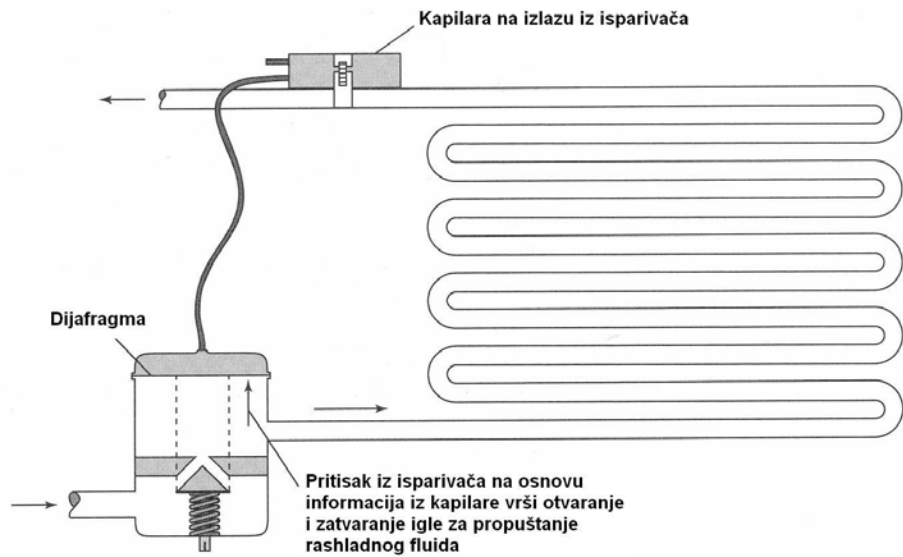
b) Ventil u položaju otvaranja



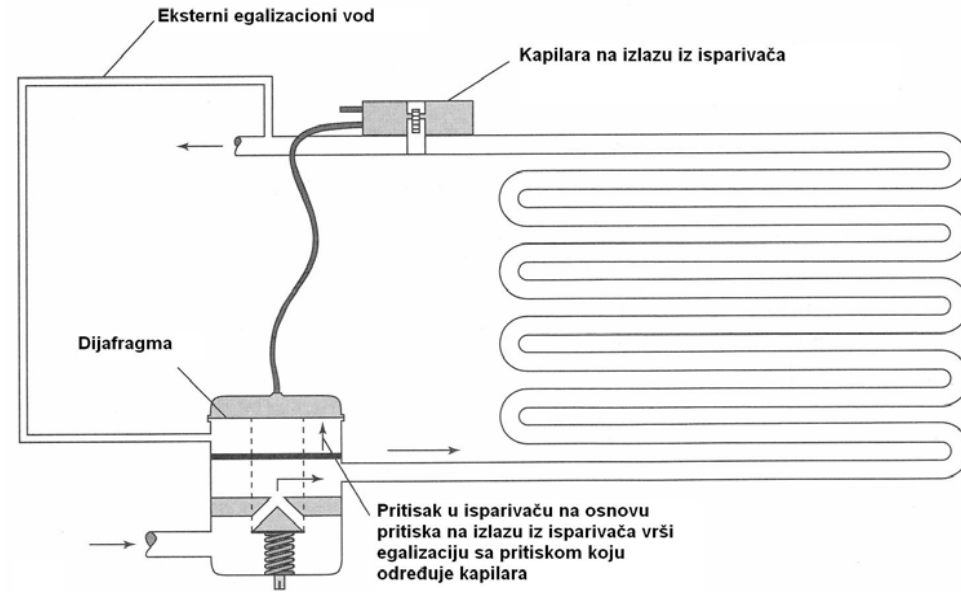
c) Ventil u položaju potpune zatvorenosti

- Ventili sa oprugom:
  - Konstantan pritisak u isparivaču;
  - Samoregulaciju na osnovu pritiska isparavanja;
  - Nemogućnost da se pojavi tečnost na ulazu u kompresor

