

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

DR. SC. PREDRAG KRALJ

PRIRUČNIK ZA OPERATERE RASHLADNIH KONTEJNERA

RIJEKA, LIPANJ 2017.

Izdavač
Sveučilište u Rijeci
Pomorski fakultet u Rijeci
51000 Rijeka, Studentska 2

Recenzenti
Prof. dr. sc. Dragan Martinović

Web izdanje

Prvo izdanje

Udžbenik je zaštićen autorskim pravima. Sva prava pridržana, neovisno radi li se o cjelini ili samo dijelu udžbenika, a posebno kada se radi o fotokopiranju, ponovnom korištenju originalnih nacрта, objavljivanju, raspačavanju u elektronskom ili bilo kojem drugom obliku, te pohranjivanju u bazama podataka. Autor i izdavač ne prihvaćaju odgovornost za moguće pogreške i štete nastale primjenom podataka navedenih u udžbeniku.

Sadržaj:

1. Termodinamičke osnove	....2
2. Karakteristike radnih tvari	....5
3. Označavanje radnih fluida	....7
4. Ulja za podmazivanje kompresora	....8
5. Osnova rada parno-kompresijskog rashladnog uređaja	....9
5.1. Osnovne karakteristike glavnih elemenata	....10
5.2. Ostali elementi sustava	....15
6. Glavni proizvođači i karakteristike rashladnih sustava kontejnera	....18
6.1. <i>Carrier Thinline</i> i <i>Primeline</i>	....19
6.2. <i>Thermoking Magnum</i> i <i>Superfreezer</i>	....21
6.3. <i>Daikin LXE</i> rashladni sustavi	....24
6.4. <i>Denso</i> i <i>Star Cool</i>	....24
6.5. Održavanje rashladnih sustava	....26
6.5.1. <i>Nadopunjavanje sustava radnim fluidom</i>	....26
6.5.2. <i>Zamjena elemenata sustava</i>	....27
6.5.3. <i>Pražnjenje i punjenje sustava uljem</i>	....27
6.6. Stvarni toplinski proces	....28

1. Termodinamičke osnove

Zadaća je rashladne tehnike sniziti temperaturu prostora (fluida u prostoru, hrane, fluida koji protječe njime) ispod temperature okoline i održavati tu temperaturu. To je u suprotnosti s prirodnim zakonom. Izmjena ili strujanje topline (engl. heat flux) postoji samo ukoliko postoji temperaturna razlika¹. Toplina struji s tijela ili fluida više temperature k nižoj dok se temperature ne izjednače. Kod temperaturne ravnoteže nema izmjene topline.

Stoga je za ostvarenje na početku spomenute zadaće potrebno uključiti tehnološki proces. Na slici 1 naznačeno je prirodno strujanje topline ukoliko postoji temperaturna razlika $T_o < T_{oko}$ te izmjena topline ostvarena tehnološkim procesom. Do sada je poznato više takvih procesa. S nekim se rashladnim procesima mogu postići relativno mala sniženja temperature, neki postižu umjerena, dok se neki procesi koriste za postizanja stanja 'apsolutne nule'. Također, neki su procesi napušteni jer su male učinkovitosti.

Može se reći da se na brodovima, kako u slučaju ugrađenih brodskih rashladnih sustava kao što je to 'provijant', tako i u slučaju prijenosnih, poput onih na kontejnerima, koristi parno-kompresijski proces. Počeci razvoja ovih uređaja sežu u 19. stoljeće kada se zrak, korišten kao radni medij, zamjenjuje radnim tvarima koje mijenjaju agregatno stanje.

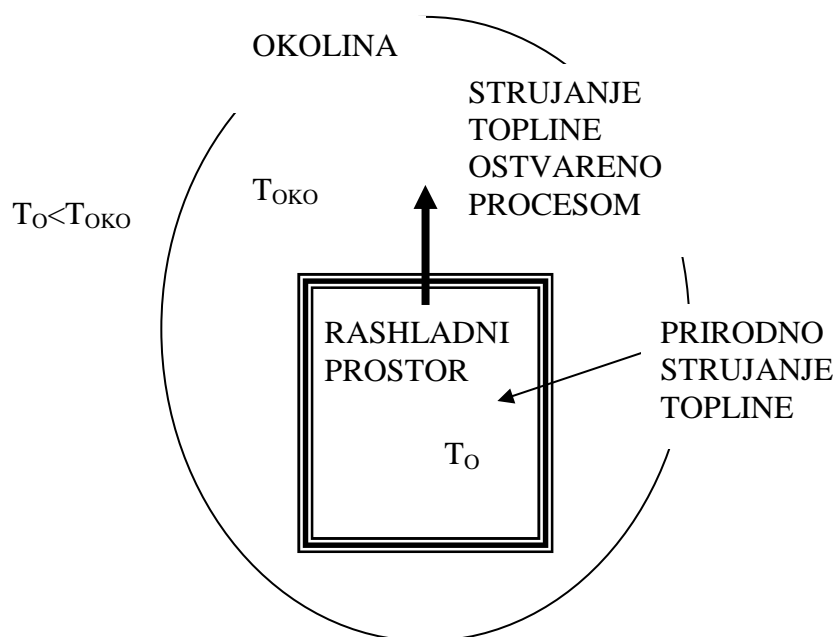
Parno-kompresijski rashladni uređaji rade poput dizalica topline ili toplinskih pumpi. Radni fluid niskog tlaka i temperature u stanju mokre pare prolazi kroz isparivač smješten u rashladnom prostoru. Temperatura hlađenog prostora nešto je veća od temperature radnog fluida u cijevi te on prolazeći kroz nju isparava sve dok potpuno ne ispari. To je latentna toplina jer tijekom tog procesa radni fluid ima konstantnu temperaturu i tlak. Radni fluid ili pojednostavljeno rashladni sustav je 'uzeo' na sebe toplinu niske temperature.

Kompresor usisava paru niskog tlaka, komprimira ju te ona postaje pregrijana. Povećava joj se tlak i temperatura. Ta pregrijana para ulazi u kondenzator gdje ju hladimo rashladnim sredstvom. To može biti zrak, morska ili slatka voda i dr. U kondenzatoru dolazi najprije do izmjene senzibilne topline². Pregrijana se para hladi i pada joj temperatura. Zatim dolazi do procesa ukapljivanja ili kondenzacije. Proces obrnutog od isparivanja. I to je latentna toplina, jer tijekom kondenzacije radni fluid ne mijenja temperaturu niti tlak. Na taj se način toplina koju je sustav preuze 'predaje' okolini.

Dakle, sustav je uzeo toplinu niske temperature i okolini predao toplinu više temperature. Ovime su navedena tri bitna elementa koja mora imati svaki parno-kompresijski rashladni uređaj: isparivač, kompresor i kondenzator. Treba postojati još jedan kako bi se zatvorio ciklus i radnu tvar vratilo u prvobitno stanje. To je element u kojem se dešava ekspanzija radne tvari s višeg na niži tlak. Danas je to prigušni element. U njemu dolazi do znatnog pada tlaka uslijed kojeg se ukapljena radna tvar koja izlazi iz kondenzatora pretvara u mokru paru niskog tlaka s početka ove priče.

¹ Izmjena topline može biti ostvarena provođenjem kroz krutu tvar, konvekcijom kada fluid struji uz neku stjenku različite temperature ili zračenjem.

² Za razliku od latentne topline ova je karakterizirana promjenom temperature.



Slika 1. Prirodno strujanje topline i strujanje topline ostvareno rashladnim procesom

U prethodnom su tekstu spomenuti neki pojmovi važni za razumijevanje fazne pretvorbe kakva se višestruko pojavljuje u parno-kompresijskim rashladnim uređajima. Na slici 2 prikazana je promjena stanja nepoznate tvari za neki tlak p . Pri temperaturi koja odgovara točki 1 tvar je krutina. Dovođenjem topline mijenja se agregatno stanje, dolazi do taljenja te se mijenja odnos krute i tekuće tvari dok u točki 1 ne preostane samo tekućina. Treba istaknuti kako je tijekom tog postupka temperatura konstantna. Radi se o latentnoj toplini.

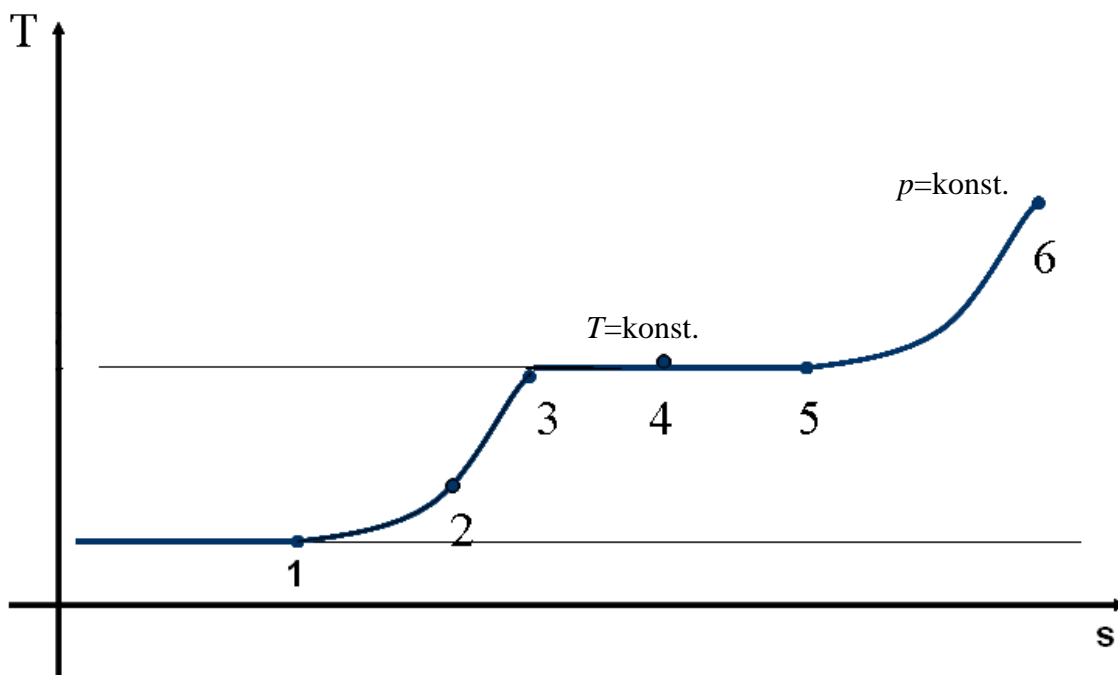
Ukoliko se proces dovođenja topline nastavi temperatura tekuće faze se povećava, te se radi o senzibilnoj toplini. Pri tome se povećava i specifični volumen tekućine. Točka 3 predstavlja stanje zasićenja, poznato i kao vrelište te rosište³. Stanje fluida u točki 3 zove se stanje vrele tekućine. Temperatura i tlak zasićenja jednoznačno su određeni za jednostavne tvari. Daljnjim dovođenjem topline ponavlja se slučaj kao kod taljenja, samo se sada radi o isparivanju. Temperatura je ponovno konstantna do točke 5 u kojoj isparava zadnja kapljica tekuće faze. Stanje u točki 5 zove se suhozasićena para. Tijekom procesa isparavanja mijenja se odnos tekuće i plinovite faze, tj. smanjuje udio tekuće i povećava udio plinovite. Zato dolazi do znatnog povećanja specifičnog volumena⁴.

Ukoliko se suhozasićenoj pari iz točke 5 i dalje dovodi toplina ona se pregrijava. Paru označenu npr. točkom 6 zovemo pregrijana para. Treba istaći da se ne treba poistovjetiti naziv pregrijana para s njezinom stvarnom temperaturom. Kada u isparivaču imamo temperaturu isparivanja od -20°C i para se u njemu čak pregrije za 10 K (ili 10°C), njezina je temperatura na izlazu iz isparivača i dalje vrlo niska, -10°C .

U kondenzatorima rashladnih sustava dešava se obrnuti proces. Najprije se pregrijana para hladi i pada joj temperatura do temperature rosišta. Nakon toga nastupa kondenzacija, a ili u samom kondenzatoru ili u dodatnom rashladniku dolazi i do pothlađivanja kondenzata.

³ Što je vezano uz obrnuti proces, odvođenja topline

⁴ Iskustveno, plinovi imaju nekoliko stotina puta veći specifični volumen od tekuće faze



Slika 2. Fazne promjene

Kako bi se mogao pratiti rad rashladnog sustava, ustanoviti greške u radu i pravovremeno ga zaštititi od težih kvarova potrebno je pratiti promjene nekih fizikalnih veličina. Iz prijašnjih objašnjenja, vezanih uz toplinski T-s dijagram, očito radi se o radnim tlakovima i temperaturama. Rashladni sustavi kontejnera imaju ugrađene osjetnike tlaka na više mjesta. Važnija su: usisna i tlačna strana kompresora te izlaz iz isparivača. Isto vrijedi i za temperature, mada se mjere i temperature okolnog zraka te zraka prije i poslije isparivača. Operateri rashladne tehnike imaju i priručne manotermometre koji se koriste za periodičku kontrolu rada uređaja i općenito kod održavanja.

Vrijednosti parametara koje očitavaju ugrađeni osjetnici koriste se za regulaciju rada te za zaštitu uređaja. Tako se prema tlakovima na kompresoru regulira rashladni učin, prema tlaku i temperaturi na izlazu iz isparivača podešava se pregijanje EEV-a, prema tlaku na izlazu iz kompresora broj okretaja ventilatora kondenzatora itd.

Na zaslonu upravljačkog sustava kontejnera pojavljuje se digitalni prikaz veličina dok su priručni manometri analogni. U praksi se još uvijek mogu sresti razne mjerne jedinice, bez obzira na gotovo univerzalan SI sustav. Za evropsko se tržište pojavljuju mjerne skale u jedinicama koje imaju sljedeći međusobni odnos:

$$1\text{bar} \cong 1\text{kg} / \text{cm}^2 = 1\text{kp} / \text{cm}^2$$

dok se za američko tržište još uvijek dosta koristi jedinica *psi* (od engl. pound per square inch) pri čemu je $1\text{psi} \cong 0,07\text{bar}$.

