

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

DR. SC. PREDRAG KRALJ

**PRIRUČNIK IZ BRODSKIH CJEVOVODA
ZA STUDIJSKE PROGRAME BS, EITP, NTPP TE PROGRAME CJELOŽIVOTNOG
UČENJA**

RIJEKA, STUDENI 2014.

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 nacrti, 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.

1. UVOD

Cjevovodi se koriste za transport fluida (tekućina, para, plinova). Transport fluida cijevima poznavali su i primijenjivali razvijeni narodi starog vijeka – Mezopotamci, Grci, Rimljani. Korišteni su različiti materijali - drvo, kamen i olovo, no radilo se uglavnom o slivnim cjevovodima niskog tlaka. Problemi čvrstoće materijala cjevovoda i načina povezivanja cijevi onemogućavali su izvedbe tlačnih cjevovoda većih promjera. Tek u sedamnaestom stoljeću primijenio se u Versaillesu prvi tlačni cjevovod izrađen iz lijevanog željeza.

Primjena cjevovoda na brodu koincidira s primjenom toplinskih strojeva za poriv. Očito, najprije su se javljali cjevovodi napojne vode kotlova te pare za pogon stapnih parnih strojeva. Današnji pogonski cjevovodi povezuju se uglavnom s dizelskim motorima, najčešće primjenjivanim porivnim strojevima brodova. Neki se cjevovodi opće službe nisu znatnije mijenjali kroz duži niz godina, no ima i onih koji se redovito unapređuju. Uglavnom se radi o cjevovodima sprječavanja zagađivanja morskog okoliša te sigurnosti (broda, posade, putnika, tereta). Na brodovima se pojavljuje i veliki broj cjevovoda povezanih s transportom tereta.

Specifičnosti brodskih cjevovoda u odnosu na slične stacionarne izvedbe leže u sljedećim činjenicama:

- mnogi se brodski cjevovodi smještaju u (volumenski) ograničenim prostorima, pri čemu se mora voditi računa o ugradnji, praćenju rada i mogućnosti brzog i jednostavnog održavanja;
- moraju biti sigurni i pouzdani u radu, a ukoliko dođe do kvara, mora biti omogućen nastavak rada barem sa smanjenim kapacitetom ili osigurano relativno brzo otklanjanje kvara;
- gotovo su svi brodski cjevovodi izloženi djelovanju agresivne atmosfere – vlažnog morskog zraka, neki su namijenjeni transportu vrlo agresivnih tekućina (kiselina, lužina, morska voda), te moraju biti otporni na štetno djelovanje;
- praćenje ispravnosti rada gotovo da mora biti automatizirano, zato jer je broj fizikalnih parametara koji se mjere velik te zato jer bi greške mogle dovesti do otkazivanja, za sigurnost broda, bitnih strojeva i uređaja;

- izvedbe moraju biti jednostavne i jeftine, kako bi se smanjili investicijski i eksploatacijski troškovi, ne umanjujući sigurnost;
- izvedbe moraju biti u skladu sa željama brodo vlasnika, u skladu s nacionalnim propisima, ali prije svega u skladu s propisima klasifikacijskih društava prema kojima se brodovi grade.

Zbog navedenih se karakteristika brodski cjevovodi izrađuju iz kvalitetnih materijala, s velikim brojem mjernih mjesta za mjerenje više fizikalnih veličina (tlak, temperatura, protok, razina, viskozitet i dr.), često povećanih debljina stjenki, s mnoštvom regulacijskih i kontrolnih elemenata. Bitne odrednice daju pravila klasifikacijskih društava¹, no neke su karakteristike cjevovoda izvedene zbog prijedloga proizvođača strojeva i opreme ili želja brodo vlasnika.

2. PODJELA

Brodski se cjevovodi dijele prema namjeni na: pogonske cjevovode, cjevovode opće službe te cjevovode specijalne namjene. Prvi omogućuju rad porivnih strojeva te, posljedično, omogućuju poriv broda. Drugi su potrebni zbog sigurnosti broda, posade, putnika ili okoliša, omogućuju komfor posade i putnika, potrebni su zbog prijenosa signala te upravljanje i drugo. Treći su povezani s teretima koji se prevoze brodovima te se radi o cjevovodima za grijanje, hlađenje ili ukapljivanje tereta, inertiranje tankova i drugih prostora, ukrcaj i iskrcaj tereta uključujući i posušivanje tankova i cijevi, pranje tankova itd.