# UREĐAJI ZA PRIGUŠIVANJE (3)



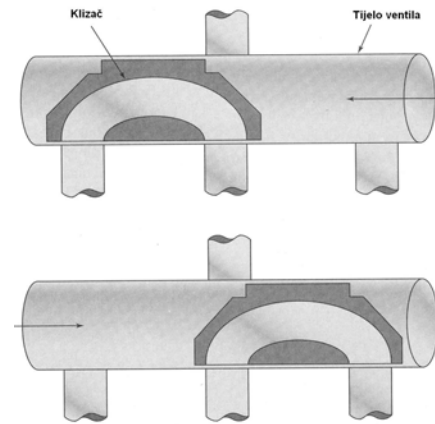
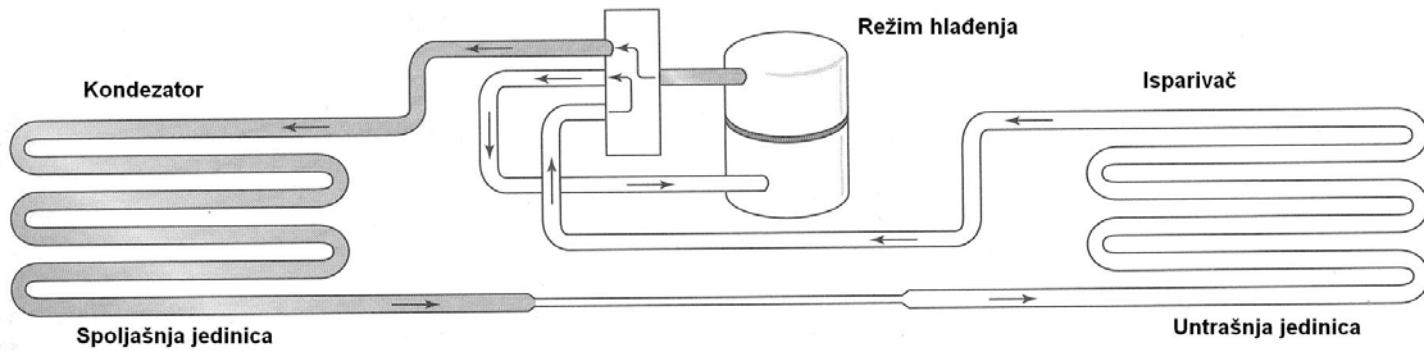
a) Ekspanzioni ventil sa kapilarom



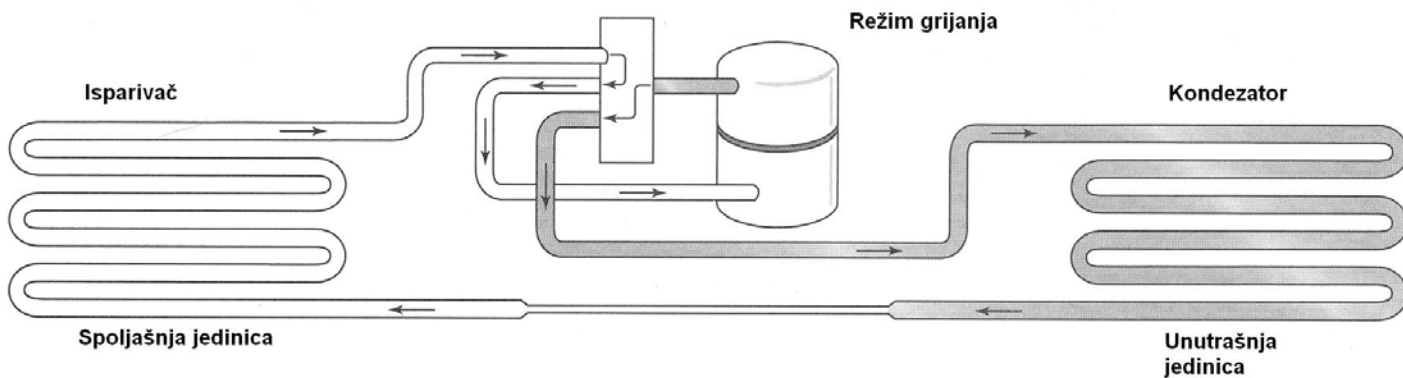
b) Ekspanzioni ventil sa kapilarom i egalizacionim vodom

- Ekspanzioni ventili sa kapilarom i egalizacijom:
  - Pritisak u isparivaču je kontrolisan kapilarom i egalizacijom;
  - Egalizacioni vod služi da smanji "kašnjenje" od strane kapilare koja je kontrolisana temperaturom pregrijavanja pare na izlazu