Na slici 3 prikazan je analogni manovakuumtermometar kakav se koristi pri održavanju rashladnih sustava. Na njemu su dvije tlačne skale, za evropsko i američko tržište. Ima i mogućnost očitavanja potlaka. Potlak se obično izražava u centimetrima stupca vode ili inčima stupca žive ili postocima. Prema nazivu uređaja moglo bi se krivo zaključiti kako mjeri i temperature, no to bi bilo pogrešno. Temperaturne skale služe za određivanje temperatura zasićenja prema odabranim tlakovima, tj. koriste se umjesto toplinskih tablica ili dijagrama.

Mjerni uređaji temperature također mogu davati digitalni i analogni prikaz izmjerene vrijednosti. Uglavnom se koriste dvije mjerne skale: Celsiusova i Fahrenheitova. Pretvorba se vrši prema izrazu

$$t_{\circ C} = \frac{5}{9}(t_{\circ F} - 32)$$

pa je ledište vode na $32^{\circ}\text{F}=0^{\circ}\text{C}$, a vrelište vode na $212^{\circ}\text{F}=100^{\circ}\text{C}$.



Slika 3. Analogni manovakuumtermometar

Neki kontejneri imaju uređaje za mjerenje vlažnosti. U skladu s tim vrijednostima podešava se proces sušenja zraka u kontejneru i uvođenje svježeg zraka u njega. Ukoliko je proizvod zaleđen uvođenje svježeg zraka u kontejner se zatvara.

2. Karakteristike radnih tvari

Što je uopće radna tvar parno-kompresijskog rashladnog uređaja (radni fluid, radni medij, rashladna tvar, engl. refrigerant). Rashladna je tvar fluid koji se koristi za izmjenu topline u rashladnom uređaju na način da apsorbira toplinu isparavanjem pri niskom tlaku i temperaturi čime hladi prostor te otpušta toplinu tijekom procesa kondenzacije pri povišenom tlaku i temperaturi.

Radni fluidi parno-kompresijskih rashladnih uređaja moraju imati određene karakteristike. To vrijedi za velike brodske uređaje te za rashladne uređaje kontejnera. Karakteristike mogu biti:

- toplinske
- fizikalne
- kemijske
- sigurnosne
- ekonomske

Toplinska su svojstva u uskom odnosu s toplinskim procesom potrebnim za ostvarivanje rashladnog učina. Tlak pri kojem rashladno sredstvo oduzima toplinu mora biti viši od atmosferskog, kako bi se spriječio ulazak zraka u sustav, a temperatura zasićenja koja odgovara tom tlaku niža od željene temperature hlađenog prostora. Pri tome, rashladno sredstvo mora imati veliki rashladni učin, odnosno toplinu isparivanja, kako bi za isti rashladni učin sustavom trebala cirkulirati manja količina sredstva. Tlak kondenzacije je viši, ali ne bi trebao biti viši od kritičnog⁵, dok temperatura kondenzacije mora biti viša od rashladnog medija kondezatora, zraka ili vode. Toplina kondezacije trebala bi biti što niža zbog lakše kondezacije. Velik specifični toplinski kapacitet koristan je zbog pozitivnog utjecaja na koeficijente prijelaza topline u kondenzatoru i isparivaču. Gustoća bi trebala biti što veća zbog dimezija kompresora i svih elemenata sustava. Toplinska su svojstva obično prikazana u toplinskim tablicama i dijagramima koje postoje za praktički sve tehničke fluide.

Od ostalih fizikalnih veličina važno je prisustvo mirisa, topivost s kompresorskim uljima te viskozitet. Miris može pomoći korisniku u otkrivanju propuštanja i povećane koncentracije sredstva u atmosferi. Radni fluid treba u nekoj mjeri biti topiv s kompresorskim uljima, no ne previše, jer bi se u tom slučaju previše ulja isisavalo iz kartera kompresora i oslabila maziva svojstva preostalog ulja. Niske vrijednosti viskoziteta olakšavaju strujanje sredstva kroz sustav i smanjuju potrebnu snagu kompresora.

Rashladna sredstva trebaju biti kemijski stabilna, tj. ne ulaziti u kemijske reakcije s bilo kojim materijalom u sustavu: metalima iz kojih su izrađeni dijelovi kompresora i cjevovoda, plastičnim i drugim masama koje se možda koriste za brtvljenje, uljem za podmazivanje kompresora, vodom i zrakom koji mogu biti prisutni u sustavu te sredstvom za sušenje. Ne smiju biti otrovna, pogotovo ako se koriste za čuvanje prehrambenih proizvoda niti zapaljiva.

Time se već ulazi u sigurnosni aspekt. Osim zapaljivosti i otrovnosti procjenjuje se i utjecaj na hranu te mogućnost da sa zrakom stvaraju eksplozivnu smjesu. Ipak sigurnosne oznake pokazuju karakteristiku sredstva samo prema prva dva kriterija. Slovom A označavaju se sredstva niske otrovnosti dok se slovom B označavaju otrovna sredstva. Brojem jedan označava se sredstvo koje je nezapaljivo, dok se brojem 3 označava jako zapaljivo sredstvo. Dakle, sigurnosno najbolje sredstvo imalo bi oznaku A1, dok bi najopasnije sredstvo imalo oznaku B3. Ukoliko se radi o smjesi trebala bi nositi sigurnosnu oznaku najgore komponente, jer se pretpostavlja najgori slučaj, tj. da će nakon pojave propuštanja u sustavu preostati upravo ta komponenta.

Ekonomski su kriteriji cijena samog sredstva, no na nju utječu i dostupnost na tržištu te načini skladištenja. Visoki tlakovi ili potreba za ventilacijom prostora u kojem se čuvaju spremnici s rezervnim sredstvom negativno utječu na cijenu.

Naravno, sredstva moraju biti i ekološki prihvatljiva, no postoji više regulativa koje to određuju te se u modernim uređaji koriste sredstva koja nemaju štetni utjecaj na okoliš ili je tajn utjecaj mali. Procjenjuju se prema utjecaju na ozon, tj. stvaranje ozonskih rupa te na efekt staklenika ili globalno zatopljenje. Operateri rashladne tehnike postupke održavanja uređaja moraju izvoditi na način kako bi što manje količine radnog fluida bile ispuštene u atmosferu.

Toplinske karakteristike tehničkih fluida prikazuju se u tablicama i dijagramima. Neke od karakteristika mogu se uočiti iz T-s dijagrama, gdje je T za temperaturu i s za entropiju. Promjena stanja za odabrani tlak p prikazana su na takvom dijagramu na slici 2.

⁵ Što nije slučaj s ugljičnim dioksidom.

3. Označavanje rashladnih fluida

Prema međunarodnom dogovoru rashladna se sredstva označavaju slovom R nakon koje slijedi brojana oznaka. Međutim, sredstva se mogu kategorizirati u primarna, kakva koriste parno-kompresijski rashladni uređaji i sekundarna. Nadalje, razlikuju se čiste ili jednostavne tvari te smjese.

S razvojem parno-kompresijskih rashladnih uređaja, počinje i razvoj njihovih radnih fluida. Tijekom povijesti koristili su se: etileter, dimetileter, amonijak, ugljični dioksid, sumpor dioksid, dušikII oksid, razni ugljikovodici (etan, etilen, propan, butan, izobutan), klorometan i drugi halogenirani ugljikovodici. Takva su se sredstva nazivala freoni ili frigeni, no taj je naziv napušten. Veliki je prodor napravljen s freonom 12 (R-12), koji je osamdesetih godina prošlog stoljeća bio radni fluid u 95% brodskih uređaja.

U netehničkim publikacijama mogu se pronaći oznake CFC, HCFC, HFC te HC, što su u biti kratice prema nazivu spojeva u engleskom jeziku. Stoga CFC stoji za spojeve koje nazivaju klorofluorougljici, HCFC za hidroklorofluorougljike, HFC za hidrofluorougljične spojeve, dok je HC za hidrougljike, tj. u hrvatskoj terminologiji za ugljikovodične spojeve. CFC i HCFC spojevi se ne koriste u novim uređajima jer sadržavaju klor, koji je prema prihvaćenim teorijama odgovoran za nastanak ozonskih rupa. To vrijedi i za sve novije rashladne sustave kontejnera.

U slučaju jednostavnih tvari prva znamenka poslije slova označava broj atoma ugljika u molekuli umanjen za jedan. Kada je broj ugljikovih atoma jedan to daje nulu, no ona se tada ne navodi. Druga je znamenka broj atoma vodika u molekuli uvećan za jedan. Treća je znamenka broj atoma fluora. Četvrta znamenka pokazuje broj međusobnih veza ugljikovih atoma.

Međutim, ova je definicija komplicirana. Lakše je zapamtiti praktičan izraz gdje se oznaci radnog fluida pribroji broj 90 te u pravilu znamenke troznamenkastog broja (X, Y i Z) točno znače brojeve atoma ugljika, vodika i fluora. Uzmimo za primjer nekad najprimjenjiviji R-12. Dodavanjem 90 dobije se 102, što znači da ima jedan atom ugljika, nema vodika i ima dva atoma fluora. Što je s još dvije veze? Broj atoma klora dobije se prema izrazu: $2X - Y - Z + 2$, što za dani primjer iznosi $2(2*1 - 0 - 2 + 2) = 2$. Dakle, R-12 ima i dva atoma klora te je spoj koji se zove difluordiklormetan.

Toplinski vrlo sličan njemu, ali ekološki prihvatljivi te se koristi kao zamjena pa i u novim kontejnerskim sustavima jest R-134a. Prema istoj praktičnoj metodi dobije se $134 + 90 = 224$, što znači da ima dva atoma ugljika, dva vodika, četiri fluora. Za klor 'više nema mjesta, jer je svih šest veza iskorišteno, a to bi pokazao i račun $(2*2 - 2 - 4 + 2) = 0$. Dakle, R-134 je tetrafluoretan. Što znači malo slovo u nastavku brojčane oznake? Oznaka koja nema malo slovo u nastavku koristi se za osnovnu, najsimetričniju molekulu, a slova (a, b, c, d, e...) znače iste atome, no drukčiju strukturu molekule, tj. izomer⁶.

Rashladna sredstva 316, 317 i 318 su ciklički ugljikovodici pa se između slova R i broja uvrštava slovo C (npr. RC316). Rashladna sredstva serije 400 su azeotropne, a 500 zeotropne smjese. O smjesama i razlici u odnosu na jednostavne tvari, a nekoliko ih se koristi i u rashladnim sustavima kontejnera bit će riječi kasnije. Oznaka sredstva dobije se nakon prihvaćanja od strane ASHRAE⁷, tj. prema standardu 34 i ISO standardu 817, i to kronološki. Smjese nakon troznamenkastog broja imaju veliko slovo. Smjese koje imaju isti broj imaju iste sastojke ili komponente, ali slovo znači drukčije masene omjere tih sastojaka. Sve se smjese oznake 407 sastoje od R-32, R-125 i R-134a, međutim smjesa R-407A ima mesene udjele tih triju komponenata redom 20/40/40%, dok u kontejnerskim sustavima R-407C ima

⁶ Primjer je i R600 – butan i R600a - izobutan

⁷ American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers

23/25/52%. Razlika između zeotropnih i azeotropnih smjesa također će biti objašnjena kasnije.

Neki primarni sustavi koriste anorganske tvari, kao i neki sekundarni. Anorganske se tvari označavaju serijom 700 tako da se tom broju pribroji maseni broj molekule radne tvari. Stoga je oznaka za ugljični dioksid R-744 ($M_{CO_2}=1*12+2*16=44$), a za amonijak R-717 ($M_{NH_3}=1*14+3*1=17$).

Na kontejnerima je uvijek jasno istaknuta numerička oznaka radnog fluida kojeg sustav koristi. Sredstva se ne smiju miješati, a i ulja koja se koriste za podmazivanje kompresora moraju biti kompatibilna. Spremnici s rezervnim sredstvom ili koje koristimo kod evakuacije sustava također nose odgovarajuće oznake i obojani su specifičnim bojama prema radnom sredstvu.

4. Ulja za podmazivanje kompresora

Na danšnjem se tržištu nalazi praktički onoliko ulja koliko je rashladnih tvari. Proizvođači rashladnog sustava ili samog kompresora specificiraju koji tip ulja se mora koristiti, kao i potrebne količine. Ukoliko se koristi neodgovarajuće ulje mogući su teži i skuplji kvarovi u sustavu. Kako rashladni sustav radi s niskim temperaturama, neka su svojstva ulja izuzetno važna.

Ulja bi trebala imati niski udio voska i viskoznih komponenata, koje bi ukoliko se izluče mogle blokirati neke otvore malih dimenzija kakvih ima u rashladnom sustavu (npr. spojevi mjernih osjetnika i prekidača s cjevovodom, regulacijski otvori i sl.). Iako sustav radi s niskim temperaturama neka su mjesta u sustavu povišene temperature te ulje na njima ne bi smjelo stvarati tvrde naslage, tj. trebalo bi biti toplinski stabilno. Isto vrijedi i za kemijska svojstva. Ulje ne bi smjelo kemijski reagirati s bilo kojim materijalom u sustavu.

Stišnje bi trebalo biti niže od radnih temperatura u usisnom dijelu sustava, a to se svojstvo nadovezuje na sljedeće, indeks viskoziteta. Indeks viskoziteta (engl. viscosity index) je pokazatelj ovisnosti viskoziteta o temperaturi. Ulja bi trebala imati visoke vrijednosti indeksa što bi značilo da im se viskozitet slabo mijenja s temperaturom. Dakle, takvo ulje nema previsok viskozitet kada je hladno, u početku rada, ali mu se viskozitet niti ne smanjuje kada se zagrije.