Pored toga, moguće je cjevovode podijeliti prema tlakovima, protoku fluida ili opasnosti sredstva koje njime protječe. Podjela prema najmenji uobičajena je u pomorstvu.

3. OZNAČAVANJE

¹ U ovom radu koriste se propisi Hrvatskog registra brodova. Druga klasifikacijska društva (ABS, BV, DNV, Lloyds') koriste različite izraze za dimenzioniranje elemenata cjevovoda.

Cjevovodi se označavaju bojama te natpisnim (bakrenim) pločicama s ugraviranim tekstom. Bojom, koja u strojarnici označava vrstu fluida, se označava kolo ventila, obod prirubničkog spoja, prsten oko cijevi, te strelice u smjeru strujanja na cijevi. Za cjevovode u strojarnici koriste se oznake: teško dizelsko gorivo – tamno smeđe, lako dizelsko gorivo – žuto, ulje – oker, slatka rashladna voda plavo, morska voda – zeleno, komprimirani zrak – sivo. Crvena je boja opasnosti te se njome označavaju kola ventila parnog cjevovoda (zbog visoke temperature i tlaka), ali i elementi protupožarne zaštite. Pored toga, crvenom se bojom označava kolo usisnog ventila pumpe morske vode za otplavlivanje strojarnice u nuždi. Kaljuža (zauljena voda) se označava kombinacijom boja morske vode i ulja – širim prstenom zelene boje u kojem je prsten oker boje.

Za razliku od ovih oznaka, cjevovodi tereta označavaju se bojama kako bi se mogli razlikovati različiti tereti. Pojedini su tankovi ili grupe tankova, cjevovodi i pumpe, naime, odvojeni², što je jasno označeno različitim bojama. Neki se tereti ne smiju pomiješati, bilo međusobno ili s vodom, pa se svi elementi jedne *segregacije*³ označavaju istom bojom.

Moderni brodovi koriste kompjutorski nadzor iz kontrolne prostorije. Shematski prikazi cjevovoda na informacijskim (kompjutorskim) sustavima upravljanja i nadzora također se označavaju bojama, a oznake određuje proizvođač programskog paketa. Može se reći da su u većini slučajeva oznake slične gore navedenima.

Osim oznaka bojama na sve se bitne elemente cjevovoda ugrađuju natpisne pločice s jasnom oznakom funkcije. Ponekad označavanje bojom nije izvedeno, a mnoge su natpisne pločice su pooptdale. Osoblje stroja u blizini bitnog elementa cjevovoda, kredom ili flomasterom, postavlja vlastite oznake.

4. KONSTRUKTIVNI MATERIJALI I ZAŠTITA

² Iako postoji spoj, preko dvostruke zaporne armature, slijepih prirubnica i dr. koji u nuždi omogućuje vezu.

³ Pumpa tereta, usisni cjevovod i tlačna cijev do međunarodne prirubnice za iskrcaj sa svim zapornim organima te svi tankovi iz kojih pumpa siše.

Cjevovodi se smiju izvoditi samo iz materijala odobrenih od strane klasifikacijskog društva prema čijim se propisima brod gradi. Uglavnom se koriste čelične bešavne cijevi, a u nešto manjoj mjeri zavarene cijevi koje su jednakovrijedne bešavnim cijevima. Radi se o ugljičnom (konstrukcijskom ili brodograđevnom) čeliku čije su karakteristike u odnosu na cijenu optimalne. Za temperature od 400°C do 500°C primjenjuju se niskolegirani čelik, a za temperature više od 500°C visokolegirani čelici (Cr-Ni). Tako visoke temperature javljaju se kod parno-turbinskih pogona, jer se kao radni medij turbina velikih snaga koristi pregrijana para.

Primjenjuju se i cijevi od bakra te legura bakra s drugim obojenim metalima. U pravilu se koriste bešavne cijevi i to bakrene za temperature do 200°C, od bronce za temperature do 260°C te od legura bakra i nikla za temperature do 300°C.

