

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

Departman za energetiku i procesnu tehniku

Predmet: **RASHLADNI UREĐAJI**

Predmetni nastavnik:

dr Miroslav Kljajić, Vanr. Prof.

Asistent:

Vladimir Munćan, MSc

Prostorija 6, Blok F, SP

kljajicm@uns.ac.rs

Prostorija 9, Blok F, SP

vla.muncan@gmail.com

Pripremanje i polaganje ispita

ZA PRIPREMANJE ISPITA KORISTITI:

- Osnovni udžbenik, edicija FTN-a:
RASHLADNA TEHNIKA, Autori: Dušan Gvozdenac i Ištvan Vanjur
- Dostupne prezentacije na <http://dept.uns.ac.rs/> (*pisane sa više informacija*) i
- Ispitna pitanja (*koja mogu sadržati minimalne varijacije*)

ISPIT:

- Ispit se polaže pismenim putem i sastoji od 1 zadatka i 5 teorijskih pitanja, gde zadatak nosi **20 bodova** a teorijsko pitanje **od 0 do 14 bodova**. Ukupan broj bodova na ispitu je 90. Ispit se smatra položenim sa ostvarenih minimum 46 bodova (51% tačnih odgovora).
- Nakon što je ispit položen (sa više od 50 bodova) na ostvaren broj bodova dodaju se bodovi dodeljeni na osnovu prisustva nastavi (**0 do 10 bodova**).

DEFINICIJE I VRSTE HLAĐENJA

Hlađenje se može definisati kao proces za postizanje i održavanje temperatura koje su ispod okolnih, a sve u cilju hlađenja proizvoda ili prostora na zadanu temperaturu.

Hlađenjem se naziva proces pri kome se od nekog tela (sredine ili toplotnog izvora), odvodi toplota, predaje nekom drugom telu (okolini ili toplotnom ponoru), pri čemu se hlađenom objektu snižava temperatura.

Toplota odvedena od hlađenog tela naziva se **toplotom hlađenja** [jedinica - J], a odvedena toplota u jedinici vremena naziva se **rashladni kapacitet (snaga)** [W].

Vrste (načini) hlađenja:

1. Ako je temperatura hlađenog objekta viša od temperature okoline, proces se može odvijati spontano (sam od sebe), tj. bez utroška rada. Takvo hlađenje naziva se prirodnim hlađenjem.
2. Međutim, kada je temperatura okoline viša od temperature hlađenog tela, hlađenje ne može biti spontano, već se mora uključiti u neki pogodan proces, najčešće sa direktnim utroškom rada ili toplote. U tom slučaju, taj proces je neki od levokretnih kružnih procesa sa utroškom mehaničkog rada ili toplote. Takvo hlađenje naziva se veštačkim hlađenjem ili jednostavno – hlađenjem.

PRIMENA HLAĐENJA

Danas je teško pronaći neko polje čovekove delatnosti i života gde se, direktno ili indirektno ne koristi hlađenje. Primena se može klasifikovati na sledeći način:

1. Hlađenje kao glavni ili sporedni proizvodni proces:

- Industrijska primena (proizvodnja i prerada metala, hemijska, prehrambena, vojna, naftna, farmaceutska...),
- Utečnjavanje gasova,
- Medicina,
- Proizvodnja leda (veštačka klizališta), ...

2. Stvaranje i održavanje životnih i radnih uslova (termičkog komfora):

- klimatizacija prostora u kojima se živi, radi i/ili obavljaju različite aktivnosti (stambeni i poslovni prostor, supermarketi, server sale, hladnjače i sl.),
- primena rashladnih mašina u cilju grejanja (toplotne pumpe).

3. Za održavanje kvaliteta, tj. za usporavanje nepoželjnih promena hemijskih, biohemijskih i strukturnih karakteristika raznih proizvoda:

- Čuvanje kvarljivih proizvoda na odgovarajućim nižim temperaturama od okolnih (rashlađivanje, brzo zamrzavanje, skladištenje),
- transport.

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

RAZVOJ:

Pokretači razvoja tehnike hlađenja i klimatizacije su:

- Zadovoljenje ljudskih potreba za komforom i čuvanjem hrane.
- Razvoj različitih tehnologija, kao što su rashladni fluidi, primarni pokretači (motori), kompresori, upravljačke komp. itd.

POČECI HLAĐENJA:

- Pre mehaničkog hlađenja često se koristilo hlađenje ledom ili snegom koji se nalazio u okolini ili se donosio sa planina i ponekad se čuvao u podrumima.
- Rashlađivanje pića je ušlo u upotrebu od **1600.** godine u Francuskoj.

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

POČECI HLAĐENJA:

- Stanovnici Nove Engleske, Frederik Tjudor i Nataniel Vajat su videli mogućnost za biznis sa ledom i napravili su revoluciju u prvoj polovini **1800-tih** godina. *(Oni su eksperimentisali sa materijalima za izolaciju i sagradili skladišta leda, koja su smanjila gubitke od topljenja sa 66% na 8%).*
- Snabdevanje **prirodnim ledom** je postala industrija sama za sebe. Biznis je rastao, cene su opadale i hlađenje korišćenjem leda je postalo dostupno širokom sloju stanovništva.
- Međutim, kako je vreme prolazilo, ovakav led je bilo sve teže obezbediti. Industija je sve više zagađivala vodu, a time i prirodni led.
- Tehnologija hlađenja je ponudila rešenje u veštačkoj proizvodnji leda.
- **Do 1914. godine, mašine koje su instalirane u gotovo svim fabrikama za pakovanje u Americi bile su sistemi sa kompresijom amonijaka.**

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

POČECI HLAĐENJA (veštačkog, sa mehaničkom kompresijom):

- Prvo poznato veštačko rashlađivanje je demonstrirao Vilijem Kulen (*William Cullen*) na Univerzitetu u Glazgovu **1748.** godine. Kulen je ostvario uslove da etiletar proključa u delimičnom vakuumu, uz dovođenje toplote iz okoline.
- Ferdinand Kare (Ferdinand Carré) iz Francuske razvio je **1859.** sistem sa kompresijom amonijačne pare umesto vazduha.
- Kareovi rashladni uređaji su se široko koristili i uređaji sa kompresijom pare su postali, i još uvek jesu, najrasprostranjeniji metod hlađenja. → Međutim, cena, veličina, i kompleksnost sistema za hlađenje toga vremena povezano sa toksičnošću amonijaka, sprečili su generalno korišćenje mehaničkih frižidera u domaćinstvima.

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

RAZVOJ RASHLADNIH FLUIDA

- Uprkos nedvosmislenim prednostima, tehnologija hlađenja je bila suočena i sa problemima.
- Rashladna sredstva tog doba, kao što su sumpor-dioksid i metil-hlorid, su vrlo otrovni i uzrokovali su i smrt. Amonijak je imao jednako toksičan efekat, ako bi istekao u okolinu.
- Inženjeri su tragali za prihvatljivim zamjenama ovih rashladnih sredstava sve do 1920-tih godina kada je firma "Frižider" (*Frigidaire*) razvila sintetička rashladna sredstva nazvana **halogeni ugljenici ili CFC** (hlorofluorougljenici).
- Najpoznatija od tih supstanci je patentirana pod zaštitnim imenom **FREON**. To je gas bez mirisa, a toksičan je samo u ekstremno velikim dozama.

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

ULAZAK RASHLADNE TEHNIKE U INDUSTRIJU

Industrije za proizvodnju leda, pivare i industrije za pakovanje mesa bile su glavni korisnici, a i mnoge druge industrije su uvidele prednosti:

- Proizvodnja gvožđa (uklonjena vlaga iz vazduha koji se dovodi u visoku peć)
- Fabrike tekstila su koristile hlađenje za mercerovanje, beljenje i farbanje
- U rafinerijama nafte je hlađenjem znatno unapređena tehnologija,
- Proizvodnja papira, lekova, sapuna, lepka, parfema, fotografskih materijala...
- Skladišta za krzno i vunenu robu su mogla da se reše moljaca.
- Rasadnici i cvećare - zadovoljavanje sezonskih potreba
- Medicina je na više načina iskoristila prednosti rashladne tehnike
- Uslužne delatnosti, kao što su hoteli, restorani, saloni i pultovi za napitke su se pokazali kao veliko tržište za led i hlađenje generalno.
- Vojna industrija tokom I svetskog rata

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

PROBLEMI RASHLADNE TEHNIKE U INDUSTRIJI

- Šervud Roland i Mario Molina su **1974. godine** predvideli da će hlorofluorouglenici, kao rashladni gasovi, doći do visoke stratosfere i tamo oštetiti zaštitni omotač kiseonikovog alotropa, ozona.
- Godine 1985. je otkrivena **ozonska rupa*** iznad Antarktika i do 1990. godine Rolandovo i Molinovo predviđanje se pokazalo tačnim.

** Ozonska rupa nije tehnički rupa gde nema ozona, nego je ustvari oblast sa posebno smanjenim sadržajem ozona u stratosferi iznad Antarktika.*

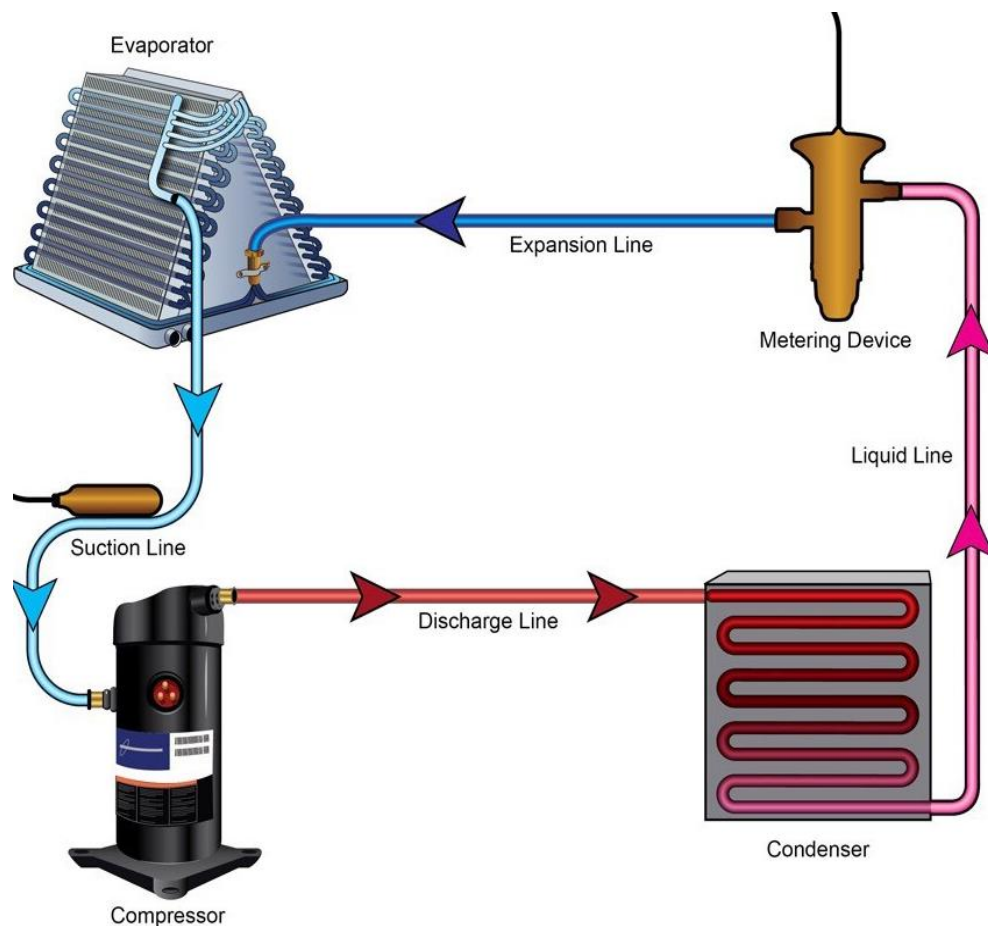
Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

RAZVOJ TEHNIKA HLAĐENJA (1)

KOMPRESORSKI RASHLADNI UREĐAJ

Osnovne komponente sadašnjih modernih sistema za hlađenje sa kompresijom pare:

1. Kompresor,
2. Kondenzator,
3. Ekspanzioni uređaj, *(koji može da bude ventil, kapilarna cev, motor ili turbina)*
4. Isparivač.



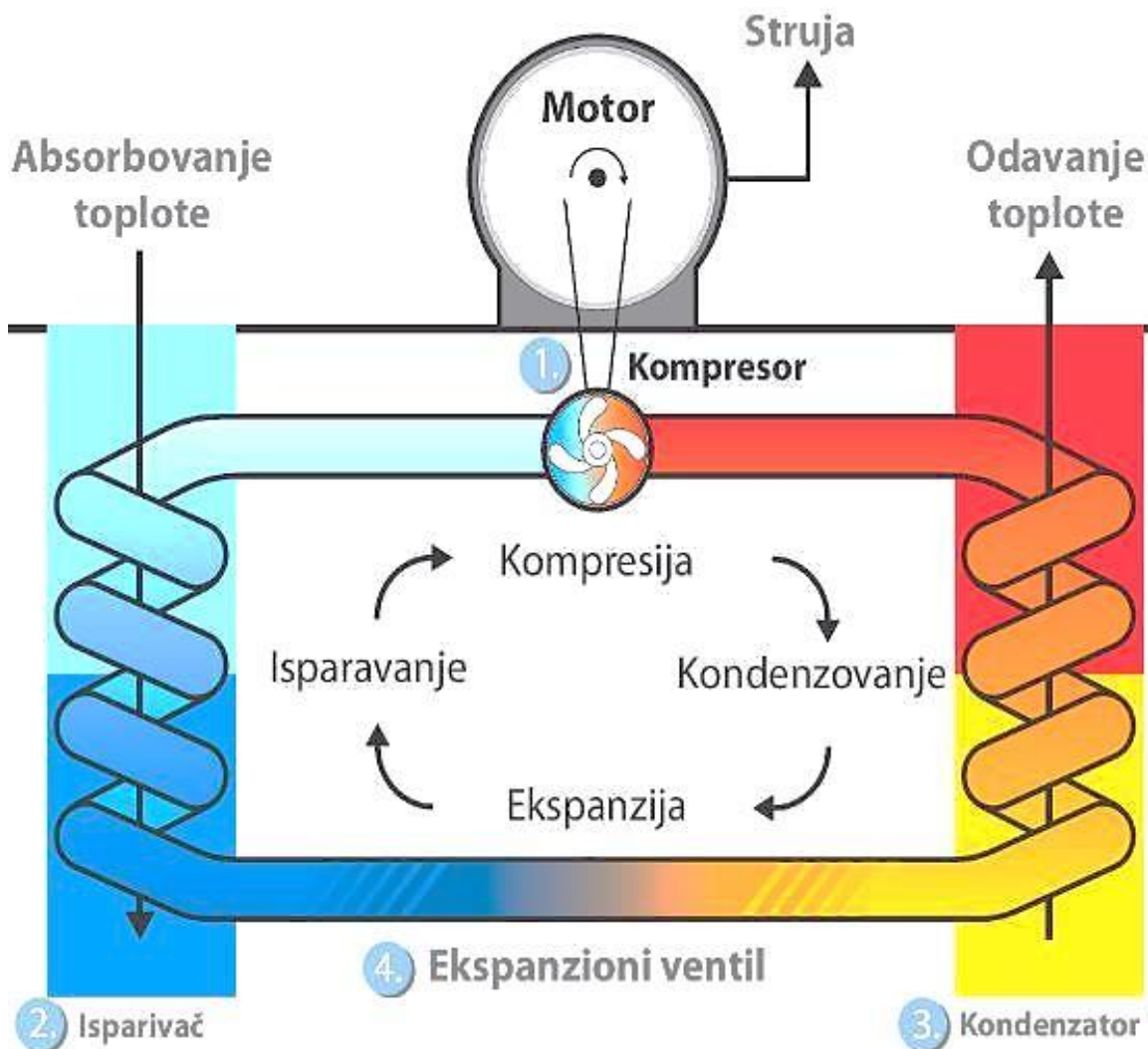
KOMPRESORSKI RASHLADNI UREĐAJ

Gasno rashladno sredstvo se komprimuje, i potiskuje u kondenzator.

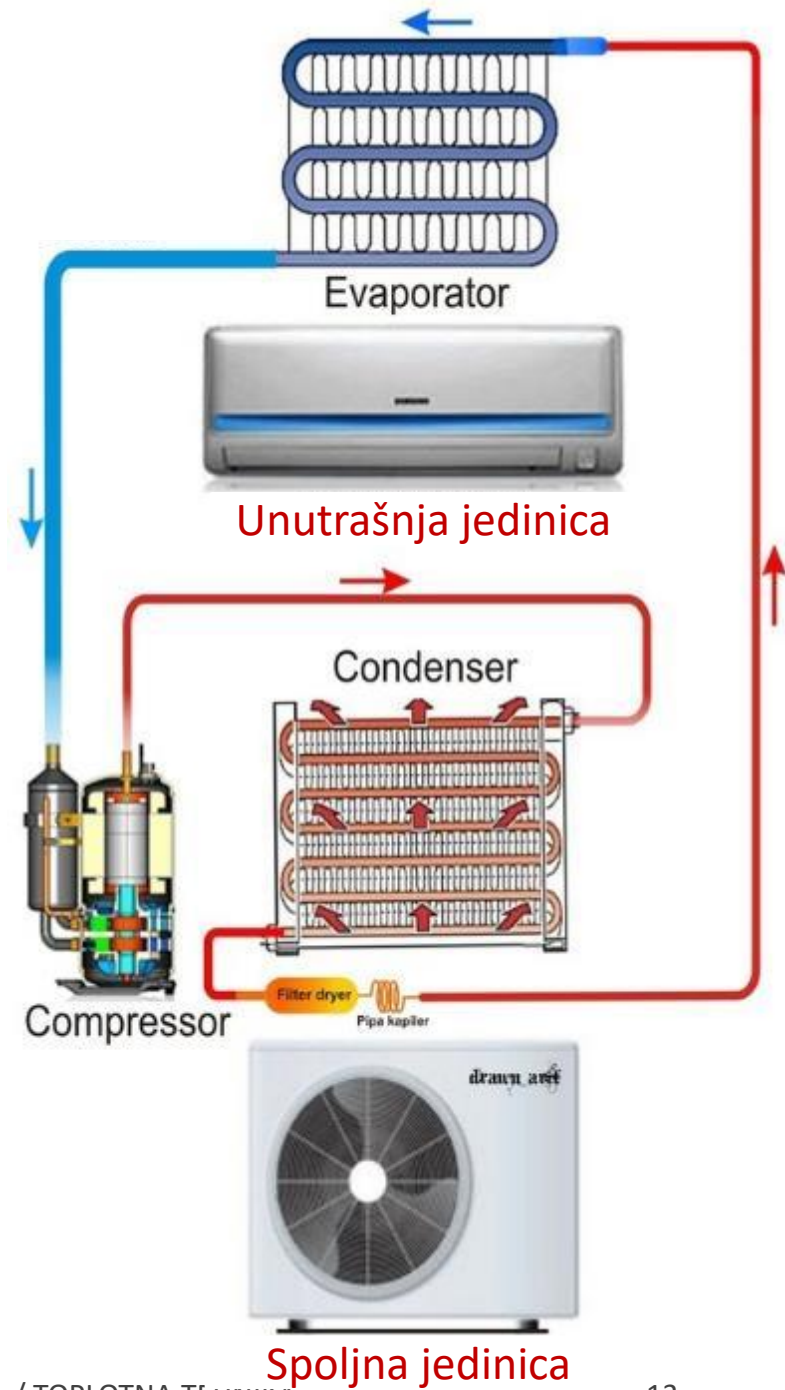
U kondenzatoru para visokog pritiska se hladi i kondenzuje. Pri tome se toplota odvodi vodom ili vazduhom.

Tečnost visokog pritiska se prigušuje u ekspanzionom uređaju, a stvorena smeša pare i tečnosti niskog pritiska se vodi u isparivač.

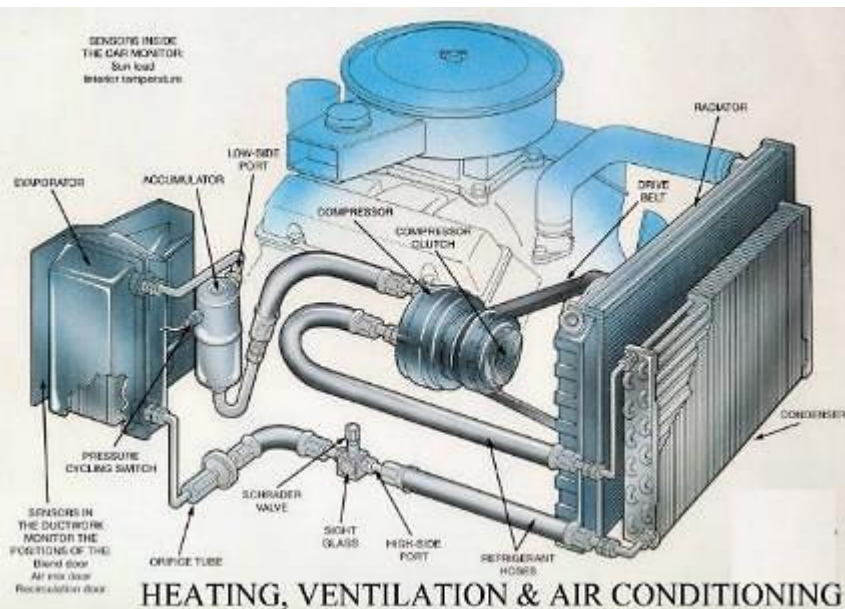
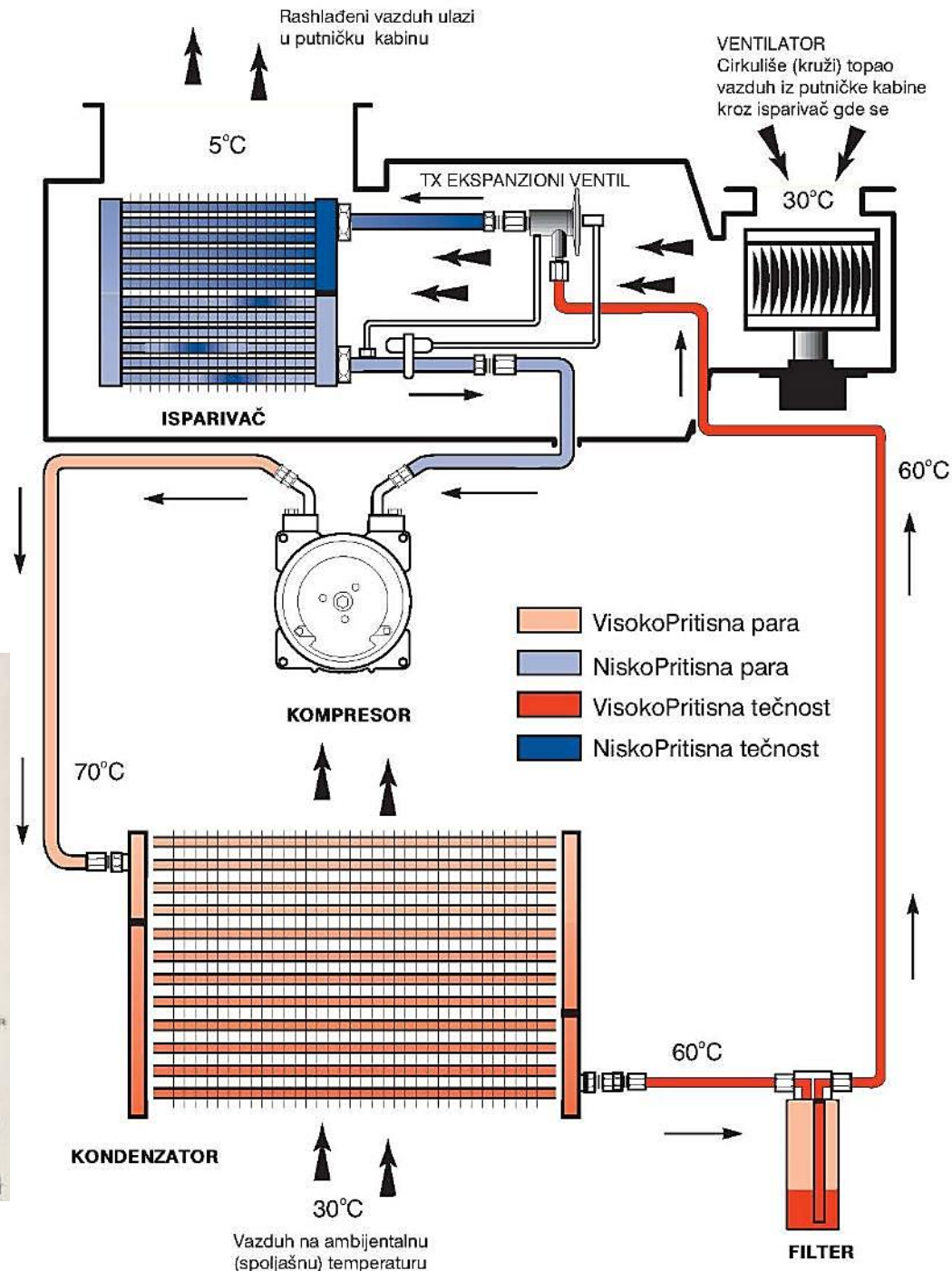
U isparivaču tečnost isparava, uz dovođenje toplote. Nakon isparavanja pregrejana para niskog pritiska biva usisana kompresorom.

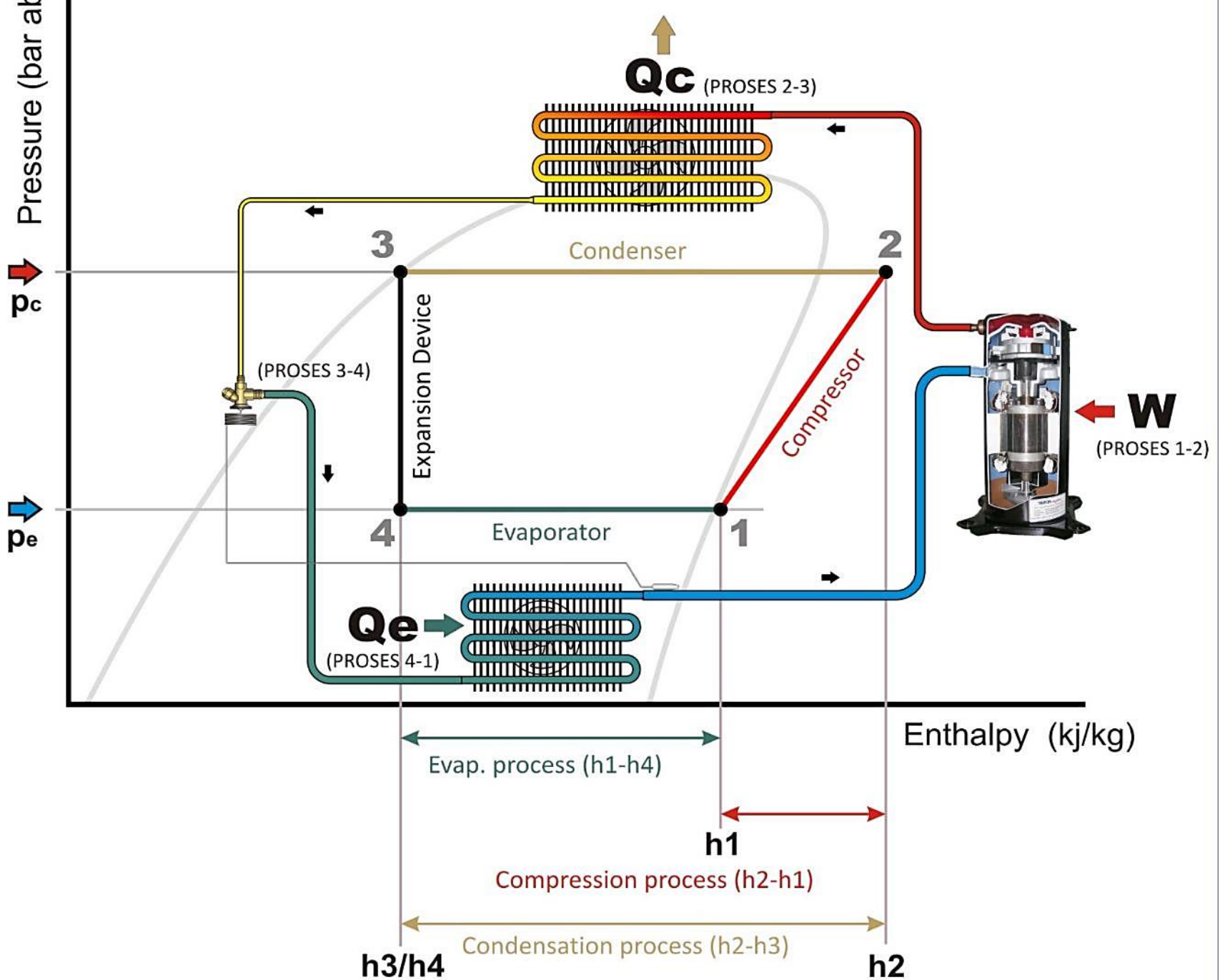


PRIMENA: Sobni „klima“ uređaj



PRIMENA: Automobilski rashladni uređaj





Refrigerant R22

COP 4.17

heat rejection

q_c 202.2 kW

t_a 35.0 °C

d_{tc} 10.0 C

s_c 5.0 °C

t_l 40.0 °C

t_c 45.0 °C

condenser ✓

HP, a 1734.7 kPa

SDT 45.0 °C

t_d 82.7 °C

compressor

p_w 39.1 kW

LP, a 562.66 kPa

SST 5.0 °C

t_s 12.5 °C

expansion valve

m_r 1.000 kg/s

x 0.22

evaporator ✓

t_e 5.0 °C

cooling load

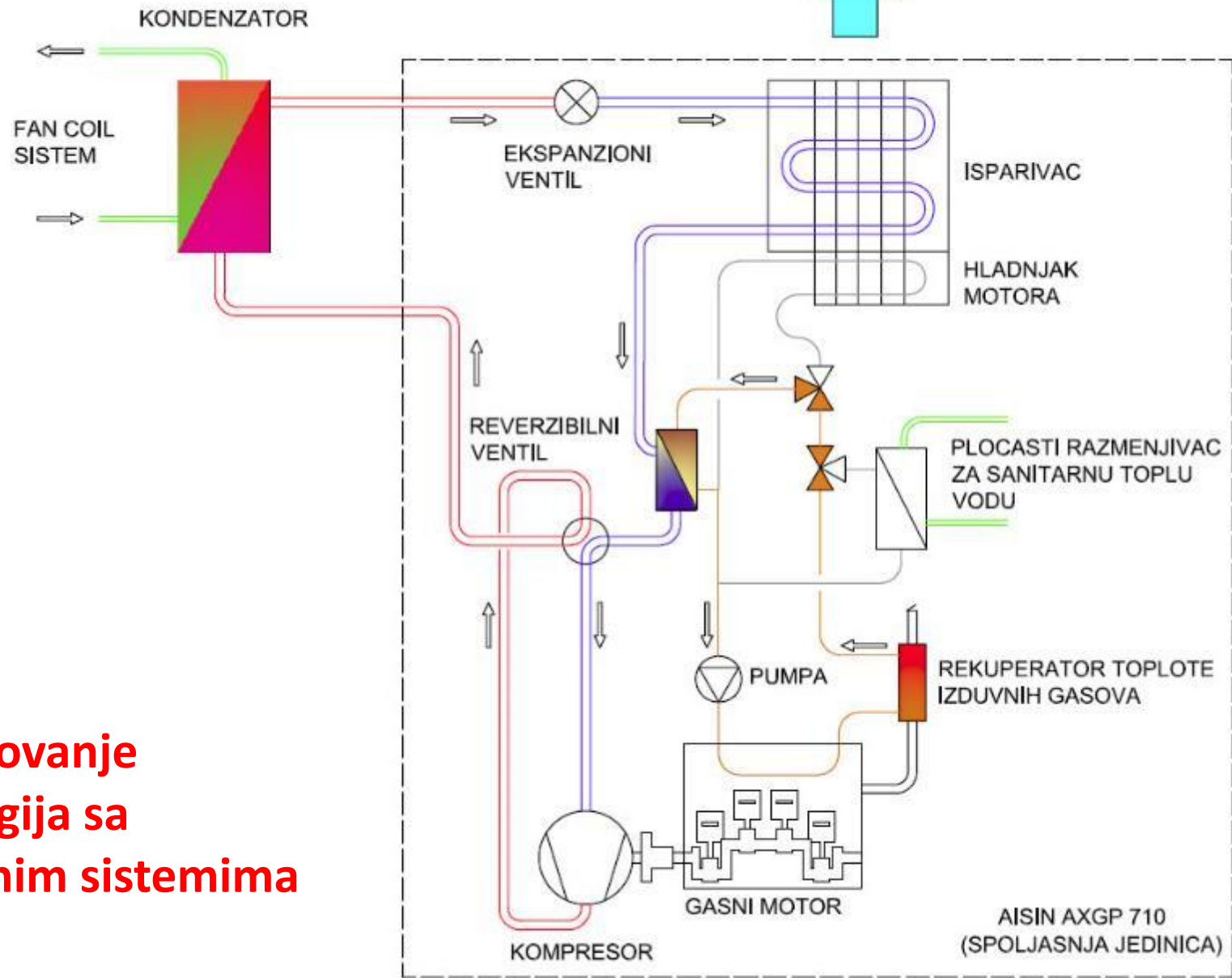
q_e 163.1 kW

t_r 23.0 °C

d_{te} 18.0 C

s_h 7.5 °C

HLADAN VAZDUH



Kombinovanje tehnologija sa rashladnim sistemima

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

RAZVOJ TEHNIKA HLAĐENJA (2)

APSORPCIONI RASHLADNI UREĐAJ

- Baltzar fon Platen (*Baltzar von Platen*) i Karl Manters (*Carl Munters*) su **1922.** godine, dok su još bili studenti na Kraljevskom institutu za tehnologiju u Stokholmu, Švedska (*Royal Institute of Technology*), konstruisali apsorpcioni rashladni uređaj sa tri fluida.
- Komercijalna proizvodnja je počela 1923. godine u novoosnovanoj kompaniji "AB Arctic", koju je kupio "Electrolux" 1925. godine.
- Apsorpciono hlađenje je doživelo renesansu 60-tih godina, zbog znatne potražnje frižidera za pokretne prikolice.

Istorijski pregled razvoja rashladne tehnike

RAZVOJ TEHNIKA HLAĐENJA (3)

TOPLLOTNE PUMPE

- Teorija toplotne pumpe je potekla iz Karnovog (*Carnot*) rada iz **1824.** godine o termodinamičkim ciklusima. Lord Kelvin je 30 godina kasnije predložio upotrebu rashladnog ciklusa za grejanje. To je bio početak TP.
- **1912.** godine u Cirihu je instalirana TP, koja je koristila rečnu vodu za grejanje životnog prostora. To je bila prva veća instalacija u svetu.
- Industrija TP počela je naglo da se razvija početkom **1940-tih i 50-tih** godina, dolazi do ekspanzije u razvoju malih TP za domaćinstva.
 - Poseban podstrek je ovaj razvoj imao u činjenici da toplotna pumpa može da se koristi i za grejanje, ali i za hlađenje.
 - Pojavom energetske krize početkom 1970-tih toplotna pumpa ponovo dobija stimulans u razvoju, zbog mogućnosti iskorišćenja i otpadne niskotemperaturske toplote.

Principi hlađenja

A. HLAĐENJE ISPARAVANJEM

- Hlađenje isparavanjem je proces snižavanja temperature sistema isparavanjem vode. Efekat se postiže putem apsorbcije **latentne toplote** iz sredine koju hoćemo da ohladimo a koja je potrebna za isparavanje vode.

B. HLAĐENJE SONIM RASTVORIMA

- Izvesne supstance, kao što je obična kuhinjska so, dodavanjem vodi rastvaraju se i pri tome apsorbuju toplotu iz vode (endotermički proces).
- Time se snižava temperatura rastvora (voda + so). So natrijum-hlorida (NaCl) može da snizi temperaturu vode ako se rastvori u njoj do -20°C , a kalcijum-hlorid (CaCl_2) i do -50°C . *Međutim, za sada taj proces ima ograničenu primenu jer proces nije ekonomičan.*

Principi hlađenja

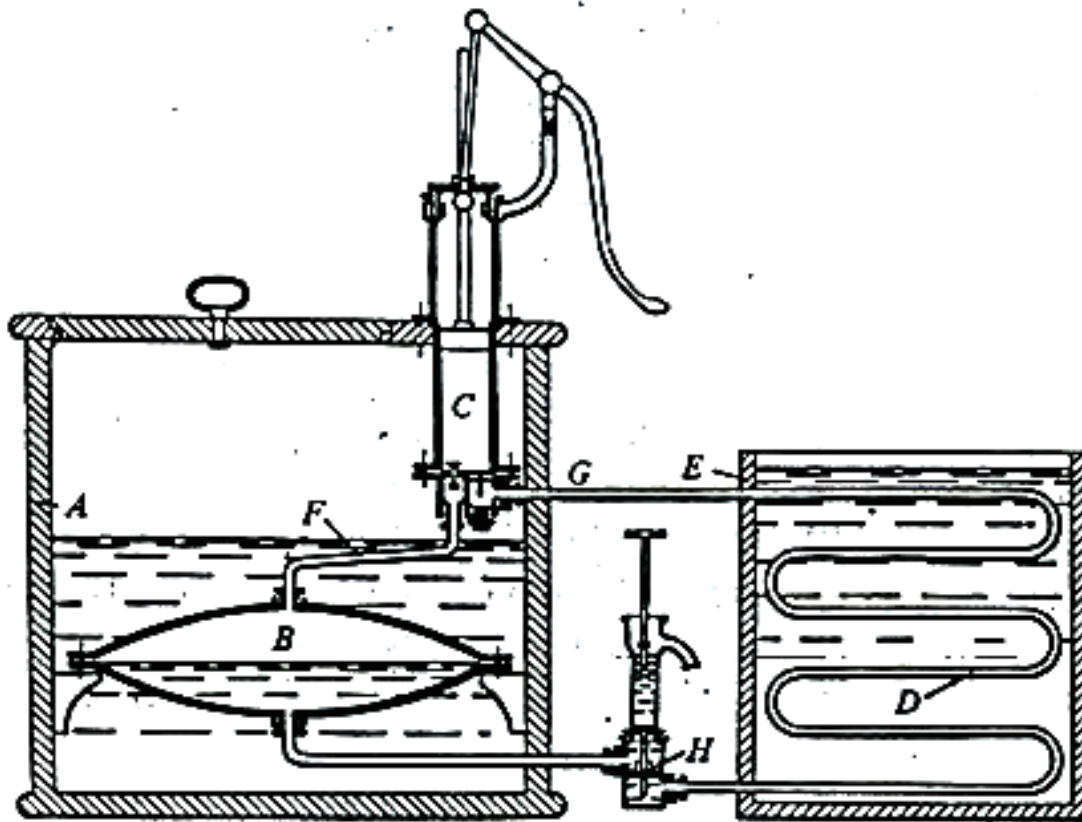
C. SISTEMI HLAĐENJA SA KOMPRESIJOM PARE

- Osnova modernog hlađenja je sadržana u činjenici da tečnost može da apsorbuje veliku količinu toplote u procesu ključanja.
Vilijam Kulen (William Cullen) demonstrirao je ovo 1755. godine
- **Ovaj proces je uključio termodinamičku pojavu da snižavanjem pritiska može da nastane isparavanje na nižoj temperaturi i obrnuto, ako se poveća pritisak ključanje će se desiti na višoj temperaturi.**
- Proces kondenzacije zahteva odvođenje toplote u okolinu i on je obrnut od procesa isparavanja.

Principi hlađenja

C. SISTEMI HLAĐENJA SA KOMPRESIJOM PARE

- Jakob Perkins (Jacob Perkins) je konstruisao sistem koji je radio po opisanom principu. Svoj pronalazak patentirao je **1834. godine**



Prvi rashladni sistemi su koristili etil ili metil eter. Od 1850. godine su u upotrebu uvedeni i amonijak (NH_3) i ugljen-dioksid (CO_2).

Principi hlađenja

PRIMENA SISTEMA SA KOMPRESIJOM PARE U DOMAĆINSTVIMA

Frižider za domaćinstvo koji koristi prirodni led (sanduk sa ledom) je u upotrebi **od 1803. god. i koristio se gotovo 150 godina**, bez mnogo izmena.

Razvoj mehaničkih frižidera za domaćinstva omogućen je razvojem malih kompresora, kontrolnih sistema, usavršavanjem elektromotora itd.

Kompanija "General Elektrik" (*General Electric Company*) predstavila je prvi frižider za domaćinstvo **1911. god.**, a odmah nakon njih (**1915. god.**) su se pojavili i domaći hladnjaci firme "Frižider" (*Frigidaire*).

Godine 1925, SAD su imale oko 25 miliona frižidera za domaćinstva od kojih je samo 75.000 bilo mehaničkih (*do 1949. godine se godišnje proizvodilo oko 7 miliona frižidera*). Pošto se obim proizvodnje povećavao tako je i cena naglo padala (cena je bila 600 dolara 1920. god. i 155 dolara 1940. god.).

Prvobitni frižideri za domaćinstva su uglavnom koristili sumpor-dioksid, kao rashladno sredstvo. Neki aparati su koristili metil-hlorid i metilen-hlorid. Ova rashladna sredstva su zamenjena freonom (R12) 1930-tih godina.

Principi hlađenja

PRIMENA SISTEMA SA KOMPRESIJOM PARE U DOMAĆINSTVIMA

TIPOVI FRIŽIDERA:

Komercijalne frižidere za domaćinstva koji se zasnivaju na principu apsorpcije, prva je lansirala kompanija "Electrolux" **1931. godine** u Švedskoj.

U Japanu je prvi mehanički frižider za domaćinstva napravljen **1924. god.**

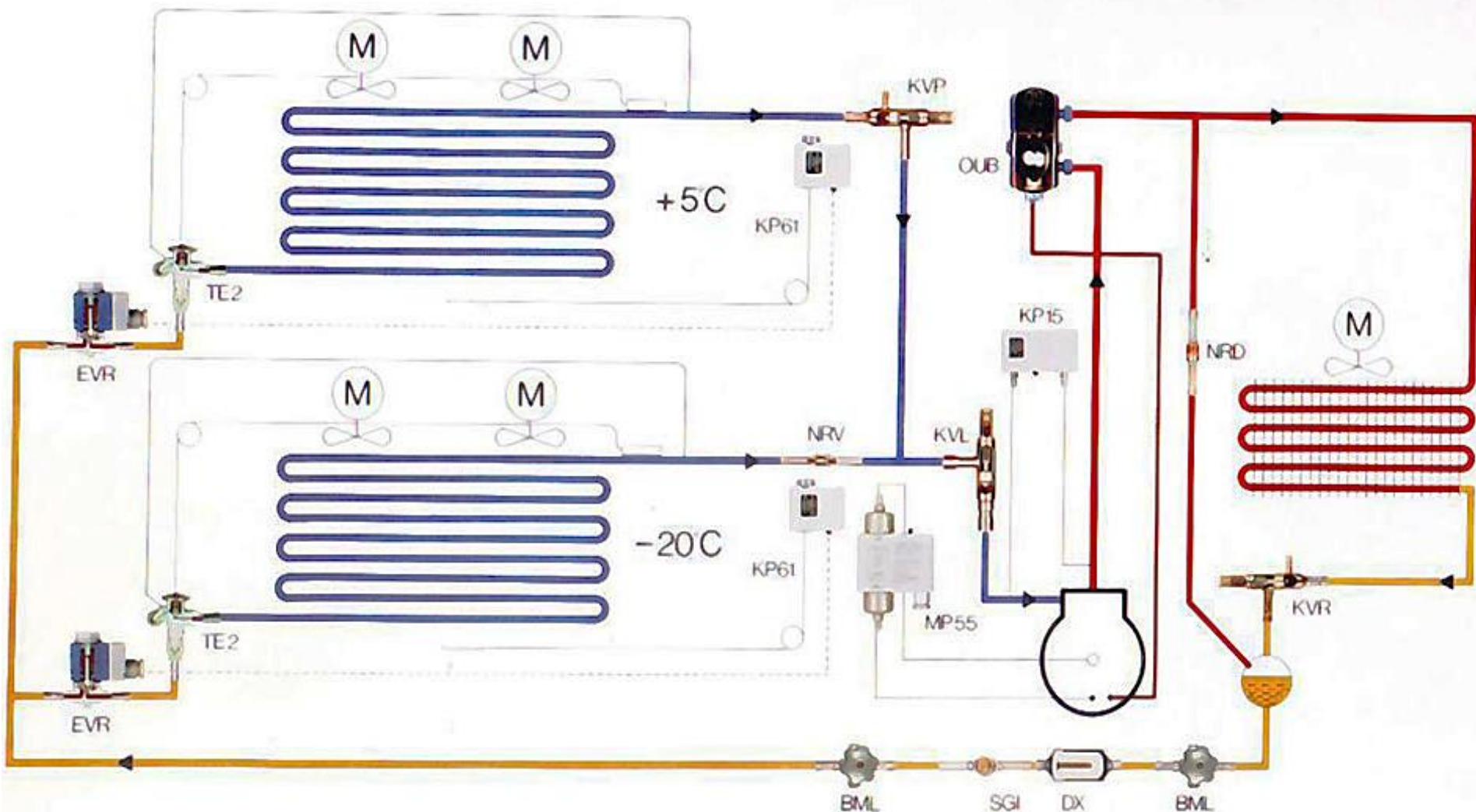
Osim malog broja, gotovo svi sadašnji frižideri za domaćinstva su mehanički frižideri koji koriste hermetički kompresor i vazduhom hlađeni kondenzator.

Moderni frižideri koriste ili **HFC-134a (hidro-fluor-ugljenik)** ili **izobutan**, kao rashladno sredstvo.

Prvi frižider sa dvostrukom temperaturom (zamrzivač-frižider) za domaćinstva je predstavljen **1939. godine.**

PRIMENA U DOMAĆINSTVU I KOMERCIJALNA PRIMENA

Rad sa dva temperaturska režima



Principi hlađenja

PRIMENA SISTEMA SA KOMPRESIJOM PARE ZA KLIMATIZACIJU

Prvi sistemi su se koristili kako za industrijske potrebe tako i za klimatizaciju, zbog komfora.

Istman Kodak (*Eastman Kodak*) je instalirao prvi sistem za klimatizaciju **1891. godine** u Ročesteru, Njujorku, za čuvanje fotografskih filmova.

Sistem za klimatizaciju je instalisan u jednoj štampariji **1902. godine** i u telefonskoj centrali u Hamburgu **1904. godine**.

Mnogi sistemi su postavljeni u fabrikama duvana i tekstila oko **1900. god.**

Prvi sistem za klimatizaciju u domaćinstvu je postavljen u kući u Frankfurtu **1894. godine**.

Privatna biblioteka u Sent Luisu, SAD, je imala klimatizaciju **1895. godine**, a kazino u Monte Karlu je dobio klimatizaciju **1901. godine**.

Principi hlađenja

PRIMENA SISTEMA SA KOMPRESIJOM PARE ZA KLIMATIZACIJU

Široka rasprostranjenost razvoja klimatizacije se pripisuje američkom naučniku i industrijalcu Vilisu Kerijeru (*Willis Carrier*). Karijer je ispitivao kontrolu vlažnosti i konstruisao centralni uređaj za klimatizaciju **1904. god.**

Klimatizacija je brzo postala veoma popularna, a danas je klimatizacija u velikom broju zemalja postala uobičajeni standard u stanovanju, u kancelarijama, komercijalnim zgradama, aerodromima, bolnicama i u mobilnoj primeni kao što su železnički vagoni, automobili, avioni, itd.

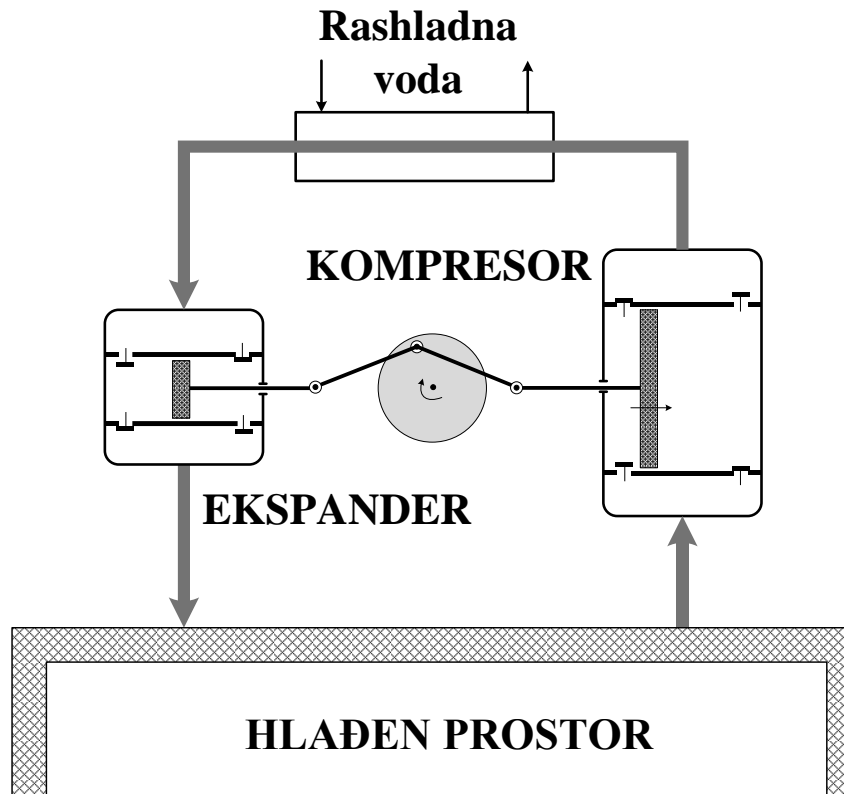
► **Industrijska klimatizacija je u mnogome doprinela rastu moderne elektronike, farmaceutske i hemijske industrije, itd.**

Većina današnjih sistema za klimatizaciju koristi ili sistem hlađenja sa kompresijom pare ili sistem hlađenja s apsorpcijom pare. Kapaciteti se razlikuju od nekoliko kilovata do nekoliko megavata.

Principi hlađenja

D. GASNI CIKLUS HLAĐENJA

Ako se vazduh pod visokim pritiskom širi i obavlja rad (recimo pokreće klip ili pokreće turbinu), njegova temperatura će da se sniziti.

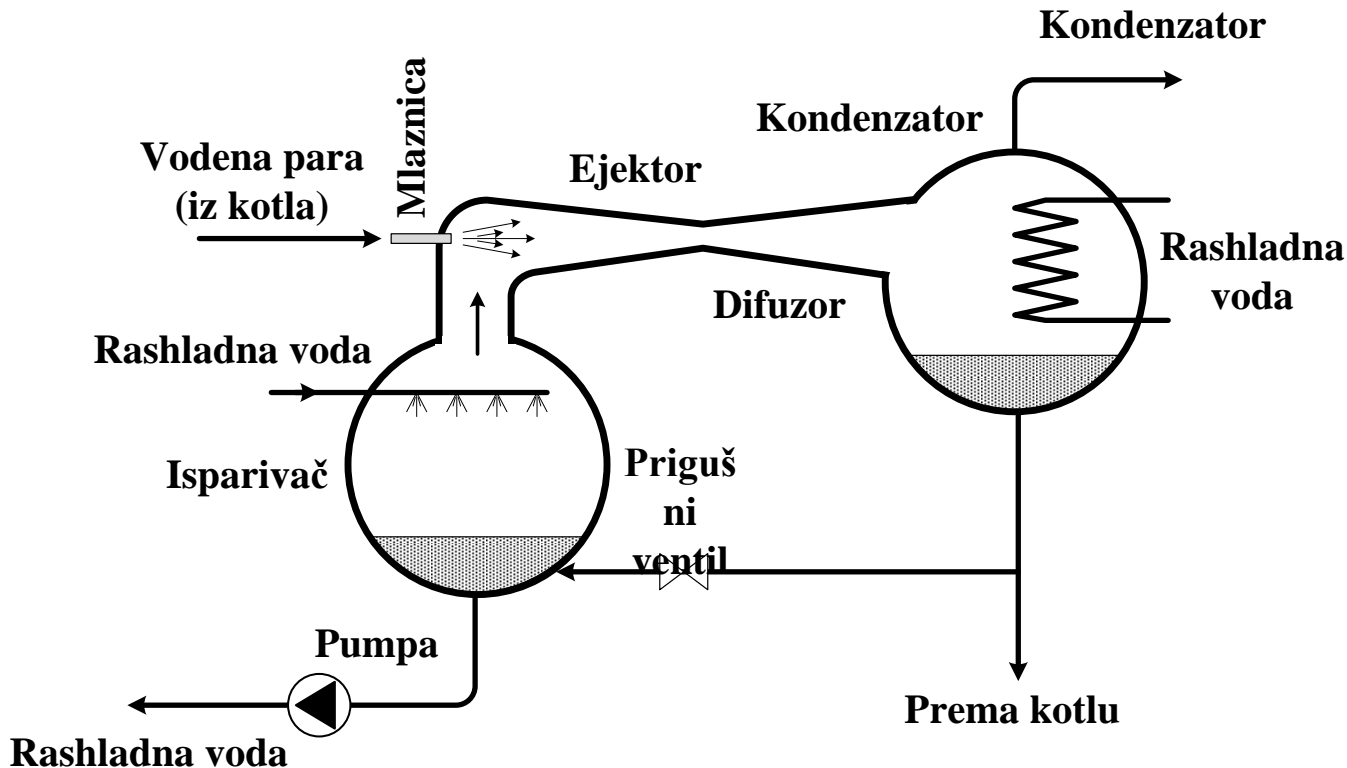


Lekar Džon Gori (*John Gorrie*) sa Floride je razvio jednu takvu mašinu **1844. god.** da bi ohladio vazduh koji je ubacivao u sobe svojih pacijenta, koji su болоvali od malarije.

Principi hlađenja

E. EJEKTORSKO HLAĐENJE

Voda se ubrizgava u komoru i tako se održava nizak pritisak u njoj a deo vode isparava. Toplota isparavanja će rashladiti preostalu vodu do temperature zasićenja na pritisku komore.

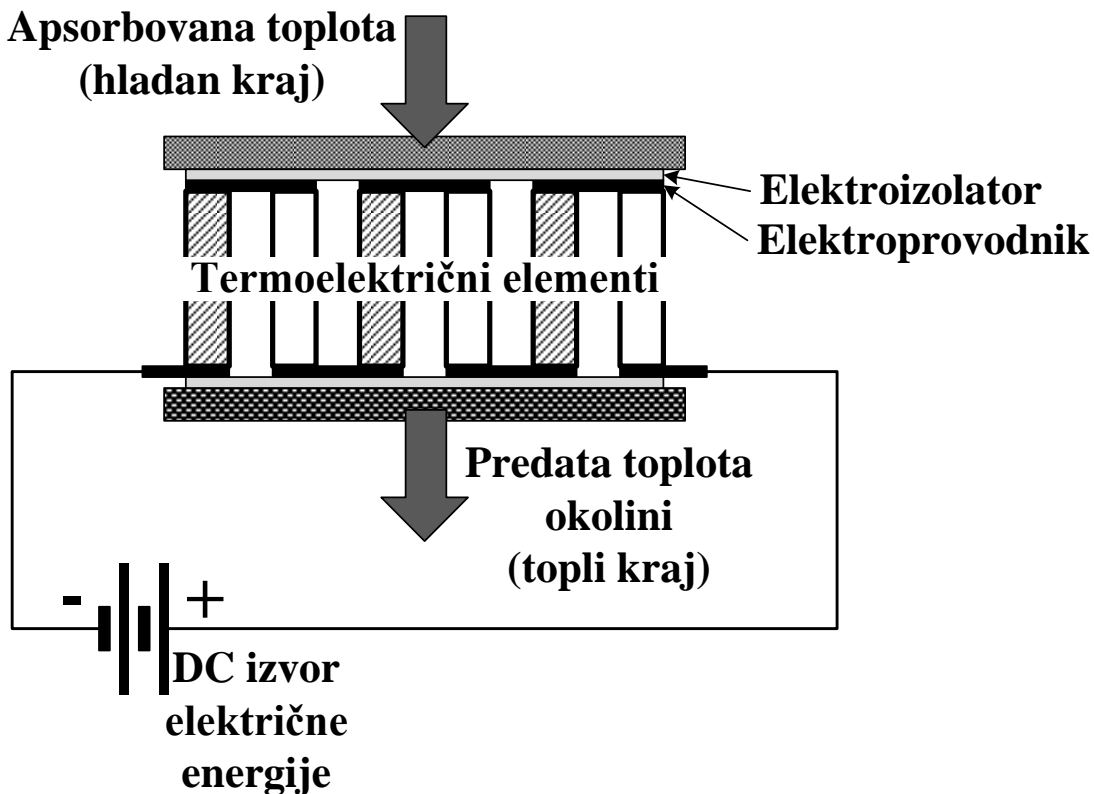


U ovom sistemu, koristi se para velike brzine kojom se ostvaruje nizak pritisak u isparivaču i niska temperatura isparavanja vode.

Principi hlađenja

F. TERMoeLEKTRIČNI SISTEMI HLAĐENJA

Godine 1834. Francuz J. Peltier (*J. Peltier*) je primetio efekat, kada se dva provodnika različitih materijala spoje na krajevima i kada se kroz njih propusti jednosmerna struja, doći će do hlađenja jednog i zagrevanja drugog kraja. Razlika temperatura je proporcionalna jačini struje.

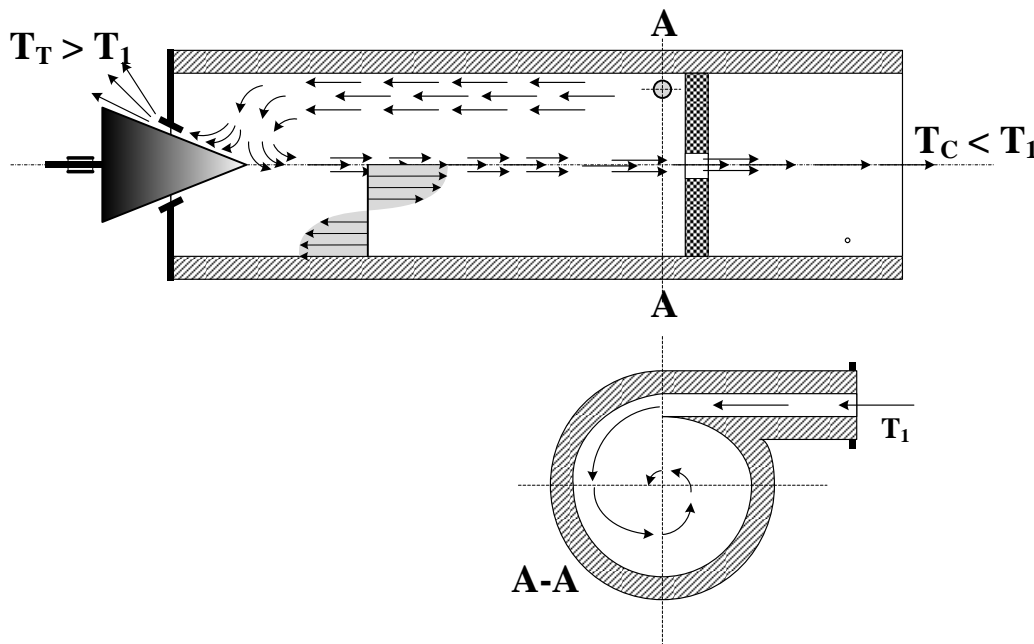


1960-tih godina, ovi sistemi se uglavnom koriste za čuvanje lekova, vakcina, itd. i za hlađenje elektronskih elemenata. U SAD-u, frižideri za domaćinstva, klima-uređaji, hladnjaci za vodu, odela za ronjenje sa klimatizacijom, itd. su pravljani korišćenjem tih efekata.

Principi hlađenja

G. VORTEKS CEV

Godine 1931. francuski inženjer Georg Rank (*Georges Ranque*) otkrio je interesantan fenomen koji se zove Rankov efekat ili "vorteks efekat". Tangencijalno injektiranje vazduha u cilindričnu cev indukuje "vihornu ekspanziju" s istovremenom proizvodnjom izlaza toplog vazduha i izlaza hladnog vazduha.



Efikasnost ovog sistema je prilično mala, ali je uređaj mehanički jednostavan uz mogućnost postizanja trenutnog hlađenja.

Današnja vorteks cev koristi komprimovani vazduh kao izvor energije i nema pokretnih delova, Moguće je postići temperature do $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ i do $127\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Savremena primena rashladne tehnike

ŠIROKA PRIMENA, počev od domaćih frižidera i zamrzivača, preko komercijalnih vitrina do velikih industrijskih postrojenja.

Posebno treba istaći veliku ulogu rashladne tehnike u proizvodnji i dugotrajnom čuvanju prehrambenih proizvoda.

A. PRIMENA U DOMAĆINSTVU I KOMERCIJALNA PRIMENA

- Ovi uređaji su manje-više standardni proizvodi koji se rade serijski i slažu se modularno (naročito za samousluge, supermarketete i sl.).
- Rade uglavnom na dva temperaturna režima i to:
 - od 0 do +2 °C, za kratkoročno čuvanje namirnica, ili
 - od -20 do -25 °C za dugoročno čuvanje zamrznutih proizvoda.

Savremena primena rashladne tehnike

B. INDUSTRIJSKA PRIMENA

Uređaji se koriste za hlađenje u procesu proizvodnje (hrane, napitaka, hemijskoj i procesnoj industriji, farmaceutskoj industriji, medicini i sl), kao i za čuvanje proizvoda.

- a. Ovakva rashladna postrojenja se projektuju i postavljaju prema posebnim, specifičnim, zahtevima od slučaja do slučaja.
- b. Kapacitete i temperaturske režime kao i vrstu uređaja određuje tehnološki proces proizvodnje (ili čuvanja)
- c. Industrijsko rashladno postrojenje se pravi:
 - delom od standardnih elemenata (kompresori, kondenzatori, vazdušni hladnjaci, armatura, kao što su ručni ventili, automatski ventili, sigurnosni ventili, davači pritiska i temperature, manometri i slično, cevi, pumpe itd.)
 - i delom od elemenata koji se projektuju i prave za konkretnu primenu (odvajajući tečnosti, skupljači tečnosti, hladnjaci vazduha i tečnosti i sl).

SPECIFIČNOSTI

Savremena primena rashladne tehnike

INDUSTRIJSKA PRIMENA (specifičnosti)

Kako bi proizvod/usluga bio dobrog kvaliteta, **zahtevi u pogledu temperaturnih režima**, u svakom segmentu proizvodnje/usluge moraju biti ispunjeni.

→ Da bi se to postiglo u celosti, projektant rashladnog postrojenja mora da bude upoznat sa suštinom dela konkretnog tehnološkog procesa u vezi sa hlađenjem. Ovo važi i obrnuto, poželjno je da i tehnolog, projektant tehnološkog procesa, ima osnovna znanja iz termotehnike i termodinamike.

Ukoliko to nije slučaj, obično se projektuje i izvede rashladno postrojenje koje ne odgovara u potpunosti svrsi, a to ima za posledicu

- 1. NEKVALITETAN KRAJNI PROIZVOD I**
- 2. NEEKONOMIČAN RAD POSTROJENJA.**

Savremena primena rashladne tehnike

INDUSTRIJSKA PRIMENA (energetska efikasnost)

Ako se ima u vidu da ovakva postrojenja rade i do 30 godina, zbog korišćenja neadekvatnog rashladnog postrojenja, gubici koji nastaju u tom vremenskom periodu mogu biti izraziti.

Pri projektovanju rashladnog postrojenja posebnu pažnju treba posvetiti **energetskoj efikasnosti**, tj. projektovati postrojenje koje za isti rashladni učinak troši manje energije za pogon.

Istraživanja su pokazala da u ukupnim troškovima rada hladnjače sa preradom, smeštajnog kapaciteta oko 6.000 t u periodu od oko 25 godina, troškovi električne energije učestvuju sa oko 70-75%.

► **Iz toga se vidi da se energetskoj efikasnosti uređaja mora posvetiti posebna pažnja.**

Savremena primena rashladne tehnike

INDUSTRIJSKA PRIMENA (konkretna primena)

- **SLADARE**
- **PIVARE**
- **MLEKARE**
- **KLANICE**
- **HLADNJAČE** za kratkoročno i dugoročno skladištenje prehrambenih proizvoda
- **KLIZALIŠTA**
- **PROIZVODNJA LEDA**
- **PROIZVODNJA SLADOLEDA**
- **LIOFILIZACIJA ...**

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Projektnim zadatkom se moraju propisati i uslovi koji vladaju u radnom prostoru i spoljni uslovi, pri kojima je potrebno obezbediti zadate parametre unutar radnog prostora.

Izbor unutrašnjih projektnih parametara

Unutrašnji projektni uslovi zavise od namene prostora u kojem će se neka aktivnost odvijati. Među brojnim mogućim namenama - primenama najvažnije se mogu grupisati na sledeći način:

1. Rashladna skladišta,
2. Industrijska klimatizacija,
3. Komforna klimatizacija.

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Izbor unutrašnjih projektnih parametara

A. Rashladna skladišta:

Nije u pitanju samo hlađenje, već gotovo uvek kompletno kondicioniranje vazduha (t , φ , τ ...).

Uslovi koji se odžavaju unutar skladišta zavise od prirode proizvoda koji se skladišti.

→ Može se generalno reći da za svaku od namirnica postoje vrlo precizno ustanovljeni uslovi za optimalno skladištenje koje je u potpunosti usaglašeno s očuvanjem njenih organoleptičkih osobina na visokom nivou (miris, ukus, boja, oblik, agregatno stanje, tekstura itd.), kao i ispravnosti i nutritivnih svojstava.

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Izbor unutrašnjih projektnih parametara - Rashladna skladišta

Proizvod	Temperatura, °C	Relativna vlažnost, %	Približno vreme skladištenja*	Sadržaj vode, %	Najviša tačka zamrzavanja, °C	Specificčna toplota iznad tačke smrzavanja, kJ/(kg °C)	Specificčna toplota ispod tačke smrzavanja, kJ/(kg °C)
Jabuke	-1 do 0	85-90		84,1	-1,5	3,643	1,884
Banane	14,5	95	Za dozrevanje 8-10 d	74,8	-0,8	3,35	1,76
Puter	0 do 4,4	80-85	2 m	15,5-16,5	-	1,382	-
Puter, zamrznut	-18 do -23	80-85	1 g	15,5-16,5	-	-	-
Mleko, pasteriz.	0,5	-	7 d	87	-0,6	3,77	1,93
Jaja	-1,5 do -0,5	80-85	6-9 m	66	-2,2	3,06	1,68
Riba, sveža	0,5 do 1,5	90-96	5-15 d	62-85	-2,2	2,93-3,6	-
Riba, zamrznuta	-23,5 do -18	90-95	8-10 m	62-85	-	-	1,59-1,884
Grožđe	-0,5	85-90	3-8 n (US)	81,9	-1,3	3,6	1,842
Grožđe	-	-	3-6 m (EU)	81,6	-2,2	3,6	1,842
Govedina, sveža	0 do 1	88-92	1-6 n	62-77	-2,2	2,93-3,52	-
Govedina, zamrzn.	-23,5 do -18	90-95	9-12 m	62-77	-	-	1,59-1,8
Mango	10	85-90	2-3 n	81,4	-0,9	3,56	1,842
Krompir, kasni rod	3 do 4,5	85-90	5-8 m	77,8	-0,6	3,433	1,8
Paradajz, zelen	14 do 21	85-90	2-4 n	94,7	-0,6	3,98	2,01
Paradajz, zreo	7 do 10	85-90	2-7 d	94,1	-0,5	3,98	2,01

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Izbor unutrašnjih projektnih parametara

B. Industrijska klimatizacija

Postoje tri grupe procesa koji zahtevaju klimatizaciju:

1. U prvu grupu spadaju procesi kod kojih je **temperatura vazduha** primarna veličina, koju treba kontrolisati i održavati na zadatom nivou. *Na primer, u procesu metrološke laboratorije, radionice precizne mehanike, kompjuterske sale, itd, zahtevaju konstantnu temperaturu, dok varijacija relativne vlažnosti vazduha od 10 do 20% nema posebnog značaja.*
2. U drugu grupu spadaju oni gde je nužno da se održava **vlažnost vazduha** u relativno uskim granicama. Temperaturski zahtevi takvih pogona nisu posebno strogi (npr. papirna industrija ili ind. tekstila).
3. U treću grupu procesa spadaju oni gde se moraju održavati strogo zadate vrednosti **i temperature i vlažnosti vazduha** (npr. hemijska industrija i biološki procesi).

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

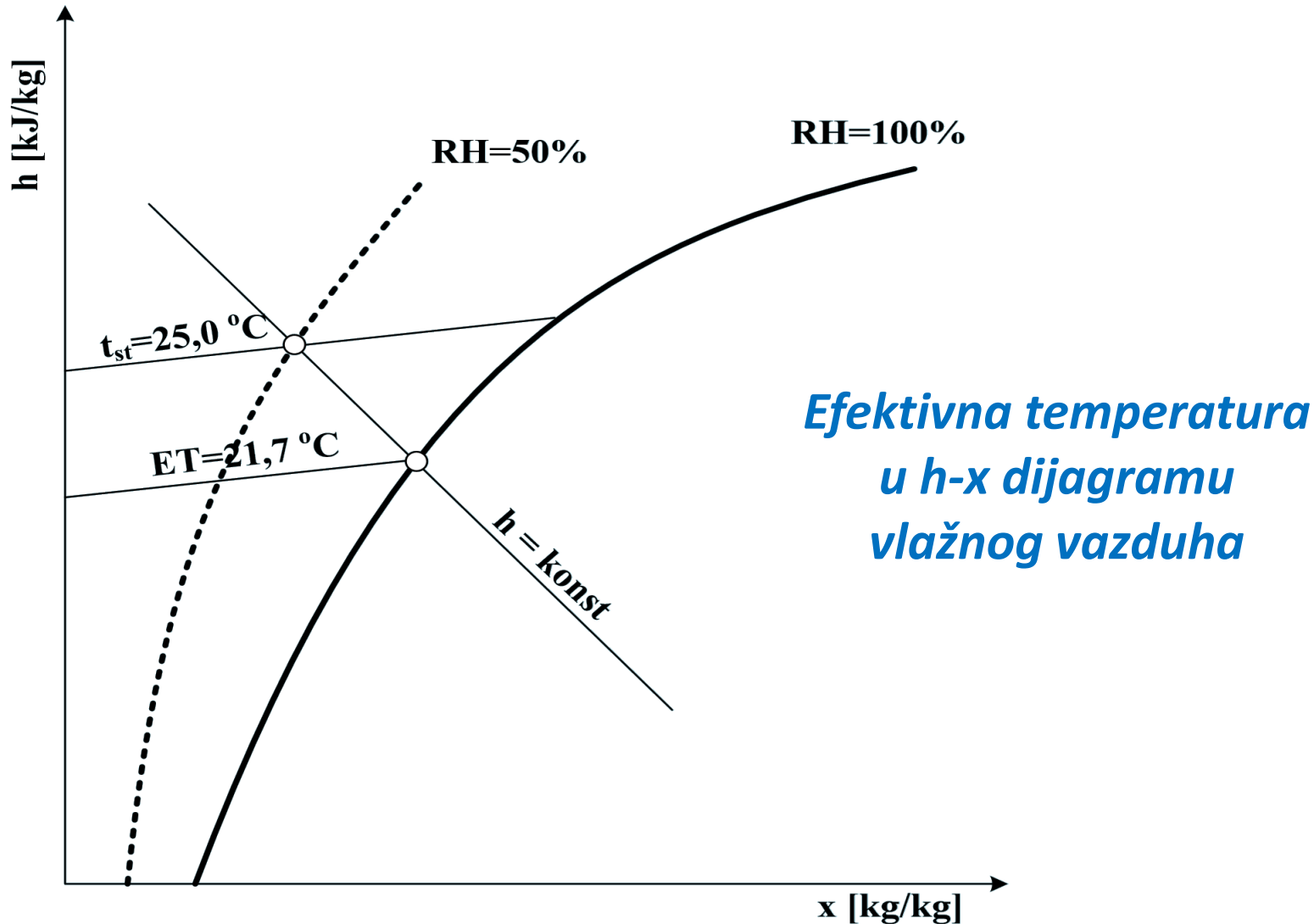
Izbor unutrašnjih projektnih parametara /

C. Komforna klimatizacija

U slučaju komforne klimatizacije treba da se kontroliše veći broj parametara vazduha. Pored **temperature** (temperature suvog termometra) i **relativne vlažnosti** treba kontrolisati i **brzinu strujanja** i **čistoću vazduha**.

- **KOMFOR:** Uobičajeno je da se komfor iskazuje jednom veličinom koja se zove **efektivna temperatura**. Ovaj indeks je definisan kao temperatura zasićenog vazduha (temperatura vlažnog termometra), pri kojoj će neka osoba osećati isti komfor kao i pri aktuelnoj temp. nezasićenog vazduha.
- Porast temperature vazduha može biti kompenzovan i povećanjem brzine strujanja vazduha. Npr., porast temperature suvog termometra od 2 do 3°C može se kompenzovati porastom brzine vazduha od 0,1 do 0,3 m/s.

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja



Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Izbor unutrašnjih projektnih parametara /

C. Komforna klimatizacija

Obično se optimalnim smatraju sledeći parametri vazduha za uslove komfora u letnjem periodu:

- Efektivna temperatura = 21,7 °C
- Temperatura suvog termometra = 25 ± 1 °C
- Relativna vlažnost = 50 ± 5 %
- Odgovarajuća brzina strujanja vazduha u prostoriji je = 0,4 m/s.

U zimskom periodu telo se aklimatizuje na niže temperature. Posledično, temperatura suvog termometra od 21 °C, relativna vlažnost od 50% i pri brzinama od 0,15 do 0,20 m/s daju sasvim dobar osećaj komfora.

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Izbor unutrašnjih projektnih parametara / C. Komforna klimatizac.

Pored održavanja (t , φ i ω) važno je obezbediti zadovoljavajuću **čistoću vazduha**, čak i kada ne postoji neposredni izvor zaprljanja iz procesa, **sadržaj ugljen-dioksida raste zbog prisustva ljudi**.

Zato je neophodno, radi očuvanja zahtevane čistoće vazduha ubaciti deo svežeg vazduha ili ventilacionog vazduha u klimatizovani prostor.

Prostor	Status pušenja	Preporučeno $m^3/(h \text{ osobi})$	Minimum	
			$m^3/(h \text{ osobi})$	$m^3/m^2 \text{ površine}$
Stanovi	Poneki	0,56	0,28	-
Kancelarije i fabrike	Povremeno	0,28-0,6	0,21	-
Restorani	Da	0,4	-	-
Sale za sastanke	Da	1,4	0,56	0,03
Robne kuće	Ne	0,21	0,14	0,0015
Pozorišta	Ne	0,21	0,14	-
Hotelske sobe	Da	0,84	0,7	-
Bolnice (odeljenja)	Ne	0,84	-	-
Bolnice (operac. sale)	Ne	100% sveži vazduh	-	-

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Spoljni projektni parametri

Svaka regija ima ustanovljene projektne parametre kako za letnji, tako i za zimski period. Za veće gradove u Srbiji su u upotrebi projektne vrednosti temperatura i vlažnosti vazduha (u letnjem periodu), za barometarski pritisak 1,013 bar. To su samo preporuke.

Grad	ZIMA	LETO	Φ_{sp} [%]	$t_{wb,sp}$ [°C] (temperatura vlažnog termometra)
	t_{sp} [°C]	t_{sp} [°C]		
Subotica (Palić)	-18	33	35	21,15
Novi Sad	-18	34	32	21,17
Beograd	-15	33	33	20,68
Niš	-15	35	26	20,35
Kraljevo	-20	34	36	22,12

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Spoljni projektni parametri

Mesečni klimatski parametri za Novi Sad (Rimski šančevi):

Mesec	Temperatura vazduha	Relativna vlažnost	Horizontalna dnevna solarna radijacija	Barometarski pritisak	Brzina vetra na 10 m	Temperatura tla merene na 0 m	Grejni stepen dani	Rashladni stepen dani
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Januar	0,4	85,7%	1,40	99,9	2,6	0,0	546	0
Februar	2,5	77,4%	2,27	99,7	2,9	1,7	434	0
Mart	6,4	69,4%	3,38	99,5	3,3	7,2	360	0
April	11,6	68,0%	4,28	99,1	3,2	13,3	192	48
Maj	16,9	66,3%	5,33	99,2	2,7	19,3	34	214
Jun	19,9	69,1%	5,80	99,2	2,3	22,9	0	297
Jul	21,9	66,5%	5,94	99,2	2,3	25,7	0	369
Avgust	21,9	65,5%	5,28	99,3	2,1	25,7	0	369
Septembar	16,9	70,8%	3,85	99,4	2,4	20,3	33	207
Oktobar	11,9	74,6%	2,53	99,7	2,8	14,0	189	59
Novembar	5,4	83,7%	1,43	99,7	2,8	6,3	378	0
Decembar	0,8	86,4%	1,12	99,8	2,7	1,1	533	0
GODIŠNJE	11,4	73,6%	3,56	99,5	2,7	13,2	2699	1563

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Spoljni projektni parametri - pri proračunu debljina izolacije

Pri proračunu omotača hladnjače treba imati u vidu i:

- ✓ Direktno solarno zračenje (za Jug i Zapad dodati 6°C),
- ✓ Postojanje toplotnih mostova u konstrukciji hladnjače,
- ✓ Proces koji se odvija u susednim prostorijama (za pregradu prema tavanici +10°C, a prema tlu dodaje se 10°C do 15°C),
- ✓ Vreme korišćenja tih prostorija itd.

Ovakvi podaci se u fazi projektovanja sa vrlo malo sigurnosti mogu predvideti. Praktično se obavlja procena pojedinih parametara i na osnovu njih i usvojenog specifičnog toplotnog protoka kroz zidove (q_{pro} [W/m²]) izračunava debljina izolacije.

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

POSLEDICE:

Ako se usvoji relativno visoka vrednost q_{pro} [W/m²], istoj odgovara:

- ✓ Manja debljina izolacije odnosno niža investicija,
- ✓ Ali i veći toplotni dobici,
- ✓ Veći kapacitet kompresora,
- ✓ Skuplja mašinska instalacija i
- ✓ Veća potrošnja energije za pogon rashladne instalacije.

Slično važi i za izbor unutrašnje temperature *(svaki stepen niže temperature uzrokuje veću instalaciju, deblju izolaciju i konačno veću investiciju i skuplju eksploataciju).*

Projektni uslovi za rashladna i klimatizaciona postrojenja

Spoljni projektni parametri – analiza uticaja nekih od projektnih parametara

Za klasičan zid od cigle (250 mm), malterisan spolja i iznutra i na koji je postavljena poliuretanska izolacija debljine 150 mm. Spoljna projektna temp. je 35°C i unutrašnja -10°C → specifični toplotni protok 9,41 W/m²

	Osnovni slučaj	Opcija 1 Korekcija režima	Opcija 2 Promena izolacije	Opcija 3 Zasad drvoreda	Opcija 4 Sve mere zajedno
δ_{izo} [mm]	150	150	200	150	200
t_s [°C]	35	35	35	34	34
t_u [°C]	-10	-9	-10	-10	-9
q [W/m²]	9,41	9,20	7,24	9,20	6,92
Δ [%]		2,22%	23,00%	2,22%	26,42%

Gde je Δ [%] smanjenje toplotnog protoka u odnosu na osnovni slučaj.

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

Specifična potrošnja energije rashladnih sistema nekih procesa prehrambene industrije

Industrijski proces	kWh/kg ili kWh/l
Klanice krupne stoke (svinjetina i govedina)	0,1971
Klanice peradi	0,3742
Industrija mesa	0,4606
Industrija sladoleda i zamrznutih deserta	0,6012
Prerada mleka i proizvodnja svežeg sira	0,0390
Zamrznuti sokovi	0,1625
Zamrznuta hrana (povrće, riba, prethodno kuvana hrana)	0,2164
Rashladne komore (0 °C)	0,0200
Rashladne komore (-20 °C)	0,0500
Proizvodnja piva iz slada	0,0541
Proizvodnja slada	0,0081
Proizvodnja vina	0,0372

Ukupni toplotni protok koji treba 'odvesti' iz prostora da bi se održala željena i zadata temperatura na mestu gde se proces odvija, naziva se **RASHLADNO OPTEREĆENJE** (Ova vrednost definiše **SNAGU RASHLADNOG POSTROJENJA**)

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

Ukupni toplotni protok sastoji se od dve komponente: **osetni i latentni**.

A. OSETNI TOPLOTNI PROTOK nastaje kada postoji direktan toplotni protok u prostor koji se hladi. U tom smislu se razlikuje:

1. Toplotni protok kroz konstrukciju zidova, plafona i poda;
2. Toplotni protok u hlađeni prostor nastao solarnom radijacijom kroz staklene površine;
3. Infiltracioni toplotni dobici nastali prodorom vazduha kroz otvore i pukotine u konstrukciji, oko vrata i prozora;
4. Oslobođena toplota prisutnih u prostoru koji se hladi;
5. Oslobođena toplota sa proizvodima koji su uneti u hlađeni prostor sa višom temperaturom od one koja vlada u hlađenom prostoru; i
6. Oslobođena toplota od uređaja koji se nalaze u hlađenom prostoru (osvetljenje, elektromotori itd.).

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

B. LATETNI TOPLOTNI DOBICI nastaju pojavom viška vodene pare u prostoru koji se hladi. Čine ih latentna toplota:

1. Zbog kondenzacije vlage infiltriranog vazduha (postoji razlika parcijalnih pritisaka vodene pare infiltriranog vazduha i onog u prostoru koji se hladi);
2. Zbog kondenzacije vlage od prisutnih ljudi;
3. Zbog kondenzacije vlage od proizvoda koji se nalaze u prostoru;
4. Zbog kondenzacije vlage sa drugih vlažnih površina.

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

Prema izvoru razlikuju se sledeće grupe **TOPLOTNIH DOBITAKA:**

1. Toplotni dobici kroz zidove;
2. Zbog provetravanja i infiltracije vazduha;
3. Od proizvoda;
4. Ostali.

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

#1. TOPLLOTNI PROTOK KROZ PREGRADE PROSTORA koji se hladi zavisi od koeficijenta prolaza toplote slojeva pregrade, debljine slojeva, konstrukcije, razlike temperatura vazduha u i izvan prostorije itd.

Određuje se korišćenjem sledeće jednačine:

$$Q_1 = k \cdot A \cdot \Delta t \quad [\text{W}]$$

gde su:

k = koeficijent prolaza toplote pregradnog zida, $[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]$

A = referentna površina razmene toplote, $[\text{m}^2]$

Δt = temperaturska razlika vazduha izvan i u prostoriji koja se hladi, $[\text{K}]$

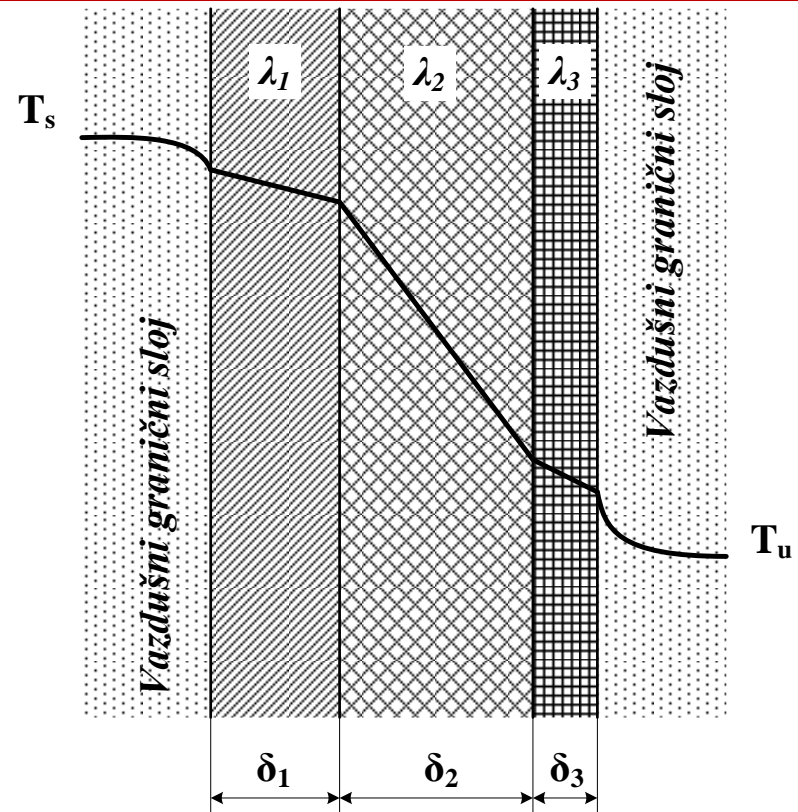
RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

Koeficijent prolaza toplote
pregradnog zida jednak je:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_u}} \quad [\text{W}]$$

gde su:

- δ = debljina sloja pregradnog zida, [m]
- λ = koeficijent provođenja toplote, [W/(m K)]
- α_s, α_u = koeficijent prelaza toplote na spoljnoj i unutrašnjc strani zida, [W/(m² K)]



RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

#2. TOPLOTNI DOBICI ZBOG PROVETRAVANJA I INFILTRACIJE VAZDUHA

→ Ventilacija komore može biti kontrolisana ili nekontrolisana.

KONTROLISANA VENTILACIJA ima svrhu da eliminiše moguće negativne mirise ili da smanji koncentraciju nekih gasova, koji se stvaraju u komori tokom procesa obrade ili skladištenja.

Količina vazduha potrebna za kontrolisanu infiltraciju određuje se u zavisnosti od intenziteta i karaktera procesa i oslanja se, gotovo bez izuzetaka, na iskustvene podatke koje je moguće naći u stručnoj literaturi

NEKONTROLISANA INFILTRACIJA nastaje kroz manje ili veće pukotine u konstrukciji pregrada ili prilikom otvaranja vrata.

Nekontrolisanu infiltraciju je teže, ali ne i nemoguće, proceniti na osnovu merenja ili iskustva.

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

#2. TOPLOTNI DOBICI ZBOG PROVETRAVANJA I INFILTRACIJE VAZDUHA

Toplotni protok zbog infiltracionih dobitaka jednak je:

$$Q_2 = n \cdot V_k \cdot \rho_u \cdot (h_s - h_u) \text{ [W]}$$

gde su:

n = broj izmena vazduha, [1/s];

V_k = zapremina komore koja se hladi, [m³];

ρ_u = gustina vazduha u komori, [kg/m³];

h_s = entalpija spoljnog vazduha, [J/kg];

h_u = entalpija unutrašnjeg vazduha, [J/kg];

! Potreban broj izmena vazduha može da se izračuna ako je poznata količina robe koja se unosi u komoru i ako je poznata količina generisanog CO₂ od robe koja se čuva.

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

#3. TOPLOTNI DOBICI OD PROIZVODA

Najznačajniji toplotni protok nastaje usled a). **HLAĐENJA** i b). **ZAMRZAVANJA** robe i zavisi od vrste, količine i načina hlađenja ili zamrzavanja.

Toplota koju je potrebno odvesti u procesu **HLAĐENJA**:

$$Q_3 = \sum_n M_p(n) \cdot c_{p,p}(n) \cdot [t_{p,p}(n) - t_2] + \sum_m M_a(m) \cdot c_{p,a}(m) \cdot [t_{p,a}(n) - t_2] \text{ [kJ / dan] ,}$$

gde je:

- $M_p(n)$ = masa unetih proizvoda po vrstama, [kg/dan]
- n = broj vrste proizvoda, [-]
- $c_{p,p}(n)$ = specifična toplota proizvoda, [kJ/(kg K)]
- $t_{p,p}(n)$ = početna temperatura proizvoda, [°C]
- $M_a(m)$ = masa ambalaže u kojoj se roba nalazi, [kg/dan]
- m = broj vrste ambalaže, [-]
- $c_{p,a}(m)$ = specifična toplota ambalaže, [kJ/(kg K)]
- $t_{p,a}(m)$ = početna temperatura ambalaže, [°C]
- t_2 = temperatura komore na kraju procesa hlađenja, [°C]

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

#3. TOPLOTNI DOBICI OD PROIZVODA

Toplota koju je potrebno odvesti u procesu **ZAMRZAVANJA**:

$$Q_3 = \sum_n M_p(n) \cdot \left[c_{p,p}^+(n) \left(t_{p,p}(n) - t'_p(n) \right) + r(n) + c_{p,p}^-(n) \cdot \left(t'_p(n) - t_2 \right) \right] + \sum_m M_a(m) \cdot c_{p,a}(m) \cdot \left[t_{p,a}(n) - t_2 \right] \text{ [kJ / dan] ,}$$

gde su, pored već navedenih oznaka, uvedene i sledeće:

$c_{p,p}^+(n)$ = specifična toplota proizvoda pre zamrzavanja, [kJ/(kg K)]

$c_{p,p}^-(n)$ = specifična toplota proizvoda posle zamrzavanja, [kJ/(kg K)]

$t'_p(n)$ = temperatura početka zamrzavanja proizvoda, [°C]

$r(n)$ = toplota zamrzavanja proizvoda, [kJ/kg]

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

#4. OSTALI TOPLOTNI DOBICI

Osim pomenutih toplotnih izvora postoje i drugi koji ponekad mogu biti značajni i ne mogu se zanemariti. *Praktično ni jedan od toplotnih izvora se ne sme zanemariti, ali ako je njegov uticaj manji u odnosu na druge, ne mora se izračunavati nego ga je dovoljno proceniti.*

Treba imati u vidu i sledeće izvore toplote:

- 1. TOLPOTNO OPTEREĆENJE ZBOG ODVIJANJA BIOLOŠKOG PROCESA U PROIZVODIMA.** Često se ovo toplotno opterećenje naziva i 'toplota disanja' i nastaje pri skladištenju proizvoda biljnog porekla.

Naime, biološki procesi se nastavljaju i nakon ubiranja plodova, a to znači da se proces oksidacije šećera nastavlja, a pri tome se oslobađa određena količina toplote. Ovaj toplotni izvor nastaje samo kod temperatura koje su više od temperature zamrzavanja.

RASHLADNO OPTEREĆENJE I IZOLACIJA

#4. OSTALI TOPLOTNI DOBICI

- 2. TOPLOTNI PROTOK USLED STVARANJA INJA NA ISPARIVAČU.** To je neizbežan proces nastao zbog prisustva vlage u vazduhu i činjenice da je temperatura vazduha u blizini isparivačke površine po pravilu niža od temperature tačke rose.
- 3. TOPLOTNO OPTEREĆENJE ZBOG PRISUSTVA LJUDI U KOMORI.** Npr, sortiranje, pakovanje, obrada namirnica itd. su takvi procesi i u njima mora da učestvuje veći broj ljudi koji odaju toplotu.
- 4. TOPLOTNO OPTEREĆENJE USLED RADA VENTILATORA.** Ventilatori u komorama mogu da budu u funkciji ostvarivanja cirkulacije vazduha ili ventiliranja prostorije i ubacivanja svežeg vazduha. Motor ventilatora oslobađa određenu toplotu.
- 5. TOPLOTNO OPTEREĆENJE OD OSVETLJENJA.**

INDUSTRIJSKE RASHLADNE KOMORE

Izolovane rashladne komore u prehrambenoj i srodnim industrijama se mogu grupisati:

- **Komore za čuvanje** voća i povrća, pakovanih proizvoda, svežeg mesa, mlečnih proizvoda, lekova, sadnica i sl. Ovakve komore izvode se najčešće od panela debljine 80 - 120 mm zavisno od njene veličine, temperaturskih zahteva i lokacije komore.
- **Komore za duboko zamrznute proizvode.** Ovakve komore obavezno dolaze sa podnom izolacijom i podnim grejačima, a debljina panela kreće se od 100 – 200 mm.
- **Komore za brzo zamrzavanje proizvoda – tuneli.** Komore su slične po načinu gradnje komorama za duboko zamrznute proizvode, ali je njihov rashladni kapacitet znatno veći, jer proces zahteva da se u njima određena količina robe ohladi od neke početne temperature do zadate i to u zadatom vremenskom periodu.
- **Komore sa kontrolisanom atmosferom.** Ovakve komore zahtevaju posebnu gradnju, zbog nužnosti da budu gasno nepropusne. Naime, u takvim komorama se čuva voće i povrće pri temperaturama oko nule i u njihovoj atmosferi je eliminisan kiseonik, čime se oksidacioni proces namirnica znazno usporava.

IZOLACIONI PANELI

- Savremene industrijske rashladne komore se, zahvaljujući novim tehnologijama izolacionih materijala i posebno tehnologijama montaže, rade uglavnom od izolacionih panela koji, zavisno od tipa hladnjake i panela, mogu da budu samonoseći ili da se montiraju na zid.
- Njihove debljine i materijal se biraju zavisno od temperature u komori i vrste procesa koji se u komori odvija i uslova koji se zahtevaju tehnologijom. Radne temperature ovakvih izolacionih panela su od -40 do $+70^{\circ}\text{C}$.

Uobičajene debljine izolacionih panela su 60, 80, 100, 120 i 150 mm, standardne širine 1200 i dužine do 8500 mm.



Unutrašnji prostor hladnjače



Komunikacioni koridori



Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

POŽELJNE KARAKTERISTIKE

Odabrani termoizolacioni materijal treba da ima:

- Dobra izolaciona svojstva (malu vrednost koeficijenta provođenja toplote (λ),
- Da se što manje menja (povećava) tokom vremena,
- Veliki otpor difuziji vodene pare,
- Da bude nezapaljiv (da ne gori) i
- Da ima prihvatljivu cenu.

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

DEBLJINA TERMOIZOLACIJE ZIDOVA HLAĐENIH KOMORA

Određuje se na osnovu temperaturske razlike s obe strane termoizolacije tako, da TOPLOTNI PROTOK (q) za projektne uslove bude $q = 8 - 10 \text{ W/m}^2$, s tim da se odabere standardna debljina zaokružena na veću vrednost.

Treba napomenuti da kod proračuna debljine izolacije treba računati s UGRADBENOM vrednošću koeficijenta provođenja toplote izolacionog materijala, a ne sa vrednostima koje se obično nalaze u literaturi. *Razlog je što se u većini slučajeva daju laboratorijske vrednosti, koje ne uzimaju u obzir uslove ugradnje i neizbežne greške i nedostatke u gradnji, što sve zajedno vodi ka povećanju realne vrednosti koeficijenta.*

! Neka od istraživanja ukazuju na to da laboratorijske vrednosti koef. provođenja toplote (λ) **treba povećati za oko 20%** i sa takvom vrednošću treba dimensionisati debljinu termoizolacije odnosno sa tom vrednošću treba obaviti proračun toplotnih protoka u pregradnim zidovima.

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

DEBLJINA TERMOIZOLACIJE ↔ POTROŠNJA ENERGIJE

Termoizolaciji komora, naročito onih oko $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, treba posvetiti posebnu pažnju i zbog toga što debljina odabrane termoizolacije direktno utiče na potrošnju energije za održavanje temperature u komorama.

Ukoliko je debljina izolacije veća, trošće se manje energije i obrnuto.

Ako je u pitanju veliki objekat potrebno je napraviti ekonomsku analizu koja će pokazati koja će debljina **biti optimalna**, uzimajući u obzir trenutnu i procenjenu cenu energije nakon npr. 25 ili 30 godina, koliko se obično uzima da je životni vek takvih objekata.

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

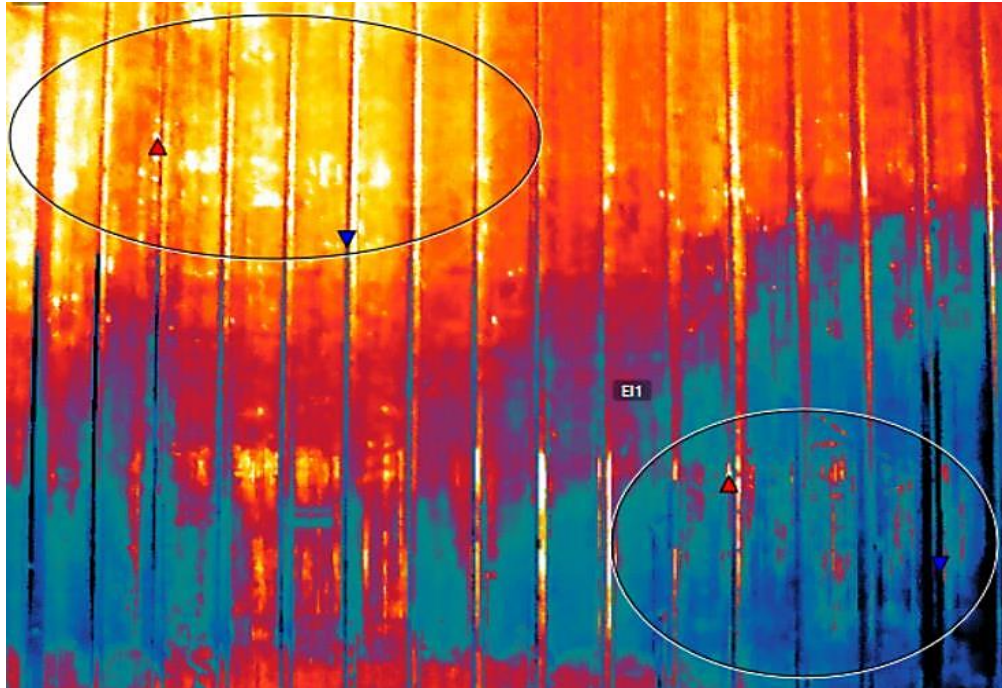
PROBLEM DIFUZIJE VLAGE

Poseban problem koji se javlja u rashladnoj tehnici kada je reč o izolaciji jeste **difuzija vlage u pregradnim zidovima**.

Zbog toga je na **toploj** strani termoizolacije potrebno postaviti parnu branu – sloj koji ne propušta vodenu paru, koja (*zbog razlike parcijalnog pritiska vodene pare u vazduhu na toploj strani i u komori*) ima tendenciju prolaza sa tople strane zida u hladnu komoru.

Ukoliko ne postoji parna barijera, vodena para na putu kroz izolaciju prema prostoru koji se hladi dolazi u područje nižih temperatura pri čemu se **mogu stvoriti uslovi za njenu kondenzaciju ili čak zamrzavanje**. To će dovesti do mehaničkog oštećenja termoizolacije i do pogoršanja izolacione sposobnosti.

! Ovaj proces je spor, i njegovi negativni efekti se mogu primetiti tek nakon nekoliko godina.