Analogno prije spomenutom svojstvu topivosti rashladnog fluida s uljem, isto je ovdje. Treba postojati određena topivost, ali ne prevelika, zbog istih razloga koji su prije navedeni. U biti, današnja se ulja mogu razvrstati u sljedećih pet grupa:

- mineralna ulja (MO)
- alkil benzenska ulja (AB)
- poliol esterska ulja (POE)
- polialfa olefinska ulja (PAO)
- polialkil glikolska ulja (PAG)

Tradicionalno, prijašnji uređaji s CFC spojevima koristili su mineralna i alkil benzenska ulja, dok se moderni sustavi s HFC spojevima moraju opremiti sa sintetičkim uljima. U tablici 1 prikazana su rashladna sredstva s odgovarajućim uljima.

Tablica 1. Rashladna sredstva s odgovarajućim uljima

RASHLADNA SREDSTVA	ODGOVARAJUĆA ULJA				
	MO	AB	POE	PAO	PAG
R-11 (CFC)	dobro	neodgovarajuće	ograničena primjena	ograničena primjena	neodgovarajuće
R-12 (CFC)	dobro	dobro	ograničena primjena	ograničena primjena	neodgovarajuće
R-502	dobro	dobro	ograničena primjena	ograničena primjena	neodgovarajuće
R-22 (HCFC)	dobro	dobro	ograničena primjena	ograničena primjena	neodgovarajuće
R-123	dobro	dobro	ograničena primjena	ograničena primjena	neodgovarajuće
R-134A	neodgovarajuće	neodgovarajuće	dobro	neodgovarajuće	ograničena primjena
R-404A	neodgovarajuće	neodgovarajuće	dobro	neodgovarajuće	ograničena primjena
R-407C	neodgovarajuće	neodgovarajuće	dobro	neodgovarajuće	ograničena primjena
R-410A	neodgovarajuće	neodgovarajuće	dobro	neodgovarajuće	ograničena primjena
R-507A	neodgovarajuće	neodgovarajuće	dobro	neodgovarajuće	ograničena primjena
R-600A	dobro	ograničena primjena	dobro	dobro	ograničena primjena
R-290	dobro	ograničena primjena	dobro	dobro	ograničena primjena
R-717 (NH ₃)	dobro	ograničena primjena		dobro	ograničena primjena
R-744 (CO ₂)	ograničena primjena	ograničena primjena	dobro	dobro	dobro

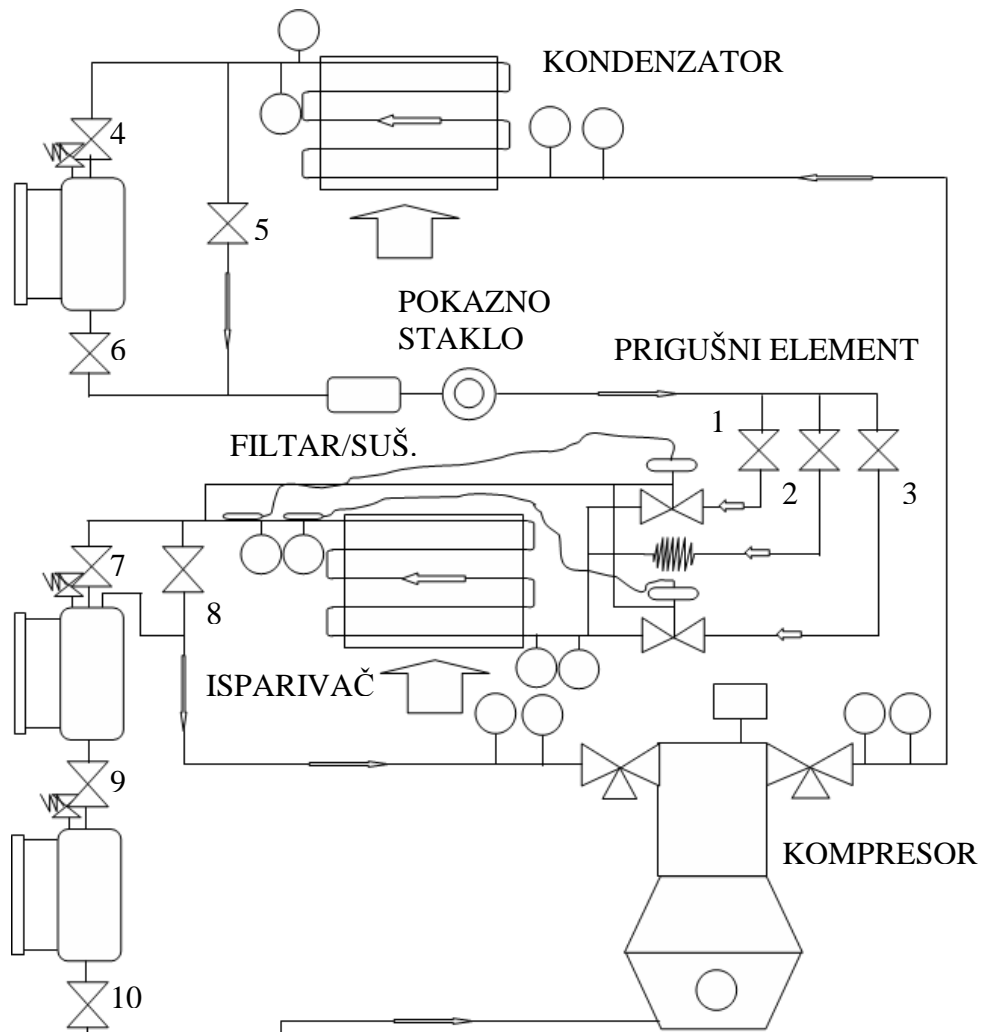
5. Osnova rada parno-kompresijskog rashladnog uređaja

Bitne odrednice već su spomenute:

- uređaj na osnovi uložnog rada uzima toplinu niske temperaturne razine pomoću rashladnog fluida koji isparava pri niskom tlaku i temperaturi, a zatim tu toplinu predaje okolini pomoću rashladnog fluida koji se kondenzira pri povišenom tlaku i temperaturi
- za rad ovakvog uređaja nužna su četiri elementa: kompresor i prigušni element koji uređaj dijele na visokotlačnu i niskotlačnu stranu, kondenzator u kojem se vrši predaja topline okolini te isparivač pomoću kojeg se toplina oduzima hladnom prostoru
- radni fluid mora na nižem tlaku u sustavu isparavati pri temperaturi nešto nižoj od željene temperature i kondenzirati se pri visokom tlaku na temperaturi višoj od rashladnog medija kondenzatora
- uređaj mora imati regulaciju rashladnog učina u skladu s važnim pravilom rashladne tehnike koje kaže 'kako se nikad ne hladi više nego je potrebno'
- uređaj mora imati zaštitu od neadekvatnog rada jer predstavlja opasnost po operatera i šire

Na slici 4 shematski je prikazan uređaj vrlo sličan rashladnom sustavu kontejnera, ali je moguće primjenom numeriranih ventila postavljati različite konfiguracije.

Osim navedena četiri glavna elementa, označeni su filtar/sušilac, kojega također ima svaki parno-kompresijski uređaj te pokazno staklo na cjevovodu. Kako je već navedeno, pomoću numeriranih se ventila mogu mijenjati konfiguracija, a osnovna, koja u velikoj mjeri odgovara rashladnom sustavu kontejnera imala bi otvorene ventile 4, 6, 1 i 8. Gledno od kompresora na tlačnu stranu, nailazimo najprije na kondenzator, hlađen zrakom. zatim spremnik, flitar/sušilac, pokazno staklo, termoekspanzijski ventil⁸ s vanjskim izjednačavanjem tlaka te isparivač. Kondenzator i isparivač su s prisilnim strujanjem zraka i podesivom brzinom strujanja zraka kao što je to mahom slučaj s kontejnerskim sustavima.



Slika 4. Jednostavan parno-kompresijski rashladni uređaj

5.1. Osnovne karakteristike glavnih elemenata

Kompresoru je funkcija uloženi mehanički rad pretvoriti u energiju fluida. U normalnim okolnostima trebao bi raditi samo s plinovitom fazom, no zbog raznih utjecaja ponekad usisava i mokru paru. U skladu s teoretskom potrebnom snagom, tj. potrebnim rashladnim učinkom, kontejnerski su kompresori pogonjeni trofaznim elektromotorima.

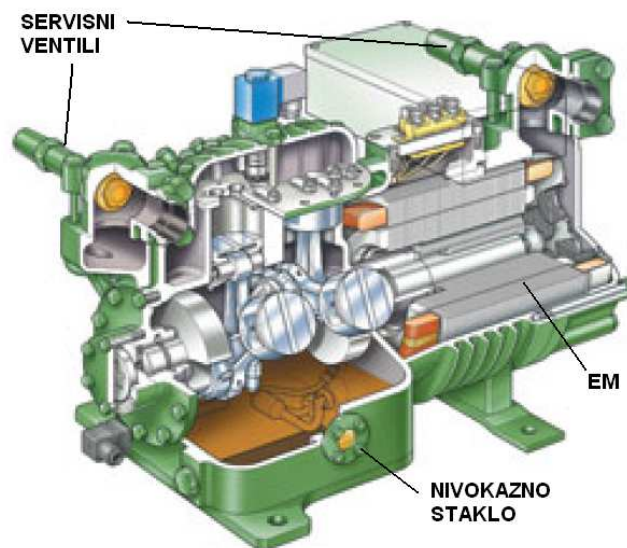
⁸ Još uvijek u primjeni i na kontejnerima iako većina sustava ima elektroekspanzijski ventil

Kompresori rashladnih sustava kontejnera relativno su veliki te se na usisni i tlačni cjevovod spajaju specifičnim ventilima – s dvostrukim sjedištem, kako je to i prikazano na slici 4. Kompresori se mogu podijeliti prema više kriterija, no za kontejnerske su sustave bitna dva: izvedba kućišta te način na koji kompresor ostvaruje povećanje energije rashladnog fluida.

Prema prvom kriteriju postoje kompresori s otvorenim, poluotvorenim ili poluzatvorenim te sa zatvorenim ili hermetičkim kućištem. Kod modernih kontejnerskih sustava sreću se zadnja dva tipa, tj. poluotvoreni i zatvoreni⁹. Kod hermetičkih se u zajedničkom kućištu nalaze kompresor i njegov pogonski elektromotor i nije predviđeno njihovo održavanje već se cijeli sklop po potrebi mijenja. Poluotvoreni kompresori omogućuju popravak kompresora i elektromotora.

Prema drugom kriteriju postoji mnoštvo tipova. Dijele se prije svega u dvije velike skupine, poput pumpi, i to na: dinamičke i volumetrijske. Kod kontejnerskih sustava u pravilu se radi o volumetrijskim koji se dalje dijele na kompresore koji imaju aksijalno pomičan radni element (stapni, klipni, membranski ili s dijafragmom) te na kompresore s rotirajućim radnim elementom ili elementima (lamelasti, vijčani, sa zasunom, pužni ili spiralni). Danas su u primjeni kod kontejnerskih sustava klipni i pužni¹⁰.

Na slici 5 je prikazan poluotvoreni klipni 6-cilindrični kompresor. Raspored cilindara je W, po jedan par u svakom položaju. U zajedničkom, ali rastavljivom kućištu je i pogonski elektromotor. Na karteru kompresora je nivokazno staklo za provjeru razine ulja, a na njegovom dnu priključak za ispuštanje ulja. Kod nekih tipova i priključak s nepovratnim ventilom za punjenje ulja.



Slika 5. Poluotvoreni 6-cilindrični klipni kompresor u djelomičnom presjeku

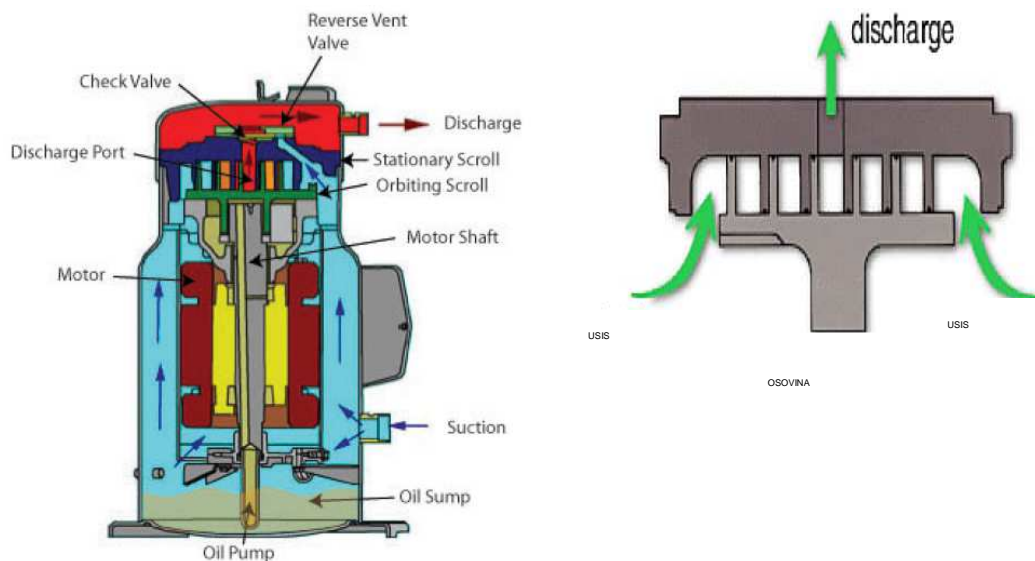
Kod hermetičkih je kompresora nebitan vanjski izgled kućišta. Na slici 6 su prikazani presjek hermetičkog pužnog kompresora i zahvat puževa s označenim smjerom kretanja potiskivanog fluida.

Gornji je puž stacionaran, dok se donji, rotirajući, ekscentrično kreće u odnosu na njega. Radni se fluid usisava iz donjeg dijela kućišta te kroz spiralne kanale potiskuje prema središtu i u tlačnu komoru.