Cijevi od lijevanog željeza koriste se za cjevovode kaljuže, balasta i tereta, ali ne u slučajevima kada bi propuštanje cijevi, uslijed greške u proizvodnji ili istrošenju, moglo dovesti do miješanja tereta i čistog balasta ili istjecanja tereta u more.

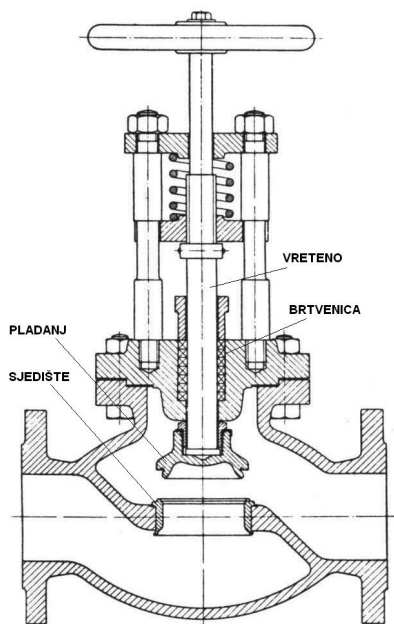
Olovne su se cijevi koristile za sanitarne izljeve, no kod novijih se brodogradnji, kao i na kopnu, zamjenjuju plastičnim cijevima. Plastični se materijali također koriste za cijevi vode koje prolaze kroz tank vode. Treba ipak napomenuti, kako su plastične mase materijal budućnosti te će i učestalost njihove upotrebe najvjerojatnije rasti.

Cjevovode je potrebno zaštititi od korozije. Način zaštite brodogradilište usklađuje sa željama brodo vlasnika. Koristi se toplo i hladno pocinčavanje te različite vrste premaza na bazi poliuretanskih, epoksidnih ili drugih smola. Kod cijevi većih promjera može se unutrašnjost zaštititi oblaganjem gumom.

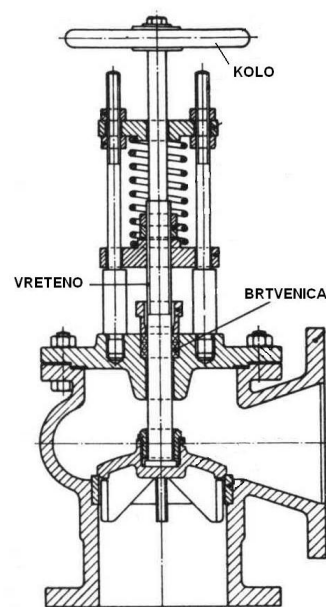
5. ZAPORNI ELEMENTI

Postoji više podjela, zbog različitih kriterija, ali razlike postoje i zbog govornog područja autora. Neki od kriterija prema kojima se zaporni elementi dijele su: oblik zapornog tijela, smjer pomicanja zapornog tijela u odnosu na generalni smjer strujanja fluida, način djelovanja na zaporno tijelo itd. Zbog obima materije i programom predviđenog broja sati ovdje će se koristiti nazivi i karakteristike uobičajene u pomorstvu.

Zaporni elementi su ventili, zasuni⁴ i pipci⁵. Iskustveno se do nazivnog promjera od 50 mm koriste pipci, dok se za veće promjere koriste ventili. Mogu se podijeliti prema obliku zapornog elementa, te postoji ventil s pladnjem, kuglasti, bačvasti, igličasti, valjkasti i leptir ventili⁶. Slika 1 prikazuje jednostavnu izvedbu ravnog zapornog ventila s pladnjem, a slika 2 kutni zaporni ventil.



Slika 1. Zaporni ventil s pladnjem.



Slika 2. Kutni zaporni ventil.

Zasuni, kojih također ima nekoliko izvedbi, se koriste kada nema dovoljno prostora za smještaj ventila ili je potrebno ostvariti male otpore strujanja u cjevovodu (npr. iskrcajne linije na brodovima za prijevoz ukapljenih plinova) ili kada je riječ o cjevovodu visokog tlaka, jer je u usporedbi s ventilom s pladnjem za zatvaranje

⁴ U hrvatskom se jeziku pravi razlika između ventila i zasuna, dok je u engleskom zasun samo jedna od izvedbi ventila (gate valve).