IR_0335.jpg

DC_0336.jpg

Note

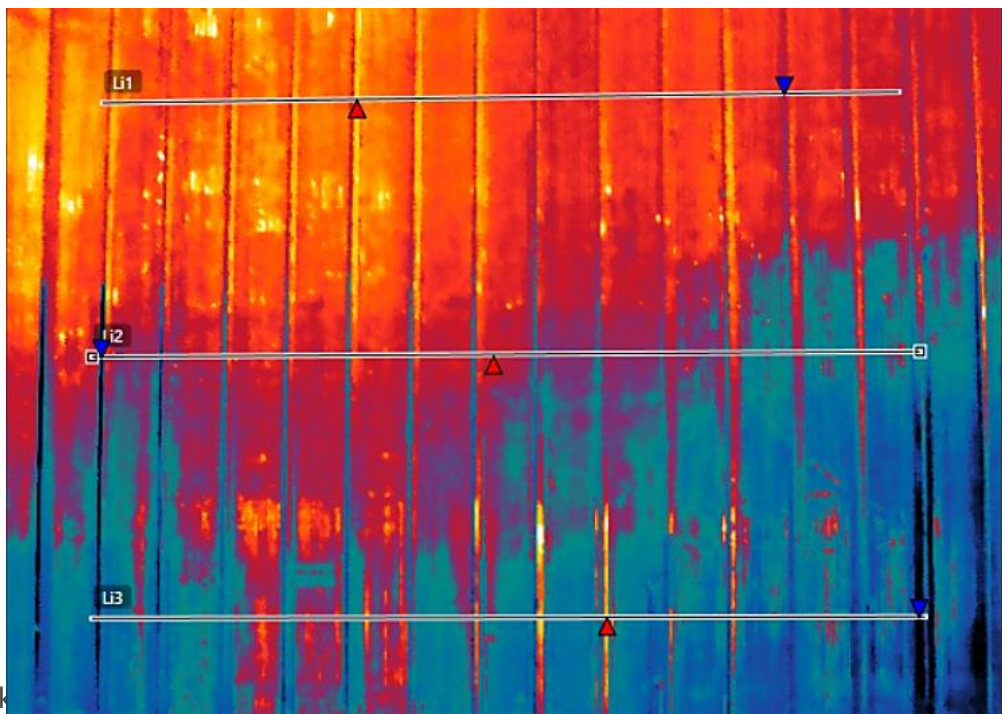
Ulazni panel, odmah do vrata

Measurements °C

E11	Max	19,8
	Min	11,8
	Average	14,8
E12	Max	29,8
	Min	15,4
	Average	17,2

Parameters

Emissivity	0,60
Ref. temp.	18,0°C
Distance	4,0m
Atmospheric temp.	16,0°C
Ext. optics temp.	20,0°C



IR_0335.jpg

DC_0336.jpg

Li1	Max	18,4
	Min	16,2
	Average	16,9
Li2	Max	19,0
	Min	12,5
	Average	16,0
Li3	Max	18,5
	Min	12,3
	Average	15,2

Dt1 Edit | Delete

Ref. temp. - Li1.Average 1,1

Dt2 Edit | Delete

Ref. temp. - Li2.Average 2,0

Dt3 Edit | Delete

Ref. temp. - Li3.Average 2,8

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

PROBLEM ZAMRZAVANJA TLA ISPOD HLADNJAČE

U komorama koje se hlade na temperature ispod nule može doći do smrzavanja tla, a pošto se prilikom zamrzavanja zemlja širi oko 10%, to će dovesti do podizanja poda i razaranja izolacije i betonske podloge.

Proces je spor, ali ako se ne kontroliše, štete su velike.

Da bi se pod zaštitio od mogućeg zamrzavanja ugrađuju se grejači ispod izolacije kojima se obezbeđuje da temperatura tla bude oko 5°C. Potrebna snaga grejača je obično 5 – 8 W/m².

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

OSNOVNE KARAKTERISTIKE NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH IZOLACIONIH MATERIJALA

NAPOMENA:

Mineralna i staklena vuna se praktično više ne koriste u rashladnoj tehnici, zbog nemogućnosti efikasnog eliminisanja problema uzrokovanog vlagom.

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

OSNOVNE KARAKTERISTIKE NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH IZOLACIONIH MATERIJALA

#1. PLUTA (najstariji i vrlo često korišćen izolacioni materijal):

- Koristi se u ekspaniranom obliku, tj. nakon tretmana vodenom parom (300 °C) pluta se granulira u kalupima. Ovim procesom se proizvode blokovi 1 × 0,5 m i debljina od 20 do 200 mm.
- Pluta ima vrlo dobar koeficijent provođenja toplote od $\lambda = 0,040 \text{ W/m K}$.
- Pluta ima veoma dobru nosivost (do 75.000 N/m²),
- Teško i sporo gori,
- Sporo stari (sporo menja karakteristike tokom vremena),
- Ako se pravilno postavi, nema rizika od prodiranja vlage,
- Posebno je pogodna za podove, jer može da izdrži visoke pritiske,
- Cena u odnosu na druge izolacione materijale je visoka.

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

OSNOVNE KARAKTERISTIKE NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH IZOLACIONIH MATERIJALA

#2. STIROPOR (POLISTIREN)

- Ekspandirani stiropor se proizvodi od granula proizvedenih ekspanzijom, da bi se onda granule ponovo ekspandirale i pri tome aglomerirale u velike blokove. Ti blokovi se kasnije seku u željene oblike panela. Drugi postupak omogućuje aglomeraciju kompresijom u kalupima i direktno dobijanje konačnih oblika panela.
- Ekspandirani stiropor ima koeficijent provođenja toplote manji od $0,035 \text{ W/(m K)}$ i
- malu propusnost gasova i tečnosti, jer su mu šupljine unutar izolacije zatvorene.
- Mala mu je otpornost na pritisak, osim kod panela velike gustine.

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

OSNOVNE KARAKTERISTIKE NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH IZOLACIONIH MATERIJALA

#2. STIROPOR (POLISTIREN)

- Otporan je na savijanje, pa može da formira samostojeće panele do 5 m
- Osnovni mu je nedostatak sklonost ka skupljanju, zbog velikog ekspanzionog koeficijenta. To zahteva posebnu pažnju kod montaže ove izolacije u komorama sa temperaturama ispod nule.
- Stiropor je vrlo osetljiv na plamen. On ne gori, ali stvara gust dim u prisustvu plamena. Primena mu je ograničena do temperatura od oko 75 °C.
- Ekstrudirani stiropor se, takođe, koristi kao izolacioni materijal. Proizvodi se tako što se otopljenom stiroporu dodaje komprimovani gas, koji se u ekstruderu aglomerira. Ovaj stiropor ima bolja mehanička svojstva od ekspanziranog stiropora.

Izolacioni materijal u rashladnoj tehnici

#3. POLIURETAN

- dobija se ekspanzijom smola u prisustvu odgovarajućih katalizatora i emulgatora. Podešavanjem doziranja sirovine i parametara procesa dobijaju se vrlo različiti proizvodi koji mogu da zadovolje gotovo sve potrebe koje rashladna tehnika traži od izolacionih materijala.
- Tvrde poliuretanske pene imaju veoma pogodna mehanička i termička svojstva (gustine od 30 do 100 kg/m³; koeficijent provođenja toplote od 0,035 do 0,040 W/(m K); nosivost od 150.000 do 200.000 N/m²).
- Vrlo je otporan na difuziju vodene pare, ali je zapaljiv !.
- Poliuretanske pene odlično prijanjaju na čiste površine limova, PVC folija, lepenki, kartona itd. što daje mogućnost prefabrikacije vrlo raznovrsnih panela.



Prenos toplote i mase u izolovanim komorama

- Generalno govoreći, **temperatura** i **parcijalni pritisak vodene pare** (t_o , $p_{o,w}$) iz okolnog vazduha su viši od onih u komornom vazduhu (t_i , $p_{i,w}$).
- Kao rezultat ovih neravnoteža iz okolne sredine nastaju **TOPLOTNI PROTOK** (Q_i) i **PROTOK VODENE PARE** (G_i) ka komori.

Za slučaj jednoslojnog pregradnog zida ovi tokovi su definisani:

$$Q_i = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot (t_o - t_i) \cdot A \quad [\text{kJ} / \text{s}] \quad [\text{kW}]$$

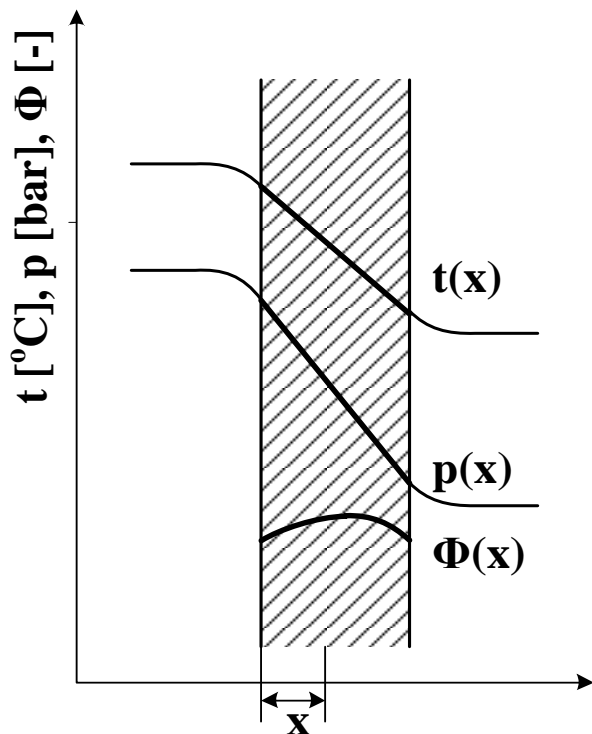
$$G_i = \frac{\mu_1}{\delta_1} \cdot (p_{o,w} - p_{i,w}) \cdot A \quad [\text{kg} / \text{s}]$$

U ovim jednačinama je:

λ	koeficijent provođenja toplote, [W/(m K)]
δ	debljina sloja, [m]
μ	koeficijent paropropustljivosti, [kg/(m s Pa)]
t_o	temperatura suvog termometra okoline, [°C]
t_i	temperatura suvog termometra u hladenoj sredini, [°C]
A	površina pregradnog zida, [m ²]

Prenos toplote i mase u izolovanim komorama

Promene temperature i parcijalnog pritiska vodene pare u slojevima pregradnog zida su **približno linearne**, jer su termofizičke osobine materijala sloja pregradnog zida λ i μ malo zavisne od temperature, odnosno parcijalnog pritiska u opsezima njihovih praktičnih promena.

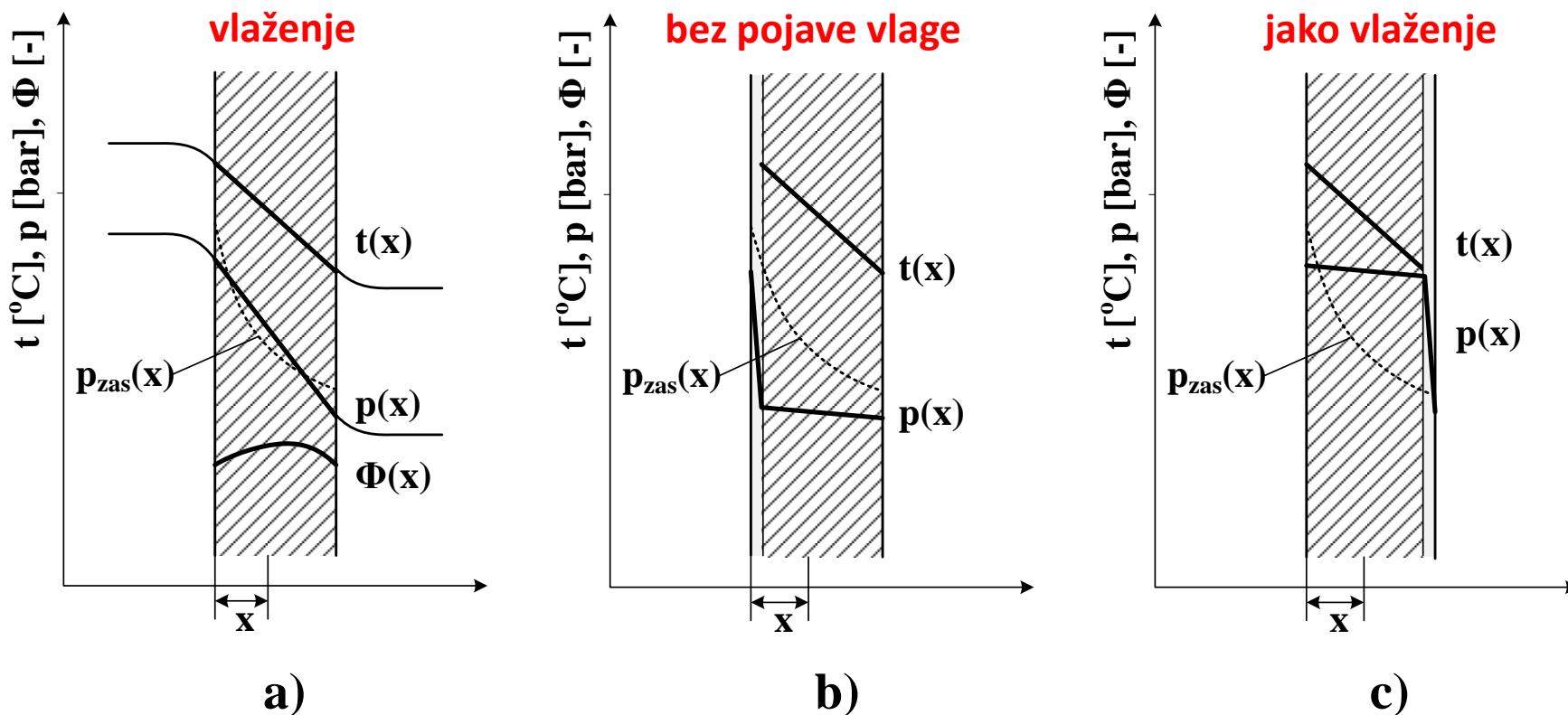


RELATIVNA VLAŽNOST: Poznavajući tok temperature u pregradnom zidu $t = t(x)$, može se naći zavisnost parcijalnog pritiska **zasićene** vodene pare od temperature, a zatim i zavisnost relativne vlažnosti vazduha u pregradnom zidu u zavisnosti od koordinate x . Relativna vlažnost vazduha je definisana kao:

$$\varphi = \frac{p(x)}{p_{zas}(x)} [-]$$

Promena temeprature i parcijalnog pritiska vodene pare u izolaciji rashladne komore

Prenos toplote i mase u izolovanim komorama

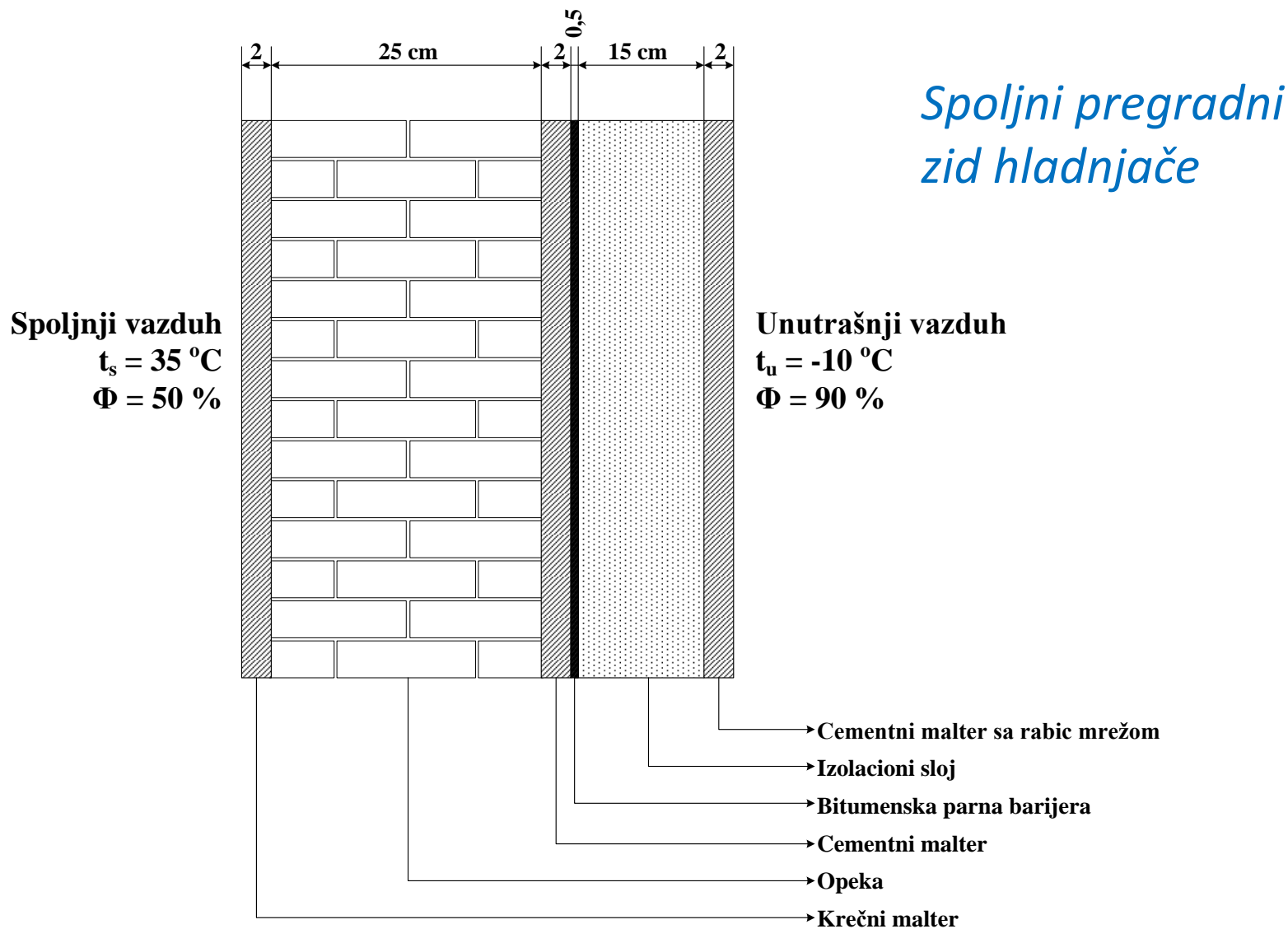


Ako je u preseku x temperatura zida jednaka tački rose, to će u sloju doći do kondenzacije vodene pare i izdvajanja tečnosti u zidu. Ako je ta temperatura ispod nule, onda će doći i do zamrzavanja vlage.

Vlaga u izolaciji će se pojaviti ako parcijalni pritisak pare, koja difundira kroz pregradni zid, bude viši od ravnotežnog pritiska vodne pare u vazduhu pri temperaturi, koja vlada u toj tački zida.

**OVE POJAVE ZNAČAJNO
POGORŠAVAJU IZOLACIONE
KARAKTERISTIKE
PREGRADNOG ZIDA I
MOGU DA DOVEDU DO
TRAJNOG OŠTEĆENJA
IZOLACIJE.**

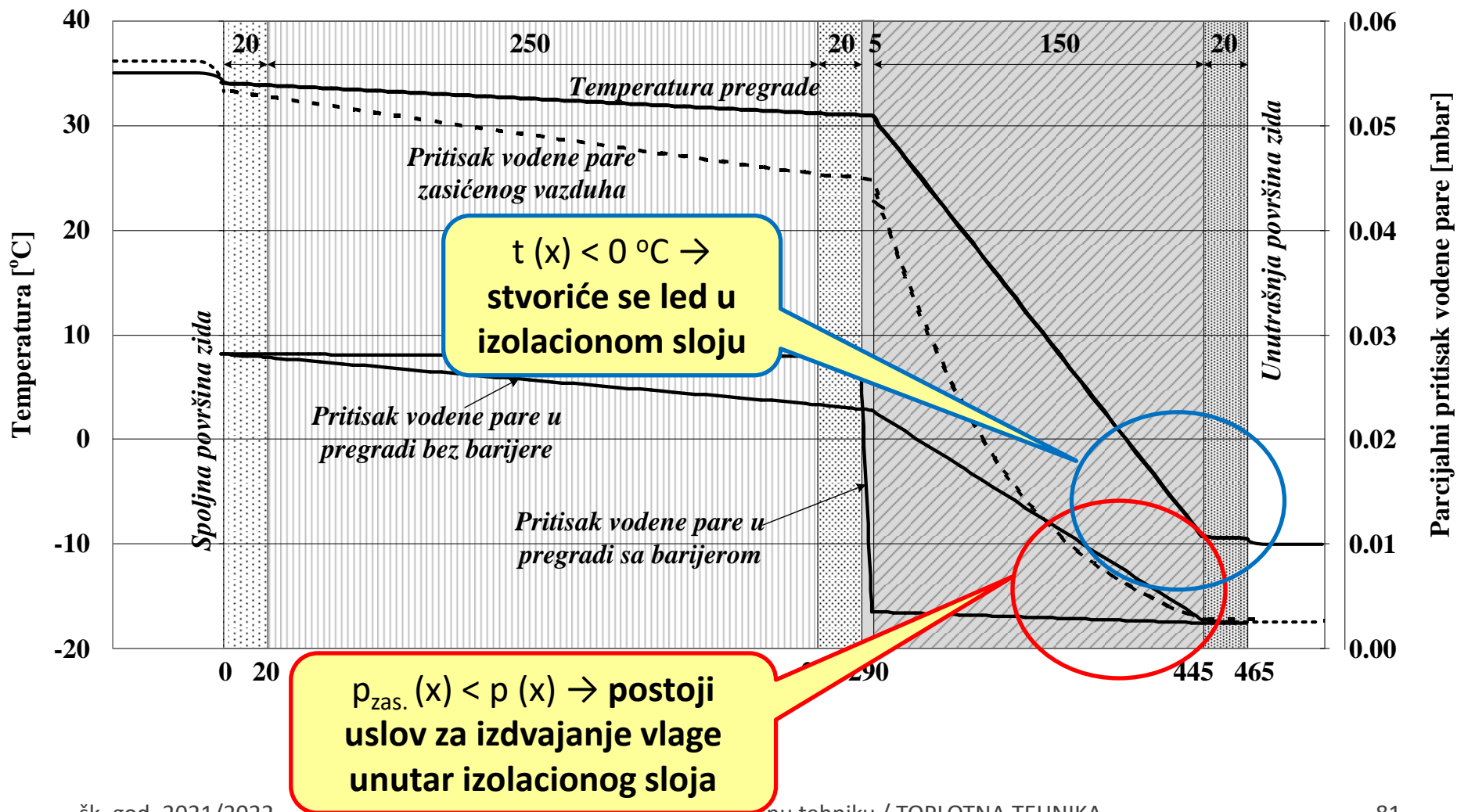
Prenos toplote i mase u izolovanim komorama



Prenos toplote i mase u izolovanim komorama

promena temperature i parcijalnog pritiska vodene pare u pregradi.

Prikazan je slučaj bez i sa parnom barijerom.



RASHLADNI FLUIDI

ZNAČAJ RASHLADNIH FLUIDA

Termodinamički stepen korisnosti rashladnih sistema zavisi uglavnom od radnih temperatura. Međutim, važna praktična pitanja kao što su:

- konstrukcione karakteristike,
- veličina njegovih pojedinih delova,
- investicioni i operacioni troškovi,
- sigurnost, pouzdanost,
- složenost održavanja itd,
- pitanja koja se odnose na životnu sredinu (razaranja ozonskog sloja i globalnog zagrevanja),

veoma zavise od tipa rashladnog fluida za konkretan rashladni sistem.

U principu svaki fluid može da bude i rashladni fluid, ali ipak samo nekolicina zadovoljava brojne uslove koje praksa nameće.

Primarni rashladni fluidi

DEFINICIJA:

Pod **primarnim rashladnim fluidima** podrazumevaju se oni fluidi koji se direktno koriste u rashladnim ciklusima.

Kada se ovi fluidi koriste bilo u procesima sa mehaničkom kompresijom ili u apsorpcionim rashladnim ciklusima, oni po pravilu ostvaruju rashladni efekat faznom promenom.

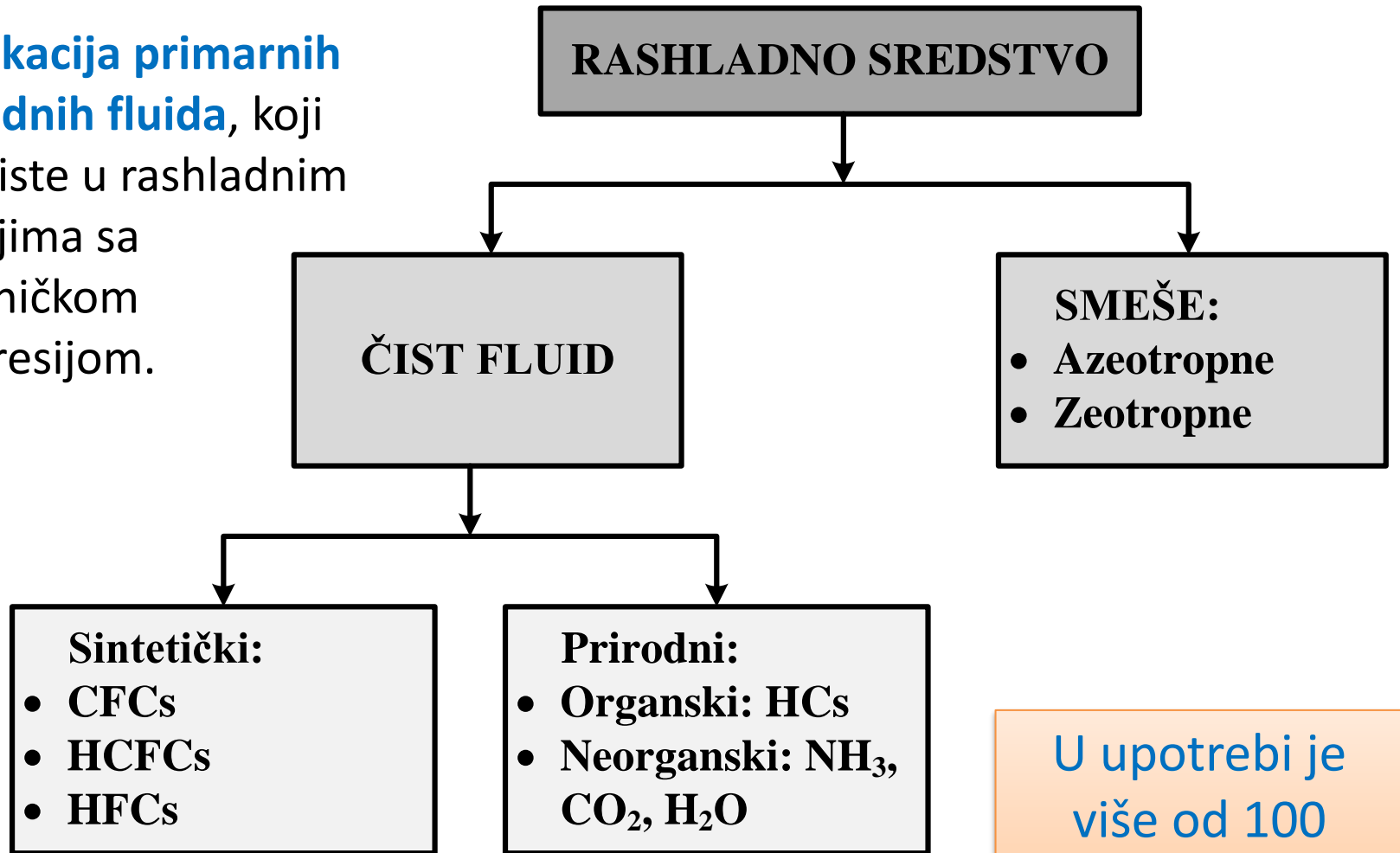
NAPOMENA:

→ Od komercijalnih fluida izuzetak je vazduh kod kojeg ne dolazi do fazne promene, ali može biti primarni rashladni fluid.

Sekundarni rashladni fluidi su tečnosti koje se koriste za prenos toplote hlađenja sa jedne lokacije na drugu, i još se nazivaju i antifrizi i rastvori.

Primarni rashladni fluidi

Klasifikacija primarnih rashladnih fluida, koji se koriste u rashladnim uređajima sa mehaničkom kompresijom.



„CFC“ Chloro-fluoro-carbons
„HCFC“ Hydro-chloro-fluoro-carbons
„HFC“ Hydro-fluoro-carbons

U upotrebi je više od 100 rashladnih fluida.

Primarni rashladni fluidi

ČIST FLUID

- Najčešće korišćeni primarni rashladni fluidi su **FLUROUGLJOVODONICI**, međutim, mnogobrojne druge materije takođe mogu da služe kao rashladni fluidi, uključujući neka **neorganska jedinjenja** i **ugljovodonike**.
- **Halogeni ugljenici** (*Halogenated Hydrocarbons*) – grupa u koju spadaju rashladni fluidi koji sadrže jedan ili više halogenih elemenata (**hlor, fluor i brom**).



RASHLADNI FLUID (čisti i sintetički) - Brojčane oznake

R-11 Trihlorofluorometan
R-12 Dihlorodifluorometan
R-13 B1 Bromotrifluorometan
R-22 Hlorodifluorometan
R-32 Difluorometan
R-113 Trihlorotrifluoroetan
R-114 Dihlorotetrafluoroetan
R-123 Dihlorotrifluoroetan
R-124 Hlorotetrafluoroetan
R-125 Pentafluoroetan
R-134a Tetrafluoroetan
R-143a Trifluoroetan
R-152a Difluoroetan
R-245a Pentafluoropropan

RASHLADNI FLUID (smeše i čisti - prirodni)

Brojčane oznake

R-401A (53% R-22, 34% R-124, 13% R-152a)
R-401B (61% R-22, 28% R-124, 11% R-152a)
R-402A (38% R-22, 60% R-125, 2% R-290)
R-404A (44% R-125, 52% R-143a, R-134a)
R-407A (20% R-32, 40% R-125, 40% R-134a)
R-407C (23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a)
R-502 (48,8% R-22, 51,2% R-115)
R-507 (45% R-125, 55% R-143)
R-717 Amonijak - NH₃
R-718 Voda - H₂O
R-729 Vazduh
R-744 Ugljen-dioksid - CO₂

Primarni rashladni fluidi

SMEŠE: Pod azeotropskom smešom podrazumeva se mešavina koja destilacijom ne može da se razdvoji na svoje komponente.

→ Azeotropska smeša se kondenzuje i isparava kao jednokomponentna materija sa parametrima koji su različiti od parametara njenih konstituenata

Oznaka rashladnog fluida	Sastav [%]		
R500	R12=73,8	R152a=26,2	
R502	R22=48,8	R115=51,2	
R503	R13=59,9	R23=40,1	
R507	R125=50	R143a=50	
R408A (FX10)	R22=47	R143=46	R125=7
R409A (FX56)	R22=65	R124=25	R142B=10
FX57	R22=65	R124=25	R142B=10
FX80	R32=32	R125=68	
R404A (FX70)	R125=44	R134A=4	R143A=52
R407C	R32=23	R125=25	R134A=52
R410A	R32=50	R125=50	

Primarni rashladni fluidi

PRIRODNI RASHLADNI FLUIDI

NEORGANSKA JEDINJENJA

Mnogi ranije korišćeni rashladni fluidi bili su neorganska jedinjenja, ali su se neki zadržali u praktičnijoj upotrebi do danas.

Najpoznatiji od njih je **AMONIJAK**.

Broj 7 uz oznaku R označava da je reč o neorganskoj grupi, a poslednja dva broja označavaju zaokruženu vrednost molekulske mase.

Brojna oznaka	Hemijski naziv	Hemijska formula
R717	Amonijak	NH_3
R718	Voda	H_2O
R729	Vazduh	
R744	Ugljen-dioksid	CO_2
R764	Sumpor-dioksid	SO_2

Primarni rashladni fluidi

PRIRODNI RASHLADNI FLUIDI

ORGANSKA JEDINJENJA – UGLJOVODONICI („HC“)

Mnogi ugljovodonici su pogodni kao rashladni fluidi, pogotovo u naftnoj i naftno-hemijskoj industriji.

Oznaka	Hemijski naziv	Hemijska formula
R50	Metan	CH ₄
R170	Etan	C ₂ H ₆
R290	Propan	C ₃ H ₈

Primarni rashladni fluidi

IZBOR RASHLADNOG FLUIDA

Praktičan izbor rashladnog fluida treba da se zasniva na analizi:

- termodinamičkih i termofizičkih osobina fluida,
- sigurnosnih i ekoloških karakteristika, i
- ekonomskih parametara.

Osobine rashladnih fluida

- 1. Usisni pritisak:** Za datu temperaturu isparavanja usisni pritisak treba da bude iznad atmosferskog pritiska da bi se sprečilo prodiranje vazduha i vlage u instalaciju i da bi se lakše detektovalo eventualno isticanje rashladnog fluida. Takođe, veći usisni pritisak je bolji, jer zahteva manju radnu zapreminu kompresora.
- 2. Potisni pritisak:** Pri datoj temperaturi kondenzacije pritisak rashladnog fluida treba da je što niži. Time je konstrukcija kompresora, kondenzatora i pripadajuće opreme lakša.
- 3. Odnos pritisaka:** Ovaj odnos treba da je što manji, čime se dobija velika zapreminska efikasnost i manja potrebna snaga kompresije.

Osobine rashladnih fluida

4. **Toplota isparavanja:** Treba da je što je moguće veća, jer se time smanjuje maseni protok po jedinici rashladnog kapaciteta.

Gore pomenuti zahtevi od rashladnih fluida su na neki način kontradiktorni.

→ npr. za datu temperaturu kondenzacije ako toplota isparavanja raste, rašće i odnos pritisaka. *Ako je poželjno da toplota isparavanja rashladnog fluida bude što je moguće **veća**, ne može se istovremeno tražiti da i odnos pritisaka bude što je moguće **manji**.*

Prema tome toplota isparavanja i odnos pritisaka su međusobno povezani i određeni.

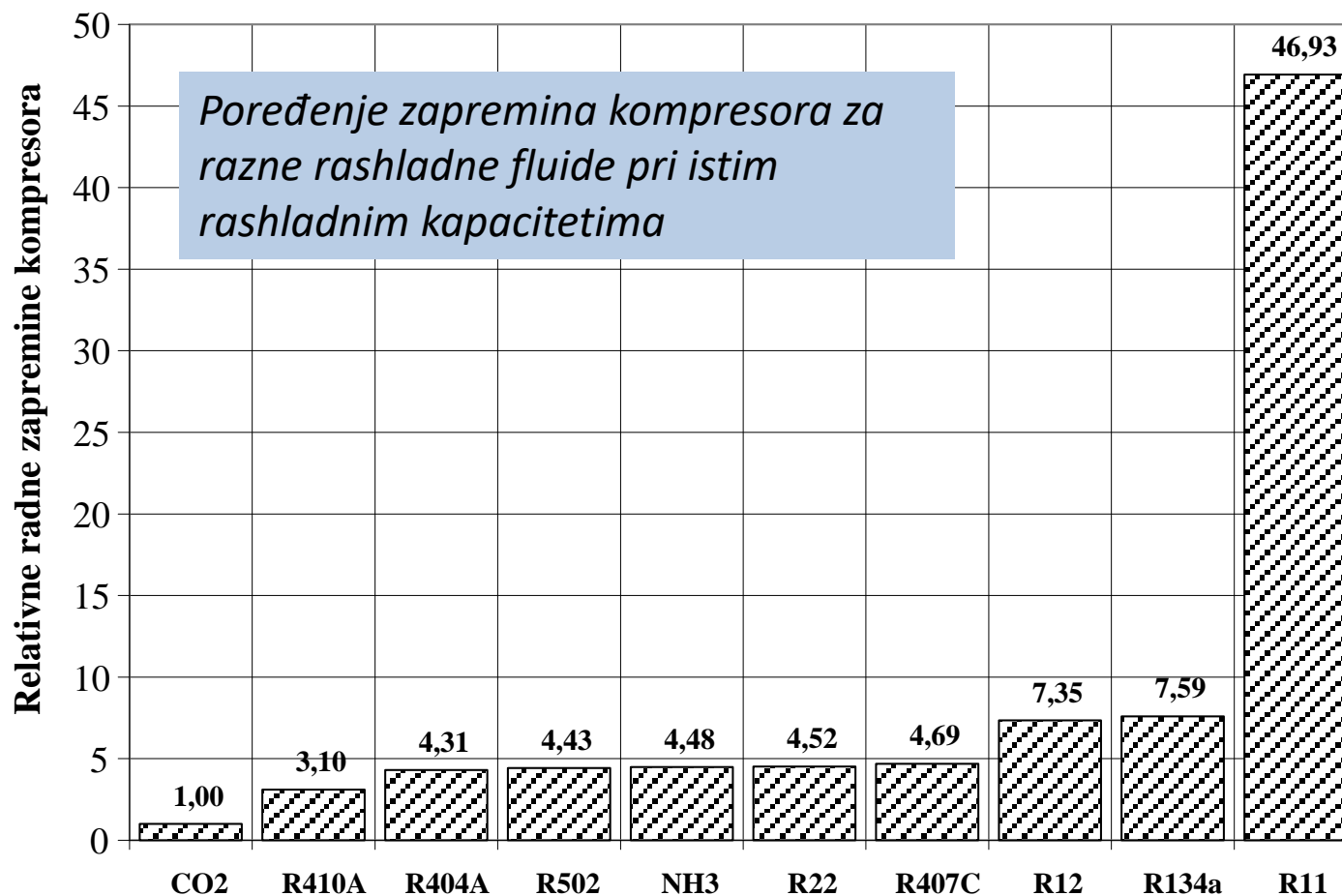
5. **Kompresioni rad** treba da je što manji.

Poređenja rashladnih fluida u standardnom rashladnom ciklusu Temp. isparavanja -15°C ; temp. kondenzacije 30°C ; temp. na usisu kompresora -10°C ; temp. ispred prigušnog ventila 25°C ; izentropski koeficijent korisnosti kompresije 1; rashladni kapacitet 100 kW

Veličina	Jed.	CO ₂	NH ₃	R12	R22	R134a	R410A	R407C	R404A	R502	R11
Spec. zapremina gasa na usisu	m ³ /kg	0,0171	0,5197	0,0933	0,0796	0,1232	0,0582	0,0850	0,0566	0,0514	0,7753
Pritisak kondenzacije	bar	72,133	11,674	7,446	11,917	7,695	18,703	12,419	14,162	13,189	1,254
Pritisak isparavanja	bar	22,906	2,363	1,825	2,956	1,638	4,743	2,805	3,624	3,486	0,203
Kompresioni odnos		3,15	4,94	4,08	4,03	4,7	3,94	4,43	3,91	3,78	6,19
Zapreminski rad	kJ/m ³	2975,8	453,46	271,71	449,64	266,38	699,37	442,84	503,95	479,07	40,53
Zapr. rashladni kapacitet	kJ/m ³	9796,1	2185,5	1332,5	2166,8	1290,6	3160,6	2087,8	2272,1	2211,1	208,74
Rashladni koeficijent	-	3,29	4,82	4,90	4,82	4,85	4,52	4,71	4,51	4,62	5,15
Temperatura na potisu kompres.	°C	76,4	104,0	43,2	58,4	41,8	58,4	50,0	39,3	41,1	48,7
Zapr. protok rashladnog fluida	m ³ /h	36,75	164,72	270,16	166,14	278,93	113,9	172,43	158,44	162,81	1724,6
Maseni protok	kg/h	2137,5	316,92	2895,0	2087,0	2263,9	1955,3	2027,2	2795,7	3169,5	2219,3
Rashladni kapacitet, qe	kJ/kg	168,42	1135,9	124,33	172,48	159,01	184,12	177,58	128,78	113,65	161,84
Toplotni kapacitet kondenzatora, qc	kJ/kg	219,58	1371,6	149,68	208,27	191,83	224,86	215,25	157,34	138,27	193,26
Specifični rad kompresije	kJ/kg	51,16	235,69	25,35	35,79	32,82	40,74	37,67	28,56	24,62	31,42
ε/εCarnot	-	0,49	0,72	0,73	0,72	0,72	0,67	0,70	0,67	0,69	0,76

Osobine rashladnih fluida

6. **Specifična zapreminska rashladna sposobnost** treba da je što veća, jer će time zapremina kompresora i cevovoda biti manja.



Osobine rashladnih fluida

Pored navedenih važne su i sledeće osobine rashladnih fluida:

- **EkspONENT kvazistatičke adijabate (izentrope):** Treba da je što manji tako da rast temperature pri kompresiji bude manji.
- **Izobarna specifična toplota tečnosti:** Treba da je mala tako da stepen pothlađivanja bude velik, a time mala količina pare nastala prigušivanjem ispred isparivača.
- **Izobarna specifična toplota pare:** Treba da je što je moguće veća, čime se smanjuje stepen pregrevanja pare.
- **Termička provodnost:** Poželjna je što veća termička provodnost kako u tečnoj, tako i u parnoj fazi. Time se dobija veći koeficijent prelaza toplote.
- **Viskoznost:** Viskoznost treba da je u obe faze što je moguće manja, jer se time smanjuju padovi pritiska nastali usled trenja.

Osobine rashladnih fluida

SIGURNOSNE I EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE RASHLADNIH FLUIDA

Pored termodinamičkih i termofizičkih osobina rashladnih fluida, ekološka prihvatljivost rashladnog fluida postaje jedan od najvažnijih faktora za donošenje odluke o izboru nekog od njih.

Značajne sigurnosne i ekološke karakteristike rashladnih fluida su:

1. **Potencijal razaranja ozona (Ozone Depletion Potential – ODP):**

Prema Montrealskom protokolu, ODP rashladnih fluida treba da je nula, odnosno treba da budu fluidi koji ne razaraju ozonski omotač.

Rashladni fluidi sa ne-nultim ODP su već stavljeni izvan upotrebe (npr. R11 i R12) ili će uskoro biti stavljeni izvan upotrebe (npr. R22).

Pošto ODP zavisi prvenstveno od prisustva **hlora** ili **broma** u molekulima, rashladni fluidi koji sadrže hlor ili brom (npr. CFCs i HCFCs) ne mogu da se koriste prema novim propisima.

RASHLADNI FLUID	Potencijal razaranja ozona Potential (ODP)	Potencijal globalnog zagrevanja GWP
Brojčane oznake i hemijski nazivi		
R-11 Trihlorofluorometan CFCl_3	1,0	4000
R-12 Dihlorodifluorometan CF_2Cl_2	1,0	2400
R-13 B1 Bromotrifluorometan	10	
R-22 Hlorodifluorometan	0,05	1700
R-32 Difluorometan	0	650
R-113 Trihlorotrifluoroetan	0,8	4800
R-114 Dihlorotetrafluoroetan	1,0	3,9
R-123 Dihlorotrifluoroetan	0,02	0,02
R-124 Hlorotetrafluoroetan	0,02	620
R-125 Pentafluoroetan	0	3400
R-134a Tetrafluoroetan	0	1300
R-143a Trifluoroetan	0	4300
R-152a Difluoroetan	0	120
R-245a Pentafluoropropan	0	
R-401A (53% R-22, 34% R-124, 13% R-152a)	0,37	1100
R-401B (61% R-22, 28% R-124, 11% R-152a)	0,04	1200
R-402A (38% R-22, 60% R-125, 2% R-290)	0,02	2600
R-404A (44% R-125, 52% R-143a, R-134a)	0	3300
R-407A (20% R-32, 40% R-125, 40% R-134a)	0	2000
R-407C (23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a)	0	1600
R-502 (48,8% R-22, 51,2% R-115)	0,283	4,1
R-507 (45% R-125, 55% R-143)	0	3300
R-717 Amonijak - NH_3	0	0
R-718 Voda - H_2O	0	
R-729 Vazduh	0	
R-744 Ugljen-dioksid - CO_2		1,0

Osobine rashladnih fluida

SIGURNOSNE I EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE RASHLADNIH FLUIDA

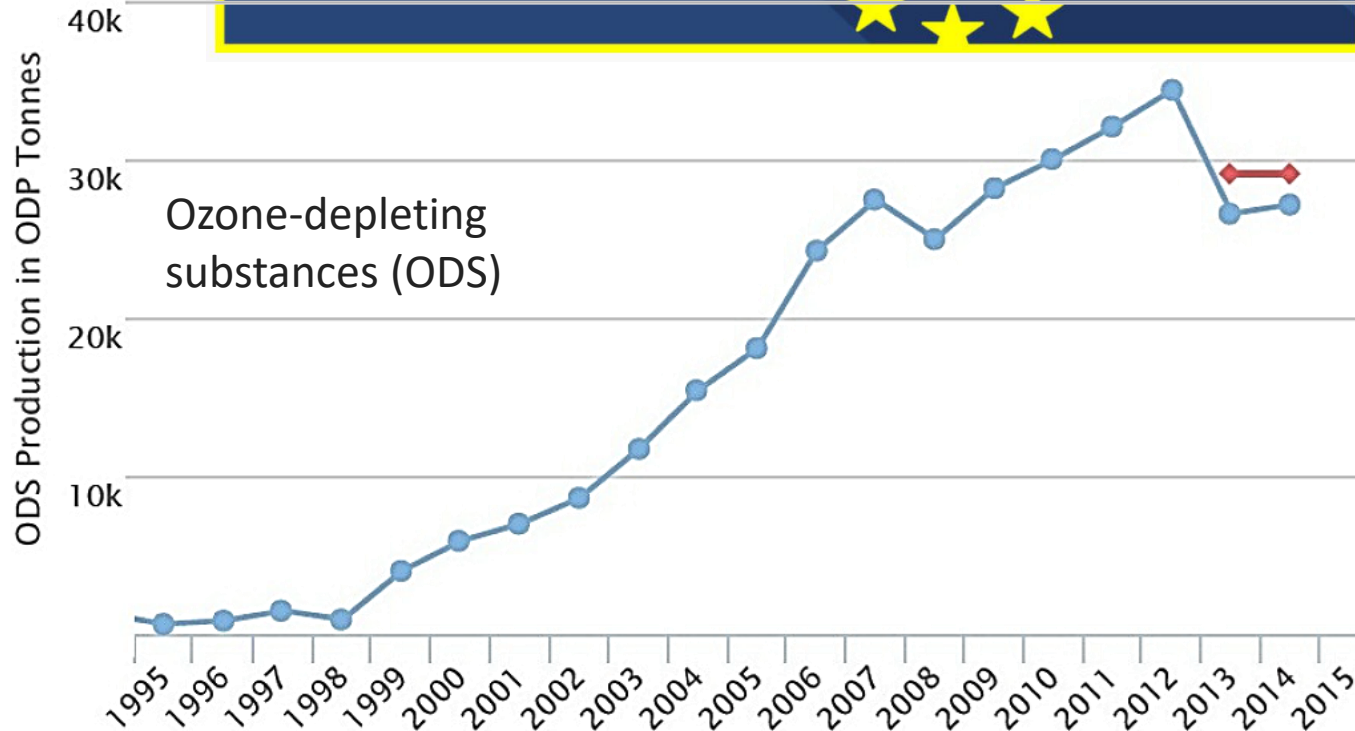
- Potencijal globalnog zagrevanja (Global Warming Potential - GWP):** Rashladni fluidi treba da imaju što manji GWP da bi se umanjio problem globalnog zagrevanja.
- Ukupni indeks ekvivalentnog zagrevanja (Total Equivalent Warming Index - TEWI):** Ovaj indeks obuhvata direktan (kroz oslobađanje u atmosferu) i indirektan (kroz energetske potrošnje) uticaj rashladnih fluida na globalno zagrevanje. **Definiše se kao suma direktne i indirektno emisije gasova staklene bašte.** Prirodno je da su rashladni fluidi sa niskim indeksom TEWI poželjniji za primenu kada je u pitanju globalno zagrevanje.

EU Propis za ograničavanje „F-gasova“.

Montrealskim protokolom 1987. god. je započelo odstranjivanje CFC fluida

Trend proizvodnje HCFC fluida u Kini (UNEP, 2016)

ILLEGAL TRADE OF HFCs



Osobine rashladnih fluida

SIGURNOSNE I EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE RASHLADNIH FLUIDA

4. **Toksičnost:** Idealno je kad rashladni fluid nije toksičan. Međutim, svi fluidi osim vazduha mogu da se nazovu toksičnim, jer uzrokuju gušenje u velikim koncentracijama.

Toksičnost je relativan pojam, koji dobija smisao samo kada se i koncentracija i vreme izloženosti povežu s uzrokovanjem negativnih efekata na zdravlje ljudi. Neki su fluidi srednje toksični i postaju opasni po zdravlje samo pri velikim koncentracijama i dugoj izloženosti njegovom uticaju.

- Generalno govoreći, stepen opasnosti zavisi od:
 - količine rashladnog fluida u ukupnoj zapremini prostora,
 - tipa prostorije,
 - prisustva otvorenog plamena,
 - mirisa (smrada) rashladnog fluida, i
 - uslova održavanja.

Osobine rashladnih fluida

SIGURNOSNE I EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE RASHLADNIH FLUIDA

- 5. Zapaljivost i eksplozivnost:** Rashladni fluidi treba da budu nezapaljivi i neeksplozivni. Ako to nije slučaj moraju se preduzeti specijalne mere zaštite kojima se izbegavaju incidenti. *Na osnovu ovakvih kriterijuma, ASHRAE je uveo podelu svih rashladnih fluida u šest grupa: A1 do A3 i B1 do B3. Rashladni fluidi koji pripadaju grupi A1 (npr. R11, R12, R22, R134a, R744, R718) su manje opasni, dok oni koji pripadaju grupi B3 (npr. R1140) su veoma opasni.*
- 6. Hemijska stabilnost:** Rashladni fluidi treba da su hemijski stabilni barem za period dok se nalazi u instalaciji.
- 7. Kompatibilnost** sa metalnim i nemetalnim materijalima koji se koriste za izradu delova i cele rashladne instalacije.

Osobine rashladnih fluida

SIGURNOSNE I EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE RASHLADNIH FLUIDA

8. **Mogućnost mešanja s uljima za podmazivanje:** Neki rashladni fluidi se ne mešaju s uljima za podmazivanje, pa u instalaciju treba ugraditi i odvajač ulja. Tipičan primer ovakvog rashladnog fluida je **amonijak**. Rashladni fluidi u kojima se ulja potpuno mešaju (R12) su pogodniji za upotrebu. Međutim, kod rashladnih fluida sa delimičnim mešanjem s uljima (R22) moraju se koristiti posebna konstrukciona rešenja da se obezbedi siguran povratak ulja u kompresor.
9. **Električna otpornost:** Ova osobina rashladnih fluida je važna u primeni hermetičkih kompresora kada para fluida dolazi u kontakt sa namotajima elektromotora. Poželjna je visoka električna otpornost rashladnih fluida.
10. **Lako otkrivanje isticanja:** Ukoliko da dođe do nepredviđenog isticanja rashladnog fluida iz instalacije svakako je veoma važno da se mesto isticanja može otkriti lako i efikasno.

Osobine rashladnih fluida

Ekonomski kriterijum

Rashladni fluidi treba da su što je moguće jeftiniji i, što je posebno važno u praksi, da se lako mogu nabaviti.

- *Ova činjenica se često zanemaruje, pa se koriste jeftini rashladni fluidi koje nije moguće uvek i na svakom mestu nabaviti, što instalaciju može da stavi izvan upotrebe za neočekivano dugo vreme.*

Označavanje rashladnih fluida

DERIVATI ZASIĆENIH UGLJOVODONKA

Rashladni fluidi iz ove grupe baziraju se na zasićenim ugljovodonicima čija je opšta hemijska oznaka (C_nH_{2n+2}).

Ovako nastali rashladni fluidi imaju generalnu oznaku **R XYZ** gde su:

- X+1 broj atoma ugljenika (C),
- Y-1 broj atoma vodonika (H), i
- Z označava broj atoma fluora (F).

Primer: hemijska formula freona R134a je $C_2H_2F_4$

X = 1 → Broj atoma ugljenika je: $1 + 1 = 2$

Y = 3 → Broj atoma vodonika je: $3 - 1 = 2$

Z = 4 → Broj atoma fluora je: 4

U oznaci R134a slovo "a" označava da je reč o izomeru, tj. molekulu koji ima istu hemijsku formulu kao i R134, ali različitu atomsku vezu unutar molekula.

R je prvo slovo engleske reči „REFRIGERANT“ što znači rashladni fluid.

Označavanje rashladnih fluida

DERIVATI ZASIĆENIH UGLJOVODONKA:

Ako uz oznaku R postoje samo dve cifre onda je rashladni fluid derivat metana (CH_4).

Primer: hemijska formula rashladnog fluida R22 je CHClF_2

$X = 0 \rightarrow$ Broj atoma ugljenika je: $0 + 1 = 1$ *derivat metana(CH_4)*

$Y = 2 \rightarrow$ Broj atoma vodonika je: $2 - 1 = 1$

$Z = 2 \rightarrow$ Broj atoma fluora je: 2

Označavanje rashladnih fluida

NEORGANSKI RASHLADNI FLUIDI: Ova jedinjenja se označavaju slovom R kojeg sledi broj 7 i zaokružena vrednost molekulske težine na ceo broj.

Na primer, **AMONIJAK** (NH_3) ima molekulsku težinu 17, pa će njegova oznaka biti R717.

UGLJEN-DIOKSID ima molekulsku težinu 44, pa je oznaka R744.

VODA ima molekulsku težinu 18, pa je oznaka R718.

VAZDUH kao rashladni fluid ima oznaku **R728**. *Njegova upotreba kao rashladnog fluida je marginalna, a razlog za to je velika neefikasnost postrojenja. Usavršavanjem kompresionih i ekspanzionih tehnologija povećava se efikasnost ovakvih uređaja, ali je to još uvek nedovoljno za njegovu širu upotrebu.*

Označavanje rashladnih fluida

SMEŠE: Azeotropne smeše se označavaju brojevima iz serije od 500 do 599, dok se zeotropne smeše označavaju brojevima iz serije od 400 do 499.

Primer azeotropnih smeša su:

R500: Smeša od: R12 (73.8 %) i R152a (26.2%)

R502: Smeša od R22 (48.8 %) i R115 (51.2%)

R503: Smeša od R23 (40.1 %) i R13 (59.9%)

R507A: Smeša od R125 (50%) i R143a (50%)

Primeri zeotropnih smeša su:

R404A: Smeša od R125 (44%), R143a (52%) i R134a (4%)

R407A: Smeša od R32 (20%), R125 (40%) i R134a (40%)

R407B: Smeša od R32 (10%), R125 (70%) i R134a (20%)

R410A: Smeša od R32 (50%) i R125 (50%)

Veliko slovo na kraju brojne oznake označava praktično da postoje više smeša istih činilaca, ali različitih udela.

Označavanje rashladnih fluida

ČISTI UGLJOVODONICI

Od čistih ugljovodonika najčešće se kao rashladni fluidi koriste

- Propan (C_3H_8): R290
- n-butane (C_4H_{10}): R600
- iso-butan (C_4H_{10}): R600a
- Nezasićeni ugljovodonici: R1150 (C_2H_4) i R1270 (C_3H_6)

Poređenja različitih rashladnih fluida

Rashladni fluidi R11, R12, R22, R502 itd. su korišćeni vrlo široko u prošlosti, ali su zbog negativnog uticaja na ozonski sloj postepeno zamenjeni sa sintetičkim, kao što je R134a i smeše HFC.

SINTETIČKI rashl. fluidi su neotrovni i nezapaljivi. U poređenju sa prirodnim, imaju lošije performanse i veći uticaj na globalno zagrev.

Najpoznatiji PRIRODNI rashladni fluid je AMONIJAK. On ima vrlo dobre termodinamičke, termofizičke i ekološke osobine. Međutim, otrovan je i vrlo agresivan na neke konstrukcione materijale. *Npr. bakar ili legure koje ga sadrže, ne koriste se u amonijačnim instalac.*

Drugi prirodni rashladni fluidi kao što su ugljovodonici i **ugljen-dioksid (R744)** očekuje se da će imati, bez obzira na neke svoje nedostatke, veću ulogu u budućnosti zbog svojih ekoloških prednosti.

Sekundarni rashladni fluidi

DEFINICIJA: To su fluidi koji se koriste za prenos rashladne energije nastale u isparivaču rashladnog sistema.

→ **Sekundarni rashl. fluid menja temperaturu, ali ne menja fazu.**

VODA je sekundarni rashl. fluid, ali zbog opasnosti od zamrzavanja u isparivaču obično se zamenjuje antifrizima ili sonim rastvorima.

Nekoliko najčešće korišćenih antifrizna su rastvori vode sa etilen-glikolom, propilen-glikolom, ili kalcijum-hloridom. Propilen-glikol je posebno interesantan, jer je bezopasan u kontaktu sa hranom. Karakteristike ovih antifrizna su slične.

Po definiciji sekundarnih rashladnih fluida VAZDUH svakako spada u ovu grupu. Međutim, vazduh se ne koristi kao sekundarni rashladni fluid, **jer mu je toplotni kapacitet mali.**

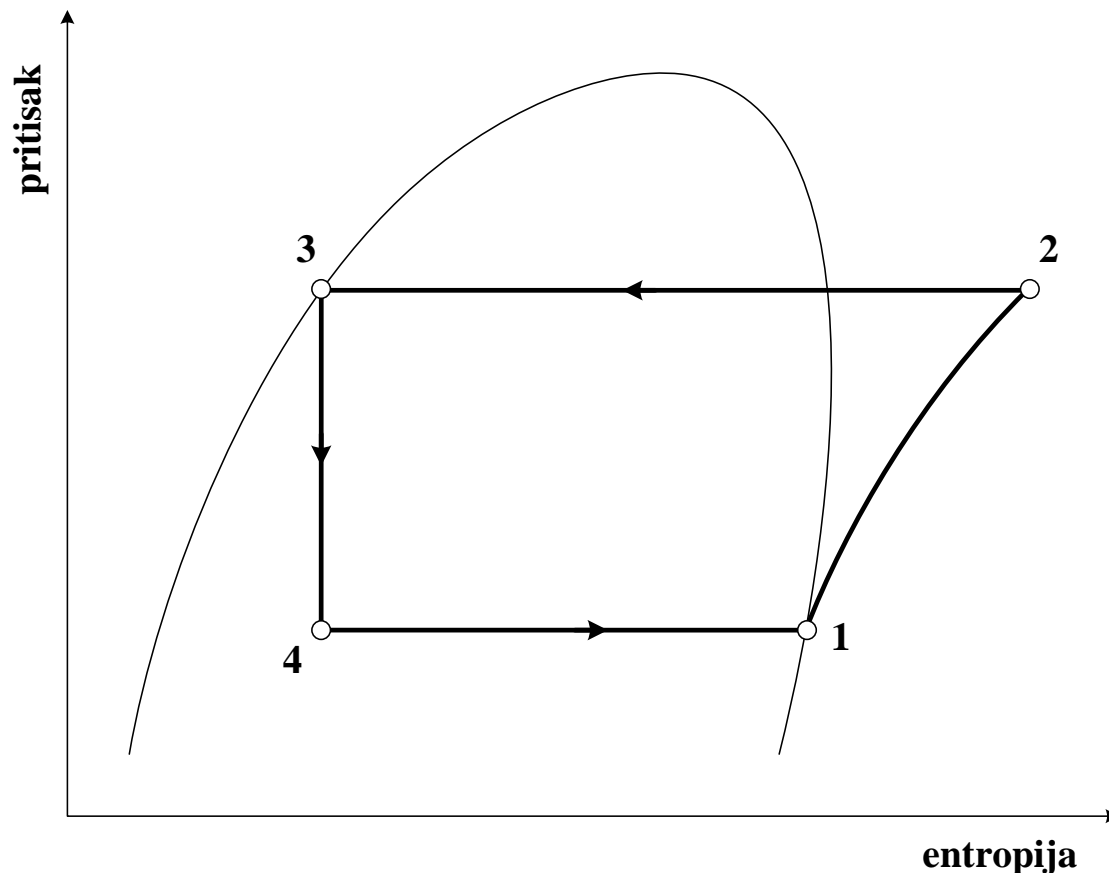
Sekundarni rashladni fluidi

Poželjne karakteristike tečnih sekundarnih rashladnih fluida su:

- Niska temperatura zamrzavanja,
- Mala viskoznost, što smanjuje potrebnu snagu pumpanja,
- Velika specifična toplota, što vodi ka manjim protocima fluida,
- Niskokorozivno dejstvo na konstrukcione materijala,
- Hemijska stabilnost,
- Neotrovnost i nezapaljivost.

Zadatak

Za standardni kompresorski proces ciklus koji radi sa temperaturom isparavanja $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ i temperaturom kondenzacije $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, izračunati vrednost masenog protoka po 1 kW hlađenja i rad kompresije za: NH_3 , R22, R134a i R407C.



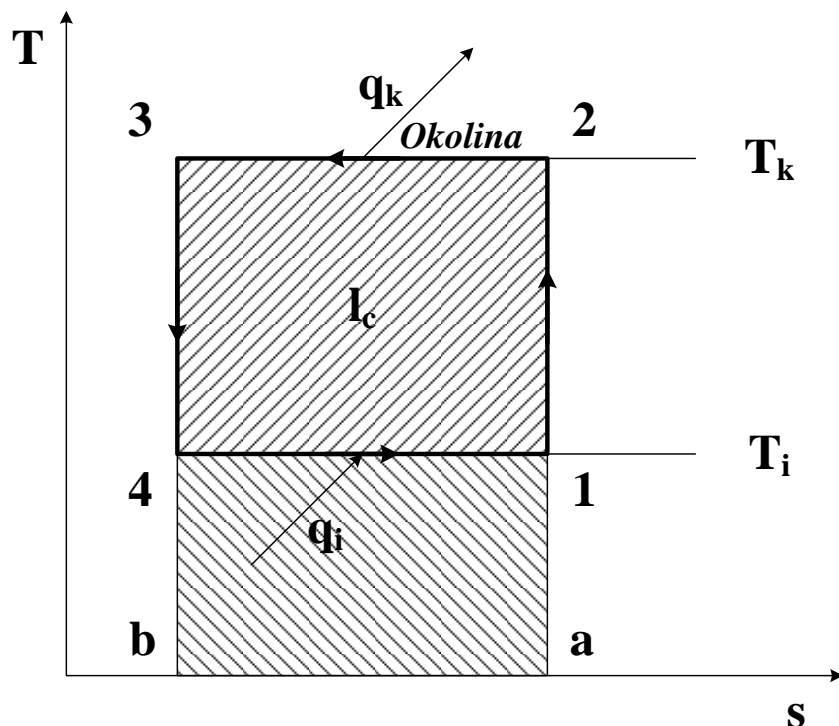
Naziv	Jed.	NH3	R22	R134a	R407C
Temperatura na ulazu u kompresor, t_1	°C	-15	-15	-15	-15
Pritisak u isparivaču, p_1	bar	2.3631	2,9560	1,638	2,593
Entalpija na usisu kompresora, h_1	kJ/kg	1.570,15	399,50	388,8	407
Entropija na usisu kompresora, s_1	kJ/(kg K)	6,2128	1,7750	1,734	1,815
Gustina pare na usisu kompresora, ρ_1	kg/m ³	1,96734	12,8780	8,319	11,061
Temperatura na izlazu iz kondenzatora, t_3	°C	30	30	30	30
Pritisak u kondenzatoru, p_2	bar	11,6709	11,9170	7,695	13,327
Entalpija na potisu kompresora, h_2	kJ/kg	1801,40	434,20	420,8	447,9
Entropija na potisu kompresora, $s_2=s_1$	kJ/(kg K)	6,2128	1,7750	1,734	1815
Gustina pare na potisu kompresora, ρ_2	kg/m ³	6,79620	44,27700	36,052	50,925
Temperatura pare na potisu kompresora, t_2	°C	98,7	53,0	37,0	51,0
Entalpija tečnosti na izlazu kondenzatora, h_3	kJ/kg	468,35	236,80	241	171,4
Specifični maseni rashladni kapacitet, q_e	kJ/kg	1101,80	162,70	147,80	235,60
Spec, zapreminski rashladni kapacitet, q_{ve}	kJ/m ³	2167,61	2095,25	1229,55	2605,97
Specifični rad kompresije, l_k	kJ/kg	231,25	34,70	32,00	40,90
Koeficijent hlađenja, ϵ	-	4,76	4,69	4,62	5,76
Maseni protok rashladnog fluida za 1 kW snage hlađenja	kg/s	0,00090	0,00614	0,00676	0,00424
Snaga kompresora za rashladni kapacitet od 1 kW	kW	0,2099	0,2133	0,2165	0,1736

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

LEVOKRETNI KRUŽNI PROCESI

Hlađeni prostor je na konstantnoj temperaturi T_i a okolina na temperaturi T_k .

Između ovih temperatura postavlja se **LEVOKRETNI CARNOTOV PROCES** i dovodi se radnoj materiji toplota q_i pri niskoj temperaturi, a pri višoj temperaturi se istoj radnoj materiji odvodi toplota q_k . Za to je potrebno utrošiti rad: $l_c = q_k - q_i$.



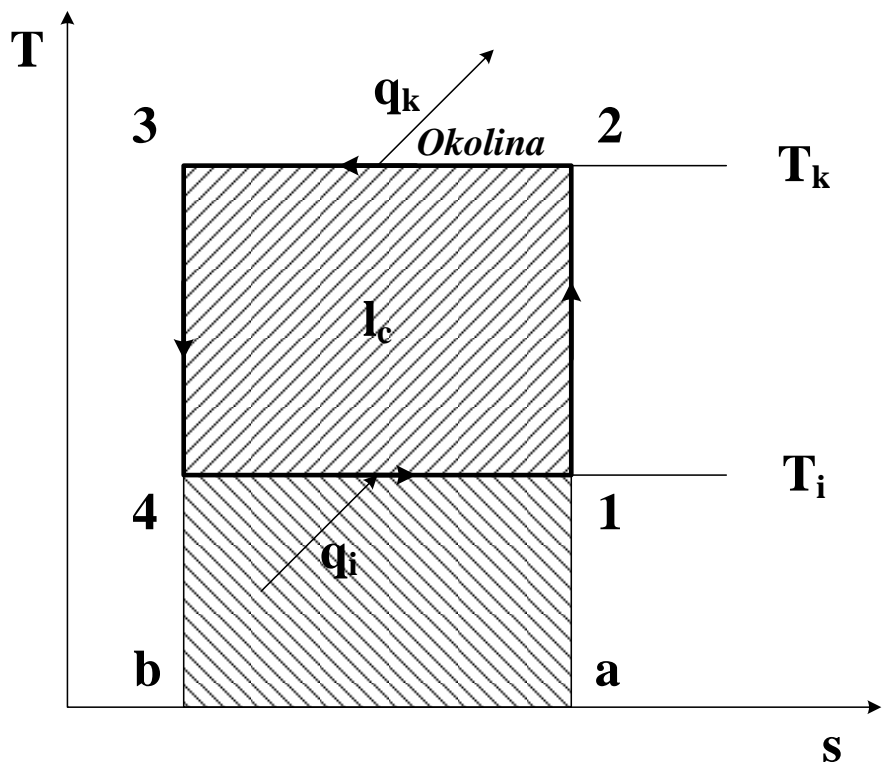
Carnotov ciklus je samo jedan od mnogih rešenja za postizanje istog efekta hlađenja.

Međutim, praktično ga je teško realizovati, te se u praksi sreću ciklusi koji se razlikuju od ovoga najboljeg.

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

LEVOKRETNI KRUŽNI PROCESI

Rashladni ciklus Carnot čine dve izotermne i dve adijabatno-izentropne promene stanja.



Za obavljanje adijabatske kompresije radnom fluidu se od tačke 1 do 2 dovodi rad l_{kom} , pri čemu se pored pritiska menja i temperatura od T_i do T_k . Rad ciklusa:

$$l_c = l_{kom} - l_{eks}$$

Toplota dovedena radnom fluidu ciklusa pri temperaturi T_i jednaka je q_i . Da bi se ova količina toplote predala okolini koja je na višoj temperaturi T_k , neophodno je ciklusu obezbediti dodatnu energiju (l_c) tako da se okolini predaje ukupna toplota q_k .

$$q_i + l_c = q_k$$

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

LEVOKRETNI KRUŽNI PROCESI - ANALIZA

Za ocenu kvaliteta bilo kojeg rashladnog ciklusa uobičajeno je da se koristi **RASHLADNI ILI KOEFICIJENT HLAĐENJA** (ε), definisan odnosom toplotnog protoka u isparivaču i utrošenog rada, tj:

$$\varepsilon = \frac{q_i}{l_c}$$

Koristeći ovu jednačinu rashladni koeficijent može da se prikaže i na sl. način:

$$\varepsilon = \frac{q_i}{q_k - q_i} = \frac{T_i (s_1 - s_4)}{T_k (s_1 - s_4) - T_i (s_1 - s_4)} = \frac{T_i}{T_k - T_i} = \varepsilon_C \leftarrow q_i + l_c = q_k$$

KOMENTAR:

Pošto je osnovni interes da se ostvari što je moguće veći rashladni koeficijent, sledi da je za to potrebno što viša temperatura T_i i što niža temperatura T_k .

Za isti rashladni kapacitet q_i pri temperaturi T_i treba dovesti više rada što je veća razlika temperatura ($T_k - T_i$).

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

LEVOKRETNI KRUŽNI PROCESI - RASHLADNI KAPACITET

SPECIFIČNI RASHLADNI KAPACITET q_i , ima jedinicu **kJ/kg**.

Ako se toplotni kapacitet odnosi na ukupni maseni protok rashladnog fluida biće $Q_i = m \cdot q_i$. Pošto je maseni protok, najčešće dat, u kg/s,

RASHLADNI KAPACITET Q_i biće dat u **kJ/s ili kW**.

U praksi je ponekad korisno znati i **SPECIFIČNI ZAPREMINSKI RASHLADNI KAPACITET $q_{v,i}$** koji je specificiran u odnosu na zapreminu rashladnog fluida [kJ/m³]. On je po definciji jednak:

$$q_{v,i} = \frac{q_i}{v}$$

gde je v [m³/kg] specifična zapremina rashladnog fluida.

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

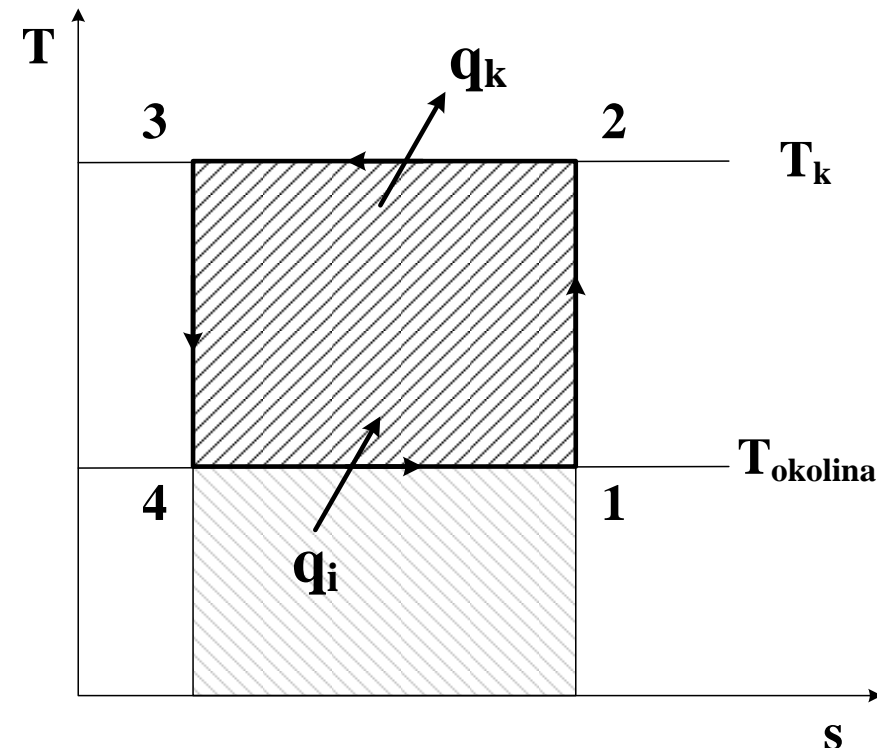
LEVOKRETNI KRUŽNI PROCESI – TOPLOTNA PUMPA

Svaki rashladni uređaj može da bude i toplotna pumpa. Za toplotne pumpe "korisna" toplota je ona koja se oslobodi u kondenzatoru.

Na slici je ciklus toplotne pumpe **Carnot.**

Temperature su se promenile. Sada je T_i temperatura okoline, a T_k ona temp. na kojoj je potrebno ostvariti grejanje.

To znači da se uz dodatak rada toplota nižeg energetskeg potencijala podiže na viši, i to na nivo koji je potreban da bi se obavio proces grejanja.



TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

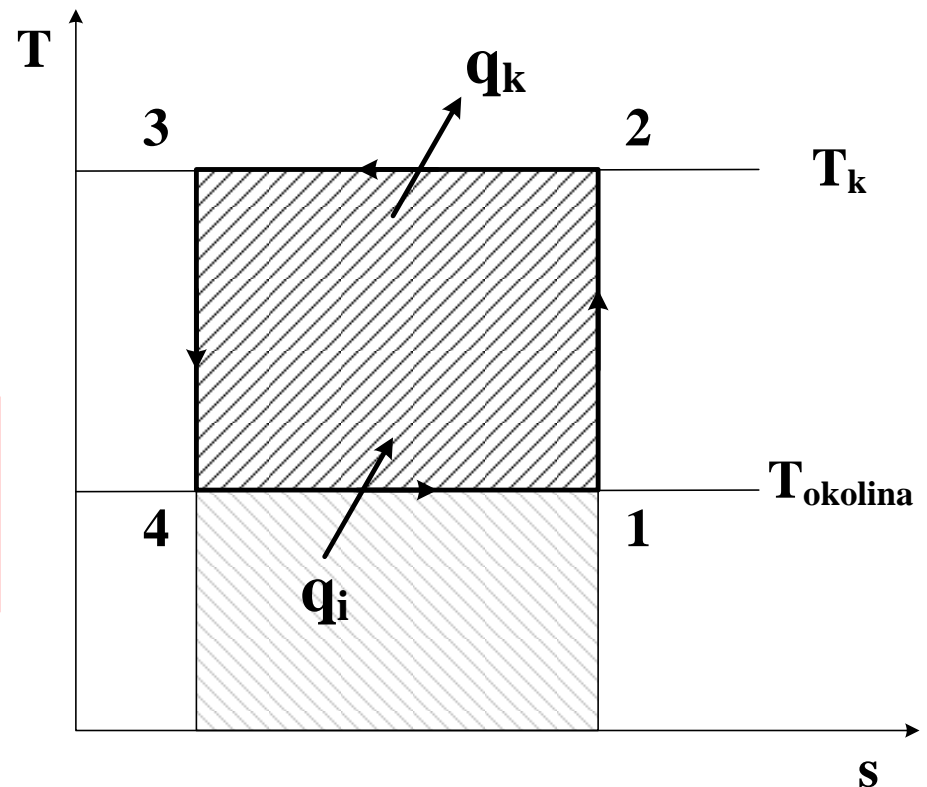
LEVOKRETNI KRUŽNI PROCESI – TOPLOTNA PUMPA

U slučaju toplotne pumpe će se definisati **KOEFICIJENT GREJANJA** i biće jednak:

$$\mu = \frac{q_k}{l_c}$$

ili, za **Carnotov** ciklus je:

$$\mu = \frac{q_k}{q_k - q_i} = \frac{T_k}{T_k - T_i} = \varepsilon + 1$$



TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

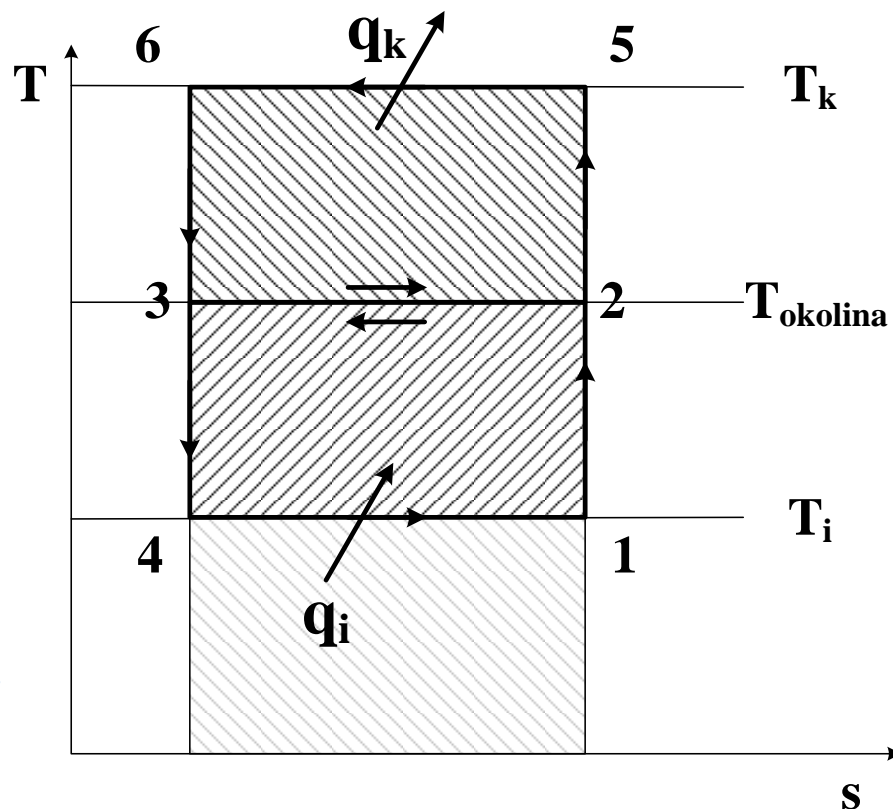
LEVOKRETNI KRUŽNI PROCESI – TOPLOTNA PUMPA

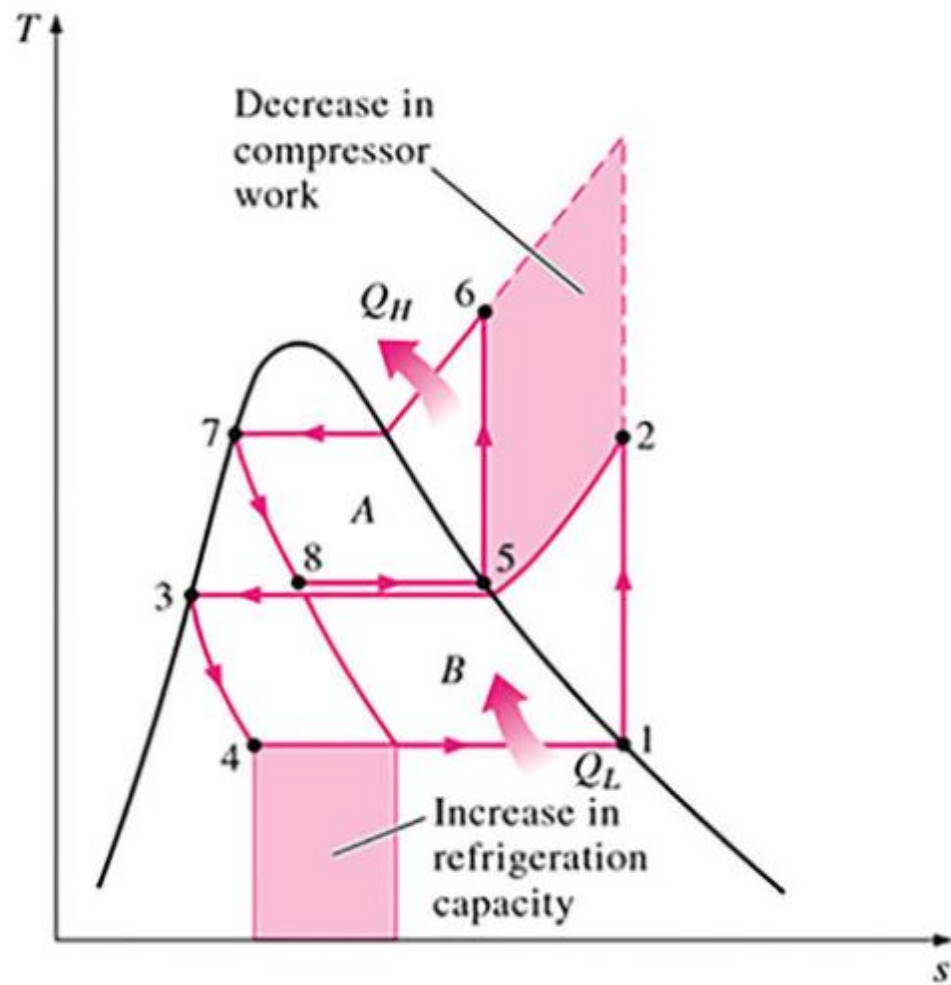
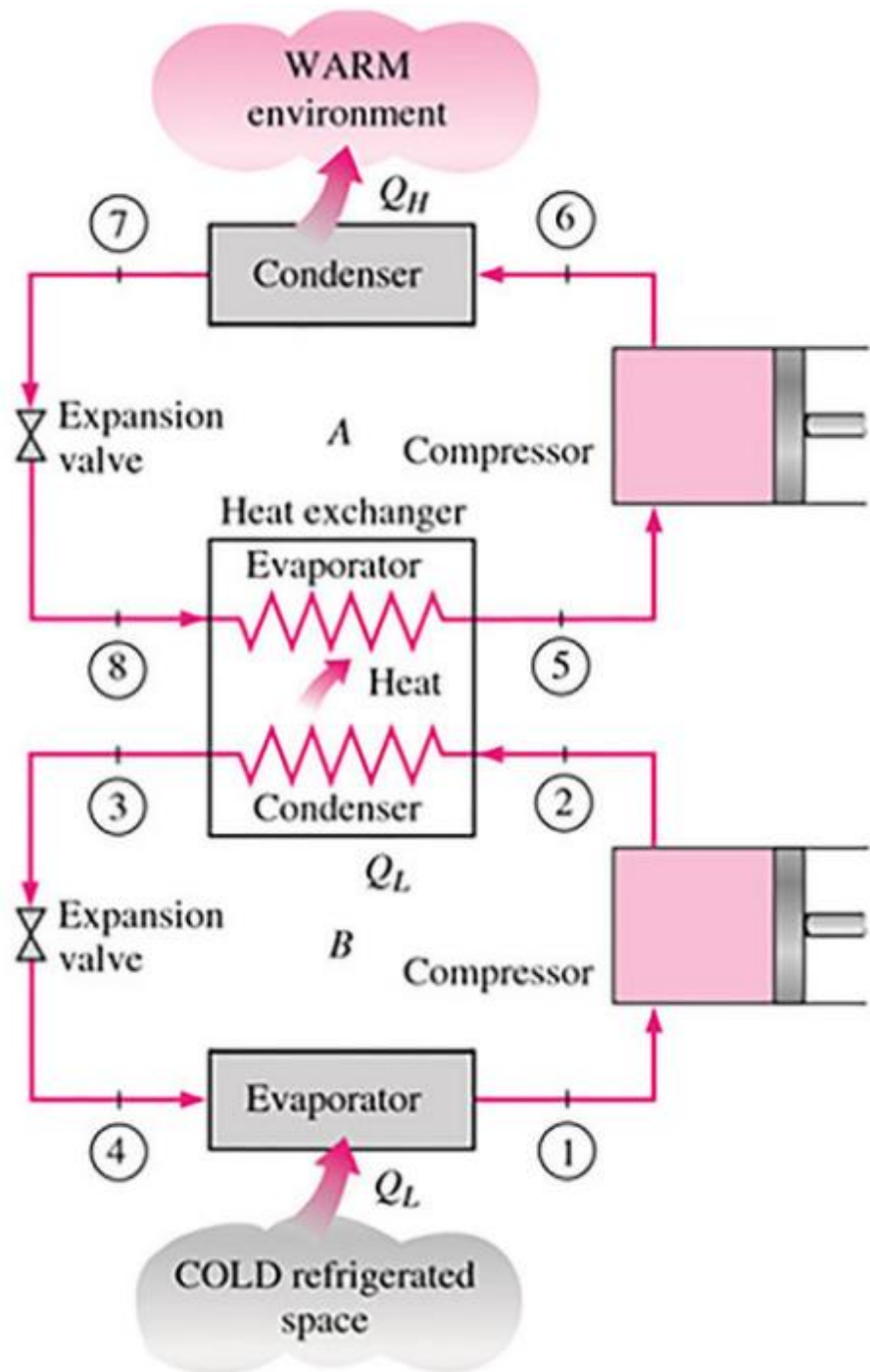
Kombinovani levokretni ciklusi se mogu u nekim slučajevima tako konstruisati da se istovremeno koristi njegova i topla i hladna strana.

Za Carnotov kombinovani ciklus sledi da je:

$$\frac{q_k}{q_i} = \frac{T_k}{T_i}$$

Kombinovani Carnotov ciklus





TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

VAZDUŠNI RASHLADNI UREĐAJ

Vazdušni kompresioni rashladni uređaj je bio prvi koji je praktično i realizovan.

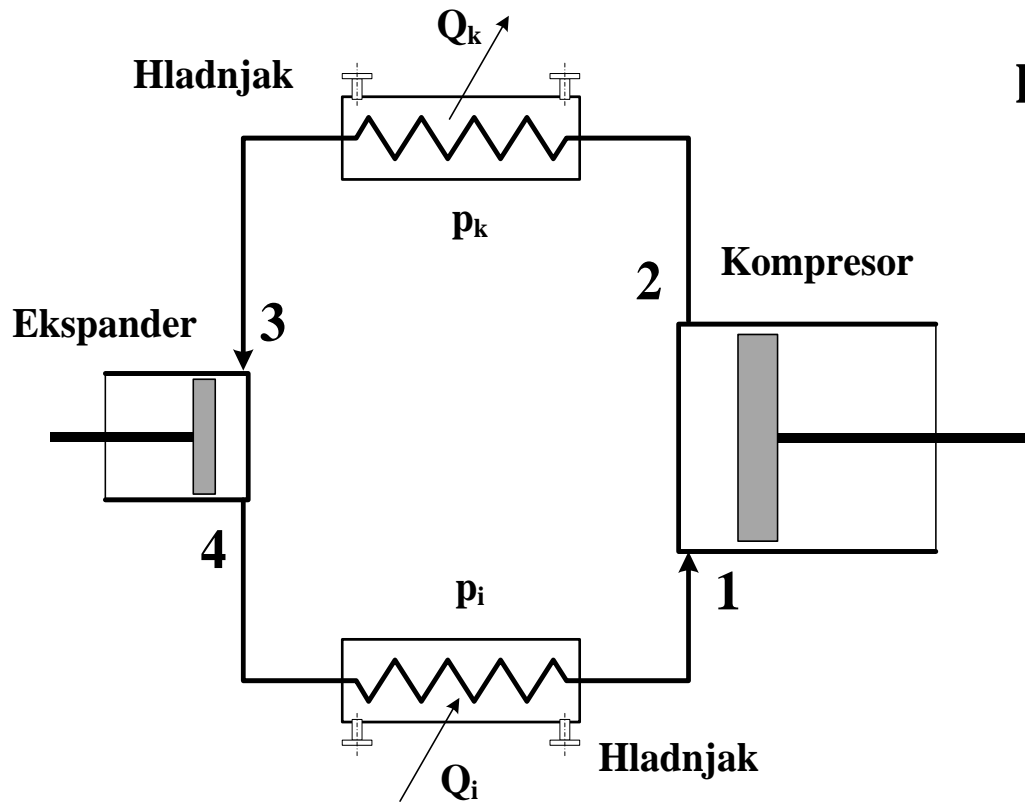
Zbog prvobitne velike neefikasnosti (naročito kompresije i ekspanzije) dugo je bio nekonkurentan i izvan upotrebe.

- Danas su vazdušni rashladni uređaji dobili ponovo praktičnu primenu, zahvaljujući razvoju turbinskih mašina vrlo velikih brojeva obrtaja i velikih protoka.
- Dodajući tome da su i hladnjaci postali mnogo kompaktniji, stvoreni su uslovi da veličina vazdušne rashladne mašine bude znatno manja u odnosu na klasične klipne mašine.

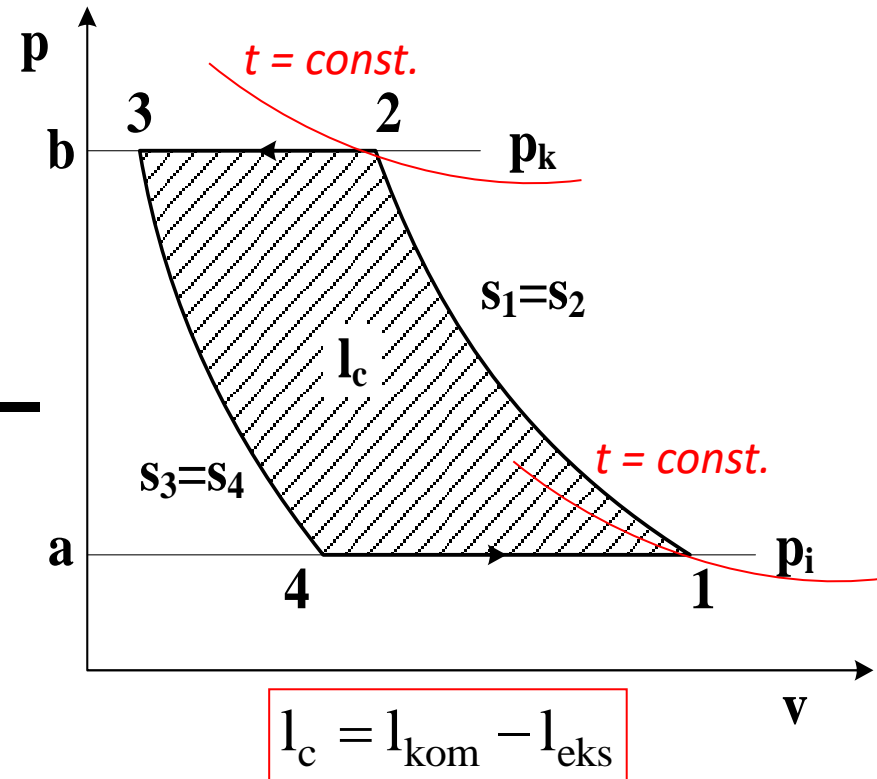
TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

VAZDUŠNI RASHLADNI UREĐAJ / Principi rada, utrošen rad

Zatvoreni vazdušni rashladni uređaj



Idealizovani ili uporedni vazdušni rashladni ciklus u p-v dijagramu



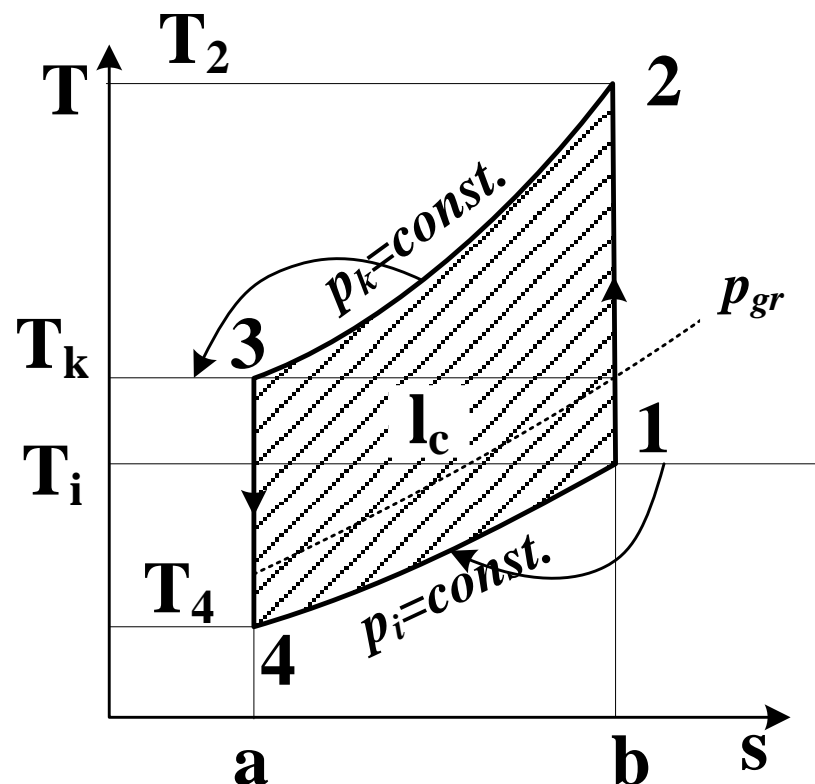
TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

VAZDUŠNI RASHLADNI UREĐAJ / Razmenjene količine toplote

Idealizovani ili uporedni vazdušni rashladni ciklus u T-s dijagramu

Pritisci vazduha p_k i p_i mogu biti proizvoljno odabrani, ali tako da adijabatskom kompresijom može da se ostvari temperaturska razlika $T_k - T_i$.

p_{gr} je granični pritisak. To je minimalni pritisak koji se mora dostići da bi se ciklusom uopšte ostvarila temperatura rashladne vode (T_k).



$$q_i + l_c = q_k$$

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

VAZDUŠNI RASHLADNI UREĐAJ / Razmenjene količine toplote

Specifični rashladni kapacitet postrojenja jednak je:

$$q_i = c_p \cdot (T_1 - T_4) \quad \text{gde je } c_p \text{ izobarna specifična toplota rashladnog fluida.}$$

Međutim, pošto je

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{p_i}{p_k} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

to znači da će i rashladni kapacitet zavisiti od pritisaka.

Rashladni koeficijent idealizovanog vazdušnog rashladnog uređaja jednak je:

$$\varepsilon = \frac{q_i}{l_c} = \frac{q_i}{q_k - q_i} = \frac{1}{\left(\frac{p_k}{p_i} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}$$

Iz ove jednačine se vidi da porastom razlika pritisaka opada rashladni koeficijent.

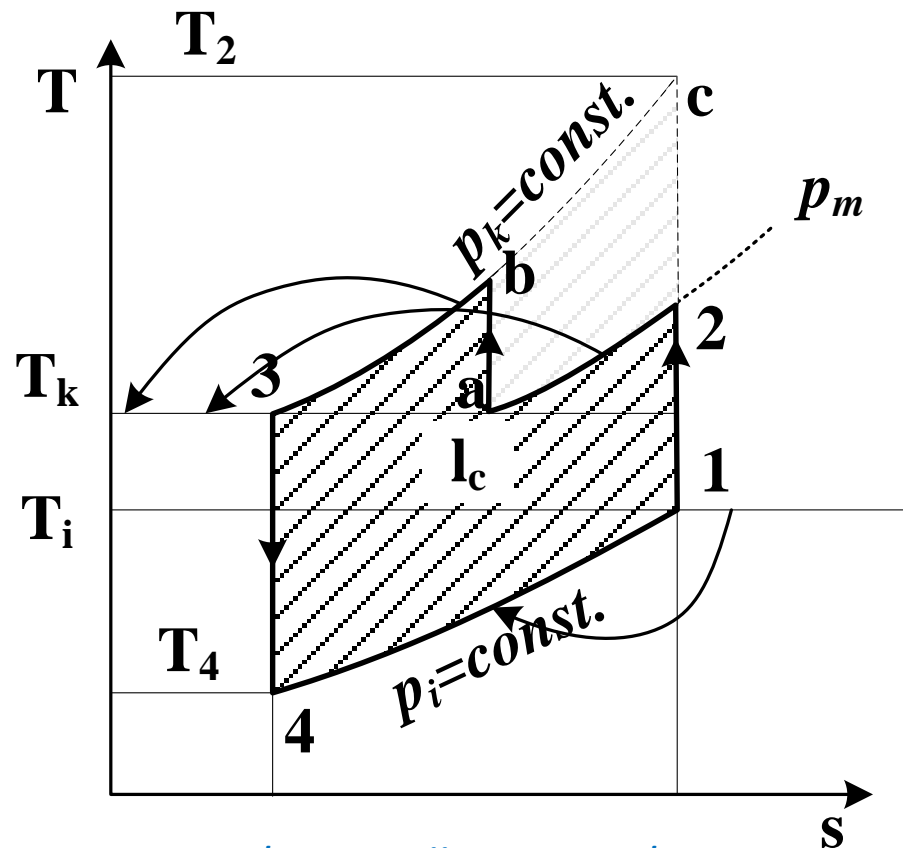
TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

VAZDUŠNI RASHLADNI UREĐAJ / Poboljšanje rashladnog koeficijenta

Poboljšanje rashladnog koeficijenta je moguće postići primenom **višestepene kompresije**.

Vazduh se komprimuje na pritisak p_m koji je niži od p_k

Na taj način se potreban rad smanjuje za površinu **2-c-b-a** u odnosu na jednostepenu kompresiju procesa između istih pritisaka.



Dvostepena kompresija u uporednom vazdušnom rashladnom ciklusu u T-s dijagramu

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

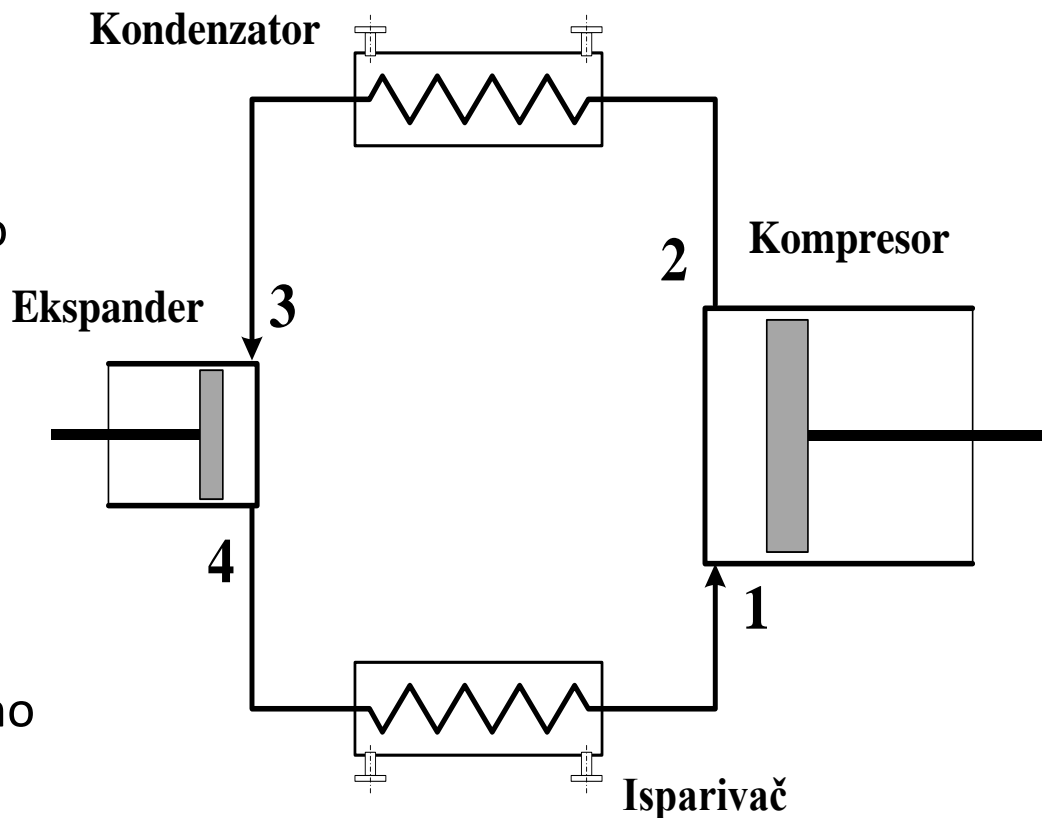
VAZDUŠNI RASHLADNI UREĐAJ / Nedostaci

- Bitan nedostatak kod vazdušnih rashladnih ciklusa je što je toplotni kapacitet vazduha vrlo mali, pa su za praktično prihvatljive rashladne kapacitete potrebni veliki protoci vazduha, što opet zahteva velike i skupe mašine.
- Još jedan nedostatak se ogleda u tome što je kompresioni rad ciklusa jednak razlici dva pojedinačno velika rada (kompresije i ekspanzije), koji sadrže u praksi velike gubitke.