⁹ Engl. semi hermetic i hermetic

¹⁰ Engl. scroll

Kod nekih se kompresora može stacionarni puž vertikalno pomaknuti čime se dobava kompresora u potpunosti prekida. Drugi proizvođači koriste regulaciju broja okretaja elektromotora.



Slika 6. Hermetički kompresor u presjeku te zahvat njegovih puževa

Vrlo je važna i regulacija kapaciteta, tj. rashladnog učina. Ukoliko se radi djelovanjem na kompresor, u skladu s tipovima koji se koriste u rashladnim sustavima kontejnera, pojavljuju se sljedeće metode regulacije kapaciteta:

- zasunom koji po potrebi povezuje tlačnu s usisnom komorom kompresora
- regulacijom broja okretaja pogonskog elektromotora (inverter)
- minimalnim mehaničkim podizanjem jednog od puževa

Nadalje, kompresori su uglavnom jednostupanjski. Uobičajeno povećanje tlaka dopušta takvu izvedbu. Iako se dvostupanjskom kompresijom s međuhlađenjem šteti na potrebnom radu time se i komplicira izvedba kompresora. *Star cool* je jedan od rijetkih proizvođača s dvostupanjskim kompresorom. Klipni (stapni) kompresori obično su i jednoradni.

Kondenzator je drugi po redu element sustava, na tlačnoj strani kompresora. U rashladnim sustavima kontejnera hlađeni su zrakom, a često postoji određeni stupanj regulacije broja okretaja pogonskog motora ventilatora zraka. Kao dodatak tom osnovnom kondenzatoru spremnici¹¹ mogu imati ugrađen cjevovod za vodu te ga se priključivanjem na brodski sustav vode može pretvoriti u dodatni kondenzator. Dakle, kondenzator je cijevni izmjenjivač topline. Kod zračnog radni fluid struji kroz cijevi, a zrak poprečno na njih. Kod kondenzatora hlađenog vodom kroz cijevi prolazi voda, a u plaštu oko cijevi radni fluid.

Za razliku od teoretskog procesa u kojem su tlak i temperatura kondenzacije konstantni, u stvarnom kondenzatoru ipak dolazi do manjeg pada tlaka radnog fluida. Također, u kondenzatoru se može postizati stanje pothladenog kondenzata.

Tekućina iz kondenzatora ide u prigušni element¹². Najjednostavniji prigušni element jest kapilara. Prednost kapilarne cijevi je cijena, no nedostatak je što ona ne vrši nikakvu regulaciju te se uređaj ne prilagođava promjenjivim uvjetima rada. Zato se kod uređaja većih rashladnih učina, a sustavi kontejnera to jesu, koriste regulacijski ili prigušni ventili. Kod većine proizvođača to je danas elektro-ekspanzijski ventil, ali se još zadržao i termo-

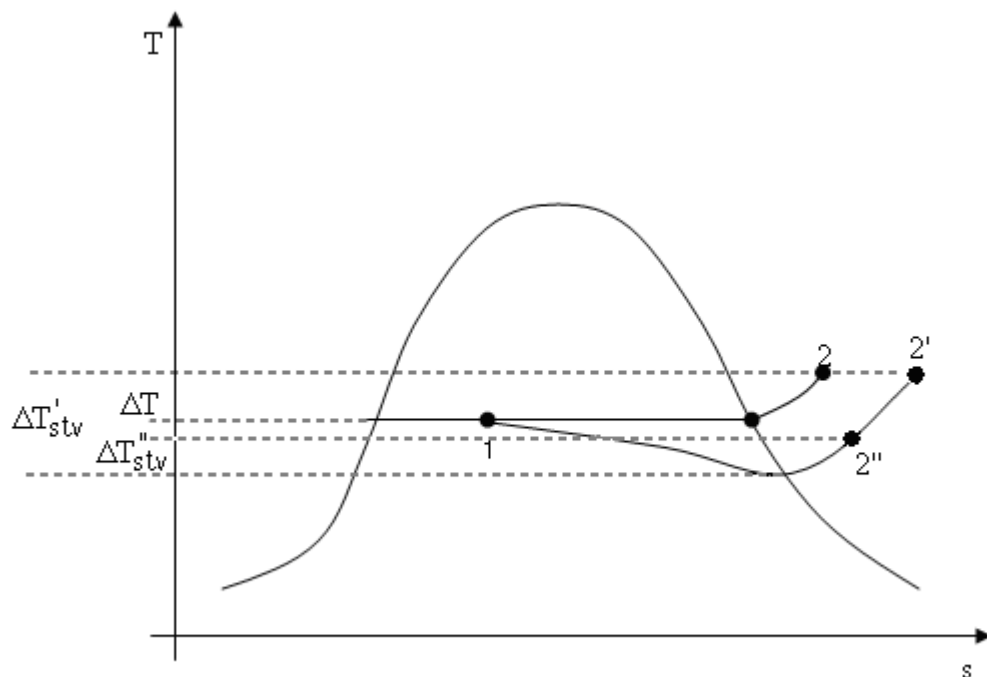
¹¹ Spremnik – engl. receiver

¹² Engl. metering device

ekspanzijski ventil¹³. Elektro-ekspanzijski ventili u osnovi rade poput termo-ekspanzijskih, no njihovim radom upravlja elektronski sustav upravljanja cijelim rashladnim uređajem i to se može izvoditi prema raznim algoritmima.

Osnovna zadaća bilo kojeg od ventila jest postići na izlazu iz isparivača stanje pregrijane pare i to svega nekoliko stupnjeva pregrijane. Para bi na izlazu iz isparivača trebala imati temperaturu za nekoliko celzijusevih stupnjeva višu od temperature zasićenja koja odgovara tlaku na izlazu. Teoretski proces u isparivaču prikazan je na slici 7 od točke 1 do 2. U samom ventilu dešava se prigušenje te se od tekućine visokog tlaka i relativno visoke temperature na njegovom izlazu, tj. na ulazu u isparivač postigne stanje mokre pare niskog tlaka i temperature (1). Prema tom teoretskom procesu na izlazu iz isparivača para je pregrijana za iznos ΔT koji je označen na ordinati.

Tu se javlja problem, jer se stvarni proces u isparivaču odvija uz pad tlaka. U pravilu se na brodu, a i kod kontejnera je tako, koriste suhi isparivači, tj. isparivači s direktnom ekspanzijom. Oni su izvedeni kao jedna cijev ili kao nekoliko paralelnih cijevi. Poznato je da u svakoj cijevi postoji pad tlaka pa tako i u isparivaču. Stvarni je proces, ako je prigušni element TEV s unutarnjim izjednačavanjem tlaka, na dijagramu prikazan krivuljom ispod teoretske, od 1 do 2' i na ordinati je označeno postignuto pregrijanje s $\Delta T'_{stv}$. Vidljivo je da je para u biti značajnije pregrijana, što znači da jedan značajniji dio isparivača hladi lošije. Zašto hladi lošije? Za izmjenu topline potrebna je temperaturna razlika. Što je radni medij u cijevi niže temperature u odnosu na željenu temperaturu npr. zraka u kontejneru to će biti bolja izmjena topline. Kada se para pregrijava radi se o senzibilnoj toplini, tj. njezina temperatura raste i time se smanjuje temperaturna razlika između nje i zraka kojega treba hladiti.



Slika 7. Teoretski i stvarni proces u isparivaču

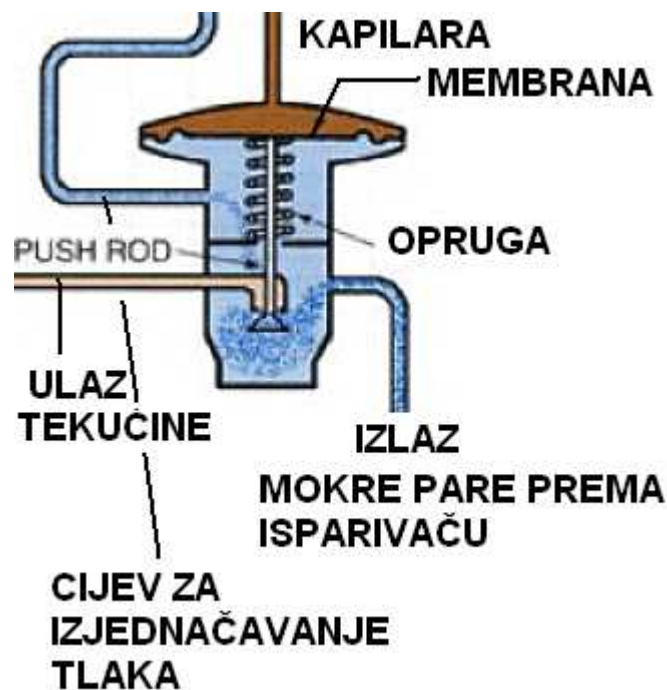
Kada je to odstupanje, stvarnog od teoretskog pregrijanja preveliko, a to se pojavljuje kod isparivača dugih cijevi, u kojima se javlja veliki pad tlaka primjenjuju se TEV s vanjskim

¹³ Nadalje će se koristiti kratice EEV i TEV (iako se negdje označava s TXV) ili univerzalno EV za ekspanzijski ventil bilo kojeg tipa

izjednačavanjem tlaka. S takvim se ventilima postiže stanje 2" pa je vidljivo da je stvarno pregrijanje, označeno također na ordinati po iznosu gotovo identično teoretskom. Drugim riječima takvi ventili nemaju statičku grešku. Rashladni sustavi kontejnera, ako uopće imaju TEV onda je to u pravilu ovaj, s vanjskim izjednačavanjem tlaka¹⁴, kakav je prikazan na slici 8.

Svaki EV ima dvije cijevi – ulaznu, manjeg promjera jer se radi o tekućini i izlaznu većeg promjera jer se radi o pari većeg specifičnog volumena. TEV ima na vrhu jedno proširenje u kojem se nalazi membrana. Prostor iznad membrane nastavlja se kapilarama koja završava s osjetnikom ili bulbom. Taj se osjetnik obujmicom hvata na horizontalnu cijev čim bliže izlazu iz hlađenog prostora, tj. čim bliže završetku isparivača.

TEV s vanjskim izjednačavanjem tlaka ima i treću cjevčicu. Ona povezuje cijev na izlazu iz isparivača i prostor ispod membrane. To je ključna razlika između ventila s vanjskim i unutarnjim izjednačavanjem tlaka, koji tu cjevčicu nema te kod njega s donje strane membrane djeluje tlak koji se postiže prigušivanjem u samom ventilu.



Slika 8. TEV s vanjskim izjednačavanjem tlaka

EEV je prilagodljiv, tj. njime se upravlja na način da upravljački sustav podešava pregrijanje. To je bolje u odnosu na TEV kod kojega je pregrijanje tvornički podešeno ili ga treba podešavati operater. Sustav koji upravlja EEV-om odabire u početku rada uređaja neku srednju vrijednost pregrijanja (npr. 8 K) i zatim ju nastoji postići. Kako bi se mogla vršiti automatska regulacija pregrijanja na izlazu iz pregrijača ugrađeni su osjetnici tlaka i temperature. Kada za odabranu vrijednost pregrijanja tlak i pregrijanje jako i brzo osciliraju vrijednost željenog pregrijanja se povećava, a kada su vrijednosti tlaka i temperature jako stabilne vrijednost željenog pregrijanja se smanjuje.

Kako TEV ili EEV uopće postižu stanje pregrijane pare na izlazu? Ukoliko EV pušta u isparivač nedovoljnu količinu radnog fluida ona će se više pregrijati, dakle temperatura će na izlazu iz isparivača biti viša. Tu temperaturu mjeri osjetnik TEV ili tmeperaturni sensor koji

¹⁴ Neki sustavi kontejnera imaju jedan dodatni pothlađivač kojega nazivaju ekonomajzer i za to se hlađenje onda koristi TEV s unutarnjim izjednačavanjem tlaka

daje signal upravljačkom sustavu kod EEV. Medij zatvoren u bulbu, kapilari i iznad membrane se uslijed toga širi te pomiče iglu ventila prema dolje, tj. pušta više radnog fluida. Kod EEV upravljački ga sustav elektronskim putem otvara malo više. Uslijed toga će temperatura radnog fluida na izlazu iz isparivača padati.

Zadnji je element potreban za toplinski proces isparivač. To je u pravilu snop horizontalnih ravnih cijevi s lamelastim orebrenjem kako bi se povećala površina. Prisilnu cirkulaciju zraka na cijevi isparivača i kroz kontejner postiže se ventilatorima, i to danas dva ili tri ventilatora. Pogonjeni su trofaznim asinkronim elektromotorima s mogućnošću regulacije broja okretaja u skladu s načinom rada i toplinskim opterećenjem. Kako se zbog niskih temperatura na cijevima isparivača orosi vlaga, a zatim i zaleđi, ugrađuje se automatski sustav odleđivanja (engl. defrosting). Led predstavlja toplinski otpor te se podebljanjem leda smanjuje rashladni učin, a javljaju se i problemi u radu uređaja.

Odleđivanje se vrši električnim grijačima koji su smješteni između cijevi isparivača ili uvođenjem tople pare u isparivač. Kada se vrši odleđivanje ventilatori isparivača se u pravilu isključuju.

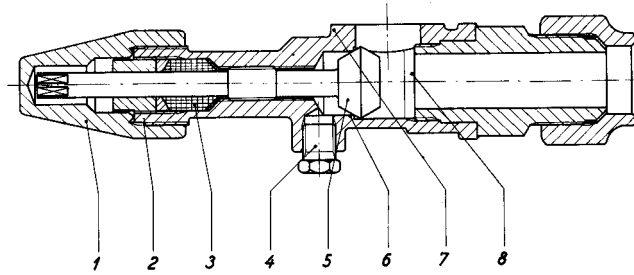
5.2. Ostali elementi sustava

Krenimo opet od kompresora na tlačnu stranu. Klipni višecilindrični poluotvoreni kompresori mogu na tlačnoj strani imati odjeljivač ulja, odnosno separator kapljica. Koriste se uređaji sa žičanom mrežicom ili preprekom okomitom na smjer strujanja te se kapljice ulja na njih hvataju, slijevaju u dno posude iz koje se vraćaju u karter kompresora. Hermetički pužni kompresori takvog odjeljivača nemaju.