# PRINCIP PROMJENE REŽIMA LJETO - ZIMA



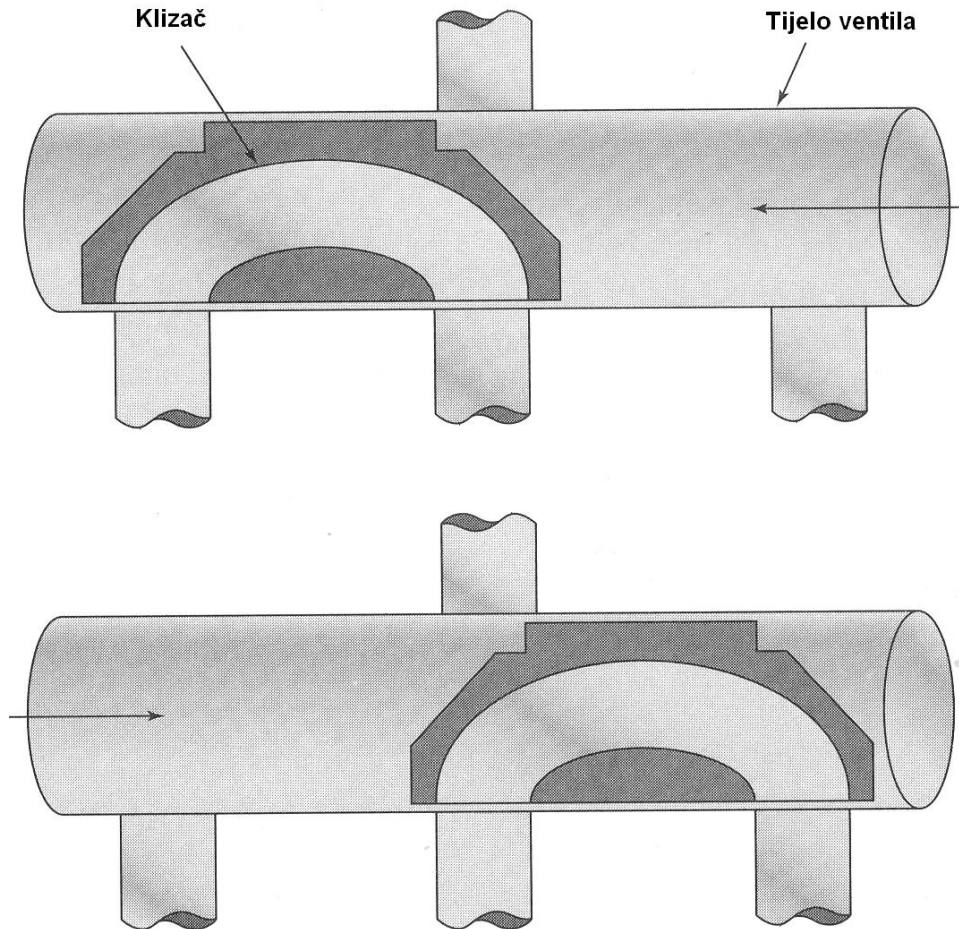
Režim hlađenja



Režim grijanja



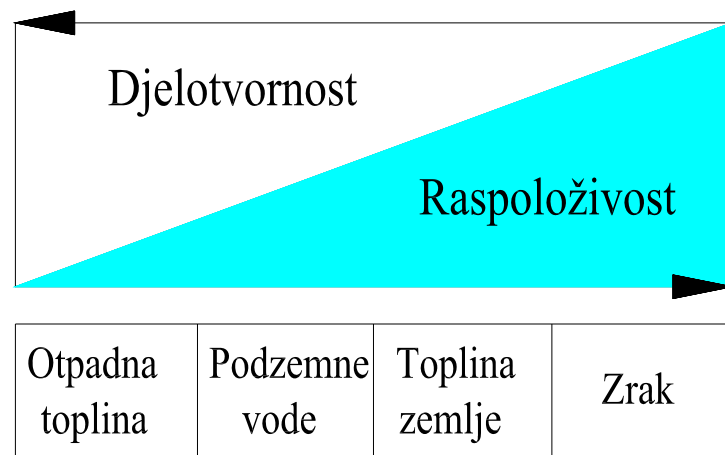
# VENTIL LJETO - ZIMA



- Ventil ljeta - zima:
  - Pogonjen je najčešće elektromagnetnom špulom;
  - Mijenja ulogu isparivača i kondenzatora;
  - Služi za određivanje instalacije tokom rada zimi ako je kondenzator vazduhom hlađen;

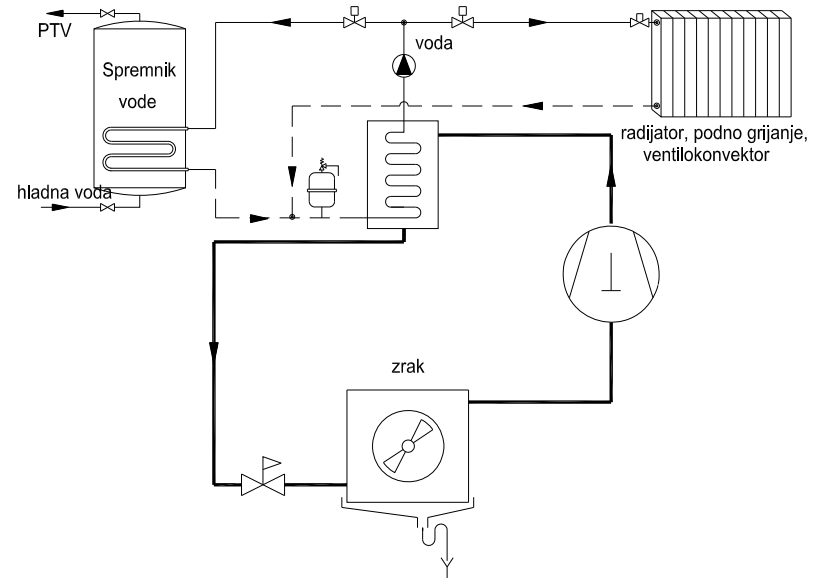
# ODABIR IZVORA TOPLOTE?