⁵ Engl. valves, gate valves, cocks. Kondenzni lonac također se može svrstati u ovu grupu elemenata cjevovoda, ali će se razlozi primjene i izvedbe objasniti s cjevovodom pare, kondenzata i napojne vode.

⁶ Leptir ventili istiskuju zasune kod cjevovoda gdje je potreban mali otpor strujanju.

zasuna potrebna manja sila. Ponekad se umjesto zasuna mogu koristiti leptirasti ventili, jer pružaju neznatno veće otpore strujanja. Na slici 3 prikazan je zasun, a na slici 4 leptirasti ventil.

Druga je podjela prema načinu upravljanja te postoje: ručno upravljani ventili, automatski ventili te daljinski upravljani ventili. Ručno se upravljanje može izvesti s kolom ili ručicom, a neki ventili imaju na sebi i oznaku položaja.

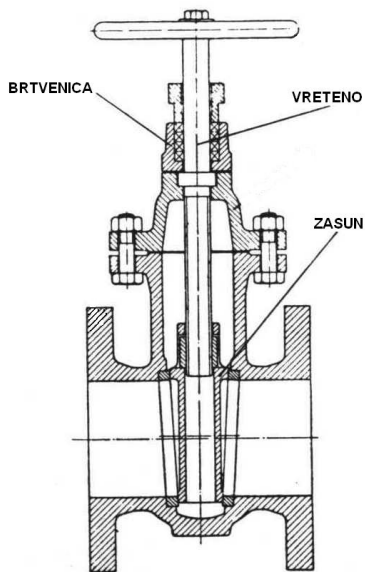
Automatski ventili ne zahtijevaju akciju čovjeka ili sustava upravljanja te su u ovoj grupi nepovratni ventili, sigurnosni ventili, prekotlačni, odnosno ventili konstantnog tlaka. Daljinsko se upravljanje može izvesti mehanički, hidraulički, pneumatski, električno ili kombinacijom ovih rješenja⁷.

Podjela zapornih elemenata može se izvesti i prema funkciji koju ostvaruju. Prema toj, možda i najvažnijoj podjeli, postoje: zaporni ventili, nepovratni ventili, zaporno-nepovratni ventili, sigurnosni ventili, ventili konstantnog tlaka, ispusni ('dekantacioni') ventili, prigušni ventili, regulacijski (npr. temperature ili protoka), brzozatvarajući i dr.

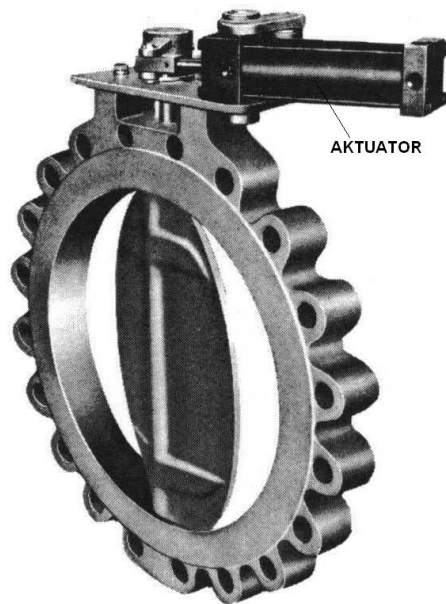
Zaporni se ventili ugrađuju kada je potrebno u potpunosti ili djelomično prekinuti protok fluida tj. izolirati dio cjevovoda, stroj ili uređaj. Treba praviti razliku u korištenju, jer se neki ventili ne bi trebali ostavljati u djelomično otvorenom položaju iako se tijekom eksploatacije nekog stroja ili uređaja može pokazati potreba za postepenim otvaranjem ili pritvaranjem takvog ventila. Neki su ventili baš nasuprot tome prigušni.

Nepovratni ventili propuštaju fluid samo u jednom smjeru. Koriste se npr. kao zaštita pumpe u slučaju prestanka rada njezinog pogonskog stroja, kada se na zajednički cjevovod spreže više uređaja ili posuda pod tlakom, ili za sprječavanje povratnog strujanja fluida nakon zaustavljanja pumpi. Na kućištu ventila je oznaka (strelica) smjera strujanja kako ne bi bilo dvojbi prilikom ugradnje. Povrat zapornog elementa na sjedište ostvaruje se samom njegovom težinom, kao kod ventila prikazanog na slici 5, te pomoću opruge ili magneta. Zaporno-nepovratni ventil, što mu i naziv govori, objedinjuje obje funkcije.