Nakon kondenzatora ugrađuje se spremnik koji se po potrebi može pretvoriti u dodatni, vodom hlađeni kondenzator. Njegova je funkcija akumulacija radnog fluida kod smanjenog toplinskog opterećenja, odnosno kada ga sustavom protiče manje, ali i za akumuliranje radnog fluida kada želimo vršiti određene radove u sustavu, mijenjati neke elemente, pa sustav praznimo djelomično ili u potpunosti. Kako posude pod tlakom moraju imati zaštitu od previsokog tlaka (ili temperature) na njemu se nalazi rastaljiva pločica ili disk¹⁵. Pored toga na njemu su pokazna stakla za očitavanje razine tekućine te prisustvo vlage u sustavu.

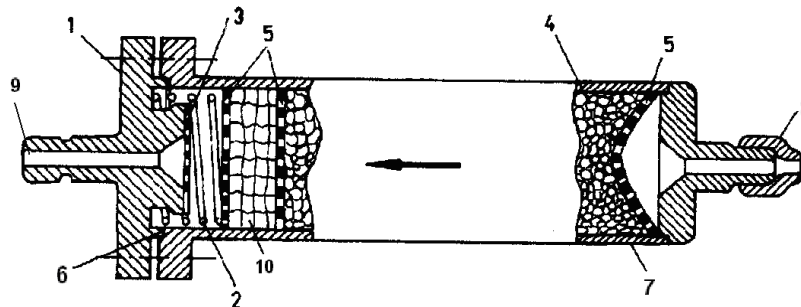
Uobičajeno je nakon spremnika ugraditi zaporni ventil, kako bi se njegovim zatvaranjem mogle ostvarivati radnje navedene u prethodnom poglavlju. Kod nekih je proizvođača rashladnih sustava kontejnera to ventil s dvostrukim sjedištem koji se može koristiti kod pražnjenja i punjenja sustava, poput ventila prikazanog na slici 9 (1 – zaštitna kapica, 2 – navoj, 3 – brtvenica, 4 – čep, 5 – vreteno s dvostrukim pladnjem, 6 – sjedište za jedan od prolaza, 7 – spoj na cjevovod ili kompresor, 8 – sjedište spoja na cjevovod). Ovakvim se ventilima cjevovod spaja na kompresor.

¹⁵ Kod nekih proizvođača pločica se tali na 99°C, dok disk puca u skladu s ispitnim tlakom uređaja, na vrijednosti nešto većoj od tlaka podešenog na visokoltačnom prekidaču



Slika 9. Ventil s dvostrukim sjedištem

Nakon takvog zapornog ventila svaki sustav ima filter/sušilac. U njemu se nalazi sredstvo koje fizikalnim ili kemijskim putem može na sebe 'vezati' vlagu. Filtarska je uloga za slučaj da se sredstvo za sušenje počne mrviti. Na vanjskoj se strani kućišta označava strelicom smjer ugradnje, odnosno smjer strujanja rashladnog fluida u sustavu, kao na slici 10.



Slika 10. Filtar/sušilac rashladnog uređaja

Na slici je prikazan rastavljivi dok se u rashladnim sustavima kontejnera koristi hermetički, nerastavljivi filter/sušilac. Metalnim sitima (5) ograničen je prostor sa sredstvom za sušenje (4) i filtarska sekcija (10). Kod ove izvedbe od tijela (7) može se odvojiti jedna strana (1) kako bi se zamijenilo punjenje. U slučaju hermetičkih izvedbi mijenja se cijeli filter/sušilac.

Nakon njega kao dio cjevovoda može se ugraditi pokazno staklo poput ovoga na slici 11. Ima dvojaku ulogu: mjehurići te vrtloženje plinovite i tekuće faze pokazuju manjak rashladnog sredstva, a promjena boje premaza na pozadinskoj stjenci elementa u skladu s oznakama na slici ukazuje na prisustva vlage tj. zasićenje sušioaca. Ukoliko ovog elementa nema u cjevovodu, ugrađen je na spremnik.



Slika 11. Pokazno staklo

Neki sustavi imaju pothlađivač kondenzata u obliku jednog jednostavnog protustrujnog izmjenjivača topline izvedenog s dvije koncentrične cijevi. Na slici 12 prikazan

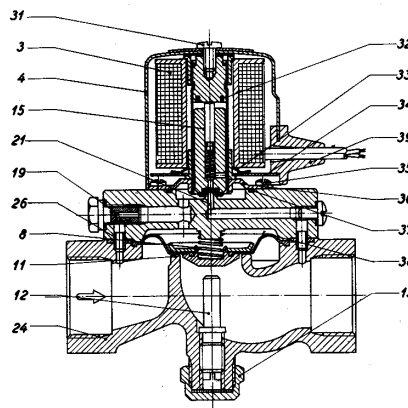
je sa zaštitnim čepovima. Njegova je uloga poboljšanje rashladnog učina i time rashladnog množioca. Kako to čini? Kroz cijevi manjeg presjeka u jednom smjeru ulazi kondenzat iz kondenzatora. On je visokog tlaka i relativno visoke temperature. U suprotnom smjeru, kroz cijev većeg promjera struji nekoliko stupnjeva Celzijusa pregrijana para iz isparivača. Pregrijana para je niske temperature te preuzima toplinu od kondenzata. Para se uslijed toga dodatno pregrijava, a kondenzat se pothlađuje.



Slika 12. Pothlađivač konenzata

Umjesto pothlađivača koji je prikazan na slici 12, neki sustavi imaju ekonomajzer. Ubiti se radi o pothlađivaču kondenzata, no za razliku od osnovne izvedbe ovaj se uključuje periodički, ugradnjom elektromagnetskog ventila.

U modernim se rashladnim sustavima kontejnera primjenjuju u osjetnom broju elektromagnetski ventili¹⁶. Posebno se to može utvrditi za sustav kakvog ugrađuje Daikin. Primjena EMV omogućuje neke automatske funkcije ili lakše upravljanje operateru. Jedna od mogućih izvedbi EMV prikazana je na slici 13.



Slika 13. Elektromagnetski ventil

Radno tijelo ventila je gumena membrana. Ona je u spušenom položaju i ventil je time zatvoren kada u prostoru iznad nje vlada približno isti tlak kao na ulazu u ventil. Međutim, taj je prostor kanalićem, koji je i sam zatvoren kada je ventil zatvoren, povezan s izlaznim prostorom ventila. Kada je zavojnica EMV pod naponom ona privlači upravljačku iglu koja otvori navedeni kanalić te se tlak u prostoru iznad membrane smanji i zbog razlike u odnosu tlaka i površine na koju djeluje između donje i gornje strane stane membrane dolazi

¹⁶ U daljem tekstu EMV

do otvaranja ventila. Provjeravanje ispravnosti EMV je opipom – kada je pod naponom zagrijan je, ili indikatorom elektromagnetskog polja.

Zbog nekih eksploatacijskih razloga odmah na tlačnoj strani kompresora ugrađuje se nepovratni ventil. Kod nekih proizvođača sustav ima više brzostavljajućih priključaka koji u sebi također imaju nepovratne ventile.

6. Glavni proizvođači i karakteristike rashladnih sustava kontejnera

Prema trenutnom udjelu na tržištu glavni proizvođači rashladnih kontejnera su:

- *Carrier*
- *Thermoking*
- *Daikin*

ali se na tržište probijaju *Star Cool* i *Denso*.

Tvrtka *Carrier* pionir je u rashladnoj tehnici. Danas se najčešće koriste dvije linije njihovih kontejnera s ponešto različitim rashladnim sustavom: *Thinline* i *Primeline*. Model *Primeline* ima hermetički kompresor spiralnog tipa. Koristi R-134a. Kao prigušni element koristi se EEV.

Regulacija rashladnog učina vrši se djelovanjem na cjevovod. Jedno od rješenja koristi EMV koji povremenim otvaranjem povezuje tlačnu i usisnu stranu kompresora izazivajući smanjenje rashladnog učina. Kod *Carrier*-a i još nekih tipova označava se s DUV¹⁷. Principijelno je takvo rješenje identično starim izvedbama sustava koje su umjesto takvog EMV imali ventil konstantnog tlaka s oprugom. Taj bi ventil uslijed pritvaranja TEV i pada tlaka na usisnoj strani kompresora povremenim otvaranjem puštao radni medij s tlačne strane kompresora na usisnu stranu održavajući tlak na usisu približno konstantnim. Kod druge se izvedbe *Primeline* kontejnera primjenjuju dva ventila: DUV i DLV. Prvi ima istu ulogu, dok drugi povezuje tlačnu komoru i tlačnu cijev. Rade sa suprotnim djelovanjem, tj. kada je jedan od njih zatvoren drugi je otvoren.

U oba slučaja, kao i kod klasičnog rješenja s ventilom konstantnog tlaka, puštanjem radnog medija visokog tlaka i temperature u usisnu stranu kompresora dolazi do grijanja. To je posebno bitno kod hermetičkih kompresora kod kojih radni fluid ulazi u zajedničko kućište i hladi elektromotor. Stoga se kod *Primeline* linije ugrađuje ekonomajzer koji ima dvojaku ulogu. Dio tekućine koja ide iz spremnika prema prigušnom elementu se oduzima otvaranjem posebnog EMV, ide na posebni TEV pa zatim obje te struje prolaze kroz ekonomajzer. Mokra para tu pothlađuje tekuću fazu na njenom putu prema EEV i isparivaču, povećavajući rashladni učin, a para isparava i malo se pregrijava te se vraća u kućište kompresora i hladi ga.

Thinline također koristi R-134a. Ima poluotvoreni višecilindrični klipni kompresor i kao prigušni element TEV te klasičan protustrujni pothlađivač kondenzata. Regulacija rashladnog učina vrši se regulacijskim ventilom na usisnoj cijevi kompresora koji po potrebi prigušuje usis (SMV¹⁸). Kako uslijed prigušivanja usisa ne bi došlo do pregrijanja kompresora i elektromotora ugrađen je posebni TEV¹⁹ koji prema vlastitom temperaturnom osjetniku pričvršćenom uz usisnu cijev kompresora povremeno prska hladnu paru u usisnu cijev.

Thermoking ima seriju sličnih kontejnerskih sustava naziva *Magnum*²⁰, ali ima i specifičan tip za vrlo niske temperature *Superfreezer*. *Magnum* tipovi kontejnerskih rashladnih sustava koristi smjesu R-404A. Ima hermetički spiralni kompresor i EEV. Regulacija

¹⁷ Engl. Digital Unloader Valve

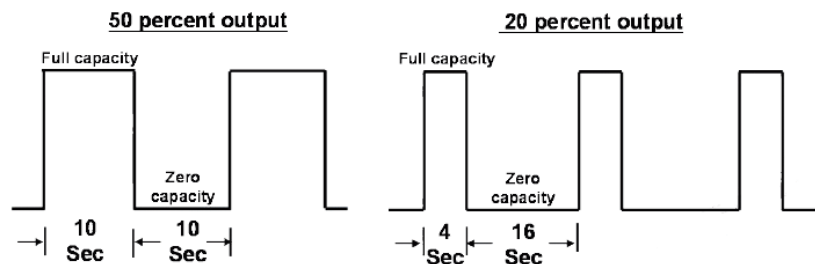
¹⁸ Engl. Suction Modulating Valve

¹⁹ Engl. Quench valve

²⁰ Magnum Magnum SL, Magnum 20

rashladnog učina ostvarena je djelovanjem na kompresor. Iako se može činiti poput rješenja *Carrier*-ovog *Primeline*-a, jer ima EMV između kompresora i usisne cijevi, njegova je funkcija drukčija. Otvaranjem tog EMV dolazi do vertikalnog pomaka jednog od puževa kompresora, a time i do potpunog rasterećenja kompresora.

Kompresor radi ili s punim opterećenjem ili je potpuno rasterećen. Dijagram na slici 14 pokazuje utjecaj takvog rada na rashladni učin. Prva slika s lijeve strane pokazuje pulsiranje rasteretnog ventila u periodima od po 10 s što daje 50%-tni kapacitet, dok slika desno pokazuje pulsiranje ventila na način da je 4 s zatvoren i po 16 s otvoren što rezultira 20%-tnim kapacitetom.



Slika 14. Utjecaj rasterećenja kompresora na rashladni učin

Thermoking Superfreezer hladi do -60°C . Ima primarni i sekundarni sustav. Za ukapljivanje primarnog, koji koristi R-23, ima hermetički pužni kompresor, klasičan pothlađivač i TEV, koristi se sekundarni sustav s poluotvorenim višecilindričnim klipnim kompresorom koji radi s R-134a. Također ima TEV.

Tvrtka *Daikin* pokušava preuzeti drugo mjesto na tržištu rashladnih kontejnera. Rashladni se sustavi (LXE) u biti razlikuju po upravljačkom sustavu (DECOS). Koristi R-134a, hermetički pužni kompresor i EEV. Ima klasičan protustrujni pothlađivač, ali se on povremeno 'uključuje' pomoću EMV za tu funkciju. Razlikuje se od pristupa ostalih proizvođača po većem broju EMV, dvije dodatne cijevi u prostoru isparivača – za odleđivanje isparivača i za odvlaživanje zraka, te većem broju brzostavljajućih servisnih priključaka.

Star Cool također koristi R-134a. Ima EEV i ekonomajzer, kao i neki sustavi navedeni prije, no razlika je u dvostepenom stapnom kompresoru i regulaciji rashladnog učina promjenom broja okretaja pogonskog elektromotora (inverter).