- Za postrojenje toplotne pumpe od najvećeg su značaja svojstva toplotnog izvora. Može se reći da je postrojenje za grijanje toplotnom pumpom onoliko dobro, koliko je dobar njegov toplotni izvor.
- Kao niskotemperaturni toplotni izvori koriste se voda (riječna, jezerska, morska i podzemna), vazduh, otpadna toplota iz nekog procesa, Sunčeva energija ili se isparivač zakopava u zemlju, pri čemu tlo predstavlja toplotni izvor.
- Na izvor toplote se postavlja niz zahtjeva među kojima su najvažniji sljedeći:
  - izvor treba da obezbijedi potrebnu količinu topline u svako doba;
  - Izvor treba da bude na što višoj temperaturi;
  - troškovi za priključenje toplotnog izvora na toplotnu pumpu trebaju biti što manji;
  - energija za transport toplote od izvora do isparivača toplotne pumpe treba biti što manja.

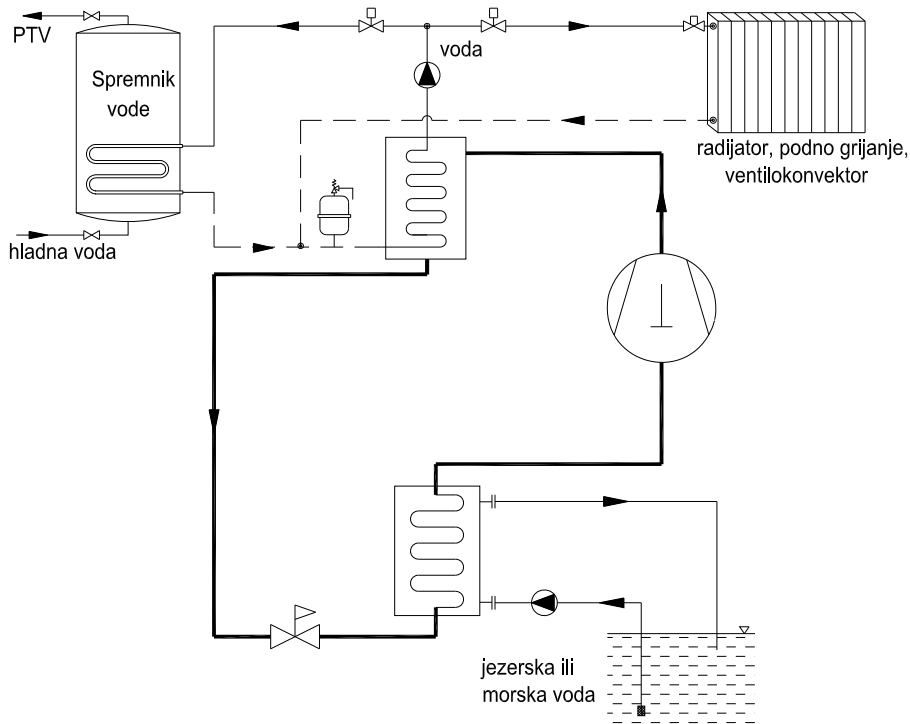


# VAZDUH KAO IZVOR TOPLOTE

- Vazduh je najveći i najpristupačniji izvor toplote;
- Najveća mana vazduha kao izvora su varijacije njegove temperature, što znatno utiče na smanjenje faktora grijanja (EER);
- U većini slučajeva obavezna je primjena dodatnog izvora grijanja (ekonomične su do temperature okoline od  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- Naslage leda najviše se stvaraju pri temperaturi vazduha oko  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (potrebno je odleđivanje isparivača svakih 1.5 do 2 sata);
- Za temperaturu okoline od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  odleđivanje isparivača svakih 5 sati ali tada je znatno manji stepen grijanja toplotne pumpe.