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI

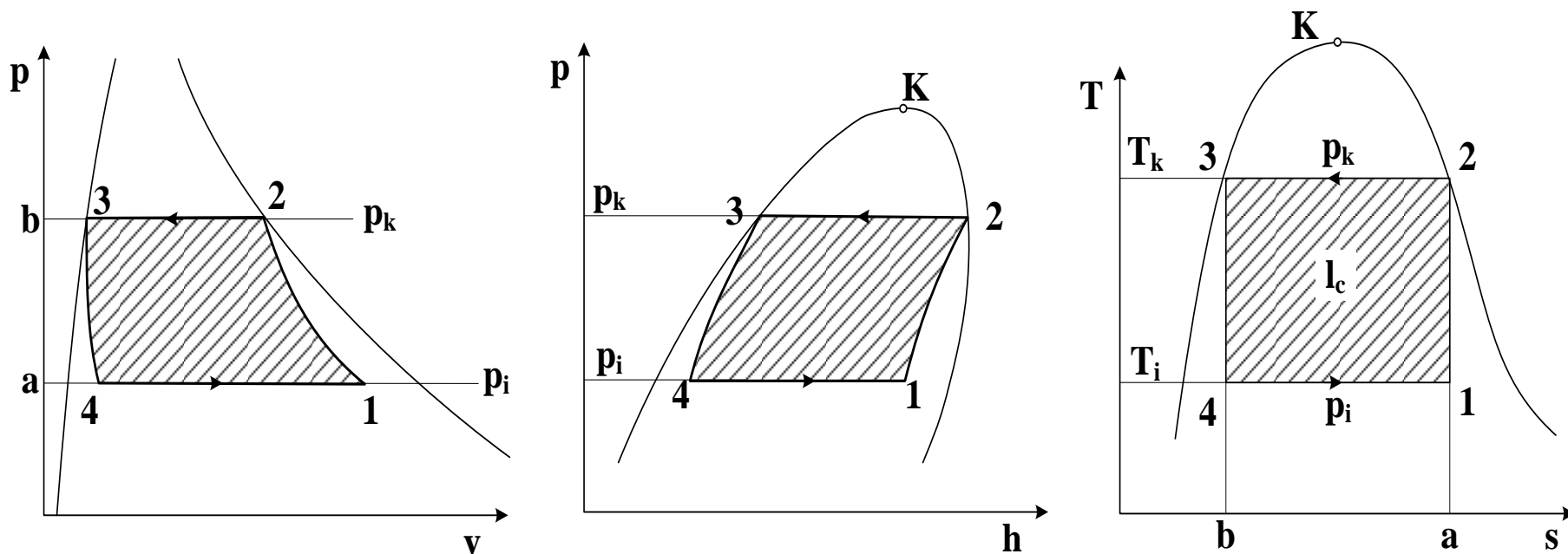
- Kod parnih rashladnih uređaja se odabira takav rashladni fluid kod kojeg će pri razumnim pritiscima promene stanja padati u zasićeno područje.
- Kod parnih ciklusa se u delu procesa poklapaju izoterme i izobare.
- Pošto je toplota isparavanja tečnosti vrlo velika, to će i **zapremina kompresora** biti znatno manja u odnosu na zapreminu vazdušnog kompresora istog rashladnog kapaciteta.



Parni rashladni uređaj

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI



Carnotov parni ciklus u p-v, p-h i T-s dijagramima

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

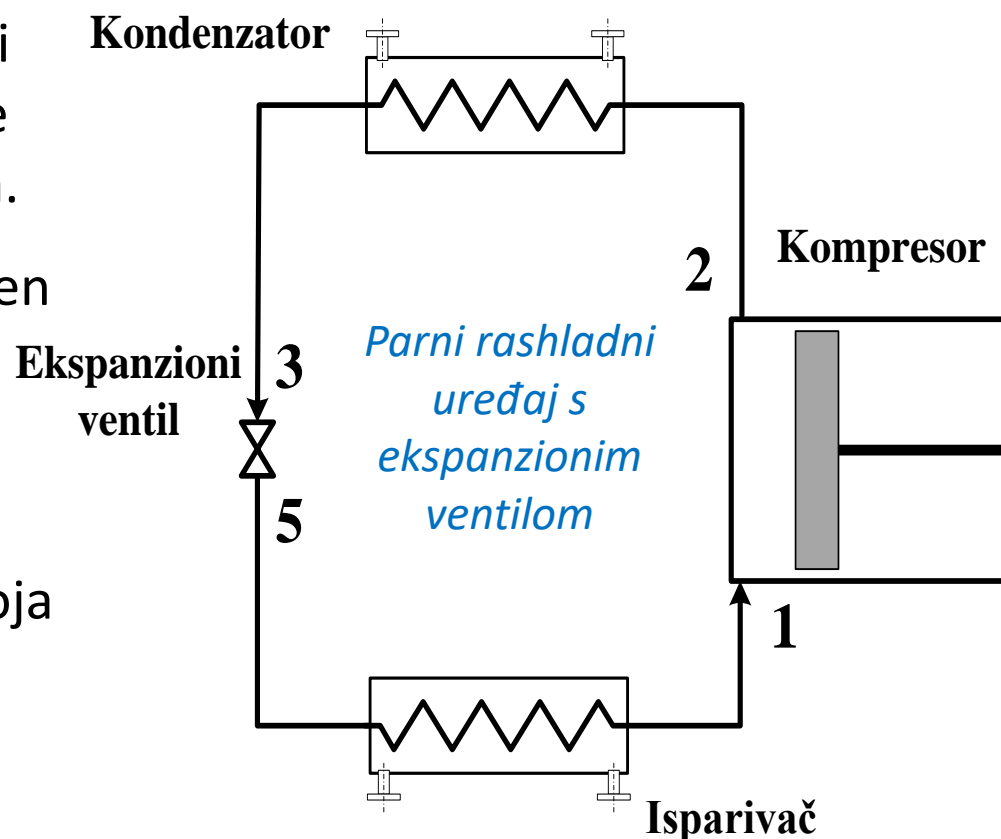
PARNI RASHLADNI UREĐAJI - Ekspanzioni ventil

Rad dobijen u ekspanderu parnog rashladnog uređaja je veoma mali i praktično se utroši na savladavanje trenja u mehanizmima ekspandera.

→ složen i skup ekspander zamenjen je jednostavnijim i jeftinijim ekspanzionim ventilom.

Time se u ciklusu zamenjuje izentropska promena stanja 3-4, koja je povratna, jednom potpuno nepovratnom promenom stanja –

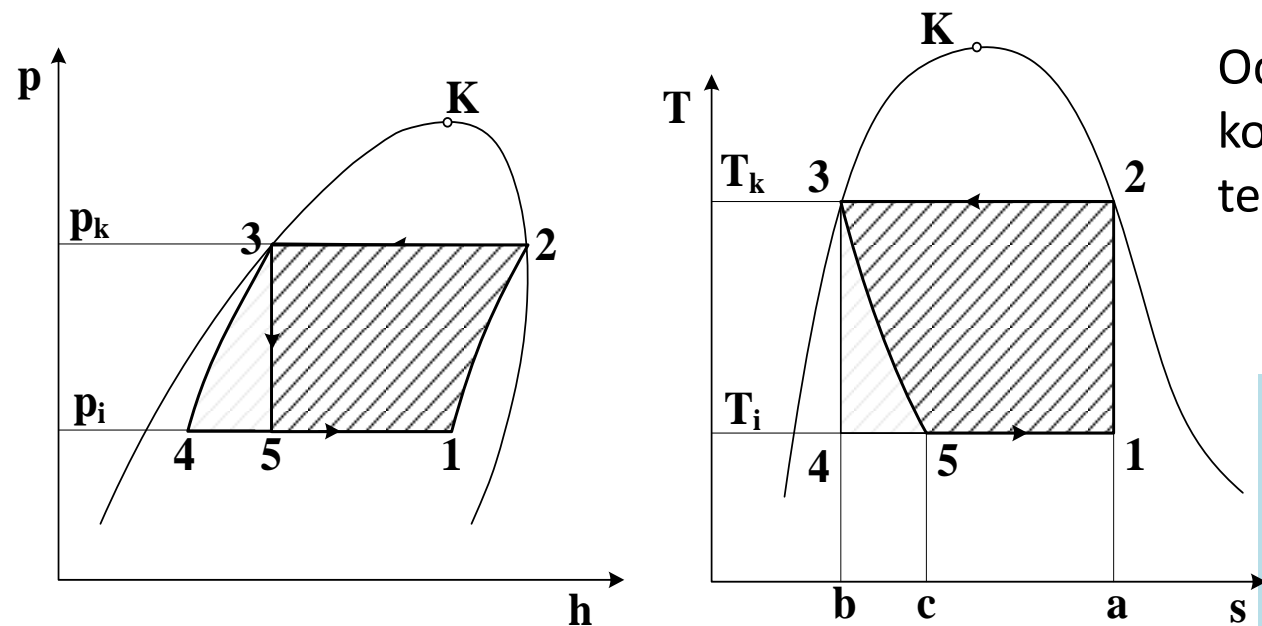
izentalpom ($h = \text{const}$).



TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI - Ekspanzioni ventil

Umesto promene stanja 3-4 sada se ekspanzija tečnosti obavlja po promeni stanja 3-5. Pošto je tačka 5 desno od tačke 4, **smanjiće se** i **specifični rashladni kapacitet** (površina 1-5-c-a) u odnosu na slučaj izentropske ekspanzije (površina 1-4-b-a).



Parni rashladni ciklus s ekspanzionim ventilom

Odvedena količina toplote u kondenzatoru je nepromenjena, te je rad nešto veći:

$$l_c = q_k - q_i$$

Višak potrebnog rada je posledica nepovratnosti u procesu prigušivanja i povećava se s porastom temperaturske razlike $T_k - T_i$.

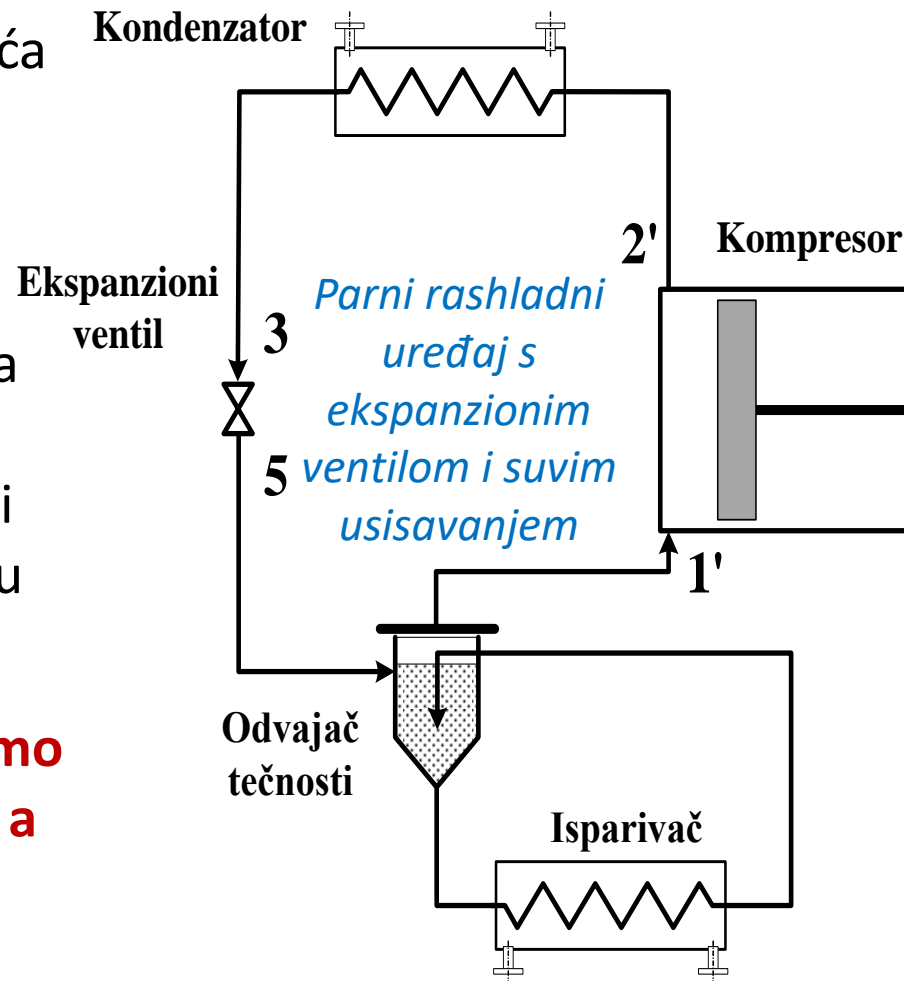
TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI - Suvo usisavanje

Rashladni kapacitet može da se poveća ako se u isparivaču omogući da sva tečnost u mokroj pari ispari.

Ispred kompresora je postavljen i **uređaj za odvajanje kapljica**. Njegova uloga je da odvoji eventualne kapi tečnosti na izlazu iz isparivača, koje bi mogle prouzrokovati probleme u radu kompresora.

→ Na taj način se obezbeđuje da samo suva para dođe na usis kompresora, a čista tečnost na ulazu isparivača.



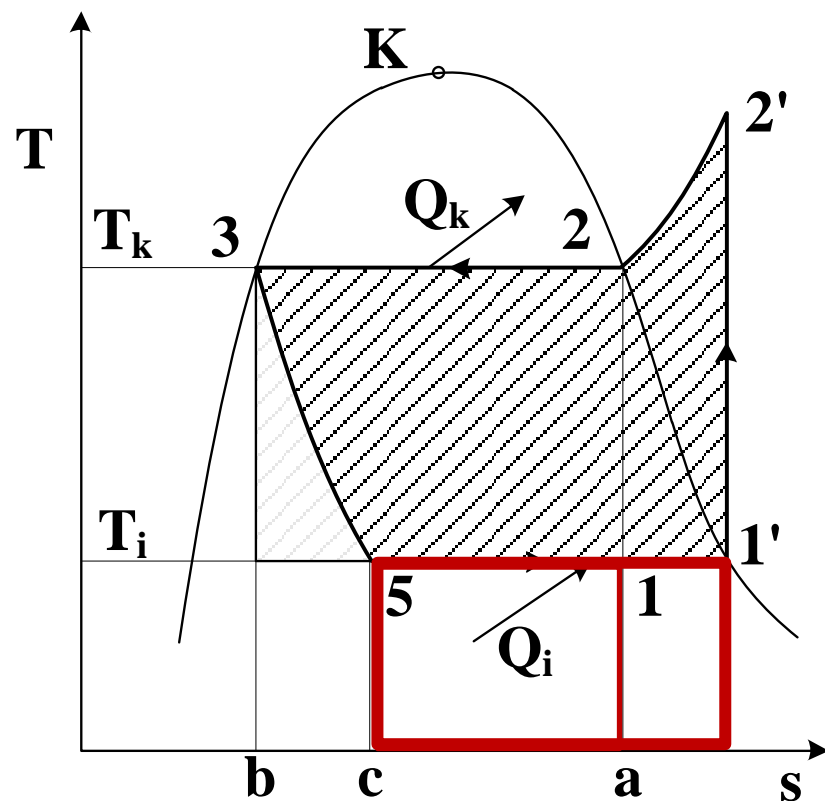
TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI - Suvo usisavanje

Kompresija se sada u potpunosti obavlja u pregrejanom području.

Time će se povećati **rashladni kapacitet**

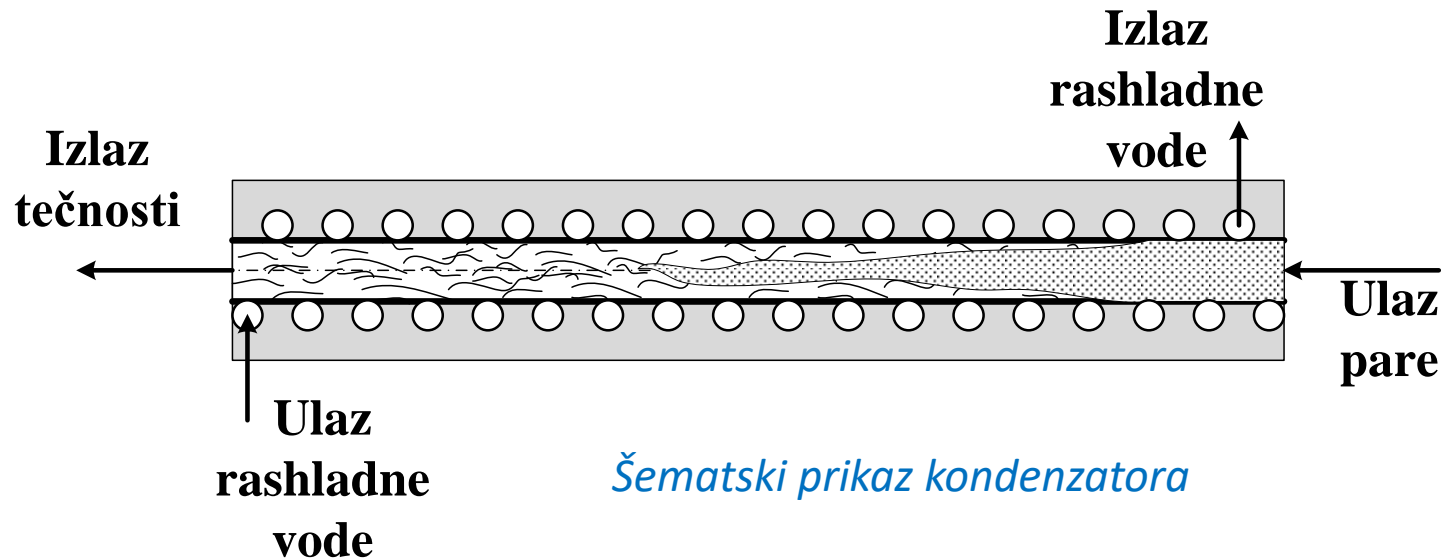
Međutim, kompresijom u pregrejanom području se dobija znatno viša temperatura rashladnog fluida na potisu kompresora (tačka 2'). To je negativna pojava ali korist je znatno veća.



Parni rashladni uređaj s ekspanzionim ventilom i suvim usisavanjem

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

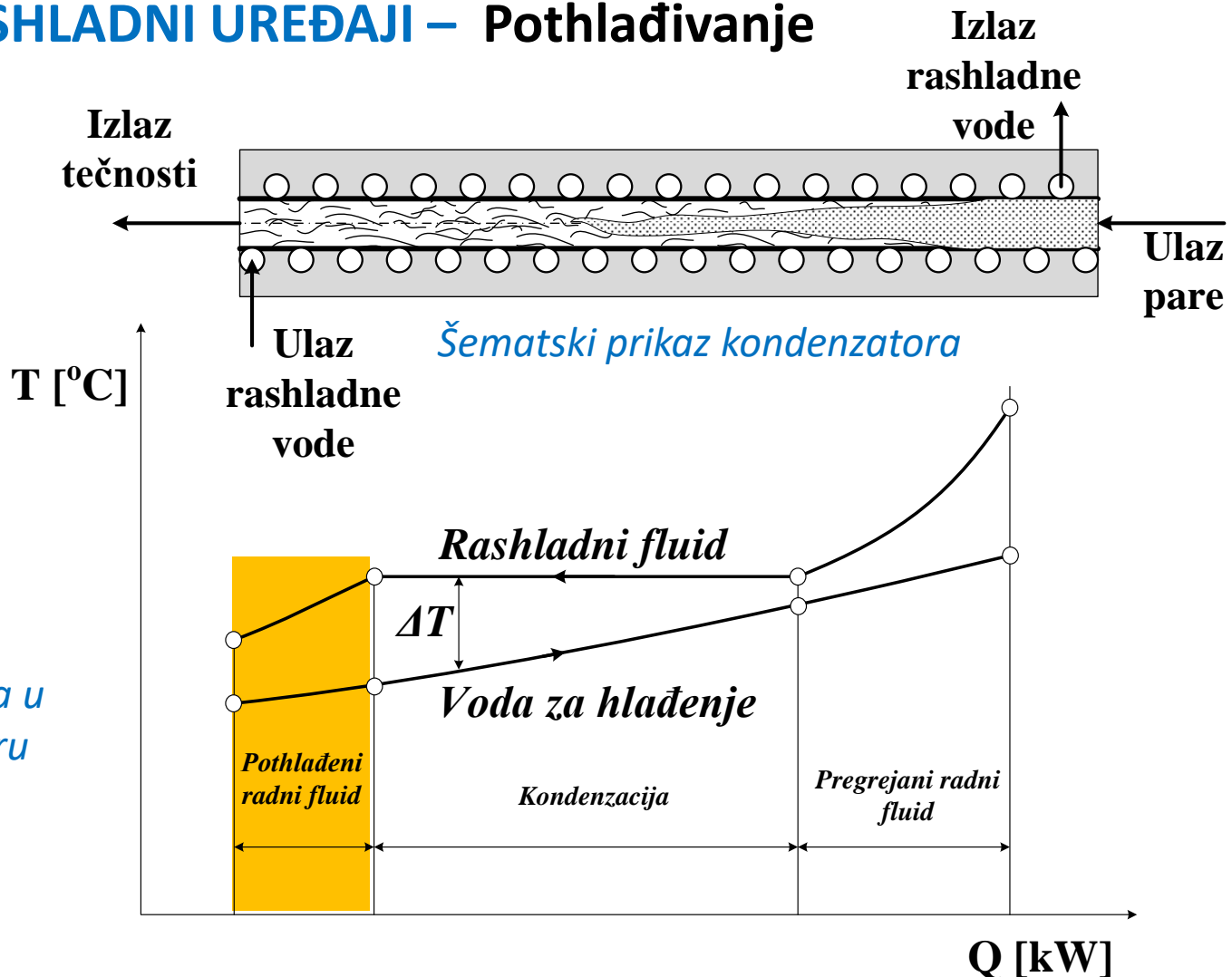
PARNI RASHLADNI UREĐAJI - Pothlađivanje



Kada se i poslednja količina pare kondenzovala, može doći do pothlađivanja tečnosti **ako ima dovoljno površine za razmenu toplote i ako ulazna temperatura vode za hlađenje to dozvoljava.**

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

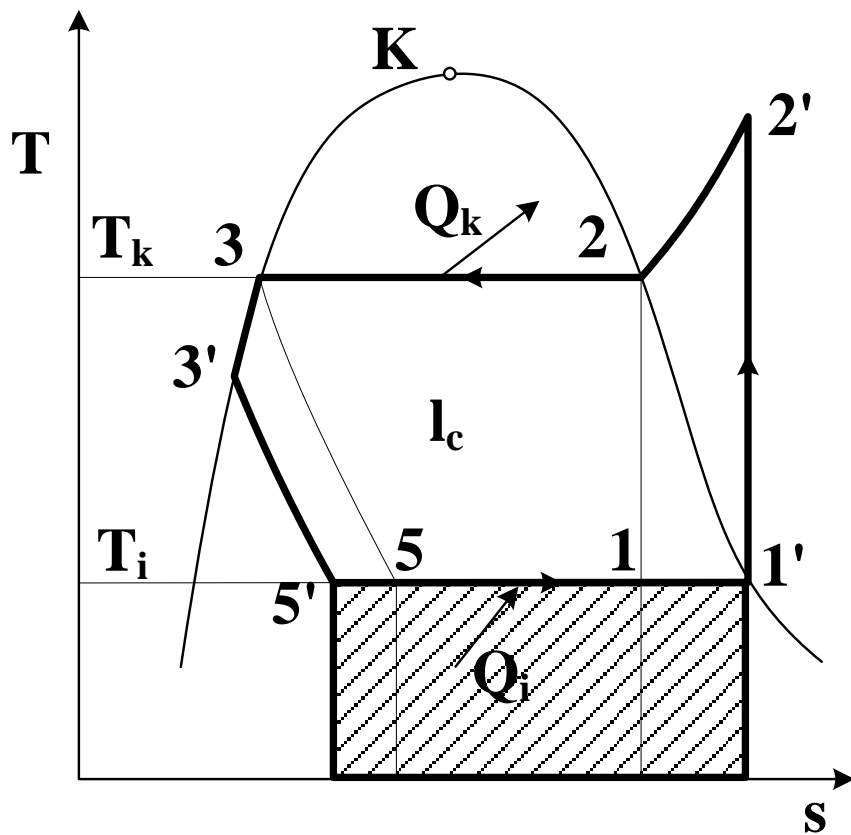
PARNI RASHLADNI UREĐAJI – Pothlađivanje



Tok temperatura u kondenzatoru

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI – UTICAJ POTHLAĐIVANJA



Praktično se uz isti rad

$$l_c = h_{2'} - h_{1'}$$

dobija veći rashladni kapacitet

$$q_i = h_{1'} - h_{5'}$$

a samim tim i

VEĆI RASHLADNI KOEFICIJENT.

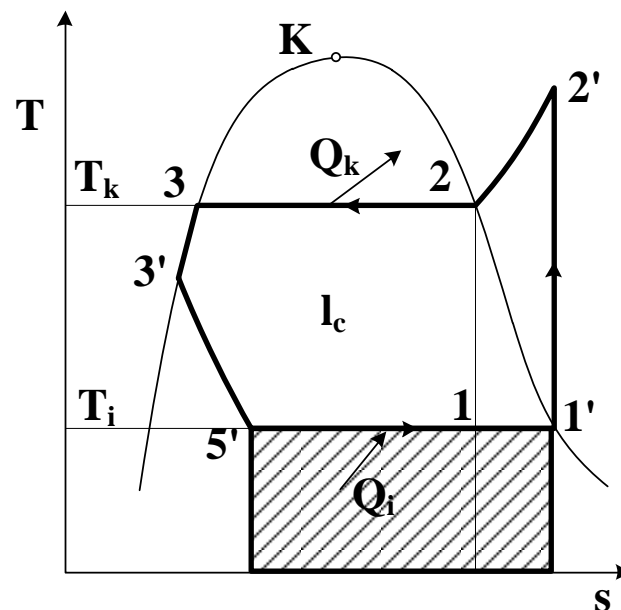
Pothlađivanje tečnosti u kondenzatoru u T-s dijagramu

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI – Dvostepena kompresija

Osnovno pravilo rashladne tehnike jeste da se ciklus što je moguće više prilagodi temperaturama hlađenja (T_i) i kondenzacije (T_k).

Ako je temperatura T_i niska, tada će temperatura potisa pri jednostepenoj kompresiji u ciklusu sa suvim usisavanjem biti vrlo visoka, **a to znači i znatno viša od temperature kondenzacije.**



Rešenje 2-k / DVOSTRUKI EFEKAT :

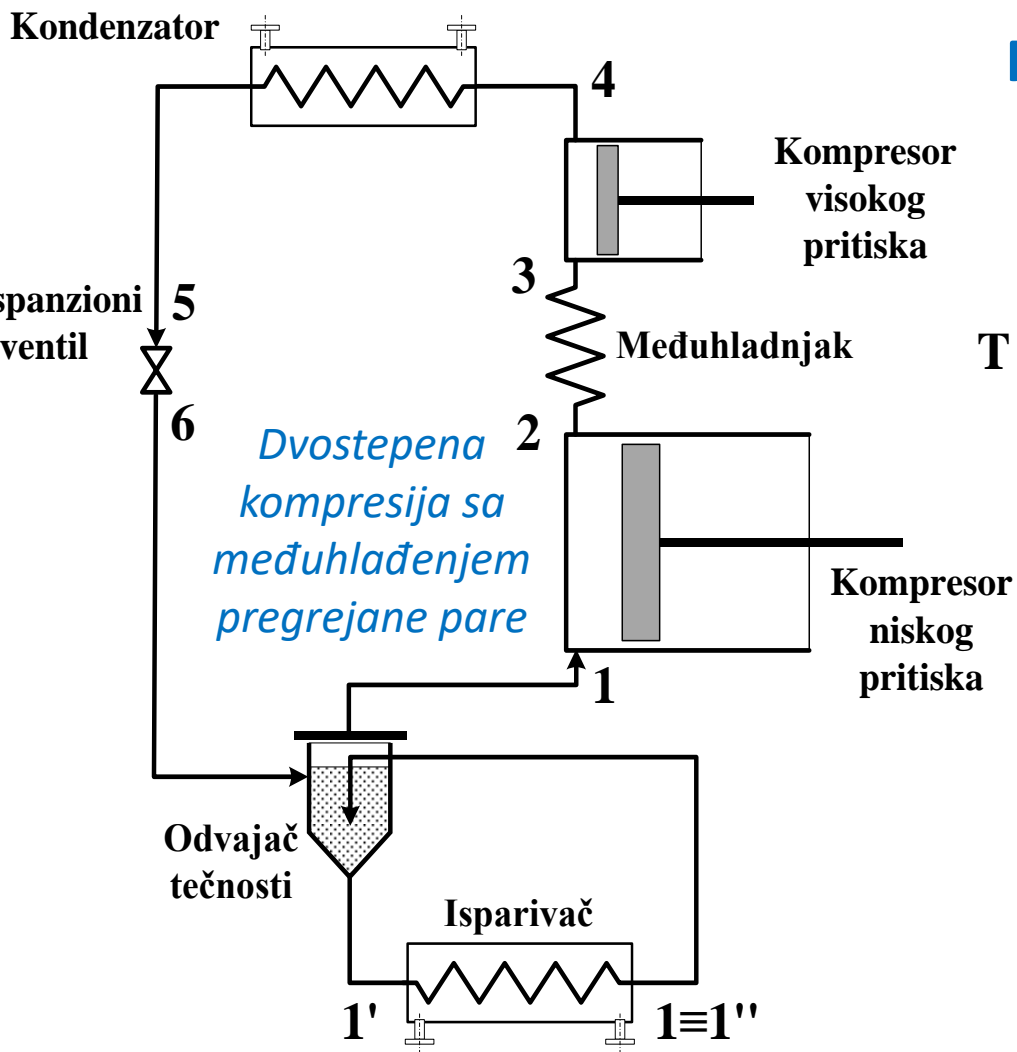
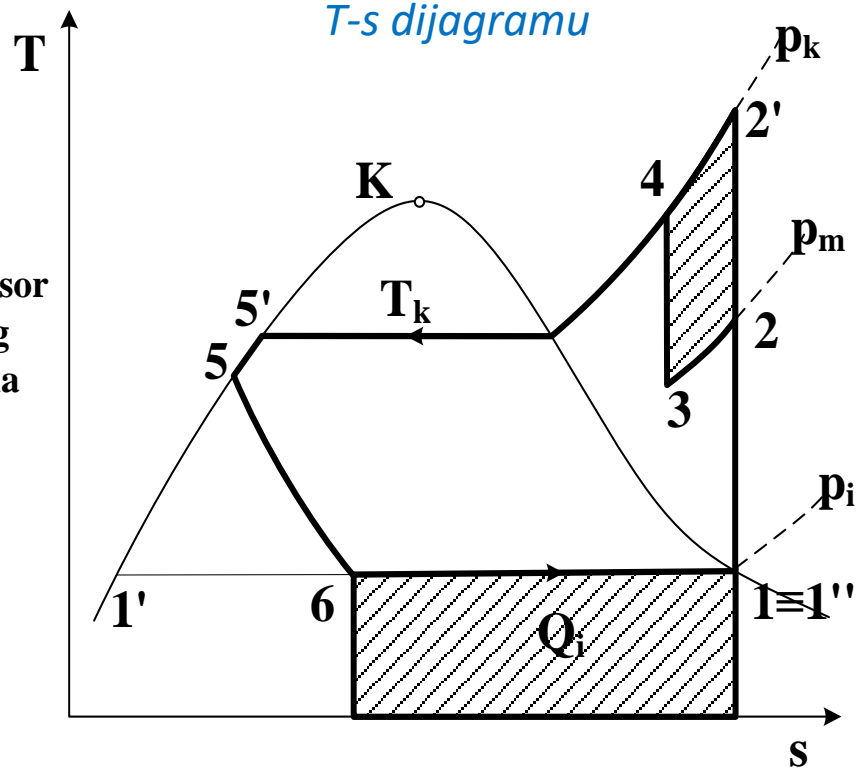
Dvostepenom kompresijom sa hlađenjem između kompresionih stupnjeva, moguće je značajno smanjiti **konačnu temperaturu potisa kompresora**. To će rezultirati i u smanjenju **rada kompresije**.

TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI –

Dvostepena kompresija

Dvostepena kompresija sa međuhlađenjem pregrejane pare u T-s dijagramu



TERMODINAMIČKE OSNOVE RASHLADNIH CIKLUSA SA MEHANIČKOM KOMPRESIJOM

PARNI RASHLADNI UREĐAJI – Dvostepena kompresija

Dvostepena i višestepena kompresija daje velike prednosti, naročito pri niskim temperaturama isparavanja.

Za $p_k/p_i > 4,5$ poželjna je dvostepena kompresija, a za još veće odnose i kompresija u tri, četiri i još više stupnjeva.

Odnos pritiska kompresije se obično uzima da je isti, mada to nije obavezno, odnosno važi da je:

$$\frac{p_1}{p_i} \cdot \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{p_3}{p_2} \dots \frac{p_{n-1}}{p_{n-2}} \cdot \frac{p_k}{p_{n-1}} = \omega^n$$

gde je ω dat odnos pritiska kompresije jednog stupnja, a (n) je broj stupnjeva.

Za dvostepeno sabijanje važi da je:

$$p_m = \sqrt{\frac{p_k}{p_i}}$$

KOMPRESORI

NAMENA: Obavlja kontinualnu cirkulaciju rashladnog fluida i ostvaruje razliku pritisaka u sistemu i jedan je od osnovnih komponenti rashladnog sistema.

PODELA: U praktičnoj upotrebi su dva tipa (prema principu rada):

#1 ZAPREMINSKI

Povećanje pritiska gasovitog rashladnog fluida postiže se smanjenjem zapremine kompresionog prostora dovodenjem mehaničkog rada preko odgovarajućih mehanizama kompresora (klipnog, rotirajućeg klipa, jednog ili dva vijka ili preko para spirala).

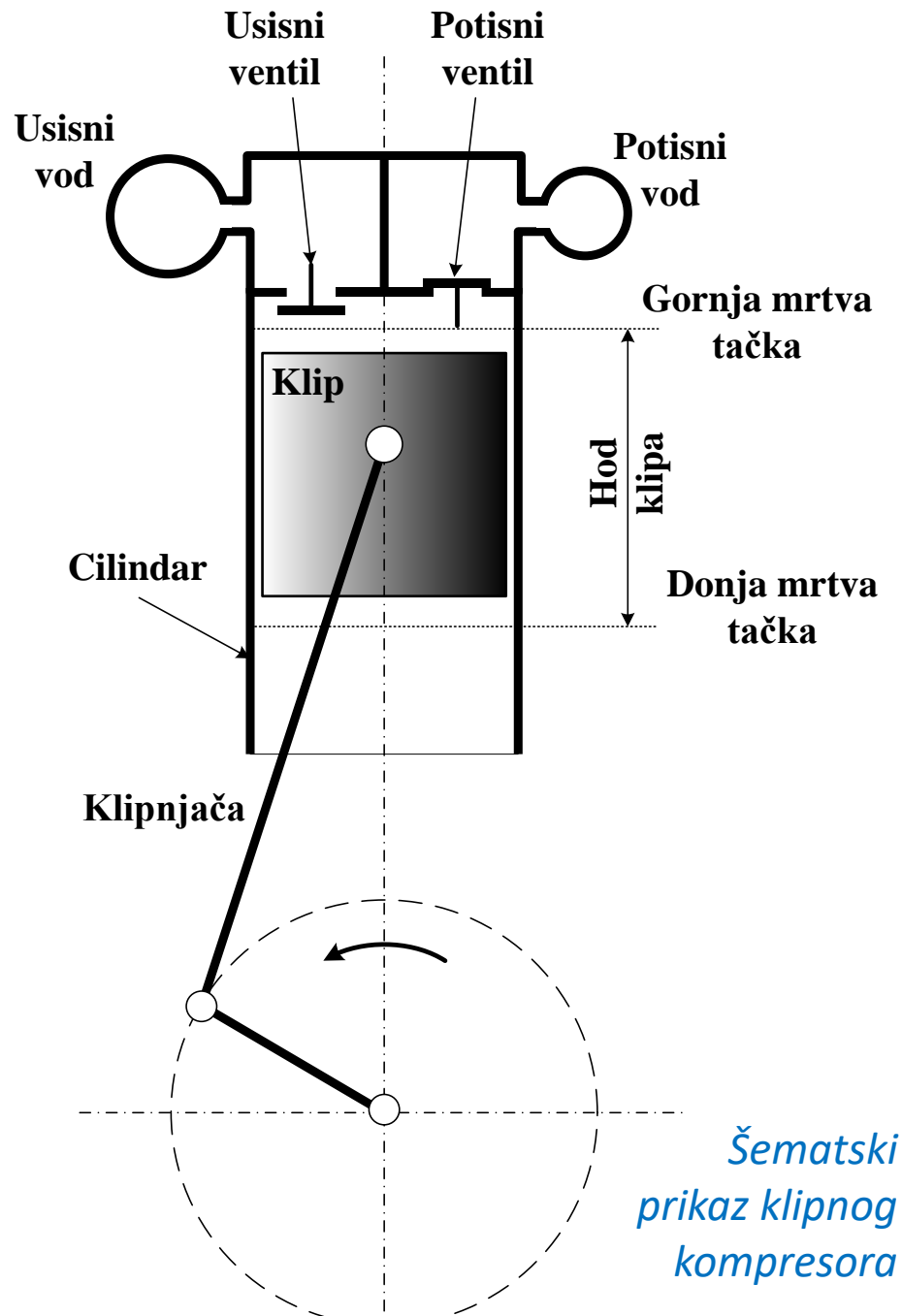
#2 STRUJNI

Povećanje pritiska gasovitog rashladnog fluida obavlja se dejstvom centrifugalne sile, mase pare rashladnog fluida i njegovim pretvaranjem u kinetičku energiju (para velikom brzinom izlazi iz rotora kompresora), pa usporenjem u energiju pritiska.

KLIPNI KOMPRESORI

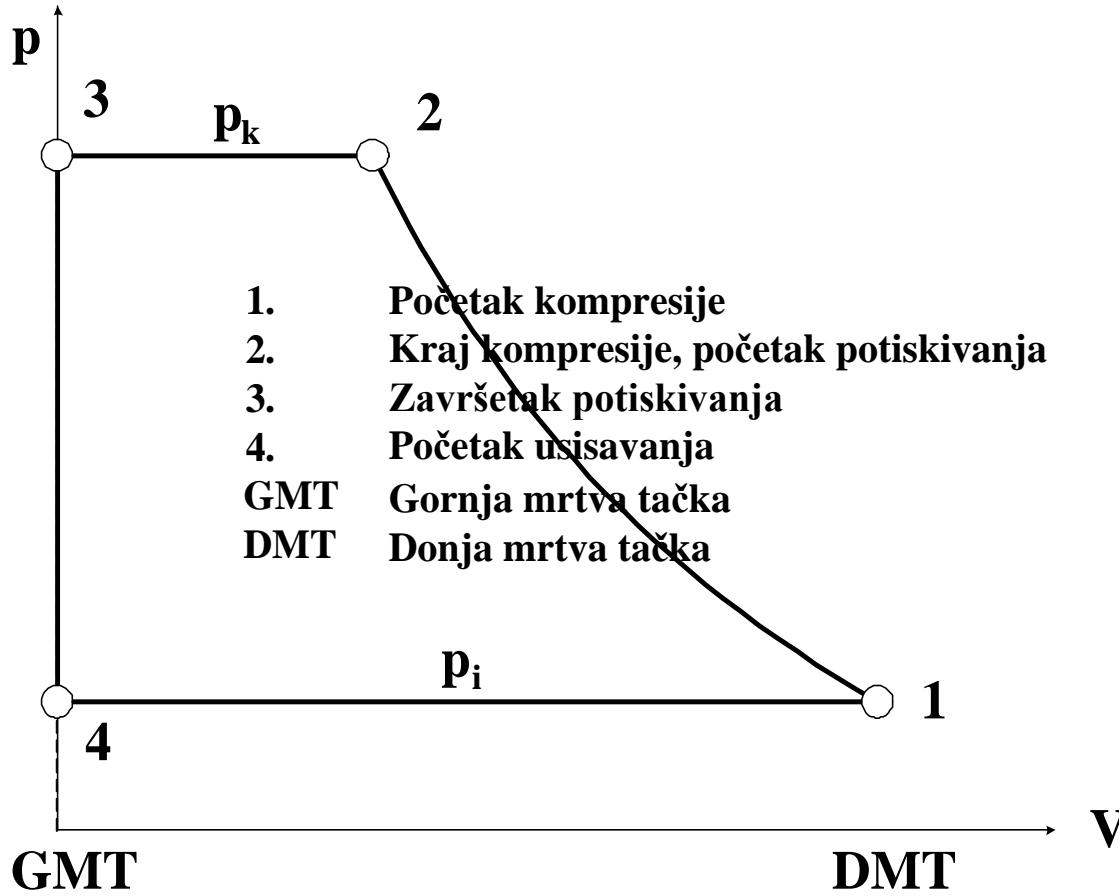
Tehnološki nivo klipnih kompresora je veoma visok i savremeni kompresori se odlikuju:

- malim dimenzijama,
- relativno velikim brojem obrtaja i
- visokom energetsom efikasnošću.



KLIPNI KOMPRESORI

IDEALNI KOMPRESOR



Prikaz rada idealnog kompresora

Za ciklus idealnog kompresora važe sledeće pretpostavke:

- ✓ kompresija (1–2) obavlja se izentropski ($s = \text{konst}$):
- ✓ kroz usisni i potisni ventil nema pada pritiska;
- ✓ kompresor nema štetni prostor;
- ✓ nema propuštanja rashladnog fluida preko zatvorenih usisnih i potisnih ventila;
- ✓ nema razmene toplote i trenja između rashladnog fluida i delova kompresora.

KLIPNI KOMPRESORI

IDEALNI KOMPRESOR / Rashladna snaga

ČASOVNA GEOMETRIJSKA ZAPREMINA IDEALNOG KOMPRESORA - To je zapreminski protok gasa u m^3/h , ali samo kod idealnog kompresora,

$$V_h = Z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot 60 \quad [m^3 / h]$$

opisana klipovima kompresora sa Z klipova, prečnika d [m], hoda klipa S [m] i broja obrtaja n [1/min]) jednaka je:

Maseni protok rashladnog fluida idealnog kompresora je:

$$G_{th} = V_h \cdot \rho \quad [kg / h]$$

gde je ρ [kg/m³], gustina rashladnog fluida na usisu kompresora.

Rashladna snaga idealnog kompresora je:

$$Q_{th} = V_h \cdot q_v \quad [kW]$$

gde je q_v [kWh/m³] specifična zapreminska rashladna sposobnost 1 m³ rashladnog fluida.

Vrednosti q_v date su u tablicama ili se određuje upotrebom adekvatnog softera za odgovarajući rashladni fluid.

KLIPNI KOMPRESORI

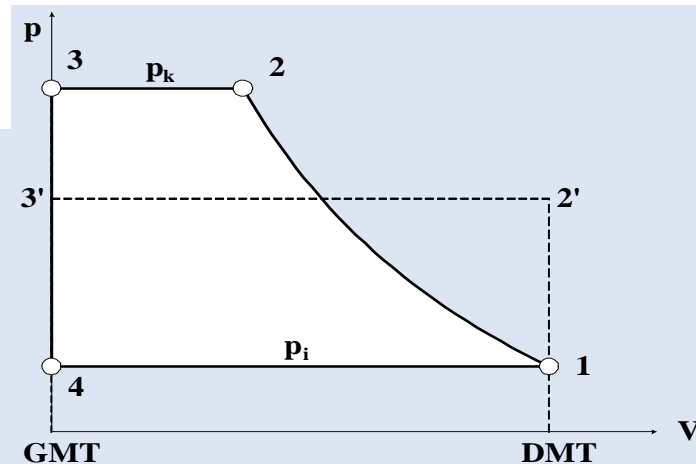
IDEALNI KOMPRESOR

Potrebna teorijska indikatorska snaga koju treba dovesti kompresoru za obavljanje kompresije jednaka je:

$$N_{th} = p_{it} \cdot \frac{V_h}{3600 \cdot 1000} \text{ [kW]}$$

Površina 1-2-3-4 na dijagramu jednaka je površini pravougaonika 1-2'-3'-4, a visina ovog pravougaonika proporcionalna je srednjem indikatorskom pritisku.

gde je p_{it} [Pa] srednji indikatorski pritisak.



Indikatorski pritisak

može da se izračuna po formuli:

$$p_{it} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot p_o \cdot \left[\left(\frac{p_k}{p_o} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right]$$

gde je κ eksponent izentrope.

KLIPNI KOMPRESORI

REALNI KOMPRESOR

Rad realnog kompresora umnogome se razlikuje od idealnog, jer stvarni kompresor:

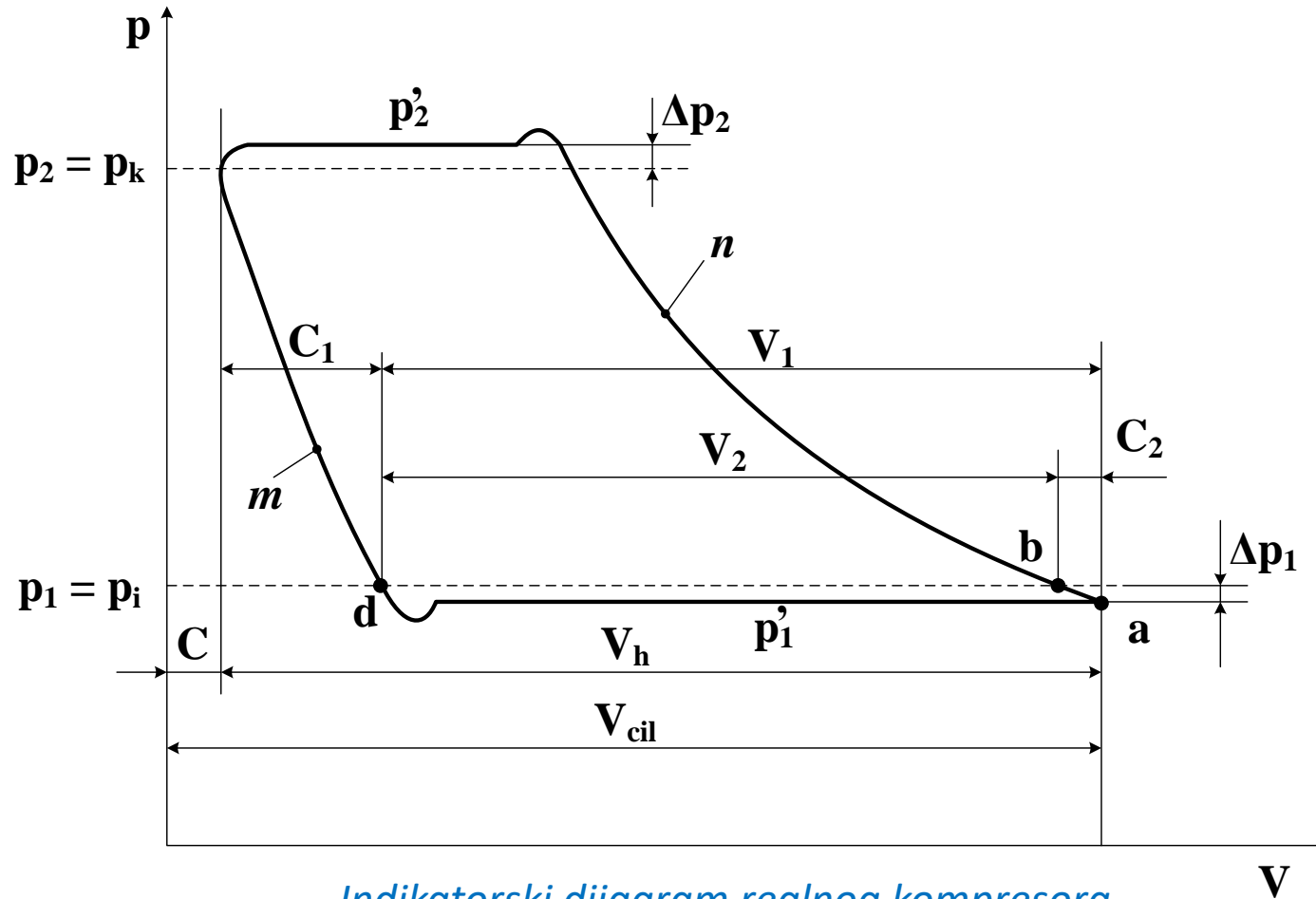
1. ima štetni prostor,
2. kompresija se ne obavlja po izentropi,
3. postoje gubici pritiska u ventilima,
4. javlja se trenje i isticanje pare, zbog nesavršenosti zaptivanja pokretnih delova.

! U realnom kompresoru je, zbog pomenutih gubitaka, manji kapacitet hlađenja i realno usisana količina pare rashladnog fluida od one koju bi usisao idealni kompresor.

! Istovremeno, utrošeni rad kompresije je veći od teorijskog rada kompresije idealnog kompresora.

KLIPNI KOMPRESORI

REALNI KOMPRESOR



Indikatorski dijagram realnog kompresora

KLIPNI KOMPRESORI

REALNI KOMPRESOR

Ova odstupanja u radu realnog kompresora u odnosu na idealni uzimaju se u obzir uvođenjem **KOEFICIJENTA ISPORUKE (λ)**.

On je definisan odnosom rashladnog kapaciteta realnog i idealnog kompresora ($Q_r = \lambda \cdot Q_i$), uz uslov da je zapreminski protok V_h [m³/h] oba kompresora jednak.

Koeficijent isporuke se može iskazati kao proizvod četiri pojedinačna koeficijenta i to:

1. volumetrijski koeficijent usled štetnog prostora λ_c ;
2. koeficijent isporuke usled pada pritiska kroz usisni ventil λ_{pr} ;
3. koeficijent isporuke usled zagrevanja λ_z ;
4. koeficijent isporuke usled proticanja λ_n .

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

1. Volumetrijski koeficijent usled štetnog prostora λ_c

Ovaj koeficijent uzima u obzir gubitak u korišćenju ukupne zapremine cilindra usled toga što stvarni kompresor ima **štetni prostor**.

→ *Nakon završetka kompresije i potiskivanja pare, u štetnom prostoru zaostaje izvesna količina pare visokog pritiska, koja u hodu usisavanja ekspandira. Usisavanje će početi tek kada pritisak zaostale pare dostigne pritisak usisavanja.*

Volumetrijski koeficijent štetnog prostora λ_c se definiše kao:

$$\lambda_c = 1 - c \cdot \left[\left(\frac{p_k}{p_i} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]$$

gde je:

c – veličina štetnog prostora (3% ÷ 5%)

m – eksponent politrope

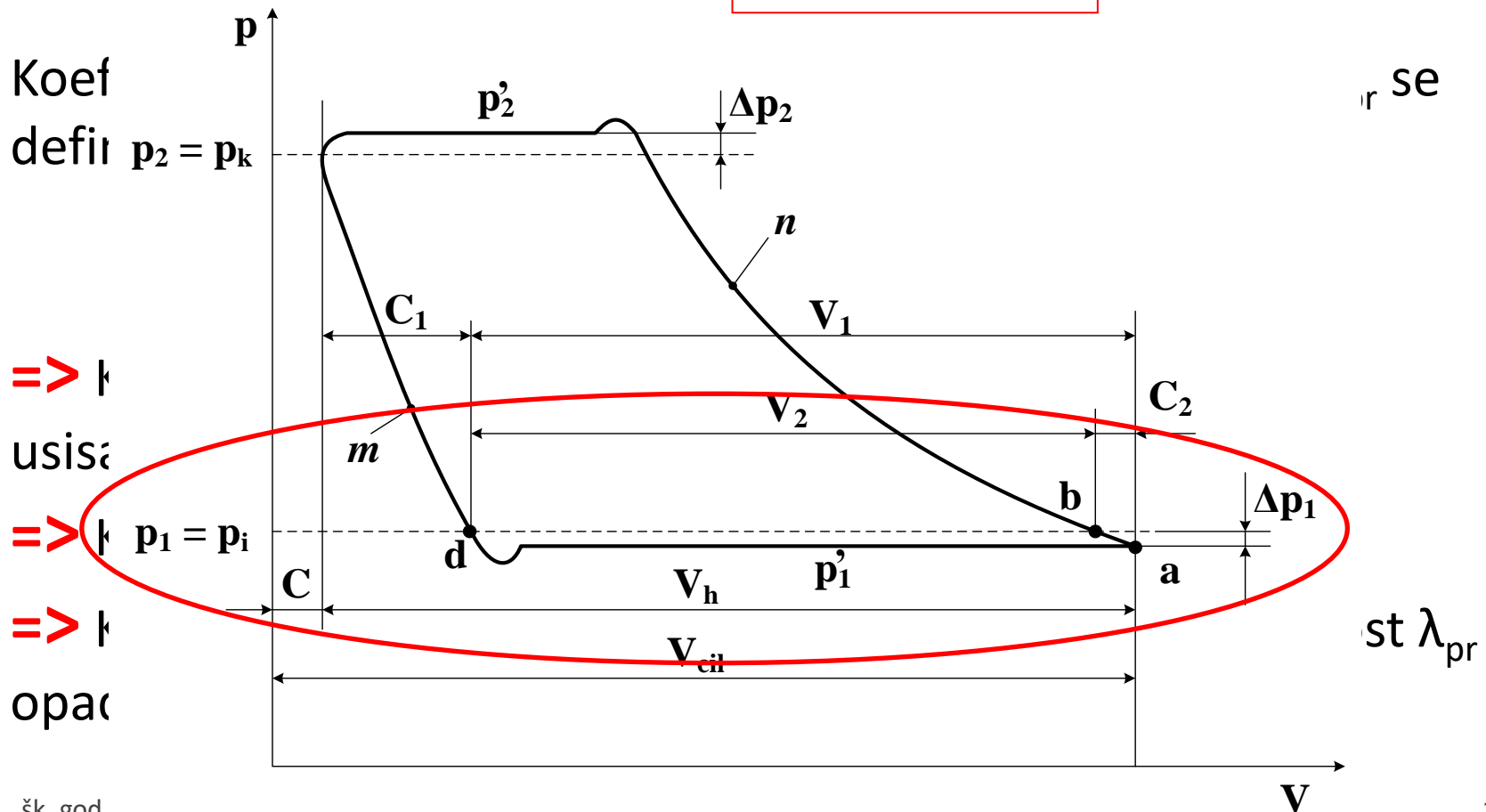
⇒ λ_c zavisi od veličine štetnog prostora i odnosa pritisaka p_2/p_1 .

⇒ λ_c je manji ukoliko je štetni prostor veći,
a za dati štetni prostor opada rastom odnosa pritisaka.

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

2. Koeficijent isporuke usled pada pritiska kroz usisni ventil λ_{pr}

Ovaj koeficijent pokazuje zapreminski gubitak u cilindru usled depresije prilikom usisavanja: $\Delta p_1 = p_1 - p'_1$



KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

3. Koeficijent isporuke usled zagrevanja λ_z

Ovaj koeficijent uzima u obzir zapreminske gubitke u cilindru usled zagrevanja pare, koja dospe u cilindar.

Temperatura usisnog ventila i klipa je viša od temperature pare koja se usisava, što dovodi do povećanja njene temperature pre početka sabijanja.

Koeficijent λ_z opada porastom razlike temperature pare pri usisavanju i sabijanju, odnosno opada povećanjem odnosa pritisaka p_k/p_i .

Porastom broja obrtaja kompresora smanjuje se vreme razmene toplote između zidova cilindra i pare, pa λ_z raste.

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

4. Koeficijent isporuke usled isticanja λ_n

Ovaj koeficijent obuhvata zapreminske gubitke kompresora (a time i sniženje njegovog kapaciteta), usled:

1. Gubitka pare koja ističe iz cilindra, za vreme sabijanja, kroz zatore između cilindra i klipa i klipnih prstenova,
2. Usled nehermetičnosti zatvaranja usisnih ventila i proticanja već komprimovane pare kroz potisni ventil za vreme usisavanja.

Vrednost λ_n zavisi od kvaliteta izrade kompresora i od njegove istrošenosti.

Povećanjem odnosa p_k/p_i vrednost λ_n opada, a raste povećanjem broja obrtaja.

$$\lambda_z = 1 - 0,025 \cdot \left(\frac{p_k}{p_i} - 1 \right)$$

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

KOEFICIJENT ISPORUKE

Iz već navedenih izraza i razmatranja može se zaključiti da se koeficijent isporuke kompresora λ najviše menja **promenom odnosa p_k/p_i (odnosno promenom temperature isparavanja i kondenzacije)**.

Zbog toga se λ obično daje u dijagramima u zavisnosti od odnosa p_k/p_i ili se stvarni kapacitet kompresora najčešće daje u vidu tabele u zavisnosti od t_i i t_k , odnosno p_i i p_k .

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Efektivni koeficijent korisnog dejstva η_e

Definisan je kao odnos utrošenog rada kompresije na vratilu **idealnog** i **realnog** kompresora.

Ovaj koeficijent se obično prikazuje kao proizvod indikatorskog (η_i) i mehaničkog koeficijenta korisnog dejstva (η_m).

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$$

Indikatorski koeficijent korisnog dejstva η_i je odnos utrošenog rada na sabijanje rashladnog fluida u idealnom kompresoru L_t i u realnom kompresoru L_i (*kompresija u idealnom kompresoru je izentropska*).

$$\eta_i = \frac{L_t}{L_i}, \text{ odnosno } \eta_i = \frac{P_t}{P_i},$$

gde su P_t i P_i snage teorijske i realne kompresije masenog protoka rashladnog fluida, protoka m_h [kg/h].

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Indikatorski koeficijent korisnog dejstva η_i

P_t i P_i su **SNAGA KOMPRESIJE** masenog protoka rashladnog fluida m_h [kg/h], koji je određen:

1. toplotom hlađenja Q_o [kW] i
2. uslovima pod kojim ciklus radi (t_i i t_k), odnosno masenom specifičnom rashladnom sposobnošću q_o [kWh/h] u idealnom, odnosno u realnom kompresoru.

Vrednost m_h može da se odredi sledećom relacijom:

$$m_h = \frac{Q_o}{q_o}$$

POTREBNA SNAGA IDEALNOG KOMPRESORA (P_t) može da se izračuna pomoću obrasca:

$$P_t = \frac{Q_o}{K_t}$$

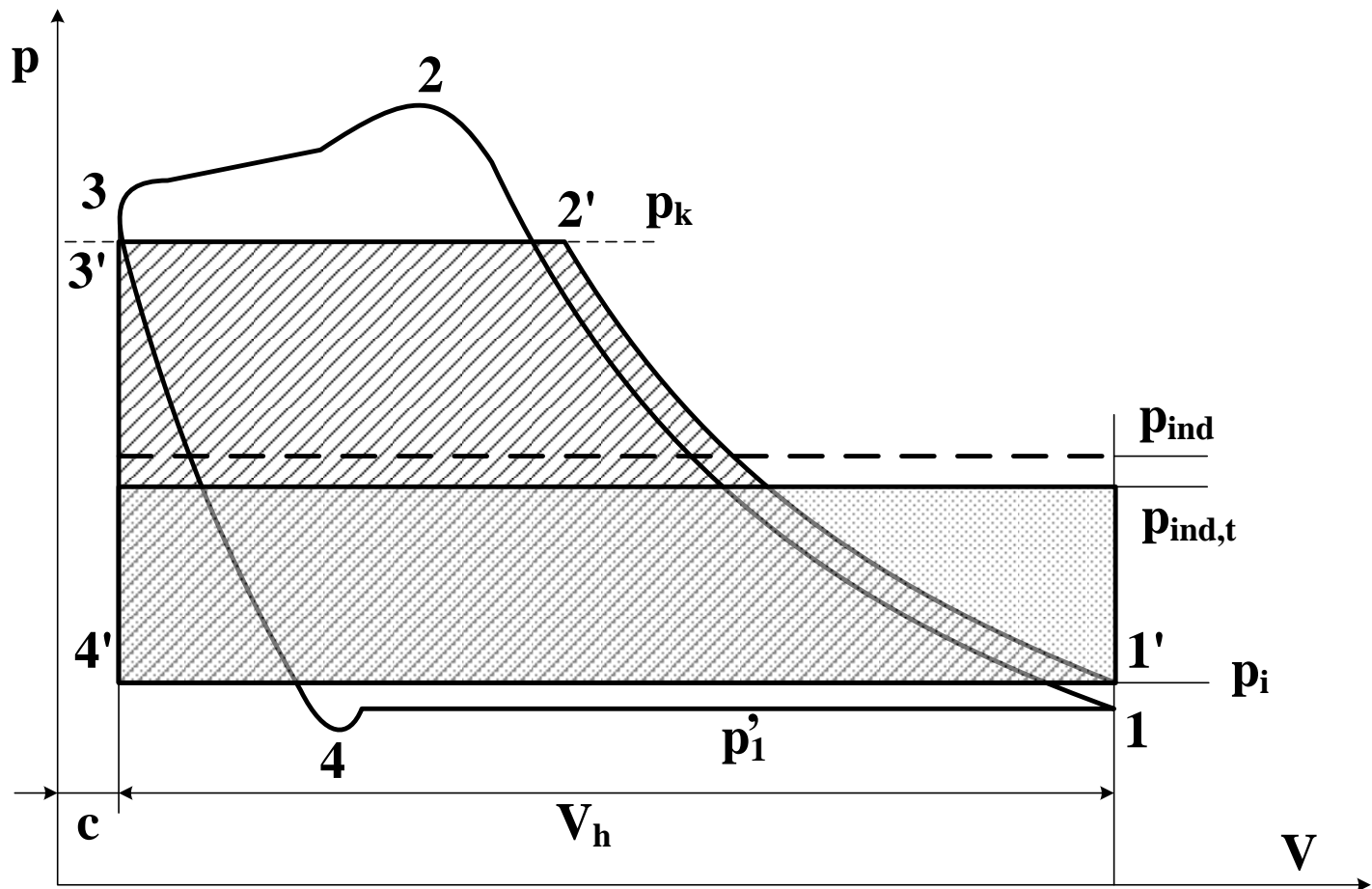
gde je K_t teorijska pogonska specifična rashladna sposobnost po 1 kWh i ova vrednost se obično daje tabelarno.

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Indikatorski koeficijent korisnog dejstva η_i

INDIKATORSKA SNAGA (P_i) može da se nađe snimanjem indikatorskog dijagrama

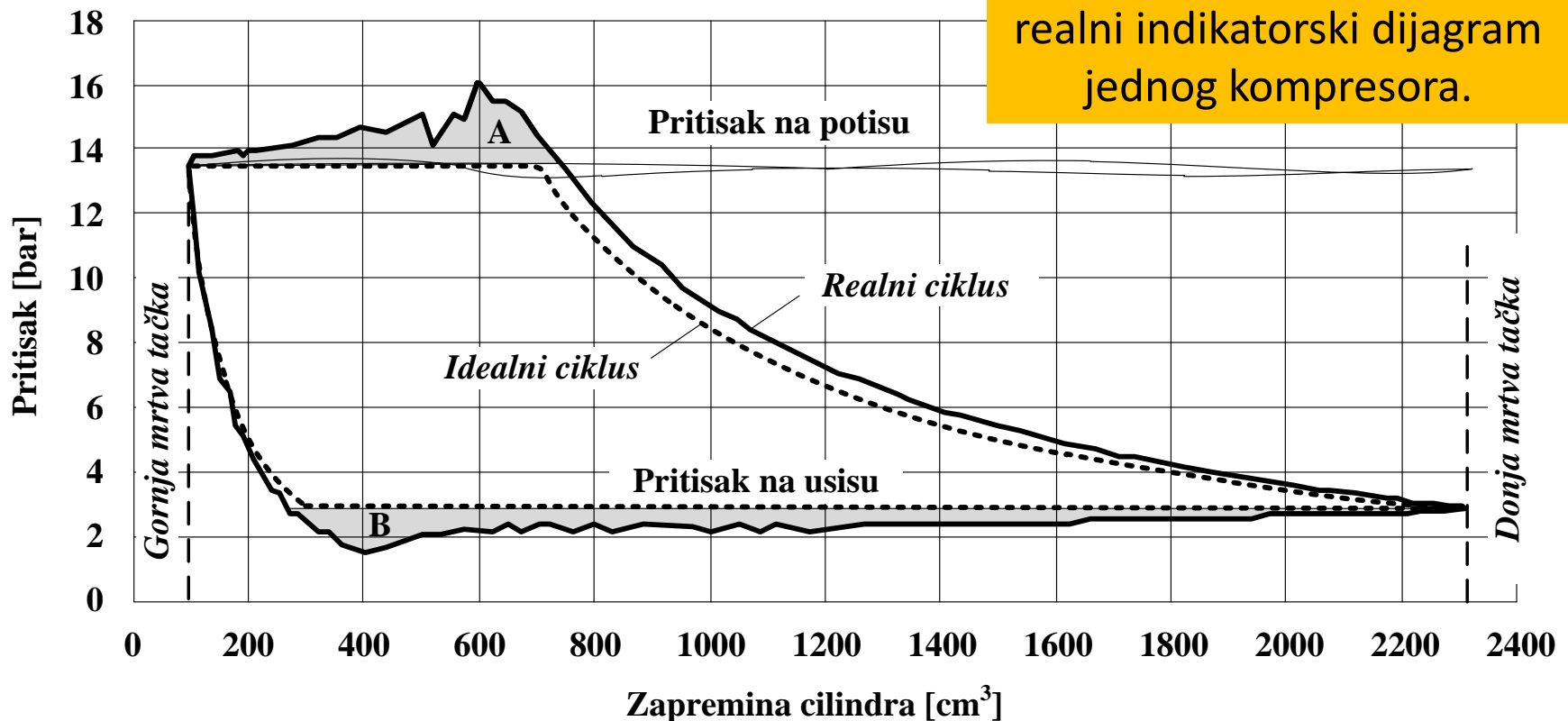
Indikatorski dijagram stvarnog (1,2,3,4) i idealnog kompresora iste radne zapremine (1', 2', 3', 4').



KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Indikatorski koeficijent korisnog dejstva η_i

Indikatorska snaga može da se nađe snimanjem indikatorskog dijagrama



Osenčena površina A predstavlja gubitak u potisnom, a površina B gubitak u usisnom ventilu kompresora.

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Indikatorski koeficijent korisnog dejstva η_i

INDIKATORSKA SNAGA može da se odredi sledećom relacijom:

$$P_i = \frac{1}{1000} \cdot \frac{n}{60} \cdot S \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_i \quad [\text{kW}]$$

ili

$$P_i = \frac{1}{1000} \cdot \frac{V_h}{3600} \cdot p_i \quad [\text{kW}] \quad (V_h [\text{m}^3 / \text{h}] \text{ i } p_i [\text{Pa}])$$

Gde je V_h časovna zapremina kompresora:

$$V_h = 60 \cdot n \cdot S \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

Gde su: n - broj obrtaja vratila kompresora [1/min]; S - hod klipa [m] i F površina klipa [m²].

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Mehanički koeficijent korisnog dejstva η_m

Uzima u obzir mehaničke gubitke, usled trenja u kompresoru.

Definisan je kao odnos indikatorske snage P_i i snage na vratilu kompresora (P_e):

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_e} \quad [-]$$

Vrednost η_m zavisi od:

1. konstruktivnih osobina kompresora,
2. kvaliteta izrade i
3. opšteg stanja mašine i

kreće se u granicama 0,9 – 0,85, zavisno od tipa i veličine kompresora.

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Mehanički koeficijent korisnog dejstva η_m

Ako je pogon kompresora ostvaren preko nekog prenosnog mehanizma, onda treba da se uzme u obzir i gubitak u tom prenosu.

Ako se sa P_m označi snaga pogonskog motora, onda je koeficijent korisnog dejstva prenosnika η_{pr} jednak:

$$\eta_{pr} = \frac{P_e}{P_m} \quad [-]$$

IZBOR MOTORA

Pri izboru pogonskog elektromotora jednostepenih kompresora, nominalna snaga se bira uvek za 15 do 20% veća od izračunate. Time se dobija potrebna rezerva snage za slučaj mogućih preopterećenja.

Kod dvostepenih kompresora ova rezerva se uzima čak i do 30%, zbog prelaznih režima rada.

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

Svaki proizvođač kompresora, na bazi ispitivanja svojih mašina, daje podatke o **kapacitetu hlađenja** i o **potrebnoj pogonskoj snazi kompresora**, a u zavisnosti od

- rashladnog fluida,
- temperatura isparavanja,
- kondenzacije i pothlađivanja.

Ovi se podaci daju tabelarno ili grafički.

Podaci koje daje proizvođač su jedino merodavni i najpouzdaniji za izbor kompresora.

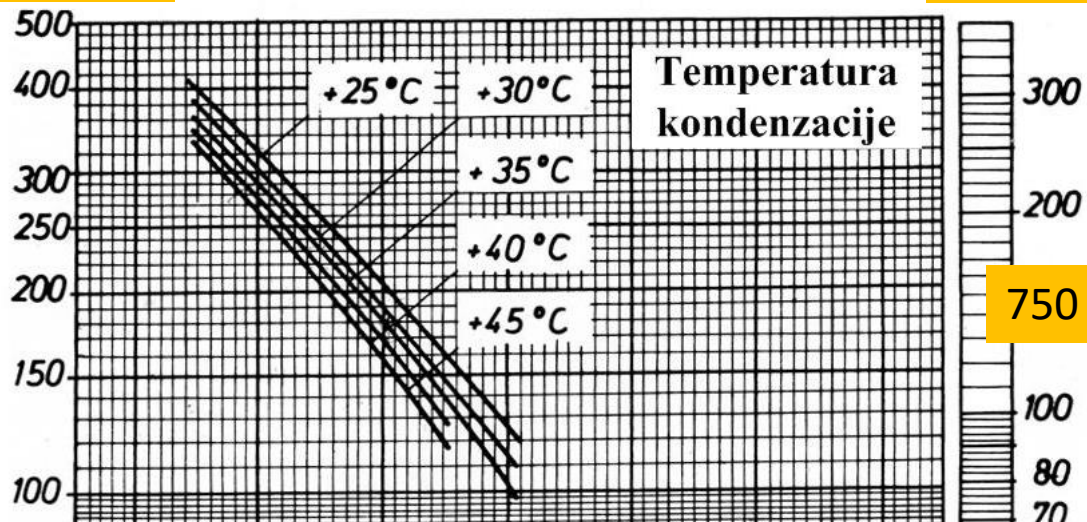
Dijagram (nomogram)
amonijačnog kompresora iz
kojeg se mogu očitati
vrednosti:

1. kapaciteta hlađenja Q_o i
2. potrebna snaga na vratilu kompresora P_e

u zavisnosti od:

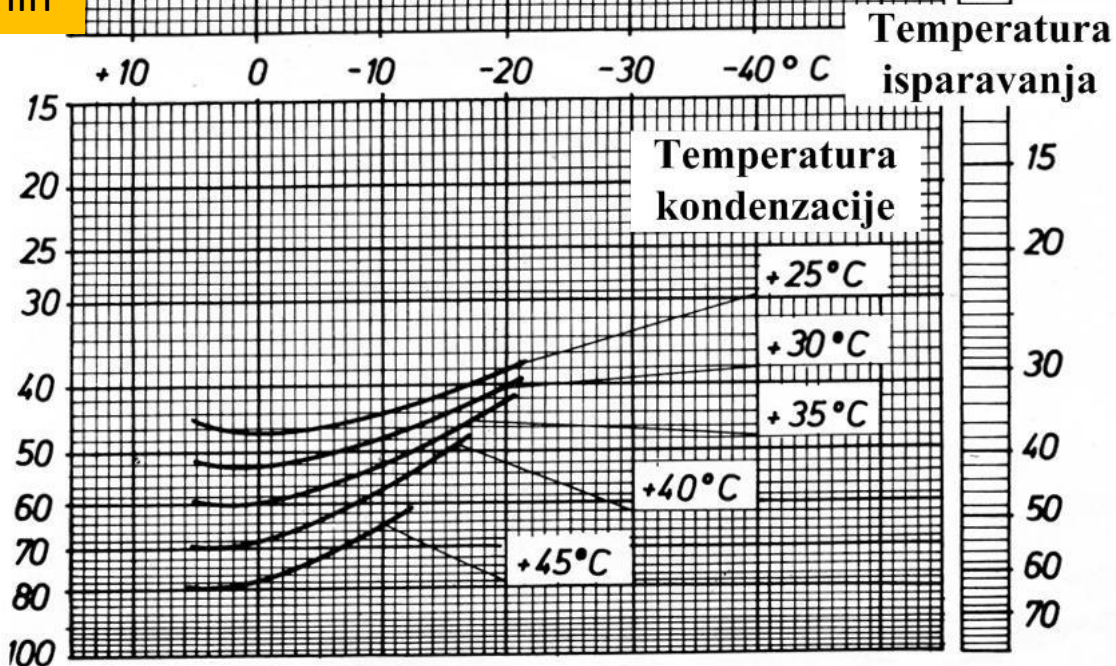
1. temperature isparavanja,
2. temperature kondenzacije i
3. dva broja obrtaja vratila.

Q_o [kW]



Q_o [kW]

950 1/min



P_e [kW]

P_e [kW]

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

KARAKTERISTIKE RADA RASHLADNOG KOMPRESORA

→ Karakteristike rada rashladnog kompresora su definisane željenim termodinamičkim ciklusom rashladnog postrojenja:

1. temperaturama isparavanja i kondenzacije,
2. pothlađivanja i pregrevanja i
3. svakako izborom rashladnog fluida.

KAPACITET HLAĐENJA i **UTROŠAK ENERGIJE** rashladnog postrojenja u velikoj meri zavise od rada kompresora.

MASENI PROTOK rashladnog fluida kompresora zavisi od časovne geometrijske zapremine i od koeficijenta isporuke,

→ ipak kompresor ne "hladi", nego samo omogućava da se u posmatranom ciklusu ostvari rashladni efekat.

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

KARAKTERISTIKE RADA RASHLADNOG KOMPRESORA

Važne napomene

! Rashladni uređaj koji radi sa jednim određenim kompresorom konstantne časovne zapremine V_h a pri različitim temperaturama isparavanja t_i i kondenzacije t_k postizaje različite kapacitete hlađenja.

! Samo kompresore koji rade pod identičnim temperaturskim uslovima ima smisla porediti po rashladnom kapacitetu i snazi (standardni uslovi).

KLIPNI KOMPRESORI: REALNI KOMPRESOR

STANDARDNI USLOVI

Kompresori se mogu porediti samo u slučaju da su temperaturski uslovi rada kompresora identični i za to postoje uobičajene vrednosti temperaturskih uslova:

Temperaturski uslovi	Temperatura, °C			
	Isparavanje	Pregrevanje	Kondenzacija	Pothlađivanje
Klimatizacija	5	20	35	30
Standardni (suvo usisavanje)	-10	-10	25	15
Standardni	-15	-10	30	25
Za dvostepeni amonijačni kompresor	-35	-20	30	25
	-50	-30	30	25
	-65	-40	30	25

Važan energetska indikator – **Rashladni koeficijent kompresora (ϵ)** je veoma zavisna od temperaturskih režima.

KLIPNI KOMPRESORI: REGULACIJA KAPACITETA

POTREBA REGULACIJE KAPACITETA:

→ Po pravilu, RU rade pri punom kapacitetu vrlo mali broj sati.

→ U realnim slučajevima, rashladni koeficijent (ϵ) celog rashladnog sistema pada sa smanjivanjem opterećenja u odnosu na nominalni.

→ Smanjenje rashladnog koeficijenta pri pogonu pod smanjenim opterećenjem može biti vrlo značajno i iz tog razloga je značajna efektivna i efikasna regulacija kapaciteta kompresora.

#1 „ON/OFF“ REGULACIJA

PRINCIP RADA: Mali kompresori koriste najjednostavniji način regulacije koji podrazumeva njegovo naizmenično uključivanje i isključivanje.

NAČIN REGULACIJE: Ova isključivanja su upravljana najčešće zadatom temperaturom prostora ili fluida koji se hladi.

PREPORUKA: Broj isključivanja u jednom satu obično je od 4 do 8. Preveliki broj uključivanja može značajno da smanji vek kompresora.

KLIPNI KOMPRESORI: REGULACIJA KAPACITETA

#2 REGULACIJA KAPACITETA VRAĆANJEM DELA PARE VISOKOG PRITISKA KRATKOM VEZOM NA USIS

EKONOMIČNOST: To je vrlo **neefikasna metoda** regulacije jer se komprimovana para ne koristi za hlađenje, a da pri tome nema smanjenja potrošnje električne energije na kompresoru.

PROBLEM REGULACIJE: Ukoliko nije pravilno dimenzionisan, kratki spoj tople pare može da dovede do prevelikog zagrevanja pare na usisu, a to može uzrokovati **pregrevanje kompresora**.

PREPORUKA: Ovaj način regulacije kapaciteta treba izbegavati, kada je to moguće (najčešće se primenjuje kod manjih kompresora).

KLIPNI KOMPRESORI: REGULACIJA KAPACITETA

#3 REGULACIJA KAPACITETA PROMENOM BROJA OBRTAJA

PRINCIP RADA: Promenom broja obrtaja na vratilu kompresora, obezbeđuje se promena kapaciteta hlađenja Q_0 i potrebna snaga na vratilu kompresora P_e .

TIP REGULACIJE: Ova regulacija je u osnovi kontinualna.

NEDOSTACI METODE:

- Primena ovog načina regulacije kod postojećih klipnih kompresora zahteva vrlo temeljnu analizu **efikasnosti kompresora** i naročito efektivnost pumpe za ulje, pri malom broju obrtaja.
- Za sve kompresore posebno je važno pitanje izbegavanja **rezonantnih frekvencija i vibracija**, uzrokovanih promenom brzine.

! Pošto ne postoji linearna zavisnost između brzine, kapaciteta i rashladnog koeficijenta sistema, treba da se koriste podaci proizvođača kako bi se odredilo optimalno rešenje.

KLIPNI KOMPRESORI: REGULACIJA KAPACITETA

#4 REGULACIJA ISKLJUČIVANJEM POJEDINIH CILINDARA IZ RADA

PRINCIP RADA: Isključivanje se obavlja prinudnim podizanjem usisnog ventila pomoću hidrauličnog uređaja, čime se taj cilindar isključuje iz rada.

NAČIN REGULACIJE: Ova regulacija može da se obavlja ručno ili automatski. *U novije vreme agregati se isporučuju sa već ugrađenom automatikom, koja reguliše kapacitet na osnovu temperature ili pritiska na usisu kompresora.*

TIP REGULACIJE: Ova regulacija je stepenasta. *Npr. u slučaju kompresora sa 8 cilindara, iz rada isključuju ili uključuju po dva cilindra istovremeno, što znači da takav kompresor može da radi sa 0, 25, 50, 75 i 100% kapaciteta.*

EKONOMIČNOST: Potrebna snaga za pogon kompresora je proporcionalna rashladnoj snazi, pa je ovaj način regulacije i **ekonomičan**.

PRIMENA: Ovaj tip regulacije široko se primenjuje kod srednjih i velikih višecilindričnih klipnih kompresora.

KLIPNI KOMPRESORI: REGULACIJA KAPACITETA

#5 REGULACIJA PODEŠAVANJEM ŠTETNOG PROSTORA

PRINCIP RADA: Ova metoda se sastoji u tome da za smanjenje rashladne snage kompresora poveća štetni prostor.

PROBLEM REGULACIJE: Kod ovog načina regulacije koeficijent isporuke λ se značajno smanjuje ($Q_r = \lambda \cdot Q_i$), a istovremeno dolazi do povećanog pregrevanja rashladnog medijuma na potisu kompresora.

EKONOMIČNOST: Ovaj način regulacije nije energetski ekonomičan.

#6 REGULACIJA SMANJIVANJEM ULAZNOG PRITISKA

PROBLEM REGULACIJE: Upravljanje kapacitetom može da se obavlja i smanjivanjem ulaznog pritiska što je ekvivalentno pogonu sa **nižom temperaturom isparavanja** od projektovane, sa svim posledičnim smanjenjima efikasnosti.

PREPORUKA: Zbog nepovoljnih posledica ovaj sistem regulacije treba dodatno analizirati i razmotriti alternativne metode regulacije kapaciteta.

KLIPNI KOMPRESORI: REGULACIJA KAPACITETA

#7 REGULACIJA SEKVENCIJALNIM UKLJUČIVANJEM KOMPRESORA

PRINCIP RADA: Sekvencijalno uključivanje kompresora je način regulacije uobičajen kod velikih rashladnih sistema sa više kompresora, koji rade pod delimičnim opterećenjem dok ostali energetske potrošači rashladnog sistema (ventilatori, pumpe, itd.) rade pod punim opterećenjem.

EKONOMIČNOST: Velike uštede mogu da se postignu uvođenjem sistema sekvenciranja. To je vrlo efikasan način povećanja energetske efikasnosti.

PREPORUKA: U uslovima niskog opterećenja, kompresore treba sekvencirati tako da jedan radi pod delimičnim opterećenjem, a drugi kompresori na punom opterećenju ili izolovano, sa svom dodatnom opremom automatski isključenom.

KLIPNI KOMPRESORI:

KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

Klipni kompresori, prema konstrukciji, mogu biti:

1. hermetički,
2. poluhermetički,
3. otvoreni.

KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#1 HERMETIČKI KOMPRESORI

KONSTRUKCIJA: Ovi kompresori su izvedeni tako da se kompresor i pogonski elektromotor nalaze u zajedničkom kućištu cilindričnog oblika.

PROBLEM ZAPTIVANJA: Kompresor i motor nalaze se na istom vratilu i zaptivanje vratila između kompresora i motora nije potrebno.

→ Na taj način je eliminisana osetljiva tačka u kojoj se najčešće javlja isticanje rashladnog fluida.

PODMAZIVANJE i kompresora i motora je pojednostavljeno, jer se nalaze u istom kućištu.

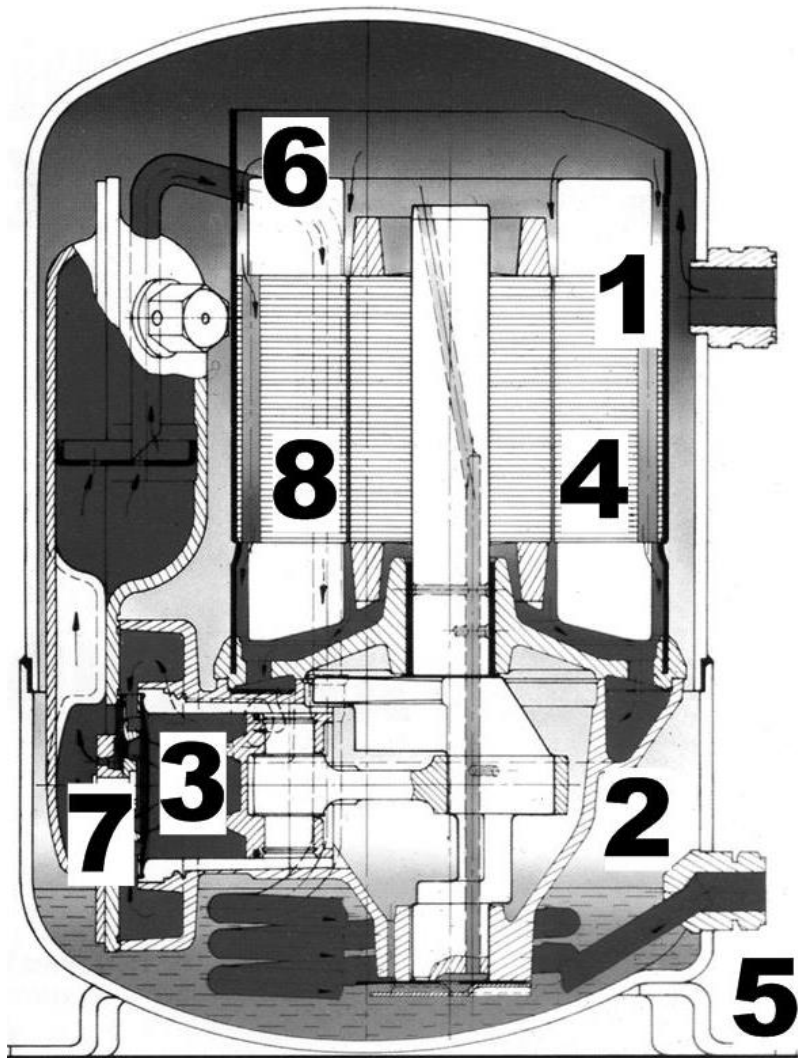
BUKA ovakvog agregata je mala, jer zajedničko kućište apsorbuje buku.

NEDOSTATAK ovih kompresora je praktično nemoguća popravka (*kućište mora da se seče, pa nakon toga zavaruje*).

RASHLADNI KAPACITETI ovakvih kompresora su mali sa geometrijskom zapreminom cilindra do $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Po pravilu rade sa freonima.

KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#1 HERMETIČKI KOMPRESORI



1. Unutrašnje kućište koje štiti elektromotor od pare RF koja ulazi velikom brzinom,
2. Zaštita od tečnog udara, zapremina koja služi kao odvajač tečnosti, ukoliko dospeju tečne čestice RF u kompresor,
3. Cilindar kompresora,
4. Stator elektromotora hlađen rashladnim fluidom koji otkisava kompresor,
5. Postolje
6. Termička zaštita motora koji zaustavlja kompresor, ukoliko se motor pregrije
7. Usisni i potisni ventili - dimenzionisani tako da mogu da rade sa velikim odnosom pritiska na potisu i usisu (do 12:1),
8. Elektromotor.

KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#1 HERMETIČKI KOMPRESORI



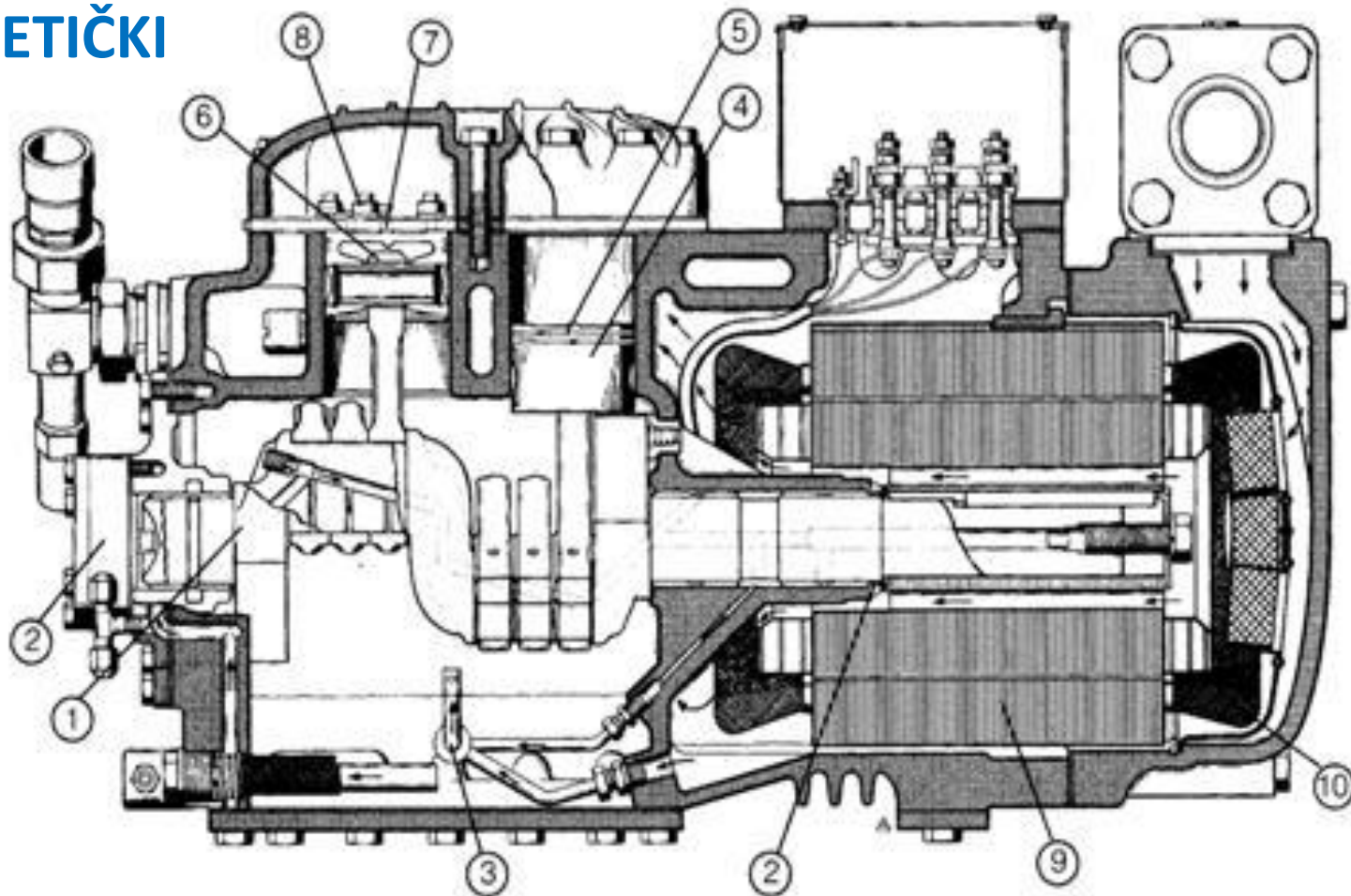
KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#2 POLUHERMETIČKI KOMPRESORI

- Za kapacitete hlađenja koji ne mogu da se obezbede hermetičkim, obično se odabiraju poluhermetički kompresori.
- Kod njih su kompresor i elektromotor, takođe, u zajedničkom kućištu i na zajedničkom vratilu, **ali je konstrukcija takva da je popravka moguća.**
- Ni ovi kompresori, kao ni hermetički, nemaju zaptivače na vratilu kompresora.
- Geometrijska zapremina cilindra ovih kompresora je do 300 m³/h.

KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#2 POLUHERMETIČKI KOMPRESORI

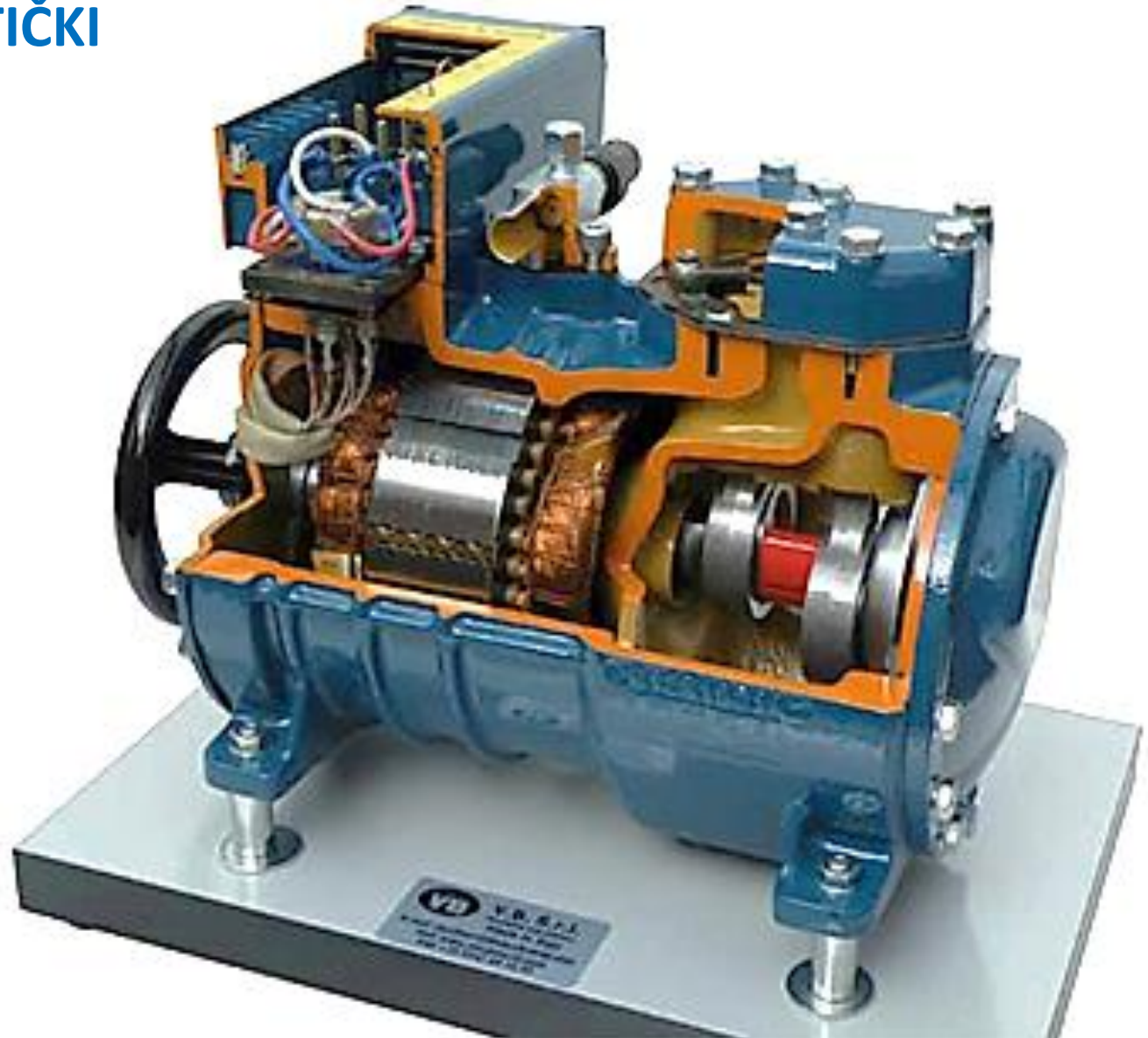


1. Kolenasto vratilo kompresora i vratilo elektromotora
2. Glavni ležaj i uljna pumpa
3. Sistem za povrat ulja
4. Klip
5. Klipni prstenovi

6. Osovinica klipa
7. Štetni prostor
8. Usisni i potisni ventili
9. Stator pogonskog elektromotora
10. Namotaji elektromotora.

KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#2 POLUHERMETIČKI KOMPRESORI

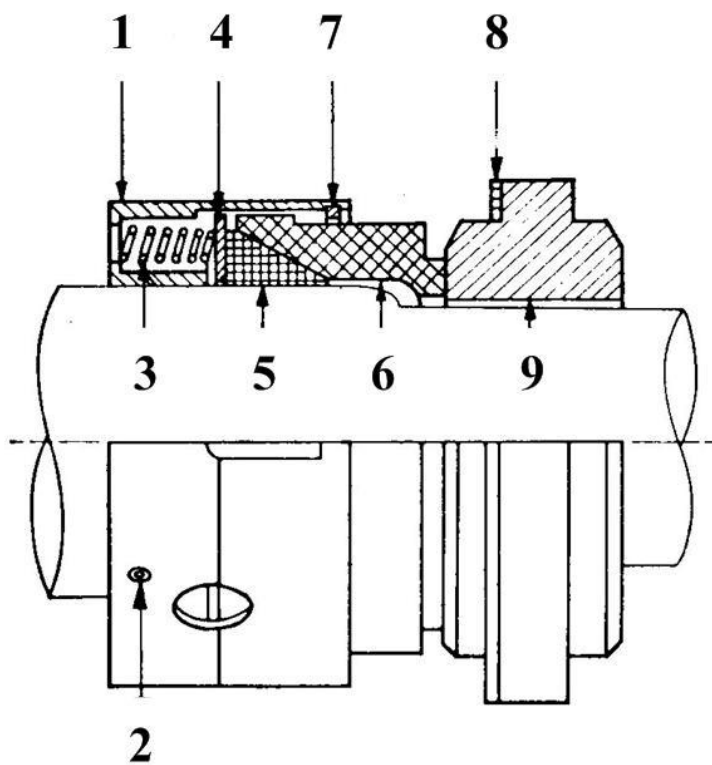


KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#3 KOMPRESORI OTVORENOG TIP

Ovi kompresori dobijaju pogon na vratilu čiji se jedan kraj produžava izvan kartera i na kojem se nalazi zamajac u vidu kaišnika ili se taj kraj vratila spaja sa vratilom elektromotora pomoću spojnice.

Na mestu gde vratilo izlazi iz kartera nalazi se **ZAPTIVAČA**, čiji je zadatak da spreči isticanje pare rashladnog fluida.



Zaptivača kompresora

1. kućište pokretnog dela
2. vijak za fiksiranje za vratilo
3. opruga
4. potisni prsten
5. zaptivni prsten (teflon) za zaptivanje između vratila i zaptivače
6. zaptivni prsten (grafit)
7. uskočni prsten
8. zaptivni prsten
9. stacionarni deo

KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#3 KOMPRESORI OTVORENOG TIPA

PODMAZIVANJE ovih kompresora obavlja se uljem pod pritiskom, kojeg obezbeđuje uljna pumpa (po pravilu zupčasta), koja dobija pogon od kolenastog vratila.

Ovo ulje, osim za podmazivanje ležajeva, ima i zadatak da podmazuje i hladi zaptivaču i obezbeđuje funkcionisanje regulatora kapaciteta (kod višecilindričnih kompresora) isključivanjem ili uključivanjem cilindara.

IZVEDBA: po pravilu proizvode se kao višecilindrični, sa vertikalnim rasporedom cilindara ili rasporedom cilindara u obliku V ili W.