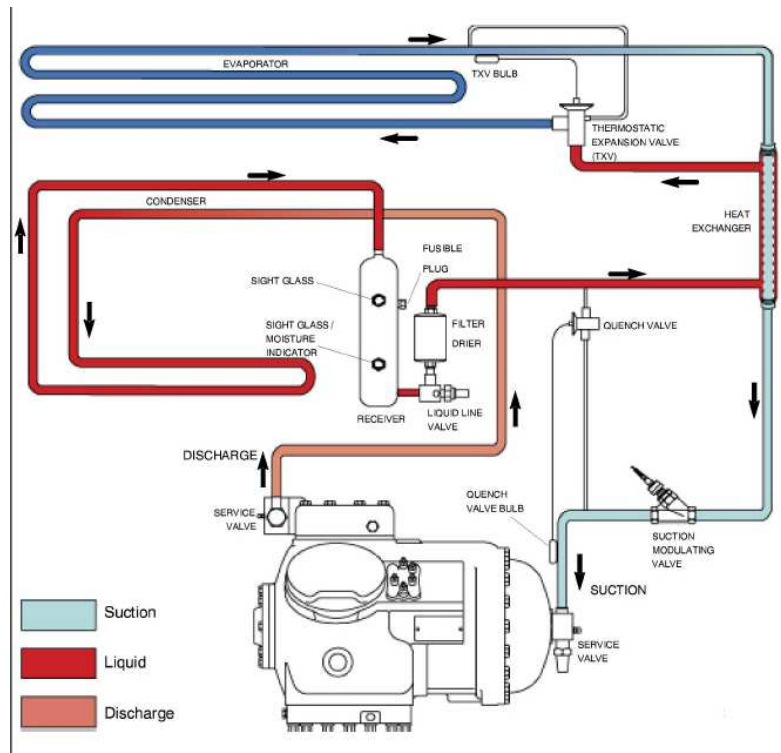
Denso također radi s dvostupanjskom kompresijom, ali s dva hermetička rotaciona kompresora. I oni imaju regulaciju broja okretaja. Kao prigušni ventili primjenjeni su EEV, a ima i ekonomajzer. Koristi R-404A. Poput *Carrier*-ovih sustava odleđivanje isparivača vrši se električnim grijaačima.

6.1. *Carrier Thinline* i *Primeline*

Slika 15 prikazuje rashladni sustav *Thinline*. Cjevovod je na kompresor spojen ventilima s dvostrukim sjedištem. Iz kompresora para ide u zrakom hlađeni kondenzator. Regulacija rada ventilatora vrši se u skladu s vanjskim i unutarnjim uvjetima.

Koristi R-134a i to 3,3 kg. Radni su tlakovi oko 15 bar^{21} , a kompresor se isključuje pri 24,5 bar. Opet se uključuje kada tlak padne na 17,5 bar. Dodatna zaštita od previsokog tlaka je rastalna pločica ili disk na spremniku. Tali se na 99°C ili puca na 35 bar.

²¹ U tekstu, a tako je i u instruktivnim knjigama, daju se vrijednosti manometarskih tlakova



Slika 15. Rashladni sustav *Carrier Thinline*

Ukoliko je vanjska temperatura niža od 27°C ventilator kondenzatora se uključuje kada tlak kondenzacije dosegne 200 psig²² ili je bio zaustavljen 60 s, a isključuje kada vrijednost tlaka kondenzacije padne na 130 psig²³ ili nakon rada u trajanju od 30 s.

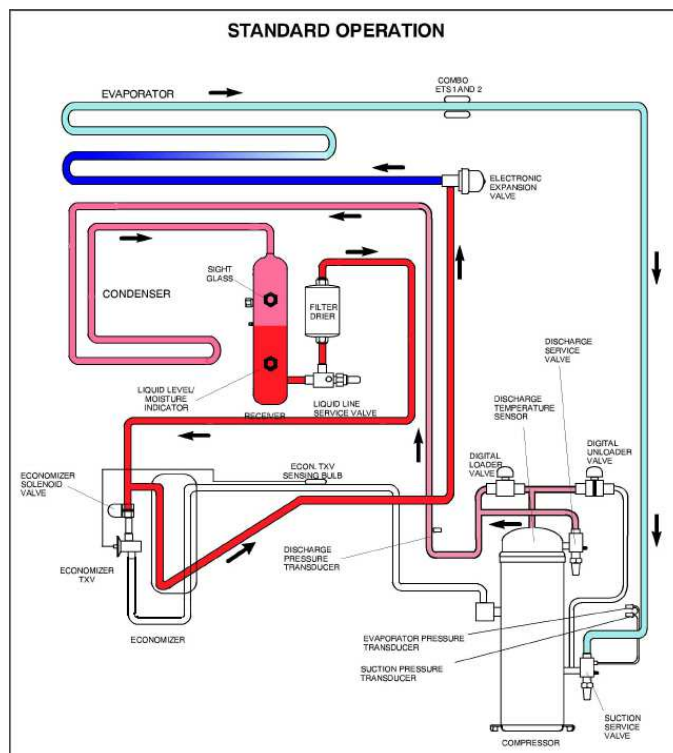
Iz kondenzatora kondenzat ide u spremnik s dva nivokazna stakalca i indikacijom vlažnosti. Nakon spremnika je ventil s dvostrukim sjedištem koji se koristi kod pražnjenja i nadopunjavanja sustava, a nakon njega filter/sušilac. Ovaj model ima klasični pothlađivač kondenzata izveden kao dvije koncentrične cijevi. Jedan od rijetkih modela koji ima klasični TEV s vanjskim izjednačavanjem tlaka: kapilara se završava bulbom koji je pričvršćen na izlazu iz isparivača, a vod za izjednačavanje također povezuje izlaz iz isparivača s prostorom ventila ispod membrane. Kako je već navedeno za regulaciju rashladnog učina koristi se ventil na usisnoj cijevi (SMV), a za potrebno hlađenje kompresora i elektromotora zasebni TEV koji spaja tekućinsku cijev i usisnu cijev kompresora. Osim ventila s dvostrukim sjedištem ugrađenog nakon spremnika za punjenje i pražnjenje sustava mogu se koristiti i servisni ventili na kompresoru.

Model istog proizvođača *Primeline* prikazan je na slici 16, no kao što se moglo uvidjeti iz prethodnog kratkog opisa sustava koristi drukčiju filozofiju. Ključne su razlike u odnosu na *Thinline* sljedeće: ima hermetički pužni kompresor, nema klasični protustrujni pothlađivač već se povremeno 'uključuje' ekonomajzer i kao prigušni element koristi EEV.

Ovaj sustav ima 4,54 kg R-134a. Radni tlak na tlačnoj strani kompresora se kreće oko 15 bar. Zaštita od previsokih tlakova isključuje kompresor pri 24,5 bar, a kompresor se opet uključuje kada tlak padne na 17,5 bar. Dodatna je zaštita na spremniku i aktivira se na vrijednostima kao i kod *Thinline* modela.

²² Što iznosi oko 14 barg, a sufiks g označava manometarski tlak od engl. gauge

²³ Što iznosi oko 9,1 barg



Slika 16. Rashladni sustav *Carrier Primeline*

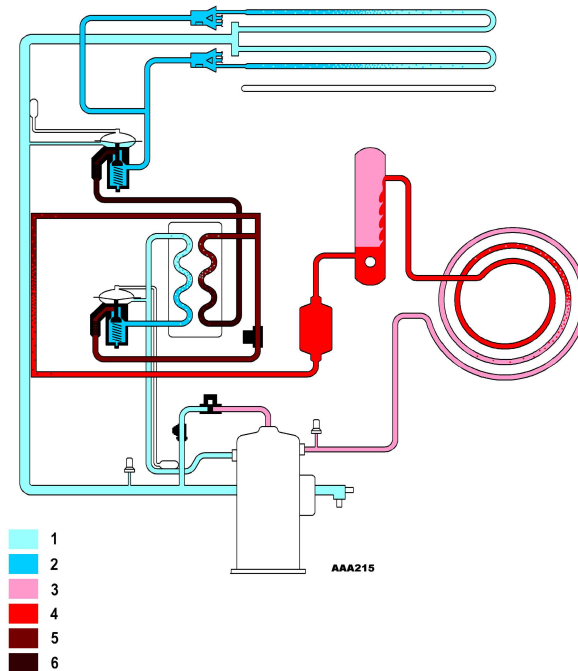
Također, razlika je u regulaciji rashladnog učina. Na slici je prikazan sustav s dva ventila sa suprotnim djelovanjem: DUV i DLV. Slika prikazuje 'standardan' način rada, tj. ekonomajzer nije u upotrebi. Kada sustav radi prema onome što proizvođač zove 'ekonomized mode' (ekonomičan način), a tada se povećava rashladni učin i mogućnost postizanja još nižih temperatura, otvara se EMV prema ekonomajzeru. Dio tekućine prolazi kroz TEV u kojem se prigušuje te pretvara u hladnu paru. To je način rada kada je sustav blizu željenih temperatura u kontejneru i EEV je jako pritvoren. Zato sustav upravljanja treba smanjiti kapacitet kompresora, što čini zatvaranjem DLV i otvaranjem DUV. On pušta toplu paru iz tlačne komore kompresora u usisnu cijev, što bi moglo dovesti do pregrijavanja. Ekonomajzer osim što pothlađuje tekućinu na njenom putu prema EEV ujedno i hladi kompresor.

Elektromotori obaju sustava, *Thinline* i *Primeline*, su trofazni asinkroni. Također, u oba se slučaja za odleđivanje koriste električni grijači smješteni između cijevi isparivača.

6.2. *Thermoking Magnum* i *Superfreezer*

Rashladni sustav *Thermoking Magnum* je prikazan na slici 17. U odnosu na prethodno opisane sustave ima nekoliko različitosti. Iz filtra/sušioća ukapljeno rashladno sredstvo prolazi kroz protustupni pothlađivač kondenzata izveden kao dvije međusobno zalotane cijevi, no nakon toga je serijski spojen ekonomajzer. Rad ekonomajzera je identičan prethodno opisanim sustavima.

Ovaj sustav radi sa smjesom R-404A. Ima 4 kg ili 4,8 kg sredstva ako je ugrađen vodom hlađeni kondenzator. Usisni tlakovi variraju od 1,3 do 6,7 bar, a tlakovi na tlačnoj strani kompresora od 10,35 do 26,5 bar. Visokotlačna zaštita isključuje kompresor na 32,4, a opet ga uključuje na 26 bar. Niskotlačna isključuje na -0,17 do -0,37, a uključuje na 0,28 do 0,48 bar. I ovaj sustav ima dodatnu zaštitu od previsokog tlaka na spremniku.

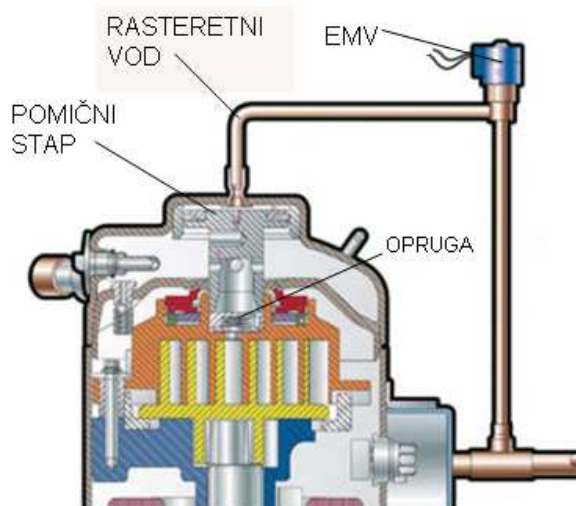


Slika 17. Rashladni sustav *Thermokingovog* kontejnera tipa *Magnum*

Prikazan je detalj izvedbe isparivača. Dovodna se cijev najprije dijeli u dvije, a zatim u tzv. razdjelnicima u nekoliko paralelno izvedeni cijevi. Na karju isparivača nalazi se kolektor isparivačkih cijevi.

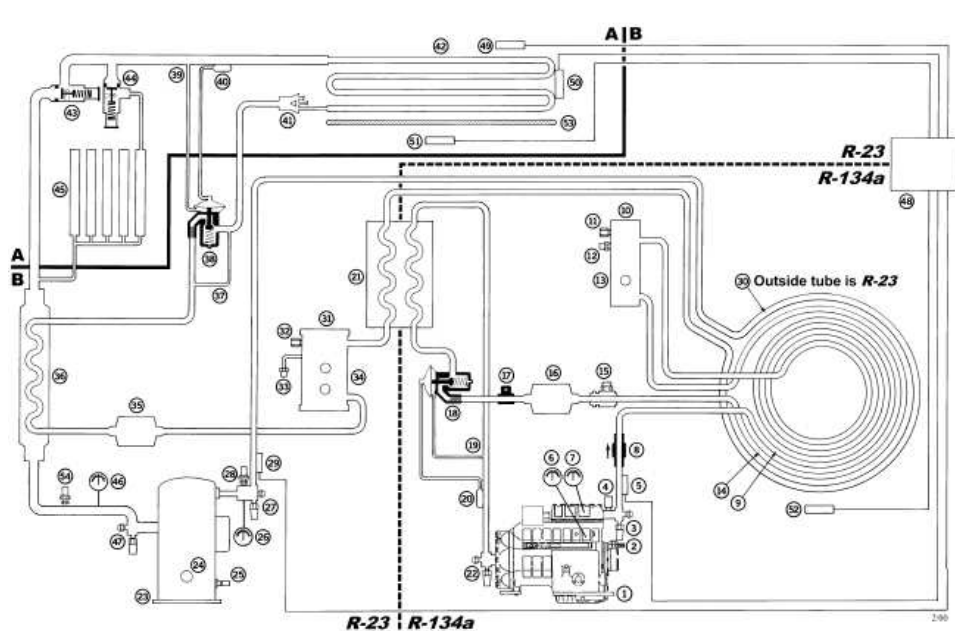
Specifičnost ovog sustava je i u načinu regulacije rashladnog učina. EMV koji se nalazi na spoju kompresora i usisne cijevi u biti djeluje na kompresor. Način djelovanja prikazan je na slici 18. EMV povezuje kompresor i usisnu cijev, ali ne na način kao kod *Carrier Primeline* sustava. Na slici je prikazano kako se u samom vrhu hermetičkog kućišta nalazi rasteretni klip. Prostor iznad tog klipa puni se radnim fluidom iz tlačne komore kompresora kroz za to izvedene kanale i može se reći da je tlak s gornje strane rasteretnog klipa malo niži nego radni tlak kompresora. S donje strane tog mehanizma djeluje opruga koja rasteretni klip nastoji podignuti, no dok je tlak s gornje strane dovoljno visok to se neće desiti.