# POVRŠINSKE VODE KAO IZVOR TOPLOTE

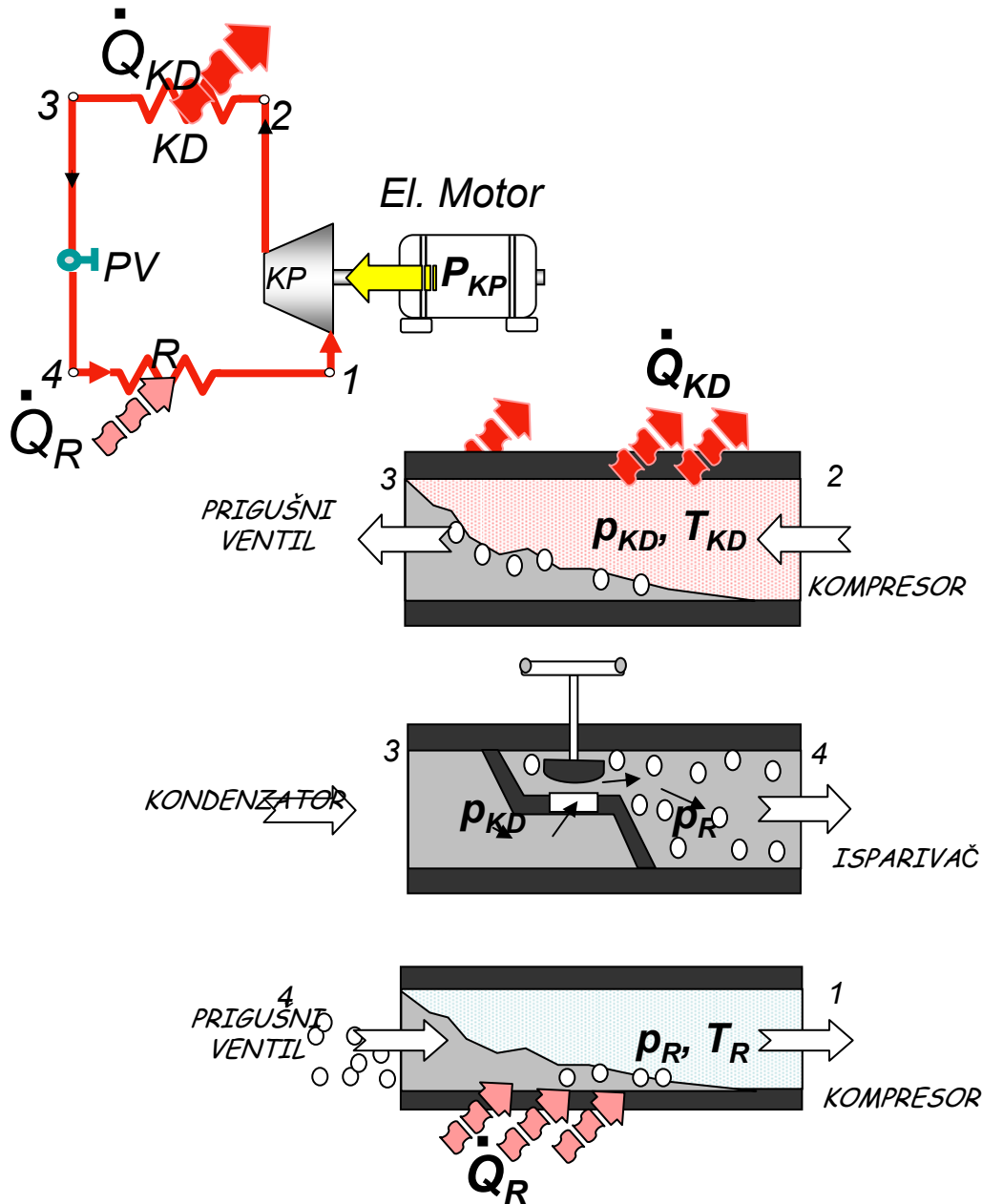


- Temperature riječne i jezerske vode se najčešće kreću od  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pa i onda kada se spoljna temperatura spušta do  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Kod dovoljno velikih jezera i na dovoljno velikim dubinama (oko 20 do 30 m), temperatura vode je obično preko cijele godine stalna i iznosi, već prema datim uslovima, od  $5$  do  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Nedostatak ovog izvora je ograničenost njegove primjene samo na mali broj potrošača koji leže uz rijeku ili jezero (more).

• Toplotne pumpe sa vodom kao izvorom toplote obezbjeđuju:

- Stalan režim rada i konstantan faktor grijanja;
- Manje dimenzije instalacije;
- Veći faktor grijanja COP u poređenju sa instalacijama sa vazduhom  $\text{COP} \sim 5$

# PROCESI U INSTALACIJAMA



## KONDENZATOR

Pregrijana para iz Kompresora dolazi u Kondenzator, hladi se odvođenjem fluksa  $\dot{Q}_{KD}$  i postaje tečnost,

## PRIGUŠNI VENTIL

Iz Kondenzatora ulazi tečni fluid u Prig. Ventil, prigušuje se sa  $p_{KD}$  na  $p_R$  usled čega temperatura fluida pada na  $T_R$ .