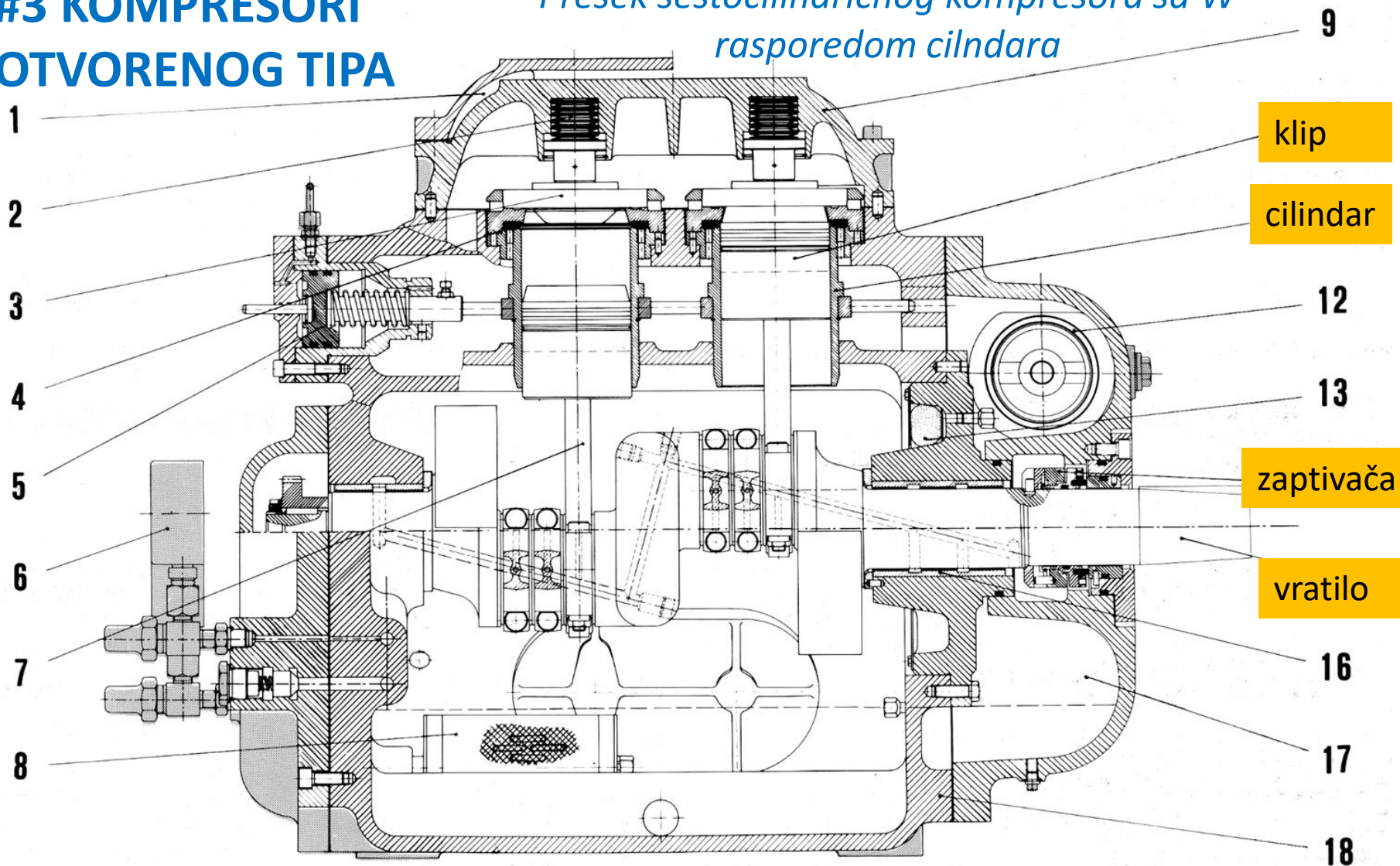
REGULACIJA KAPACITETA je moguća isključivanjem pojedinih cilindara podizanjem usisne ventilske pločice na cilindru (cilindrima), koji treba da se isključi iz rada,

ili promenom broja obrtaja pogonskog elektromotora preko frekventnog regulatora broja obrtaja.

KLIPNI KOMPRESORI: KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE

#3 KOMPRESORI OTVORENOG TIPA

Presek šestocilindričnog kompresora sa W rasporedom cilindara



VIJČANI KOMPRESORI

KONSTRUKCIJA:

Glavni radni delovi vijčanog kompresora su vijci, koji su smešteni u kućište kompresora.

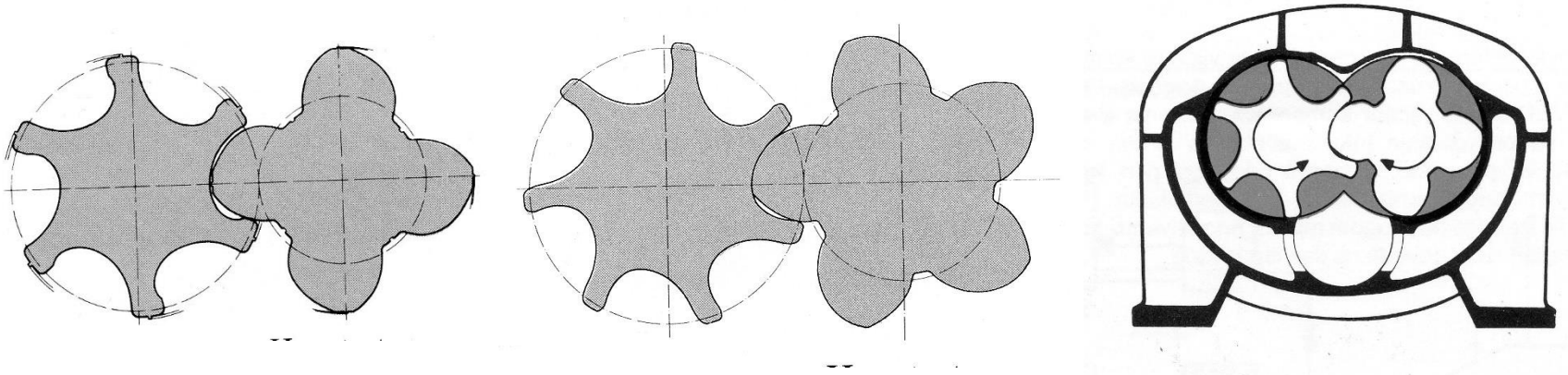
1. Vijčani kompresori mogu da budu sa jednim, dva ili tri vijka.
2. S obzirom na zaptivanje između vijaka mogu biti sa ili bez dovodenja ulja u međuprostor vijaka.
3. Po konstrukciji mogu biti poluhermetički ili otvoreni.

U rashladnoj tehnici se koriste isključivo vijčani kompresori sa jednim ili dva vijka sa dovodenjem ulja u međuprostor vijaka.

VIJČANI KOMPRESORI

VIJČANI KOMPRESOR SA DVA VIJKA

Muški vijak kod kompresora koji se koriste u rashladnoj tehnici ima 4 ili 5 navoja, a odgovarajući ženski vijak ima 6 ili 7 kanala

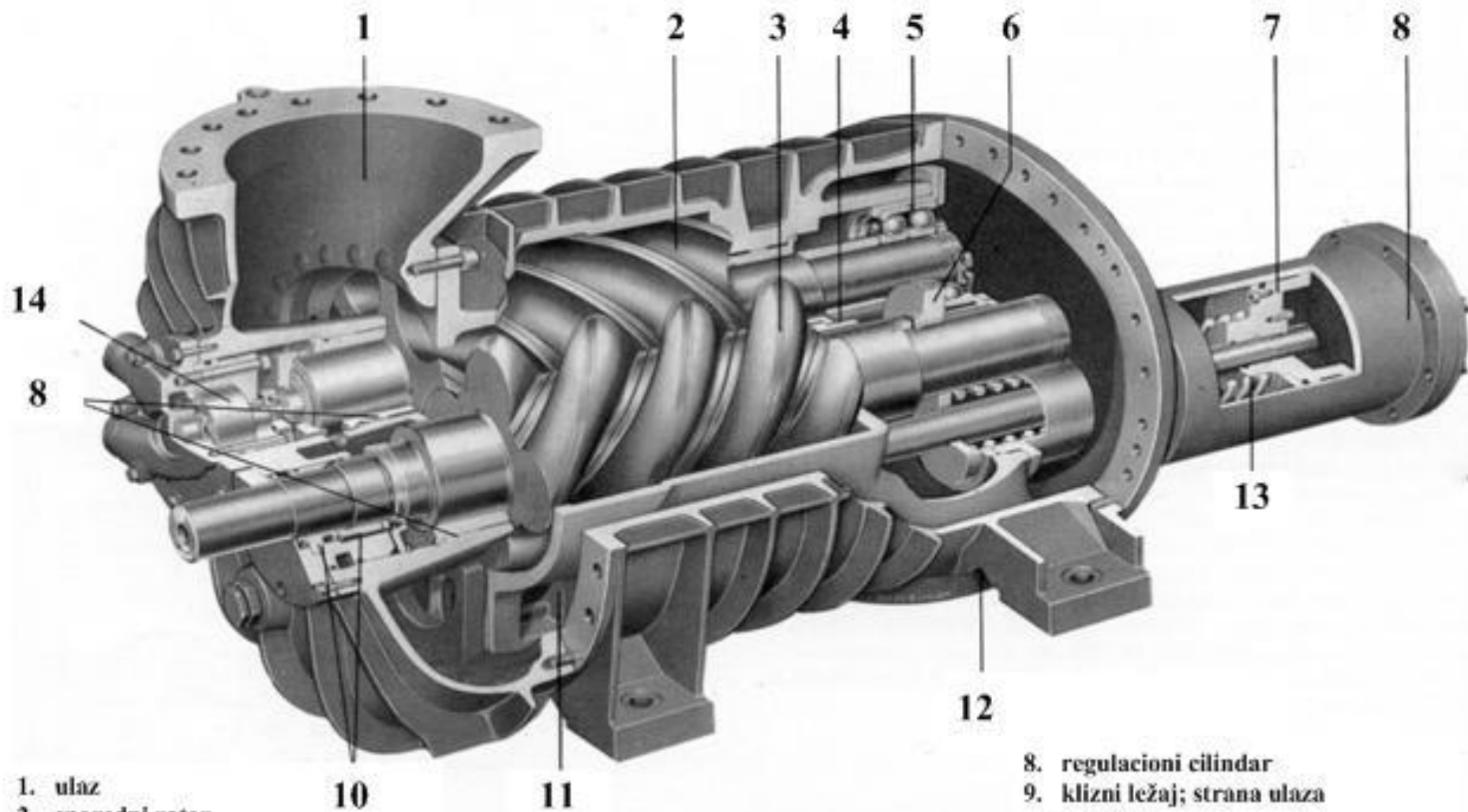


NAČIN RADA

Pogon kompresora je obično preko muškog, a ređe preko ženskog rotora.

Pare rashladnog fluida prolaze kroz kompresor dijagonalno, ulaze u gornjem delu kompresora i nakon kompresije izlaze na njegovom donjem delu.

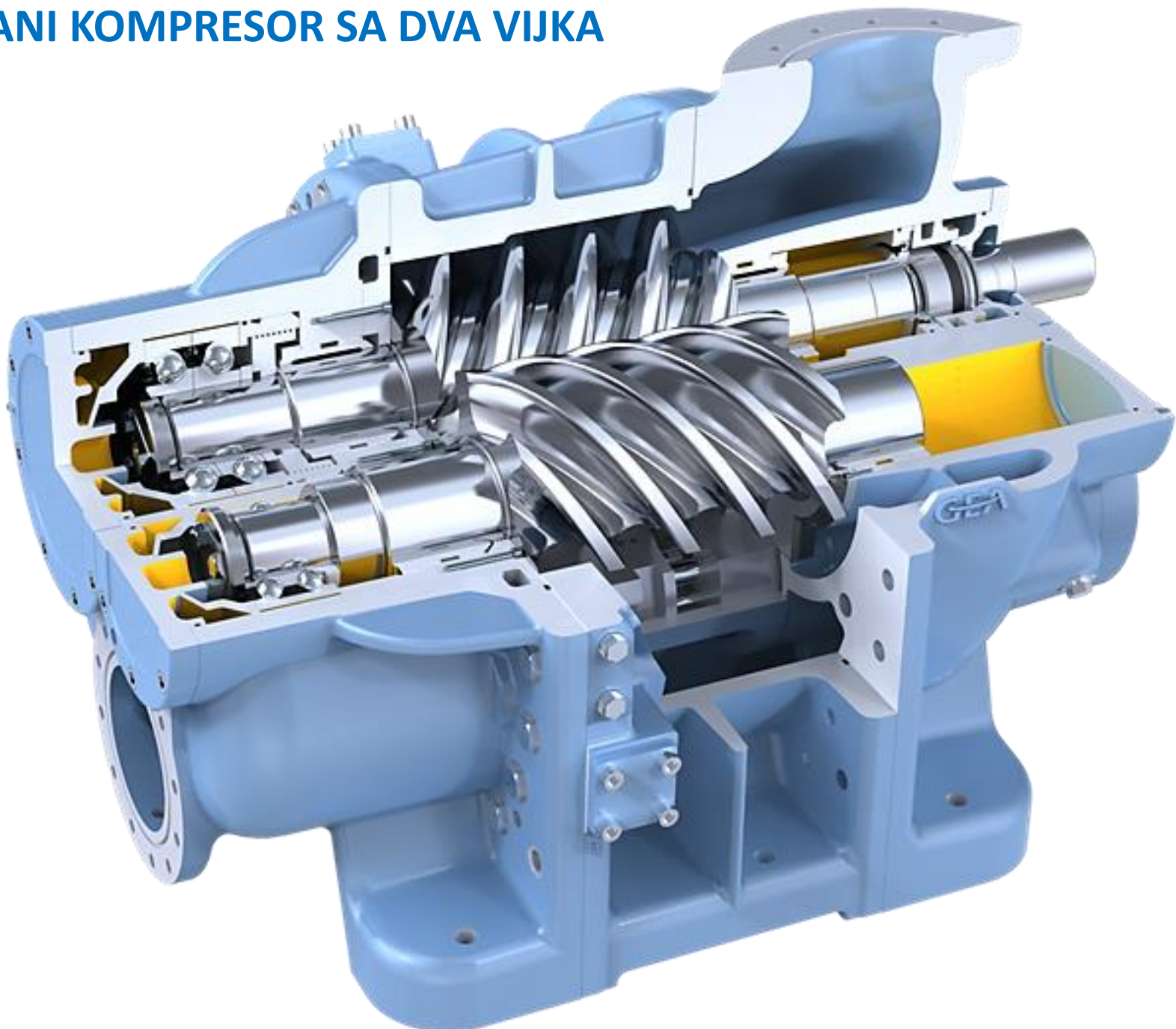
VIJČANI KOMPRESOR SA DVA VIJKA



- 1. ulaz
- 2. sporedni rotor
- 3. glavni rotor
- 4. klizni ležaj; strana izlaza
- 5. aksijalni ležaj
- 6. klip za izjednačavanje
- 7. klip za podešavanje za klizača

- 8. regulacioni cilindar
- 9. klizni ležaj; strana ulaza
- 10. zaptivka
- 11. podešavanje kapaciteta; otvor za povratno strujanje gasa
- 12. izlaz
- 13. opruge za podešavanje
- 14. pumpa za ulje

VIJČANI KOMPRESOR SA DVA VIJKA

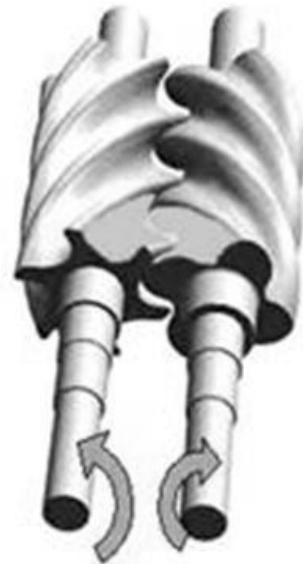


VIJČANI KOMPRESORI: SA DVA VIJKA

Radni ciklus vijčanog kompresora čine tri faze:

1. Usisavanje. Pare rashladnog fluida ulaze (sa gornje strane kompresora) u prostor između kućišta i oba vijka i to sve dotle dok se (zbog okretanja rotora) taj otvor, na kraju usisnog priključka, ne zatvori.

Na taj način se izvesna količina pare rashladnog fluida zarobi u međuprostoru.



Početak usisavanja



Usisavanje



VIJČANI KOMPRESORI: SA DVA VIJKA

2. Kompresija.

Daljnim okretanjem vijaka zapremina između vijaka i kućišta ovako "zarobljenih" para manjuje se, odnosno komprimuje.

Kompresija se obavlja sve do momenta dok okretanjem vijaci ne dođu do potisnog otvora kompresora.

Taj otvor se nalazi na donjem delu kućišta, dijagonalno od usisnog priključka.



Završetak
usisavanja



Početak
kompresije



VIJČANI KOMPRESORI: SA DVA VIJKA

3. Potiskivanje.

Kada vijci dođu u položaj da se međuprostor u kojem se nalazi sabijen gas otvori prema potisnom priključku, počinje potiskivanje sabijenog gasa u potisni cevovod.

Potiskivanje se obavlja na račun smanjenja zapremine zahvaćene između vijaka i kućišta, sve do momenta dok vijci ne dođu u položaj da potisnu svu količinu zahvaćenog rashladnog fluida.



VIJČANI KOMPRESORI SA DVA VIJKA

PODMAZIVANJE

U kućište kompresora se dovodi ulje za podmazivanje, koje osim toga treba da obavi zaptivanje između dodirnih linija vijaka i između vijaka i kućišta.

Osim toga ulje odvodi i veliki deo toplote nastale usled sabijanja rashladnog fluida.

Zahvaljujući ovoj činjenici vijčani kompresori mogu da rade sa mnogo većim **odnosom pritisaka kondenzacije i isparavanja** (do oko $p_k/p_i = 15$), a da ne dođe do prevelikog zagrevanja para rashladnog fluida na kraju kompresije.

Ova temperatura je, između ostalog, ograničena karakteristikama ulja za podmazivanje i ne bi trebalo da pređe 110 °C.

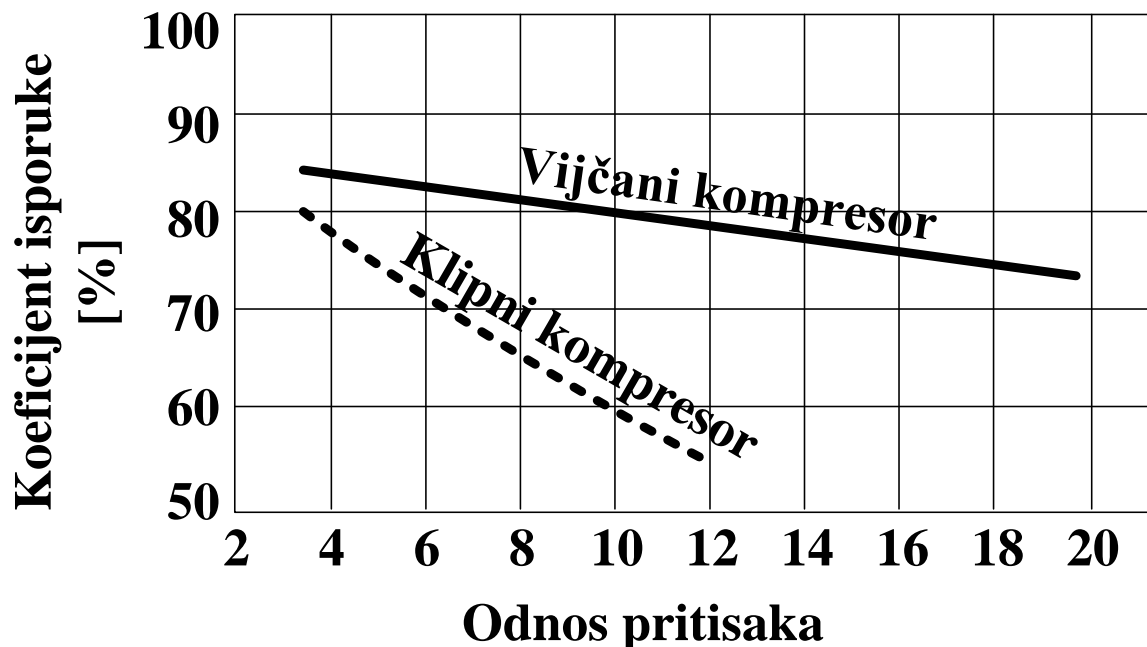
VIJČANI KOMPRESORI SA DVA VIJKA

PREDNOSTI U ODNOSU NA KLIPNE I CENTRIFUGALNE KOMPRESORE

- Za razliku od klipnih kompresora kod njih nema usisnih i potisnih ventila i nema štetnog prostora.
- Posebno je velika prednost zato što ne postoje inercijalne sile koje su nezaobilazne kod klipnih kompresora.

Koeficijent isporuke

vijčanih kompresora je veći, jer nema pada pritiska u usisnim ventilima, a zbog obilnog podmazivanja vijaka imaju dobro zaptivanje između kućišta i vijaka i među vijcima.



VIJČANI KOMPRESORI SA DVA VIJKA

PREDNOSTI U ODNOSU NA KLIPNE I CENTRIFUGALNE KOMPRESORE

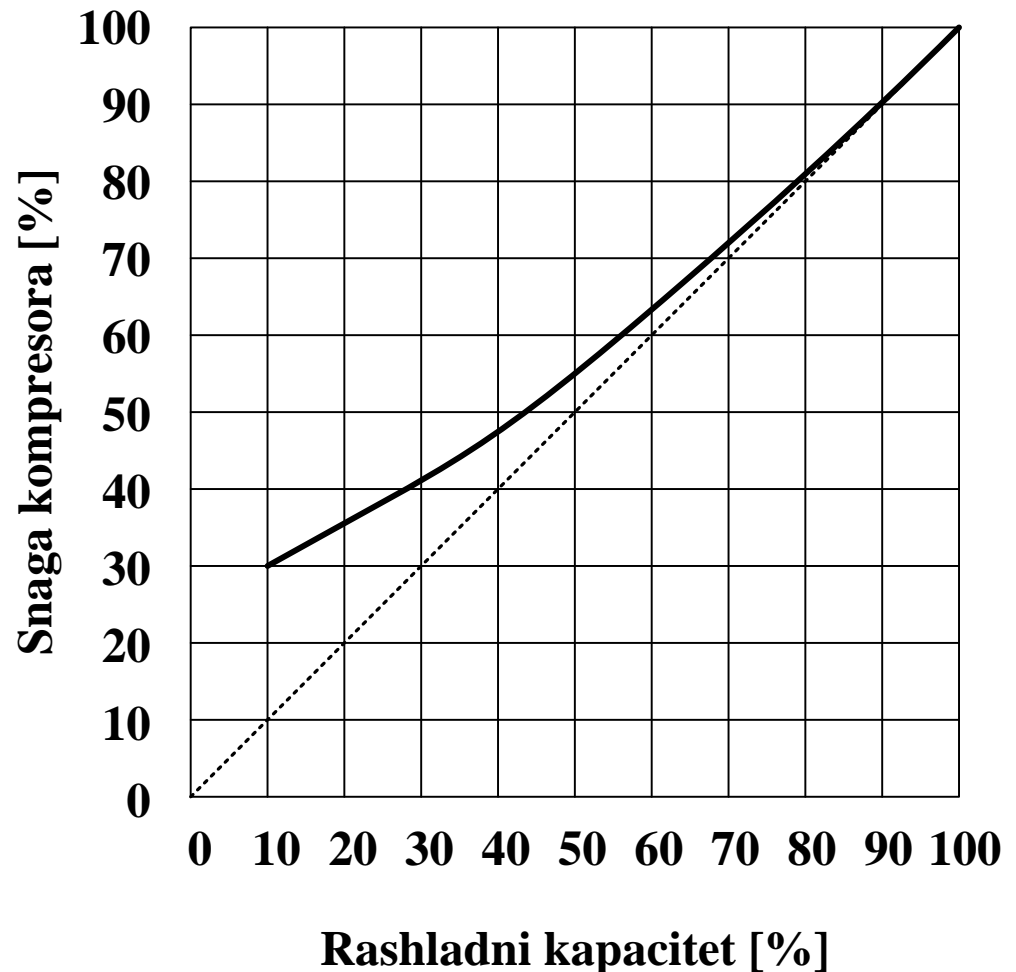
- Vreme rada do generalnog servisa iznosi oko 40.000 radnih sati, a zbog manjeg broja pokretnih delova radovi na održavanju su jednostavniji, ali zahtevaju vrhunsku stručnost.
- Za razliku od centrifugalnih kompresora njihov stepen sabijanja ne zavisi od broja obrtaja vijaka i mogu se primeniti za sve rashladne fluide, bez izmene njegove konstrukcije.
- Ovi kompresori, u odnosu na klipne kompresore istog kapaciteta hlađenja, gabaritno su znatno manji, te zahtevaju manji prostor.
- Regulacija kapaciteta vijčanih kompresora je kontinualna u dijapazonu 10 - 100%. *Ova regulacija se postiže jednim klizačem, čijim pomeranjem se menja položaj izlaznog otvora kompresora i na taj način se menja maseni protok rashladnog fluida kroz kompresor.*

VIJČANI KOMPRESORI SA DVA VIJKA

NEDOSTACI U ODNOSU NA KLIPNE I CENTRIFUGALNE KOMPRESORE

Pri radu sa kapacitetom hlađenja manjim od oko 60% za pogon se zahteva nesrazmerno veća snaga u poređenju s idealnim kompresorom.

Zavisnost snage kompresora od rashladnog kapaciteta



VIJČANI KOMPRESORI SA DVA VIJKA

OSNOVNE KARAKTERISTIKE VIJČANOG KOMPRESORA

Časovna zapremina pare rashladnog fluida (zapreminski protok), koju odsisava kompresor na datoj temperaturi (pritisku) isparavanja, data je:

$$V = \lambda \cdot V_h \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

gde je λ koeficijent isporuke vijčanog kompresora a V_h [m³/h] časovna geometrijska zapremina vijčanog kompresora određena je geometrijskom karakteristikom kompresora i njegovim brojem obrtaja.

KOEFICIJENT ISPORUKE vijčanog kompresora zavisi od brojnih faktora, kao što su: veličina zazora između vijaka i između vijaka i kućišta, od isparljivosti rastvorenog RF u ulju, hidrauličnog otpora u usisnom priključku, od veličine gasne konstante RF, itd.

Iz navedenih razloga, računsko određivanje koeficijenta isporuke je vrlo složeno. Zbog toga se λ određuje eksperimentalno (proizvođač).

OSNOVNE KARAKTERISTIKE VIJČANOG KOMPRESORA

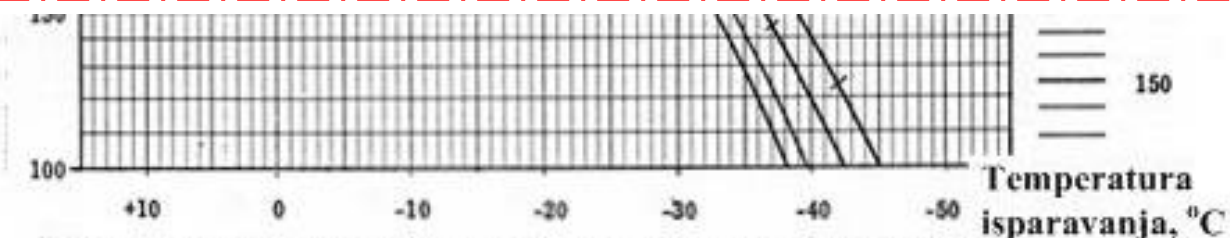
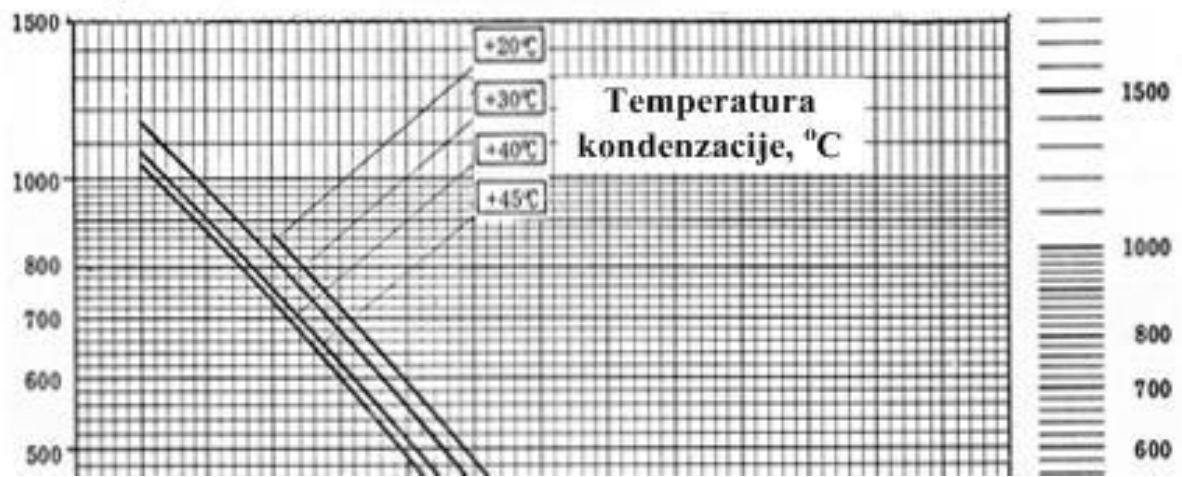
50 Hz,
2950 1/min

Amonijak, R717

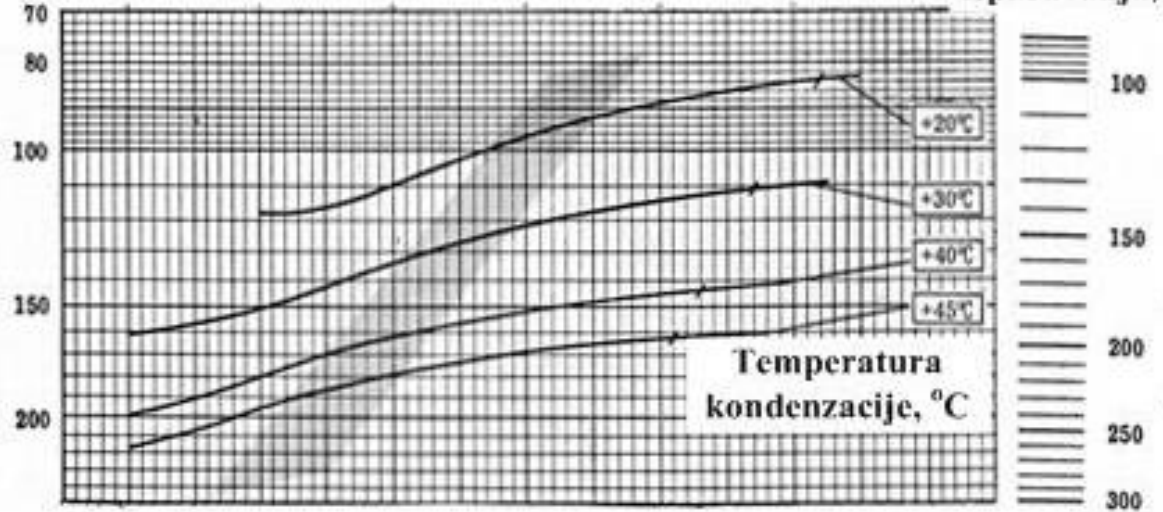
60 Hz,
3540 1/min

Rashladni kapacitet, kW

Rashladni kapacitet, kW



Snaga kompresora
na vratilu, kW



Snaga kompresora
na vratilu, kW

*Nomogram za
određivanje
rashladnog
kapaciteta i snage
jednog amonijačnog
vijčanog
kompresora*

VIJČANI KOMPRESORI SA DVA VIJKA

Geometrijski zapreminski odnos V^*

Geometrijski zapreminski odnos je definisan kao odnos:

$$V^* = \frac{V_1}{V_i}$$

zapremina pare RF u momentu kada je završeno usisavanje
zapremina iste količine RF u momentu kada je završena
kompresija, odnosno do momenta otvaranja potisnog otvora
(početak potiskivanja)

Donedavno su za V^* usvajane fiksne vrednosti bez mogućnosti promene.

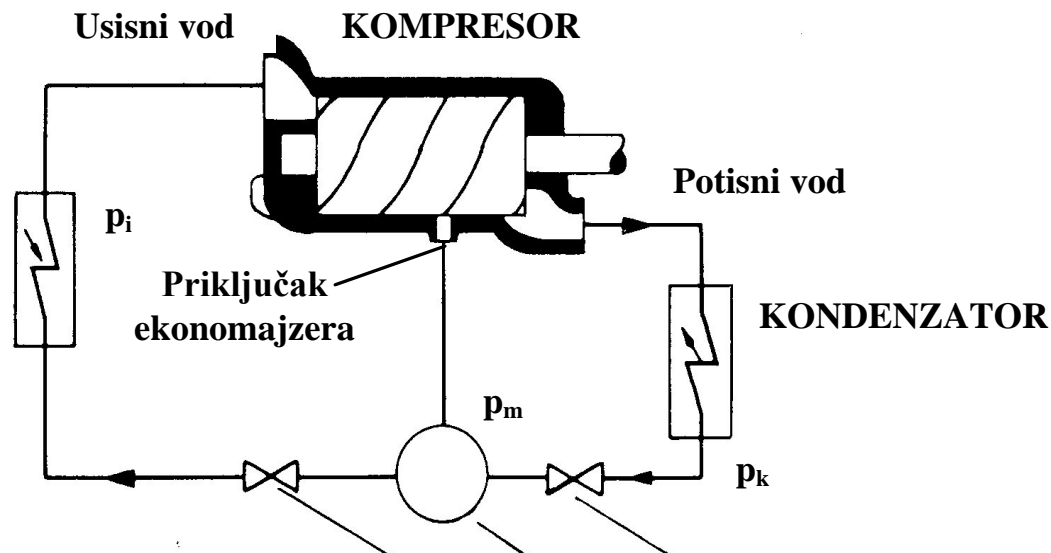
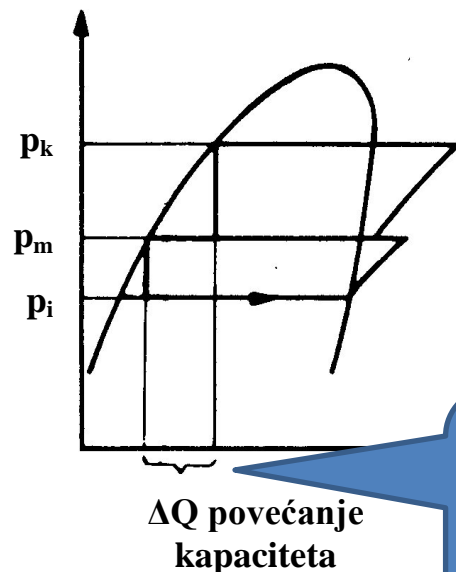
Konstrukcije savremenih kompresora su takve da je V^* promenljivo u toku rada (pomoću pokretnog klizača). Time je omogućeno kontinualno prilagođavanje kompresora trenutnim uslovima rada, **što čini pogon ekonomičnijim.**

VIJČANI KOMPRESORI SA DVA VIJKA

EKONOMAJZER

Zahvaljujući konstrukciji vijčanog kompresora (i mogućnosti rada s odnosom pritiska kondenzacije i isparavanja znatno višim nego klipni kompresori), kod primene sa većim odnosom pritiska, **može da se primeni ekonomajzer za poboljšanje efikasnosti termodinamičkog ciklusa.**

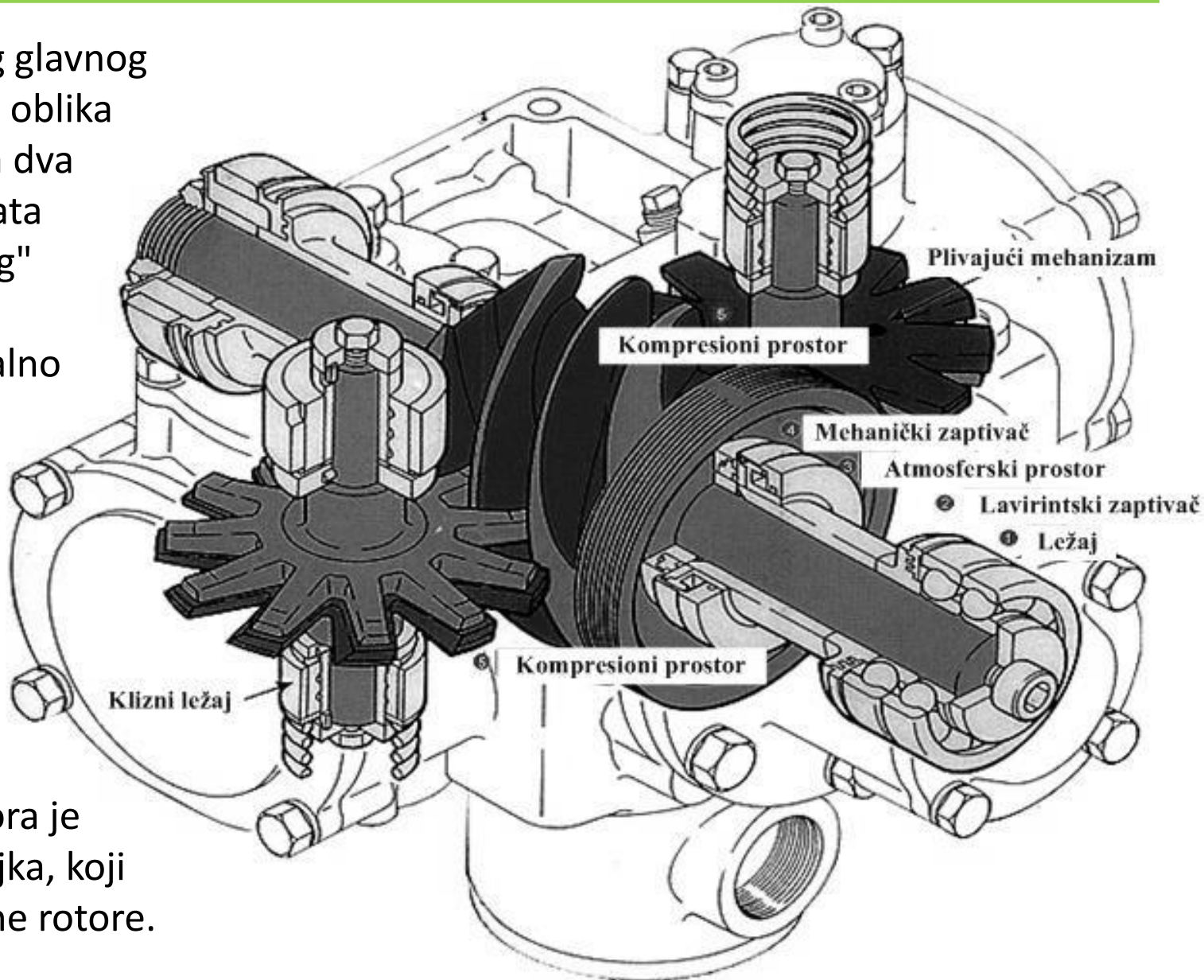
Sistem sa dvostepenim prigušivanjem



Ovakvim načinom sa kompresorom iste geometrijske zapremine može da se postigne veći kapacitet hlađenja. Ovo povećanje kapaciteta hlađenja kompresora, naravno, prati veća potrebna pogonska snaga.

VIJČANI KOMPRESORI SA JEDNIM VIJKOM

sastoji od jednog glavnog vijka cilindričnog oblika koji je u sprezi sa dva sporedna pljosnata rotora "češljastog" oblika, koji su postavljeni radijalno na glavni rotor, jedan nasuprot drugom.

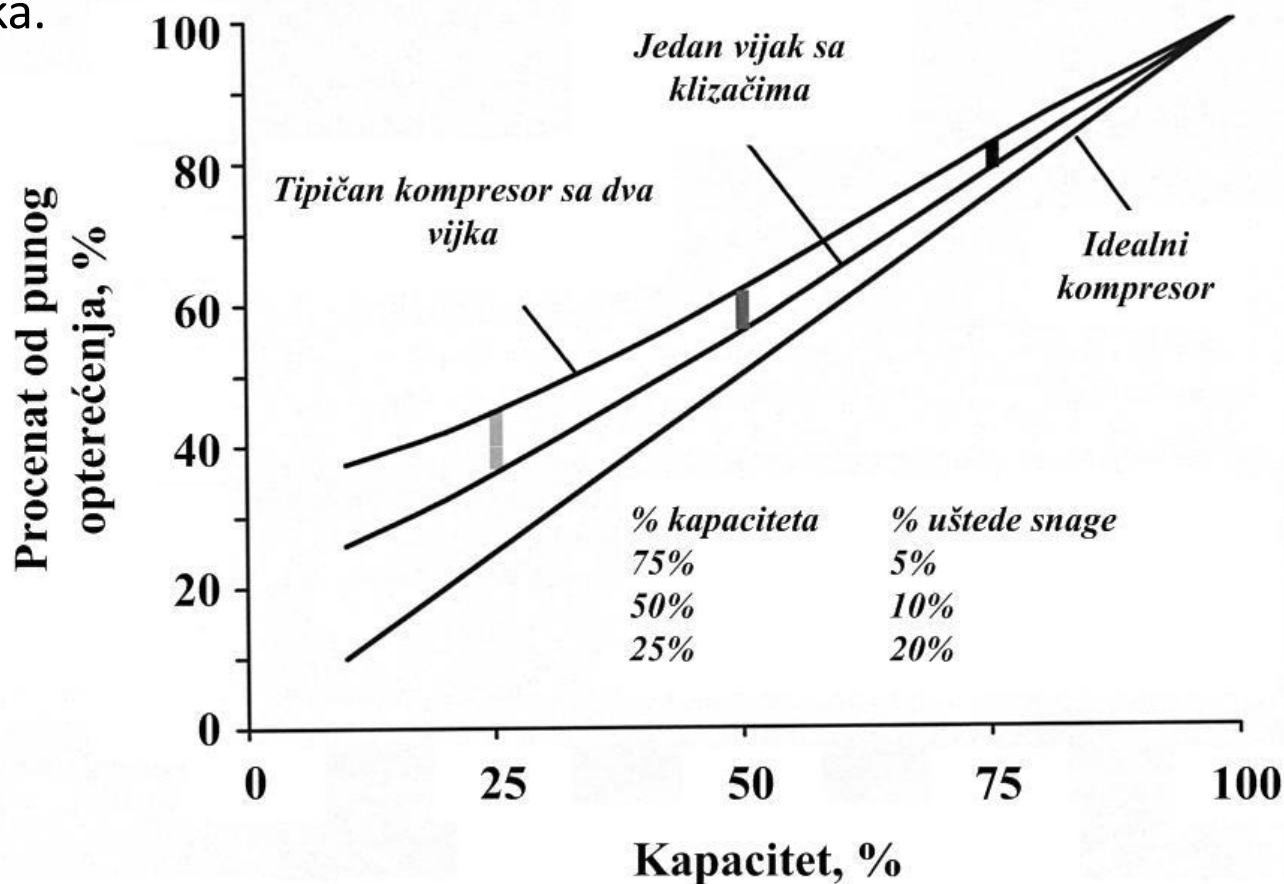


Pogon kompresora je preko glavnog vijka, koji pokreće sporedne rotore.

VIJČANI KOMPRESORI SA JEDNIM VIJKOM

Treba napomenuti da ovi kompresori stvaraju manju buku u radu. *Nivo buke u poređenju sa vijčanim kompresorima sa dva vijka je za 3 – 6 dB(A) niža.*

Prema podacima firme **Vilter**, vijčani kompresori sa jednim rotorom zahtevaju manju pogonsku snagu pri delimičnom opterećenju od vijčanih kompresora sa dva vijka.



Zavisnost rashladnog kapaciteta sa promenom opterećenja

VIJČANI KOMPRESORI SA JEDNIM VIJKOM

PODMAZIVANJE:

Ovi kompresori rade s ubrizgavanjem ulja u kompresor.

Ulje osim funkcije podmazivanja ima važnu ulogu u odvođenju toplote kompresije.

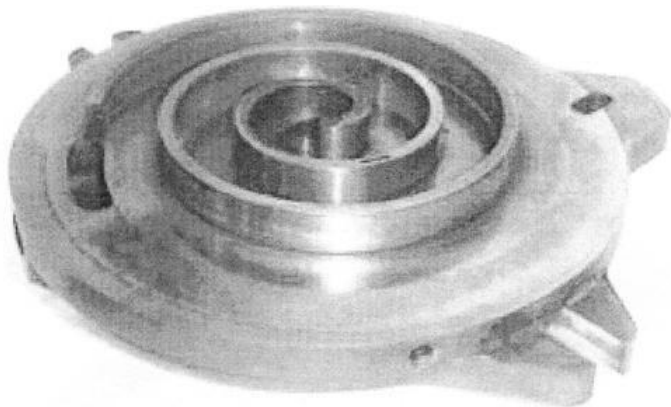
IZVEDBA / RASHLADNI FLUID: proizvode se kao:

- a. Poluhermetički, za freone, sa geometrijskom zapreminom
 $V_{\text{geom}} = 170 - 820 \text{ m}^3/\text{h}$.
- b. Otvoreni, za freone i amonijak, sa geometrijskom zapreminom
 $V_{\text{geom}} = 290 - 2500 \text{ m}^3/\text{h}$.

AGREGAT: Ovi kompresori se, po pravilu, isporučuju u vidu fabrički montiranih agregata koji u sebi, osim kompresora, sadrže: pogonski elektromotor povezan sa kompresorom preko elastične spojnice (ako je kompresor otvorenog tipa), hladnjak ulja, uljnu pumpu i elektro-ormar, koji sadrži potrebnu opremu za upravljanje i zaštitu kompresora.

SPIRALNI KOMPRESORI

KONSTRUKCIJA: Spiralni kompresori su sastavljeni od dve međusobno spojene spirale. Jedna od spirala je fiksna (ne obavlja nikakvo rotaciono kretanje), a druga obavlja orbitalno kretanje oko fiksne spirale.



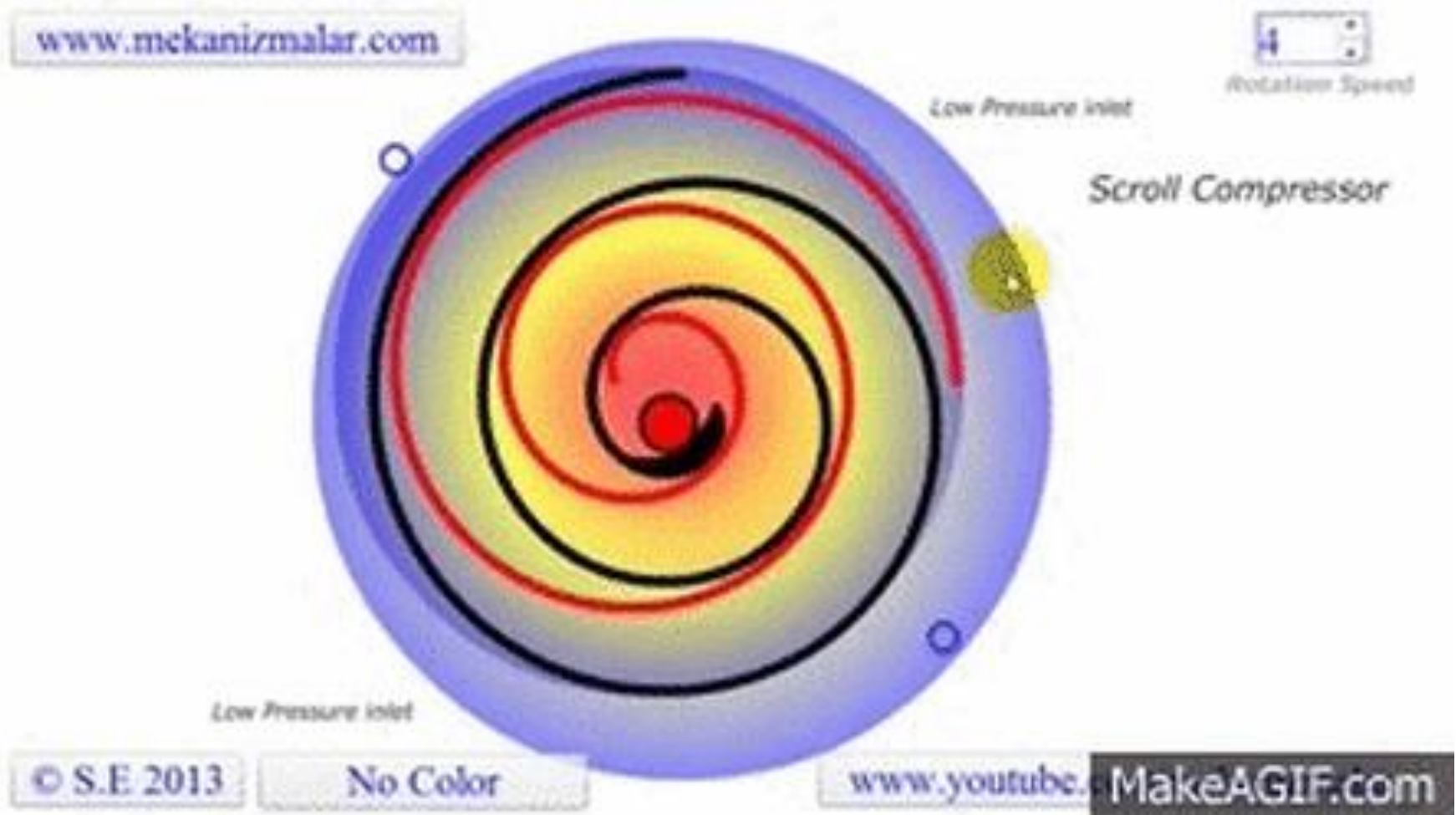
PRINCIP RADA: Između spirala se formira prostor nepravilnog oblika ograničen spiralama i ravnim delovima nosača spirala.

Sabijanje para rashladnog fluida obavlja se u tim formiranim zapreminama, a na račun smanjivanja te zapremine koje nastaje orbitalnim kretanjem pokretne spirale

[PRINCIP RADA](#)

http://www.youtube.com/watch?v=f_6xolDoqs0

SPIRALNI KOMPRESORI



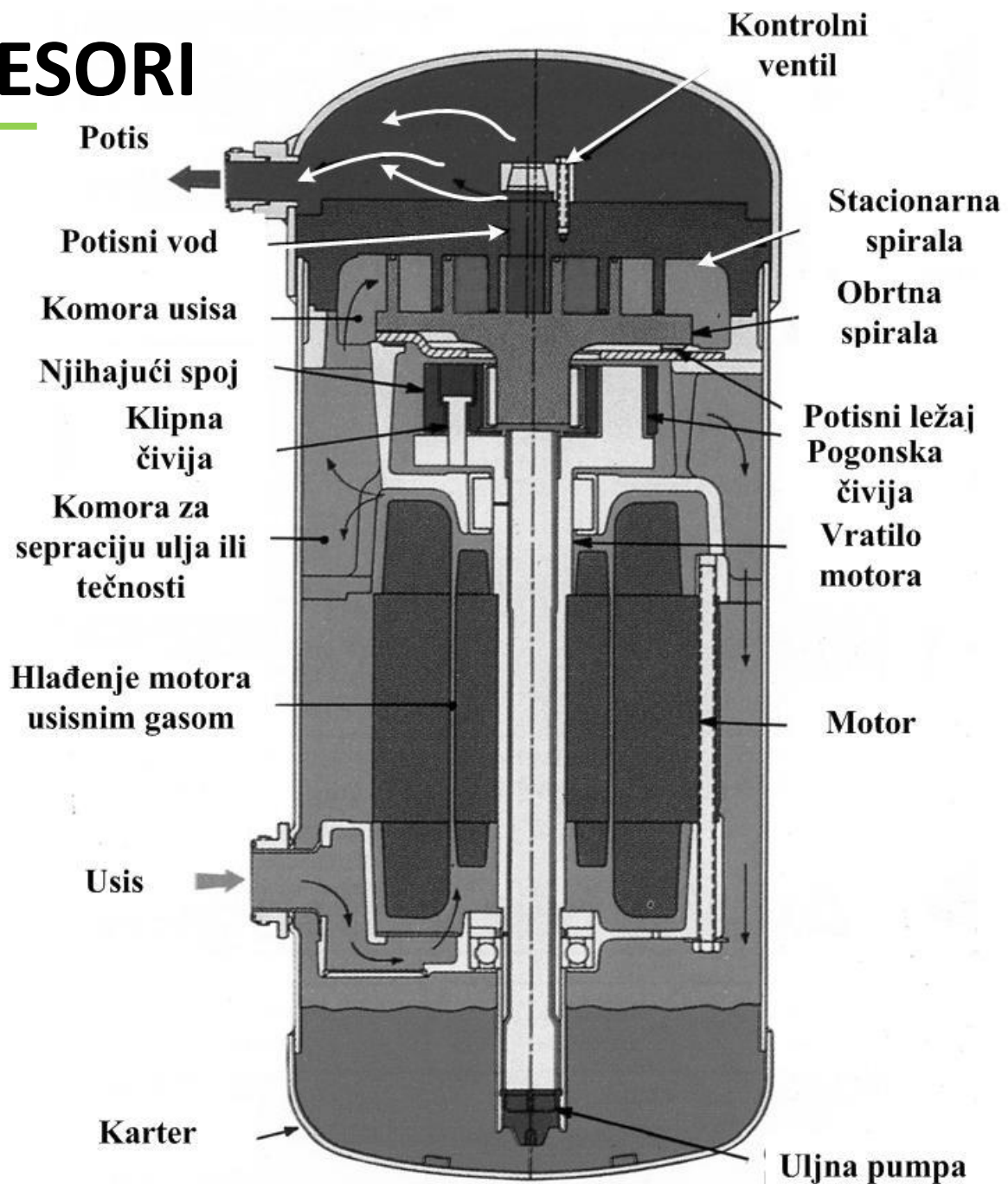
SPIRALNI KOMPRESORI

PRIMENA

Ovi kompresori se uglavnom koriste u

1. komercijalnim uređajima,
2. uređajima za kondicioniranje vazduha
3. toplotnim pumpama, za kapacitete od 3 do 60 kW po kompresoru.

Za veće kapacitete ugrađuje se više kompresora.



SPIRALNI KOMPRESORI - REGULACIJA KAPACITETA

Moguće je izvesti na dva načina:

1. promenom broja obrtaja pogonskog elektromotora,
2. promenom geometrijske zapremine kompresora.

Regulacija kapaciteta promenom broja obrtaja

- Ova regulacija se sastoji u tome da se broj obrtaja elektromotora menja u zavisnosti od rashladnih potreba potrošača, koje opslužuje kompresor i to pomoću frekventnog regulatora.
- Frekventni regulator menja frekvenciju struje motora, a time i broj obrtaja i na taj način prilagođava rashladni kapacitet kompresora rashladnim potrebama potrošača.
- Rashladna snaga ovih kompresora je praktički proporcionalna sa brojem obrtaja, pa je ovakvom regulacijom pogon vrlo ekonomičan.
- Nedostatak ove regulacije je mogućnost pojave većih vibracija, jer je teže uravnotežiti kompresor u širokom dijapazonu broja obrtaja.

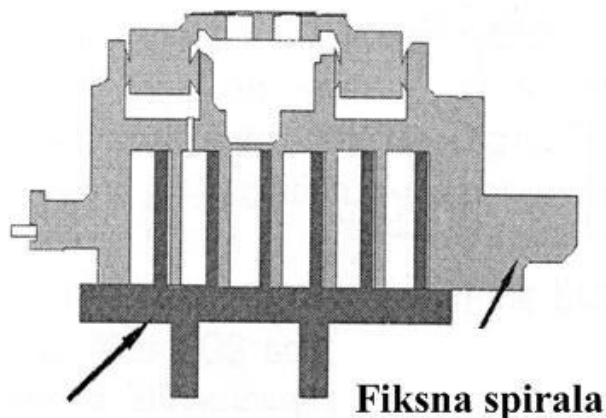
SPIRALNI KOMPRESORI - REGULACIJA KAPACITETA

Regulacija kapaciteta promenom geometrijske zapremine

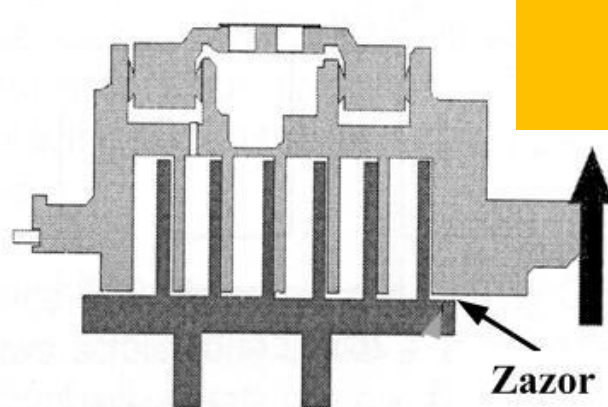
Promena geometrijske zapremine kompresora (uz konstantan broj obrtaja motora) postiže se tako da se fiksna spirala u kratkim vremenskim intervalima udalji od pokretne spirale (za 1 – 1,5 mm) tako da u tom vremenu kompresor ne obavlja usisavanje pare rashladnog fluida.

NAPOMENA: ovde nije reč o stvarnoj promeni geometrijske zapremine kompresora (ona je nepromenjena), nego se u vremenu odizanja fiksne spirale ona ne koristi za transport para rashladnog fluida.

a)



b)



Principijelni prikaz regulacije kapaciteta spiralnog kompresora

A). - kompresor opterećen

B). - kompresor rasterćen

+ nije potreban relativno skup frekventni regulator, radi sa $n = \text{const.}$ pa je moguće dobro izbalansirati rad, umanjene vibracije i nivo šuma.

SPIRALNI KOMPRESORI

OSTALE KARAKTERISTIKE

USAVRŠENA TEHNOLOGIJA izrade spiralnih kompresora obezbeđuje:

1. Mali pad pritiska, pri strujanju pare RF u usisnom i potisnom vodu.
2. Oni nemaju usisne i potisne ventile niti štetni prostor,
3. Zbog konstrukcije spirala imaju približno konstantan protok rashladnog fluida kroz kompresor, pa samim tim i visoki koeficijent isporuke λ u širokom dijapazonu odnosa pritisaka potisa i usisa.

IZVEDBA: Najčešće, skoro isključivo, pravljeni su u hermetičoj izvedbi, što znači da popravka nije predviđena, tj. **popravka je moguća, ali samo u fabričkim uslovima.**

IZBOR ovih kompresora obavlja se na temelju potrebnog rashladnog kapaciteta a u zavisnosti od korišćenog rashladnog fluida, temperature isparavanja i temperature kondenzacije. Proizvođači navedene podatke obično publikuju u vidu tablica i dijagrama.

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

PRINCIP RADA: Hladna para rashladnog fluida se komprimuje dejstvom centrifugalne sile na nju i pretvaranjem kinetičke energije pare (koja velikom brzinom izlazi iz radnog kola) u pritisnu energiju.

VIBRACIJE I HABANJE POKRETNIH DELOVA znatno je manje, jer imaju samo rotirajuće delove.

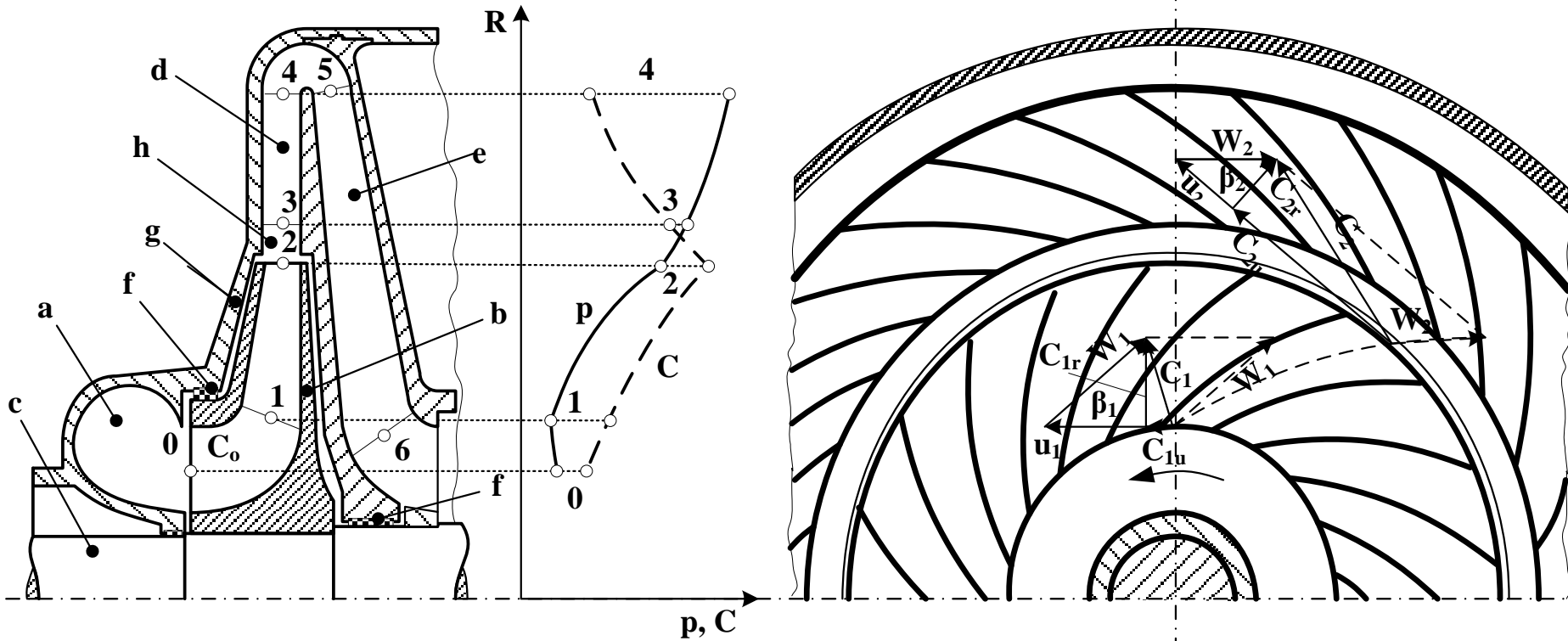
PRIMENA: Centrifugalni kompresori su pogodni za primenu kod svih većih rashladnih postrojenja, jer mogu da ostvare relativno visoki kompresioni odnos: $2 \div 30$ (što umnogome zavisi od rashladnog fluida sa kojim rade).

RASHLADNI FLUIDI: Skoro svaki rashladni fluid može da se koristi u turbokompresorima

OPSEG RADA: Centrifugalni kompresori se koriste za protoke rashladnog fluida od 0,03 do 15 m³/s, sa brzinama obrtanja vratila od 1.800 do 90.000 1/min. Veće brzine su vezane za manji kapacitet i obrnuto. Gornja granica kapaciteta određuje i dimenzije kompresora (za 15 m³/s prečnik RK je oko 2 m)

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

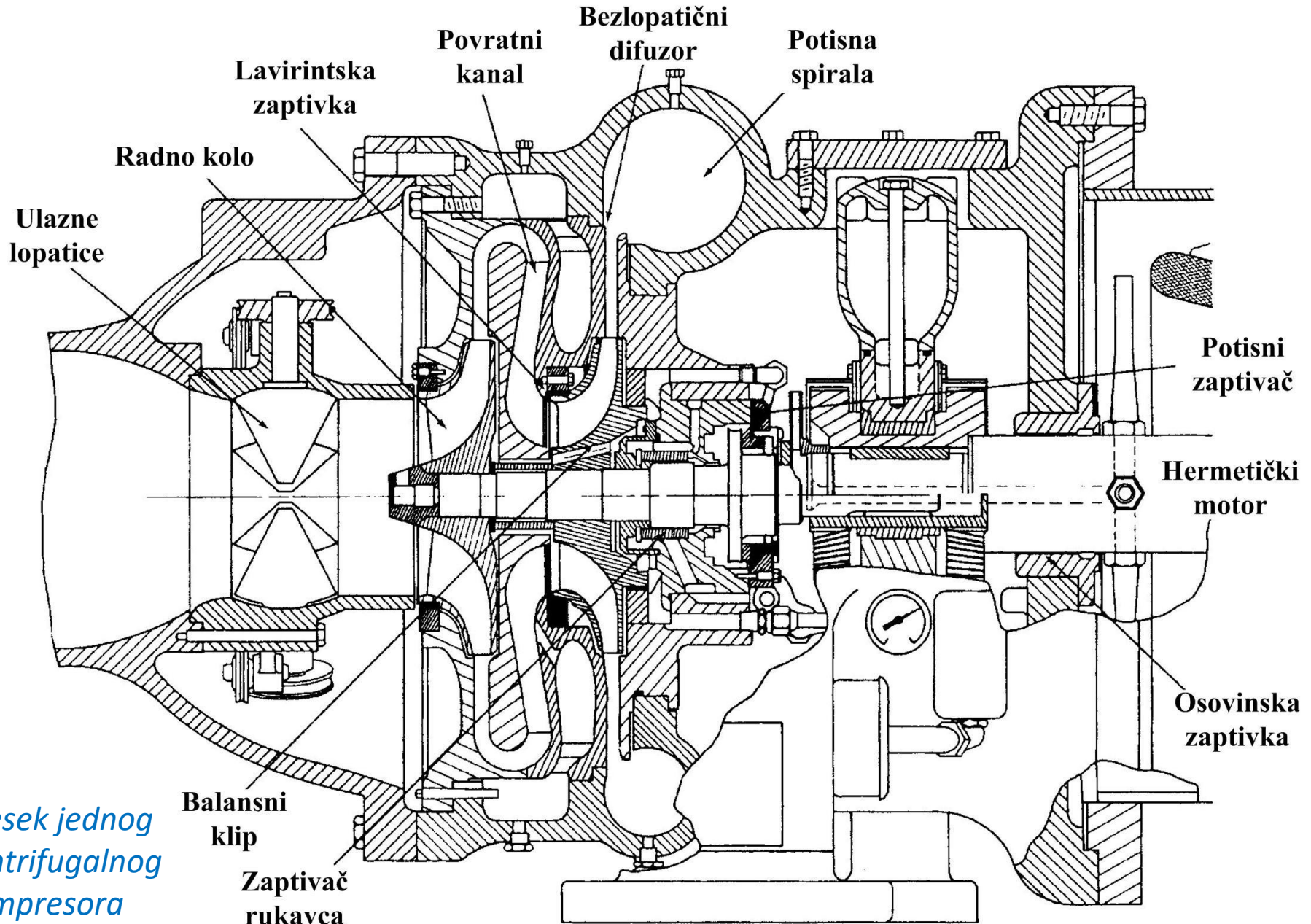
TEORIJSKE OSNOVE



0 - Ulaz u prvi stepen
1 – Ulaz u radno kolo
2 – Izlaz iz radnog kola
3 – Ulaz u difuzor

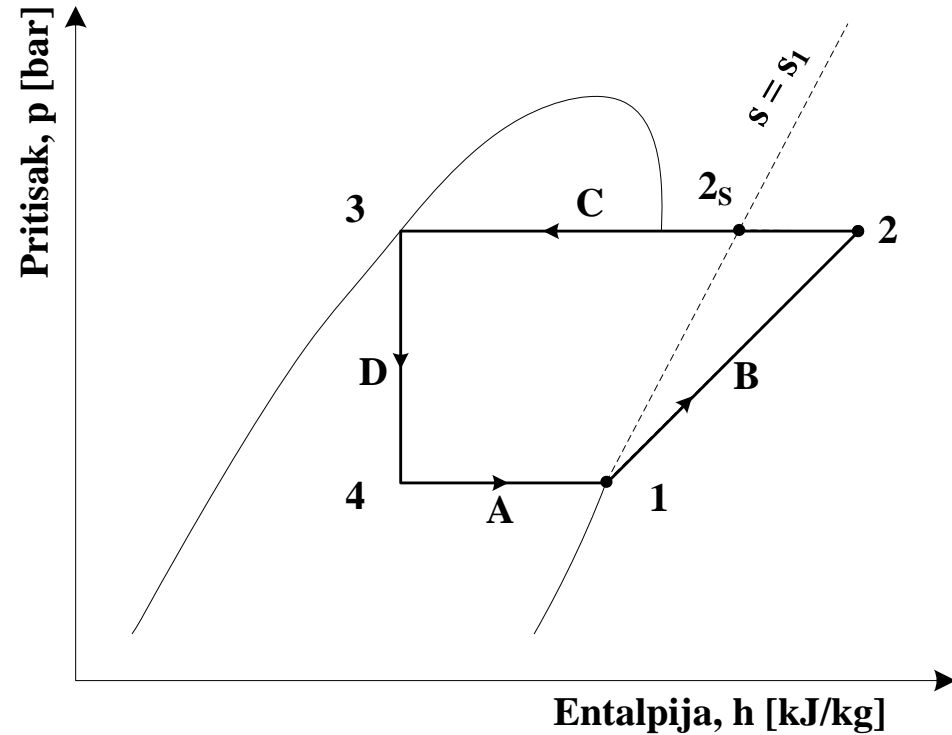
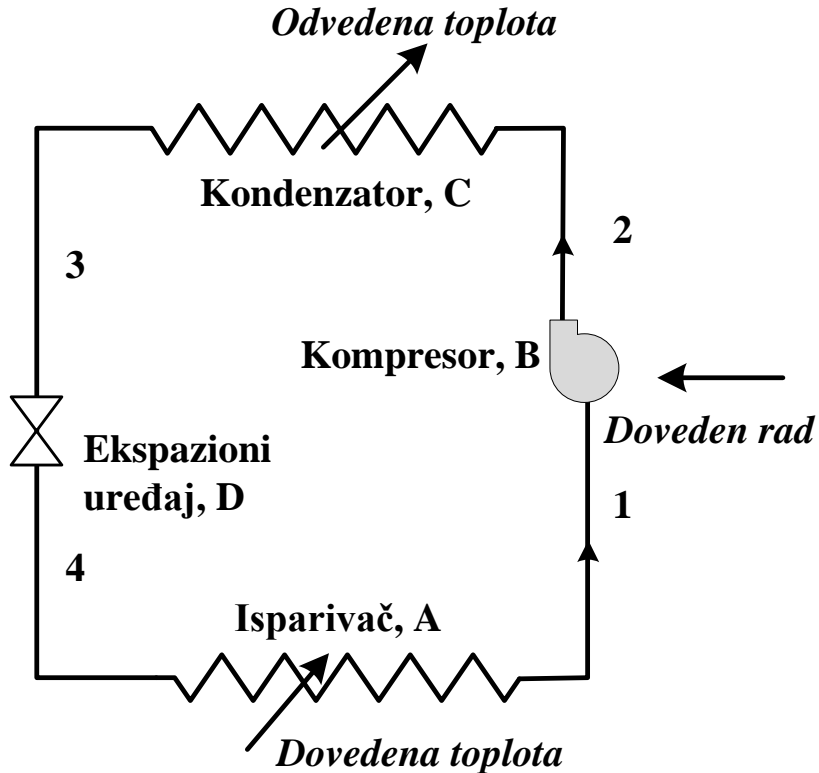
4 – Izlaz iz difuzora
5 – Ulaz u sprovedno kolo
6 – Izlaz iz sprovednog kola

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI



CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

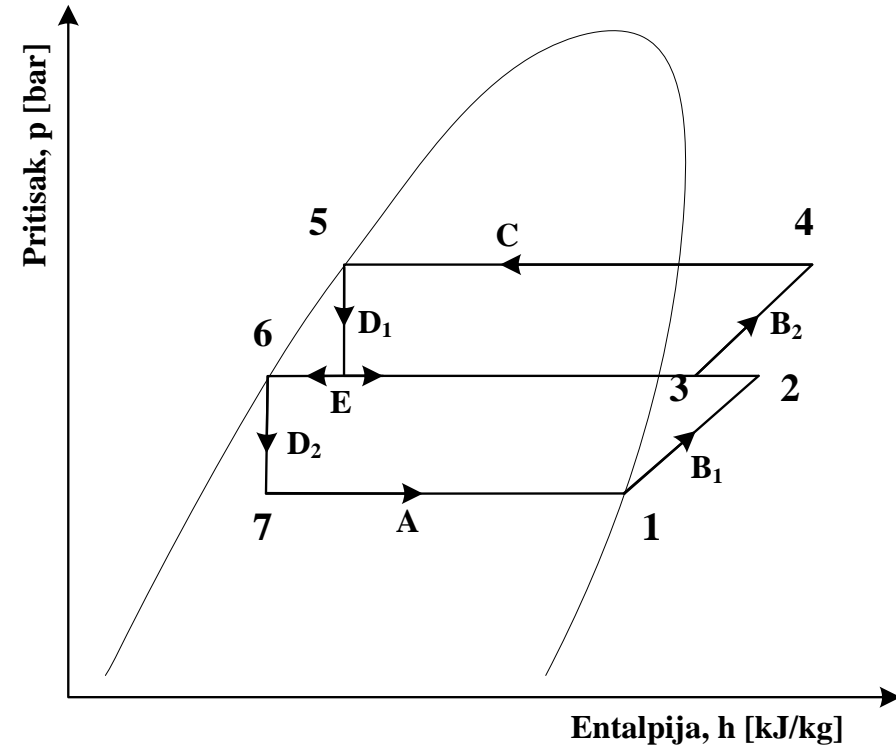
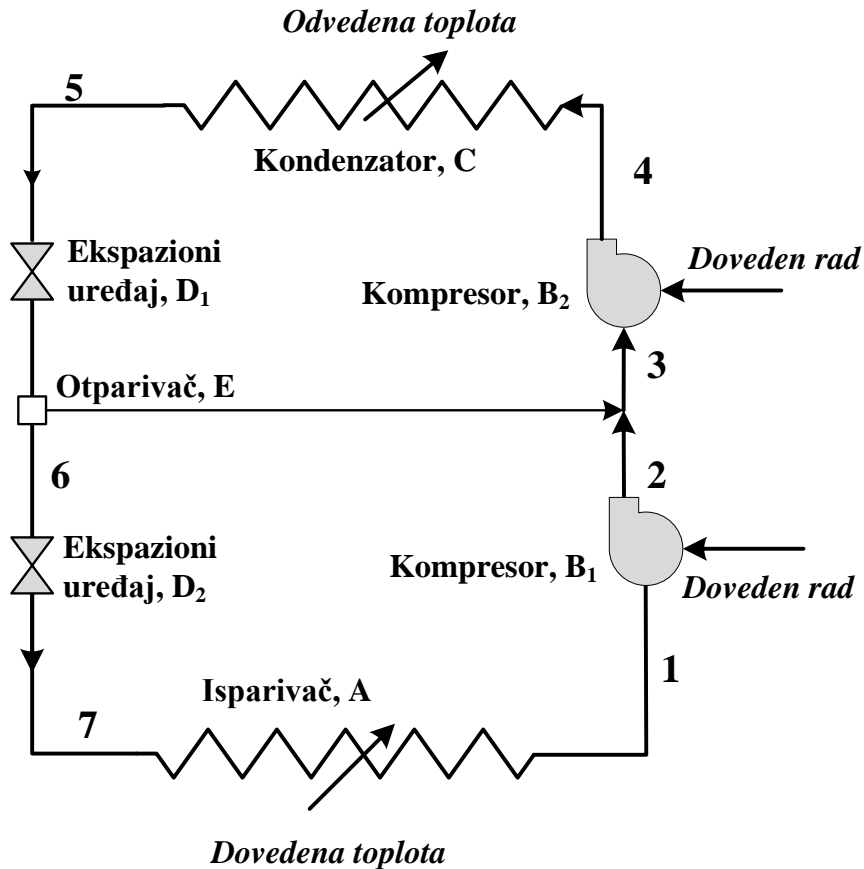
RASHLADNI CIKLUSI TURBOKOMPRESORA



Jednostepeni ciklus sa centrifugalnim kompresorom

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

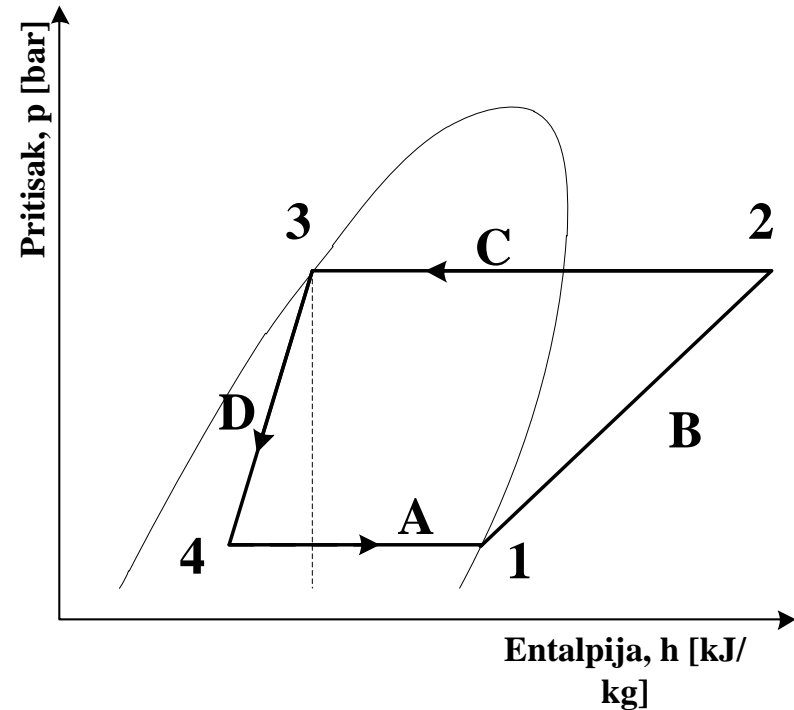
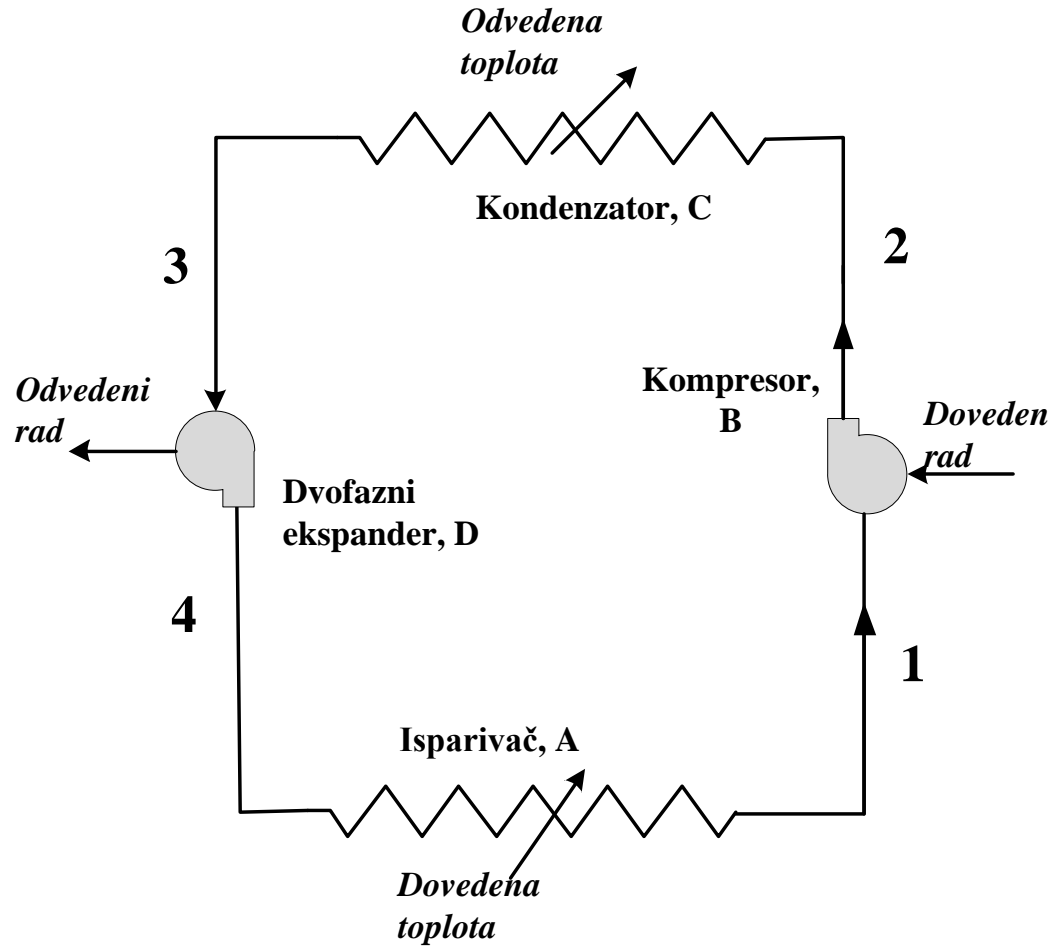
RASHLADNI CIKLUSI TURBOKOMPRESORA



Dvostepeni ciklus sa centrifugalnim kompresorima

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

RASHLADNI CIKLUSI TURBOKOMPRESORA



Jednostepeni ciklus sa centrifugalnim kompresorom i ekspanderom

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

Regulacija kapaciteta

Postoji nekoliko načina regulacije kapaciteta turbokompresora i oni mogu da se primene pojedinačno ili kombinovano.

1. *Regulacija kapaciteta prigušivanjem.*

Kod ovog načina regulacije kapaciteta obavlja se dodatno prigušivanje na usisu kompresora, a time se, prividno, snižava temperatura usisavanja, što ima za posledicu smanjenje rashladne snage i apsorbovane snage kompresora.

Ujedno se smanjuje i rashladni koeficijent.

Ovaj način se ponekad koristi kod višestepenih kompresora i u slučajevima gde drugi način regulacije nije moguć.

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

Regulacija kapaciteta (2)

2. Regulacija kapaciteta recirkulacijom sabijenih para RF

Kod ovog načina deo komprimovane pare se vraća na usis kompresora.

Pri tome se uslovi rada kompresora neznatno menjaju, a rashladni koeficijent kompresora se smanjuje proporcionalno količini recirkulisanog rashladnog fluida.

Pri ovakvoj regulaciji snaga kompresora se ne menja, te zbog toga ovaj način regulacije nije ekonomičan.

Obično se koristi u kombinaciji sa regulacijom kapaciteta promenom broja obrta i to tada kada treba obezbediti da kompresor radi u stabilnom području radnog dijagrama.

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

Regulacija kapaciteta (3)

3. Regulacija kapaciteta promenom broja obrtaja.

Protok rashladnog fluida (a time i rashladna snaga) turbokompresora je proporcionalna broju obrtaja, ali porast pritiska u kompresoru zavisi od kvadrata brzine.

Na primer, za redukciju broja obrta za 50% rashladna snaga se smanjuje za 50%, ali razlika pritisaka iza i ispred kompresora opada na svega 25% od razlike pritiska za nominalni broj obrtaja.

Ukoliko je potisni pritisak nedovoljan (pritisak kondenzacije je viši), treba i recirkulisati komprimovanu paru rashladnog fluida da bi se obezbedili stabilni uslovi rada kompresora. **Zbog ove činjenice, kod ovakve regulacije se dijapazon promene broja obrtaja kreće u relativno uskim granicama.**

CENTRIFUGALNI (TURBO) KOMPRESORI

Regulacija kapaciteta (4)

4. Regulacija kapaciteta promenom ulaznog trougla brzina.

Ovaj način regulacije obavlja se pomoću sistema pokretnih lopatica ugrađenih ispred ulaza u prvi stepen kompresora.

Promenom ugla ulaza rashladnog fluida u kompresor menjaju karakteristike kompresora.

Ovaj način regulacije kompresora se ostvaruje jednostavnim konstrukcionim rešenjem, a daje dobre ekonomske efekte, pa se primenjuje kao osnovno rešenje.

Ponekad se kombinuje i sa drugim načinima raeregulacije kapaciteta.

KONDENZATORI I KULE ZA HLAĐENJE

NAMENA: Kondenzatori i kule za hlađenje su najčešće korišćeni uređaji za odbacivanje toplote u okolinu.

PODELA: Razlikuju se tri vrste kondenzatora:

1. vodom hlađeni
2. vazduhom hlađeni i
3. evaporativni.

Prva dva tipa kondenzatora koriste samo **osetljivu toplotu**, dok evaporativni kondenzatori koriste **i osetljivu i latentnu toplotu** u procesu prenosa toplote od radnog fluida u okolinu.

KULE ZA HLAĐENJE su slične evaporativnim kondenzatorima po principu rada, ali se koriste isključivo za hlađenje industrijske vode.

KONDENZATORI

PRINCIP RADA KONDENZATORA: Para radnog fluida na potisu kompresora je pregrejana i njeno hlađenje obavlja se na manjem delu površine kondenzatora, nakon čega počinje proces kondenzacije.

→ Pri tome **OSETLJIVA TOPLOTA** hlađenja pregrejane pare i eventualnog pothlađivanja je vrlo mala u poređenju sa **LATENTNOM TOPLATOM KONDENZACIJE**.

PARAMETRI: Proces se odvija pri pritisku kondenzacije i pri odgovarajućoj temperaturi kondenzacije.

POTHLAĐIVANJE: U nekim kondenzatorima je moguće i pothlađivanje tečnosti, nakon završetka procesa kondenzacije.

KONDENZATORI

TEMPERATURA KONDENZACIJE

Rashladni sistem najefikasnije funkcioniše kada se proces isparavanja odvija na **najvišoj** mogućoj temperaturi, a proces kondenzacije pri **najnižim** mogućim temperaturama.

! Za svaki stepen Celzijusa sniženja temperature kondenzacije, postiže se ušteda energije od 2 – 4%.

Preporučene temperature kondenzacije zavise od tipa kondenzatora i mogu se proceniti na sledeći način:

→ **Evaporativni kondenzatori:**

$$t_{\text{kon}} = t_{\text{WB,d}} + 12^{\circ}\text{C}$$

gde je $t_{\text{WB,d}}$ projektna temperatura vlažnog termometra za područje gde se kondenzator postavlja.

KONDENZATORI

TEMPERATURA KONDENZACIJE

→ **Horizontalni višecevni vodom hlađeni kondenzator:**

$$t_{\text{kon}} = t_{w,u} + \Delta t + \Delta t_w ; \quad \text{gde su:}$$

$t_{w,u}$ = ulazna temperatura vode u kondenzator, [°C];

Δt = razlika temp. između izlazne temp. vode i temp. kondenzacije, [°C] i

Δt_w = razlika temp. vode na izlazu i ulazu kondenzatora, [°C] - obično 5 do 8 °C

→ **Horizontalni višecevni kondenzator sa kulom za hlađenje:**

$$t_{\text{kon}} = (t_{w,u} + 7^{\circ}\text{C}) + \Delta t + \Delta t_w$$

gde je značenje izraza isto kao u prethodnom slučaju.

→ **Vazduhom hlađeni kondenzator:**

U ovom tipu kond., temp. kondenzacije može da se postavi i na oko 15 °C iznad projektovane temp. suvog termometra za područje u kojem se nalazi.

KONDENZATORI

TEMPERATURA KONDENZACIJE

Na primer, usvajajući sr. projektnu temperaturu suvog i vlažnog termometra u letnjem periodu od 33 i 23°C i temperaturu vode od 20°C, moguće je proceniti sledeće temperature kondenzacije, **zavisno od tipa kondenzatora**

Tip kondenzatora	Temp. kondenzacije
Evaporativni kondenzator	$t_k = 23 + 12 = 35^\circ\text{C}$
Horizontalni višecrevni vodom hlađeni kondenzator	$t_k = 20 + 5 + 5 = 30^\circ\text{C}$
Horizontalni višecrevni kondenzator sa rashladnom kulom	$t_k = (20 + 7) + 5 + 5 = 37^\circ\text{C}$
Vazduhom hlađeni kondenzator	$t_k = 33 + 15 = 48^\circ\text{C}$

ZAKLJUČAK: postoji značajna razlika u kondenzacionim temperaturama u zavisnosti od tipa kond. → horizontalni višecrevni kond. sa vodom **DOBRA OPCIJA**

IZBOR KONDENZATORA: Nakon izbora tipa kond., važno je pažljivo odabrati projektne temperature kako bi se odabrao optimalni kapacitet kond. s obzirom na investicione i pogonske troškove.

PREPORUKA: Tokom rada, potrebno je pratiti sve ove parametre (temperature) i održavati ih unutar optimalnih granica.

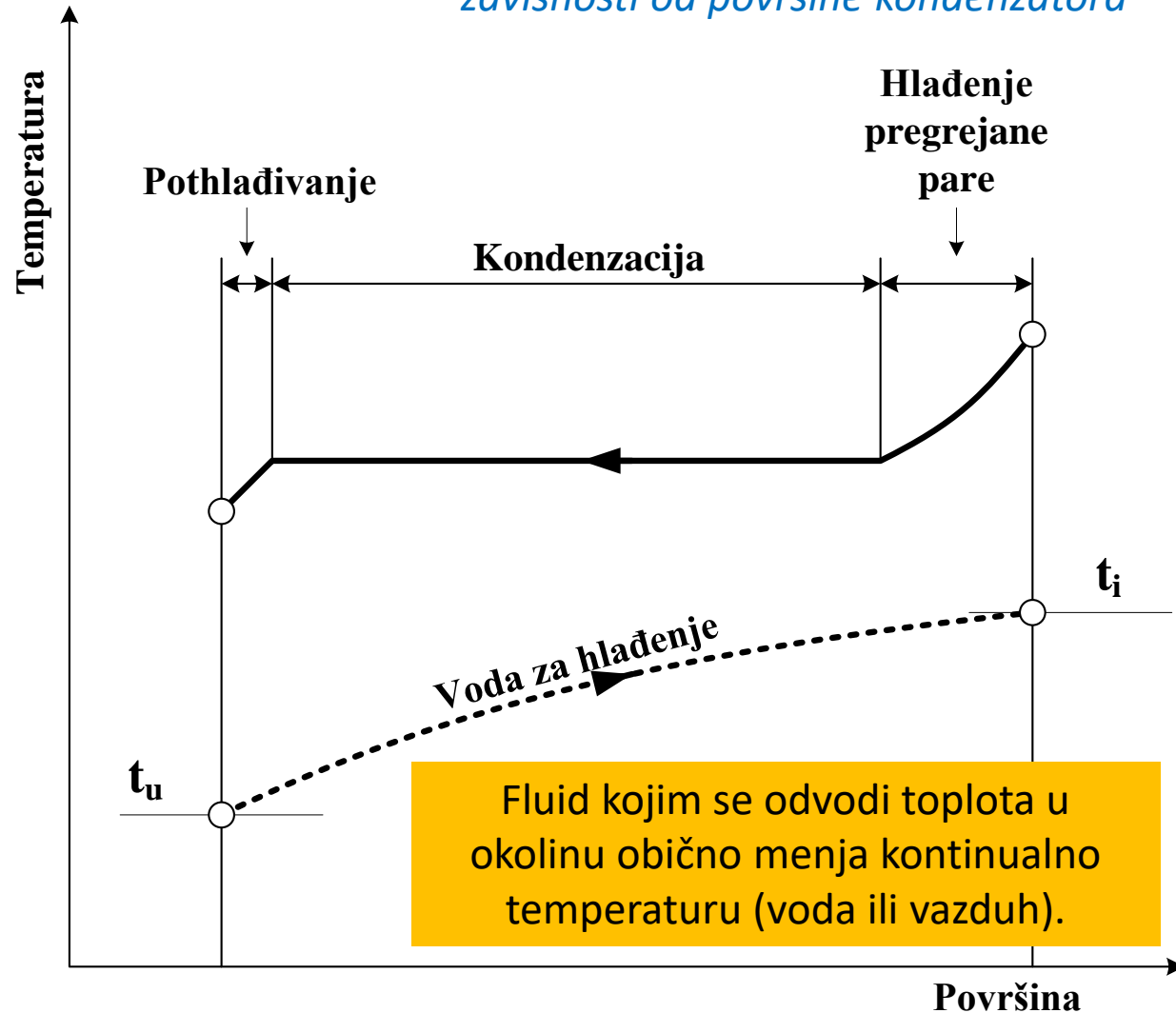
KONDENZATORI

TEMPERATURA KONDENZACIJE

Para rashladnog fluida je nakon kompresije **duboko u pregrejanom području**. To znači da treba da se pre procesa kondenzacije ohladi.

Nakon završetka kondenzacije moguće je i pothlađivanje tečnosti na kondenzatorskim površinama.

Temperatura u kondenzatoru u zavisnosti od površine kondenzatora



KONDENZATORI

PROBLEM NEKONDENZIBILNIH GASOVA

Ako vazduh ili neki drugi nekondenzibilan gas dođe u rashladni sistem, **bezuslovno će se skupiti u kondenzatoru.**

- ▶ Prisustvo ovih gasova smanjuje efikasnost sistema hlađenja, **RAZLOZI:**
- (1) Ukupni pritisak kondenzacije će se povećati, što će zahtevati veću snagu kompresora.
 - (2) Pošto su nekondenzibilni gasovi zarobljeni u kondenzatoru smanjiće površinu razmene toplote za rashladni fluid, što će takođe povećati pritisak kondenzacije.

NAČIN ELIMINACIJE: Nekondenzibilni gasovi se odstranjuju iz kondenzatora:

- a. ispuštanjem smeše nekondenzibilnih gasova i rashladnog sredstva,
- b. separacijom rashladnog fluida i vraćanjem u sistem i
- c. ispuštanjem u atmosferu nekondenzibilnih gasova.

KONDENZATORI

VODOM HLAĐENI KONDENZATORI

Postoje tri tipa vodom hlađenih kondenzatora:

- (1) cevi u plaštu,
- (2) orebrene cevi u plaštu i
- (3) cev u cevi.

VODA - mora biti nekorozivna, čista, prihvatljive cene, raspoloživa u dovoljnim količinama, i da joj je temperatura niža od temperature kondenzacije.

Zaprljana voda, kao što je rečna, generalno govoreći može se ekonomično filtrirati i koristiti ako je nekorozivna.

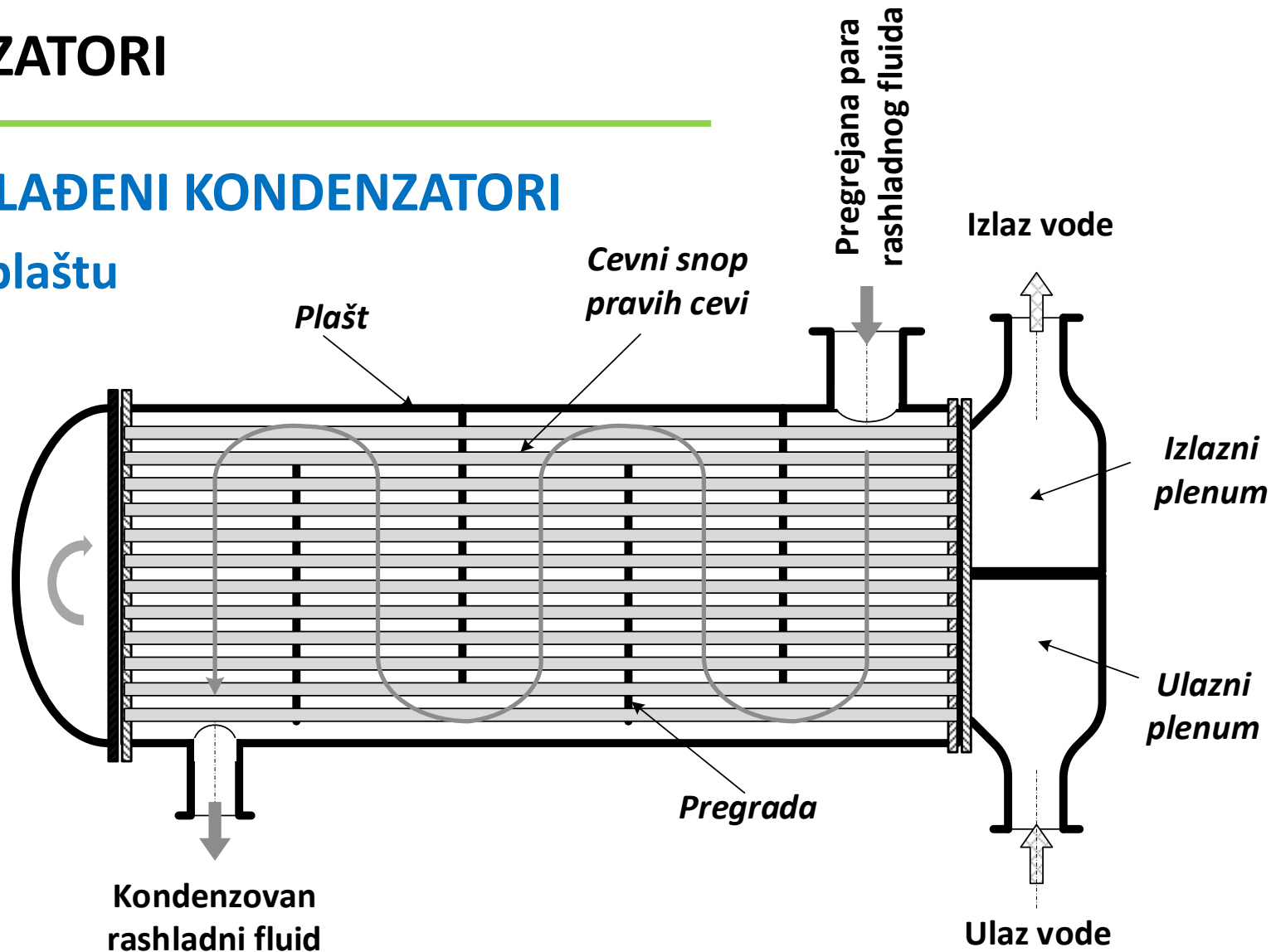
▶ Korozivna voda se može hemijski tretirati, ali će teško biti ekonomična za primenu u ovim tipovima kondenzatora. U takvim slučajevima je povoljnije koristiti evaporativne kond. ili pak kule za hlađenje.

KONDENZATORI

VODOM HLAĐENI KONDENZATORI

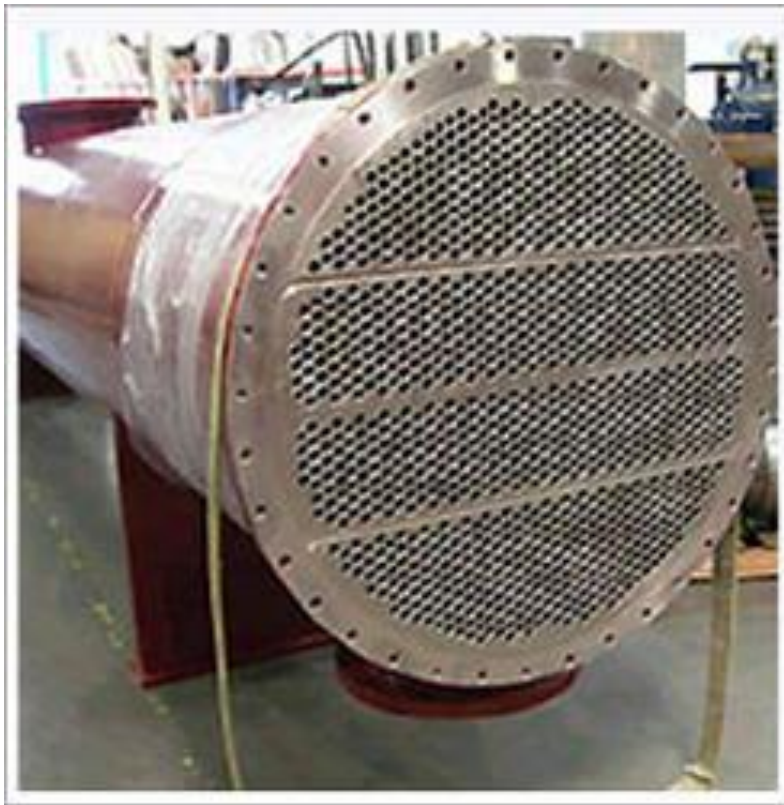
tipa cevi u plaštu

Donji deo plašta se često koristi i kao **SKUPLJAČ TEČNOSTI**, jer ima dovoljno prostora u njemu.



Takođe se ovaj deo koristi i kao **POTHLAĐIVAČ TEČNOSTI**, jer tečni rashladni fluid dolazi u kontakt sa vodom niske temperature.