Međutim, kada je potrebno smanjiti rashladni učin sustava, tj. smanjiti kapacitet kompresora, otvara se EMV. Radni medij iznad rasteretnog cilindra 'iscuri' u usisnu cijev kompresora, sila opruge nadjača tlak i rasteretni se klip podiže. S njime se podiže i 'nepomični' puž na shemi označen smeđom bojom. Između dna spirale nepomičnog puža i temelja rotirajućeg puža (na shemi označenog žutom bojom) nakon tog pomaka postoji zazor visine oko 1 mm. Time je dobava kompresora izjednačena s nulom, jer radni medij biva potiskivan kroz taj zazor, a ne između pomičnog i nepomičnog puža.



Slika 18. Sustav rasterećenja *Magnum* pužnog kompresora

Thermokingov Superfreezer sustav prikazan je na slici 19. Kako je već navedeno ovaj je sustav indirektni: Primarni sustav s 3,2 kg R-23 kojega ukapljuje sekundarni s 3,5 kg R-134a. Kondenzator izveden s kružno postavljenim cijevima, prikazan u desnom dijelu sheme, je višeprolazan pa je on još i pothlađivač kondenzata sekundarnog sustava²⁴, ali je još i prvi stupanj kondenzacije primarnog sustava iz kojeg R-23 ide u drugi stupanj kondenzacije gdje se ukapljuje sa sekundarnim sredstvom (R-134a).



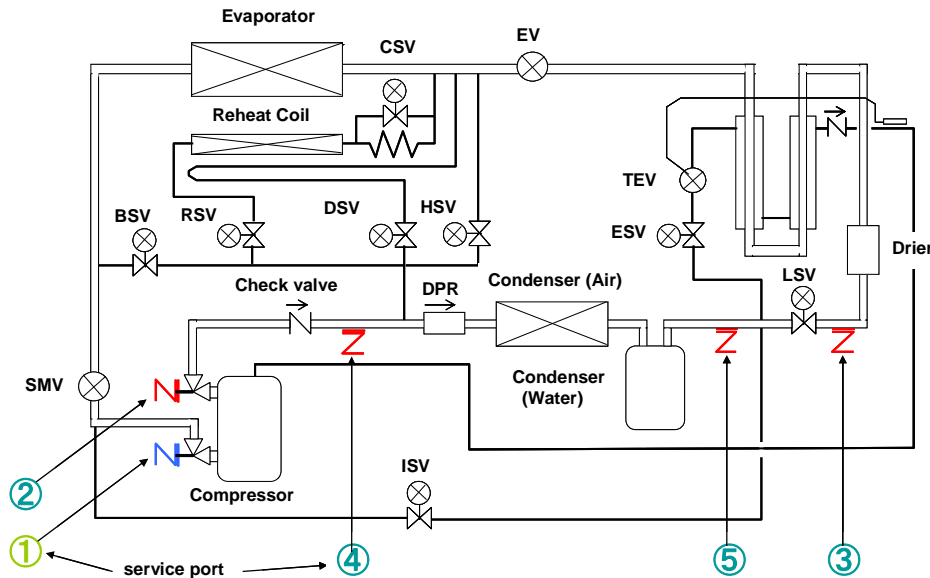
Slika 19. *Thermoking Superfreezer* sustav

Sekundarni sustav ima klasičan TEV s vanjskim izjednačavanjem tlaka, kao i primarni sustav. Primarni sustav ima i klasičan pothlađivač kondenzata.

²⁴ Uočljiv je povratni vod iz spremnika sekundarnog sustava

6.3. Daikin LXE rashladni sustavi

Daikin razvija LXE rashladne sustave koji se razlikuju u upravljačkom sustavu (DECOS): Koriste oko 4,5 kg R-134a. Tlak isključivanja je 24,2 bar, a tlak uključivanja 19,3 bar. Od drugih rashladnih sustava razlikuje se po većem broju EMV koji su ugrađeni zbog automatiziranih ili od strane operatera pokrenutih operacija u sustavu. Slika 20 prikazuje rashladni sustav kontejnera tvrtke Daikin.



Slika 20. Daikin-ov rashladni sustav

Ima hermetički pužni kompresor, zrakom hlađeni kondenzator uz opciju dodatnog vodom hlađenog kondenzatora (spremnik). Pomoću ESV²⁵ sustav upravljanja uključuje pothlađivač kondenzata (ekonomajzer). Ventil ISV se koristi za hlađenje usisne linije²⁶. Ventili DSV i HSV se koriste tijekom postupka odleđivanja cijevi isparivača. Ventil RSV služi za sušenje zraka, odnosno dehumidifikaciju. Ventil BSV se uglavnom koristi za povrat ulja, dok je ventil LSV potreban kod spremanja radnog fluida u spremnik.

Ovaj sustav ima i pet servisnih priključaka. Priključci označeni s 1 i 2 uglavnom služe za provjere tlaka na kompresoru servisnim manometrima, dok su priključci 3, 4 i 5 potrebni za pražnjenje i punjenje sustava radnim fluidom.

6.4. Denso i Star Cool

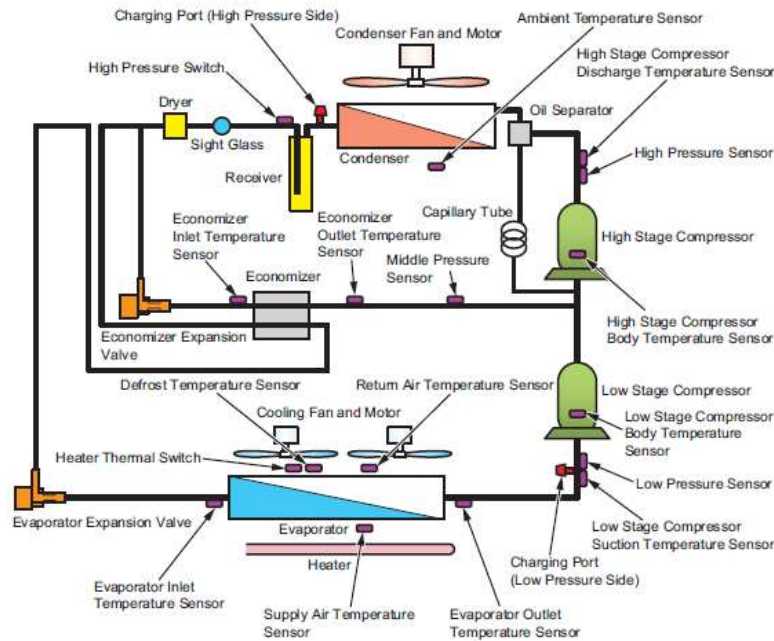
Denso rashladni sustav prikazan je na slici 21. U odnosu na prethodne sustave ima nekoliko specifičnosti. Ponajprije, ovdje se radi o dvostupanjskoj kompresiji, s dva kompresora čiji se kapacitet, tj. dobava, regulira promjenom broja okretaja pogonskog elektromotora²⁷. Na tlačnoj strani visokotlačnog kompresora ugrađen je odjeljivač ulja. Ovo je u osnovi sustav s oduzimanjem pare, jer se dobava visokotlačnog kompresora djelomično vodi na EEV visokotlačnog sustava iz kojeg ide na ekonomajzer. U ovom slučaju ekonomajzer nije ono što

²⁵ Sustav ima nekoliko EMV označenih različitim oznakama prema funkciji: ESV, LSV, ISV, BSV, RSV, DSV, HSV, CSV,

²⁶ Poput ventila koji se kod starijih rješenja nazivao 'quench valve'

²⁷ Inverter

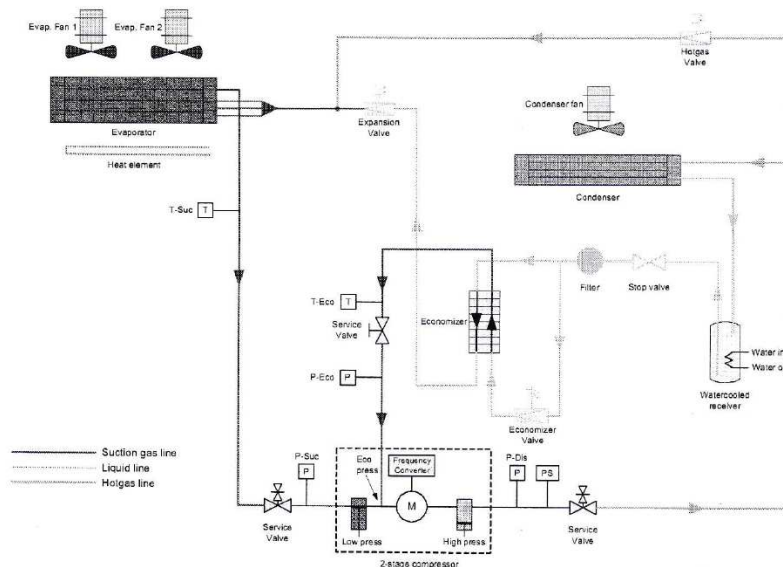
jest u prethodno opisanim rješenjima, već se radi o isparivaču visokotlačnog kruga i pothlađivaču niskotlačnog.



Slika 21. Denso rashladni sustav

Niskotlačni krug započinje tim pothlađivanjem, radni medij nakon toga ide na EEV niskotlačnog kruga te u isparivač. Servisni priključci za pražnjenje i punjenje sustava su na usisnoj cijevi niskotlačnog kompresora te na izlazu iz kondenzatora. Sustav ima 6,3 kg smjese R-404A.

Na slici 22 je shema *Star Cool* rashladnog sustava. Ovaj sustav ima dvostupanjski stapni kompresor. Kao pothlađivač kondenzata koristi ekonomajzer. Spremnik se može izvesti kao dodatni, vodom hlađeni kondenzator.



Slika 22. Star Cool rashladni sustav

6.5. Održavanje rashladnih sustava

Rashladni sustavi modernih kontejnera potpuno su automatizirani. Za tu svrhu ugrađen je veći broj osjetnika tlaka, temperature i dr. Poremećaji u vrijednostima mjerenih veličina indiciraju se na upravljačkim zaslonima kako bi operater mogao poduzeti potrebne radnje. Ukoliko su mjerene vrijednosti poprimile prevelika odstupanja sustav zaštite isključuje kompresor.

Tipični poremećaji u radu, ne samo ovih, već svakog parno-kompresijskog rashladnog uređaja su:

- visok tlak na tlačnoj i/ili usisnoj strani kompresora
- nizak tlak na usisnoj i/ili tlačnoj strani kompresora
- slab rashladni učin.

Za svaki od navedenih poremećaja može biti više uzroka.

Veće tlakove na tlačnoj, ali najčešće i na usisnoj strani kompresora izazivaju problemi u radu kondenzatora (smanjen protok zraka ili vode, zaprljanje cijevi), višak sredstva u sustavu i veliko toplinsko opterećenje (početak hlađenja tereta, visoke temperature okoline).

Niske vrijednosti tlaka na usisu kompresora, a najčešće i na tlačnoj strani, uzrokuje manjak radnog fluida u sustavu, malo toplinsko opterećenje (ohlađen teret, a postoji određeni poremećaj u sustavu regulacije rashladnog učina, niske temperature okolnog zraka).

Ponekad poremećaji tlakova nisu istoznačni. Niži tlak na tlačnoj strani, a viši na usisnoj strani kompresora može biti uzrokovan kvarom ili istrošenjem kompresora te previše otvorenim ekspanzijskim ventilom (prevelik otvor ventila, pogrešno visoka očitavanja temperature radnog fluida na izlazu iz isparivača, otpušten bulb TEV). Povišene vrijednosti na tlačnoj strani, a snižene na usisnoj strani ukazuju na začepljenje u cjevovodu (zaprljana filtarska sekcija filtra/sušioća, blokirano sjedišta ekspanzijskog ventila npr. ledom i sl.).

Gotovo svaki poremećaj manifestirat će se i smanjenim rashladnim učinkom posljedica čega će biti više temperature zraka i tereta u kontejneru. Dužnost je operatera pratiti, odnosno redovito (dnevno) provjeravati temperature i pristupiti održavanju sustava kada je potrebno.

6.5.1. Nadopunjavanje sustava radnim fluidom

Manjak radnog fluida potvrdit će se: višim temperaturama zraka u kontejneru, nižim tlakovima u sustavu, nivokazom na spremniku, mjehurićima i vrtloženjem na pokaznom staklu cjevovoda (ako je ugrađen).

Sustav koji ne radi sa smjesom može se u tom slučaju samo nadopuniti. Punjenje sustava može se izvršiti radnim fluidom u tekućem ili plinovitom stanju. Punjenje tekućom fazom je brže zbog veće gustoće u odnosu na plinovitu fazu, no mora se voditi računa da u tom slučaju priključak za punjenje mora biti ispred ekspanzijskog ventila i isparivača. Naime, na usisu kompresora trebala bi biti pregijana para, jer bi prisustvo kapljevine faze moglo dovesti do hidrauličkih udara i oštećenja kompresora.