⁷ Klasifikacijska društva u slučaju daljinski upravljanih ventila zahtijevaju lokalnu indikaciju položaja zapornog elementa.



Slika 3. Zasun.



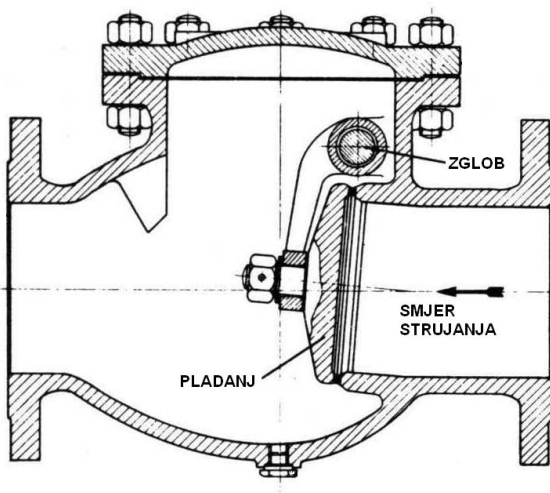
Slika 4. Leptirasti ventil.

Sigurnosni ventili štite strojeve, uređaje, posude pod tlakom ili cjevovode od previsokih tlakova. Mogu biti direktni (za niže tlakove), kakav je prikazan na slici 6 ili indirektni, s pilot ventilom, za više tlakove. Podešavaju se na tlak za nekoliko posto viši od najvišeg radnog tlaka, te će do otvaranja doći u slučaju takvog povećanja tlaka. Slični sigurnosnim ventilima su prekotlačni ventili te ventili konstantnog tlaka, no funkcija im je nešto drukčija.

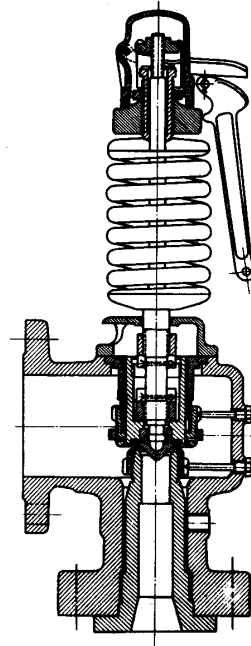
U brodskim se cjevovodima koristi mnoštvo regulacijskih ventila, a razlikuju se prema reguliranoj veličini, izvedbi procesa regulacije ili načinu upravljanja. Jedno od čestih rješenja kada se radi o regulaciji temperature⁸ je s troputnim ventilima – mješačima. Ovisno o položaju elementa ventila jedna struja fluida prolazi rashladnikom, a druga mimovodnim cjevovodom. Položaj elementa ventila mijenja se u skladu s temperaturom na izlaznoj strani⁹. Temperatura fluida može se regulirati i prigušnim ventilom koji se ugrađuje na mimovod izmjenjivača topline. Pored toga postoje prigušni ventili koji reguliraju razinu tekućine u posudi ili kojima je funkcija smanjiti tlak u izlaznoj cijevi i dr.

⁸ Slatke rashladne visoko ili niskotemperaturne vode, morske rashladne vode ili ulja za podmazivanje.

⁹ Vrlo često se upravljanje ovih ventila izvodi pneumatski.



Slika 5. Nepovratni ventil.



Slika 6. Direktni sigurnosni ventil.

Časnici stroja moraju održavati armaturu. Na spojevima cijevi i zapornog elementa ili izlazu vretena može doći do propuštanja koja je potrebno promptno otklanjati. Može doći do oštećenja, istrošenja zapornog elementa, blokiranju uslijed korozije, pucanju vretena ili se naprosto radi o grešci u materijalu. Povremeno dolazi do propuštanja brtvenice koju treba pritegnuti ili nadodati novi materijal. Sigurnosni se ventili periodički provjeravaju, odnosno provjerava se tlak otvaranja, a ukoliko je potrebno izvrši se i podešavanje tlaka otvaranja.