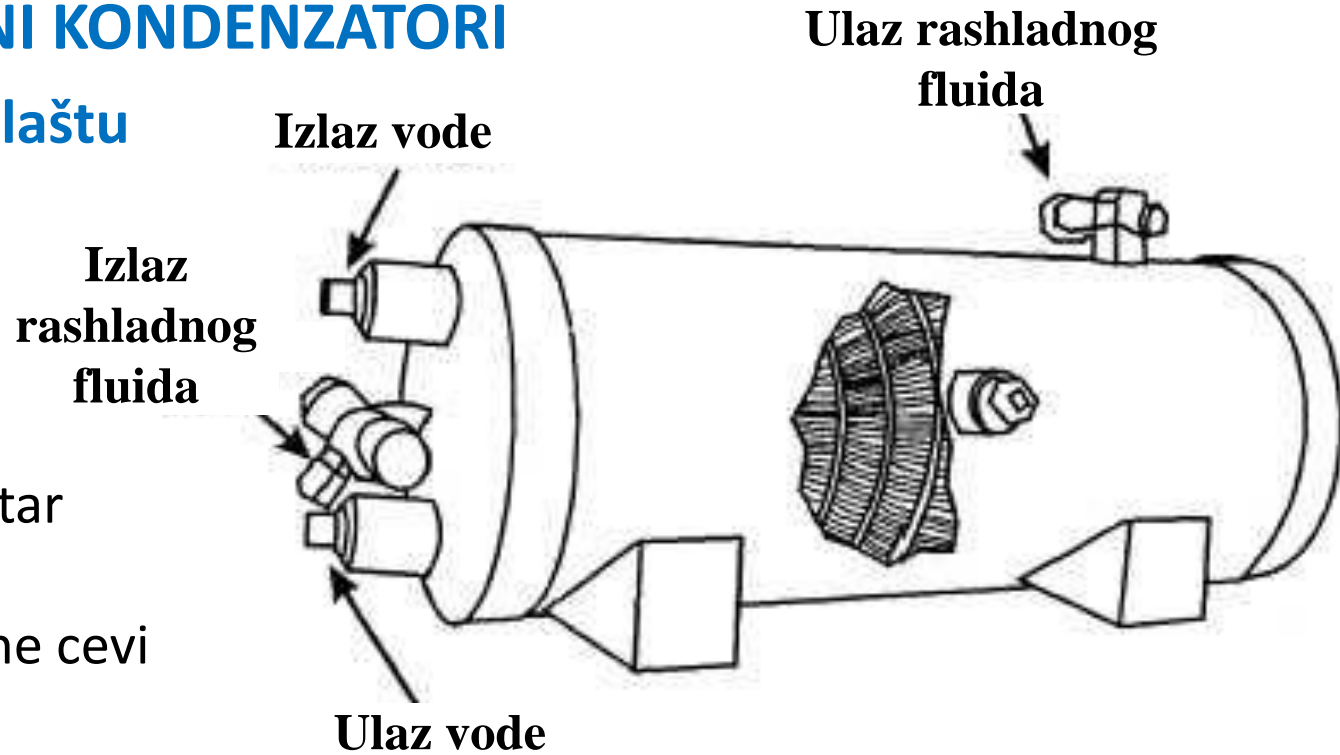
VODOM HLAĐENI KONDENZATORI tipa cevi u plaštu



KONDENZATORI

VODOM HLAĐENI KONDENZATORI tipa orebrenje u plaštu

KONSTRUKCIJA: Unutar plašta kondenzatora smeštene su orebrenne cevi kroz koje struji voda.



Ovaj tip kondenzatora je **jeftiniji** od kondenzatora cevi u plaštu, ali **odravanje komplikovanije:**

- U slučaju curenja, mora celo orebrenje da se izvadi i obavi popravka.
- Čišćenje orebrenih cevi u odnosu na glatke je teže i komplikovanije.



Metals International Limited

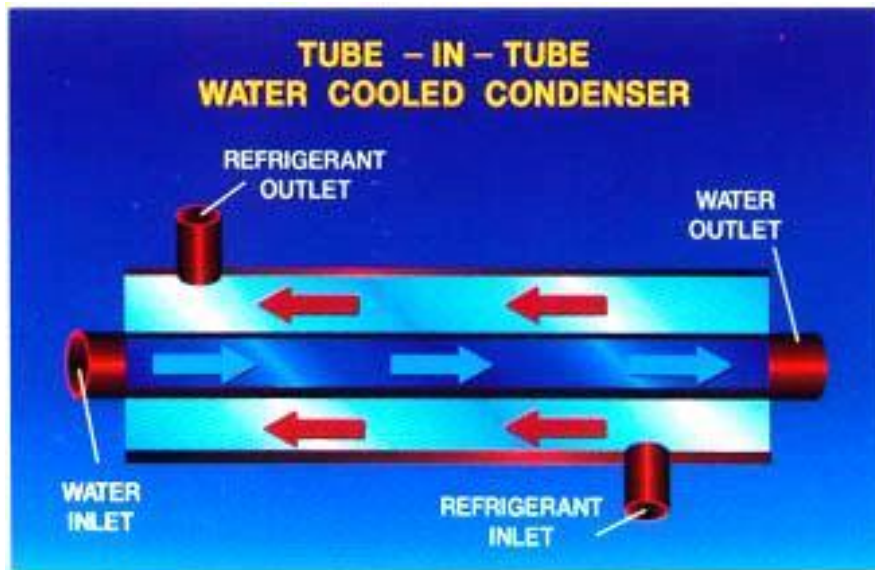


ALS INTERNATIONAL LIMITED

KONDENZATORI

VODOM HLAĐENI KONDENZATORI

tipa cev u cevi



Rashladni fluid teče u spoljnoj cevi, a u unutrašnjoj struji voda u suprotnom smeru.

KONDENZATORI

VODOM HLAĐENI KONDENZATORI

Prenos toplote kod vodom hlađenih kondenzatora (1)

Rashladni fluidi su obično materije koje dobro kvase čvrste površine, pa pri kondenzaciji stvaraju tečni film.

Koristeći teoriju tečnog filma Nuselt je došao do sledećeg izraza za **KOEFICIJENT PRELAZA TOPLOTE**, pri kondenzaciji na vertikalnim površinama visine x (visina vertikalne ploče, [m]):

$$\alpha = 0,943 \cdot \left[\frac{\lambda_f^3 \cdot \rho_f \cdot (\rho_f - \rho_g) \cdot g \cdot r_f}{\mu_f \cdot x \cdot \Delta t} \right]^{1/4}$$

gde je:

λ_f = termička provodnost rashladnog fluida, [W/ (m °C)]

ρ_f = gustina tečnosti, [kg/m³]; ρ_g = gustina pare, [kg/m³]

μ_f = dinamička viskoznost fluida, [Pa · s]

r_f = toplota isparavanja rashladnog fluida, [kJ/ kg]

KONDENZATORI

VODOM HLAĐENI KONDENZATORI

Prenos toplote kod vodom hlađenih kondenzatora (2)

Za horizontalnu cev Nuselt je došao do sledećeg izraza za **KOEFICIJENT PRELAZA TOPLOTE**

$$\alpha = 0,728 \cdot \left[\frac{\lambda_f^3 \cdot \rho_f \cdot (\rho_f - \rho_g) \cdot g \cdot r_f}{\mu_f \cdot d_s \cdot \Delta t} \right]^{1/4}$$

gde je, pored već pomenutih veličina, d_s [m] prečnik cevi.

Sve termofizičke veličine se određuju za srednju temperaturu filma

$$t_f = (t_k + t_z)/2.$$

$\Delta t_f = (t_k - t_z)$ je razlika između temperature kondenzacije (t_k) i temperature zida cevi kondenzatora (t_z).

KONDENZATORI

VODOM HLAĐENI KONDENZATORI

Prenos toplote kod vodom hlađenih kondenzatora (3)

Pogonski rad kondenzatora je nezamisliv bez pojave dodatnog toplotnog otpora sa strane oba fluida, koji učestvuju u prenosu toplote.

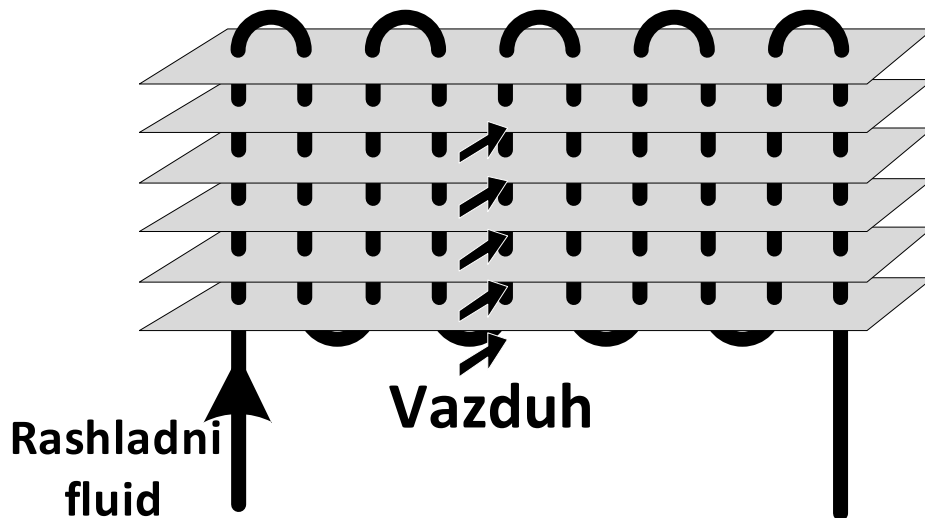
1. Sa vodene strane se stvara **kamenac**, a brzina njegovog zadebljavanja na površini cevi zavisi od kvaliteta vode.
2. Sa strane rashladnog fluida može se očekivati pojava formiranja **filma ulja**, koji će takođe stvoriti neželjeni toplotni otpor.

KONDENZATORI

VAZDUHOM HLAĐENI KONDENZATORI

Kod vazduhom hlađenih kondenzatora su **TEMPERATURE KONDENZACIJE NAJVIŠE** u poređenju sa drugim tipovima kondenzatora, što je svakako nepogodno za **efikasnost rashladnog postrojenja**.

Međutim, jedino vazduha ima na svim lokacijama, te je primena ovakvih tipova kondenzatora nekad neizbežna.



KONDENZATORI

VAZDUHOM HLAĐENI KONDENZATORI

KOEFICIJENT PRELAZA TOPLOTE pri prinudnom strujanju vazduha preko cevi može da se odredi prema izrazu:

$$\frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = C \cdot \left(\frac{d \cdot w_{\infty} \cdot \rho}{\mu} \right)^n \cdot Pr^{1/3}$$

Gde su:

Konstante C i n zavisne od Rejnoldsovog broja i određuju se iz tabele

d = spoljni prečnik cevi, [m]

λ = termička provodnost, [W/ (m °C)]

w_{∞} = brzina strujanja vazduha ispred paketa cevi, [m/s]

ρ = gustina vazduha, [kg/m³]

μ = dinamička viskoznost, [Pa s]

Pr = Prandtlov broj, [-]

VAZDUHOM HLAĐENI KONDENZATORI

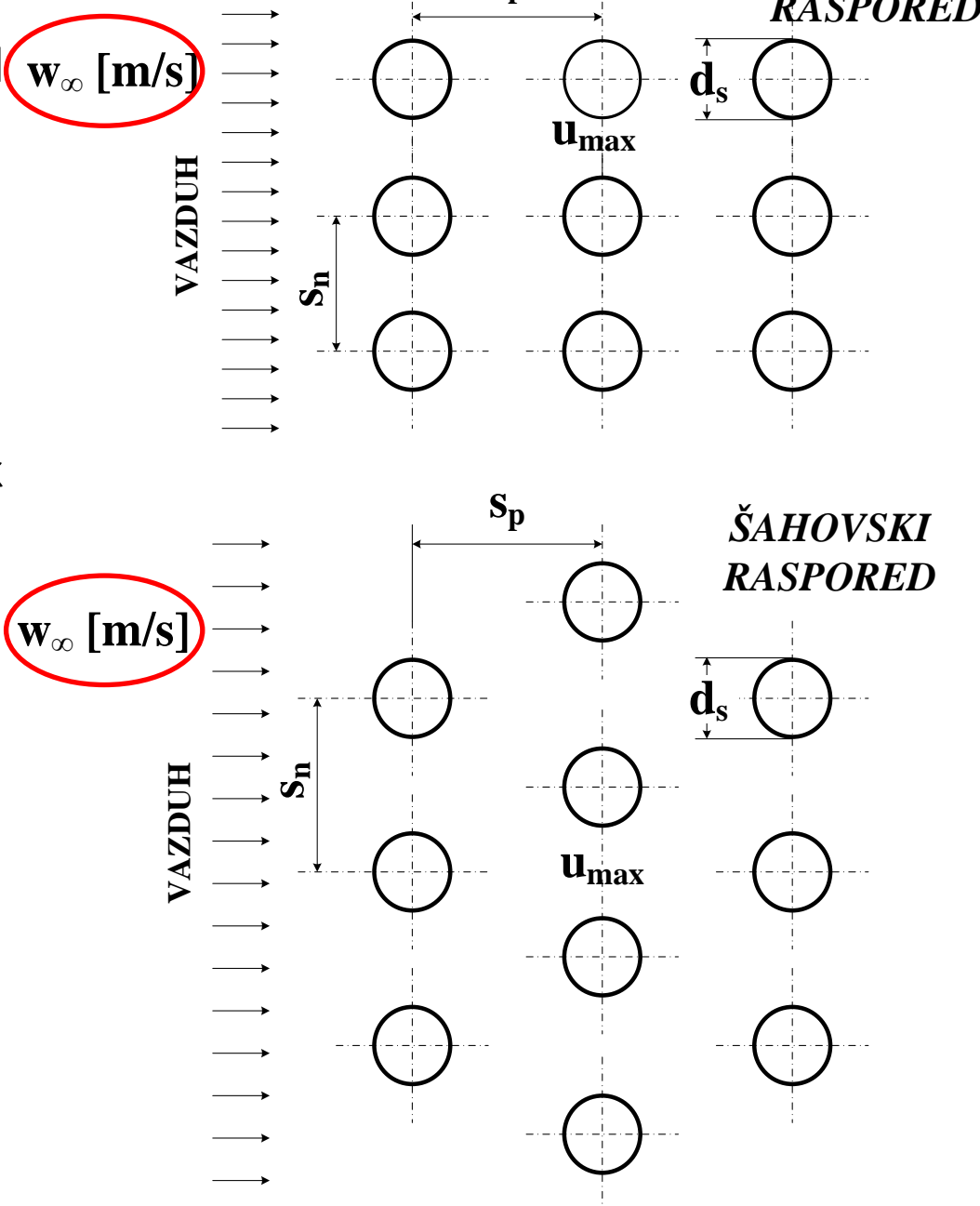
Brzina strujanja vazduha [w_∞] ispred paketa cevi, [m/s] ili nastrojna brzina vazduha u neporemećenom preseku jednaka je:

$$W_\infty = \frac{V_v}{F_n}$$

Ovde je V_v [m³/s] zapreminski protok vazduha ispred cevnog paketa, koji pod pravim uglom nastrojava, a F_n [m²] je površina poprečnog preseka kanala ispred cevnog paketa.

Rejnoldsov broj se izračunava za maksimalnu brzinu vazduha u cevnom paketu, a ta brzina je jednaka:

$$W_{\max} = W_\infty \cdot \frac{s_n}{s_n - d_s}$$



KONDENZATORI

VAZDUHOM HLAĐENI KONDENZATORI

SPECIFIČNOST: koeficijent prelaza toplote sa strane kondenzujućeg fluida je VIŠESTRUKO VEĆI od koeficijenta prelaza toplote sa strane vazduha.

→ Ako se zanemare svi lokalni konstruktivni otpori, u ukupnom, toplotni otpor vazduha učestvuje sa oko 80%.

ZATO SE KAŽE DA JE OTPOR NA STRANI VAZDUHA OGRANIČAVAJUĆI OTPOR

MOGUĆNOSTI POVEĆANJA α

1. Povećanje prelaza toplote sa strane vazduha je moguće **povećavanjem brzine strujanja** upotrebom jačeg ventilatora, ali je efekat skroman.

→ Na primer, ako se duplira koeficijent prelaza toplote sa strane vazduha, ipak će povećanje prolaza toplote biti povećano samo za nekih 10%.

2. Značajno povećanje toplotnog protoka je moguće povećanjem **površine za razmenu toplote na strani vazduha**, što se može postići orebrenjem cevi.

KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATOR / Orošavajući razmenjivač toplote

NAČIN RADA: kroz cevni snop protiče rashladni fluid koji se hladi i kondenzuje, dok se voda za hlađenje, u vidu filma ili raspršena sliva sa spoljašnje strane cevnog snopa.

Okolni vazduh, koji struji oko cevi niz koje se sliva voda, preuzima najveći deo toplotne energije, koju je voda primila od radnog fluida.

Rashladna voda se može recirkulisati, što je najčešći slučaj, ili se može odvoditi u kanalizaciju nakon samo jednog prolaska preko cevnog snopa.

TIPOVI: Okolni vazduh može da struji oko cevnog snopa prirodno (atmosferski orošavajući kond.), ili prinudno (evaporativni kond.). *Zbog velikih gabarita atmosferskih kond. oni su praktično potpuno potisnuti u odnosu na evaporativne kond. i ovde će biti obrađeni samo evaporativni kond.*

Proračun atmosferskih kondenzatora je sličan evaporativnom.

KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / PODELA

Prema smeru strujanja radnog fluida u odnosu na rashladnu vodu:

- Istosmerni evaporativni kondenzatori,
- suprotnosmerni i
- unakrsni.

Smer strujanja vazduha u odnosu na vodu može biti:

- istosmerni ili
- suprotnosmerni.

Prema načinu ostvarivanja strujnog toka vazduha:

- one sa usisnim i
- one sa potisnim tokom strujanja.

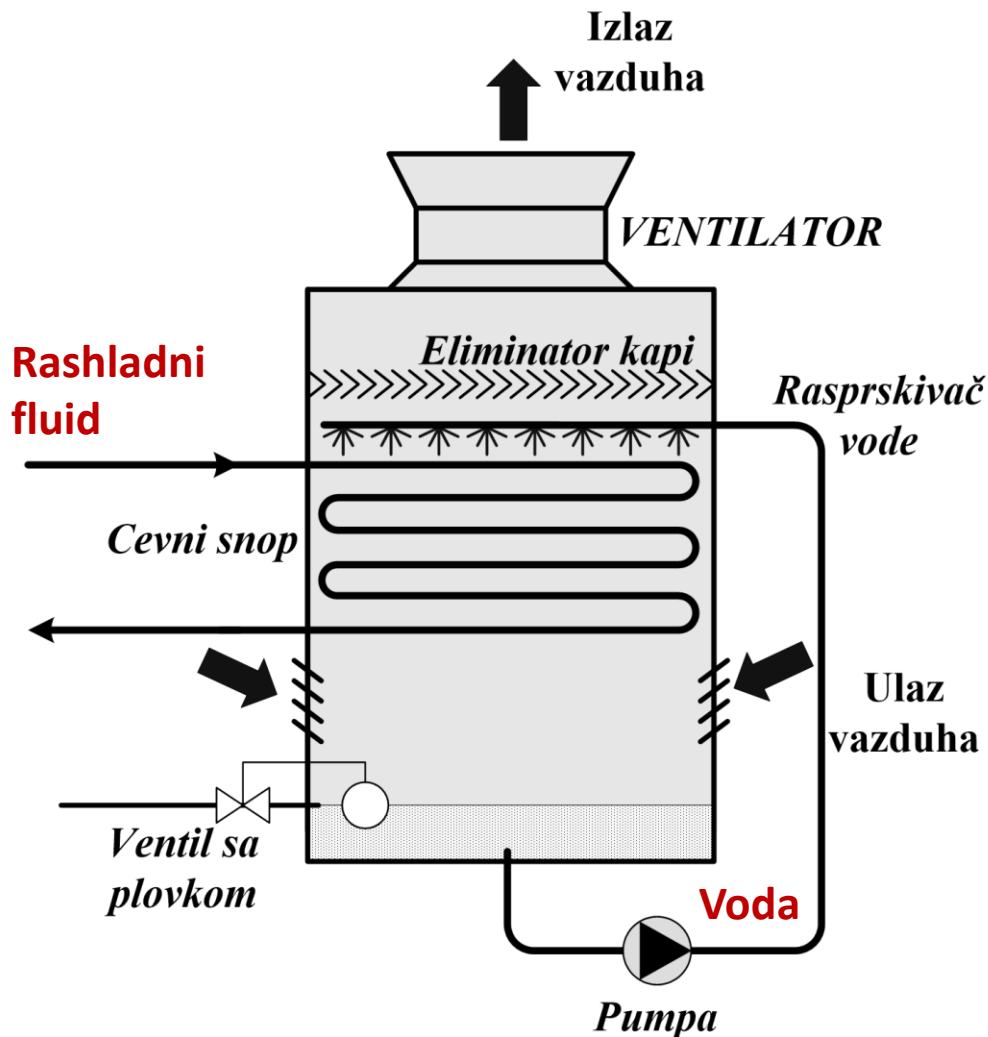
Ventilator može biti

- aksijalni ili
- centrifugalni.

Ne može se apriori dati prednost nekom od tehničkih rešenja. Stvar je proizvođača da iznađe rešenje koje je najefikasnije.

KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / PRINCIP RADA

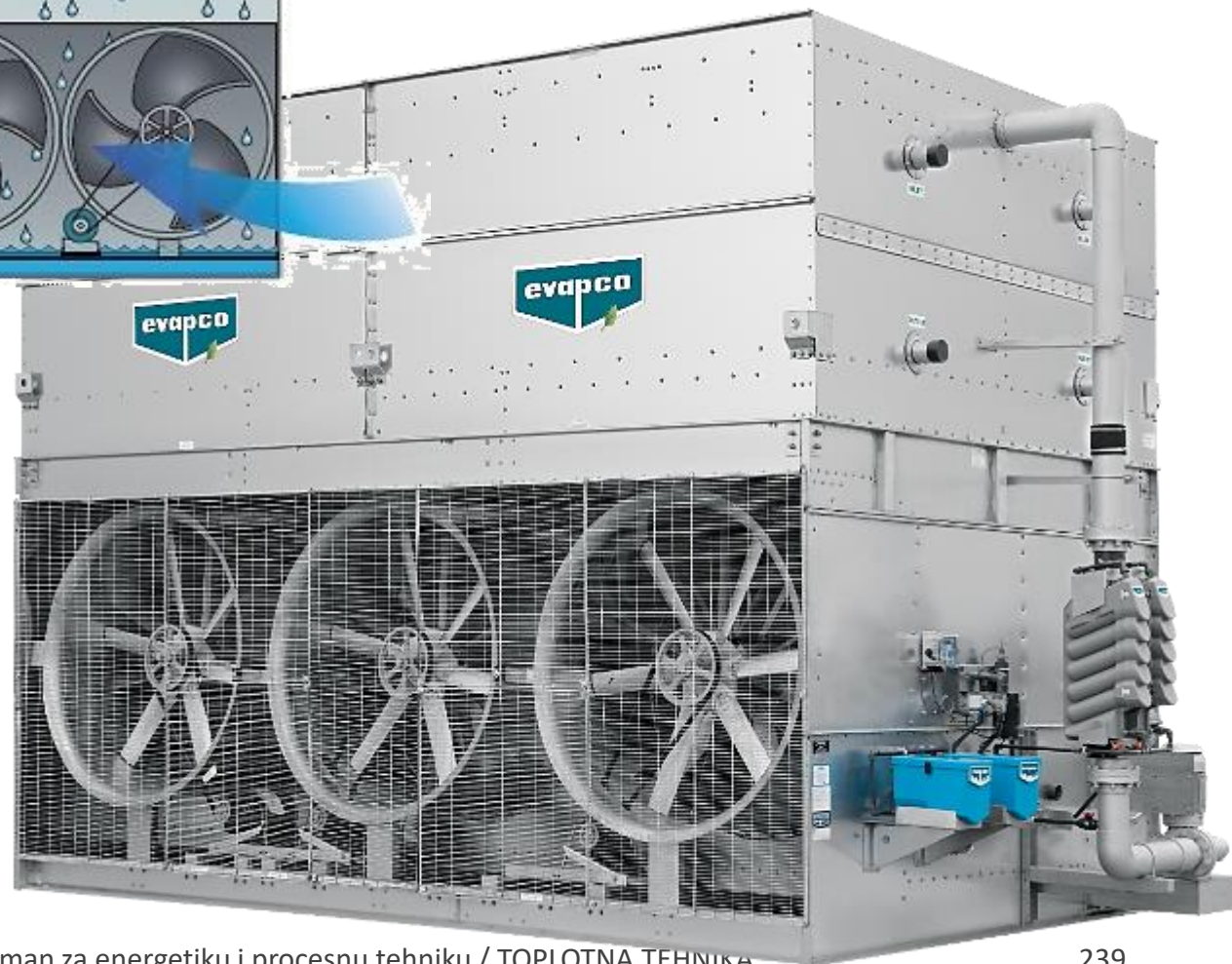
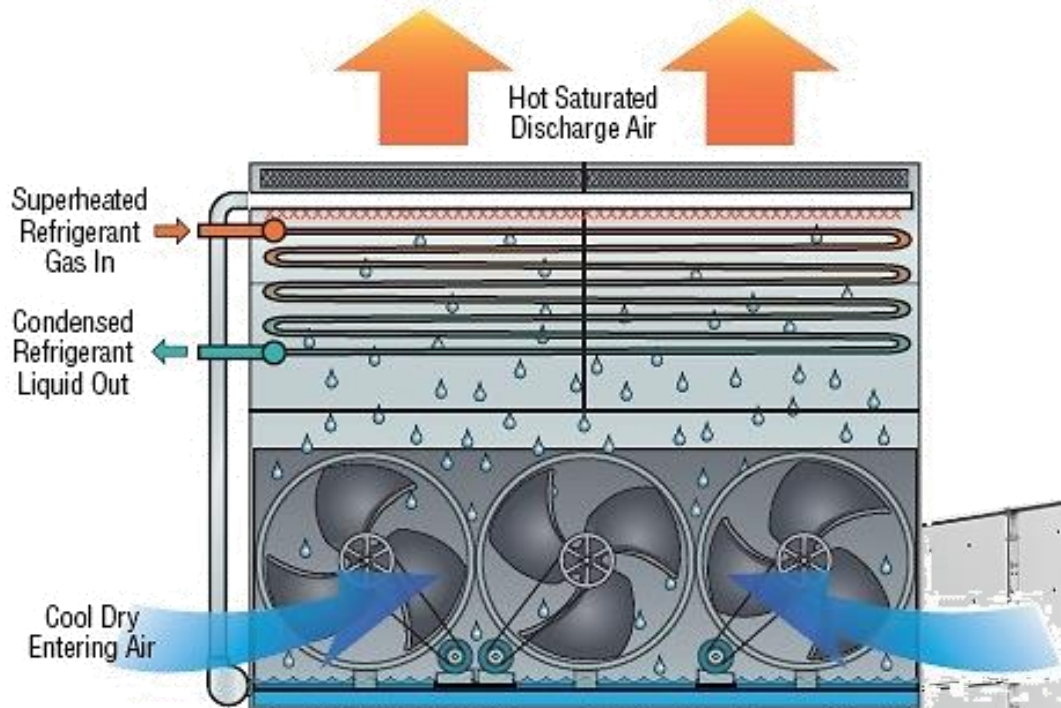


Rashladni fluid struji kroz cevi u snopu i kroz zidove cevi predaje toplotu rashladnoj vodi, koja se u vidu filma sliva niz cevni snop ili se prska po cevima.

! Voda predaje najveći deo toplote okolnom vazduhu na taj način što deo vode ispari oduzimajući **toplotu isparavanja** od preostale vode.

Potrošnja vode je između 5 i maksimalno 10% od ukupnog protoka koji je konstantan.

EVAPORATIVNI KONDENZATORI



KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI

Varijante obzirom na način ostvarivanja strujnog toka vazduha:

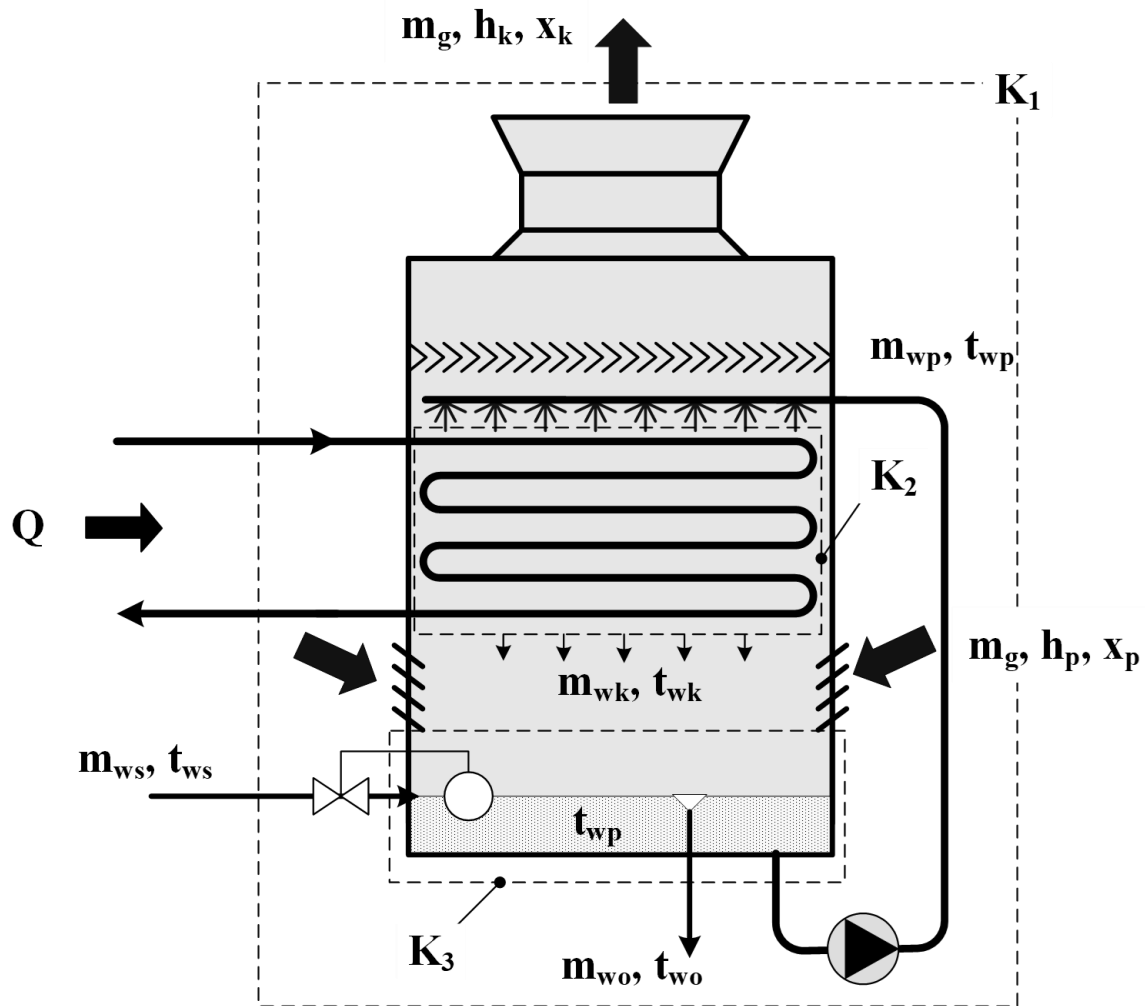
Levo: sa usisnim i

Desno: sa potisnim tokom strujanja.



KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / Materijalni i energetski bilans



KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / Materijalni i energetski bilans

Bilansne jednačine unutar kontrolne granice K_1 su:

jednačina materijalnog bilansa vode:

$$m_{ws} + m_g \cdot x_p = m_{wo} + m_g \cdot x_k$$

jednačina toplotnog bilansa:

$$Q + m_{ws} \cdot c_w \cdot t_{ws} + m_g \cdot h_p = m_{wo} \cdot c_w \cdot t_{wk} + m_g \cdot h_k$$
 gde su :

m_{ws} = protok sveže vode koja se dovodi u sistem, [kg/s]

m_g = protok suvog vazduha, [kg/s]

m_{wo} = protok vode koja se ispušta iz kondenzatora u kanalizaciju, [kg/s]

x_p = apsolutna vlažnost vazduha na ulazu u aparat, [kg/kg]

x_k = apsolutna vlažnost vazduha na izlazu iz aparata, [kg/kg]

h_p = entalpija vlažnog vazduha na ulazu u aparat, [kJ/kg]

h_k = entalpija vlažnog vazduha na izlazu iz aparata, [kJ/kg]

t_{ws} = temperatura sveže vode na ulazu u sistem, [°C]

t_{wp} = temperatura vode na potisu pumpe, [°C]

c_w = izobarna specifična toplota vode (može da se smatra konst.), [kJ/(kg °C)]

Q = toplotna snaga kondenzatora, [kW]

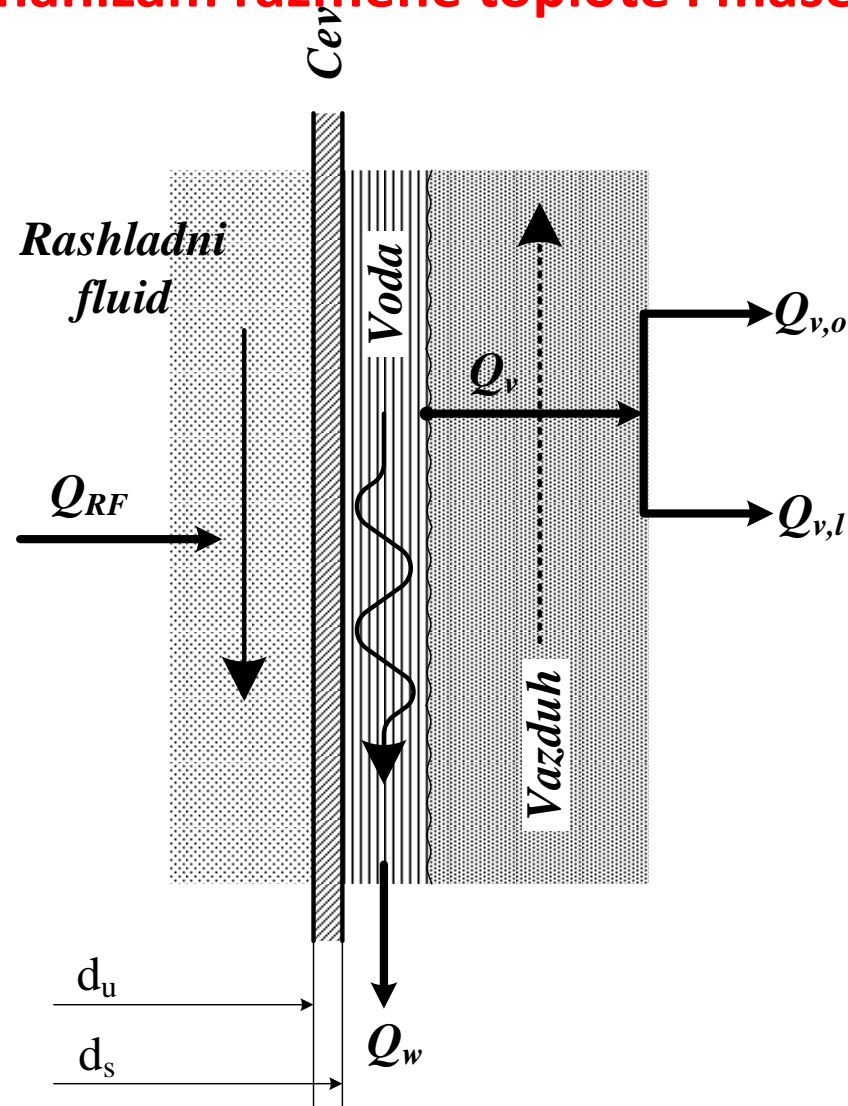
KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / Mehanizam razmene toplote i mase

Razmena toplote kod ovih razmenjivača je složenija, nego kod rekuperativnih.

Čine je sledeći elementarni procesi:

1. Prelaz toplote između radnog fluida i unutrašnje površine cevi
2. Provođenje toplote kroz zid cevi
3. Prelaz toplote sa spoljašnje površine cevi na vodeni film
4. Simultani transport toplote i materije između vodenog filma i okolnog vazduha



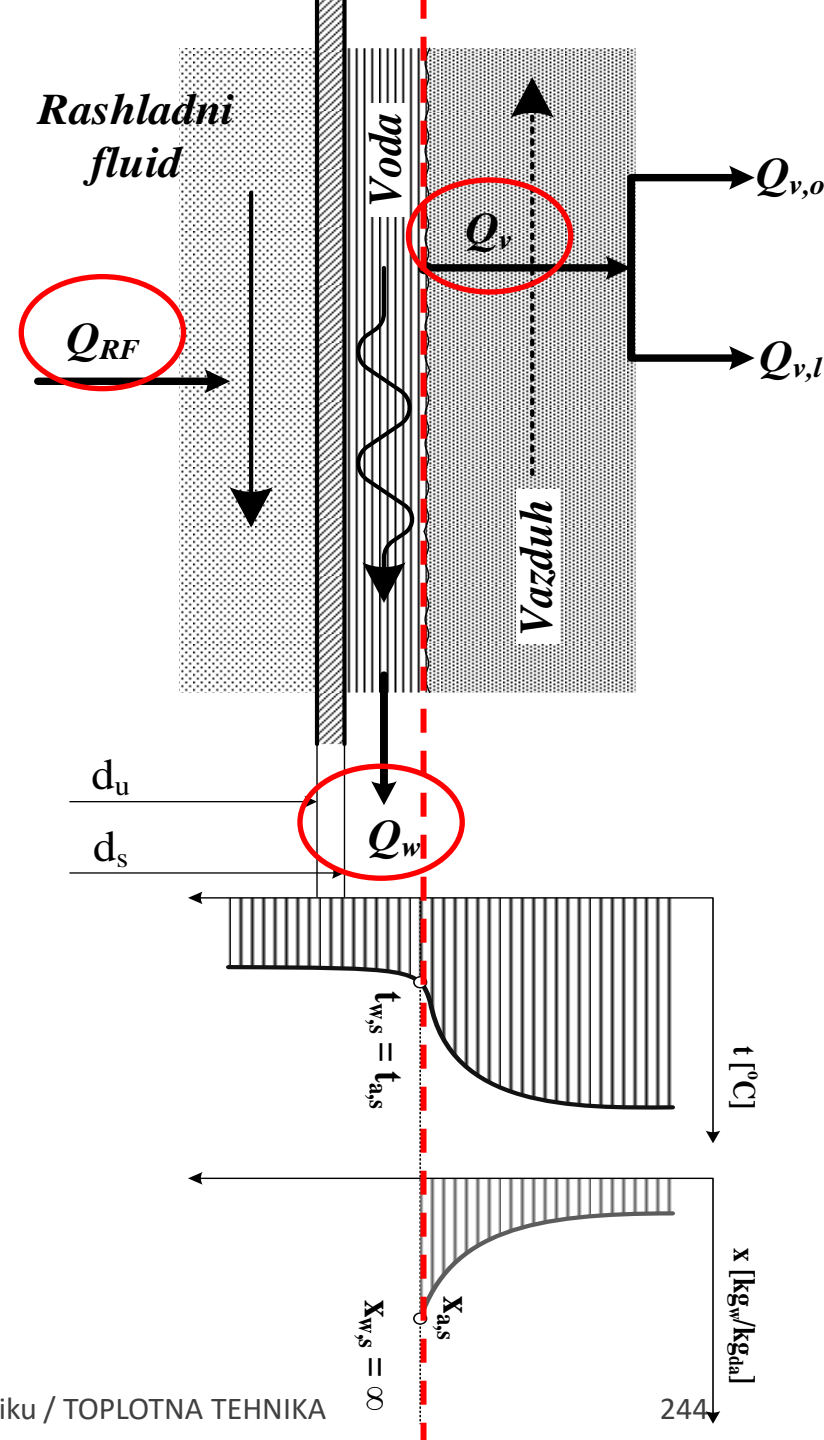
KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI

/ Mehanizam razmene toplote i mase

Osnovni **TOPLOTNI PROTOK** je od radnog fluida prema cevi kondenzatora (Q_{RF}) i njegov veći deo prolazi kroz deo filma vode, a manji odlazi sa filmom do sabirnog bazena.

Zbog procesa isparavanja koji se javlja na površini filma vode, nastaje razlika entalpija između nezasićenog i zasićenog vazduha. Ova količina je **entalpijski potencijal**, i glavni je pokretač ukupnog procesa prenosa energije između vode i nezasićenog vazduha.



KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / Intenzitet razmene toplote

INTENZITET ovog procesa će zavistiti, pre svega, od temperaturske razlike zida cevi i temperature kondenzacije.

! Treba uzeti u obzir i provođenje toplote kroz sloj **naslaga ili ulja** na spoljnim i unutrašnjim površinama cevi, koje su neizbežne i mogu biti značajan otpor provođenju toplote.

Ako se u cevima nalazi amonijak, verovatna je pojava sloja ulja na zidovima cevi, što će uticati na rad kondenzatora. Kada su u pitanju freoni onda je ovaj uticaj minimalan. Osim toga u cevima se mogu naći i nekondenzujući gasovi koji će, takođe, poremetiti proces kondenzacije

OTPOR PROLAZU TOPLOTE u metalnim cevima je obično beznačajan u odnosu na ostale otpore

Mnogo značajniji je otpor koji nastaje usled **stvaranja naslaga na spoljnoj površini cevi** jer je koeficijent provođenja toplote naslaga vrlo mali pa i mala debljina naslage može umnogome da poveća otpore.

KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / Prednosti i nedostaci

Evaporativni kondenzatori imaju niz prednosti u odnosu na druge tipove.

- Veoma je mala potrošnja vode i iznosi 5-10% od protoka cirkulišuće vode.
- Iako zahtevaju potrošnju električne energije za pogon ventilatora, evaporativni kondenzatori su ekonomičniji od atmosferskih kondenzatora, jer su znatno manjih gabarita za isti rashladni kapacitet.
- Potreban protok vazduha je znatno manji u odnosu na razmenjivač hlađen samo vazduhom, što zahteva znatno manje pogonske troškove (ventilatori manje snage), kao i stvaranje manje buke.
- Za hlađenje istih kapaciteta evaporativni kondenzator je nekoliko puta jeftinije rešenje od kombinacije rekuperativnog razmenjivača toplote i rashladne kule.

KONDENZATORI

EVAPORATIVNI KONDENZATORI / Prednosti i nedostaci

Osnovni nedostaci evaporativnih kondenzatora su:

1. Otežan pristup razmenjivačkoj sekciji (cevnom snopu) radi čišćenja od naslaga kamenca i nečistoća,
2. Zavisnost od napajanja električnom energijom,
3. Za evaporativne kondenzatore (kao i za kule za hlađenje) je važnost vlažnog termometra okolnog vazduha znatno veća, nego za ostale tipove kondenzatora, pa je poželjno u proces upravljanja radom evaporativnog kondenzatora uključiti i ovu veličinu. Time se proces upravljanja, bilo ručno ili automatski, u odnosu na druge kondenzatore usložnjava.

KULE ZA HLAĐENJE

KULE ZA HLAĐENJE su slične evaporativnim kondenzatorima po principu rada, **ali se koriste isključivo za hlađenje industrijske vode.**

NAČIN RADA: Kule za hlađenje mogu biti sa prinudnim i sa prirodnim strujanjem vazduha. *Sa prirodnim strujanjem su manje zastupljene u rashladnoj tehnici te se neće ovde analizirati.*

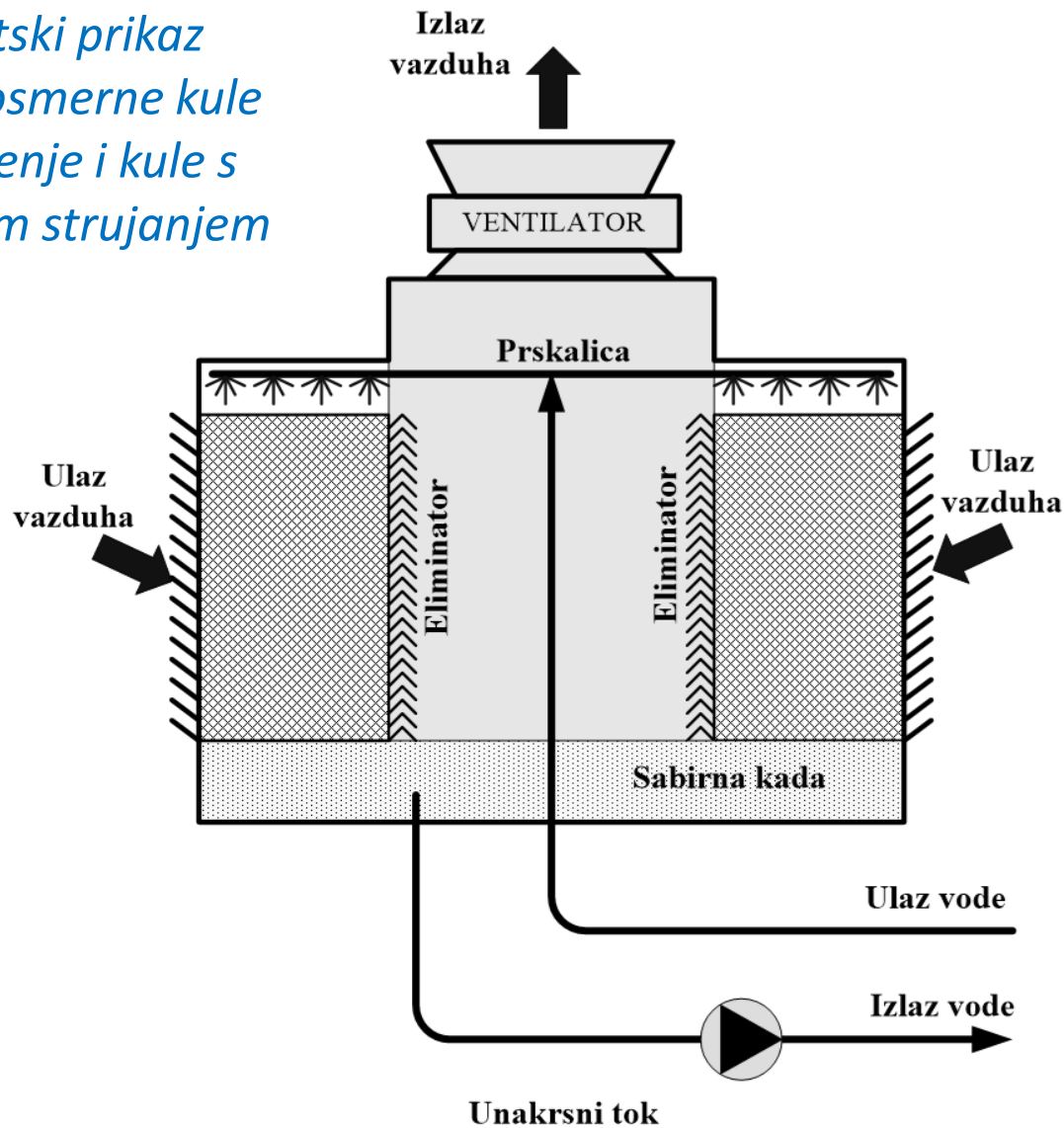
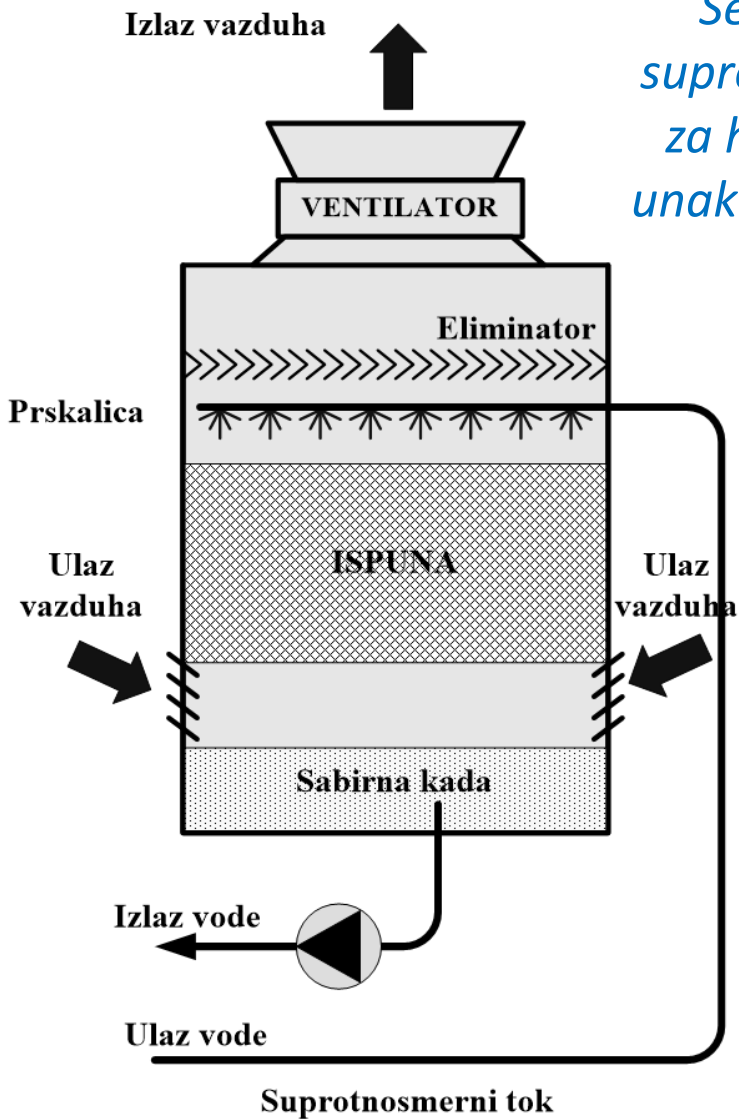
KONSTRUKCIJA: Kule za hlađenje mogu biti s **unakrsnim strujanjem** (*obično se postavljaju na krovove zgrada*) i sa **suprotnosmernim strujanjem** (*kule manjih dimenzija i bolje se uklapaju u okruženje*).

ISPUNA: Unutrašnjost kule za hlađenje sa prinudnim strujanjem može biti ispunjena **plastičnom ili keramičkom ispunom** preko koje se voda s vrha sliva prema dnu.

POTROŠNJA VODE: Pre ispuštanja u atmosferu izlazni vazduh prolazi kroz **eliminator kapi** kojim se vraćaju u kulu vodene kapi ponete sa vazдушnom strujom.

KULE ZA HLAĐENJE

*Šematski prikaz
suprotnosmerne kule
za hlađenje i kule s
unakrsnim strujanjem*



KULE ZA HLAĐENJE

KULA ZA HLAĐENJE

Fotografija kule za hlađenje s unakrsnim tokom



KULE ZA HLAĐENJE

KULA ZA HLAĐENJE

Fotografija kule za hlađenje s unakrsnim tokom



KULE ZA HLAĐENJE



KULE ZA HLAĐENJE

PRINCIP RADA:

- Kula za hlađenje hladi vodu dovodeći je u dodir sa vazduhom, pri čemu deo vode i isparava (ISTOVREMENI PRENOS TOPLOTE I MASE).
- Jedan ili više aksijalnih ili centrifugalnih ventilatora pokreće vazduh prema vrhu kule, dok voda kroz prskalice kvasi ispunu formirajući film koji se sliva prema sabirnoj kadi.
- Ispuna i prskalice služe da oforme što veću površinu kontakta između vode i vazduha.

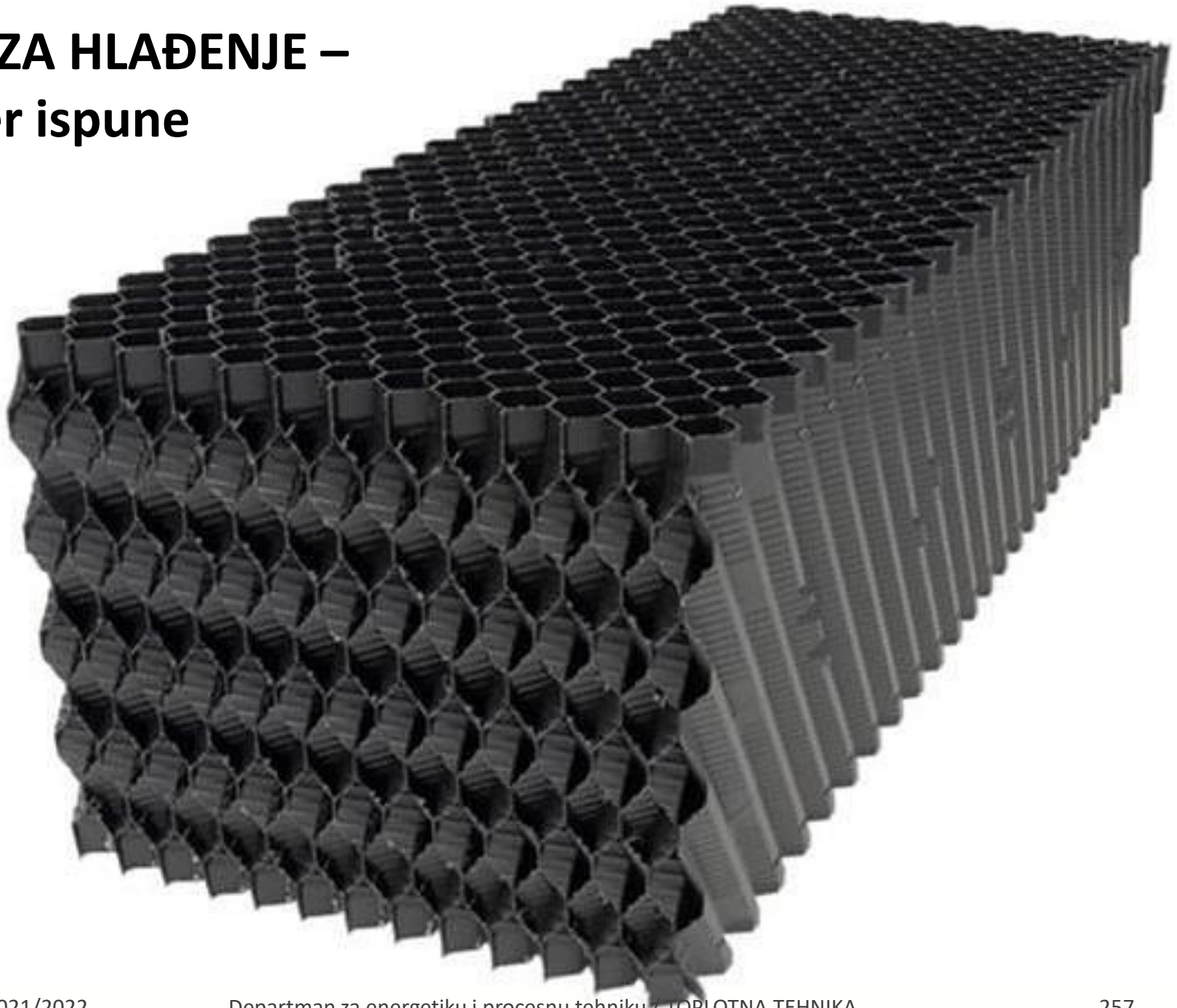
KULE ZA HLAĐENJE – **ispuna**

Kule su ispunjene umecima različitog oblika. Ispunu mogu da čine tela malih dimenzija koja su haotično ili pravilno raspoređena, ispunjavajući unutrašnjost aparata.

Osnovna svojstva koja ispuna treba da zadovolji su:

- Velika specifična površina (ukupna, zbirna površina svih kanala koju razučena ispuna obrazuje po jedinici zapremine aparata),
- Mala težina,
- Relativno mali hidrodinamički otpor,
- Hemijska otpornost,
- Mehanička otpornost,
- Ravnomerna popunjenost zapremine aparata.

KULE ZA HLAĐENJE – primer ispune



KULE ZA HLAĐENJE

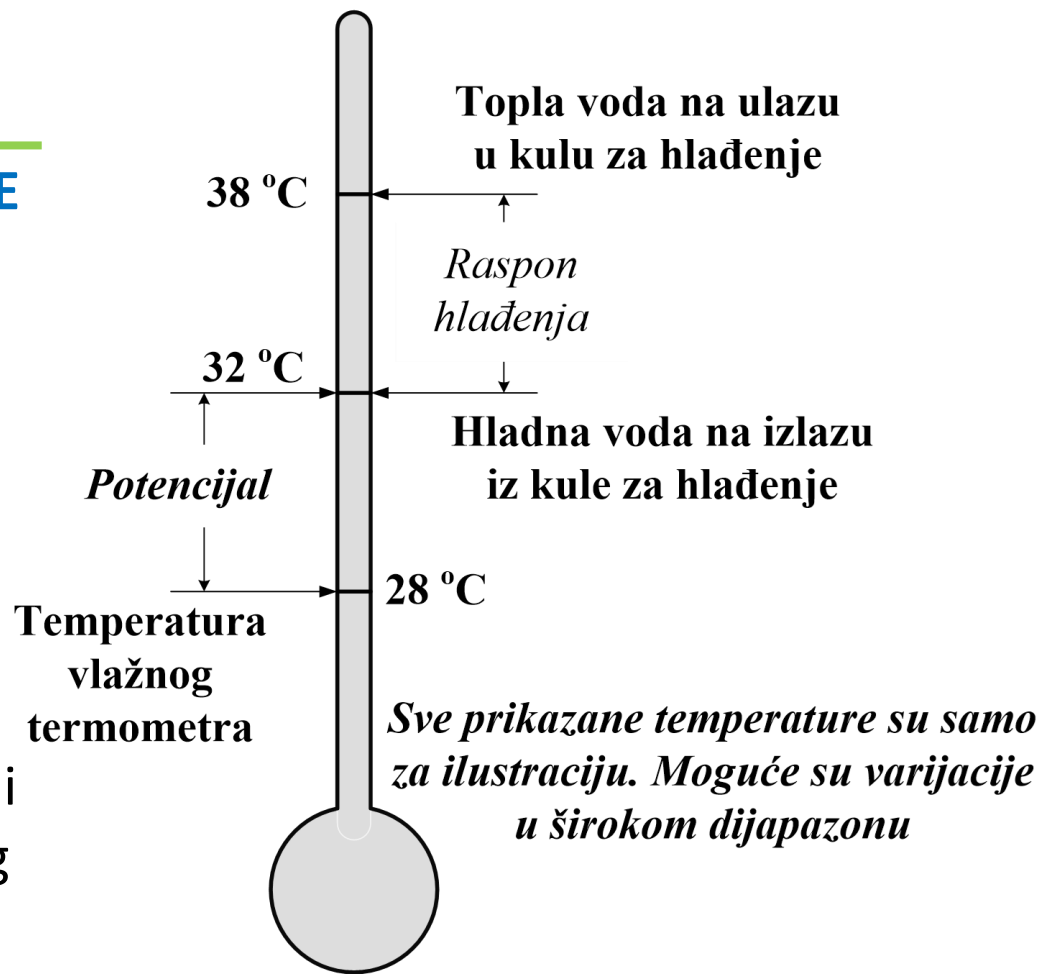
PERFORMANSE KULE ZA HLAĐENJE

često se izražavaju u obliku

TEMPERATURSKOG RASPONA I TEMPERATURSKOG POTENCIJALA

Raspon je razlika temp. između tople vode koja ulazi u kulu i temp. hladne vode na izlazu iz kule

Potencijal je razlika temp. između temp. hladne vode na izlazu tornja i temp. vlažnog termometra okolnog vazduha.



- I raspon i potencijal moraju biti veći od nule u normalnom pogonu kule za hlađenje. Najčešće vrednosti za oba su oko 5 °C.
- Njihove vrednosti su vrlo važne za dimenzionisanje kule za hlađenje, kao i za njenu cenu.

KULE ZA HLAĐENJE

U rashladnom tornju, **prenos toplote i mase** se odvija od vode ka nezasićenom vazduhu.

Dva su osnovna pokretača ovih simultanih procesa:

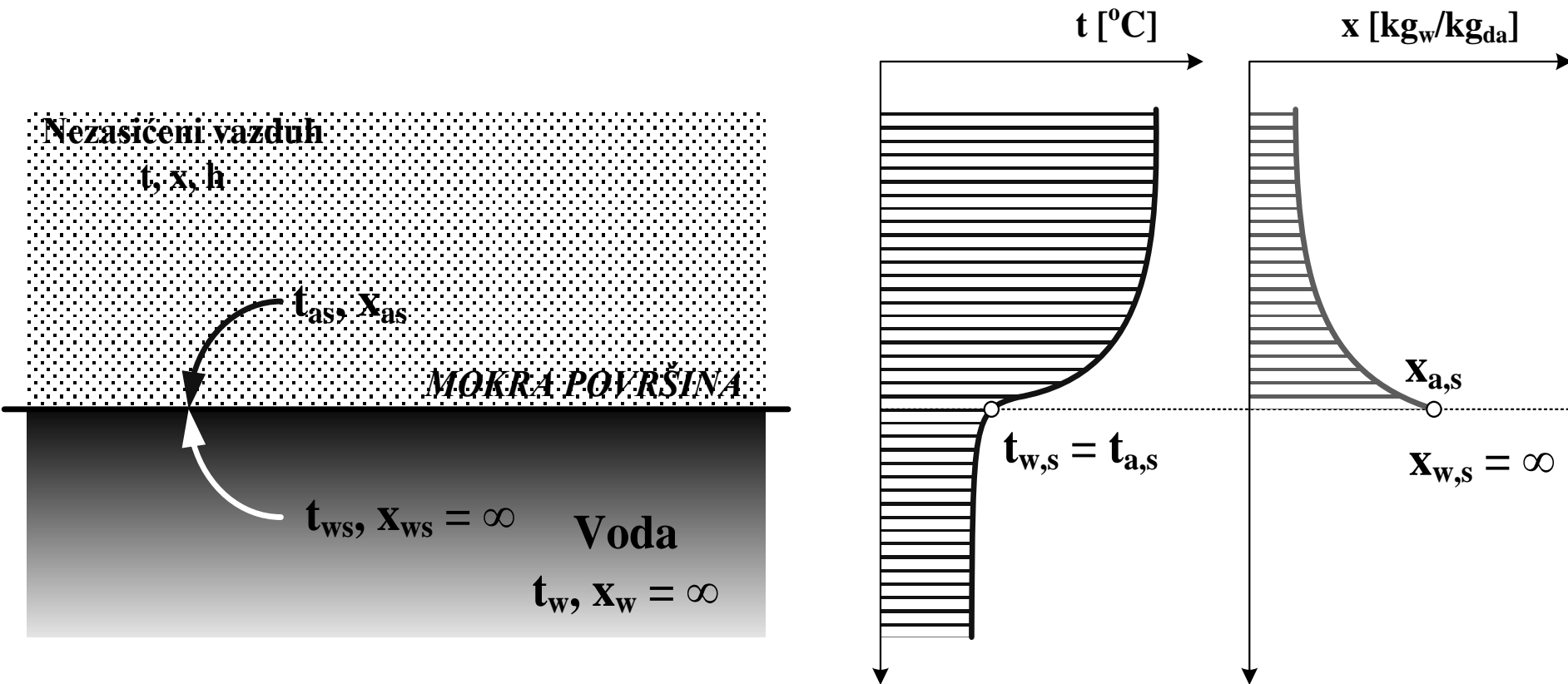
1. Razlike u temperaturi suvog termometra vode i vazduha i
2. Razlike u parcijalnim pritiscima pare na površini vode i u nezasićenom vazduhu.

Ova dva pokretača zajedno čine **ENTALPIJSKI POTENCIJAL** koji je glavni pokretač ukupnog procesa prenosa energije između vode i nezasićenog vazduha.

*Proračun kule za hlađenje bazira se na opšteprihvaćenoj teoriji procesa prenosa toplote, koju je razvio Merkel i ta analiza se temelji na **entalpijskom potencijalu**, kao glavnom pokretaču.*

KULE ZA HLAĐENJE

Jedan od mogućih profila temperature i apsolutne vlažnosti vazduha (direktno zavisne veličine od parcijalnog pritiska) iznad vlažne površine



KULE ZA HLAĐENJE

Proračun kule za hlađenje

U integralnom obliku, Merkelova jednačina glasi:

$$4.19 \cdot L \int_{t_i}^{t_u} \frac{dt}{h_{zV} - h_v} = \int_0^F \frac{\alpha_c \cdot dF}{c_{pm}} = \frac{\alpha_c \cdot F}{c_{pm}}$$

Protok vazduha (G) nije eksplicitno prikazan u jednačini, nego je implicitno uključen u koeficijent prelaza toplote preko Reynoldsovog broja.

t_u = temperatura vode na ulazu u kulu za hlađenje, °C;

t_i = temperatura vode na izlazu iz kule za hlađenje, °C;

α_c = koeficijent prelaza toplote sa vazduha na površinu vode, kW/(m²°C);

h_{zV} = entalpija zasićenog vazduha na temperaturi vode, kJ/kg;

h_v = entalpija nezasićenog vazduha, kJ/kg;

c_{pm} = srednja izobarna specifična toplota vlažnog vazduha, kJ/(kg °C);

F = ukupna površina vlažne površine uključujući površinu kapi vode, kao i vlažnih greda ili drugog materijala ispune, m²;

L = maseni protok vode, kg/s.

4,19 = srednji odnos specifičnih toplota vode i vazduha.

KULE ZA HLAĐENJE - Proračun kule za hlađenje

Projektanti i proizvođači kula za hlađenje često koriste **BROJ JEDINICA PRENOSA** (engl. *Number of Transfer Units*) da bi izrazili desnu stranu Merkelove jednačine:

$$\boxed{NTU = \alpha_c \cdot F / c_{pm}} \Rightarrow \Delta t_{vode} = NTU \times \Delta h_{vazduha}$$

► Što je veća vrednost NTU, to je temperatura vode na izlazu kule za hlađenje bliža temperaturi vlažnog termometra okolnog vazduha.

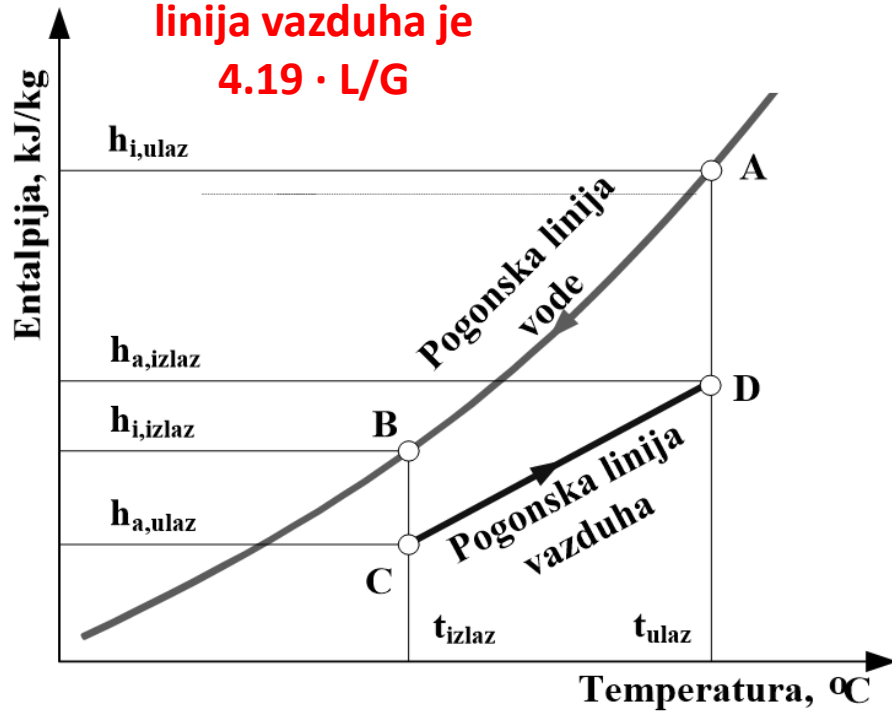
NTU je jedan od indikatora efikasnosti kule za hlađenje.

TOPLOTNI KAPACITET je količina toplote koju kula za hlađenje odbaci u okolinu i jednak je umnošku masenog protoka cirkulišuće vode, specifične toplote vode i raspona hlađenja ($Q = L \cdot c_{pv} \cdot \Delta t_v$).

KULE ZA HLAĐENJE

Pogonske linije vode i vazduha u dijagramima entalpija-temperatura i entalpija-apsolutna vlažnost

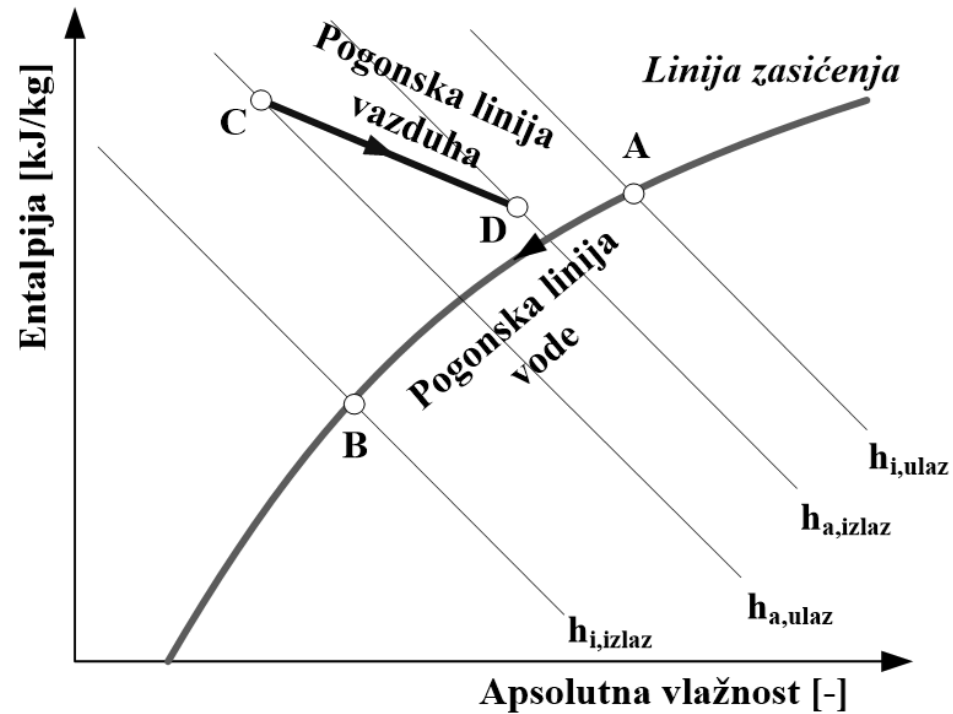
Nagib pogonskih linija vazduha je $4.19 \cdot L/G$



(a)

h_i = Entalpija zasićenog vazduha na temperaturi vode

h_a = Entalpija vazduha



(b)

KULE ZA HLAĐENJE

**Mogućnosti za uštedu energije:
povećanjem protoka vazduha:**

Temperatura vlažnog termometra
okolnog vazduha je 28°C

Ulazna temperatura vode 37°C

Izlazna temperatura vode 32°C

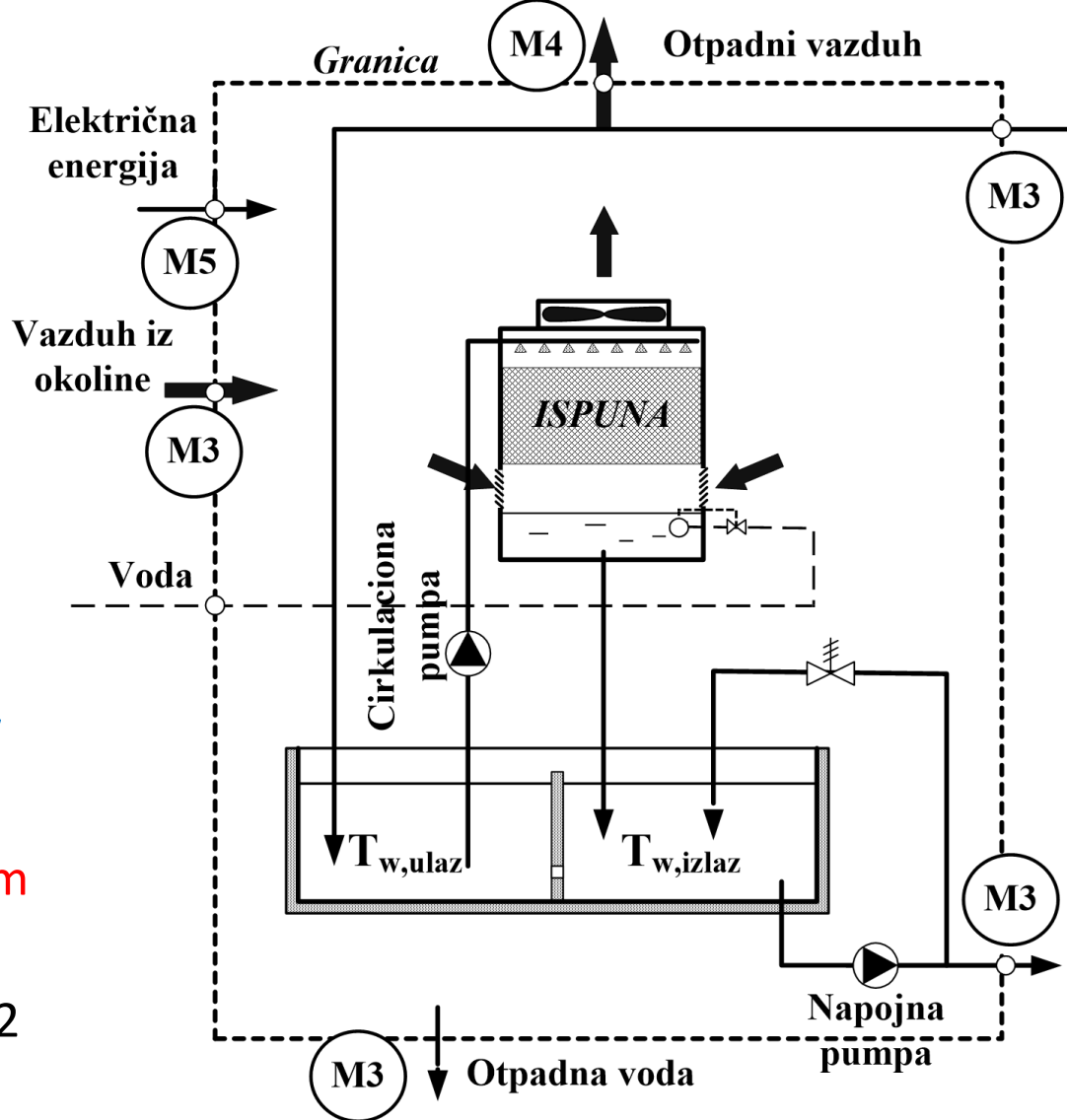
Protok vode 6.736 l/min

Protok vazduha 3.750 m³/min

Snaga motora ventilatora 14,7 kW

**Protok ventilatora treba povećati
za 25%, sa 72 na 90 kg/s, zamenom
elektromotora i prenosa.**

Odnos L/G = 1,53 se menja na 1,22

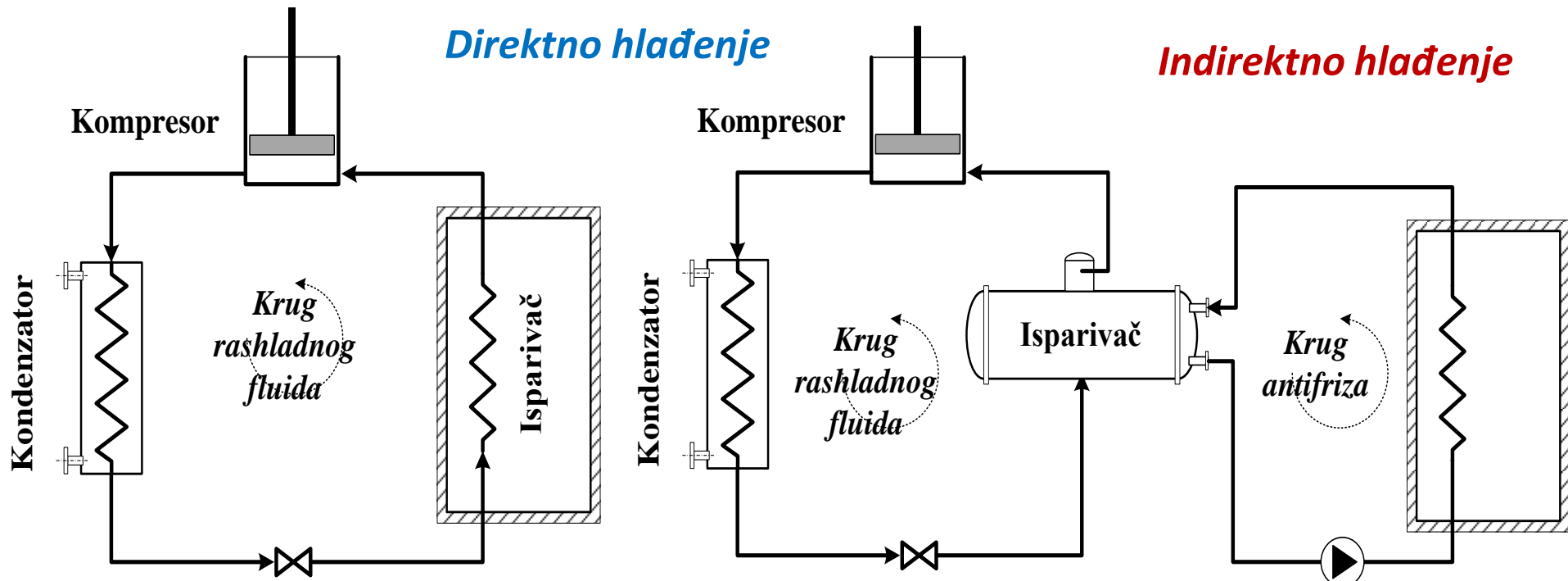


KAPACITET kule se povećava sa trenutnih 1.244,4 kW na 1.431,9 kW (13,1%).

Novi NTU će biti 60,8 kW/(kJ/kg) (ranije NTU = 51,8 kW/(kJ/kg))

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJI I RASHLADNE BATERIJE

Koristan efekat hlađenja postiže se u procesu isparavanja rashladnog fluida. Efekat hlađenja je moguće postići direktnim ili indirektnim isparavanjem.



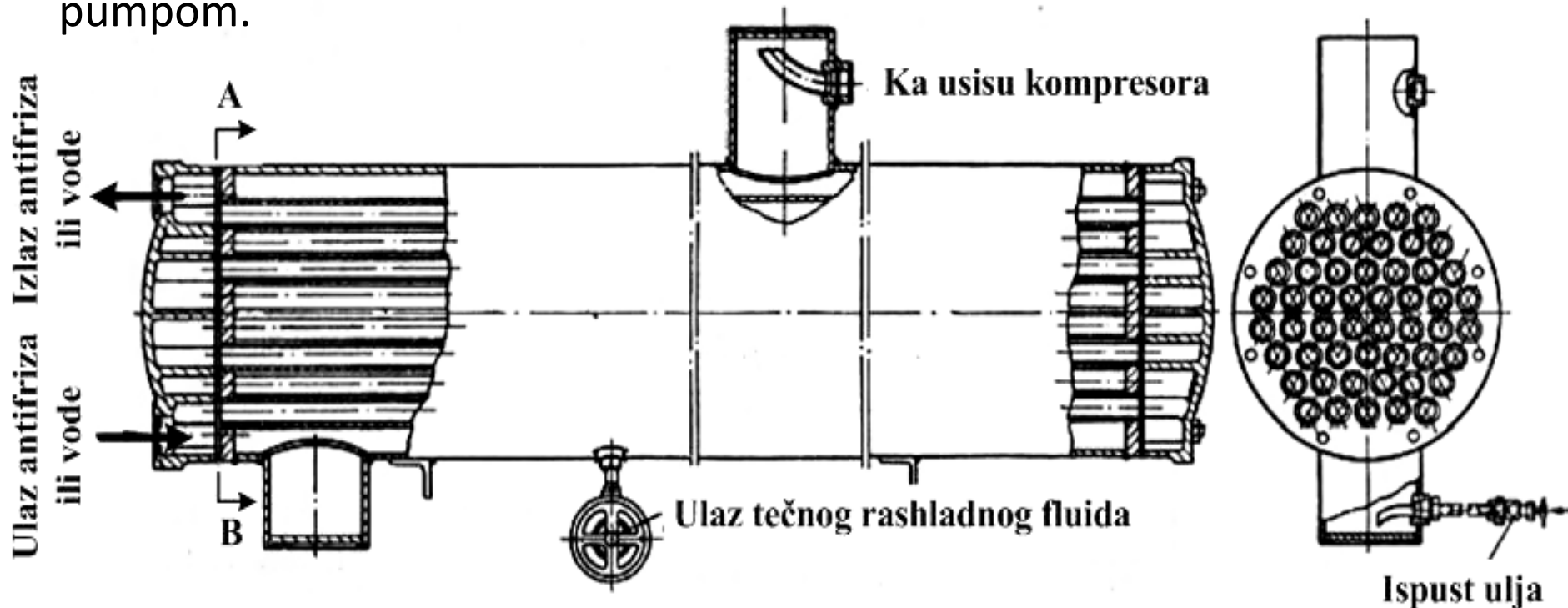
Prenos toplote između vazduha ili nekog drugog fluida na isparivač može biti **prirodno ili prinudno**. U velikoj većini slučajeva se koristi **PRINUDNO STRUJANJE**, jer se time smanjuju dimenzije isparivača za isti rashladni učinak.

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Horizontalni isparivači tipa cevi u plaštu

U isparivačima tipa cevi u plaštu rashladni fluid ključa u plaštu na površini cevi koje se u njemu nalaze.

Sekundarni rashladni fluid (antifriz) cirkuliše unutar cevi, pogonjen pumpom.



Horizontalni amonijačni isparivač tipa cevi u plaštu

Horizontalni isparivači tipa cevi u plaštu

Karakteristično:

- Na donjoj strani isparivača postoji posuda u kojoj se taloži ulje iz kompresora. To ulje se s vremena na vreme otače iz posude i vraća u karter kompresora. *Ulje se ne rastvara u amonijaku i zato je ovaj konstruktivni detalj neophodan kod amonijačnih isparivača.*
- Na gornjoj strani se nalazi tzv. **PARNI DOM**, koji omogućava da ne dođe do neželjenog povlačenja kapi tečnosti iz isparivača u usisni vod kompresora.
- Cevni aranžman unutar plašta je veoma raznolik, ali bi svaka konstrukcija uvek trebalo da omogući **bolji prenos toplote, lakše održavanje, nižu cenu itd.**
- Brzine strujanja antifrizu unutar cevi isparivača su reda veličine od 0,5 do 2,0 m/s.

Horizontalni isparivači tipa cevi u plaštu

Karakteristično (konstruktivni detalji):

- Površine razmene toplote amonijačnih isparivača su od 600 do 800 m², a freonskih od 1.200 do 1.800 m².
- Cevi amonijačnih isparivača su obično bezšavne $\Phi 25 \times 2,5$ (za površine manje od 300 m²) i $\Phi 35 \times 2,5$ (za površine veće od 300 m²).
- Koeficijent prolaza toplote višehodnih amonijačnih isparivača potopljenog tipa je $k = 350 - 900 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, a brzina strujanja antifrizu je oko 2 m/s.
- Freonski isparivači tipa cevi u plaštu su slične konstrukcije, ali mogu da se rade i rade se od bakarnih cevi manjih prečnika. Cevi se orebravaju i koeficijent prolaza toplote freonskih isparivača je $k = 200 - 700 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Horizontalni isparivači tipa cevi u plaštu

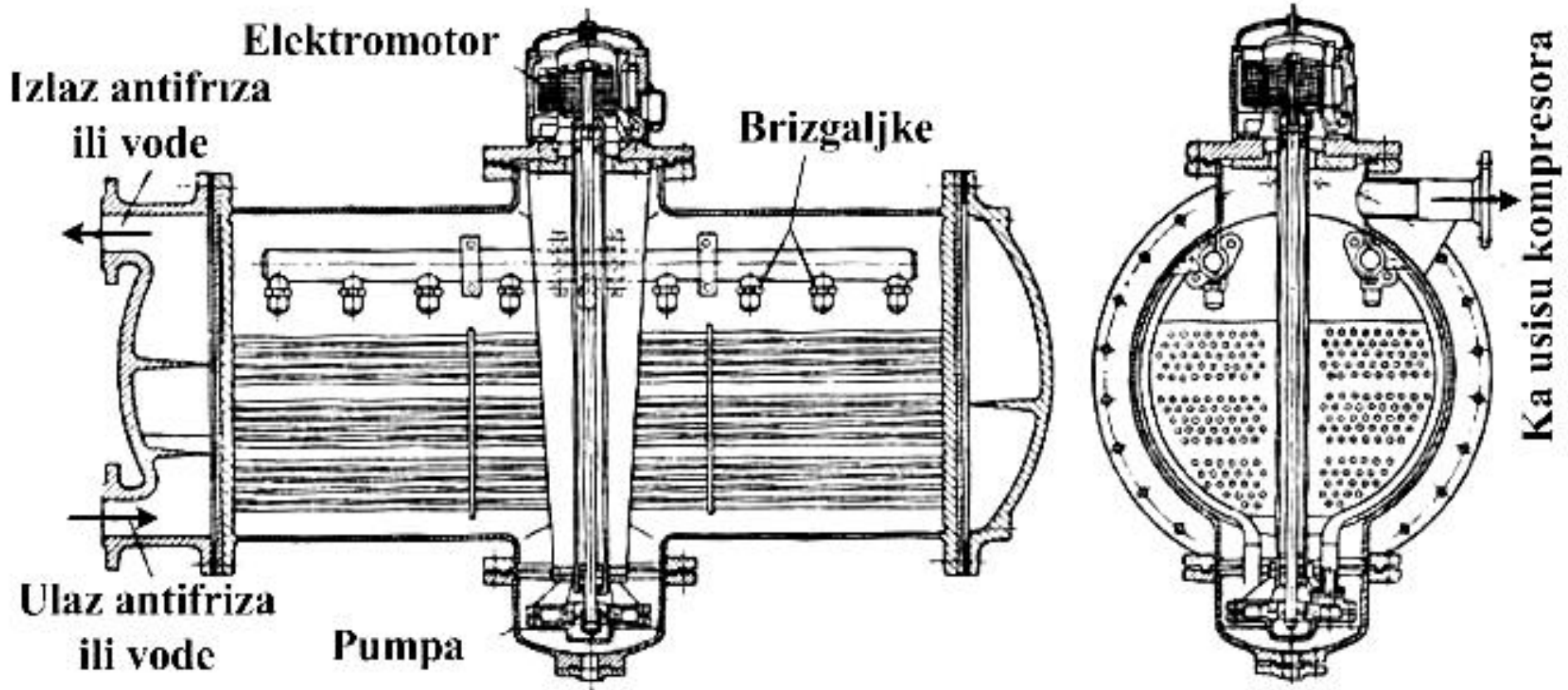
Karakteristično:

- **Uticaj hidrostatičkog pritiska na temperaturu isparavanja** je značajan, naročito pri niskim temperaturama ključanja (*npr. za R12 pri temperaturi ključanja od $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, na dubini od 1 m je ova temperatura $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$*).
- Taj problem se rešava korišćenjem rasprskavanja rashladnog fluida preko snopa cevi, umesto potapanjem snopa u tečni rashl. fluid.
 - Rashladni fluid se raspršuje brizgaljkama i na taj način poboljšava uslove prelaza toplote.
 - Pumpa rashladnog fluida se nalazi u donjoj posudi plašta, a elektromotor pumpe u gornjoj.
 - **Prelaz toplote je u ovakvoj konstrukciji znatno intenzivniji u odnosu na potopljeni isparivač.**

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Horizontalni isparivači tipa cevi u plaštu

Horizontalni freonski isparivač tipa cevi u plaštu sa rasprskavanejm

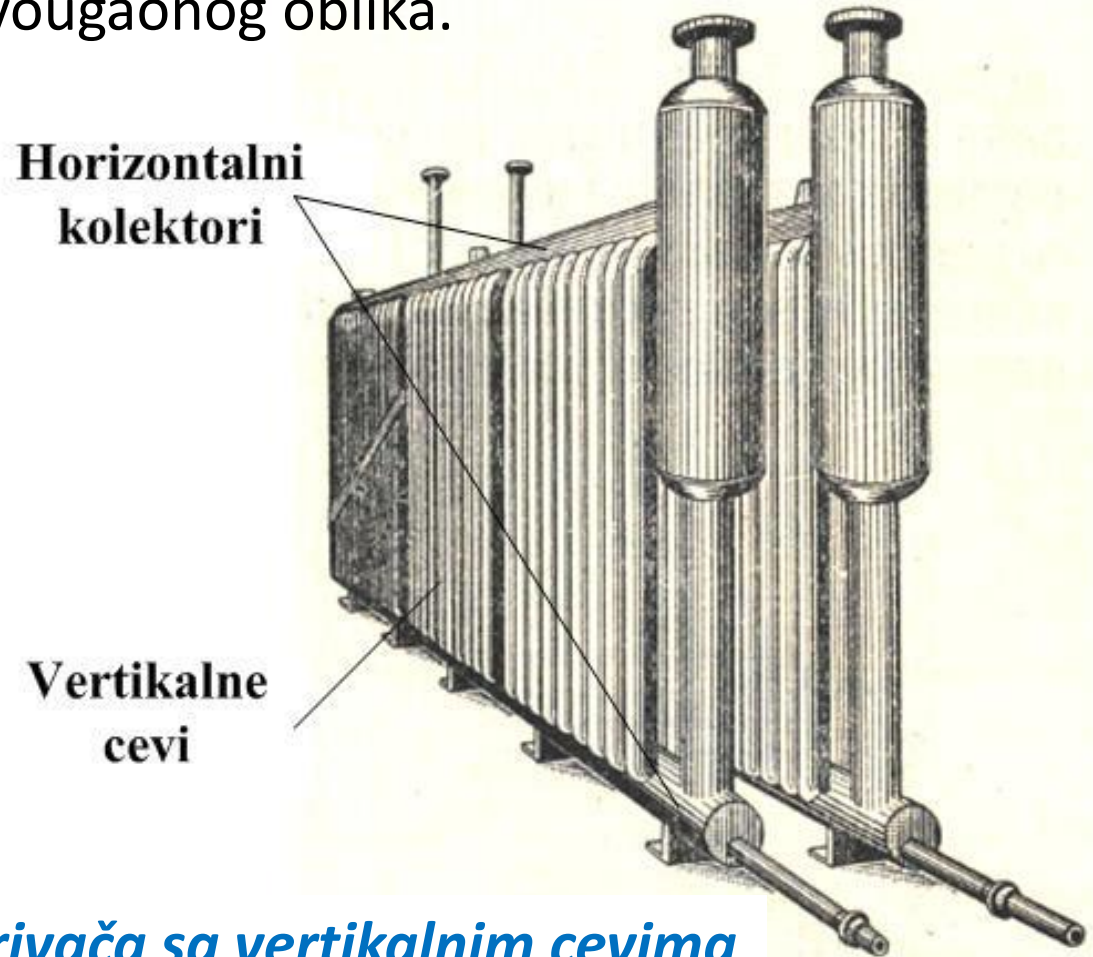


Vertikalni isparivači

Isparivači sa vertikalnim cevima su u obliku razdvojenih sekcija potopljenih u tzv. bazen pravougaonog oblika.

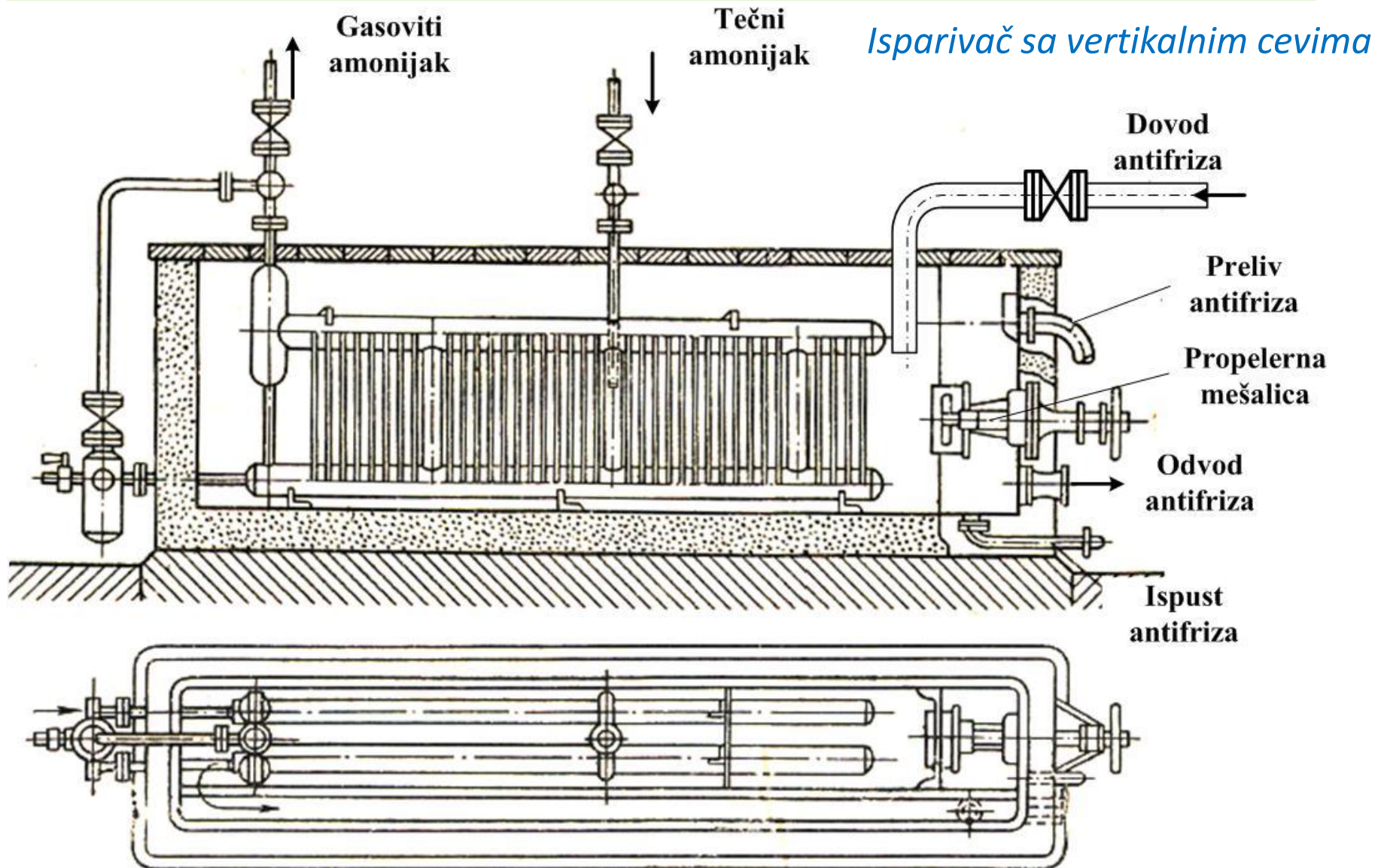
Svaka sekcija se sastoji od dva horizontalna kolektora u koja su zavarene vertikalne cevi.

Cirkulacija antifrizna se obavlja mešalicom tako da brzina antifrizna u isparivaču dostiže 0,5 do 0,75 m/s.



Sekcija isparivača sa vertikalnim cevima

Vertikalni isparivači



Toplotni proračun isparivača

Toplotni proračun se svodi na određivanje **POVRŠINE RAZMENE TOPLOTE** obično sa strane antifrizu.

Ta površina je:

$$A = \frac{Q_i}{k \cdot \Delta t_m} = \frac{Q_i}{q_i} \text{ m}^2$$

gde je Q_i [W] ukupan toplotni protok isparivača, k [W/(m² K)] njegov koeficijent prolaza toplote, a Δt_m [°C] srednja logaritamska razlika temperatura rashladnog fluida i antifrizu.

Srednja logaritamska razlika temperatura se određuje iz izraza:

$$\Delta t_m = \frac{t_{a,ul} - t_{a,iz}}{\ln \frac{t_{a,ul} - t_i}{t_{a,iz} - t_i}}$$

Ovde su $t_{a,ul}$ i $t_{a,iz}$ ulazna i izlazna temperatura antifrizu, a t_i je temperatura ključanja rashladnog fluida u isparivaču.

Toplotni proračun isparivača

KOEFICIJENT PROLAZA TOPLOTE isparivača jednak je:

$$k = \frac{q_i}{\Delta t_m} = \frac{1}{\frac{d_s}{d_u} \cdot \frac{1}{\alpha_i} + \sum_n \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad [\text{W} / (\text{m}^2 \text{K})]$$

Gde su:

- α_i [W/(m² K)] koeficijent prelaza toplote pri ključanju rashladnog fluida
- α_a [W/(m² K)] koeficijent prelaza toplote pri prinudnom strujanju antifrizu

Unutrašnji i spoljašnji prečnici cevi su označeni sa d_u i d_s , a zbir ostalih toplotnih otpora je dat izrazom:

$$\sum_n \frac{\delta_n}{\lambda_n} \quad [(\text{m}^2 \text{K}) / \text{W}]$$

Toplotni proračun isparivača

Pri izračunavanju **KOEFICIJENTA PRELAZA TOPLOTE ANTIFRIZA**, njegove se termofizičke osobine određuju za temperaturu koja je jednaka aritmetičkoj sredini temperature na ulazu i izlazu.

→ Ovaj koeficijent se određuje iz adekvatne kriterijalne jednačine za prinudno strujanje antifrizu (ili vode) u cevi.

NA STRANI RASHLADNOG FLUIDA se koriste kriterijalne jednačine za ključanje u velikoj zapremini (za potopljene isparivače), za kapljičastu kondenzaciju kada se rashladni fluid prska preko cevnog snopa ili za ključanje u cevi kada je reč o vertikalnim isparivačima.

Pumpa za antifriz je neizostavni deo isparivačkog postrojenja. Zapreminski protok pumpe je:

$$V = \frac{Q_i}{c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (t_{a,ul} - t_{a,iz})} = \frac{Q_i}{c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot \Delta t_a} \quad [\text{m}^3 / \text{s}]$$

gde je c_p , a izobarna specifična toplota antifrizu, a ρ_a njegova gustina.