Kod punjenja i nadopunjavanja trebalo bi koristiti vagu za mjerenje u sustav ubačene količine iako to kod postupka nadopunjavanja neće puno značiti. Mjerenjem tlakova priručnim manometrima koji se spajaju na ventile s dvostrukim sjedištem kompresora i provjeravanjem razine u spremniku potvrdit će se ispravna količina u sustavu, zato se u instrucijskim knjigama rashladnih uređaja nalaze dijagrami ovisnosti radnih tlakova kompresora o vanjskim temperaturama.

Operateri moraju biti posebno oprezni kod nadopunjavanja sustava kako ga ne bi prepunili. Prepunjen sustav radi s povišenim tlakovima posljedica čega može biti prečesto

isključivanje kompresora, te hidraulički udar u kompresoru²⁸. Također, vrlo je opasan postupak punjenja sustava tekućom fazom na servisnom spoju na usisnoj cijevi kompresora, tj. usisnom ventilu s dvostrukim sjedištem kompresora.

Ukoliko je radni fluid sustava smjesa postupak je nešto kompliciraniji, zbog stanja u sustavu koje će uslijed propuštanja nastati. Ispravno je pretpostaviti kako uslijed propuštanja maseni udio sastojaka u količini koja je iscurila ne mora odgovarati masenom udjelu u originalnoj smjesi. Može se očekivati da će iz sustava u većoj mjeri iscuriti lakša komponenta. To potvrđuje i praksa. U svakom slučaju, sastav smjese koja preostaje u sustavu razlikuje se od originalnog i nadopunjavanjem se popravlja, no niti time se ne postiže originalni sastav. Uslijed promijenjenog sastava uređaji rade drukčije (lošije).

Ispravno bi bilo sustav potpuno isprazniti u za to predviđene servisne spremnike²⁹ i zatim sustav potpuno napuniti količinom originalne smjese koju predviđa proizvođač. Primjena vage pri tome je ključna.

6.5.2. Zamjena elemenata sustava

Ukoliko je potrebno zamijeniti neispravan element potrebno je isprazniti taj dio sustava. Radni se fluid radom kompresora tlačí u spremnik. Prije toga se zatvara servisni ventil ugrađen nakon spremnika. Neki proizvođači imaju ugrađenu takvu operaciju u upravljačkom sustavu, jer je spomenuti servisni ventil elektromagnetski. Kompresor se isključuje kada se u predmetnom dijelu sustava postigne tlak nešto viši od atmosferskog, nakon čega se element može zamijeniti.

Elementi koji se povremeno mijenjaju su filter/sušilac, EMV te ekspanzijski ventili. Filter/sušilac se često začepíuje samim sredstvom za sušenje koje se tijekom rada počne mrviti. Takav poremećaj primjećuje se padom temperature na njegovom izlazu³⁰. Kod EMV dolazi do pregaranja zavojnice, a takvi osjetljivi elementi mogu na ulaznoj strani također imati fini filter koji se može začepiti. Kod TEV dolazi do oštećenja membrane i kapilare.

6.5.3. Pražnjenje i punjenje sustava uljem

Ulje uslijed rada kompresora, ali i protekom vremena, mijenja svoja svojstva. Pored toga, ukoliko postoji propuštanje u sustavu s radnim će se fluidom gubiti i ulje za podmazivanje. Po potrebi ulje se treba zamijeniti ili nadopuniti.

Neki kompresori mogu na kućištu imati ugrađene servisne otvore za ulje. Važno je pri tome voditi računa o tlaku u karteru kompresora. Prije otvaranja kompresora možda je potrebno postići atmosferski tlak u karteru³¹.

Ukoliko kompresor nema servisne priključke za ulje, nadopunjavanje se može izvršiti kroz usisni ventil s dvostrukim sjedištem kompresora.

²⁸ Neki sustavi imaju odmah nakon kompresora u tlačnoj cijevi ugrađen nepovratni ventil koji služi kao zaštita od povrata tekuće faze prema kompresoru te kod postupaka pražnjenja sustava

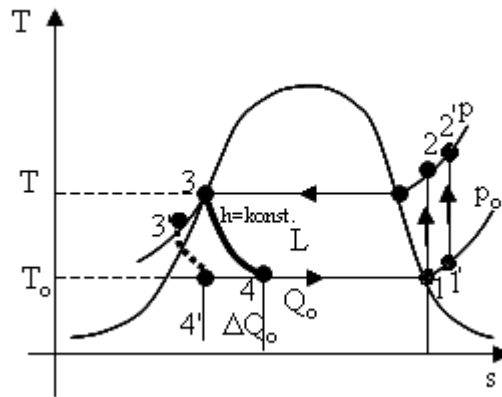
²⁹ U tvornici proizvođača takva se smjesa reciklira, tj. ponovo postiže originalni sastav

³⁰ Ukoliko je filter ispravan osjetnijeg pada temperature nema. Takav pad temperature, pa čak i zaleđivanje izlaznog dijela elementa s vanjske strane može se primjetiti gdje god da se u sustavu pojavi prigušenje

³¹ Iz praktičnih razloga bolje je ostaviti minimalni pretlak nego postići atmosferski tlak. Možda mjerni instrumenti ne pokazuju točne vrijednosti!

6.6. Stvarni toplinski proces

Prethodno je već navedeno kako se stvarni proces u isparivaču razlikuje od teoretskog, a to vrijedi za sve elemente sustava. Ipak, krenimo od teoretskog lijevokretnog procesa u idealnom slučaju. Takav je proces prikazan zatvorenom krivuljom 1-2-3-4-1 u dijagramu na slici 23.



Slika 23. Teoretski lijevokretni proces

Kompresija počinje u točki 1 (stanje suhozasićene pare niskog tlaka p_0 i temperature T_0). Kompresija je adijabatska do točke 2 (stanje pregrijane pare visokog tlaka p i temperature T). Pregrijana para stanja 2 ulazi u kondenzator gdje se najprije hladi, a zatim ukapljuje³² pri konstantnom tlaku i temperaturi do točke 3 (stanje vrele tekućine). Vrela tekućina stanja 3 ulazi u prigušni element gdje dolazi do pada tlaka s p na p_0 , pada temperature s T na T_0 , te promjene u mokru paru stanja 4. U isparivaču radni fluid isparava od točke 4 do 1 oduzimajući toplinu Q_0 rashladnoj komori.

Ukoliko se kao prigušni element koristi TEV ili EEV tada bi para na izlazu iz isparivača trebala biti nekoliko °C pregrijana. Ovi ventili puštaju u isparivač onu količinu radnog fluida koja će potpuno ispariti i pregrijati se do stanja 1'. Zato će i kompresija ići od 1' do 2'.

Nadalje, uređaji koji imaju veći rashladni učin redovito rade s pothlađivanjem kondenzata. Manje pothlađivanje može biti izvedeno i u kondenzatoru, a veće u pothlađivaču kondenzata³³. Ukoliko postoji pothlađivanje tada na ulazu u prigušni element nije stanje 3 već 3'. Tada i prigušivanje ide po liniji konstantne entalpije od 3' do 4'. Vidljivo je povećanje rashladnog učina za ΔQ_0 , uz približno jednak uloženi rad čime se objašnjava povećanje rashladnog množioca (COP) uređaja koji ima pothlađivanje u odnosu na uređaj koji ga nema. Ovisno o izvedbi pothlađivača može na ulazu u kompresor para biti dodatno pregrijana.

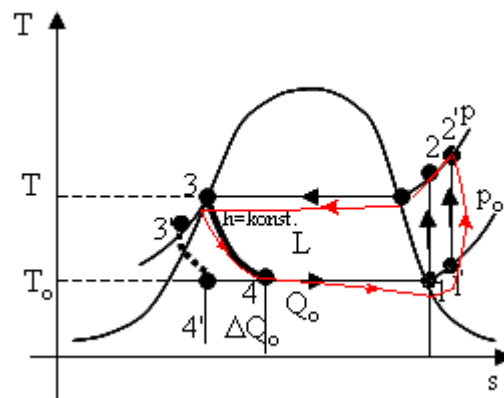
U odnosu na ovaj ipak teoretski proces, stvarni je nešto drukčiji. Prikazan je uz teoretski na slici 24. Prije je navedeno kako u isparivaču dolazi do pada tlaka, dakle proces ne ide uz konstantan tlak i temperaturu. To vrijedi i za sve druge elemente sustava osim za kompresor. U kompresoru se dešava politropska kompresija i to s promjenjivim koeficijentom politrope³⁴. Iako i u kompresoru dolazi do pada tlaka. U privodnim kanalima i tlačnoj komori kompresora dešava se prigušivanje. Osim toga tu dolazi i do izmjene topline. Zbog ta dva

³² Zato je na kondenzatorima hlađenim vodom koji su obično izvedeni s cilindričnim plaštom moguće opipom s vanjske strane plašta primijetiti temperaturnu razliku gornjeg i donjeg dijela

³³ Neki modeli kako je navedeno imaju ekonomajzer

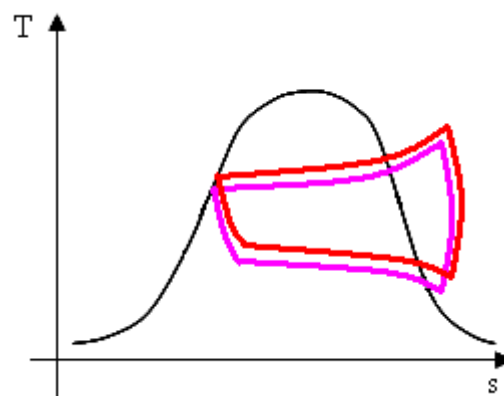
³⁴ Na početku kompresije stjenke cilindra toplije su od radnog fluida te ga zagrijavaju, no uslijed kompresije radnom fluidu temperatura raste brže nego stjenkama te u kasnijoj fazi kompresije on zagrijava njih.

efekta dolazi do promjene stanja fluida. Prigušivanje i zagrijavanje radnog fluida u usisnim vodovima važno je i zbog smanjenja dobave kompresora. Na slici 24 prikazan je T-s dijagram s teoretskim procesom te crvenom linijom povučen stvarni proces s najbitnijim odstupanjima.



Slika 24. Usporedba teoretskog i stvarnog procesa

Poznavanje toplinskog procesa i fizikalnih osnova parno-kompresijskih rashladnih uređaja pomaže i u dijagnostici kvarova. Kako je već navedeno uređaji u pravilu imaju osjetnike tlaka³⁵ na usisnoj i tlačnoj strani kompresora te tlaka i temperature na izlazu iz isparivača. Ukoliko je odstupanje od normalnog procesa kao na slici 25, pri čemu je 'normalni' proces označen ljubičastom bojom, vrlo je vjerojatno riječ o problemu s kondenzatorom.



Slika 25. Odnos procesa s efikasnom i problematičnom kondenzacijom

Tlakovi su povišeni³⁶. Kod vodom hlađenih kondenzatora promjene tlakova najčešće su uzrokovane zaprljanjem cijevi vode iznutra (kamencem) i dešavaju se postepeno kroz relativno dugi period. U slučaju kondenzatora hlađenih zrakom može se očekivati kvar ventilatora i tu promjene mogu nastupiti naglo, ali su moguća i nakupljanja nečistoća na cijevima izvana.

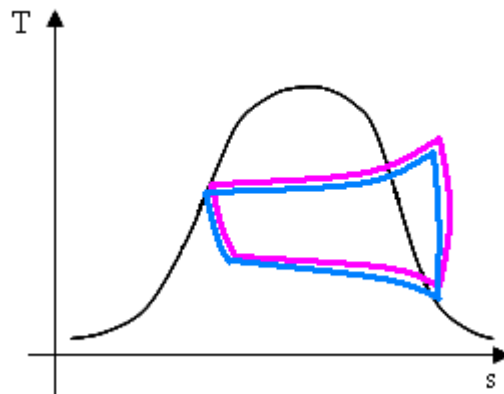
Suprotan je slučaj, smanjenja tlakova, prikazan na slici 26. U ovom je dijagramu plavom bojom naznačen proces s nenormalno niskim tlakovima. U pravilu je uzrokovan blokiranim isparivačem, tj. slojem leda na cijevima isparivača³⁷. Smanjenje tlakova u sustavu,

³⁵ Poneki imaju i osjetnike temperature na usisnoj i tlačnoj strani kompresora

³⁶ U kratkom popisu poremećaja u radu navedeno je kako to nije jedini razlog povišenih tlakova u sustavu

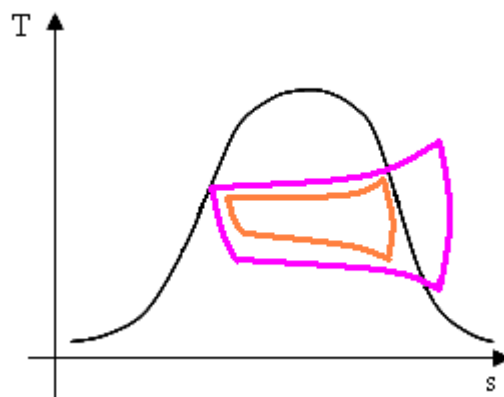
³⁷ Ali naravno nije to jedini mogući razlog ovakvih promjena

smanjenje rashladnog učina, odnosno više temperature zraka na isparivaču pokretač su postupka odleđivanja isparivača.



Slika 26. Odnos procesa s efikasnim i problematičnim isparavanjem

Odstupanje od normalnog rada može biti kao na slici 27. Tlak na usisn kompresora je viši, a na tlačnoj strani niži od normalnog. Također, vrlo bitno, cijeli se proces odvija u području mokre pare. Dakle, kompresor usisava mokru paru te može doći do hidrauličkog udara i teškog oštećenja kompresora.



Slika 27. Proces u području mokre pare

Ovo može uzrokovati preveliki TEV ili EEV, otpušten osjetnik TEV-a ili krivo očitavanje temperature na izlazu iz isparivača kod sustava s EEV-om. Može se primijetiti i nedovoljnim protokom tekućine kroz pokazno staklo cjevovoda.