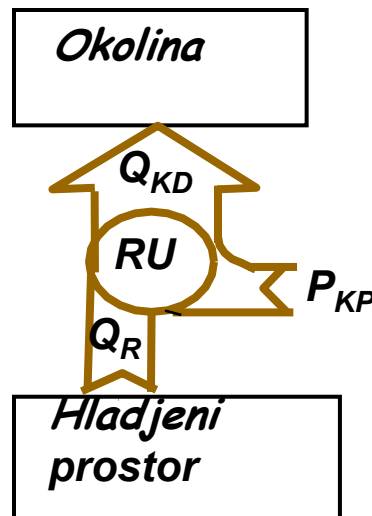
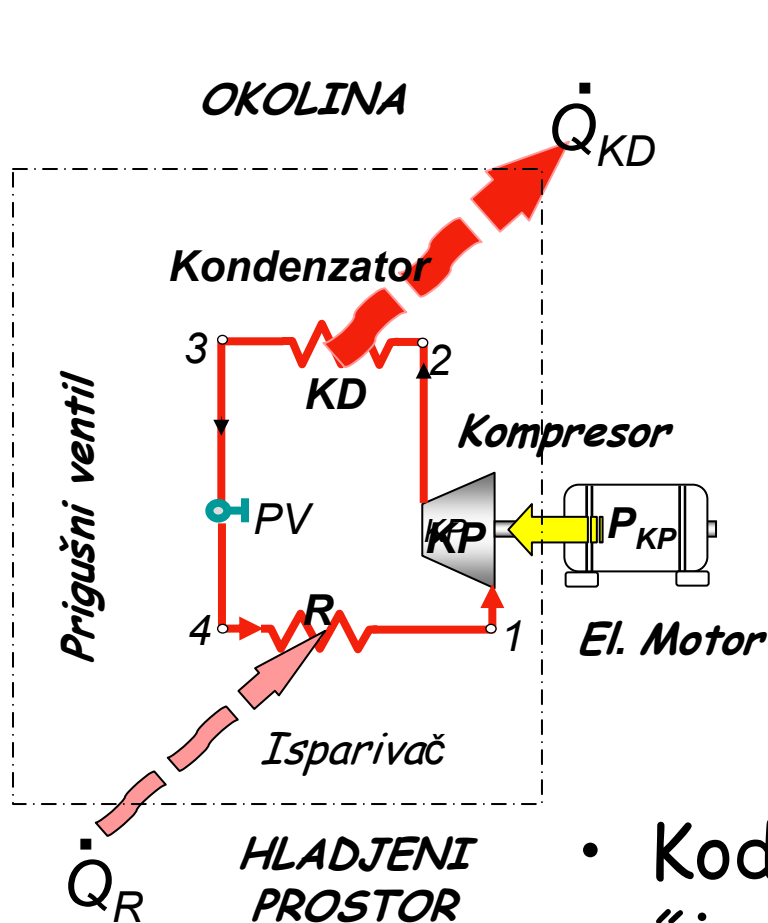
## ISPARIVAČ

U Isparivaču, gdje je niska temperatura  $T_R$ , tečni fluid sa malo pare isparava usled rashladnog fluksa  $\dot{Q}_R$  koji se oduzima hladjenom prostoru i predaje Isparivaču.

# PROCES HLAĐENJA

## Rashladni ciklus - Rashladni uređjaj

$$P_{KP} + \dot{Q}_R = \dot{Q}_{KD}$$



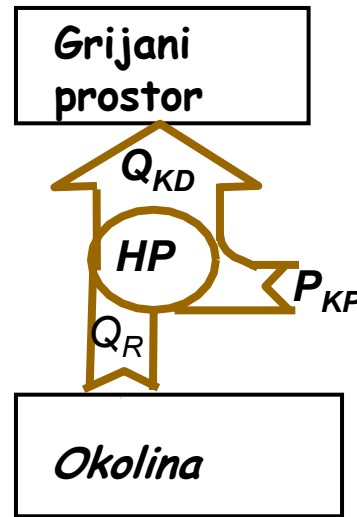
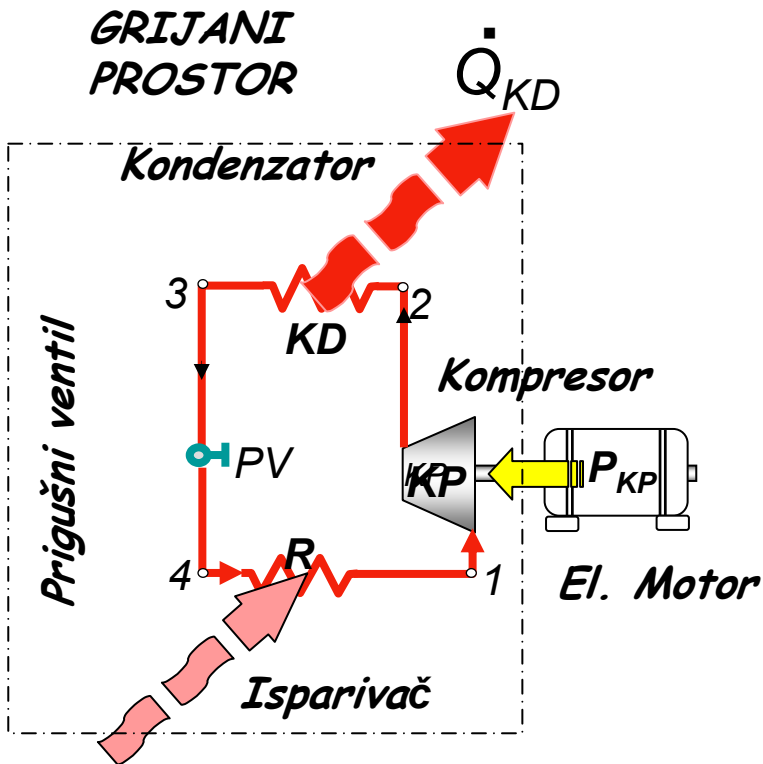
Energy  
Efficiency  
Ratio