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

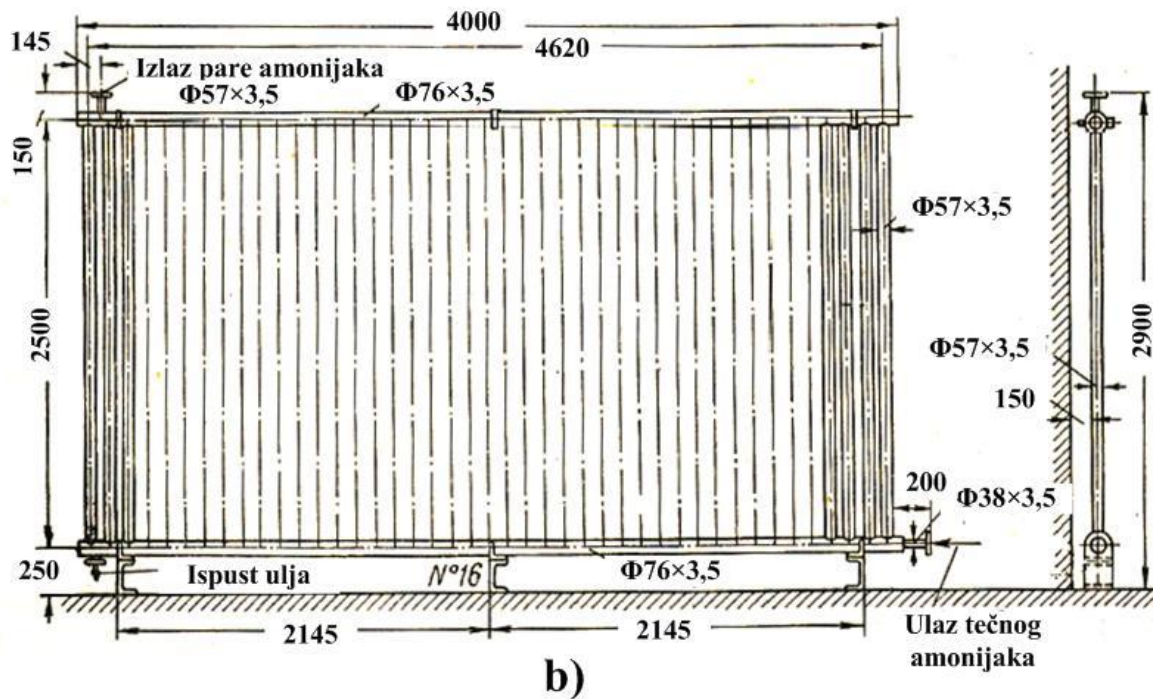
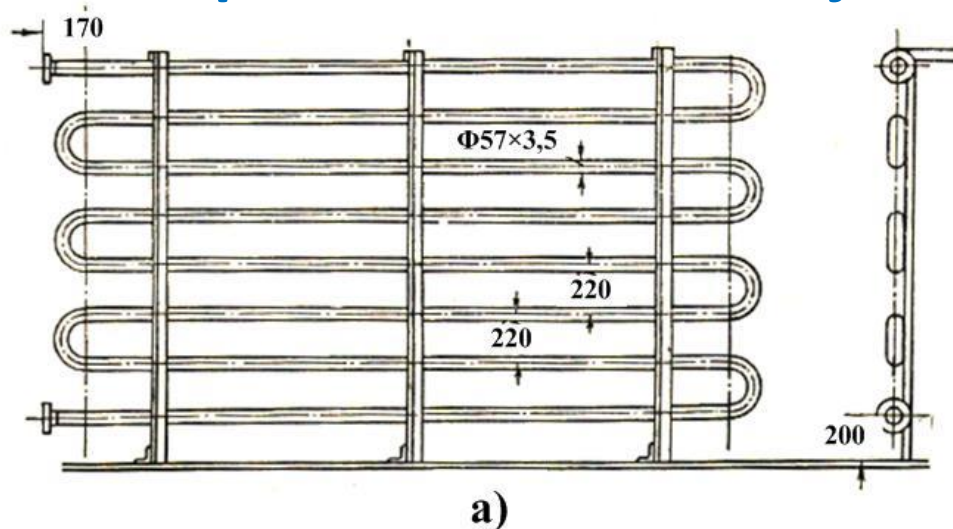
Isparivači za hlađenje vazduha prirodnom konvekcijom

Ovi isparivači mogu biti:

- Izrađeni od glatkih ili orebrenih cevi,
- sa direktnim isparavanjem rashladnog fluida ili sa cirkulacijom antifrizna,
- montirani na zid ili viseći sa plafona,
- jednoredni ili višeredni itd.

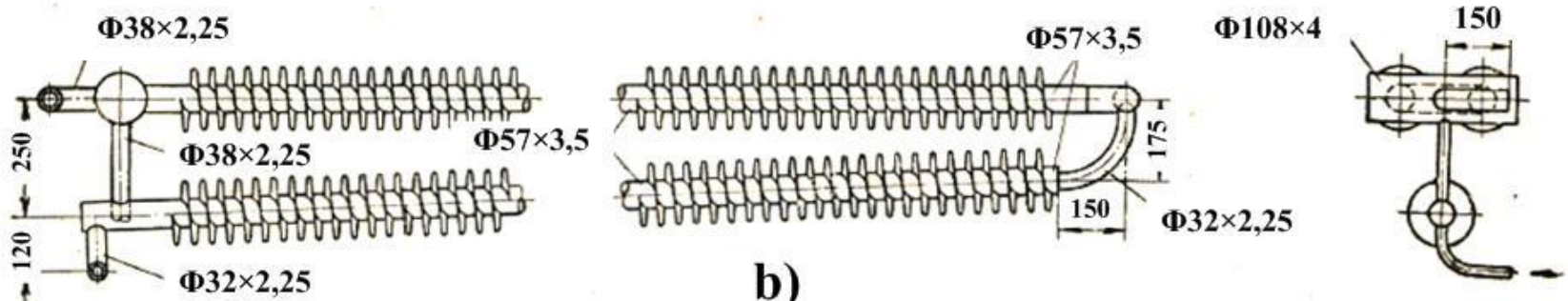
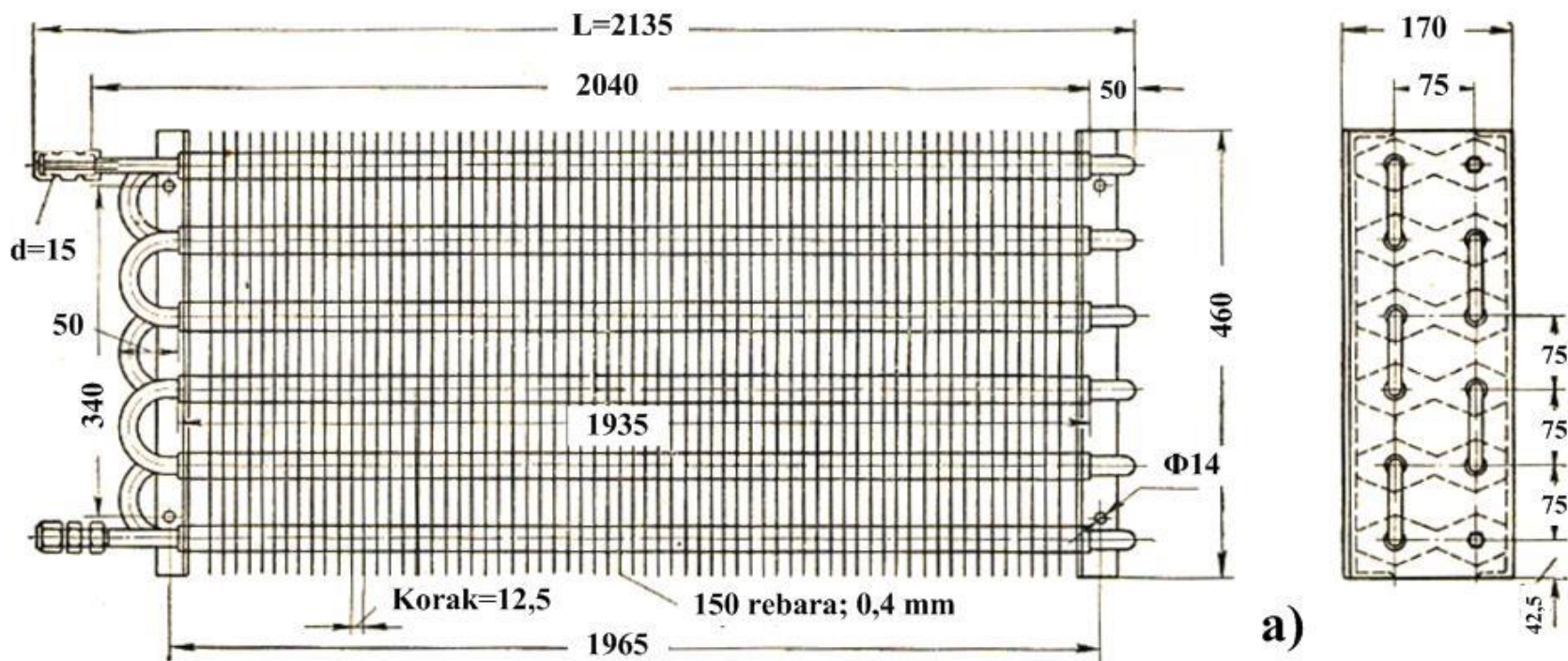
Isparivačke baterije:

- a) jednoredna sa direktnim isparavanjem,*
- b) kolektorska sa direktnim isparavanjem*



ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Isparivači za hlađenje vazduha prirodnom konvekcijom



Orebreni isparivači: a) freonski sa kačenjem direktno na zid komore; b) amonijačni sa spiralnim orebrenjem

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Isparivači za hlađenje vazduha prirodnom konvekcijom

Površina razmene toplote (A [m^2]) se određuje iz

- poznatog toplotnog protoka isparivača ili njegovog rashladnog kapaciteta (Q_i [kW]),
- srednje temperaturske razlike vazduha i fluida koji se nalazi u cevima (Δt_m [$^{\circ}\text{C}$]), i
- koeficijenta prolaza toplote isparivača (k [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$]).

Izraz za površinu:

$$A = \frac{Q_i}{k \cdot \Delta t_m}$$

Karakteristika prelaza toplote na strani vazduha kod ovih tipova isparivača je da pored konvektivnog značajnu ulogu ima i prelaz toplote zračenjem.

Vazdušni hladnjaci

NAMENA: To su toplotni aparati koji služe za hlađenje i cirkulisanje vazduha u velikim prostorima različitih namena, ali se pri tome gotovo uvek menja i vlažnost vazduha.

KONSTRUKCIJA: Po konstrukciji se dele na

- a) suve;
- b) mokre i
- c) kombinovane.

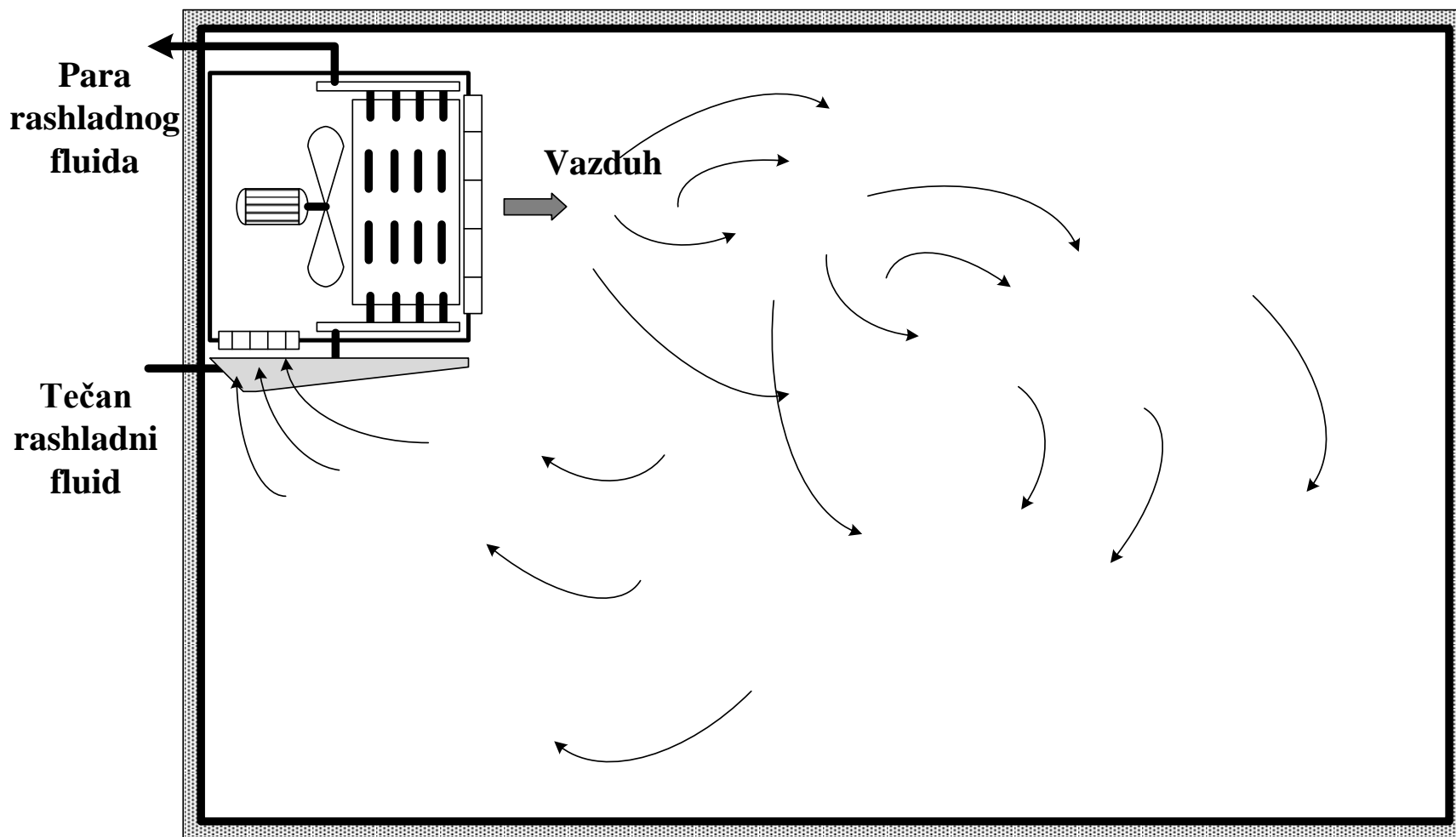
Montiraju se obično u sam prostor koji treba da hlade, a vazduh se uduvava **direktno ili indirektno**.

U nekim specijalnim slučajevima se vazdušni hladnjaci montiraju u posebne izolovane komore, odakle se ubacuje u jednu ili više komora.

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci

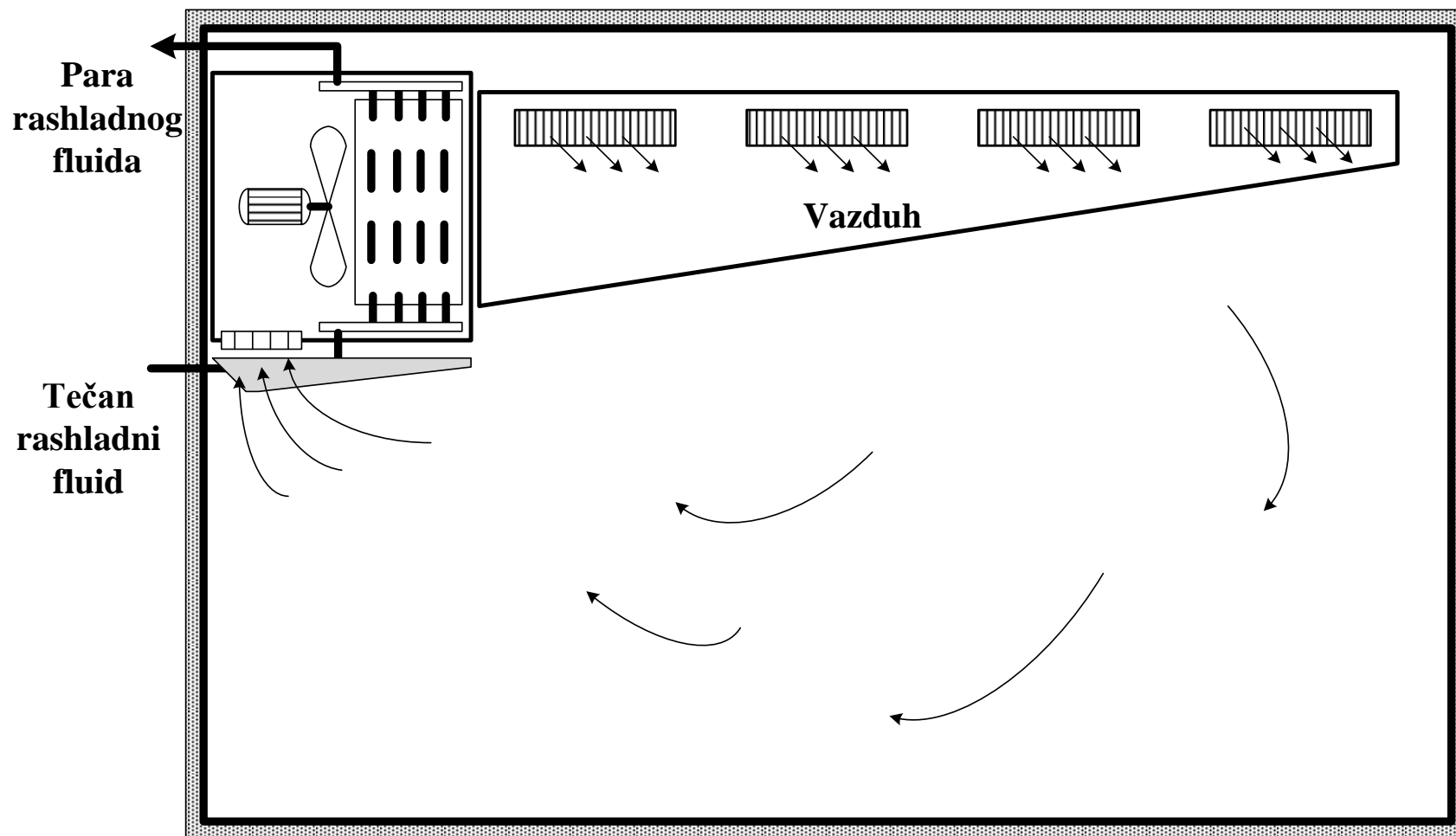
Direktno uduvavanje vazduha u komoru



ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci

Kanalsko ubacivanje vazduha u komoru



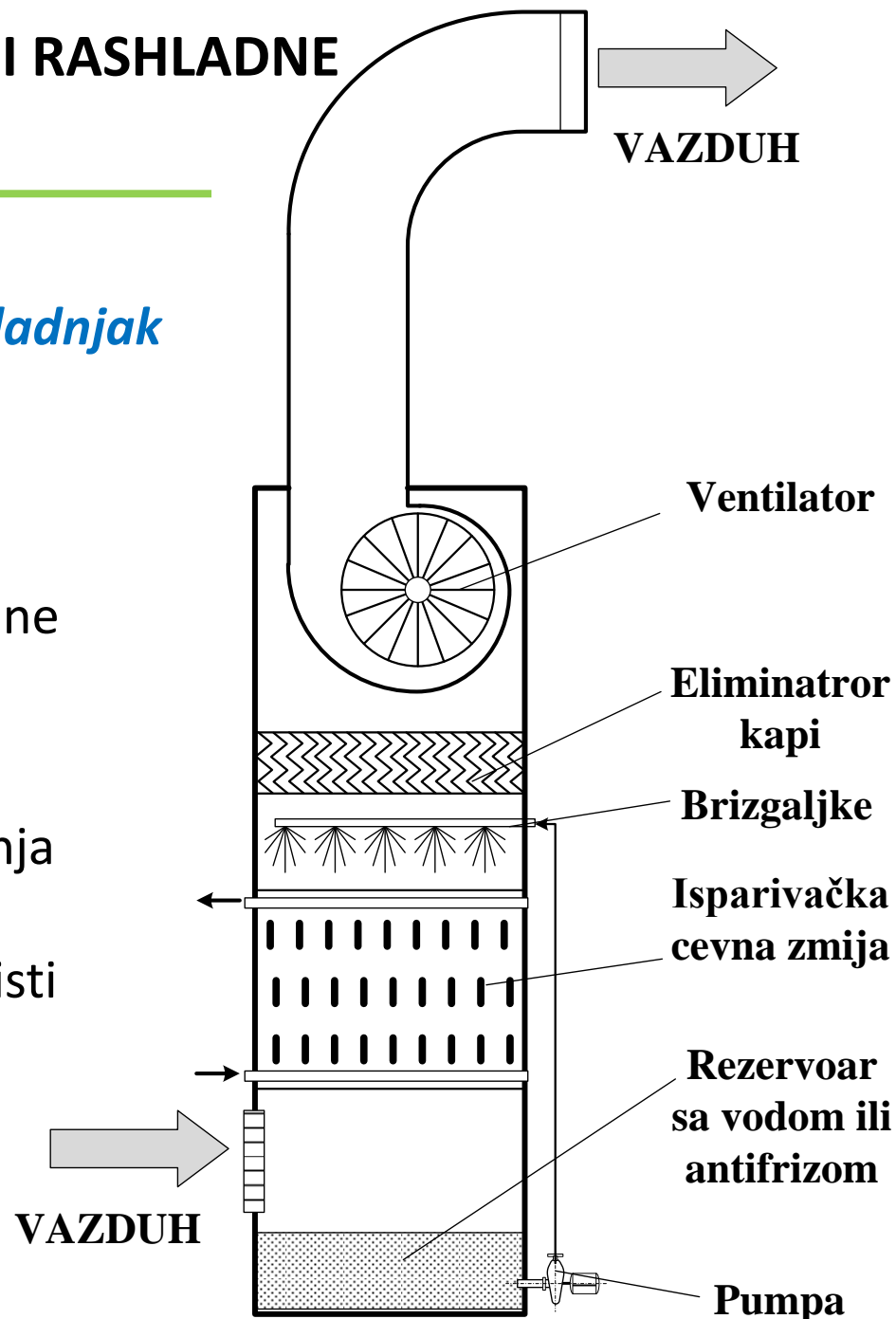
ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE / **Vazdušni hladnjaci**

OPŠTI TIP VAZDUŠNOG HLADNJAKA

Kombinovani suvi i vlažni vazdušni hladnjak

PRINCIP RADA: Vazduh se prosisava ventilatorom kroz orebrenu ili neorebrenu cevnu zmiju unutar koje ključa rashladni fluid, a sa spoljne strane se cevni snop orošava vodom, koja se brizgaljkama raspršava preko njega.

TEČNOSTI: Ako je temperatura ključanja rashladnog fluida iznad nule koristi se voda, a ako su ispod nule onda se koristi neki rastvor vode i soli, koji ima adekvatnu temperaturu zamrzavanja.



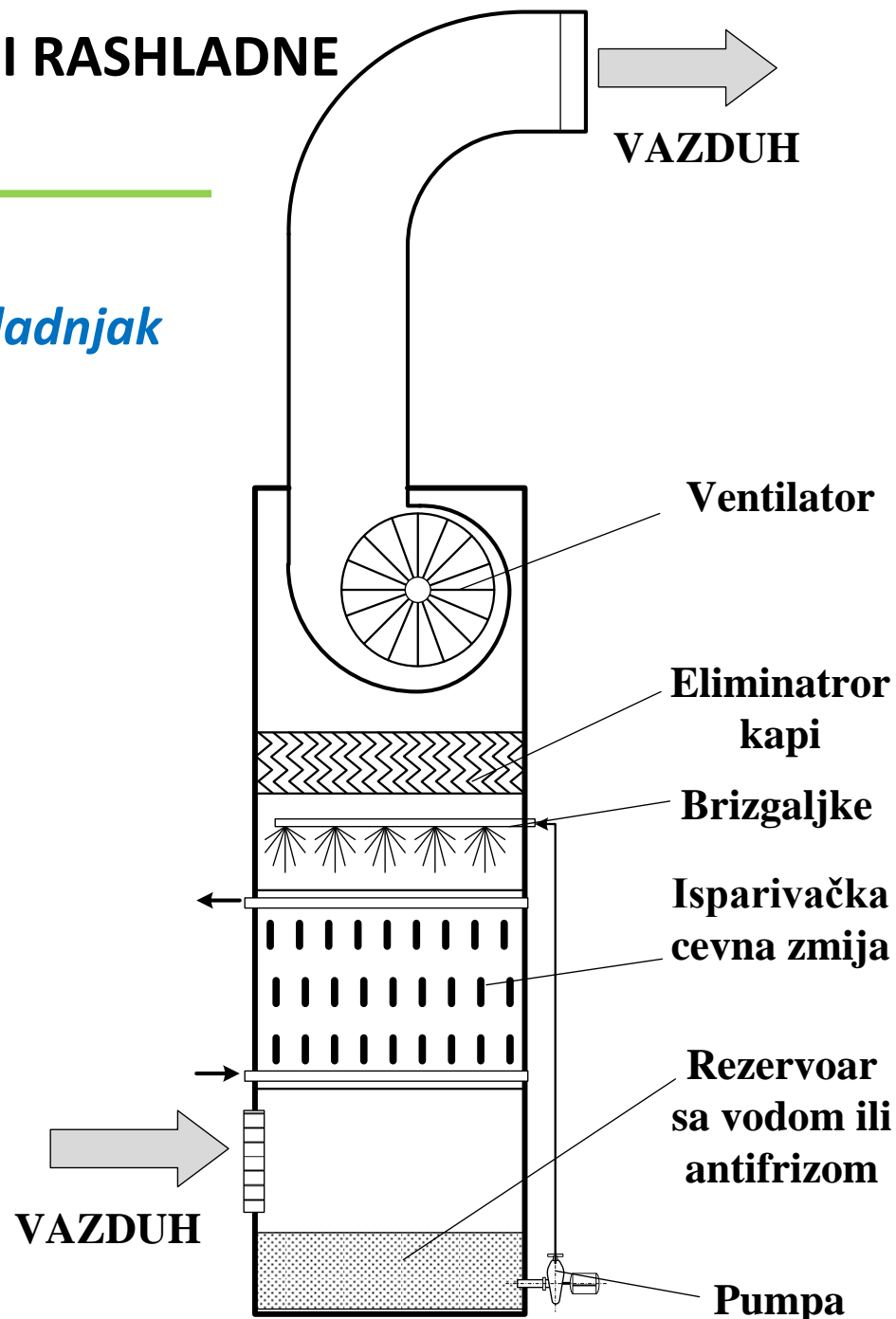
ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE / **Vazdušni hladnjaci**

OPŠTI TIP VAZDUŠNOG HLADNJAKA

Kombinovani suvi i vlažni vazdušni hladnjak

SUVI VAZDUŠNI HLADNJACI: Ako vlažan vazduh struji preko hladne površine isparivača čija je temperatura niža od temperature tačke rose, dolazi do kondenzacije vlage na tim površinama. U zavisnosti od temperature površine na njima se deponuje tečnost ili inje.

Kod **MOKRIH VAZDUŠNIH HLADNJAKA** voda dolazi u direktni kontakt sa vazduhom i pri tome se, osim prenosa toplote, odvija i proces prenosa mase.



ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / a. Suvi vazdušni hladnjaci

NAČIN RADA: Unutar cevi može da se dovodi direktno rashladni fluid ili indirektno antifriz ili voda, pripremljeni u nekom drugom isparivaču.

- U slučaju **industrijske primene** hlađenja najčešće se u cevima obavlja direktno ključanje rashladnog fluida.
- Kada je u pitanju **komforna klimatizacija**, reč je o višim temperaturama vazduha i tada se cevnom snopu dovodi hladna voda.

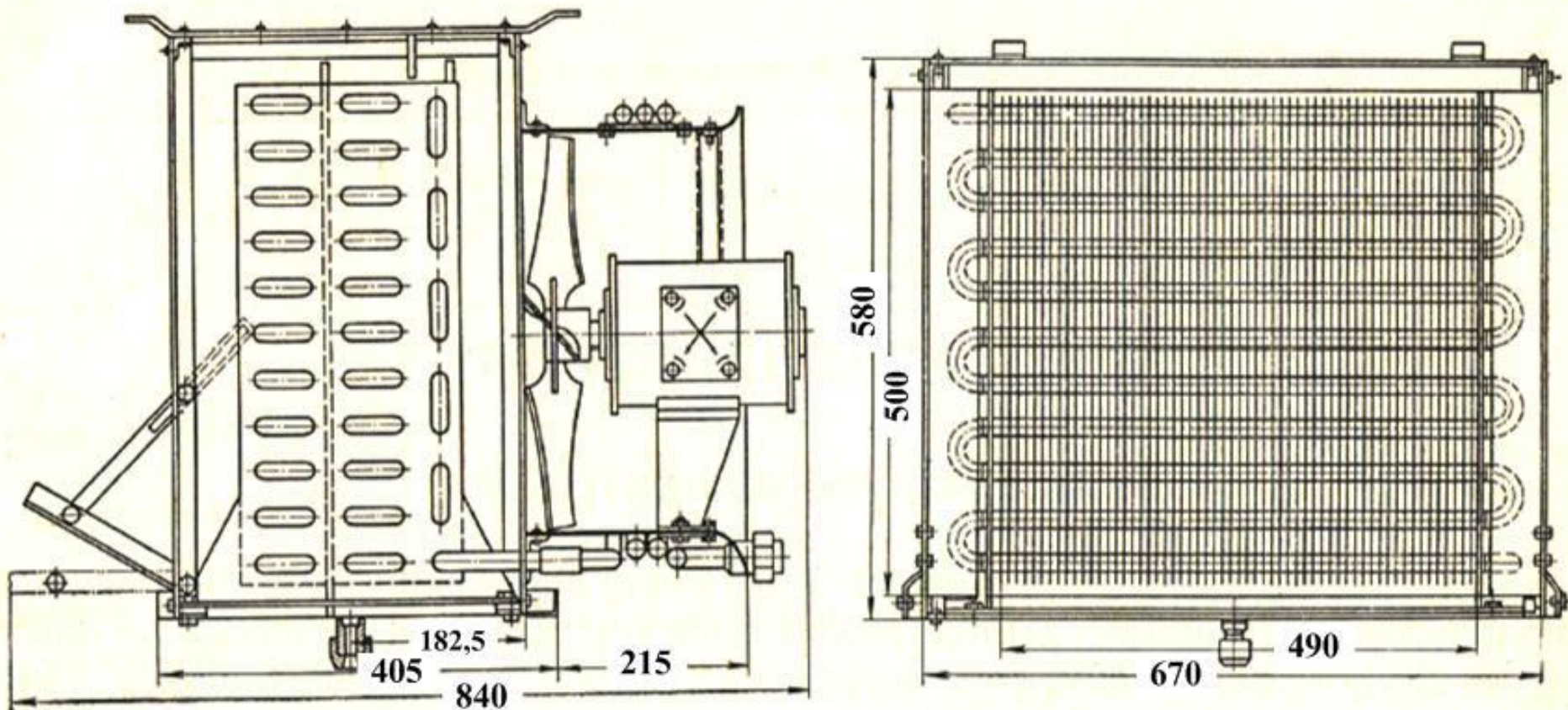
PROTOK VAZDUHA: Ventilatorom se savladava otpor u cevnom snopu i postiže potreban protok vazduha.

OBLAST PRIMENE:

- Za temperature u prostoru od +12 do -30 °C,
- Rashladne snage se kreću od 1 do 80 kW.

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

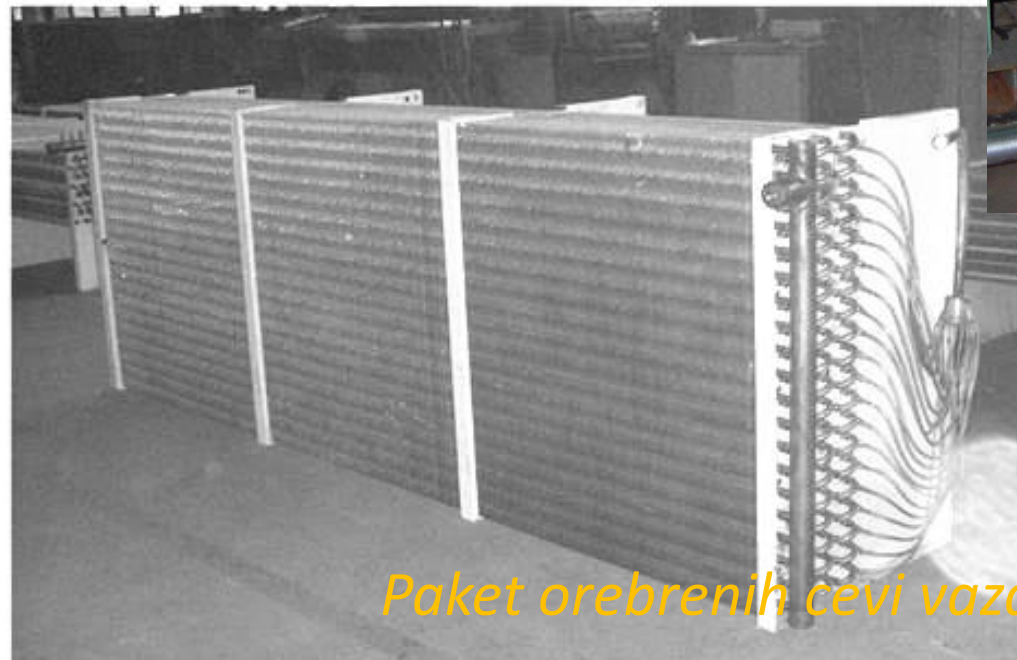
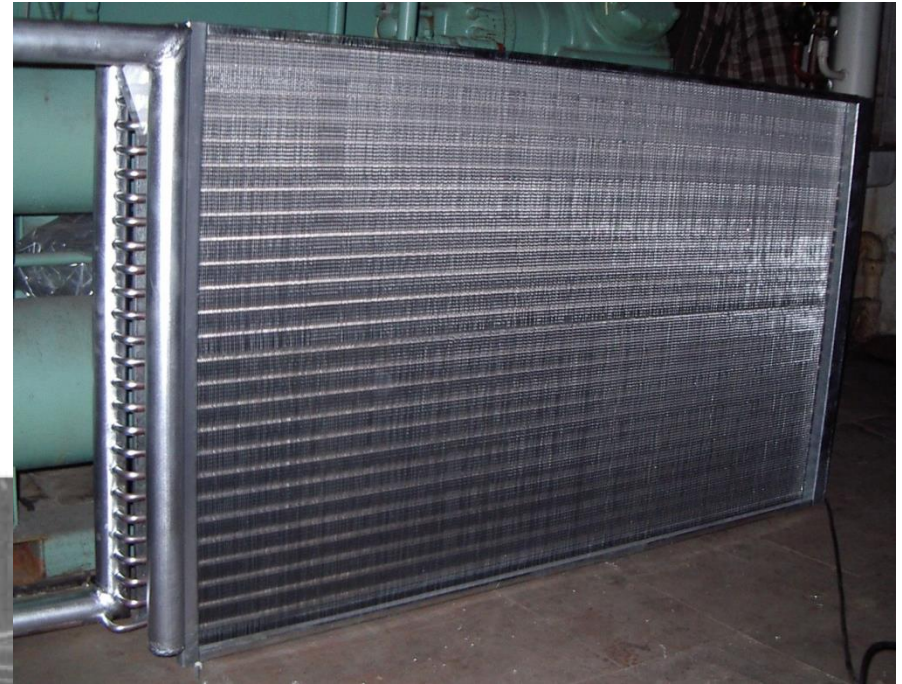
Vazdušni hladnjaci / a. Suvi vazdušni hladnjaci



Suvi vazdušni hladnjak potplafonskog tipa

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / a. Suvi vazdušni hladnjaci



Paket orebrenih cevi vazdušnog hladnjaka

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

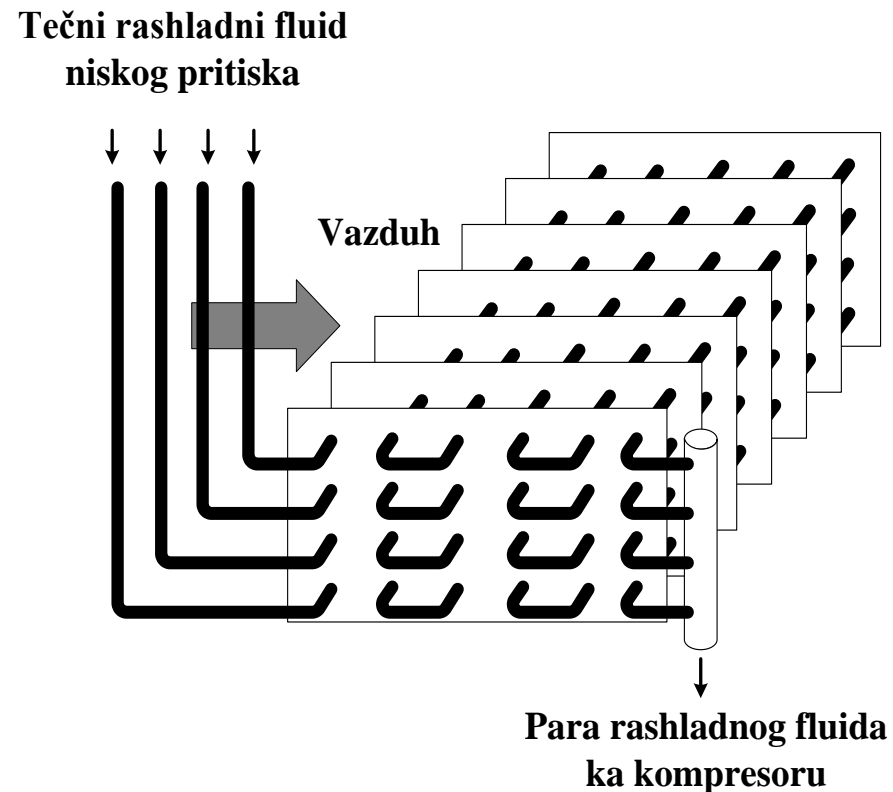
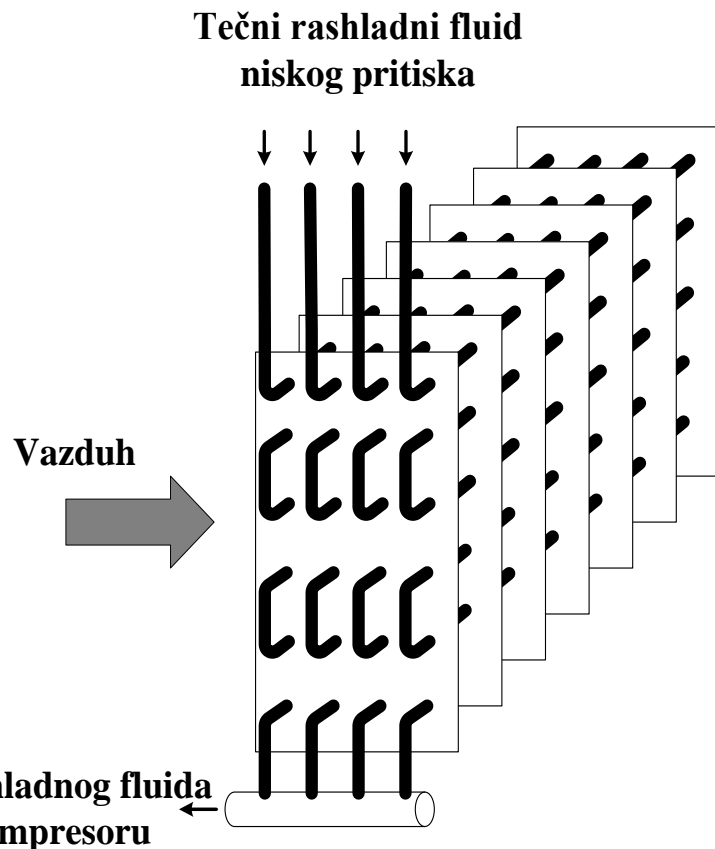
Vazdušni hladnjaci / a. Suvi vazdušni hladnjaci

OSTALE KARAKTERISTIKE:

- Modularna konstrukcija i više redova cevi.
- Dirigovani sistem napajanja cevnog snopa tečnim freonom obezbeđuje ravnomerni toplotni protok po naletnoj površini isparivača, ali i u pravcu strujanja.
- Otapanje se obavlja toplom parom freona i takođe je ravnomerno, što skraćuje vreme otapanja.
- Cevni snop suvih vazdušnih hladnjaka može biti od **orebrenih** ili **glatkih** cevi.
 - *Glatke cevi se koriste vrlo retko, jer zbog malog koeficijenta prelaza toplote sa strane vazduha zahtevaju veliku površinu razmene toplote.*

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / a. Suvi vazdušni hladnjaci



Napajanje tečnim rashladnim fluidom i cevni aranžman vazdušnih hladnjaka

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / a. Suvi vazdušni hladnjaci

RADNE KARAKTERISTIKE:

- Važno je da se ostvari ravnomerni protok rashladnog fluida po svim sekcijama cevnog snopa i ravnomerna brzina vazduha unutar orebrenja.
 - Brzina vazduha između rebara je 3 – 8 m/s za slučajeve kada je temperatura vazduha oko 0 °C.
 - Ako postoji intenzivno izdvajanje vlage iz vazduha, njegova brzina ne treba da bude veća od 5 m/s, jer postoji mogućnost intenzivnog odnošenja kapi tečnosti.
 - Kada nema izdvajanja vlage ova brzina može da bude i 10-15 m/s, a kod niskotemperaturnih vazdušnih hladnjaka je manja od 4 m/s.
 - Brzina vode ili antifrizu u cevima je 0,5 – 1,2 m/s.
- Razlika između temperature isparavanja rashladnog fluida ili antifrizu sa jedne strane i vazduha sa druge strane treba da je 12 – 18 °C (za $t_i = 0^\circ\text{C}$); 6 – 10°C (za $t_i = -40^\circ\text{C}$) i 3 – 5°C (za $t_i = -80^\circ\text{C}$).

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

NAČIN RADA: U ovim aparatima se hlađenje obavlja u neposrednom kontaktu vazduha i hladne vode ili vodenog rastvora neke soli.

IZVEDBE: Oni mogu biti sa direktnim rasprskavanjem vode u vazdušnu struju ili sa njenim rasprskavanjem po ispuni kroz koju suprotosmerno ili unakrsno struji vazduh.

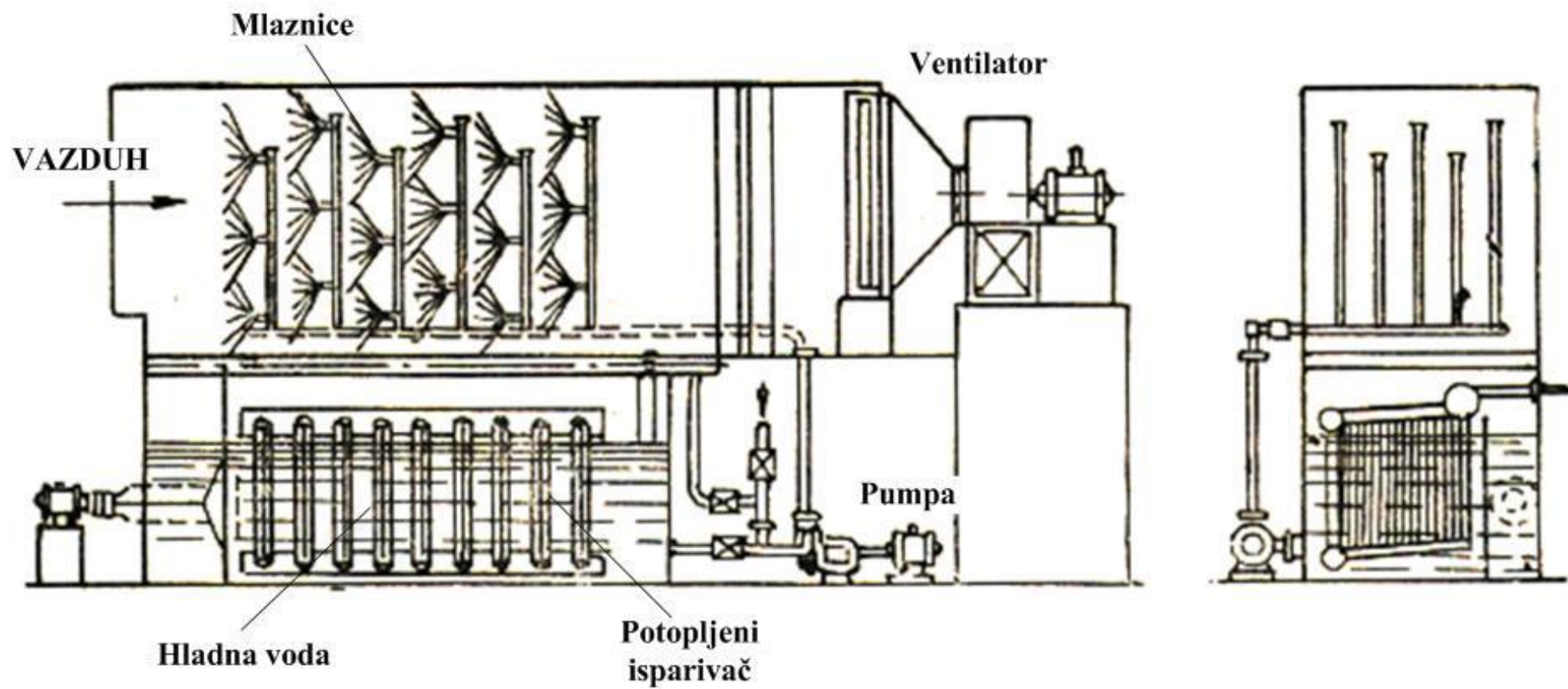
POVRŠINA RAZMENE TOPLOTE: Za proračun vazdušnih hladnjaka karakteristično je da se ne zna površina razmene toplote.

- Zbog toga se uvodi neka uslovna površina, kao što je površina poprečnog preseka kanala normalno na pravac strujanja vazduha.
- Svakom konstrukcijom se želi da obezbedi velika površina razmene toplote između vode i vazduha.
- **Na taj način se postiže visok stepen korisnosti ovakvih uređaja.**

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

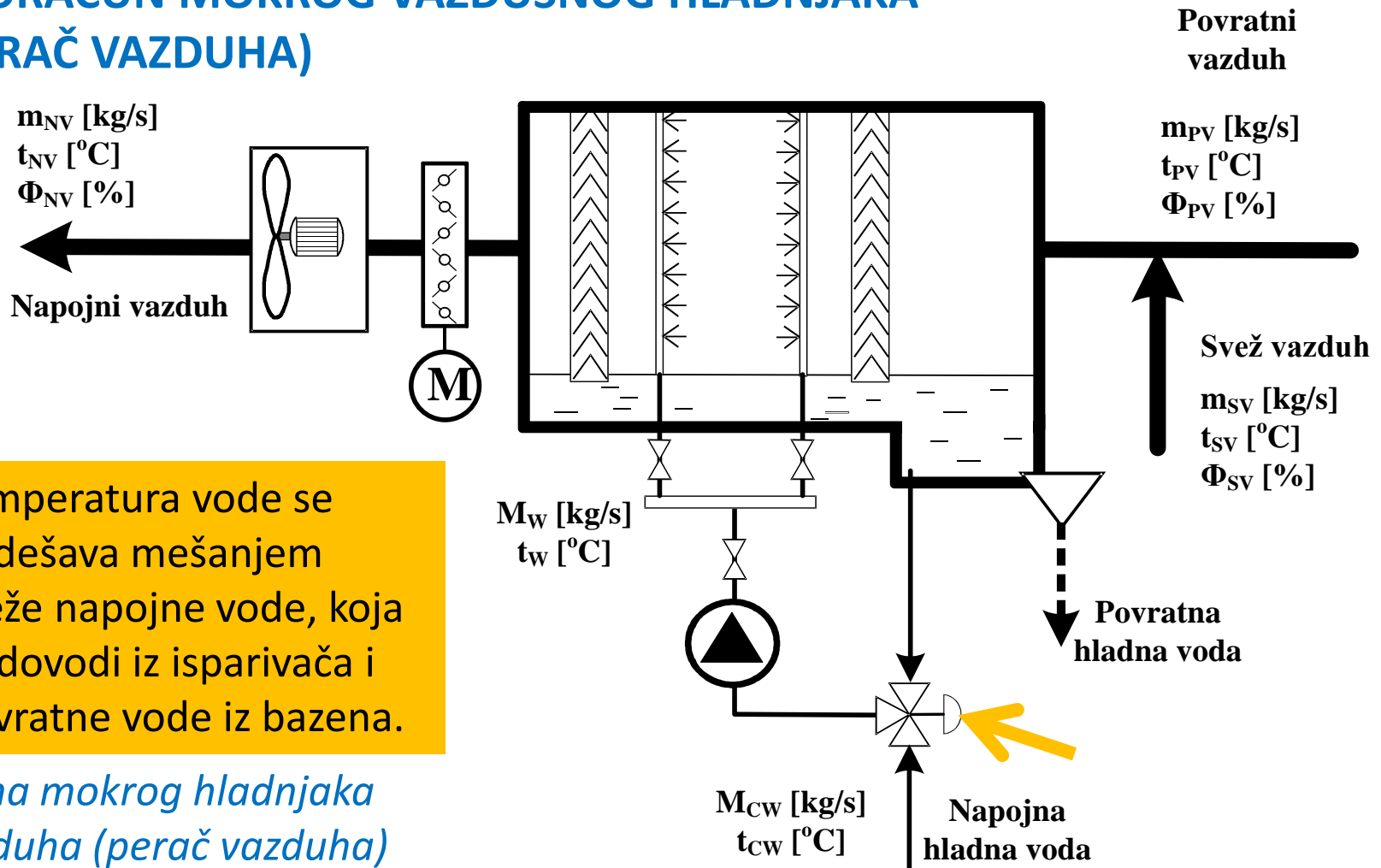
Tipičan mokri vazdušni hladnjak sa direktnim ubrizgavanjem vodenih kapi u vazдушnu struju



ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJAKA (PERAČ VAZDUHA)



Temperatura vode se podešava mešanjem sveže napojne vode, koja se dovodi iz isparivača i povratne vode iz bazena.

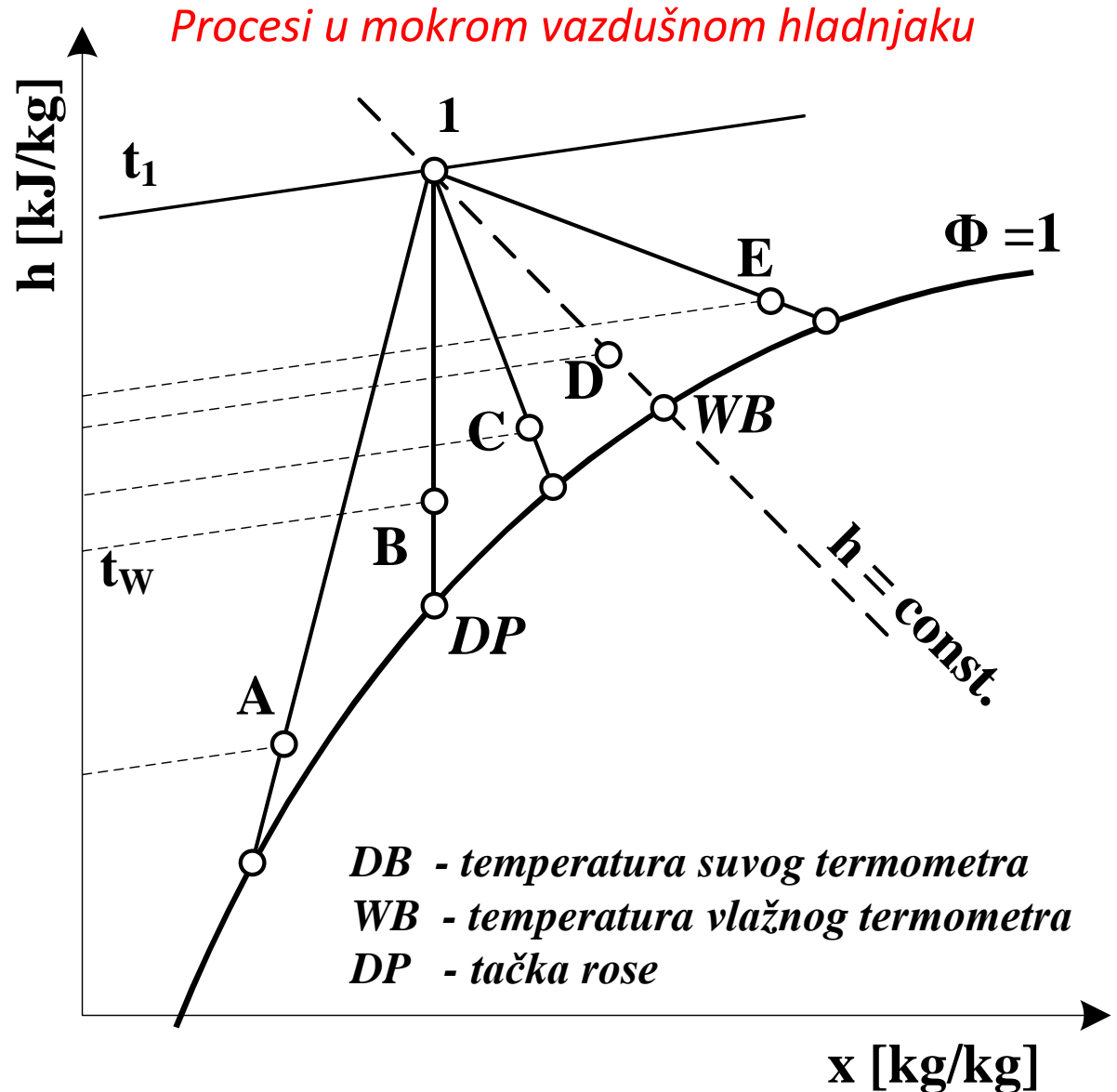
Šema mokrog hladnjaka vazduha (perač vazduha)

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJAKA (PERAČ VAZDUHA)

Moguće promene stanja vazduha u mokrim vazdušnim hladnjacima prikazane su u h-x dijagramu.



ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJAKA (PERAČ VAZDUHA)

Za proračun ovakvog hladnjaka potrebno je kao ulazne podatke poznavati maseni protok vode M_w [kg/s] i odnos masenih protoka vode i vazduha

$$B = \frac{M_w}{m_{PV}} \quad [-]$$

Ovaj parametar zavisi od:

- projektne temperature i vlažnosti vazduha,
- zadate temeprature i vlažnosti vazduha,
- željenog ili propisanog protoka svežeg vazduha,
- temperature hladne vode i
- rashladnog kapaciteta isparivača u kojem se hladna voda priprema.

Njegove vrednosti se kreću od 0,4 do 1,8.

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJAKA (PERAČ VAZDUHA)

Vazduh koji ulazi u vazdušni hladnjak je obično mešavina svežeg vazduha i recirkulisanog. Maseni bilans ovih vazdušnih struja je:

$$m_{PV} = \rho_{PV} \cdot V_{PV} = \rho_{SV} \cdot V_{SV} + \rho_{RV} \cdot V_{RV}$$

a iz toplotnog bilansa se dobija:

$$h_1 = h_{PV} = \frac{\rho_{SV} \cdot V_{SV} \cdot h_{SV} + \rho_{RV} \cdot V_{RV} \cdot h_{RV}}{\rho_{PV} \cdot V_{PV}}$$

Maseni bilans vode u vazduhu je:

$$x_1 = x_{PV} = \frac{\rho_{SV} \cdot V_{SV} \cdot x_{SV} + \rho_{RV} \cdot V_{RV} \cdot x_{RV}}{\rho_{PV} \cdot V_{PV}}$$

Entalpija vazduha nakon vazdušnog hladnjaka je:

$$h_2 = h_1 - \frac{M_W}{m_1} \cdot c_{pW} \cdot (t_{W,iz} - t_{W,ul})$$

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJAKA (PERAČ VAZDUHA)

Rashladni kapacitet hladnjaka je:

$$Q_W = M_W \cdot c_{pW} \cdot (t_{W,iz} - t_{W,ul})$$

Efektivnost mokrih vazdušnih hladnjaka definiše se na sledeći način:

$$E' = 1 - \frac{t_2 - t_{2WB}}{t_1 - t_{1WB}}$$

$$t_2 = t_{2WB} + (1 - E') \cdot (t_1 - t_{1WB})$$

Koeficijent efektivnosti prenosa toplote se definiše kao:

$$E = 1 - \frac{t_{2WB} - t_{W,iz}}{t_{1WB} - t_{W,ul}}$$

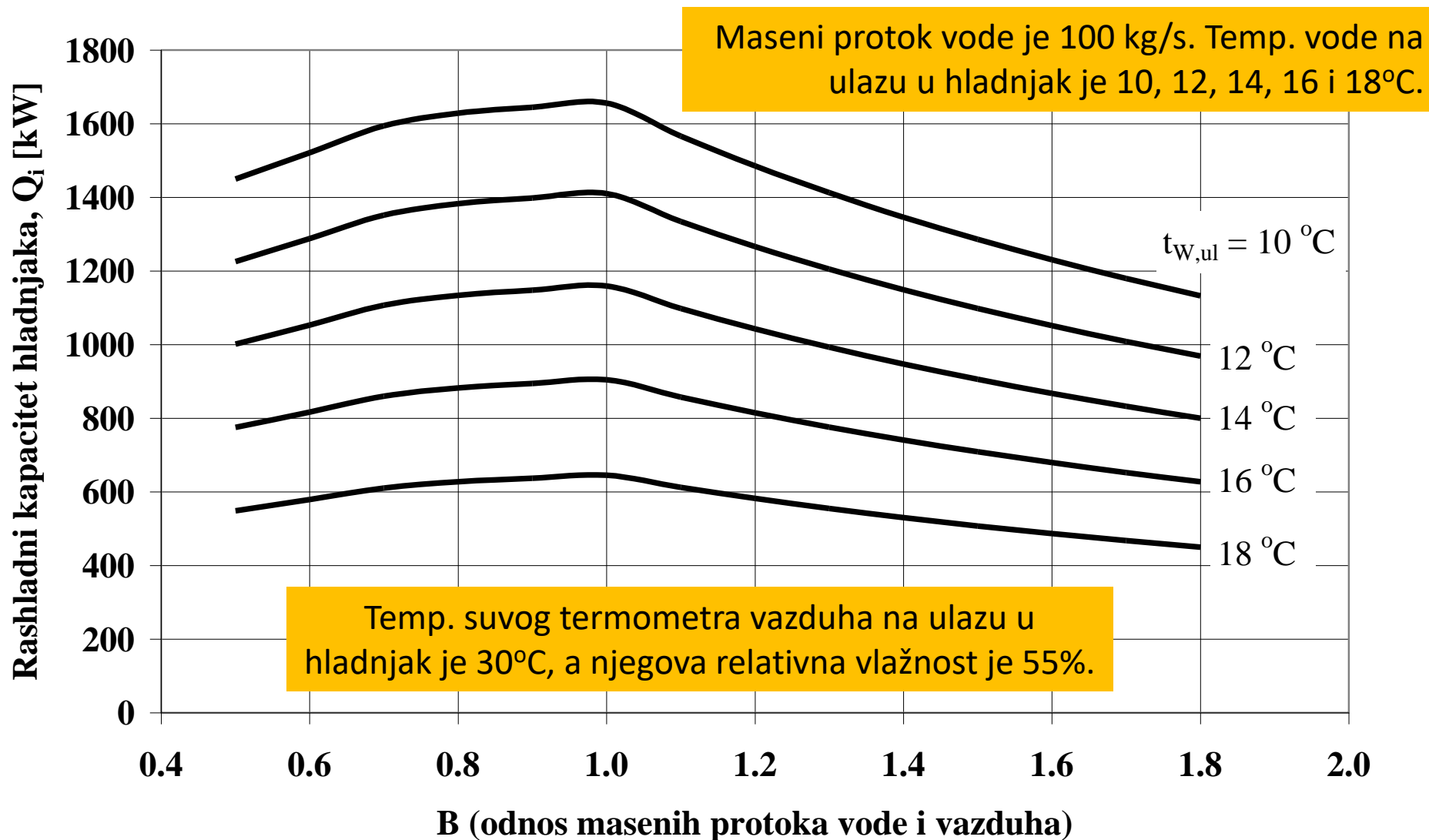
$$t_{2WB} = t_{W,iz} + (1 - E) \cdot (t_{1WB} - t_{W,ul})$$

Oba koeficijenta (E' i E) zavise od broja redova brizgaljki i prečnika dizne brizgaljke. Ovi parametri se određuju isključivo eksperimentalno.

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJI CI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

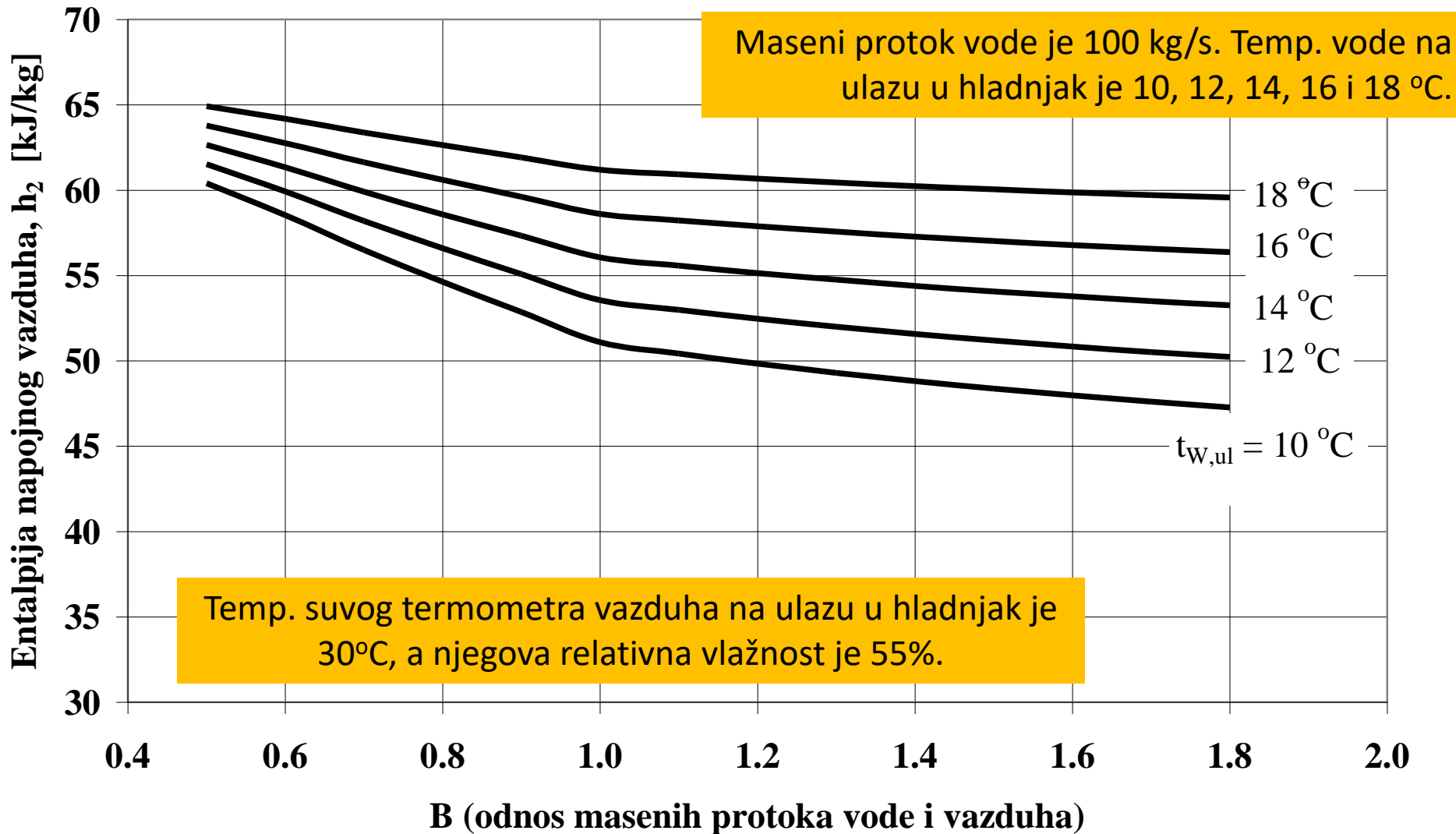
PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJI KA (PERAČ VAZDUHA)



ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJAKA (PERAČ VAZDUHA)



ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci / b. Mokri vazdušni hladnjaci

PRORAČUN MOKROG VAZDUŠNOG HLADNJAKA (PERAČ VAZDUHA)

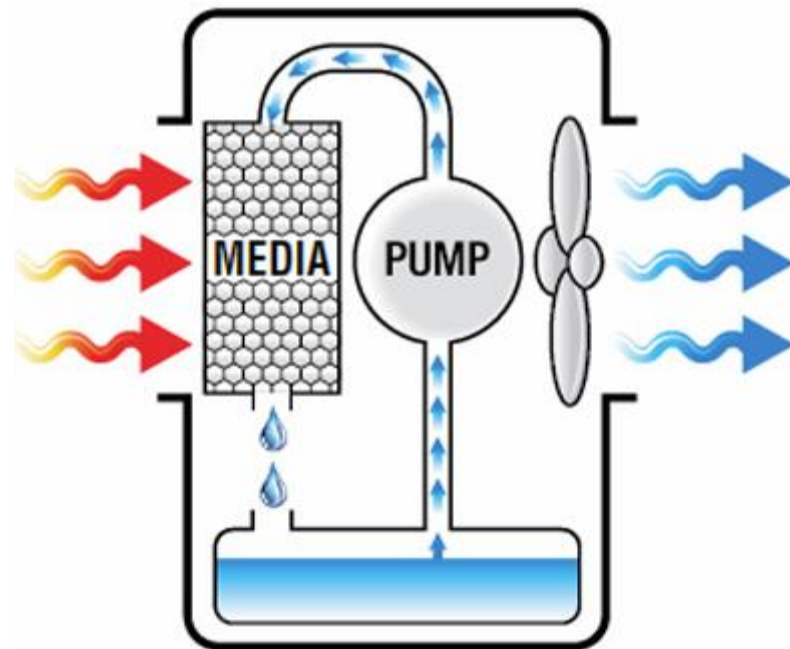
Analizom rezultata proračuna prikazanog na pomenutim slikama može da se zaključi sledeće:

- Rashladni kapacitet hladnjaka značajno zavisi od ulazne temperature vode, manje od odnosa masenih protoka vode i vazduha (B);
- Najviše vrednosti rashladnog kapaciteta pri konstantnoj temperaturi vode postižu se pri $B = 1$;
- Entalpija vazduha na izlazu iz hladnjaka (napojni vazduh) opada sa porastom odnosa B (porast protoka vode u odnosu na vazduh) i to pri svim temperaturama vode na ulazu u hladnjak.

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci /

b. Mokri vazdušni hladnjaci



Vazdušni hladnjaci

POVEĆANJE PRELAZA TOPLOTE PRI KLJUČANJU

► Savremeni trend povećanja kompaktnosti rashladnih uređaja nalaže i potrebu iskorišćenja tehnika za povećanje prelaza toplote.

Ukupan koeficijent prolaza toplote ponajviše zavisi od najvećeg pojedinačnog otpora.

U ISPARIVAČIMA ZA KONDICIONIRANJE VAZDUHA sa golim cevima vrednost koeficijenta prelaza toplote na strani rashladnog fluida **je nekoliko puta veća** od one na strani vazduha tako da intenzifikacija na strani vazduha ima praktičnog uticaja na ukupni prolaz toplote.

→ U orebrenim isparivačima prelaz toplote dostiže visoke vrednosti, zahvaljujući povećanoj površini.

U ISPARIVAČIMA (ČILERIMA) ZA HLAĐENJE VODE za klimatizaciju koeficijent prolaza toplote dostiže $5000 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ili čak i više.

Vazdušni hladnjaci

POVEĆANJE PRELAZA TOPLOTE PRI KLJUČANJU

Povećanje brzine strujanja rashladnog fluida, kao jedne od mogućnosti za povećanje prelaza toplote, **dovodi i do povećanja pada pritiska.**

Efekat povećanja pada pritiska je i:

- smanjivanje pritiska gasa na usisu kompresora, a time i smanjenje njegovog kapaciteta i performansi celog sistema;
- Takođe, dolazi do smanjivanja temperaturskog potencijala razmene toplote (pri istom pritisku na usisu kompresora), čime se donekle vrši poništavanje dobijenog porasta koeficijenta prelaza toplote.
 - **Porast koeficijenta prelaza toplote smanjuje dimenzije isparivača, dok ih smanjivanje temperaturske razlike povećava.**

ISPARIVAČI, VAZDUŠNI HLADNJACI I RASHLADNE BATERIJE

Vazdušni hladnjaci

TEHNIKE POVEĆANJA PRELAZA TOPLOTE

Ovakvim metodama se povećava koeficijent prelaza toplote ili efektivnost površine razmene toplote, ili oba. Najčešće primenjivane metode su:

1. Recirkulacija rashladnog fluida;
2. Postavljanje žice unutar cevi;
3. Unutrašnje orebrenje;
4. Turbulizovanje i vrtloženje fluidne struje;
5. Povećanje površine razmene toplote;
6. Povećanje hrapavosti površine.

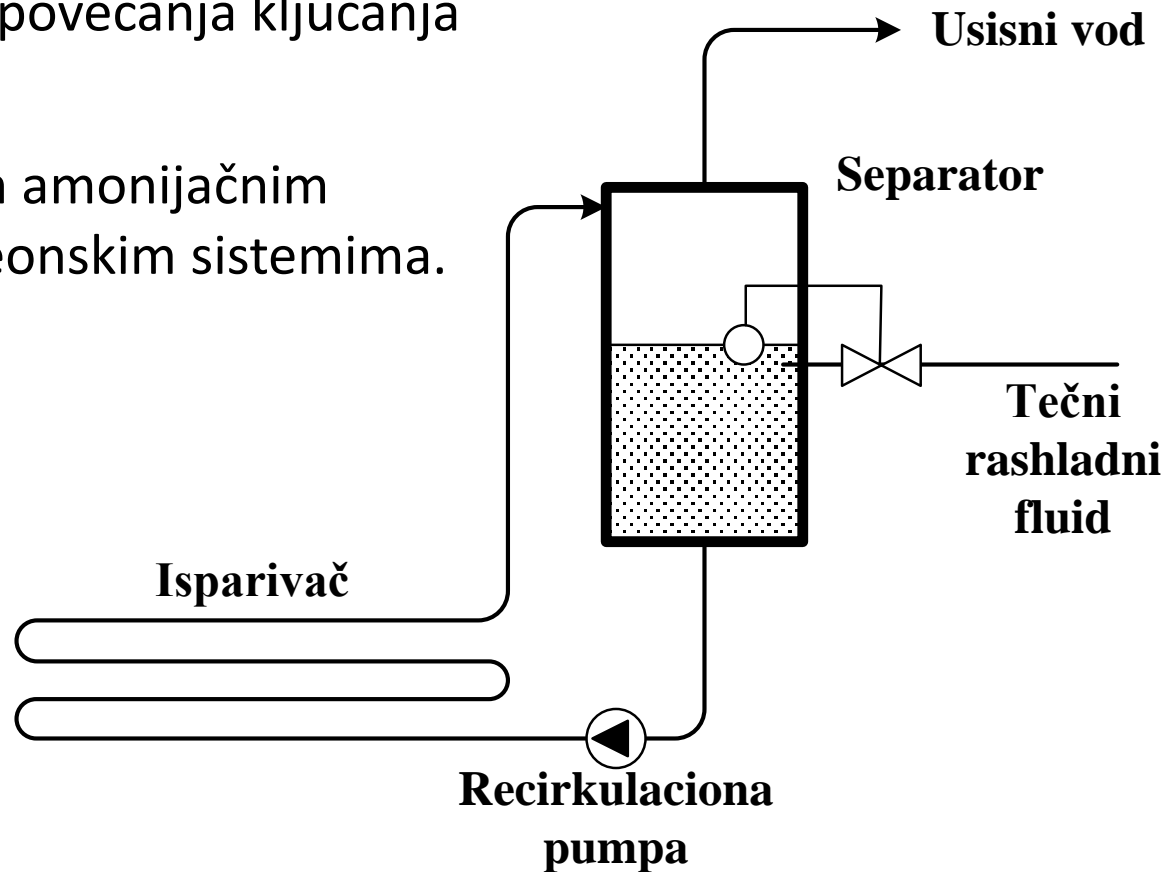
Vazdušni hladnjaci

Tehnike povećanja prelaza toplote / Recirkulacija rashladnog fluida

Ovo je vrlo efikasan metod povećanja ključanja rashladnog fluida.

Najčešće se koristi u velikim amonijačnim sistemima, ali i u velikim freonskim sistemima.

PRINCIP: Recirkulacijom se povećava koeficijent prelaza toplote povećavanjem masenog protoka rashladnog fluida (povećanjem Reynoldsovog broja), ali i smanjivanjem prisustva pare u dvofaznom toku.



šema isparivača sa recirkulacijom ili potopljeni isparivač

Vazdušni hladnjaci

Tehnike povećanja prelaza toplote / Recirkulacija rashladnog fluida

NEDOSTACI OVOG SISTEMA

1. Prisustvo cirkulacione pumpe, dodatni cevovod i dodatna potrošnja energije.
2. Pad pritiska u isparivaču se, takođe, povećava.

STEPEN RECIRKULACIJE u isparivaču se definiše kao:

$$\omega = \frac{\text{Maseni protok rashladnog fluida}}{\text{Maseni protok generisane pare rashladnog fluida}}$$

*U amonijačnim sistemima je stepen recirkulacije oko 4. To znači da samo oko jedne četvrtine od ulaznog protoka ispari. Međutim, pad pritiska u isparivaču takođe raste sa porastom stepena recirkulacije i tako umanjuju efekat povećanja koeficijenta prelaza toplote. **OPTIMALNA VREDNOST** stepena recirkulacije zavisi od mnogo faktora i ograničenja koja se javljaju.*

Vazdušni hladnjaci

Tehnike povećanja prelaza toplote /

Postavljanje žice unutar cevi i unutrašnje orebrenje

Značajan porast koeficijenta prelaza toplote pri ključanju rashladnog fluida jeste ugradnja tanke žičane ispune u cevi, gde ona deluje kao promoter turbulencije.

- Pad pritiska uzrokovan postavljanjem žičane ispune nije velik u poređenju sa padom pritiska drugih metoda.
- Nove tehnologije omogućavaju orebravanje cevi s unutrašnje strane, čime se postiže sličan efekat porasta koeficijenta prelaza toplote.

Vazdušni hladnjaci

Vrednosti koeficijenta prolaza toplote raznih tipova isparivača

- ❖ U upotrebi je veliki broj različitih konstrukcija isparivača koji imaju različit koeficijent prolaza toplote, **ali on nije uvek odlučujući za izbor isparivača.**
- ❖ Konstrukcija je vrlo često određena procesom u kojem se hlađenje primenjuje, sigurnošću pogona, temperaturom isparavanja, itd.
- ❖ Ipak za osnovne tipove isparivača moguće je dati tipične vrednosti koeficijenta prolaza toplote, što može biti od koristi pri brzim proračunima delova rashladne instalacije.

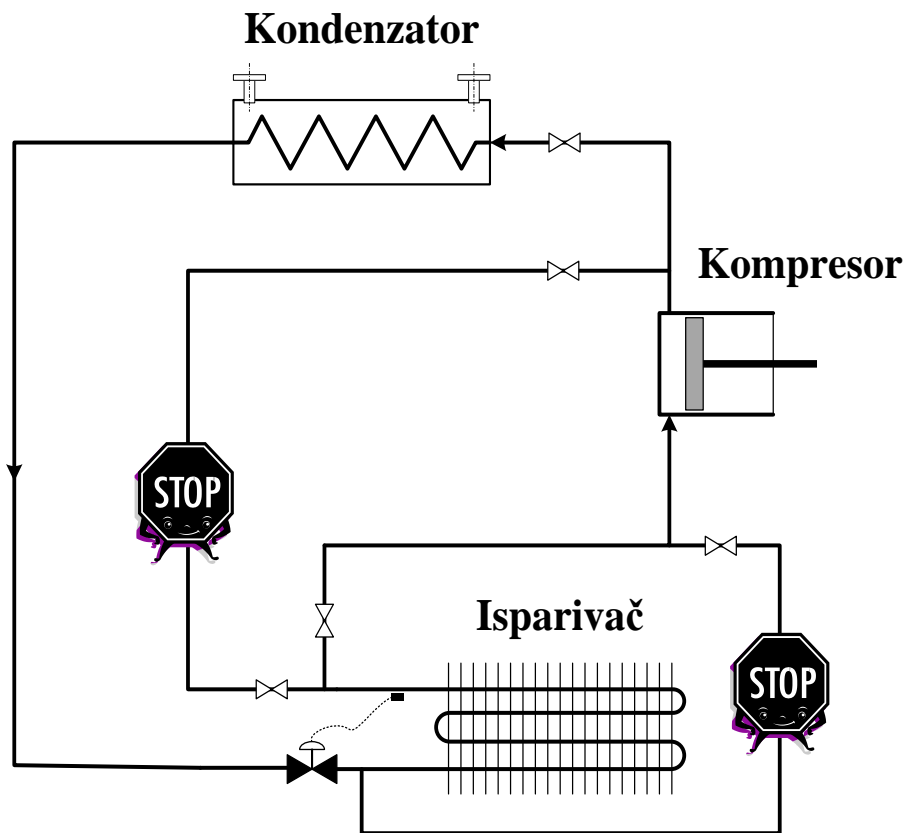
TIP ISPARIVAČA	k* [W/(m ² K)]	Komentar
HLAĐENJE TEČNOSTI		
Potopljeni u vidu cevnih zmija sa mešalicom	250 – 300	
Potopljeni sa vertikalnim cevima	500 - 650	w = 0,3 ÷ 0,4 m/s; $\Delta t_m = 5 \div 6 \text{ }^\circ\text{C}$
Cevi u plaštu, preplavljeni		
- amonijačni	250 – 800	w = 1,0 ÷ 2,5 m/s (brzina vode)
- freonski	200 – 700	$\Delta t_m = 5 \div 6 \text{ }^\circ\text{C}$
Cevi u plaštu, suvi, freonski		
- glatke cevi	350 – 900	w = 0,3 ÷ 0,8 m/s (brzina vode)
- cevi s unutrašnjim orebrenjem	500 – 1200	$\Delta t_m = 6 \div 8 \text{ }^\circ\text{C}$
HLAĐENJE VAZDUHA		
Suvi, prirodna cirkulacija vazduha, freonski s orebrenim cevnom zm.	4,5 – 6,0	$\Delta t_m = 12 \div 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Suvi, prirodna cirkulacija vazduha, freonski, pločasti	10 – 15	$\Delta t_m = 12 \div 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Suvi, prirodna cirkulacija vazduha, amonijačni, vertikalne cevne zmije		Temp. vazduha -18 ÷ -20 °C, $\Delta t_m = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, 14 do 18 glatkih cevi po visini, oko 10 orebrenih cevi po visini, 1 do 2 reda glatkih, 1 orebrenih
- glatke cevi	7 – 10	
- orebrene cevi	4,5	
Suvi, prirodna cirkulacija vazduha, amonijačni, horizontalne glatke cevi	6 – 7	Temperatura vazduha -18 ÷ -20 °C, $\Delta t_m = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 do 2 reda
Suvi, prinudna cirkulacija vazduha		Brzina strujanja vazduha u najužem preseku je 3 do 5 m/s
- glatke cevi	30 – 50	
- orebrene cevi	10 - 25	$q_i = 100 \div 200 \text{ W/m}^2$

Vazdušni hladnjaci

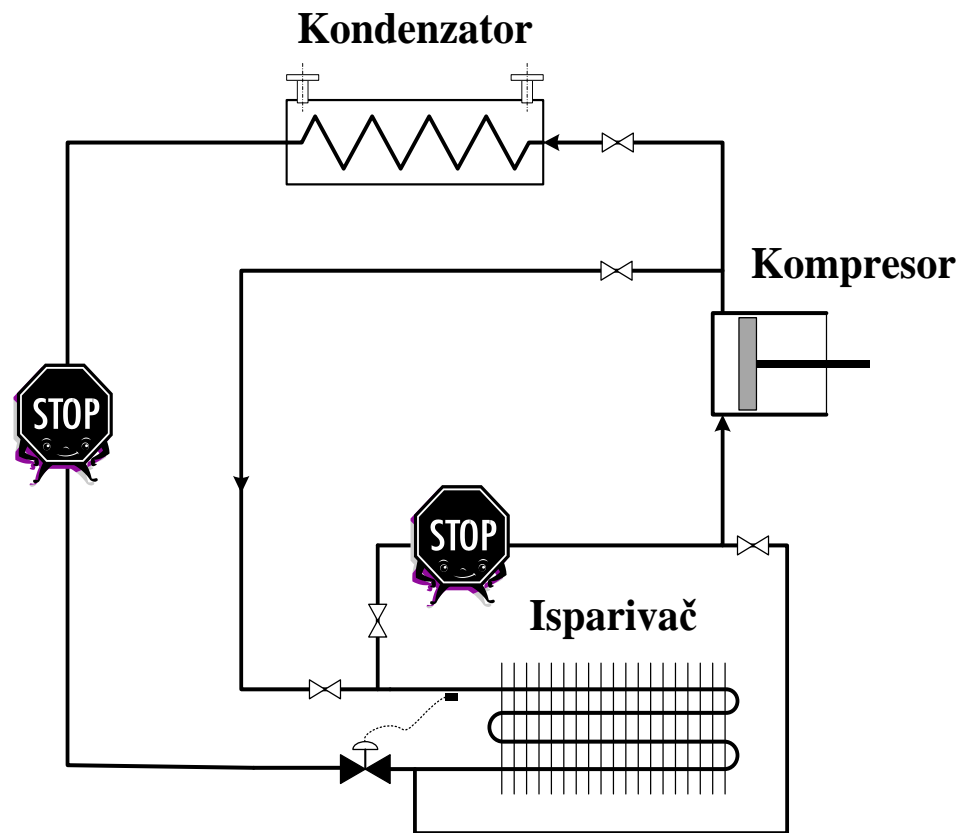
Otapanjeinja i leda s isparivačkih površina (defrostacija vazdušnih hladnjaka) - **Mogući načini defrostacije vazdušnih hladnjaka su:**

1. U komorama sa temperaturom iznad nule se kod manjih postrojenja **jednostavno isključi kompresor**, pri čemu vazduh iznad 0 °C cirkuliše kroz hladnjak i otapa inje ili led. *U slučaju većih hladnjaka ovakav proces može biti dugotrajan, pa se zbog toga obično hladnjak prska vodom.*
2. U komorama sa malo nižom temperaturom od nule primenjuje se **otapanje vodom**, koja se prska preko formiranog slojainja ili leda.
3. Kada je temperatura ispod –20 °C defrostacija se obavlja **toplom parom** visokog pritiska iz kondenzatora ili direktno iz potisnog voda kompresora. Početak i kraj procesa defrostacije se može kontrolisati ručno, pomoću vremenskog releja ili automatski merenjem debljineinja ili promene temperature vazduha nakon hladnjaka.
4. Kod malih isparivača se za otapanje koristi i **električni grejač**.

Otapanje inja i leda s isparivačkih površina (defrostacija vazdušnih hladnjaka) - *Otapanje inja sa hladnjaka vazduha toplom parom*



NORMALAN RAD



***OTAPANJE
(DEFROSTACIJA)***

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

Poslednji u nizu vitalnih delova rashladne instalacije, posle kompresora, kondenzatora i isparivača, je **ekspanzioni uređaj**

ULOGA: Njegova uloga je dvostruka:

- (1) da redukuje pritisak tečnog rashladnog fluida i
- (2) da reguliše protok fluida kroz isparivač.

NAČIN RADA: Ekspanzioni uređaj je u suštini otpornik jer pruža otpor i smanjuje protok, tako da pritisak pada, procesom prigušenja.

PODELA: U osnovi postoje dva tipa ekspanzionih uređaja, i to :

1. Tip sa promenljivim prigušenjem
2. Tip sa konstantnim prigušenjem

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

Kod tipa sa **promenljivim prigušenjem** obim otvaranja u oblasti protoka se menja u zavisnosti od tipa kontrole.

- Postoje dva tipa takvih kontrolnih uređaja i to su:
1. Automatski ekspanzioni ventil i
 2. Ekspanzioni ventil sa termostatom.

Pored ovih postoje i ventili sa plovkom, koji takođe spadaju u uređaje sa promenljivim ograničenjem.

- Ventil sa plovkom visokog pritiska održava tečnost u kondenzatoru na konstantnom nivou, dok ventil niskog pritiska održava konstantan nivo tečnosti u isparivaču.

Uređaji sa **konstantnim ograničenjem** su **kapilarne cevi**, koje su proste dugačke cevi malog prečnika.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

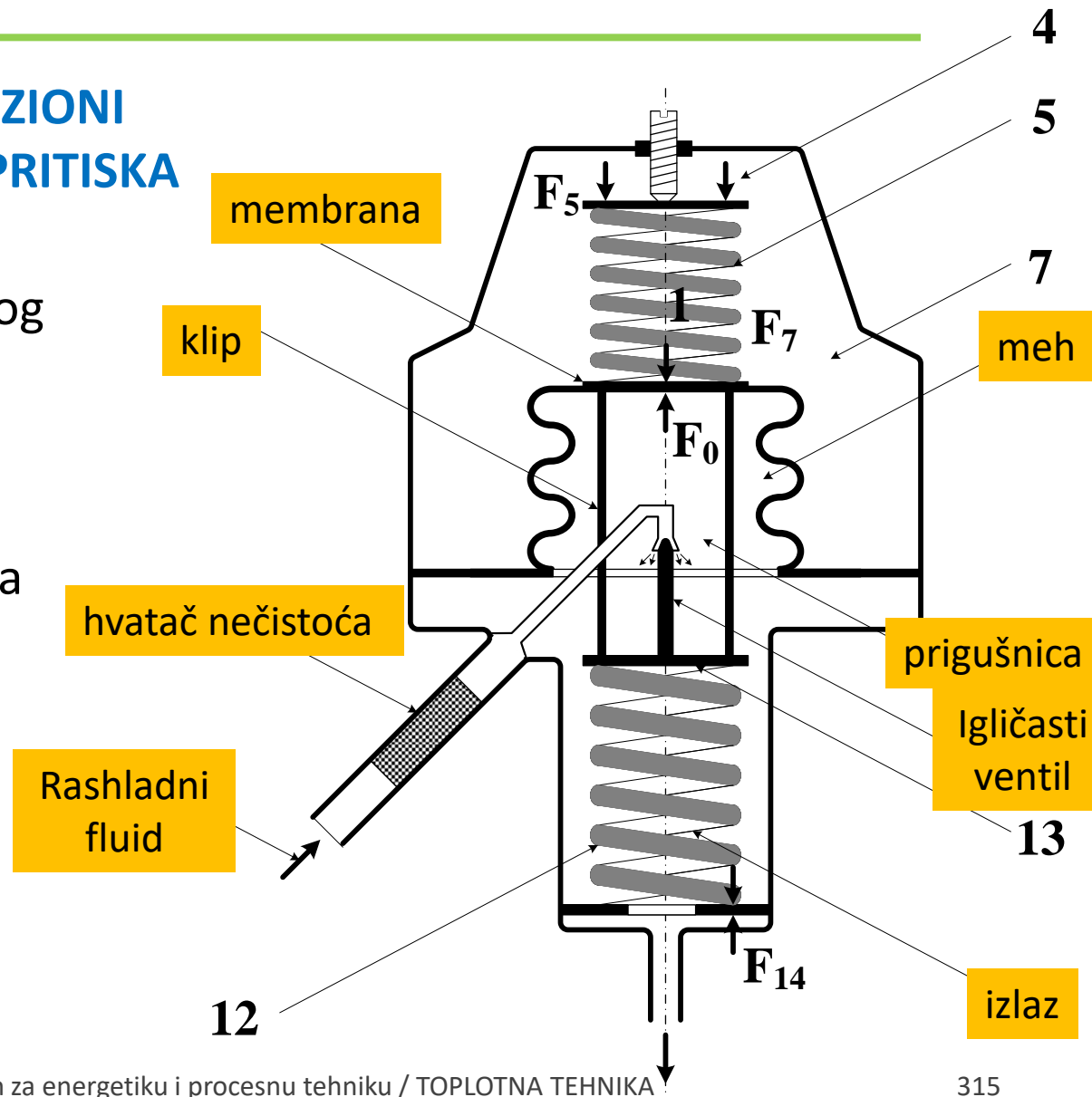
AUTOMATSKI ILI EKSPANZIONI VENTIL KONSTANTNOG PRITISKA

Osnovna funkcija

automatskog ekspanzionog ventila jeste **da održava konstantan pritisak u isparivaču.**

Igličasti zatvarač približava se prigušnici u poziciju određenu ravnotežom delujućih sila.

Pozicija igličastog ventila određuje stepen otvorenosti prigušnice.



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

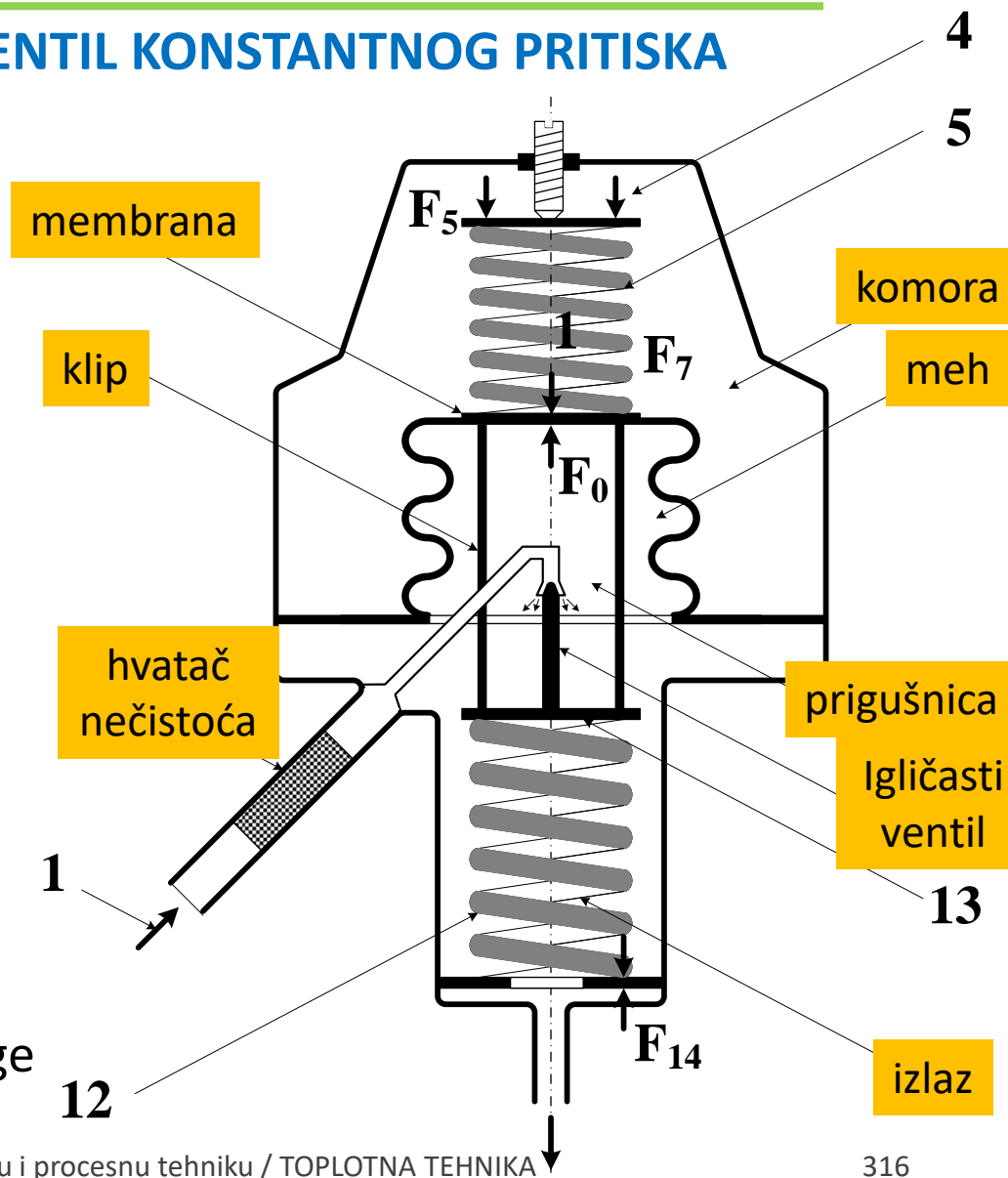
AUTOMATSKI ILI EKSPANZIONI VENTIL KONSTANTNOG PRITISKA

Sile koje nastoje da pomere igličasti ventil nadole su:

1. Sila F_7 koja deluje na meh srazmerna je p_{atm} u komori
2. Sila F_5 , rezultat delovanja opruge koja se podešava pomoću vijka

Sile koje deluju na membranu i element (13) nastoje da pomere igličasti ventil, tj. zatvore prigušnicu:

3. Sila F_0 koja deluje na membranu, koja je srazmerna ravnotežnom pritisku isparavanja
4. Sila F_{14} rezultat je delovanja opruge



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

AUTOMATSKI ILI EKSPANZIONI VENTIL KONSTANTNOG PRITISKA

U momentu zatvaranja važi relacija:

$$F_0 + F_{14} > F_7 + F_5$$

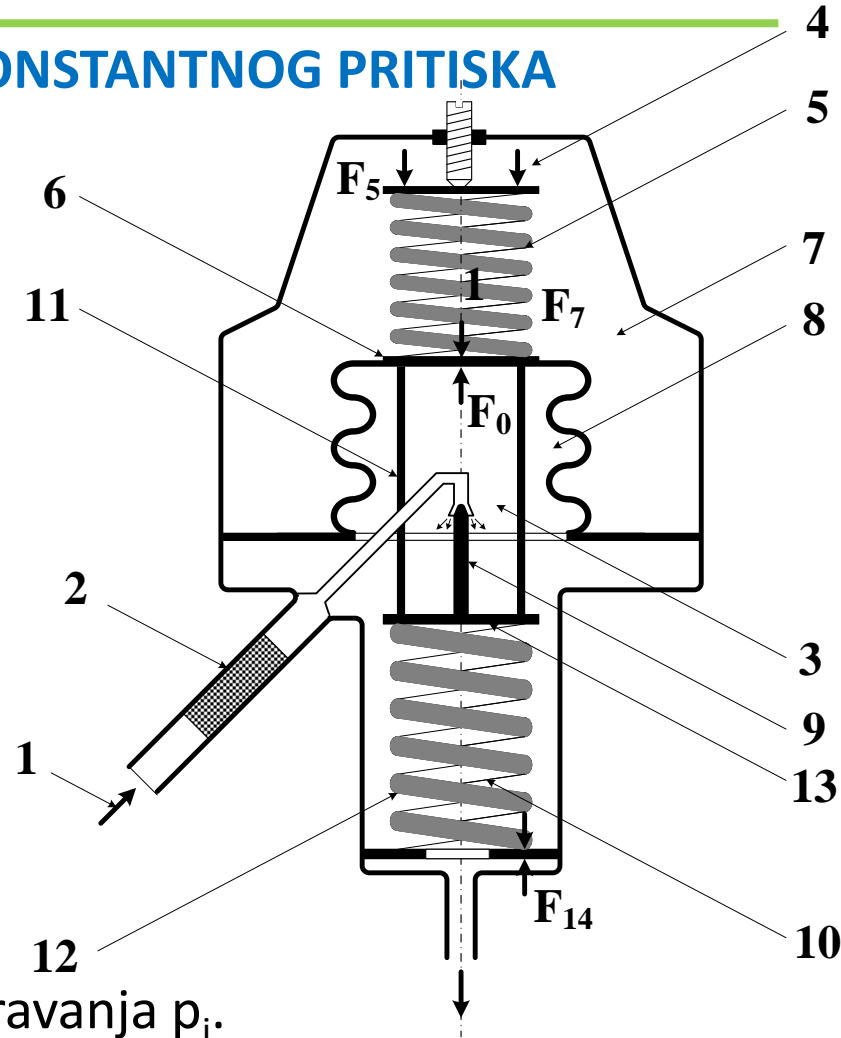
Pri startovanju kompresora, F_0 pada proporcionalno sa padom pritiska isparavanja. Ventil počinje da se otvara i tečni rashladni medijum ulazi u isparivač.

Za ravnotežnu poziciju važi:

$$F_0 + F_{14} = F_7 + F_5$$

gde F_0 odgovara konstatnom pritisku isparavanja p_i .

Sila F_5 se menja pomoću vijka za podešavanje (4)



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

AUTOMATSKI ILI EKSPANZIONI VENTIL KONSTANTNOG PRITISKA

UTICAJ PROMENE TOPLOTNOG OPTEREĆENJA NA RAD EKSP. VENTILA

- Kad toplotno opterećenje opada, količina isparenja se smanjuje, p_i teži da se smanji kako kompresor nastavlja da usisava paru. Kao rezultat, ekspanzioni ventil se otvara i dopušta većoj količini RF da uđe u isparivač, održavajući konstantan pritisak. Na taj način isparivač se puni tečnošću.
- U suprotnom, povećanjem toplotnog opterećenja povećava se i isparenje što uzrokuje povećanje pritiska p_i i ekspanzioni ventil nastoji da se zatvori, smanjujući ulaz RF u isparivač.