Ispravan rad zapornog elementa, koliko god se činio nebitan, u osnovi je vrlo važan, jer zbog neispravnosti zapornog elementa cjevovod ne ostvaruje svoju funkciju, što za sobom povlači nemogućnost ispravnog rada stroja ili uređaja kojega opslužuje.

6. REGULACIJSKA I KONTROLNA ARMATURA BRODSKIH CJEVOVODA

Karakteristike i razmještaj ovih elemenata¹⁰ moraju biti u skladu s pravilima klasifikacijskih društava. U skladu s nastojanjem za sigurnim radom strojeva i uređaja, tj. mogućnosti brzog i točnog uočavanja nenormalnog rada, u brodskim se strojarnicama mjeri više fizikalnih veličina na mnoštvu mjernih mjesta. Najčešće se mjeri: tlak, temperatura, razina, protok, viskozitet, te električne veličine.

Zbog velikog broja mjernih mjesta nadzor se na modernim brodovima vrši daljinski, automatski iz kontrolne prostorije strojarnice, a informacijski sustav upravljanja strojarnicom javiti će (zvučno i svjetlosno) previsoke ili preniske vrijednosti praćenog parametra. Važno je napomenuti kako, bez obzira na postojanje daljinskog sustava, moraju postojati lokalni mjerni uređaji u strojarnici koji se koriste kao kontrola daljinskih te u slučaju otkazivanja daljinskog upravljanja.

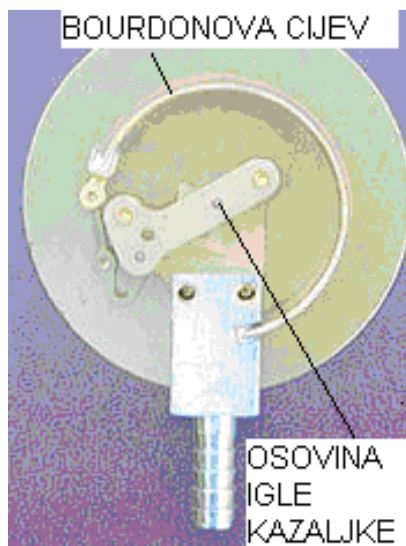
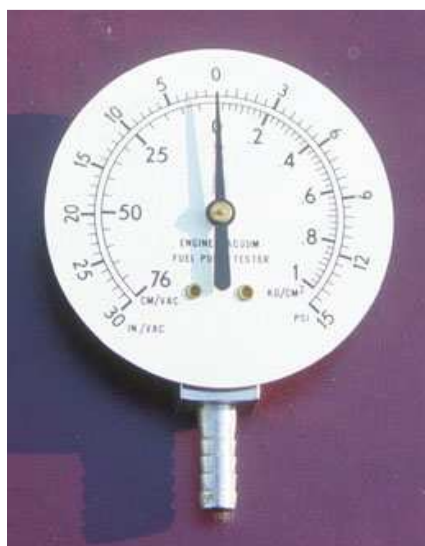
Prikaz izmjerene veličine može biti analogan ili digitalan, stalan ili na poziv, a neke se bitne veličine mogu zapisivati na 'beskonačnom' papiru ili kružnom dijagramu. Osim indikacije izmjerene veličine koriste se za upozoravanje odgovornih osoba (časnika stroja) na nenormalne vrijednosti, za sustav zaštitnog djelovanja¹¹, a na novijim brodovima za sofisticirane sustave dijagnostike kvarova.

Uređaji za mjerenje tlaka koriste se u gotovo svim brodskim cjevovodima. Ugrađuju se na usisnim i tlačnim stranama pumpi, ulaznim i izlaznim stranama filtera, na posudama pod tlakom i drugdje. U širem smislu, ovdje pripadaju i tlačni prekidači ('presostati'), niskog i visokog tlaka ili razlike tlakova¹². Za lokalnu indikaciju obično se koriste uređaji koji imaju Bourdonovu cijev kao i uređaj na slici 10. Važno je zapamtiti kako se u većini slučajeva mjeri pretlak, tj. manometarski tlak – vrijednosti iznad atmosferskog tlaka. Na takvom instrumentu vrijednost '0' predstavlja atmosferski tlak, a ne apsolutni vakuum. Ponekad se, kao što je to slučaj i s primjerom na slici 10, koji se koristi u rashladnim uređajima, mjerna skala proteže i 'ispod nule', tj. pokazuje i vakuum. Takvi se instrumenti zovu manovakuometri.