$$EER = \frac{\dot{Q}_R}{P_{KP}}$$

- Kod hlađenja se toplota "ispumpava" iz prostora u okolinu

# PROCES GRIJANJA

$$P_{KP} + \dot{Q}_R = \dot{Q}_{KD}$$



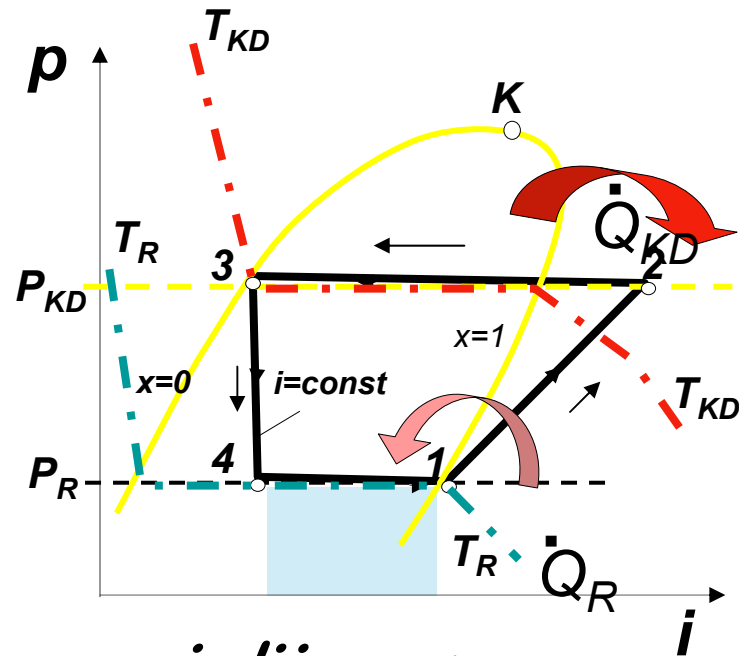
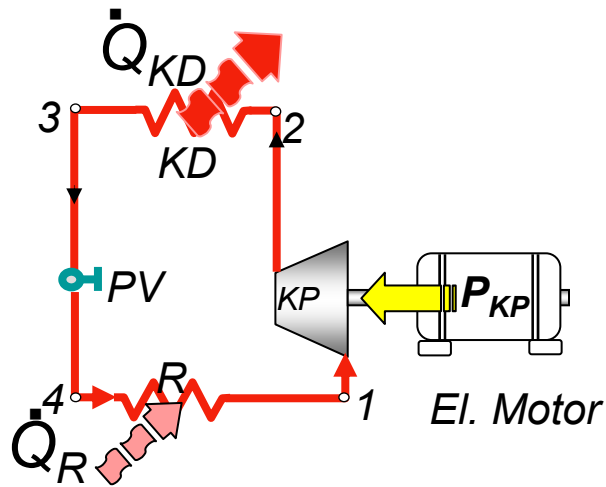
**Coefficient Of Performance**