! Ovo govori da **automatski ekspanzioni ventil NIJE PODESAN za režime promenljivog opterećenja**, *(deluje suprotno - povećava protok tečnog RF u isparivač, dok se toplotno opterećenje smanjuje, i smanjuje protok RF u isparivač, kad se toplotno opterećenje povećava).*

Ovi ventili se primenjuju u postrojenjima rashladne snage do oko 35 kW.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

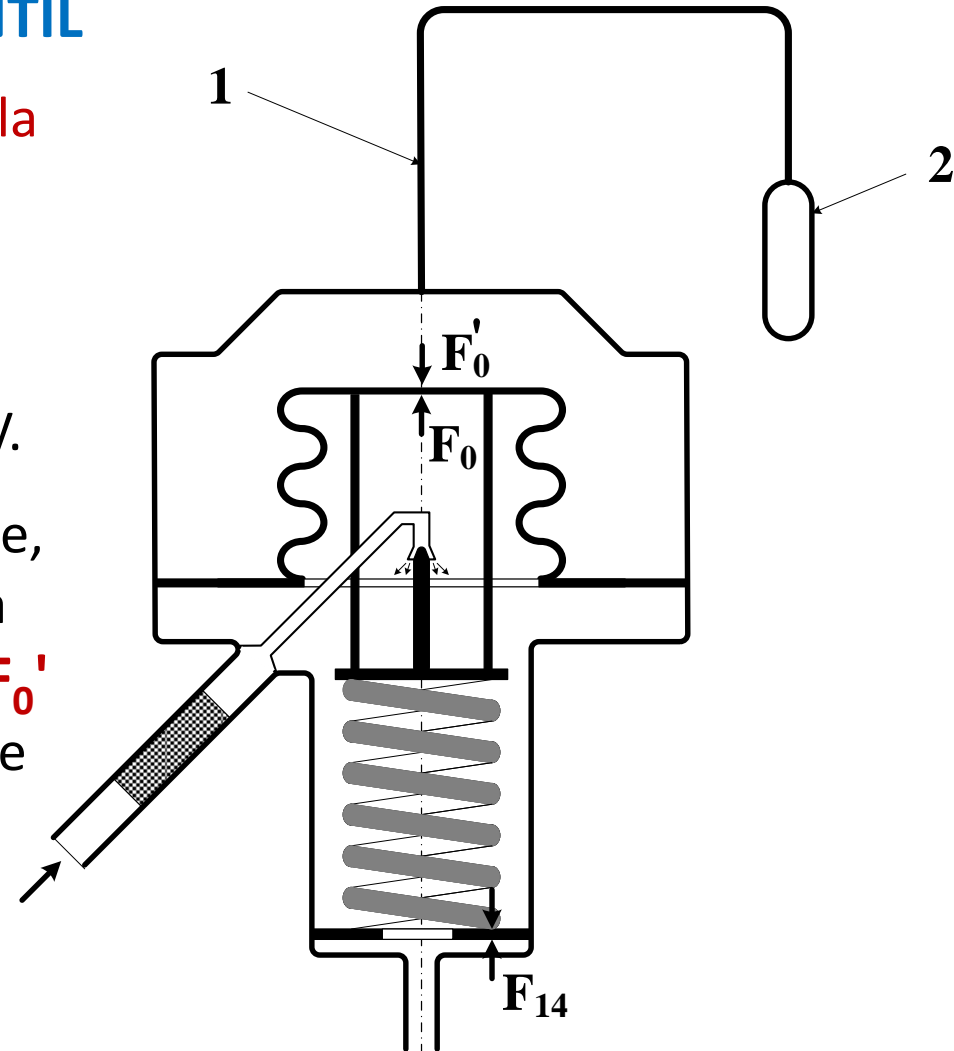
EKSPANZIONI UREĐAJ

TERMOSTATSKI EKSPANZIONI VENTIL

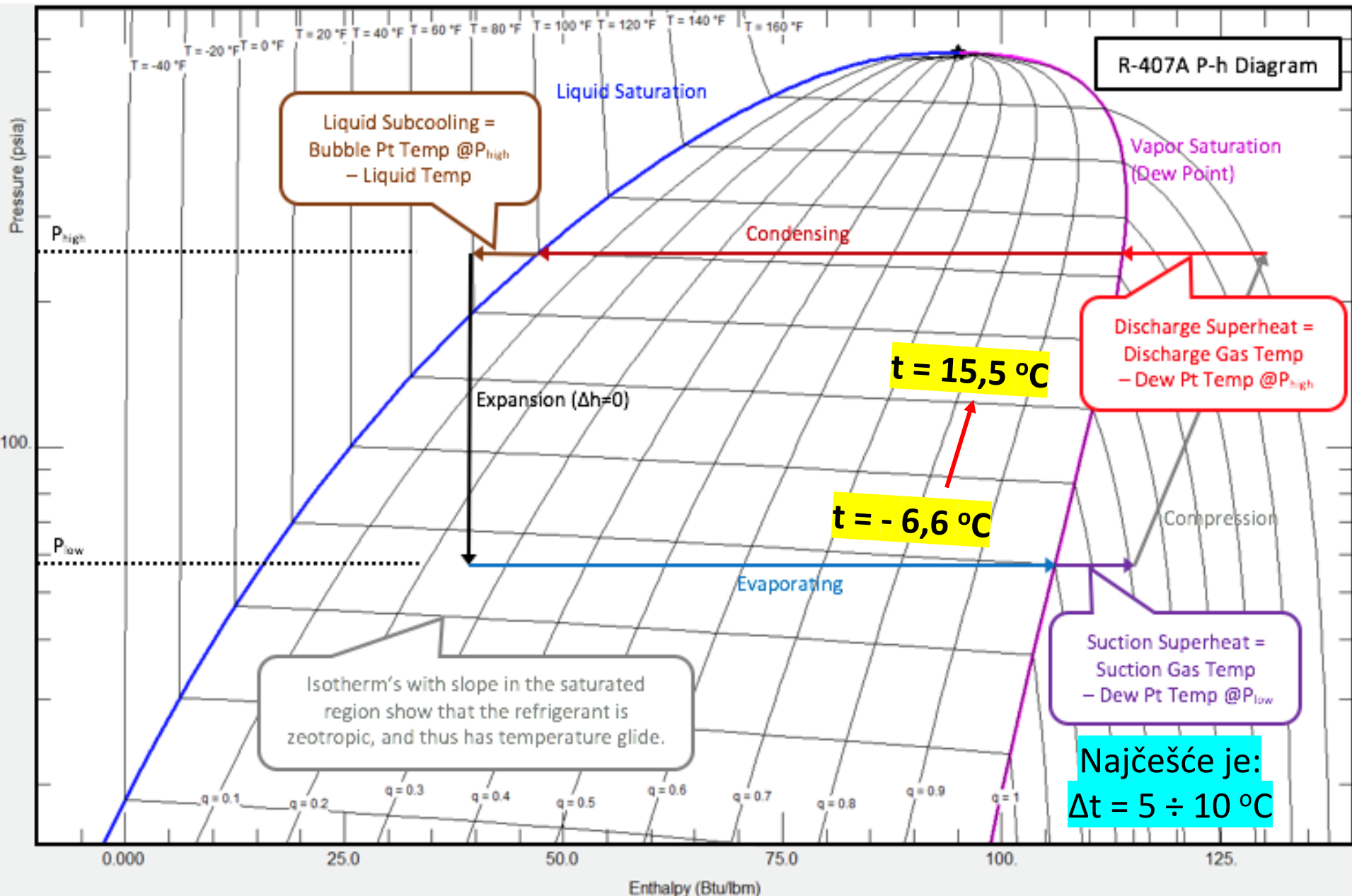
Kod termostatskih ekspanzionih ventila održava se konstantna temperatura pregrejane pare u isparivaču.

Konstrukcija ekspanzionog ventila sa termostatom se malo razlikuje od AEV.

U ovom slučaju, sile koje deluju nadole, na mehovima ($F_7 + F_5$) i koji nastoje da otvore ventil, **su zamenjena sa silom F_0'** koja deluje na mehove preko kapilarne cevi, koja je povezana sa balonom za isparavanje (2) koji je pričvršćen na izlazu iz isparivača.



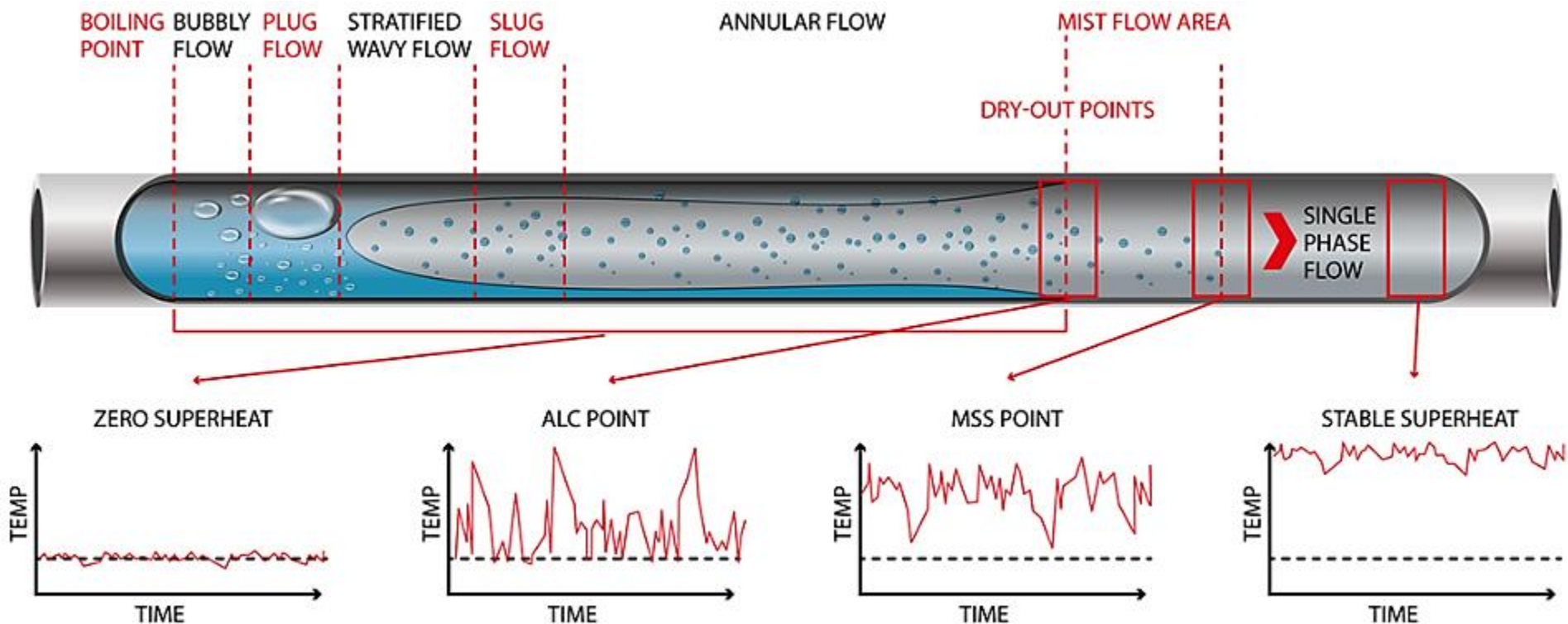
Pregrevanje pare u isparivaču



Najčešće je:
 $\Delta t = 5 \div 10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Pregrevanje pare u isparivaču

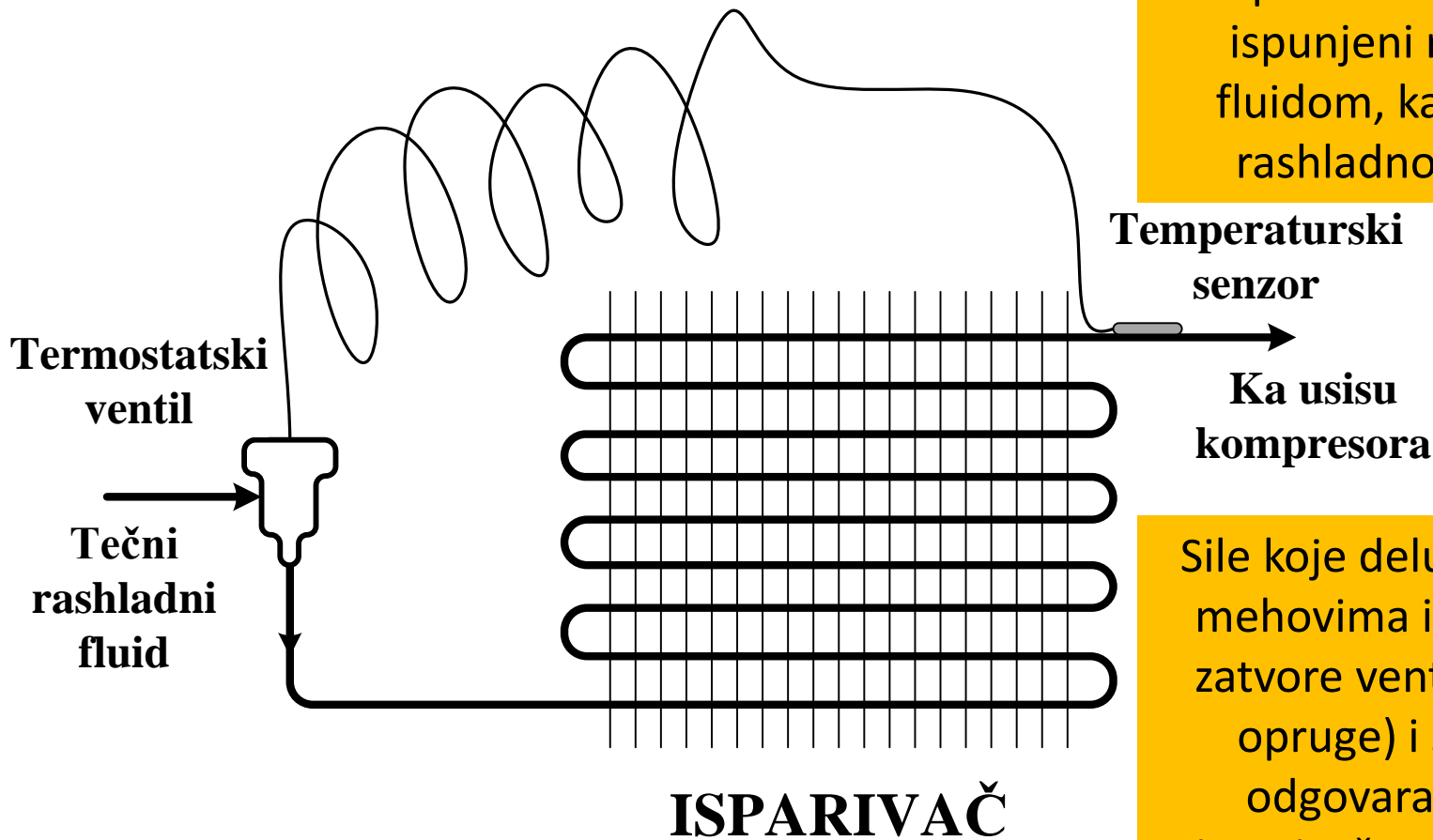
Odnos tečnosti i pare rashladnog fluida duž isparivača



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

TERMOSTATSKI EKSPANZIONI VENTIL



Kapilarna cev i balon su ispunjeni rashladnim fluidom, kao i u celom rashladnom sistemu

Sile koje deluju nagore na mehovima i koje teže da zatvore ventil su F_{14} (sila opruge) i sila F_0 koja odgovara pritisku u isparivaču p_i , isto kao i u slučaju kod AEV.

Pozicija termostatskog ekspanzionog ventila u rash

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

TERMOSTATSKI EKSPANZIONI VENTIL

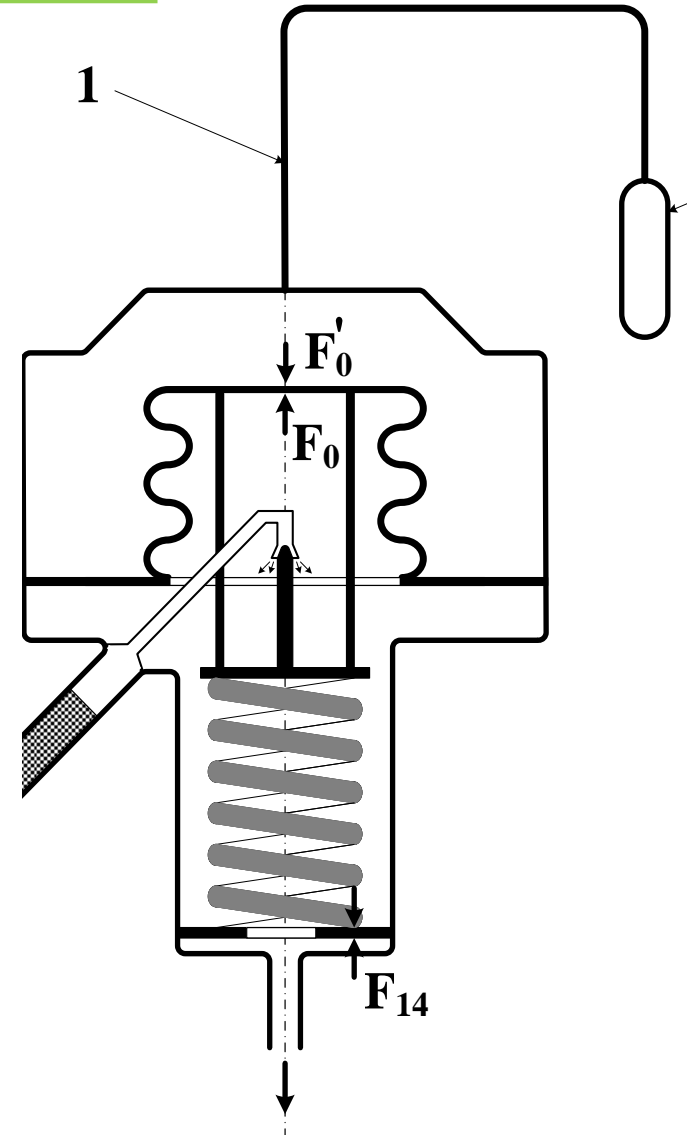
NAČIN RADA: Kada kompresor startuje, F_0 opada
Stvara se Δp na mehu koji stvara silu nadole što
dovodi do **otvaranja ventila**.

Stvara se Δt između izlaza i ulaza u isparivač,
odnosno pojavljuje se **pregrevanje pare**.

Otvorenost ventila je određena ravnotežom sila,
tj:

$$F_{14} = F'_0 - F_0$$

Podešavanjem prednapona opruge (početne
sabijenosti) podešava se i sila F_{14} , i na taj način se
kontrolirše stepen pregrevanja. *Uobičajeno fabričko
podešavanje opruge treba da omogući početak
otvaranja eksp. ventila sa pregrevanjem od 5 °C*



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

PRIMENA TERMOSTATSKOG EKSPANZIONOG VENTILA

UTICAJ PROMENE TOPLOTNOG OPTEREĆENJA NA RAD TERM. EKSP. VENTILA

- Kad se toplotno opterećenje povećava, rashladni fluid isparava u većoj količini u isparivaču, nego što kompresor trenutno može da usisa.
- Kao rezultat se javlja porast pritiska u isparivaču i pregrevanje pare raste.
- Povećanje pregrevanja uzrokuje veće otvaranje ekspanzionog ventila, što za posledicu ima veći protok rashladnog fluida u isparivaču.
- U isto vreme, povećanje usisnog pritiska p_i dovodi do povećanja rashladnog kapaciteta kompresora.

Smanjenje toplotnog opterećenja isparivača dovodi do obrnutog efekta.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

PRIMENA TERMOSTATSKOG EKSPANZIONOG VENTILA

Performanse termostatskog ekspanzionog ventila su veoma pogodne za primenu u gotovo svim aplikacijama rashladnih uređaja.

- + Termostatski ekspanzioni ventil deluje suprotno od automatskog, tj. **pogodni su za rad sa promenljivim toplotnim opterećenjima.**
- + Održavajući konstantno pregrevanje usisnih para, VENTIL održava isparivač **podjednako punim** rashladnim fluidom, bez obzira na promene toplotnog opterećenja.
- + Princip rada osigurava **efikasnu iskorišćenost površine** isparivača, čak i pod ekstremnim opterećenjima i
- + Osigurava da u kompresor ne dođe tečnost, što može da ga ugrozi.

Ovakve karakteristike omogućuju takvim ventilima univerzalnu primenu u rashladnoj tehnici.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

Vod za izjednačavanje pritiska

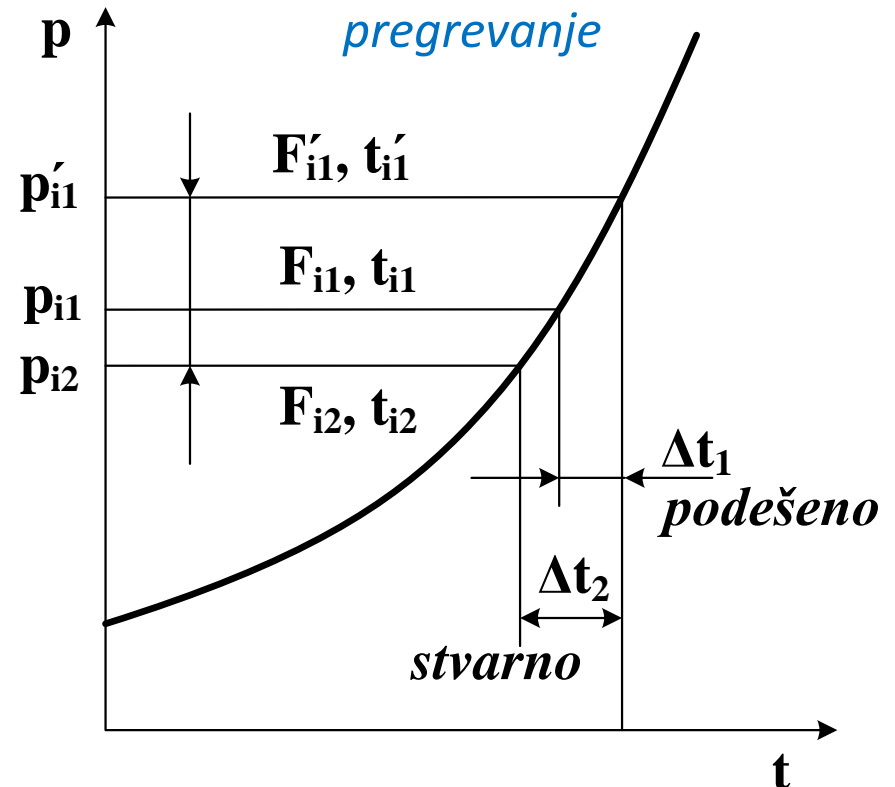
U dosadašnjem razmatranju se pretpostavljalo da je pritisak u isparivaču p_i konstantan čitavom dužinom isparivača. Međutim, u stvarnosti uvek postoji pad pritiska po dužini cevi isparivača.

Pad pritiska rashladnog fluida u slučaju velikih isparivača može da bude znatan. Razlika ovih pritisaka je posledica hidrauličkih otpora u isparivaču.

Dodatno Δp uzrokuje dodatno Δt , što povećava otvorenost ventila kad nije povećano opterećenje.

Rešenje je u korišćenju spoljašnje uravnotežavajuće veze.

Uticaj pada pritiska u isparivaču na pregrevanje



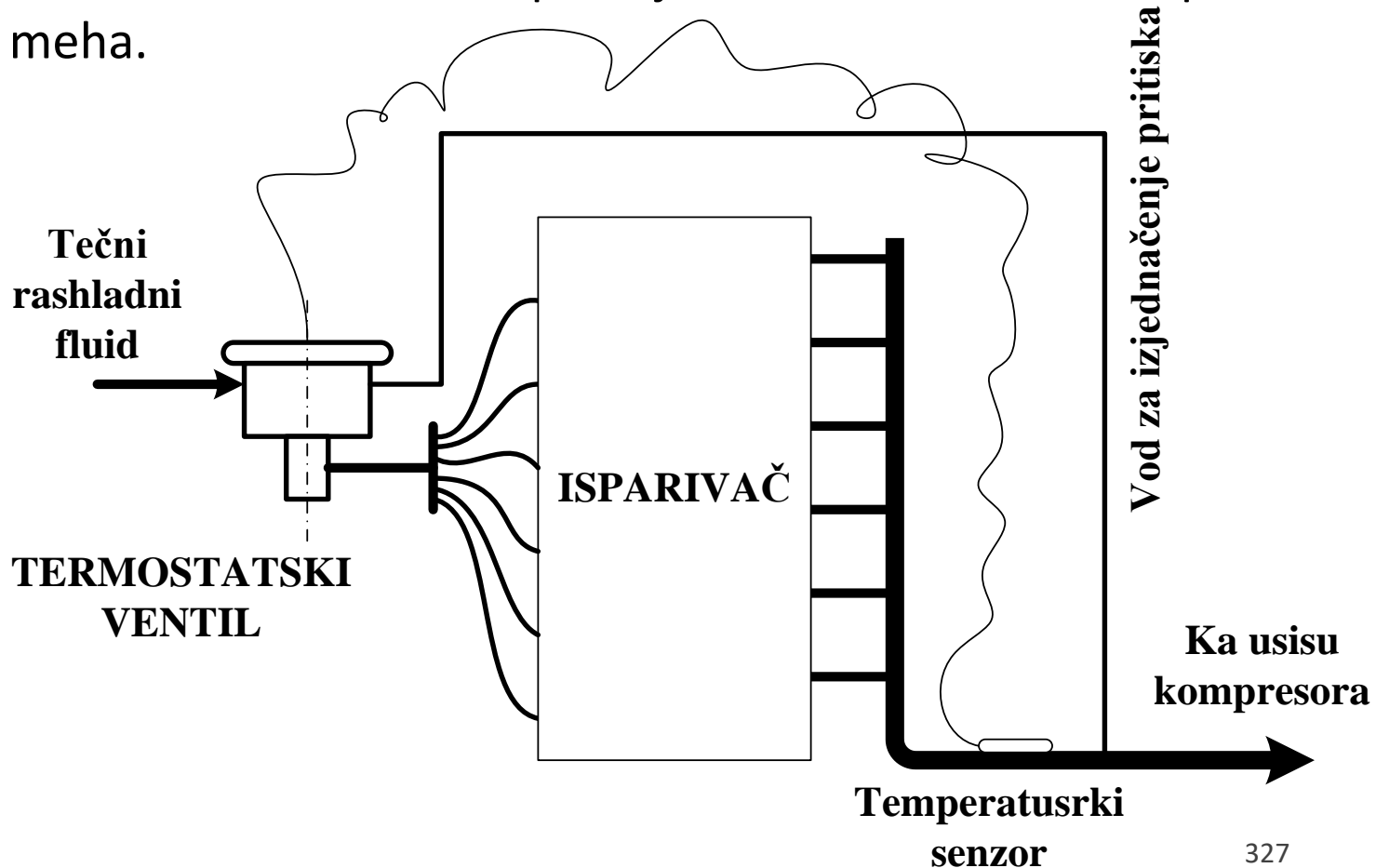
OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

Vod za izjednačavanje pritiska

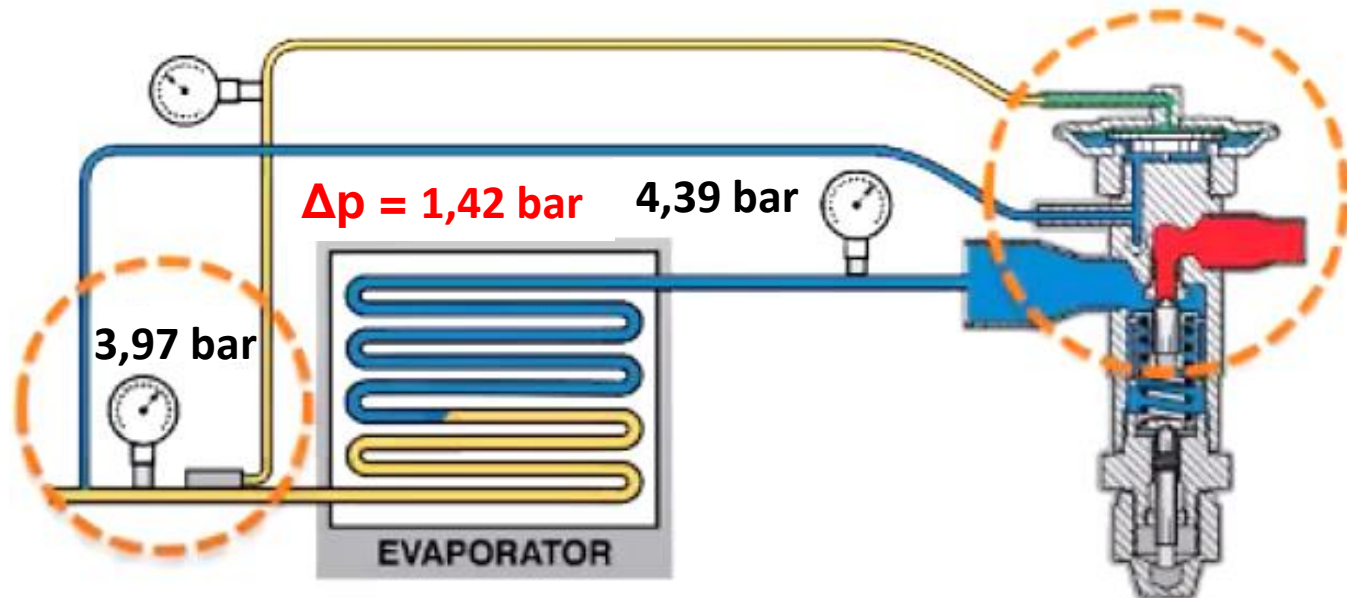
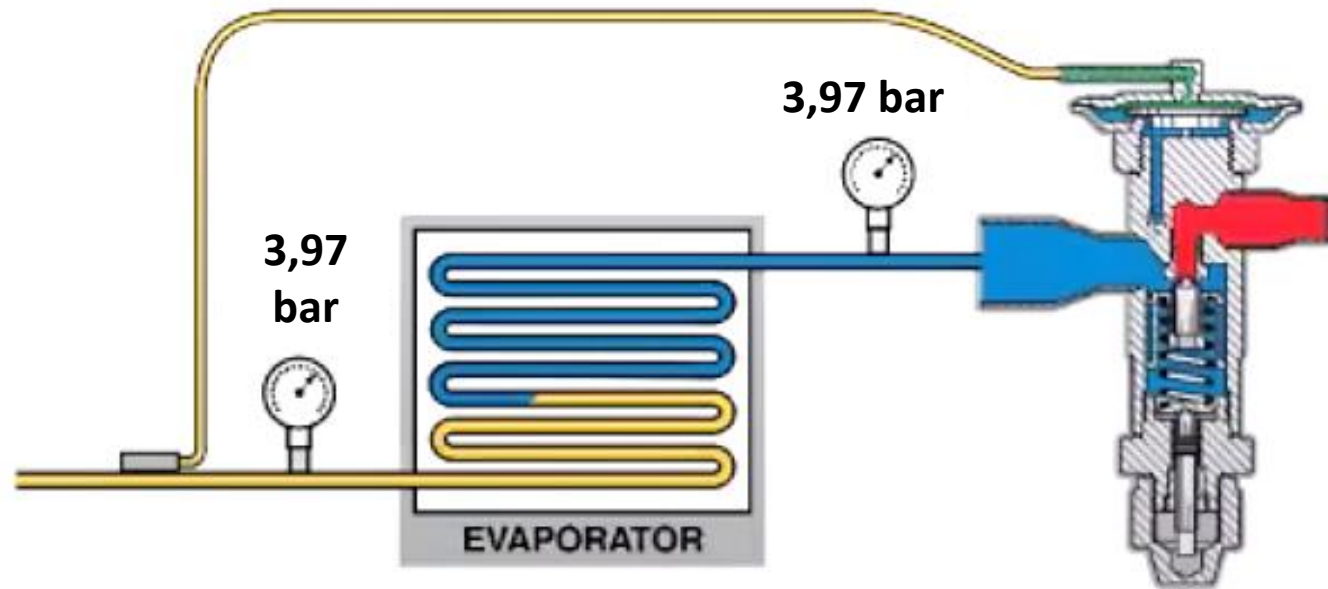
Vod prenosi pritisak iz izlaza iz isparivača na unutrašnjost meha ekspanzionog ventila. U isto vreme ne postoji veza između ulaza u isparivač i unutrašnjosti meha.

Termostatski ekspanzioni ventil sa vodom za izjednačenje pritiska

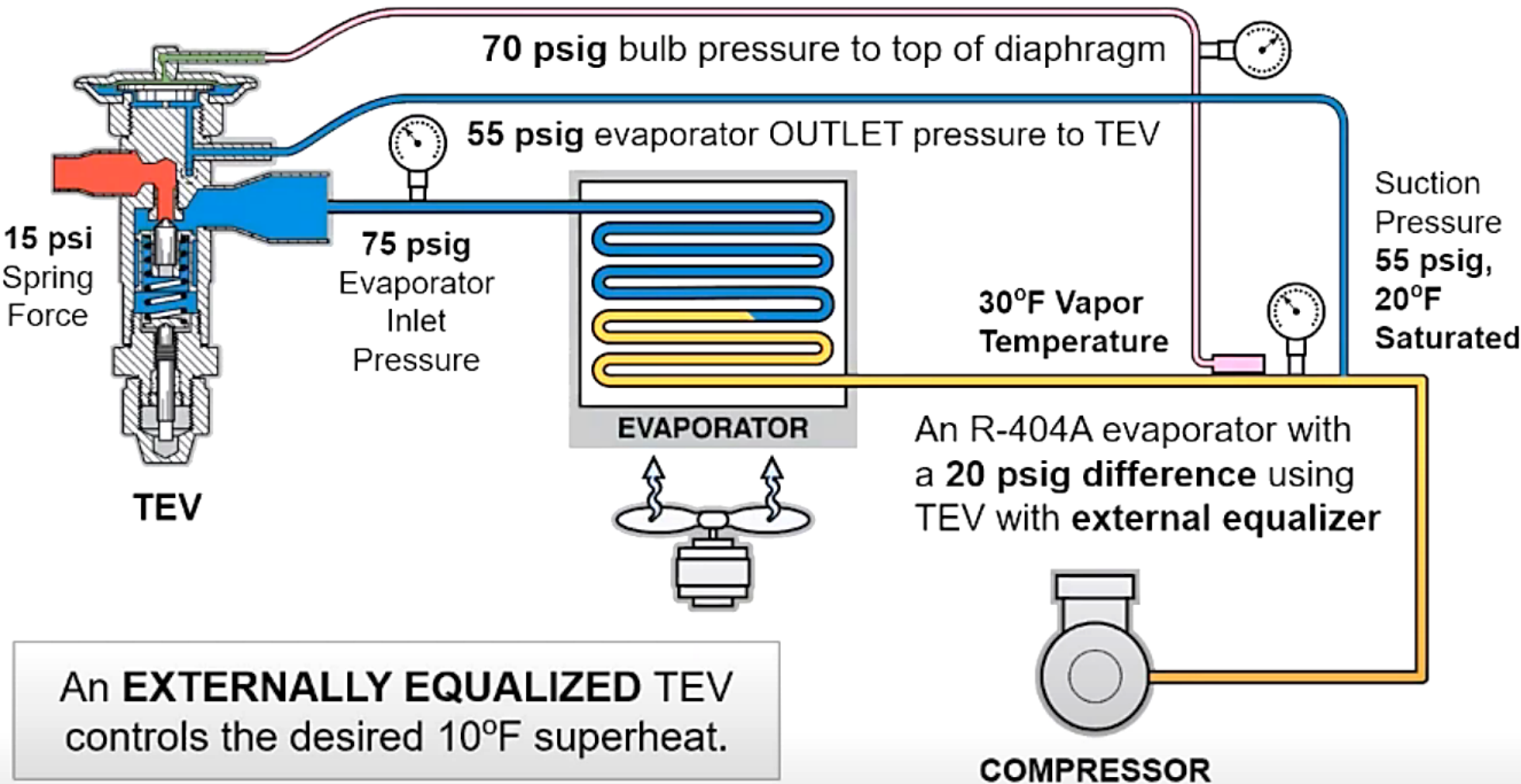


Vod za izjednačavanje pritiska

Na ovaj način je pritisak koji deluje na unutrašnjost meha uvek jednak pritisku na izlazu iz isparivača, kompenzujući efekat pada pritiska kroz cev isparivača.



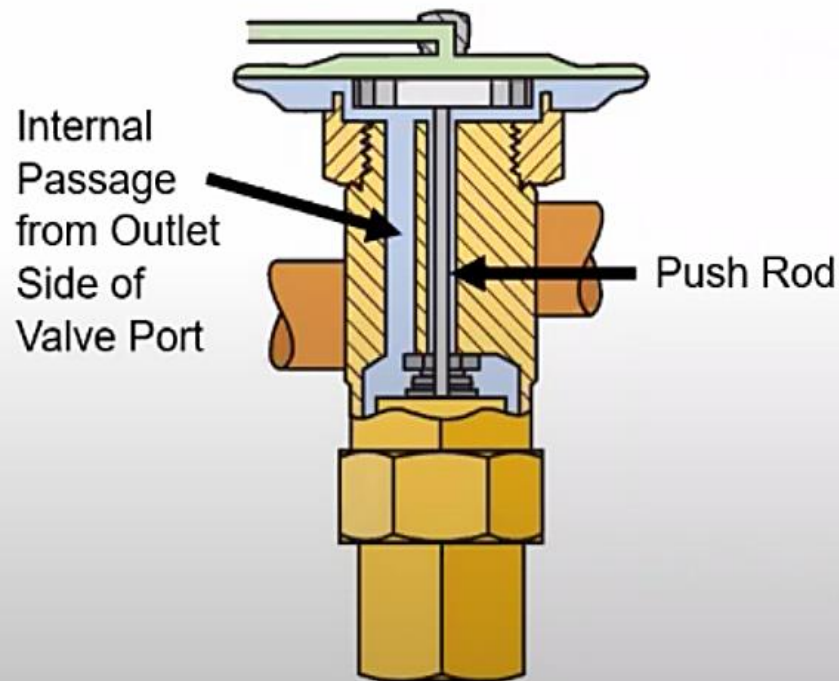
Vod za izjednačavanje pritiska



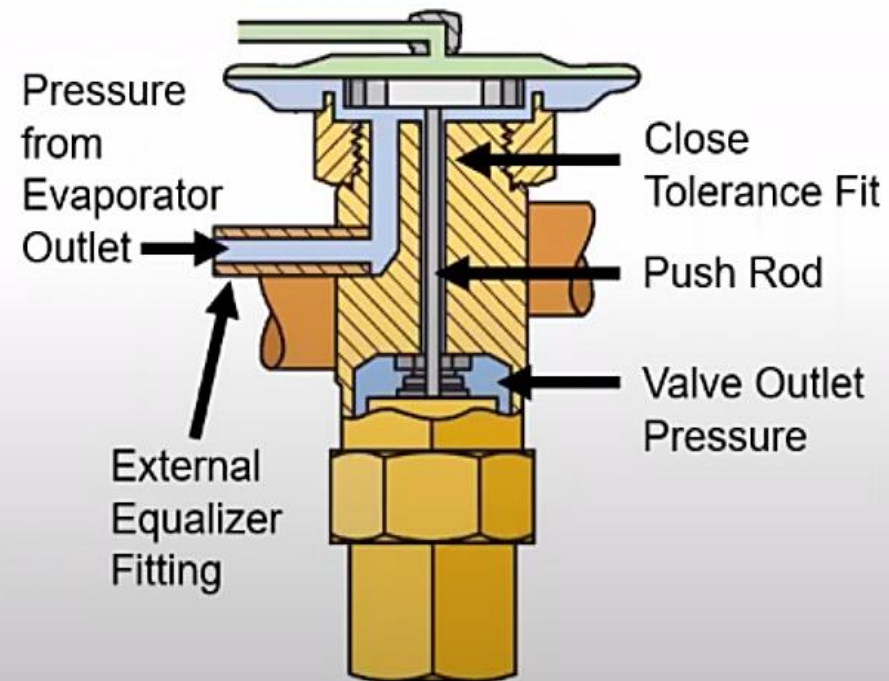
Vod za izjednačavanje pritiska

Unutrašnji presek ekspanzionog ventila sa i bez voda za izjednačavanjem pritiska

INTERNALLY EQUALIZED



EXTERNALLY EQUALIZED



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

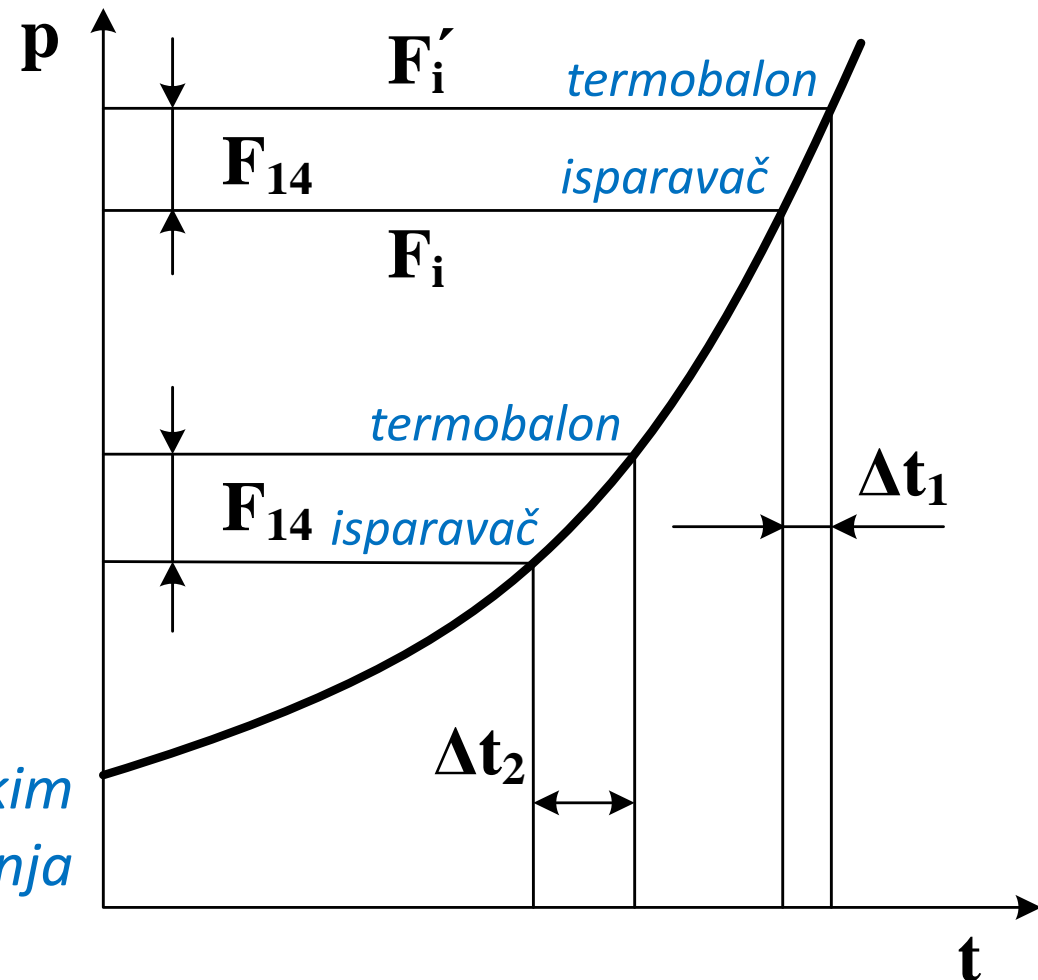
EKSPANZIONI UREĐAJ

Termostatski ekspanzioni ventil sa različitim pogonskim i rashladnim fluidom

Iz karaktera ravnotežne krive RF se može uočiti da se Δt (razlika temperature isparavanja i termobalona) povećava smanjenjem temperature isparavanja.

I obrnuto

Povećanje Δt pri niskim temperaturama isparavanja



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

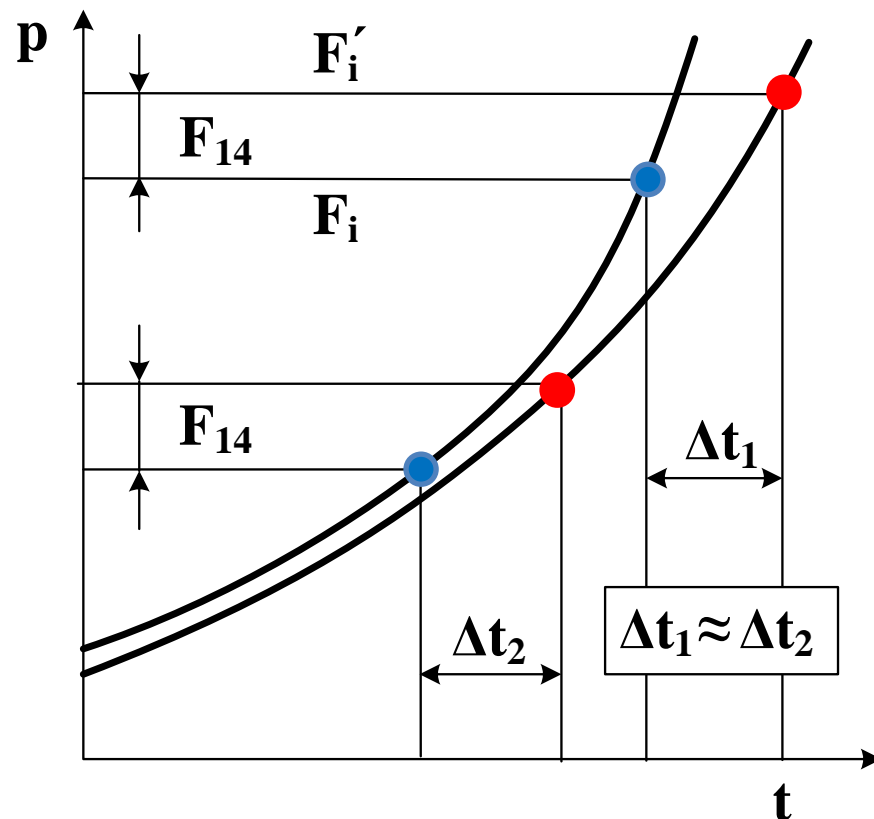
EKSPANZIONI UREĐAJ

Termostatski ekspanzioni ventil sa različitim pogonskim i rashladnim fluidom

Metoda kojom pregrevanje može ostati nezavisno od temperature isparavanja se postiže različitim, ali pogodnim pogonskim fluidom u senzoru temperature.

Njegova kriva ravnotežne temp. treba da je nešto **položenija** u odnosu na rashladni fluid.

Uviđa se da stepen pregrevanja Δt **uglavnom ostaje konstantan na različitim temp. isparavanja.**



Ostvarivanje ravnomernog pregrevanja pomoću termostatskog ventila sa različitim pogonskim i rashladnim fluidom

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

Kapilarna cev

Kapilarne cevi su ekspanzioni uređaji konstantnog prigušenja.

To je dugačka cev malog prečnika, koja direktno spaja kondenzator sa isparivačem.

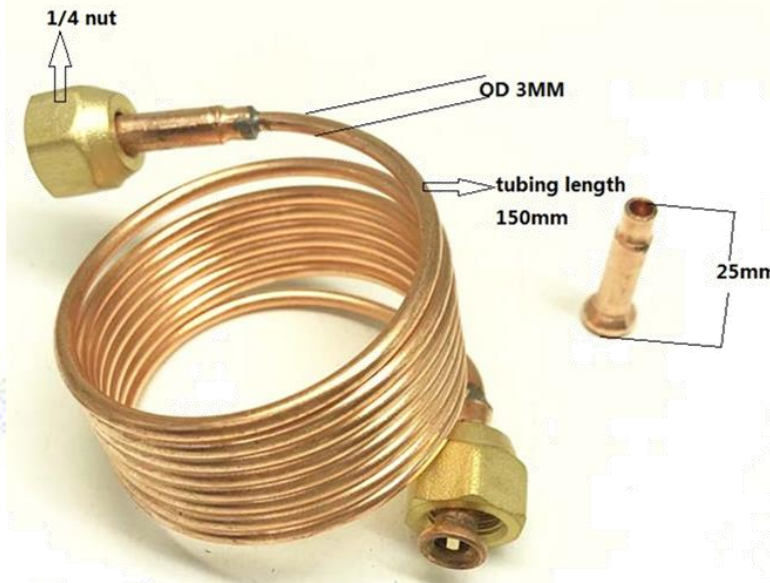
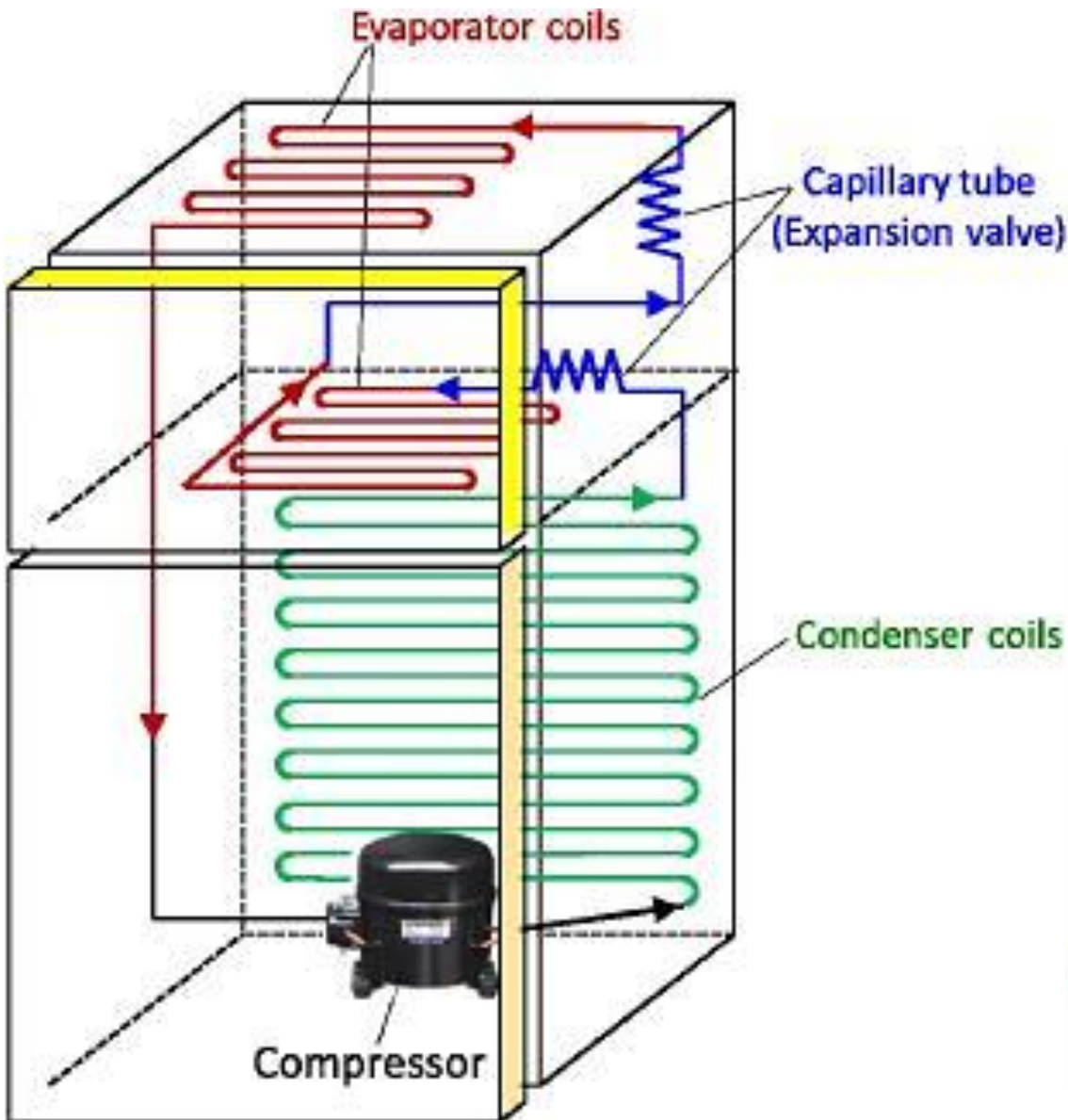
Pad pritiska kroz kapilarnu cev je posledica: **Trenja** i **Ubrzanja**.

Ukupni pad pritiska u kapilari jednak je razlici pritisaka kondenzacije i isparavanja.

Željeni protok kapilarne cevi je definisan potrebama isparivača.

► *Za dato stanje rashladnog fluida na ulazu u kapilarnu cev, protok je direktno proporcionalan padu pritiska i prečniku cevi, a obrnuto proporcionalan njenoj dužini.*

KAPILARNA CEV



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

EKSPANZIONI UREĐAJ

Kapilarna cev

DIMENZIONISANJE KAPILARNE CEVI podrazumeva izbor prečnika i dužine za zadati protok rashladnog fluida.

- Zadatu vrednost razlike pritisaka kondenzacije i isparavanja je moguće ostvariti brojnim kombinacijama **dužine i prečnika cevi**.
- Usvaja se jedna kao pogodna za projektovani **pad pritiska i protok**.

PRIMENA: Uprkos slaboj regulaciji protoka sa promenom $p_{\text{kond.}}$ i $p_{\text{isp.}}$, kapilarne cevi su najčešće primenjivani eksp. uređaji u malim rashladnim uređajima, kao što su kućni hladnjaci i zamrzivači i kućni klima-uređaji.

→ Prednost im je jednostavnost, niska cena i odsustvo pokretnih delova.

Pogodna je za **on-off** regulaciju jer je stalno otvorena, pa pri zaustavljanju kompresora dopušta izjednačenje visokog i niskog pritiska i daje mogućnost za restartovanje motora kompresora na hladno. To omogućava korišćenje elektromotora sa malim startnim momentom.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

TIPOVI PROCESNIH APARATA

Nezaobilazni elementi rashladnog postrojenja su i pomoćni aparati, armatura i cevovod.

U pomoćne aparate spadaju:

- 1. Odvajači tečnosti,**
- 2. Međuhladnjaci,**
- 3. Skupljači tečnosti,**
- 4. Odvajači ulja,**
- 5. Odvajači vazduha,**
- 6. Pomoćni razmenjivači toplote i dr.**

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1. ODVAJAČI TEČNOSTI

NAMENA: Odvajači tečnosti služe za odvajanje kapljica tečnog rashladnog fluida iz vlažne pare, koja struji od isparivača prema kompresorima.

NAČIN RADA: Ovo odvajanje tečnosti se ostvaruje:

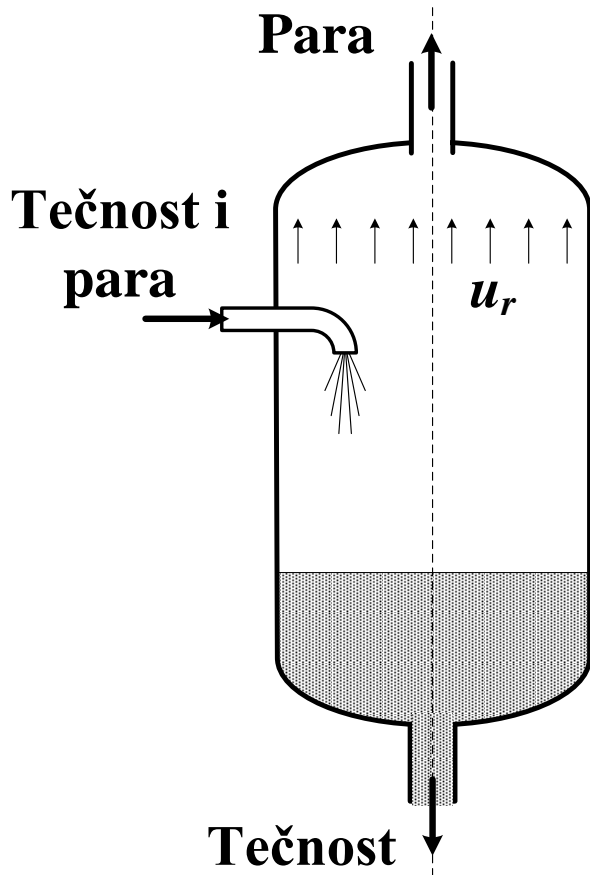
- naglim smanjenjem brzine i
- promenom pravca strujanja rashladnog fluida u odvajачima tečnosti.

KONSTRUKCIJA: To su cilindrični sudovi horizontalnog ili vertikalnog oblika.

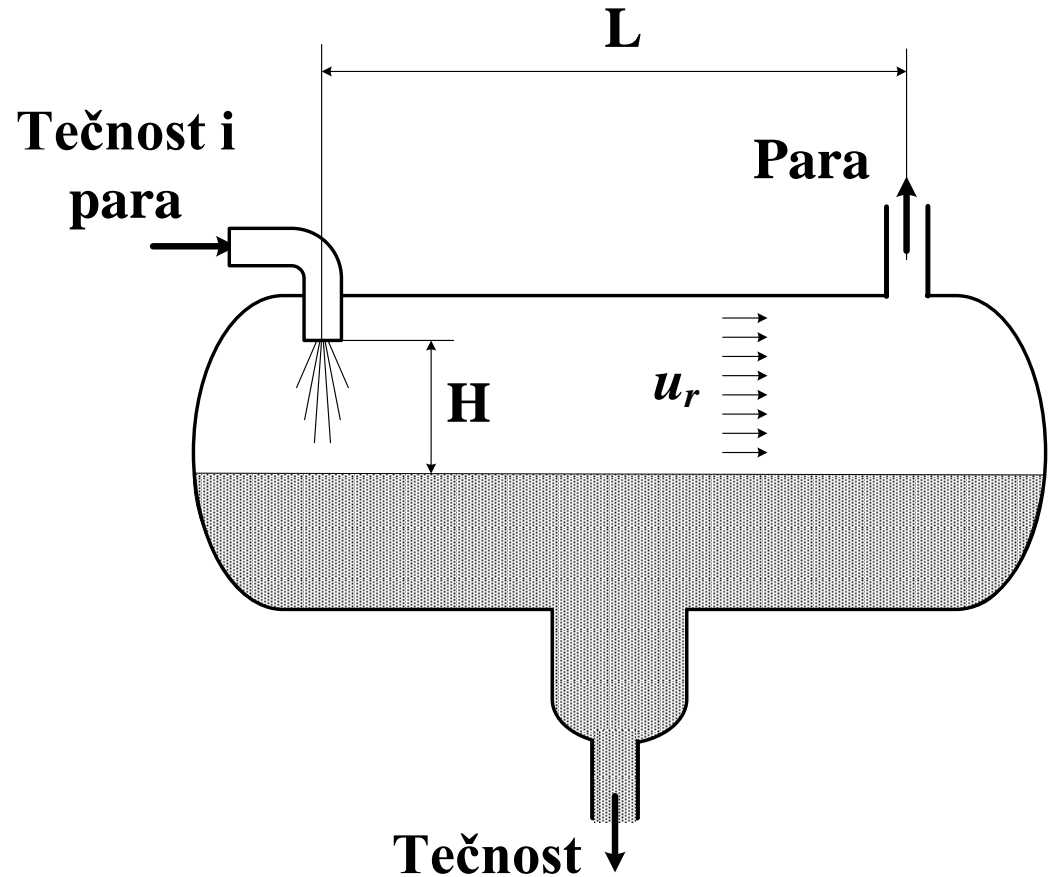
PRIMENA: Odvajači tečnosti se koriste kod potopljenih isparivača, koji rade sa gravitacionom ili pumpnom cirkulacijom.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1. ODVAJAČI TEČNOSTI



Vertikani odvajáč



Horizontalni odvajáč

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

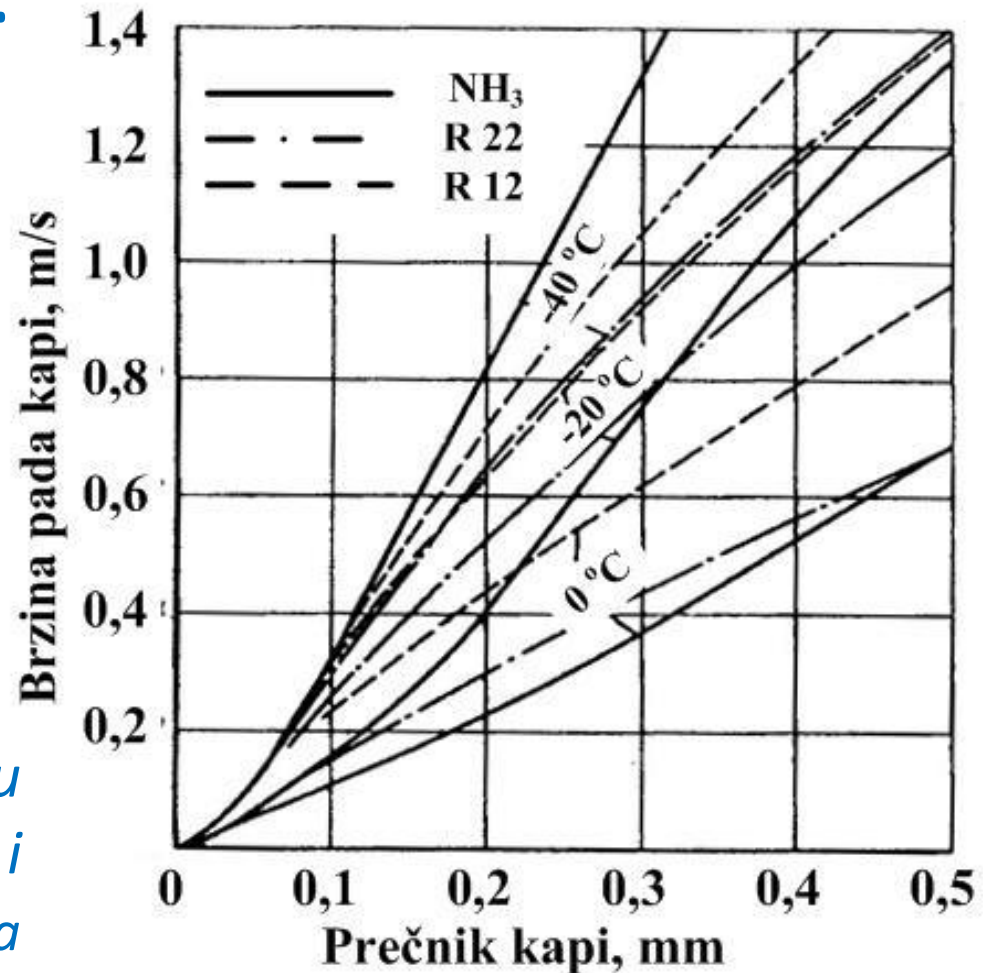
1. ODVAJAČI TEČNOSTI

ODABIR BRZINE PADA KAPI:

U vertikalnom odvajaju tečnosti se izdvajaju kapljice **čija brzina pada** je veća od brzine pare rashladnog fluida u_r

U horizontalnom odvajaju tečnosti se odvajaju kapi čija je brzina pada veća od $u_r \cdot H/L$.

Brzine pada kapi NH_3 , R12 i R22 u zavisnosti od prečnika kapi i temperature isparavanja



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1. ODVAJAČI TEČNOSTI

TEČNI UDAR:

Odvajači tečnosti u donjem delu (manja zapremina) ispunjeni su tečnošću, gornjem delu parom (odakle se para vodi do kompresora).

Pojava tečnosti može uzrokovati tečni udar i havariju kompresora:

- Na tečni udar su naročito osetljivi **KLIPNI KOMPRESORI**, gde isti može da uzrokuje lom klipa, klipnjače, pa i kolenastog vratila.
 - **VIJČANI KOMPRESORI** su manje osetljivi na tečni udar, ali i kod njih treba izbegavati ovu pojavu.
- Odvajači treba da se dimenzionišu tako da se u svim režimima rada postrojenja spreči pojava tečnosti na usisu kompresora.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1. ODVAJAČI TEČNOSTI

NIVO TEČNOSTI U ODVAJAČU

U stacionarnom radu rashladnog postrojenja nivo tečnosti u odvajaču je stabilan i kreće se oko zadate vrednosti.

Međutim pro promeni **OPTEREĆENJA ISPARIVAČA**, nivo se menja i to zavisno od karaktera promene.

► TRI OSNOVNA UTICAJA OD KOJIH ZAVISI PROMENA NIVOVA SU:

1. Izmena količine tečnosti u isparivačima,
2. Izmena količine tečnosti u povratnom cevovodu (od isparivača do odvajača),
3. Penjenje tečnosti u odvajaču, pri naglom smanjivanju temperature isparavanja.

Nivo tečnosti u odvajačima se održava automatski, a tečnost se odvodi u isparivače pumpom ili gravitaciono.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1. ODVAJAČI TEČNOSTI

1. KOLIČINA TEČNOG RASHLADNOG FLUIDA u cevima isparivača zavisi od rashladnog opterećenja isparivača i kratnosti cirkulacije

- ✓ Ukoliko je isparivač opterećen 100% i radi sa kratnošću cirkulacije $n = 4 \text{ 1/h}$, u isparivaču će para nastajati burno (intenzivno isparavanje), a njegova zapremina će biti ispunjena tečnošću sa oko 30-40%.
- ✓ Kada nema opterećenja praktično se u isparivaču nalazi samo tečnost.
- ✓ Količina tečnog RF u povratnim cevovodima takođe se menja u zavisnosti od opterećenja i ova promena ima isti karakter, kao kod isparivača.

2. POJAVA PENE: Pri brzom padu temperature isparavanja dolazi do penjenja tečne faze RF, usled isparavanja i pothlađivanja fluida. *Kod instalacija koje rade sa freonima, pored ovakvog penjenja, može da se pojavi i pena nastala iz rastvorenog ulja u freonu.*

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

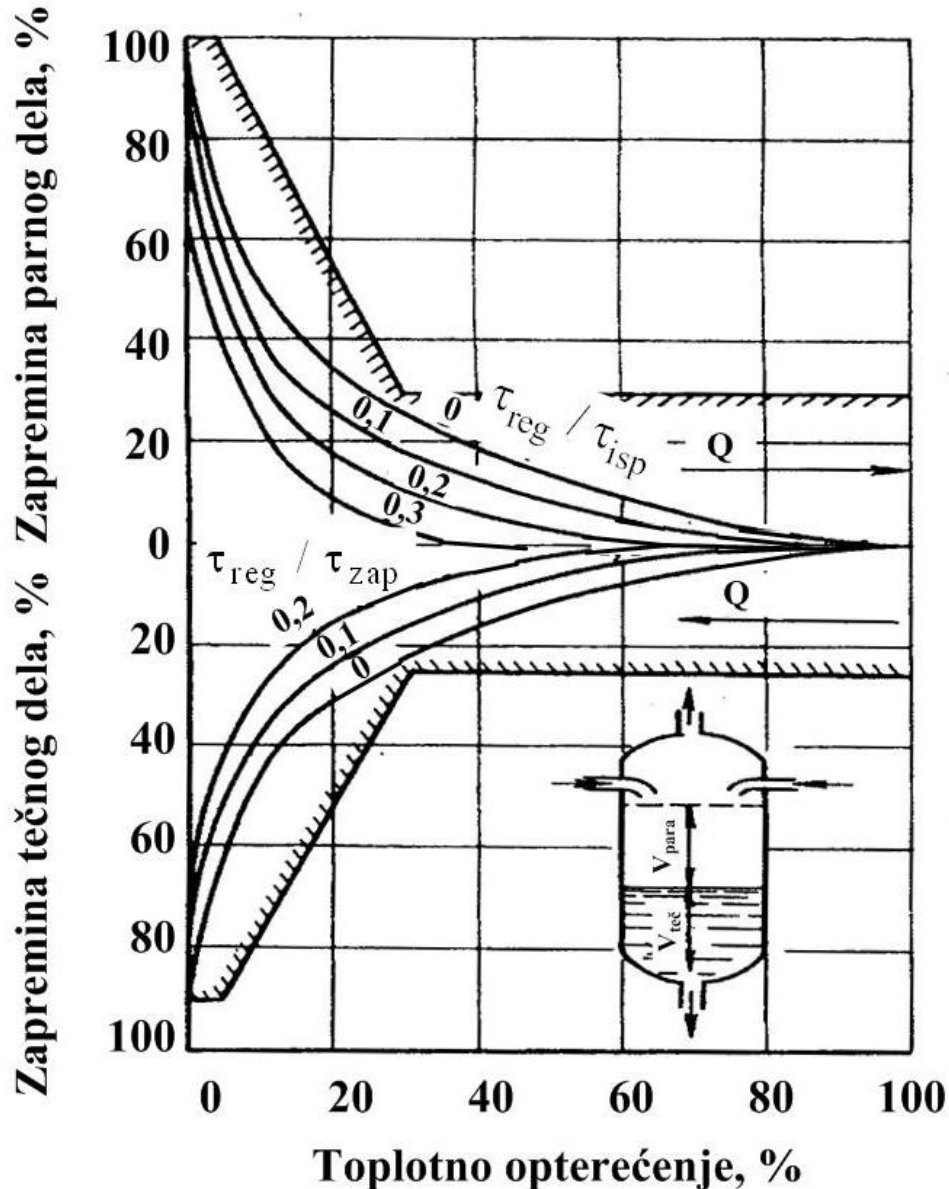
1. ODVAJAČI TEČNOSTI

ODREĐIVANJE ZAPREMINE

odvajača tečnosti u zavisnosti od sadržaja tečnosti u cevima i isparivačima i u zavisnosti od brzine promene toplotnog opterećenja.

► Kao parametri uvedeni su odnosi τ_{reg}/τ_{zap} i τ_{reg}/τ_{isp} gde su:

- τ_{reg} vreme potrebno za smanjenje opterećenja od 100 na 0%.
- τ_{zap} vreme potrebno da se sistem potpuno napuni preko regulacionog ventila.
- τ_{isp} vreme potrebno za isparenje rashladnog fluida koju sadrži ceo sistem.



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1. ODVAJAČI TEČNOSTI

ODREĐIVANJE ZAPREMINE ODVAJAČA TEČNOSTI

- Iz dijagrama sledi da na veličinu odvajanja tečnosti dominantan uticaj ima **interval u promeni opterećenja.**
- Kod postrojenja kod kojih je isparivač vezan samo na jedan kompresor bez regulacije kapaciteta i kod kojeg se, nakon zaustavljanja kompresora, ne dopusti dopuna isparivača RF, može da se primeni **odvajanje tečnosti relativno male zapremine.**
- Ukoliko se opterećenje menja od 0 do 100%, potreban je **veći odvajanje** tečnosti, koji približno ima istu zapreminu kao zapremina isparivača i povratnog cevovoda.
- U praksi rashladno opterećenje obično varira između 30 i 100%, pa se grubo može reći da zapremina parnog prostora odvajanja treba da bude ne manja od 30 do 40% zapremine isparivača i povratnog cevovoda.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

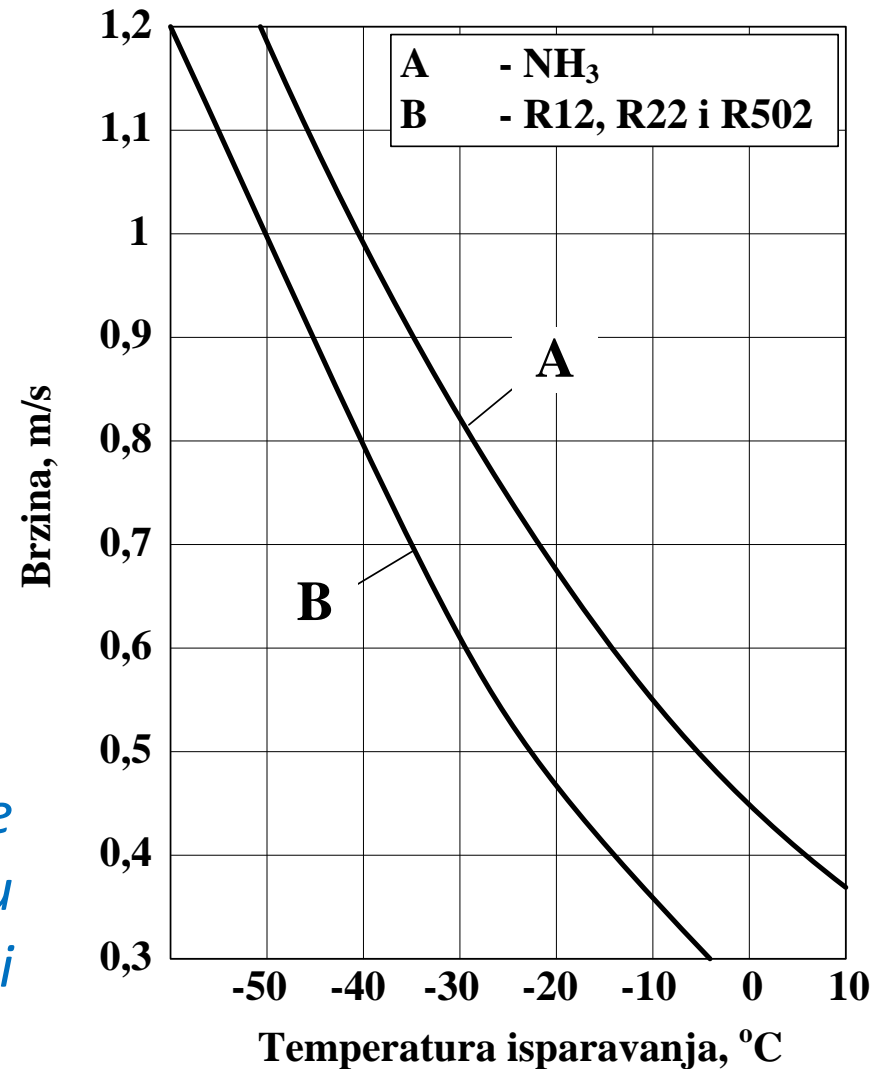
1. ODVAJAČI TEČNOSTI

PRORAČUN ODVAJAČA TEČNOSTI

U praksi odvajajući tečnosti se dimenzionišu na osnovu zapreminskog protoka rashladnog fluida uzimajući u obzir:

- Preporučene brzine pare i
- Vremena zadržavanja pare u odvajaju.

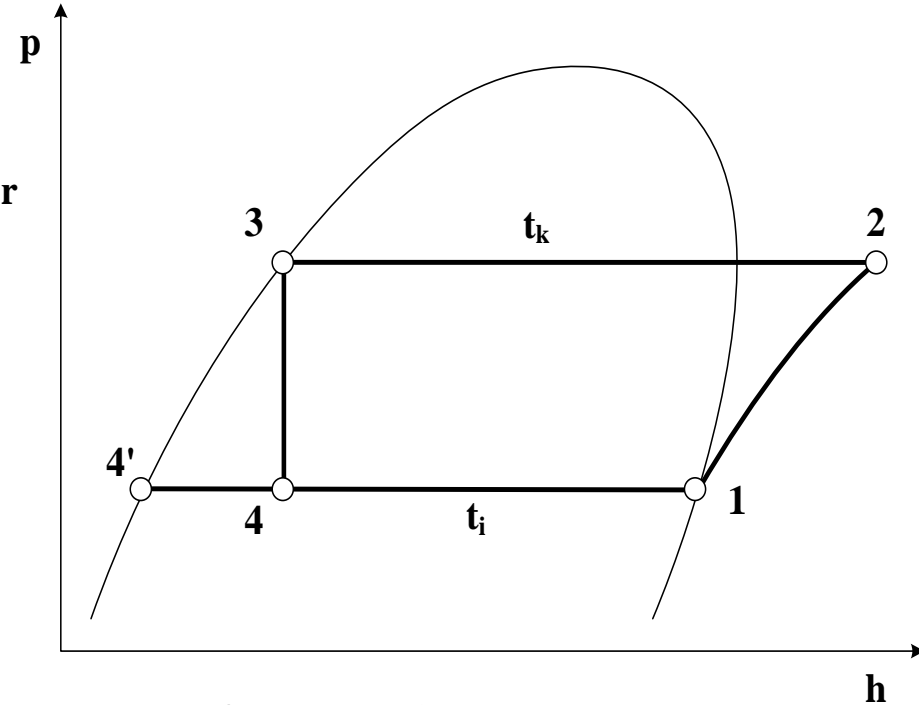
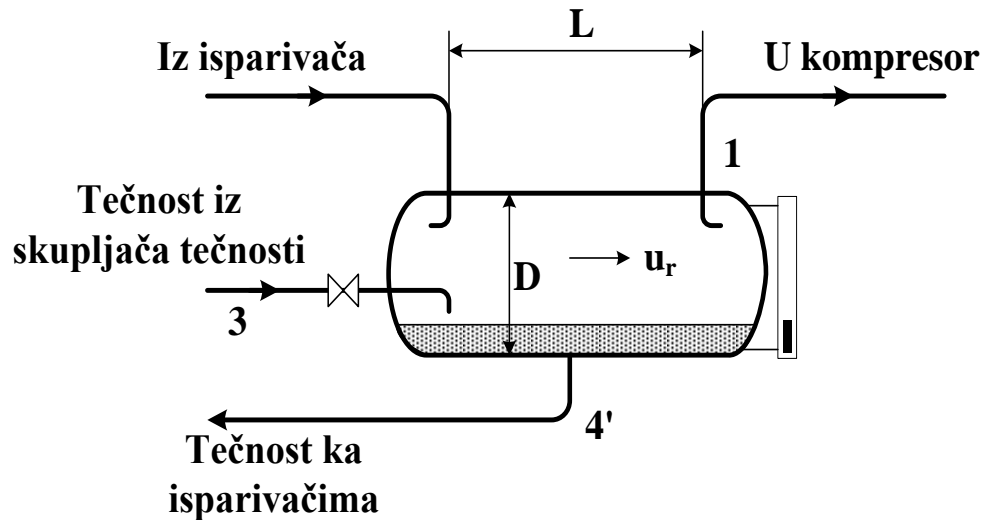
*Preporučene
brzine para u
odvajaju tečnosti*



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1. ODVAJAČI TEČNOSTI

Šema veze odvajanja tečnosti



- Nivo tečnosti u odvajaju se održava automatski na zadatoj visini regulatorom nivoa (*visina nivoa je 20 – 30% od prečnika odvajajuča D*).
- Tečni rashladni fluid se odvodi do isparivača pumpama, a ređe gravitaciono.
- Poželjno je da povratna cev kod ulaza u odvajajuč ima polukoleno da bi se promenom smera strujanja poboljšalo odvajanje tečne faze od smeše.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

2. MEĐUHLADNJACI

PRIMENA: Međuhladjaci se primenjuju kod instalacija koji rade sa dvostepenim ili višestepenim sabijanjem pare rashladnog fluida.

Pri tome prigušivanje rashladnog fluida (RF), koji dolazi iz kondenzatora, odnosno skupljača, može biti višestepeno ili u jednom stepenu.

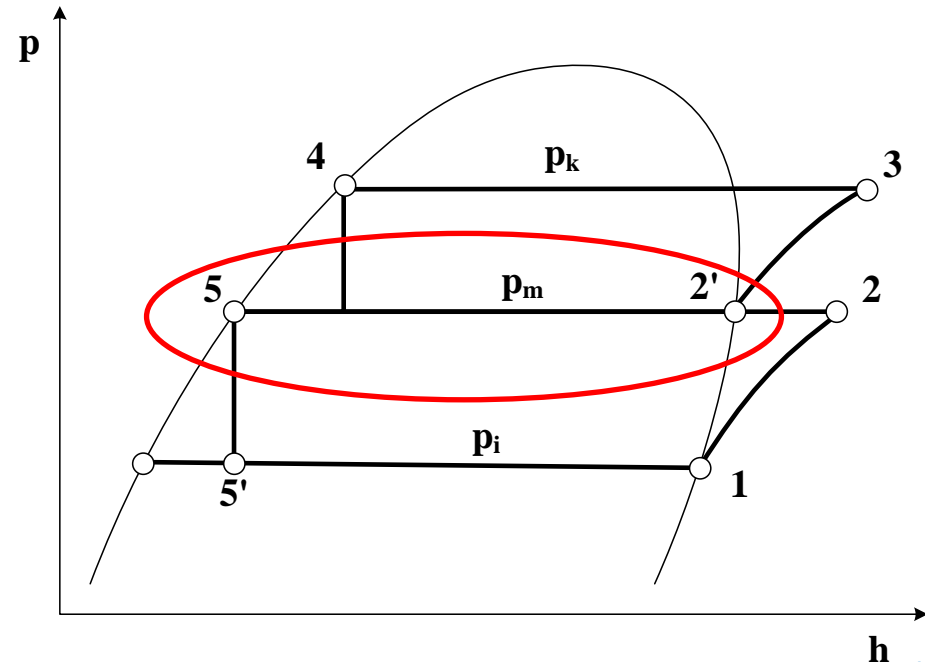
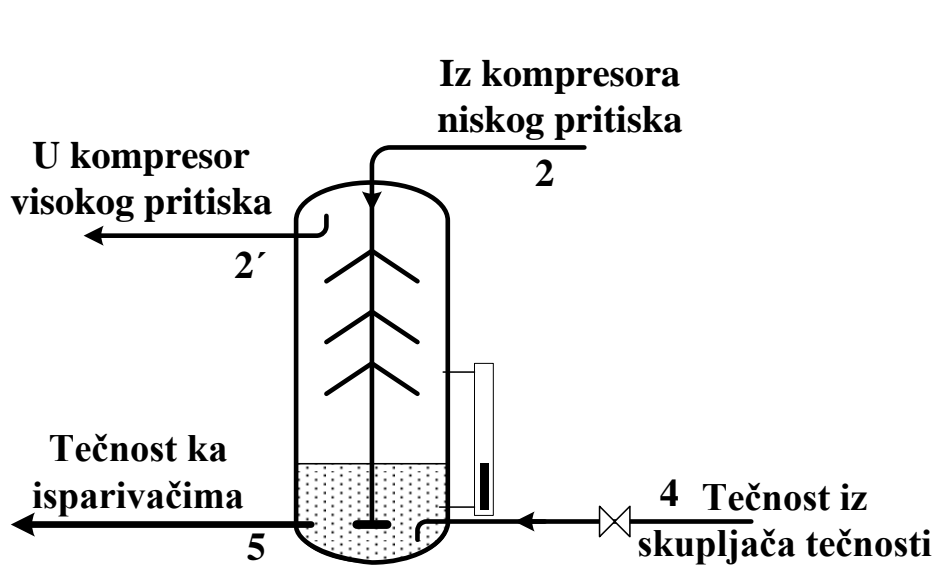
TIPOVI: U zavisnosti od toga u koliko se stepeni obavlja prigušivanje tečnog RF, međuhladjaci mogu da se podele na dva osnovna tipa i to:

1. međuhladjaci bez cevne zmiije za pothlađivanje (sa dvostepenim prigušivanjem tečnog RF)
2. međuhladjak sa cevnom zmijom za pothlađivanje (sa jednostepenim prigušivanjem tečnog RF)

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

2. MEĐUHladNJACI

Međuhladnjaci se konstruktivno izvode, najčešće, u vidu vertikalnog cilindričnog suda sa priključcima za dovod i odvod tečnosti i pare RF.



Šema veze međuhladnjaka (tip bez cevne zmiije i sa dvostepenim prigušivanjem)

► U međuhladnjacima se istovremeno hladi pregrejana para RF koji dolazi u međuhladnjak posle sabijanja u kompresoru niskog stepena i tečnost koja ide na prigušivanje na temperaturu isparavanja.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

2. MEĐUHLADNJACI

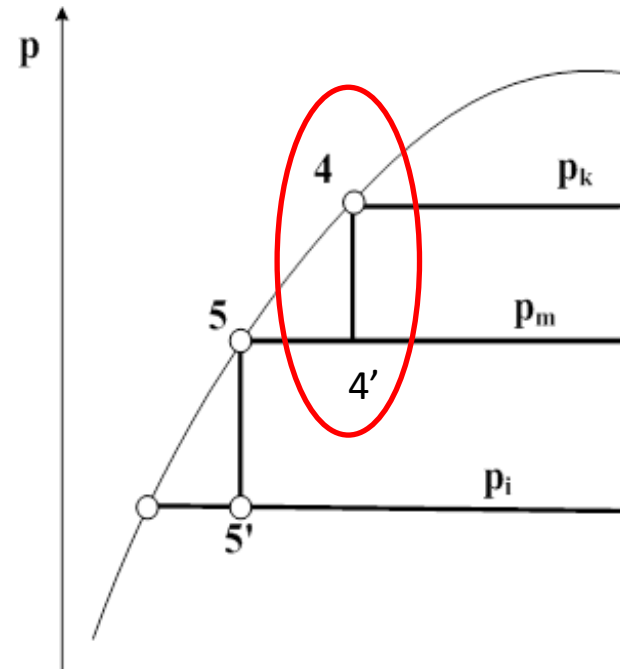
U MEĐUHLADNJAKU BEZ CEVNE ZMIJE rashladni fluid u tečnom stanju se prigušuje u jednom ventilu, na ulazu u međuhladnjak, sa pritiska kondenzacije p_k na međupritisak p_m (proces 4-4').

Vrednost međupritiska zavisi od pritiska kondenzacije i pritiska isparavanja. Uzima se da je optimalna vrednost međupritiska jednaka:

$$p_m = \sqrt{p_k \cdot p_i} \quad [\text{bar}]$$

gde su:

- p_i apsolutni pritisak pri temp. isparavanja,
- p_k apsolutni pritisak pri temp. kondenzacije.



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

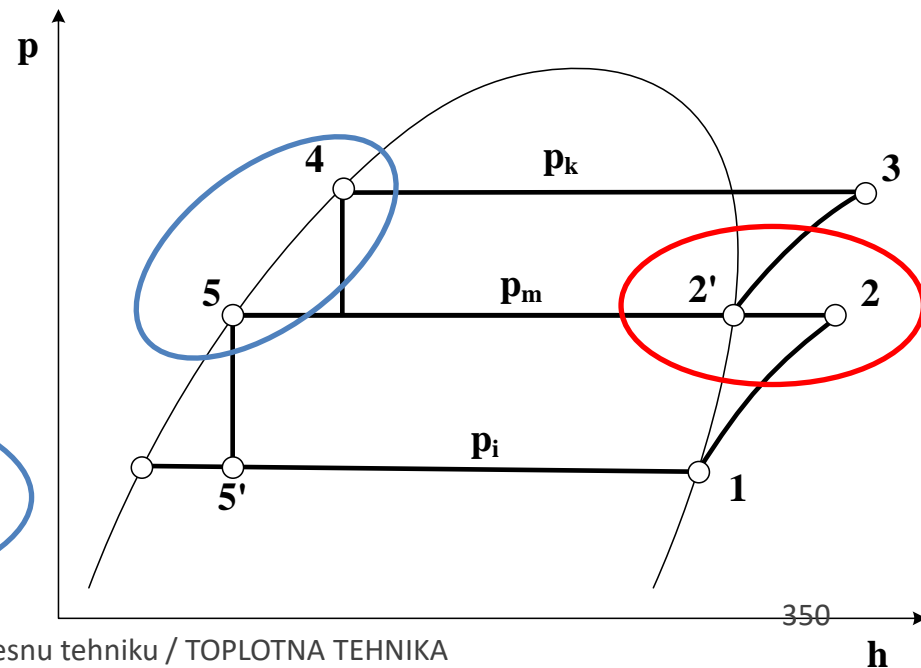
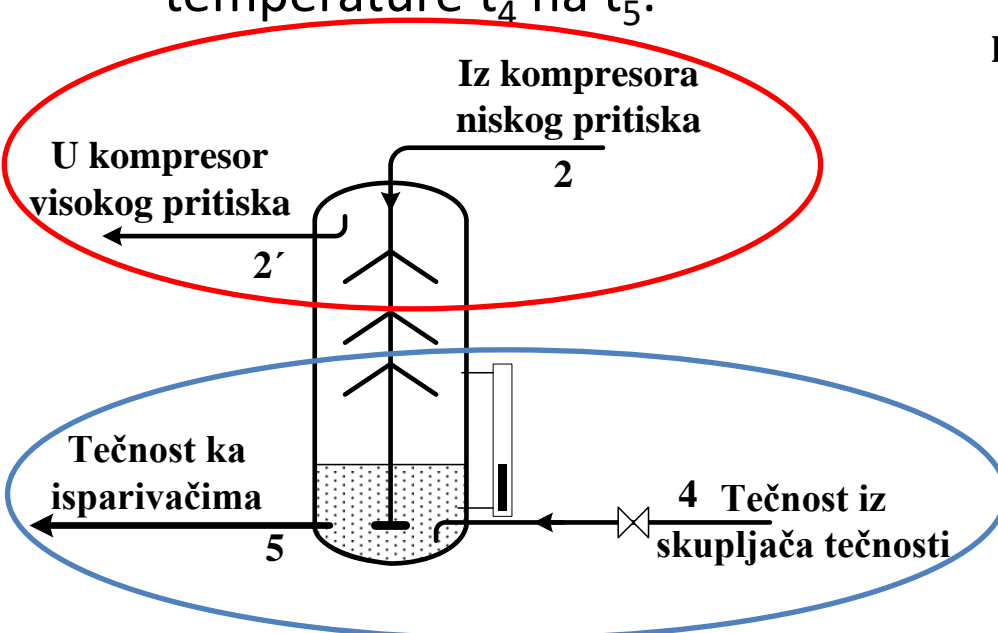
2. MEĐUHladnjaci

NAČIN RADA:

Prigušni ventil je automatskog tipa i održava konstantan nivo tečnosti u MH.

Kroz prigušni ventil prolazi sva količina RF, od koje se u MH odvoji:

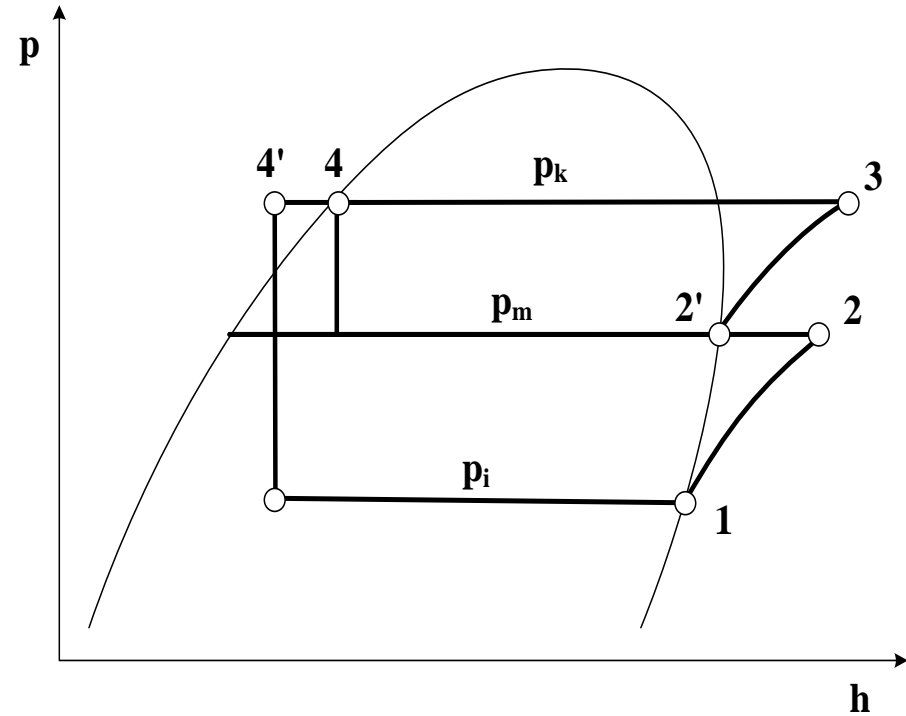
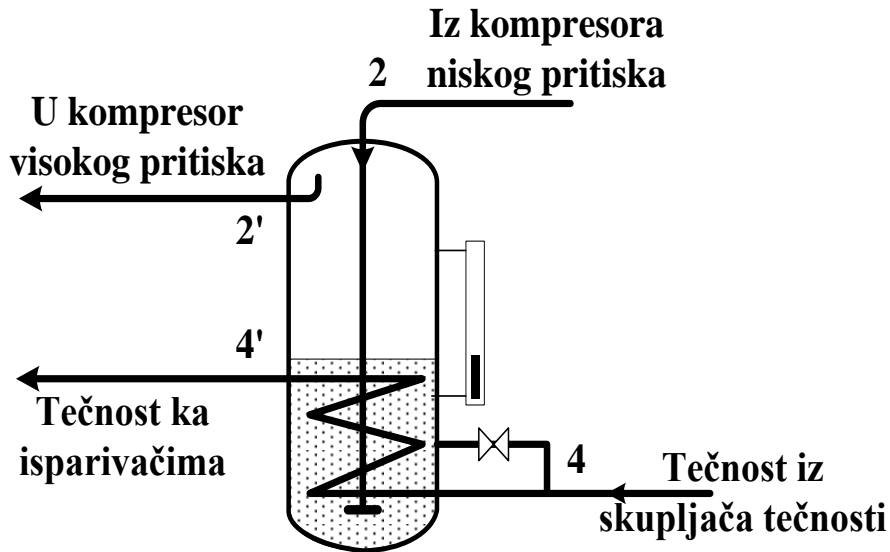
1. Količina pare koja nastaje usled pothlađivanja pregrejane pare koja dolazi iz niskog stepena kompresije (pohlađivanje sa 2 na 2') i
2. Količina pare koja nastaje pothlađivanjem ukupne količine tečnosti sa temperature t_4 na t_5 .



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

2. MEĐUHladnjaci

MEĐUHladnjak sa cevnom zmijom



Kod MH sa cevnom zmijom, kroz prigušni ventil prolazi samo onoliko RF koliko je potrebno da se pregrejana para, koja dolazi iz kompresora niskog pritiska, ohladi na temperaturu zasićenja pri međupritisku i da se pothladi tečnost koja struji kroz cevnu zmiju u isparivače.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1/2. ODVAJAČ TEČNOSTI – MEĐUHladNJAK

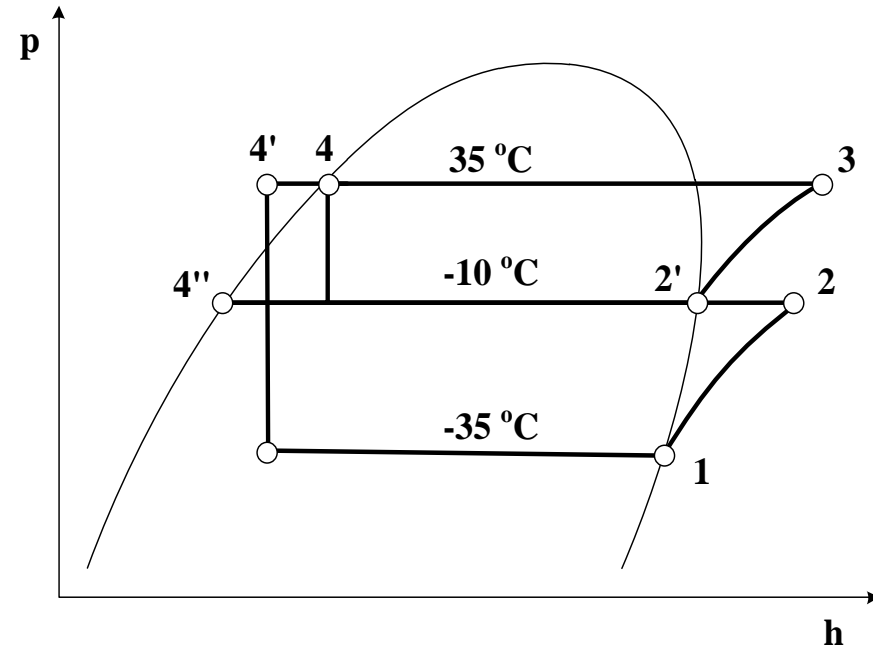
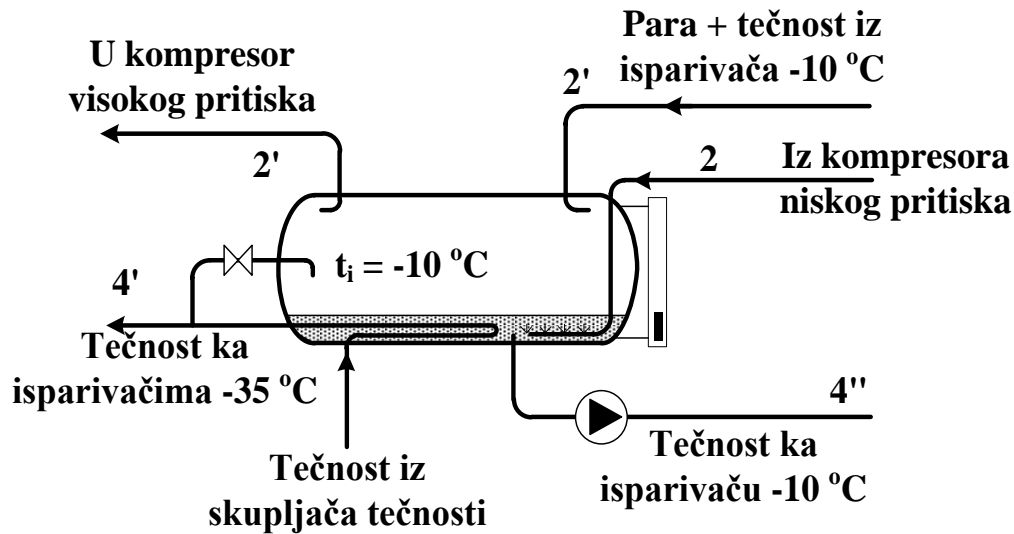
Do sada razmatrani slučajevi su se odnosili na slučajeve hlađenja na **temperaturi isparavanja niskog stepena.**

- U praksi je najčešći slučaj da se javlja potreba za hlađenjem na **različitim temperaturama isparavanja** i to između -35 i -45°C (*za hlađenje skladišta zamrznute robe i tunela na -25°C , za skladišta na oko -10°C i radni prostor na $\pm 0^{\circ}\text{C}$).*
- U ovim slučajevima obično se ne koristi poseban međuhladnjak, **nego se odvajač tečnosti projektuje tako da može da obavlja i funkciju međuhladnjaka.**
- Na taj način se uprošćava i pojeftinjuje instalacija (jedan sud pod pritiskom manje).

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

1/2. ODVAJAČ TEČNOSTI – MEĐUHladNJAK

Šema veze odvajača tečnosti – međuhladnjaka



→ Pri projektovanju **ODVAJAČA TEČNOSTI – MEĐUHladNJAKA**, treba imati u vidu preporuke navedene za odvajače tečnosti i međuhladnjake.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

3. SKUPLJAČI RASHLADNE TEČNOSTI

Kod velikih instalacija to su horizontalni cilindrični sudovi, a kod manjih instalacija mogu da budu i vertikalni.

PREMA ZADATKU koji skupljač ima u instalaciji razlikuju se dva tipa:

1. Skupljači koji služe za prijem tečnost koja se, **usled promene toplotnog opterećenja**, delom premešta iz isparivača u deo instalacije pod visokim pritiskom. *Zapremina ovih skupljača treba da bude 1/3 do 1/2 časovnog protoka tečnog rashladnog fluida.*
2. Skupljači koji pored opisane funkcije, služe i kao rezervni sud čija zapremina treba da je takva da u njega može da stane tečnost najvećeg isparivača ili grupe isparivača, u cilju **tekućeg održavanja i eventualnih opravki**. *Ova uloga je poželjna u velikim i razgranatim instalacijama sa velikim brojem isparivača.*

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

3. SKUPLJAČI RASHLADNE TEČNOSTI

MESTO U INSTALACIJI:

Skupljači rashladne tečnosti se postavljaju ispod kondenzatora, tako da se kondenzovani rashladni fluid sliva gravitaciono u njih.

Skupljač tečnosti na sebi ima priključke:

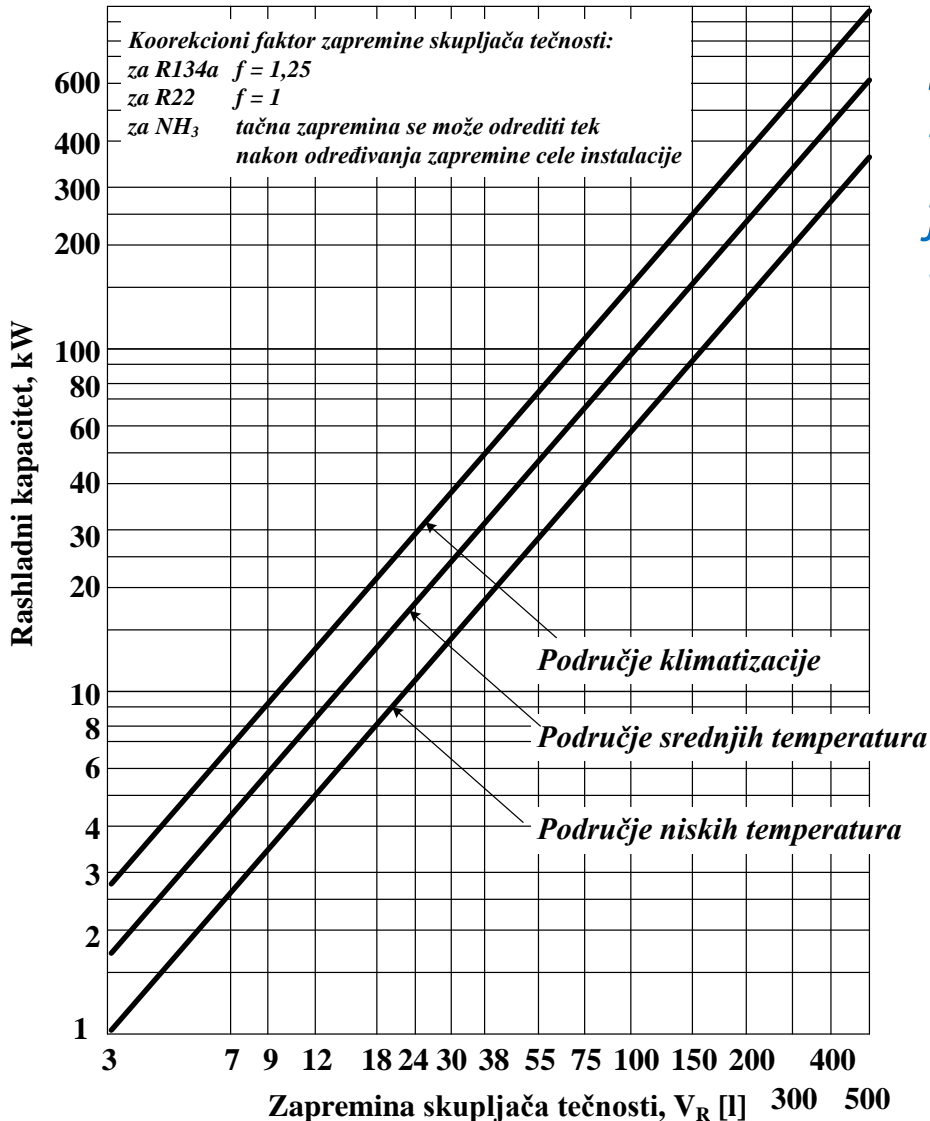
- za odvod i dovod rashladnog fluida,
- za izjednačavanje pritiska sa kondenzatorom,
- za sigurnosni ventil,
- za manometar i
- za nivokaz.
- a amonijačni skupljači imaju i priključak za ispuštanje ulja.

Proizvođači skupljača obično imaju tipizirane prečnike i dužine sudova, pa se sud odabira prema potrebnoj zapremini (zavisno od namene).

➤ Treba napomenuti da odabrani skupljač, zbog sigurnosti, treba da bude 20% veći od zapremine tečnosti koju treba da primi.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

3. SKUPLJAČI RASHLADNE TEČNOSTI

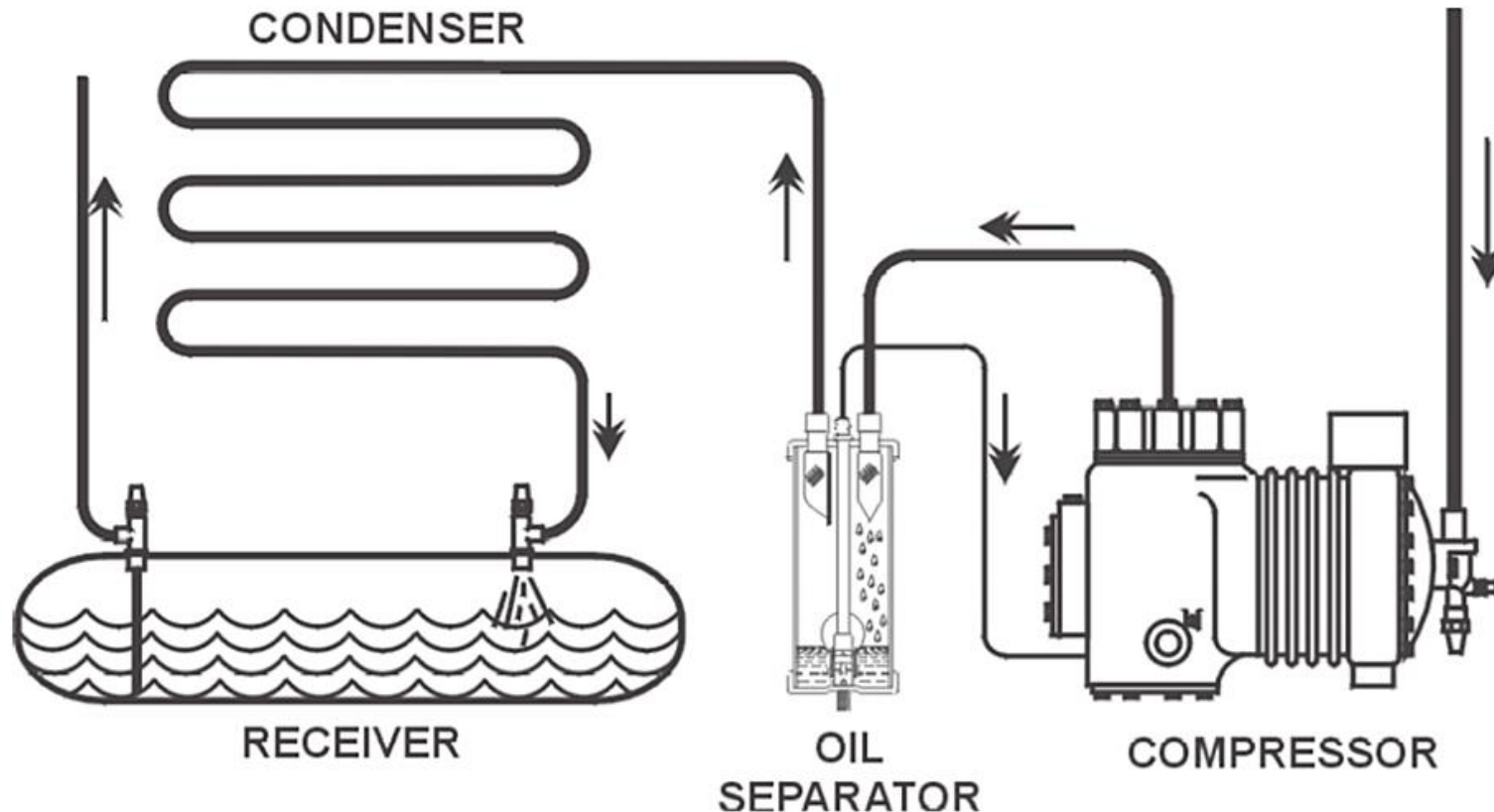


*Dijagram za izbor skupljača tečnosti firme **GÜNTNER** za freonske instalacije srednjih veličina i raznih namena.*

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

4. ODVAJAČI ULJA

Pri radu kompresora iz njih, zajedno sa parom rashladnog fluida uvek odlazi (u potisni cevovod, u kondenzator i u ostale delove instalacije) i izvesna količina ulja za podmazivanje u obliku kapi i uljne pare.



4. ODVAJAČI ULJA

Ova pojava ima dve negativne posledice:

1. Gubi se ulje iz kompresora pa ga je potrebno dopuniti,
2. Ulje povećava otpor prelazu toplote u toplotnim razmenjivačima.

Razlikuju se sledeći slučajevi:

1. Rastvorljivost ulja u rashladnom fluidu je **ograničena**,
2. Rastvorljivost ulja u rashladnom fluidu je **neograničena**.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

4. ODVAJAČI ULJA

SLUČAJ kada je rastvorljivost ulja u rashladnom fluidu ograničena:

→ U ovu grupu spada **AMONIJAK**.

Veće kapi ulja će se odvojiti u odvajaču ulja, a sitne čestice ulja (magla) će biti ponete amonijačnom parom u kondenzator, gde će se izdvojiti na cevima kondenzatora, **stvarajući uljni film koji pogoršava prelaz toplote.**

Iz kondenzatora će se to ulje sliti u skupljač tečnosti.

Jedna manja količina ulja će se rastvoriti u tečnom amonijaku i tako dospeti u isparivač, gde će se istaložiti na dnu isparivača, jer je ulje teže od amonijaka.

Amonijačne isparivače treba konstruisati tako da bude omogućeno povremeno ispuštanje ulja.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

4. ODVAJAČI ULJA

SLUČAJ kada je rastvorljivost ulja u rashladnom fluidu neograničena

→ U ovu grupu spadaju **FREONI**

Veće kapi ulja iza kompresora se mogu odvojiti u odvajaču ulja, ali ulje koje je otišlo u sistem iz skupljača i iz isparivača **NE MOŽE** da se ispusti.

➤ Zbog toga isparivače i usisni cevovod treba konstruisati tako da padovi cevovoda i brzine freona u njima budu takvi da obezbede povratak ulja u kompresor.

! U protivnom će tokom vremena, osim što će se gubiti ulje iz kompresora, usled povećanja koncentracije ulja u freonu **porasti i temperatura isparavanja za isti pritisak, i time će se smanjiti rashladni učinak postrojenja.**

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

4. ODVAJAČI ULJA

KONSTRUKCIJA: kod klipnih kompresora su obično izrađeni u obliku vertikalnog cilindričnog suda u kojima se **odvajanje ulja obavlja na račun smanjenja brzine pare i promenom smera kretanja.**

- Brzina pare u odvajačima ulja za rashladne fluide sa malom specifičnom gustinom treba da bude od 0,7 do 0,8 m/s, dok za fluide sa većom gustinom od 0,3 do 0,4 m/s.

Proizvođači imaju tipske odvajače ulja, te se odvajači biraju na bazi **kapaciteta kompresora**, uzimajući u obzir rashladni fluid i termodinamički ciklus u kojem kompresor radi.

Odvajačima ulja **VIJČANIH KOMPRESORA** potrebno je posvetiti posebnu pažnju, s obzirom na to da kod ovih kompresora ulje, osim funkcije podmazivanja ima i funkciju hlađenja u fazi kopmpresije.

Zbog toga je ulje u intenzivnom kontaktu sa RF u fazi kompresije.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

4. ODVAJAČI ULJA

KOLIČINA ULJA: Da bi se deo toplote kompresije mogao odvesti uljem, u amonijačnom vijčanom kompresoru treba obezbediti 4 do 8 kg ulja po kg amonijaka, zavisno od kompresionog odnosa.

Kod freonskih kompresora taj odnos je manji.

► **odvajači ulja vijčanih kompresora, u poređenju sa odvajačima klipnih kompresora, treba da budu mnogo veći i vrlo efikasni.**

Odvajači ulja vijčanih kompresora su cilindrični vertikalni ili horizontalni uređaji.

Po pravilu, na ulazu smeše rashladnog fluida i ulja trpe veliko mehaničko skretanje kako bi se odvojile najkrupnije kapi ulja, a nakon toga para sa preostalim uljem prolazi kroz višeslojni filter.

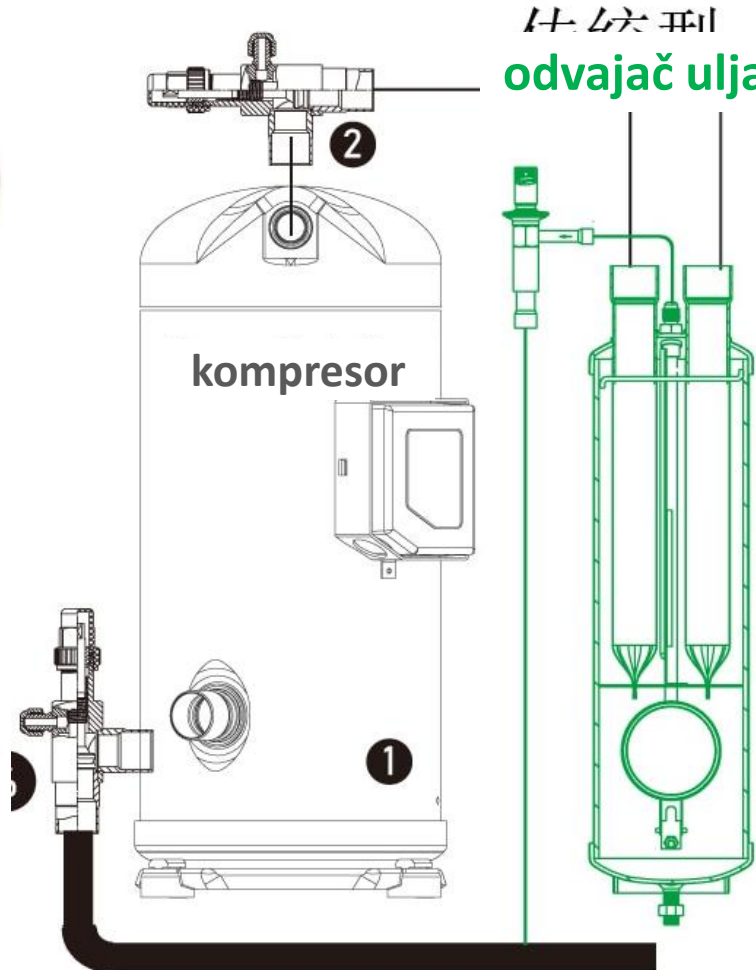
OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

4. ODVAJAČI ULJA

helikoidalni odvajač ulja



konvencionalni odvajač ulja



油分离器
odvajač ulja



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

5. ODVAJAČI VAZDUHA

NAMENA: Odvajači vazduha u rashladnim instalacijama obavljaju funkciju ispuštanja vazduha i drugih gasova, koji se ne kondenzuju.

Nekondenzujući gasovi i vazduh dospevaju u instalaciju zbog:

1. Nedovoljne hermetičnosti instalacije koja radi na pritisku isparavanja, koja je niža od atmosferskog pritiska;
2. Otvaranja instalacije radi popravke ili zamene delova (filtera i sl);
3. Nedovoljnog vakuumiranja, pri puštanju nove instalacije;
4. Razlaganja amonijaka na azot i vodonik kod nedopustivo visokih temperatura na potisu kompresora.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

5. ODVAJAČI VAZDUHA

UTICAJ: Vazduh i ostali nekondenzujući gasovi nepovoljno utiču na rad instalacije, što se ogleda u sledećem:

1. Povećava se pritisak kondenzacije, što ima za posledicu
 - a. povećanja rada sabijanja,
 - b. smanjenje koeficijenta isporuke i
 - c. smanjenje rashladne snage kompresora.
2. Pogoršava se izmena toplote u izmenjivačima, naročito u kondenzatoru. *Na unutrašnjim zidovima cevi kondenzatora stvara se vazdušni sloj, koji značajno povećava otpor prelazu toplote rashladnog fluida.*
3. Postoji, izvesna opasnost od eksplozije produkata koji nastaju razlaganjem amonijaka i ulja za podmazivanje pri ekstremno visokim temperaturama.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

5. ODVAJAČI VAZDUHA

ELIMINACIJA: Vazduh i pare RF čine takvu mešavinu iz koje, mehaničkim putem, nije moguće izdvojiti samo jednu komponentu (vazduh).

→ **To znači da vazduh može da se ispusti samo kao mešavina sa rashladnim fluidom, što dovodi do gubitka rashladnog fluida.**

Ako se usvoji da za mešavinu rashladnog fluida i vazduha važi Daltonov zakon i da se radi isključivo samo o vazduhu kao nekondenzirujućem gasu, tada je **udeo (x) rashladnog fluida na 1 kg vazduha** definisan odnosom:

$$x = \frac{\rho_{rm}}{\rho_{vazd}} \quad \text{gde su:}$$

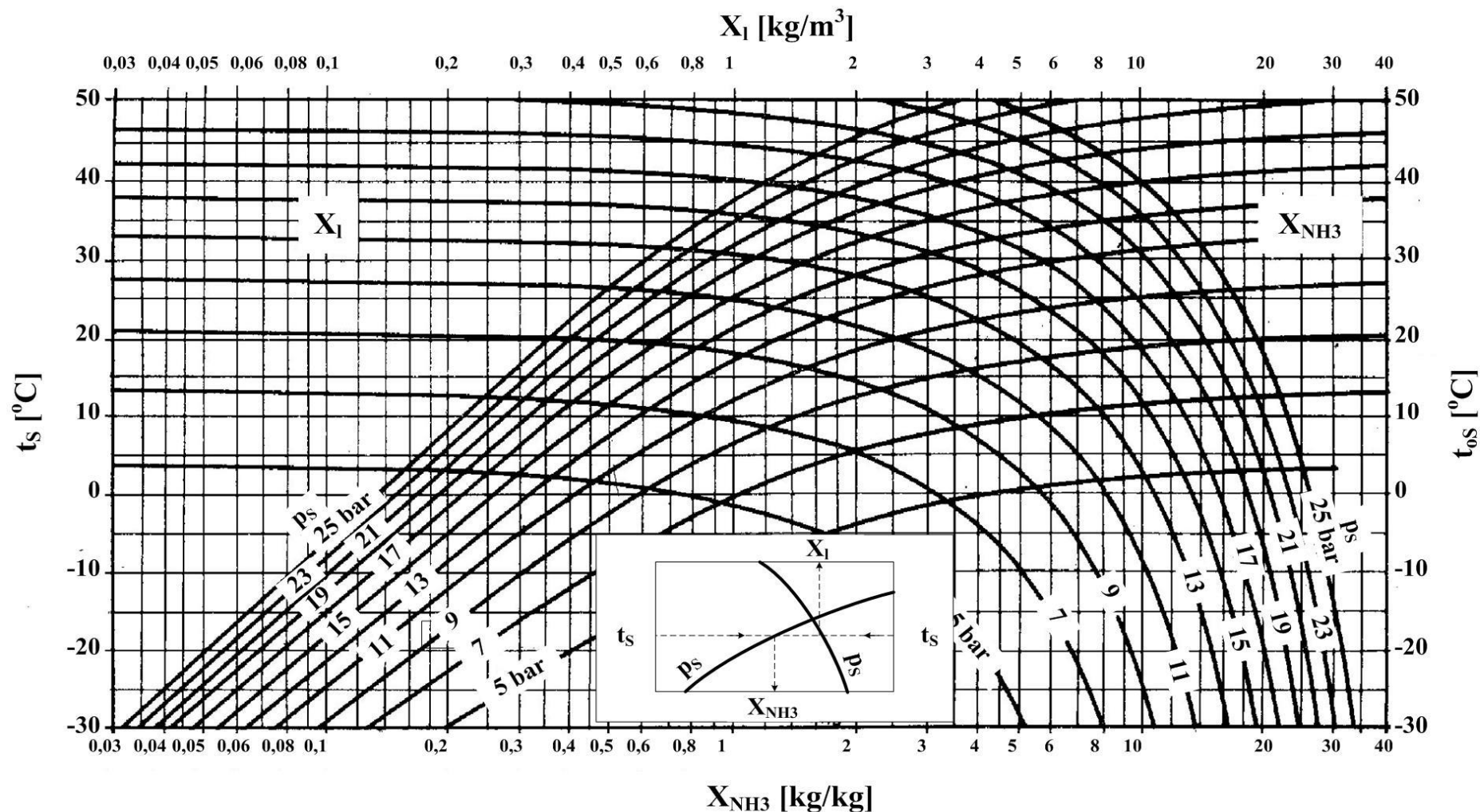
ρ_{rm} (kg/m³) = gustina zasićenih para RF na temperaturi mešavine.

ρ_{vazd} (kg/m³) = gustina vazduha određena u funkciji parcijalnog pritiska vazduha u mešavini i temperature mešavine.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

TIPOVI PROCESNIH APARATA - ODVAJAČI VAZDUHA

Nomogram za određivanje gubitaka amonijaka prilikom ispuštanja vazduha, pri različitim uslovima.



OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

TIPOVI PROCESNIH APARATA - ODVAJAČI VAZDUHA

PREPORUKE za rad odvajača vazduha

Pri rešavanju ispuštanja vazduha iz instalacije treba imati u vidu da:

- Ispuštanje vazduha treba obavljati na najnižoj mogućoj temperaturi, odnosno smešu treba rashladiti na što nižu temperaturu.
- Pritisak mešavine rashladnog fluida i vazduha treba da je što je moguće veći (uzimati mešavinu na strani visokog pritiska instalacije)
- Mešavinu uzimati sa mesta u instalaciji, gde su brzine strujanja male.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

TIPOVI PROCESNIH APARATA - ODVAJAČI VAZDUHA

Uređaji za ispuštanje vazduha

Vazduh u instalaciji se skuplja uglavnom u kondenzatorima i skupljaču tečnosti, a ispušta se ručno ili automatski.

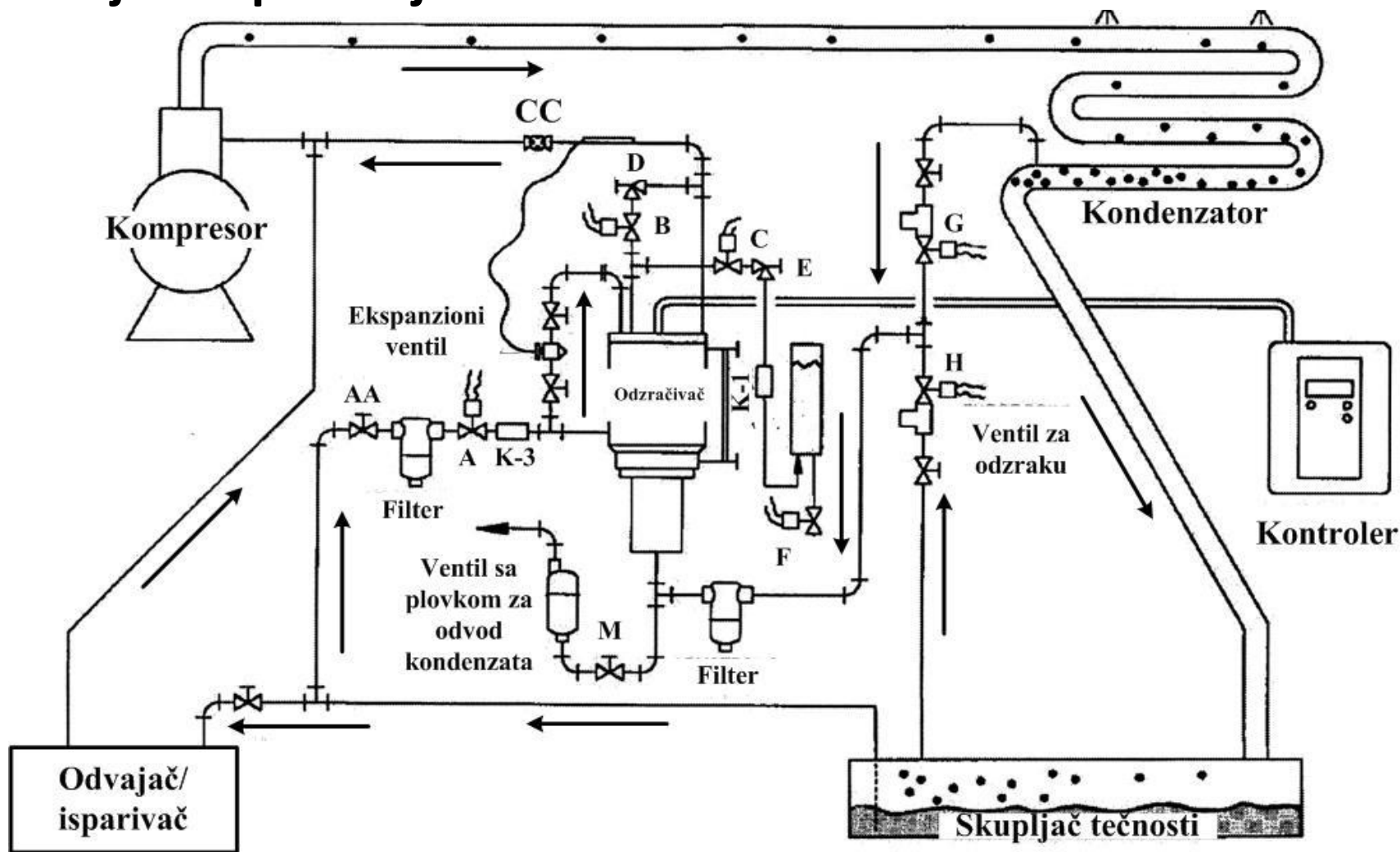
- a. Pri ručnom ispuštanju gubi se mnogo rashladnog fluida, jer se mešavina ispušta na relativno visokoj temperaturi.
- b. Automatski uređaji obavljaju hlađenje mešavine vazduha i rashladnog fluida, pri čemu se veliki deo rashladnog fluida iz mešavine kondenzuje, te uređaj ispušta skoro čist vazduh.

NAČIN ISPUŠTANJA: Vazduh iz instalacije se ispušta sa svih mesta gde se skuplja. Sva mesta za ispuštanje vazduha su spojena zajedničkim cevovodom s uređajem, a uređaj za ispuštanje vazduha obavlja ciklično izbor mesta sa kojeg će ispuštati vazduh. To znači da se ispuštanje vazduha obavlja u isto vreme samo sa jednog mesta - da se ne bi narušila pravilna cirkulacija tečnog rashladnog fluida kroz kondenzator ili kondenzatore.

OSTALI ELEMENTI RASHLADNIH POSTROJENJA

TIPOVI PROCESNIH APARATA - ODVAJAČI VAZDUHA

Uređaji za ispuštanje vazduha



ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Delovi rashladnih sistema nikada ne rade izolovano već združeni u sistem, tako da je njihovo ponašanje međusobno zavisno.

Svrha određivanja RADNE TAČKE i simulacije sistema:

1. predvideti ponašanje celog sistema kada su karakteristike pojedinih komponenata poznate i
2. analizirati uticaje spolja nametnutih promena

(npr. uticaj promene temperature spoljnjeg vazduha kondenzatora na rashladni kapacitet rashladnog sistema).

ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Pristup: INŽENJERSKI METOD ANALIZE SISTEMA PUTEM ODREĐIVANJA RADNIH TAČKA

- U ovom postupku karakteristike ponašanja dva spregnuta dela su izražene preko istih promenljivih i ucrtane u isti koordinatni sistem.
- Presek odgovarajućih krivih ukazuje na uslove u kojima su karakteristike rada obe komponente zadovoljene, i u toj tački će raditi sistem sastavljen od te dve komponente.

ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

SIMULACIONA ANALIZA SISTEMA

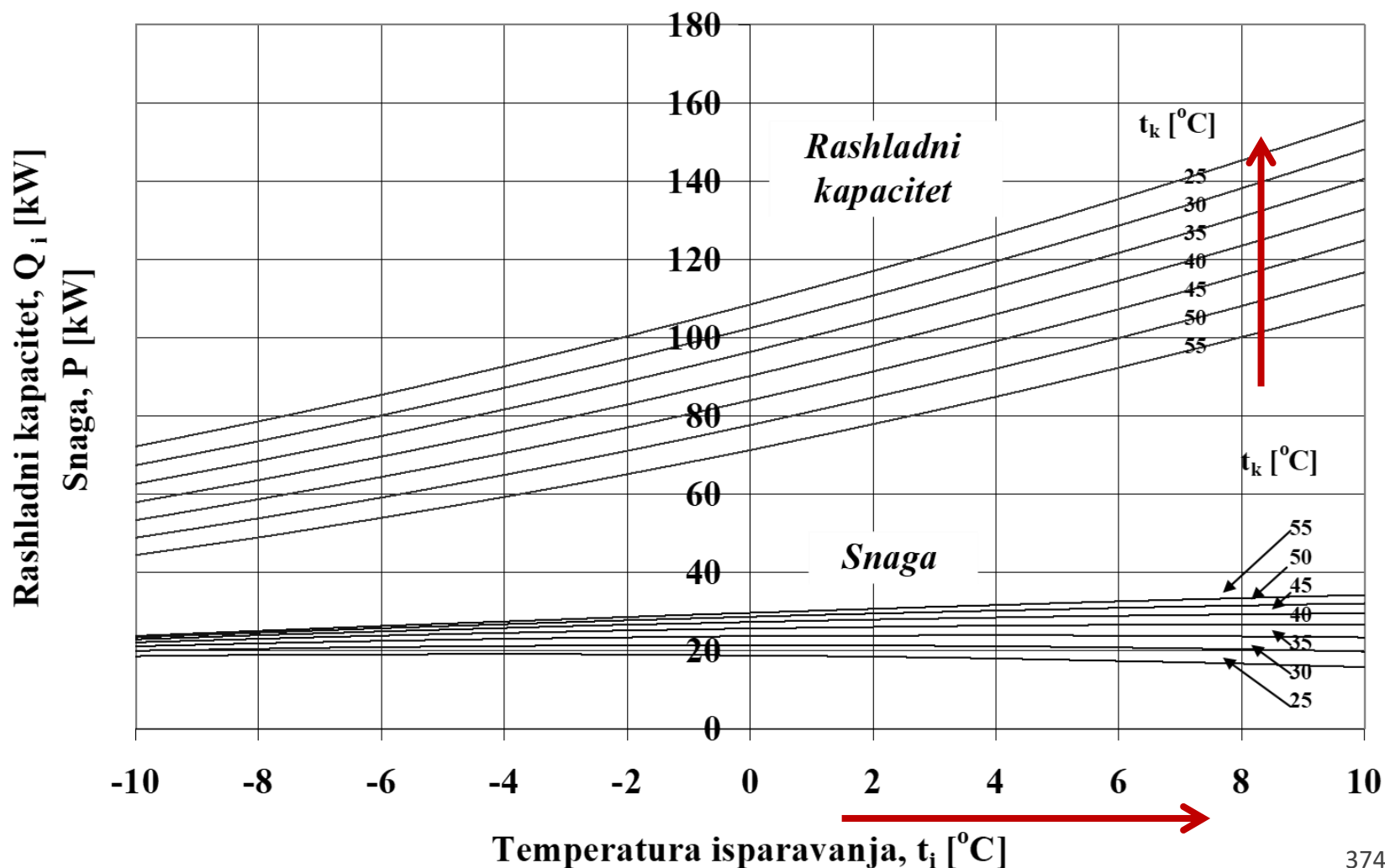
- Simulaciona analiza sistema se, pre svega, izvodi matematičkim, a ne grafičkim postupkom.
- Presek dve krive, koji opisuje radnu tačku, predstavlja grafičku interpretaciju rešavanja sistema od dve jednačine. Te dve jednačine predstavljaju karakteristike ponašanja komponenata sistema, koje su nastale matematičkim modeliranjem komponenata odgovarajućim jednačinama zakona održanja energije i mase i jednačine stanja.
- Za simulaciju stacionarnog ponašanja sve jednačine su algebarske, dok se za simulaciju dinamičkih ponašanja sistema uključuju i diferencijalne jednačine.

ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Klipni kompresor

Rashladni kapacitet i potrebna snaga "York" hermetičkog klipnog kompresora, 1750 o/min, R22

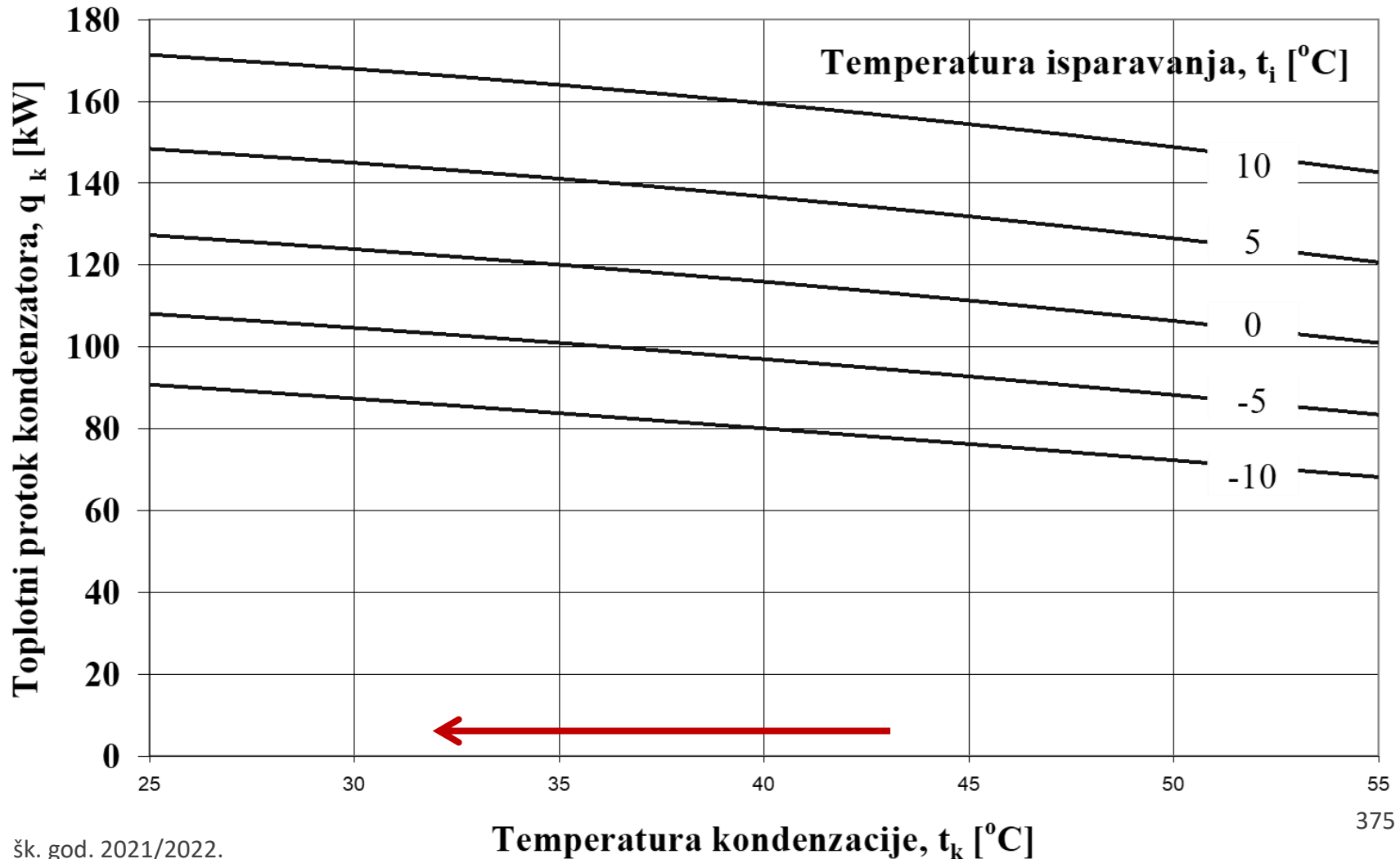


ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Klipni kompresor

Toplotni protok u kondenzatoru York hermetičkog klipnog kompresora, 1750 o/min, R22

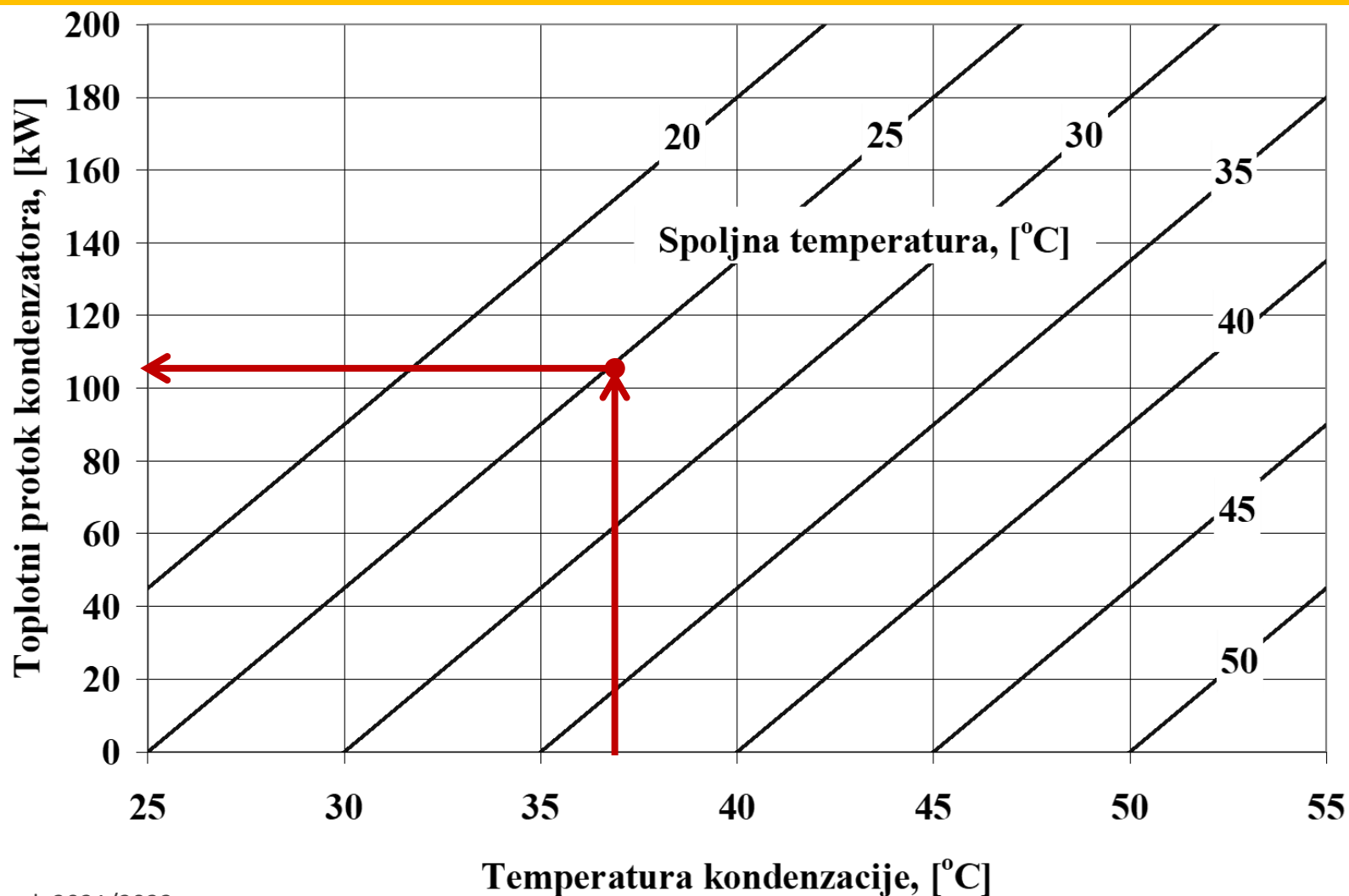


ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Kondenzator

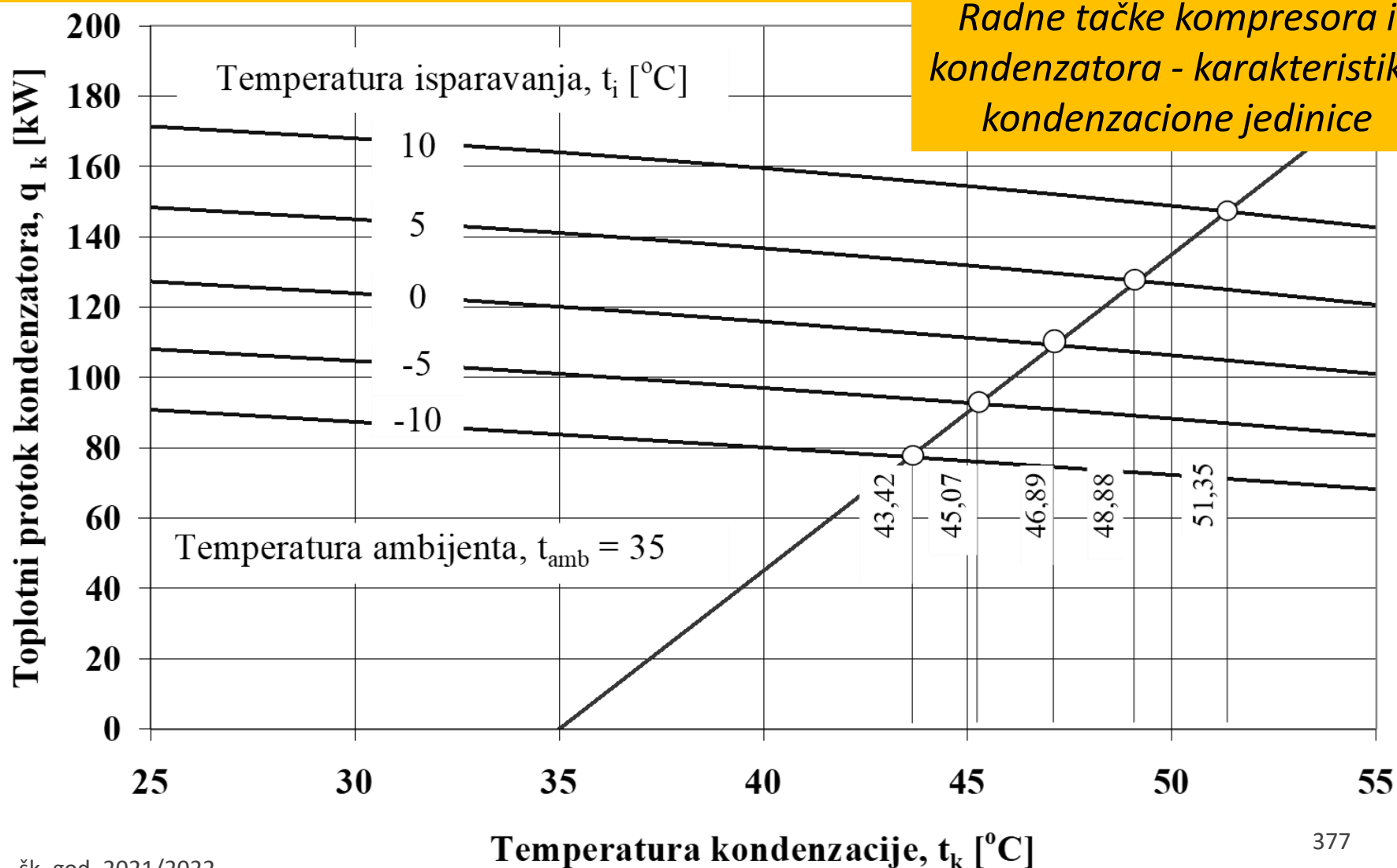
Karakteristike jednog vazduhom hlađenog kondenzatora (R22)



ANALIZA RADA KOMPRESIJSKIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

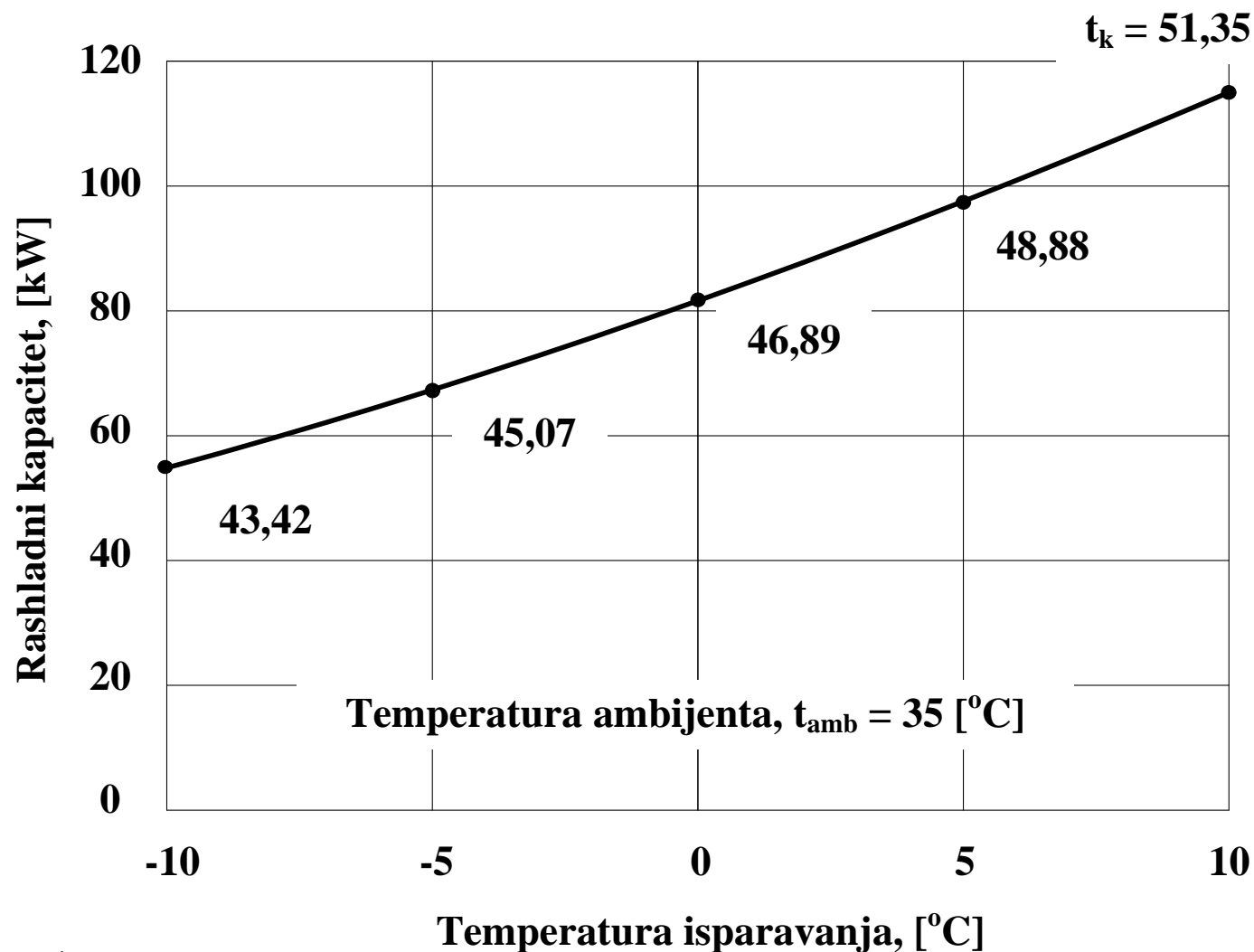
Podsistem kompresorsko-kondenzatorski agregat



ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

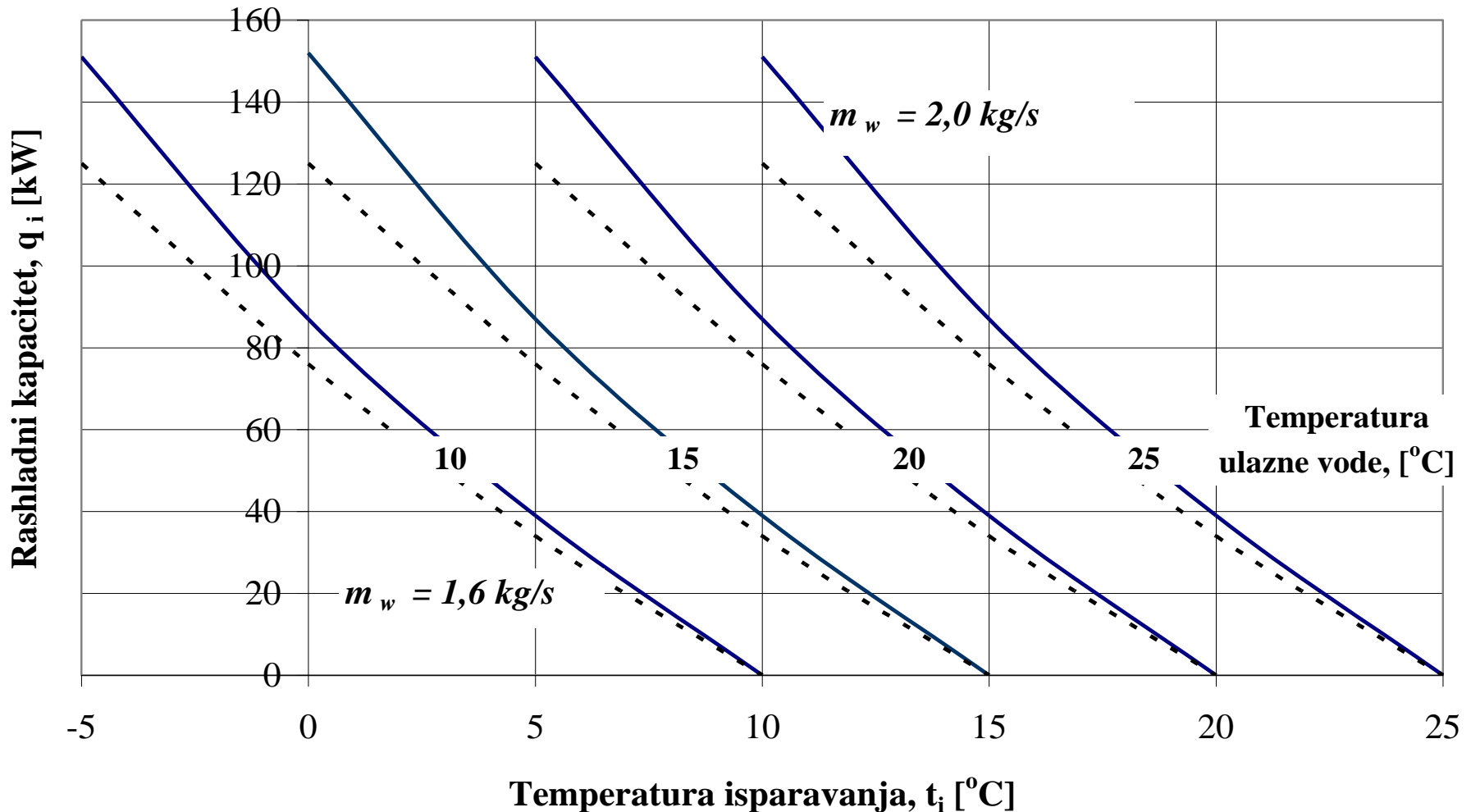
Podsistem kompresorsko-kondenzatorski agregat



ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

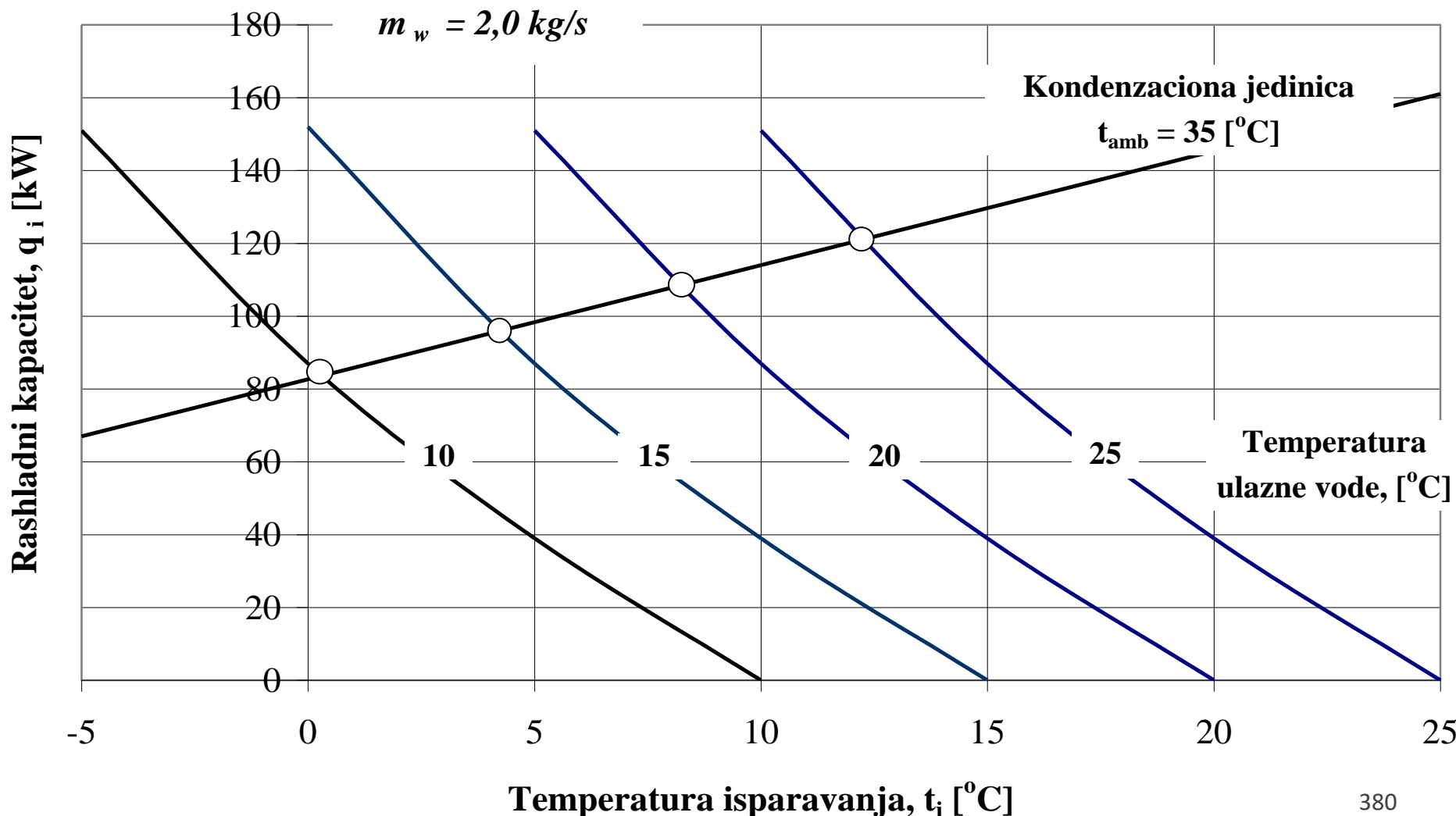
Karakteristika isparivača



ANALIZA RADA KOMPRESIJSKIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Karakteristike čitavog sistema: k.k. agregat + isparivač



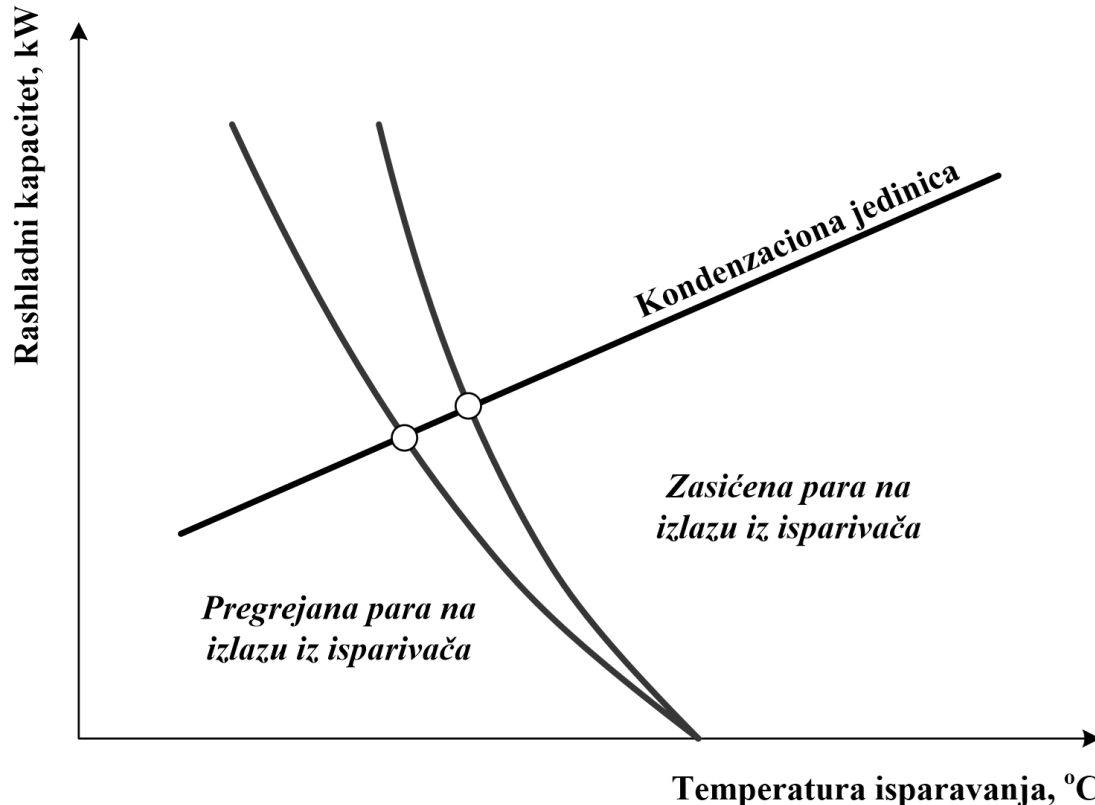
ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Ekspanzioni uređaj

Ekspanzioni ventil koji je upravljani temperaturom pregrejane pare može da obezbedi kontrolu protoka rashladnog fluida u isparivaču u širokom opsegu pritisaka kondenzacije i isparavanja (pretpostavka).

→ Ako to nije slučaj, javljaju se posledice na ponašanje celog sistema.



Ako isparivaču nedostaje rashladnog fluida, ukupni koeficijent razmene toplote isparivača opada i radna tačka se pomera u oblast niže temperature isparavanja i manjeg rashladnog kapaciteta.

ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

Ekspanzioni uređaj

Ova pojava se dešava:

1. ako je ekspanzioni ventil mali,
2. ako se u tečnosti koja ulazi u ekspanzioni ventil pojavi para,
3. ako je pad pritiska u ventilu mali.

Najčešće se u praksi pojavljuje slučaj (2), kada je količina rashlade tečnosti u sistemu mala, pad pritiska u cevima za tečnost je veliki zbog trenja, ili su ventil i isparivač na većoj visini od kondenzatora.

Slučaj (3) pojavljuje se često u sistemima sa vazduhom hlađenim kondenzatorima, kada je temperatura okoline suviše niska. U takvim slučajevima temperatura kondenzacije pada toliko nisko da se pojavljuje nedovoljan pad pritiska na ekspanzionom ventilu.

Ekstremne posledice ovih uslova su da temperatura i pritisak isparavanja padaju toliko da se protok rashladnog fluida značajno smanjuje.

ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

ANALIZA OSETLJIVOSTI

U inženjerskoj terminologiji analiza osetljivosti podrazumeva proces ispitivanja uticaja jedne promenljive u sistemu na ostale promenljive ili parametre sistema.

Od posebnog značaja za rashladne sisteme jeste ispitivanje uticaja pojedinih spoljnih parametara na rashladni kapacitet.

Najjednostavniji, najilustrativniji i najkorisniji postupak podrazumeva ispitivanje pojedinačne promene parametara za 10% u odnosu na unapred usvojeni bazni slučaj.

- **PRIMER:** Povećanje za 10% kapaciteta kompresora označava porast rashladnog kapaciteta i snage od 10% za date pritiske isparavanja i kondenzacije.

ANALIZA RADA KOMPRESIONIH SISTEMA

Radna tačka i simulacija sistema

ANALIZA OSETLJIVOSTI

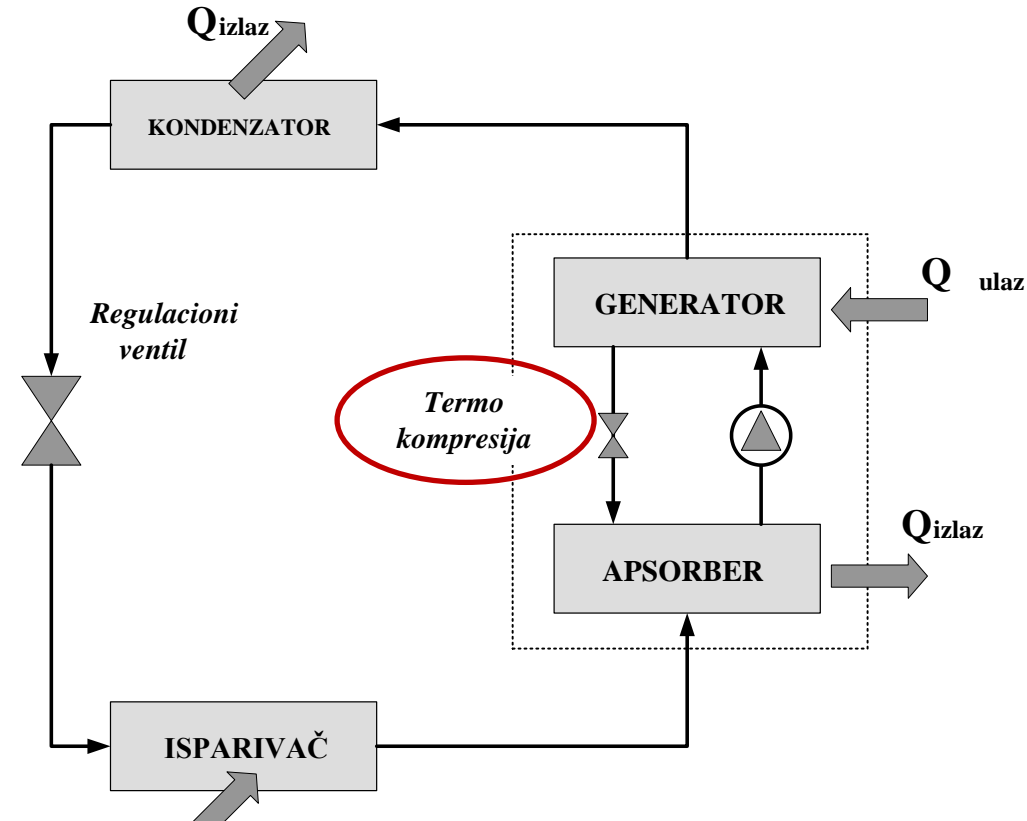
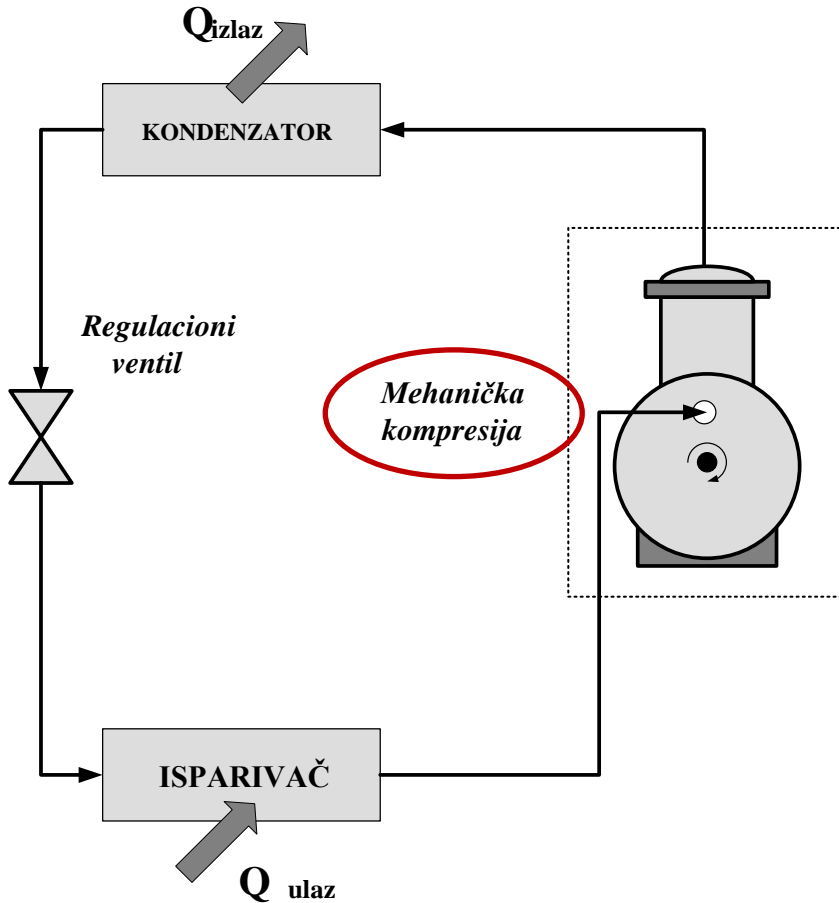
Odnos kapaciteta komponenti prema osnovnom kapacitetu			Rashladni kapacitet, kW	Procenat porasta, %
Kompresor	Kondenzator	Isparivač		
1.0	1.0	1.0	95.6	
1.1	1.0	1.0	101.6	6.3
1.0	1.1	1.0	96.8	1.3
1.0	1.0	1.1	97.6	2.1
1.1	1.1	1.1	105.2	10.0

- Vidi se da kapacitet kompresora ima dominantan uticaj na rashladni kapacitet sistema i da je isparivač sledeći po važnosti.
- Analiza osetljivosti se mora obaviti za svaki **konkretan sistem posebno**.
- Izuzetna korist analize jeste što može da se koristi za **optimizaciju**. Kombinovanjem podataka iz tabele sa realnim cenama komponenata, može da se dođe do optimalne konstrukcije rashladnog postrojenja.

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

Princip rada

U apsorpcionom sistemu rashladni efekat postiže se korišćenjem ulazne toplotne energije



Prednost apsorpcionih rashladnih sistema je mogućnost korišćenja otpadne toplote relativno niske temperature koju je često moguće obezbediti i iz drugih procesa, kao sekundarni proizvod.

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

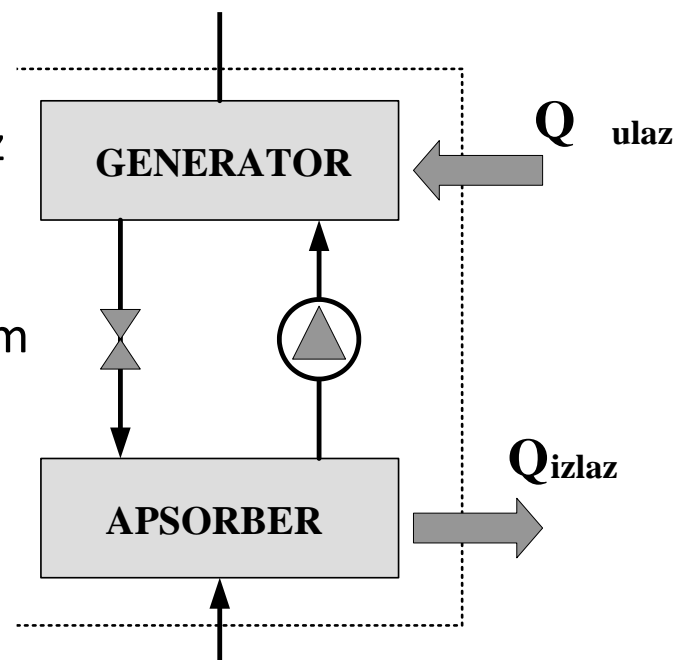
Princip rada (termokompresija)

1. Nakon što tečno rashladno sredstvo ostvari rashladni efekat isparavanjem na niskom pritisku, para se apsorbuje materijom koja to može da ostvari.
2. Obično se bira voda, koja može efikasno da apsorbuje veće količine rashladnog sredstva. *Hladna para koja izlazi iz isparivača se apsorbuje u apsorberu u kojem se nalazi slab rastvor vode i amonijaka.*
3. Odgovarajuća binarna smeša (npr. $H_2O - NH_3$) - RASTVOR se pumpa i zagreva uz dovođenje toplote od nekog **spoljnog izvora** (*direktnim sagorevanjem nekog goriva ili otpadnom toplotom ili toplom vodom ili parom*), a rashladno sredstvo se ponovo dovodi u gasovito stanje ali pri višem pritisku.
4. Proizvodi se više ili manje čista para lakše isparljive komponente binarne mešavine a pritisak pare treba da bude dovoljno visok da para može da kondenzuje u kondenzatoru.

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

Tok smeše u termokompresoru

1. Slaba tečna smeša dobijena isparavanjem izlazi iz generatora.
2. Ova smeša se potom prigušuje u drugom prigušnom ventilu na pritisak u apsorberu i potom se pušta u apsorber, koji se hladi rashl. vodom.
3. U apsorberu para iz isparivača se dovodi slabom rastvoru, koji iz nje apsorbuje amonijak.
4. Obogaćeni rastvor se pumpa u generator na viši pritisak, gde će ponovo isparavati.



Apsorpciona rashladna postrojenja koriste toplotu da bi se komprimovala para rashladnog sredstva na visoki pritisak, pa stoga ovaj „termokompresor“ nema pokretnih habajućih delova, osim pumpe.

Apsorpciona rashladna postrojenja mogu biti sa kontinualnim pogonom ili diskontinualnim. Znatno češće se koriste kontinualni pogoni.

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

PODELA (1)

Komercijalno dostupna apsorpciona rashladna postrojenja mogu se, prema pogonskoj toploti, podeliti na one pogonjene:

- ✓ vrelin izduvnim gasovima,
- ✓ vodenom parom, ili
- ✓ vrelom vodom.

Današnja rashladna sredstva za apsorpciona postrojenja su:

- ✓ litijumbromid i voda, ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$) ili
- ✓ amonijak i voda ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$).
- *Smeša litijumbromida i vode je pogodna za hlađenje do $5\text{ }^\circ\text{C}$, a postrojenje sa smešom amonijaka i vode se koristi i za temperature ispod nule.*

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

PODELA (2)

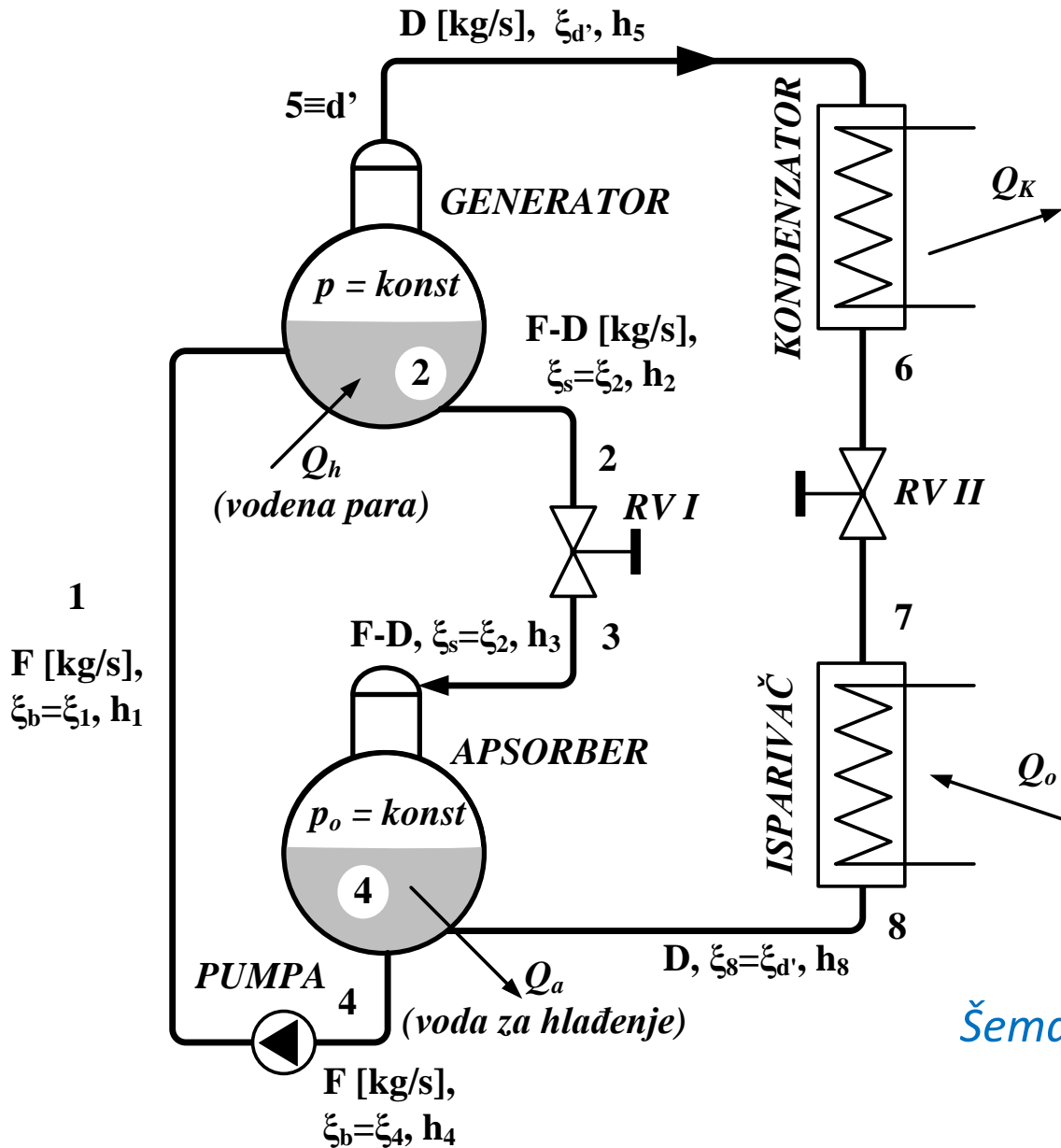
U zavisnosti koliko puta se koristi dovedena toplotna energija u procesu, apsorpcioni rashladni uređaji mogu da se podele na jedno- i dvo-stepene.

- **Jednostepena postrojenja** koriste toplotu samo jednom, a dvostepena postrojenja putem razmenjivača toplote rekuperišu preostalu toplotu iz prvog stepena hlađenja, kako bi se proizvela dodatna rashladna para i povećao rashladni kapacitet.
- **Dvostepena postrojenja** su efikasnija od jednostepenih.

Osnovne razlike između ova dva tipa apsorpcionih postrojenja su:

- **Jednostepeni:** Niski početni troškovi, ali manje efikasni i troše više energije i skuplji su u pogonu.
- **Dvostepeni:** Veći početni troškovi, ali energetske efikasniji i stoga troše manje energije za pogon.

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA



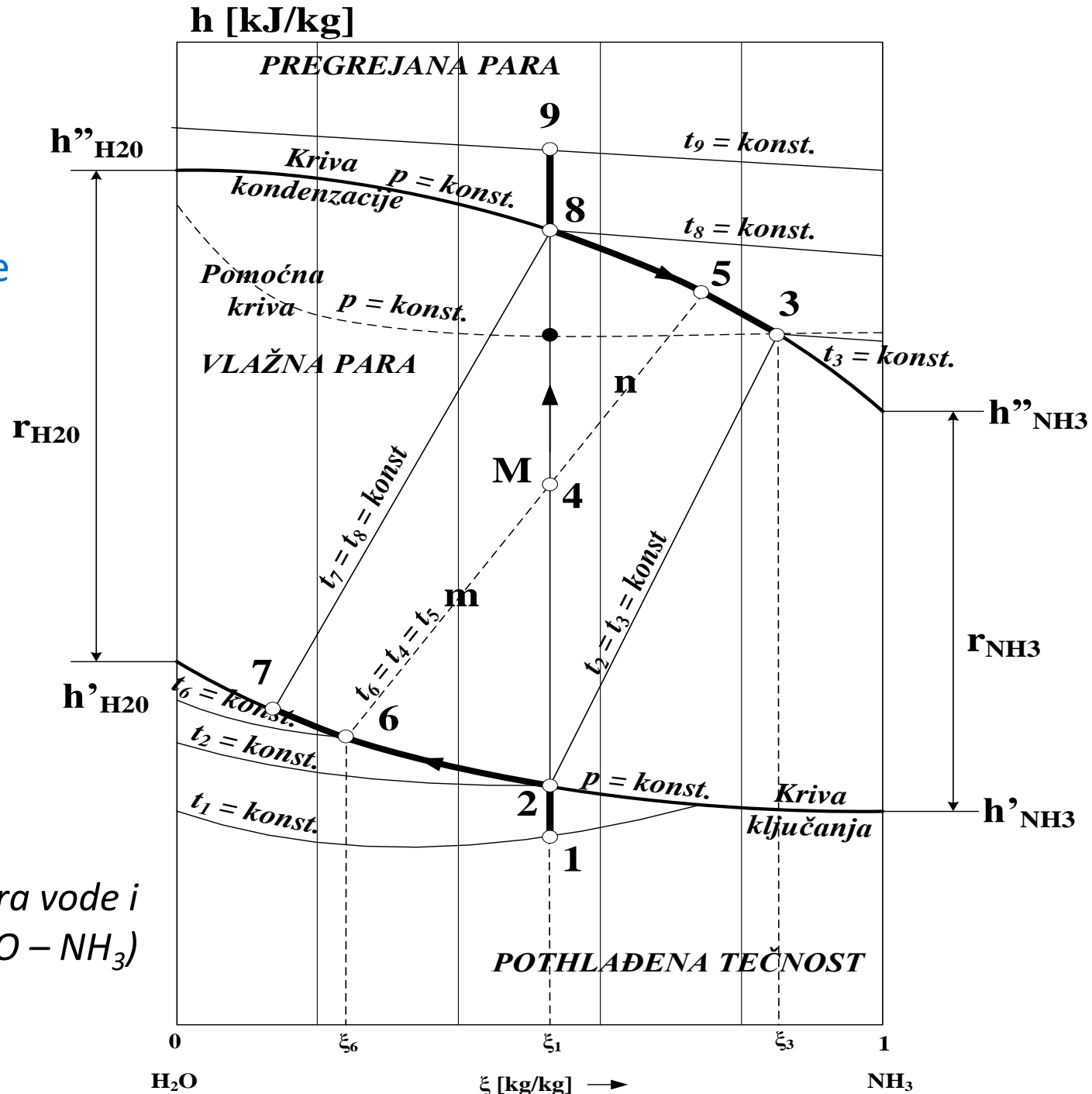
Dovođenjem toplote u generator dolazi do isparavanja lakše isparljive komponente binarne smeše u generatoru.

Stvorena para D koncentracije $\xi_{d'}$ dolazi do kondenzatora, a osiromašeni rastvor $G_s = F - D$ se nakon prigušivanja u regulacionom ventilu **RV I** dovodi u apsorber.

Šema jednostavnog apsorpcionog rashladnog postrojenja

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

Uobičajeno je da se analiza procesa u apsorpcionom postrojenju sprovede i u h - ξ dijagramu binarnih smeša

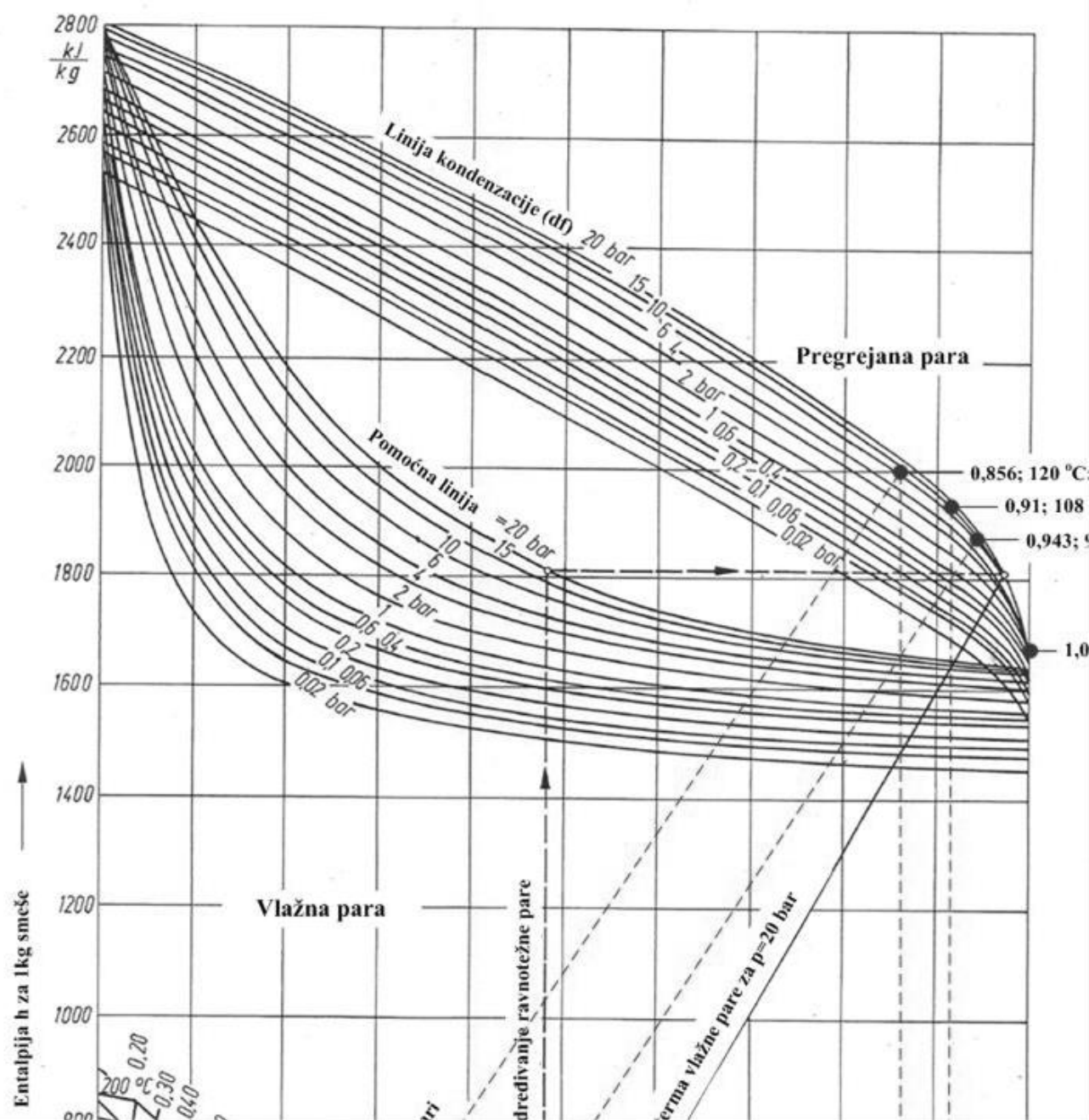


$h - \xi$ dijagram rastvora vode i amonijaka ($H_2O - NH_3$)

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

Uobičajeno je da se
analiza procesa u
apsorpcionom
postrojenju
sprovede i u h - ξ
dijagramu binarnih
smeša

h - ξ dijagram rastvora
vode i amonijaka
($H_2O - NH_3$)



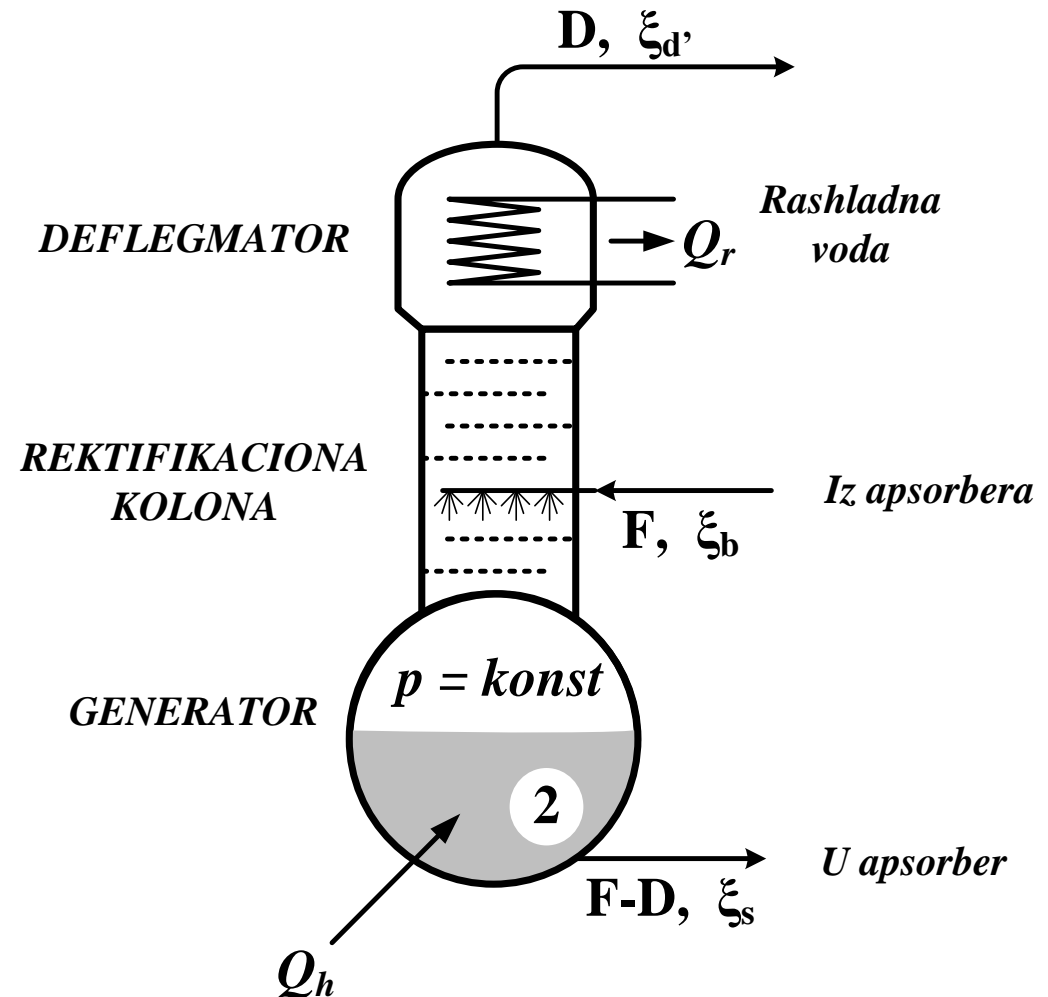
APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

Povećanje efikasnosti apsorpcionih rashladnih postrojenja

Prikazano postrojenje retko se sreće u praksi, jer je energetski neefikasno.

Povećanje efikasnosti može i postiže se na sledeće načine:

1. Dodavanje generatoru rektifikacione kolone i deflegmatora



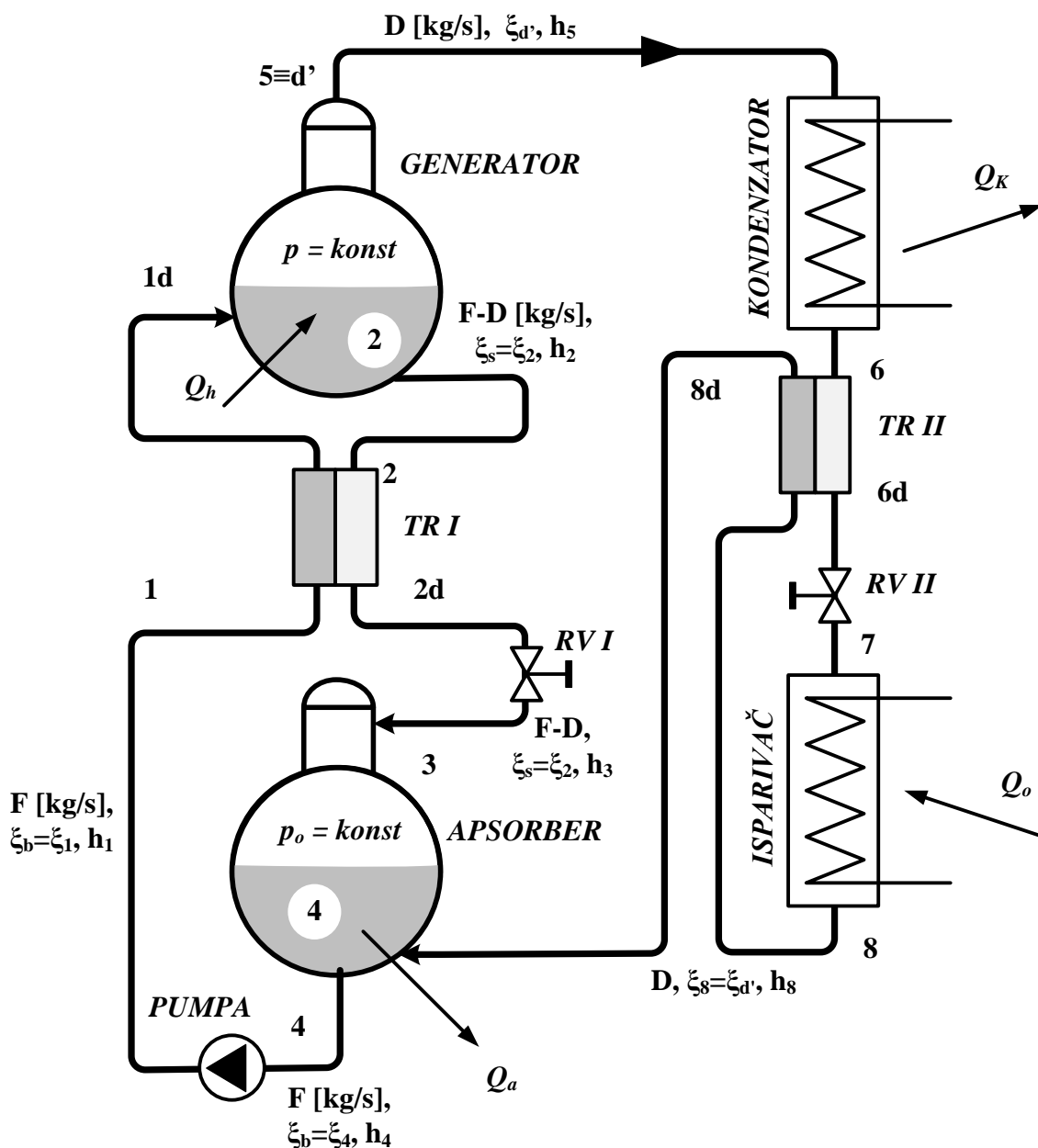
Osnovni način ostvarenja energetski efikasnog procesa u generatoru jeste da se dobije što veća koncentracija amonijaka ξ_d u pari.

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

Povećanje efikasnosti apsorpcionih rashladnih postrojenja

2. Rekuperacija toplote

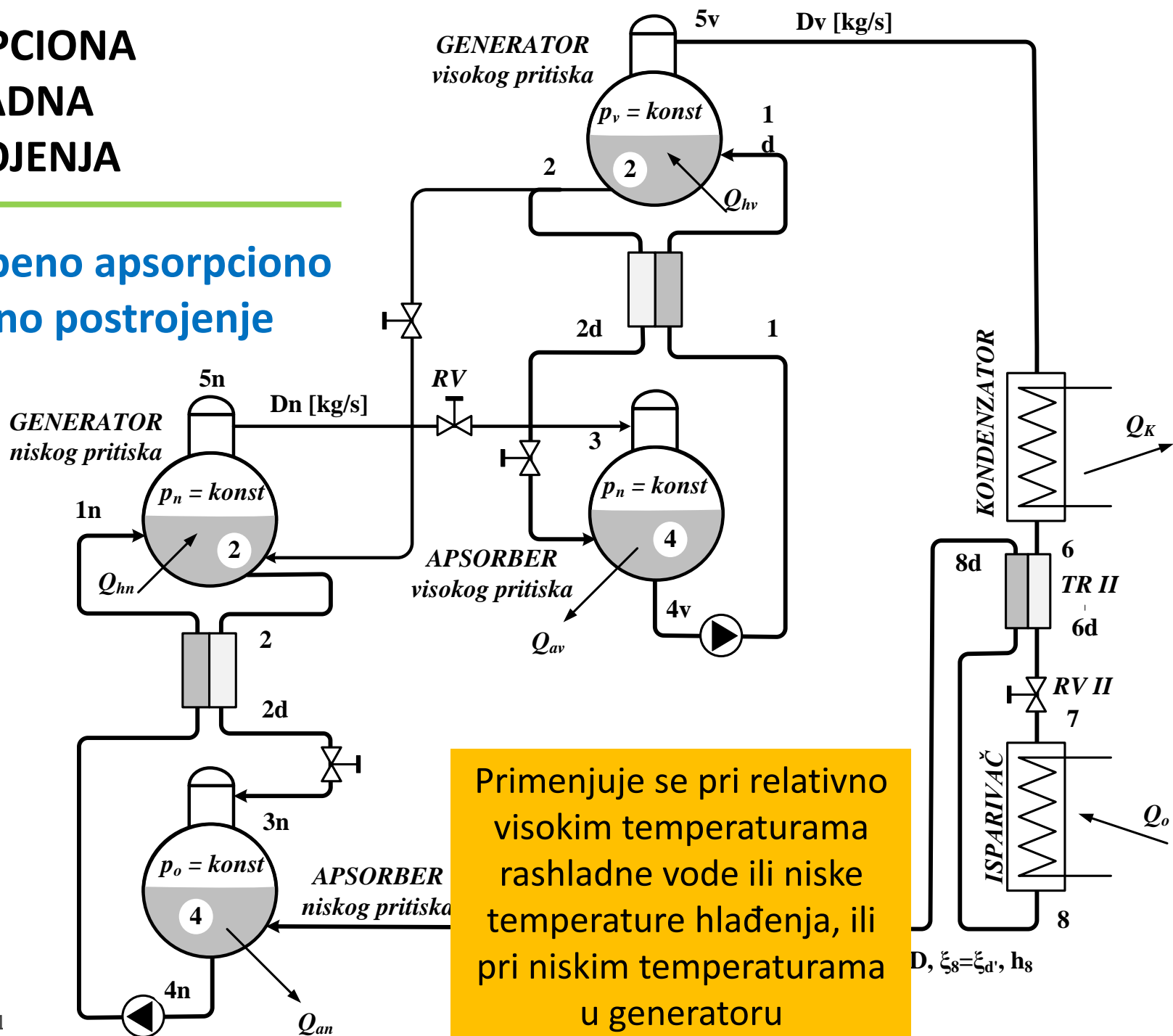
Znatno smanjenje
utrošene toplotne energije
i potrošnje rashladne vode
može se postići
korišćenjem vrelog slabog
rastvora iz generatora za
dogrevanje hladne bogate
struje iz apsorbera.



Toplotni protok u TR I je upravo smanjenje potrebne toplote Q_h u generatoru.

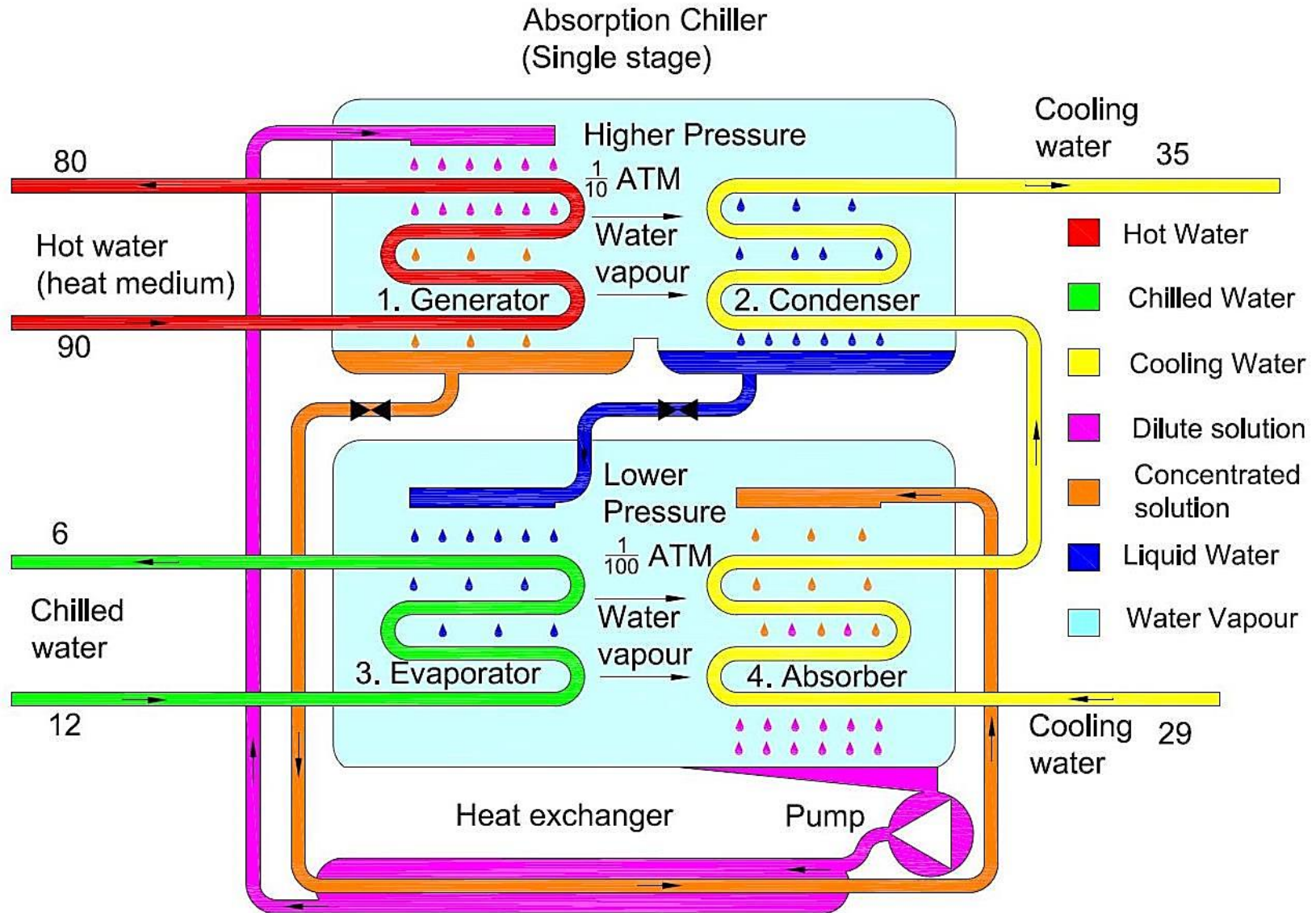
APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA

Dvostepeno apsorpciono rashladno postrojenje

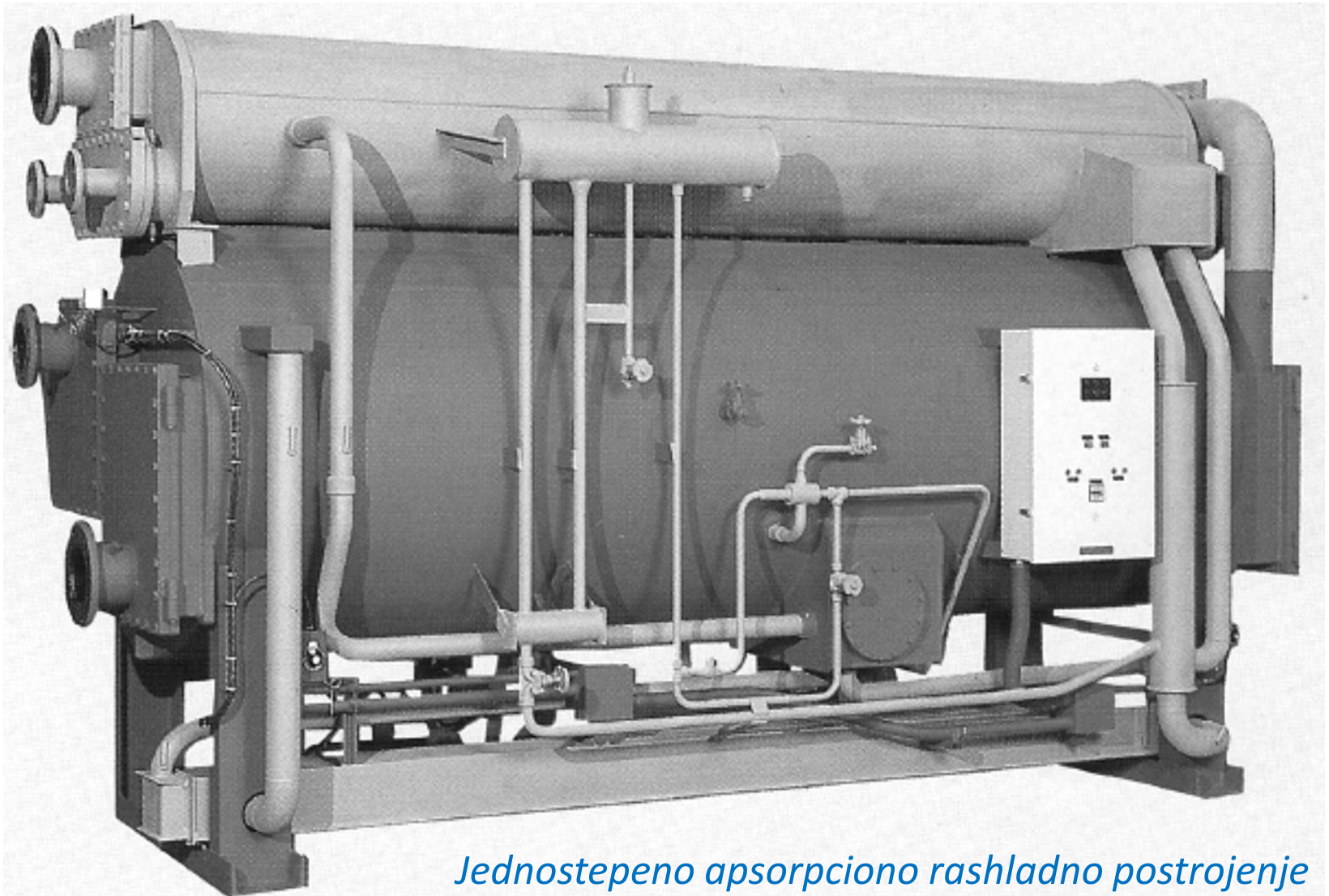


Primenjuje se pri relativno visokim temperaturama rashladne vode ili niske temperature hlađenja, ili pri niskim temperaturama u generatoru

APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA



APSORPCIONA RASHLADNA POSTROJENJA



Jednostepeno apsorpciono rashladno postrojenje