$$COP = \frac{\dot{Q}_{KD}}{P_{KP}}$$

$\dot{Q}_R$  OKOLINA

- Kod grijanja se toplota "pumpa" iz okoline u prostor koji se zagrijava

# TERMODINAMIČKI CIKLUS



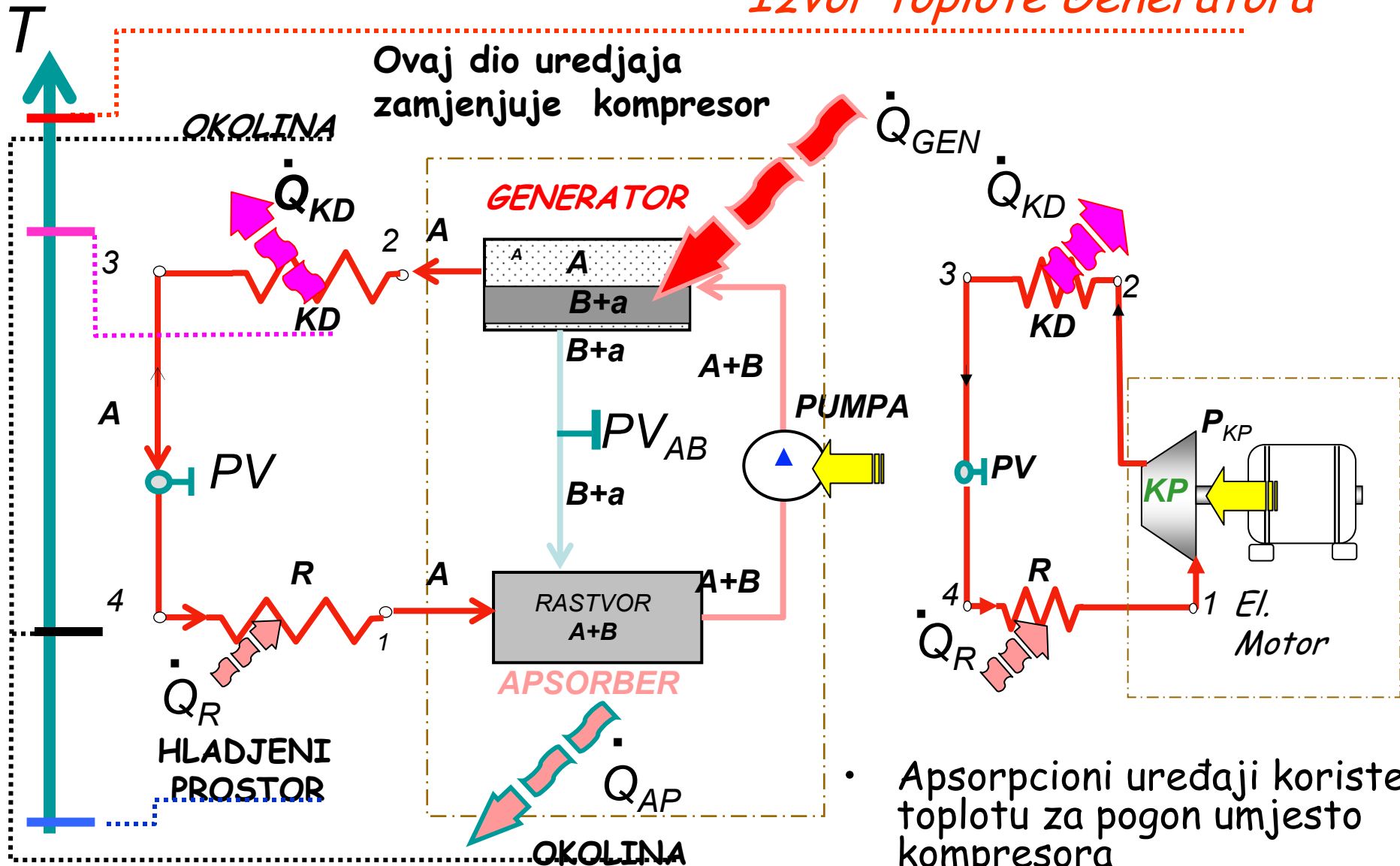
## *Rashladni ciklus u p - i dijagramu*

- Procesi rashladnim uređajima/toplotnim pumpama se odigravaju između dva pritiska:
  - Pritisak isparavanja;
  - Pritiska kondenzacije;
  - Kompresor vrši prebacivanje sa nižeg na viši pritisak i obezbeđuje cirkulaciju fluida kroz instalaciju;



# APSORPCIONI RASHLADNI UREĐAJI

*Izvor toplote Generatora*



- ApSORPCIONI uređaji koriste toplotu za pogon umjesto kompresora

# ZAKLJUČCI (1)

- Toplotne pumpe su istovremeno i rashladni uređaji;
- Toplotne pumpe su način da se efikasno dobije toplota tamo gdje ne postoje mogućnosti za korišćenje fosilnih goriva ili gdje nema centralizovanog snabdijevanja toplotom (toplane);
- Toplotne pumpe sa vazduhom imaju ograničenu primjenu tamo gdje je temperatura spoljašnjeg vazduha niska (ispod  $0^{\circ}\text{C}$ );
- Toplotne pumpe sa vodom nude veće mogućnosti:
  - Veći COP i EER
  - Stabilan rad ljeti i zimi uslijed konstantne temperature vode;
- Toplotne pumpe koje koriste zemlju su dobro rješenje u predjelima sa niskom spoljašnjom temperaturom i tamo gdje nema mogućnosti za korišćenje vode;

# ZAKLJUČCI (2)

- Apsorpcioni uređaji koriste toplotu za rad rashladnog uređaja;
- Apsorpcioni uređaji imaju manji stepen iskorišćenja (COP i EER) koji se kreće od 0.85 - 0.9;
- Apsorpcioni uređaji su idealni za korišćenje otpadne toplote u industrijskim procesima i tamo gdje postoji:
  - Lokalna proizvodnja električne energije i toplote;
  - Gdje postoji potreba za rashladnim kapacitetom;
- Kombinacija el. Energija + toplota + rashladna energija = 3G KOGENERACIJA.

# HVAI A NA PAŽNITI