¹⁰ Mjerno mjesto.

¹¹ Primjeri zaštitnih djelovanja su: uključivanje rezervne pumpe nakon pada tlaka u cjevovodu, zatvaranje ventila goriva nakon nestanka plamena u ložištu kotla, smanjenje opterećenja te zaustavljanje motora nakon pada tlaka u cjevovodu ulja za podmazivanje.

¹² Engl. low pressure switch - LPS, high pressure switch – HPS i differential pressure switch – DPS.



Slika 10. Mjerni instrument tlaka koji koristi Bourdonovu cijev.

U SI sustavu mjerna jedinica za tlak je Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2}$), no još se uvijek na brodu koriste starije jedinice bar ($1 \text{ bar}^{13} = 10^5 \text{ Pa}$), kg/cm^2 ($1 \text{ kgcm}^{-2} = 1 \text{ bar}$) ili američka mjera koja se označava sa psi¹⁴ ($1 \text{ psi} = 0,07 \text{ bar}$).

Prije spomenuti tlačni prekidači važan su dio sustava automatskog upravljanja strojarnicom. Neki brodski sustavi imaju po dvije jednake pumpe pa je jedna u pogonu dok je druga rezervna. Ukoliko se tlak u cjevovodu smanji do vrijednosti podešene na niskotlačnom prekidaču ovaj uključuje rezervnu pumpu. Prekidač niskog tlaka koristi se i za alarmiranje ukoliko je tlak prenizak. Prekidač visokog tlaka koristi se za alarmiranje uslijed previsokih vrijednosti, uključivanje i isključivanje kompresora u skladu s tlakom u tlačnom spremniku zraka ili u tlačnoj cijevi rashladnog kompresora, dok se prekidač razlike tlakova koristi kod hidrauličkih sustava regulacije kapaciteta rashladnih kompresora ili kod važnih filtara (tlačni filter goriva i ulja).

Kao najčešći se mjerni instrument temperature koristi termometar s obojenom tekućinom (alkoholom) koja se nalazi u zatvorenoj cjevčici i to kao lokalni mjerni instrument. Zagrijavanjem se tekućina širi, tj. diže se razina u cjevčici te se

¹³ Negdje se sreće oznaka barg gdje završetak g znači manometarski tlak od engl. gage (instrument), a negdje bara gdje završetak a znači apsolutni tlak.

¹⁴ Engl. pound per square inch – funta po kvadratnom inču.

uspoređuje s mjernom skalom postavljenom sa strane. Kao i kod tlaka i ovdje je praksa stavljanje oznaka u °C i u °F¹⁵.

Daljinski su uređaji najčešće termoelementi ili otporni termometri. Termopar se odabire u ovisnosti o maksimalnoj temperaturi, zahtijevanoj točnosti mjerenja te vremenskoj učestalosti mjerenja. Primjenjuju se kombinacije željezo – konstantan (Fe-CuNi), nikalkrom – nikal (NiCr-Ni) i druge. Osjetilni element smješten u zaštitnoj cijevi uranja se u fluid čiju temperaturu se želi izmjeriti. Postavlja se okomito te je najzgodniji način smještaja u koljeno cjevovoda. Zbog različitih svojstava elemenata termopara s promjenom temperature pojavljuje se mjerljiva razlika električnog potencijala. Instrument mjeri napon u mV, ali je baždaren u °C.

Rad otpornih termometara zasniva se na promjeni specifičnog električnog otpora metalnih vodiča s promjenom temperature. U ovom je slučaju mjerni instrument u osnovi ampermetar, no baždaren također u °C.

U rashladnim se uređajima koriste manotermometri, no pogrešno bi bilo shvatiti kako oni mjere tlak i temperaturu. Točno je da mjere tlak, a temperaturna se skala koristi umjesto toplinskih tablica za radnu tvar koja se koristi u uređaju.

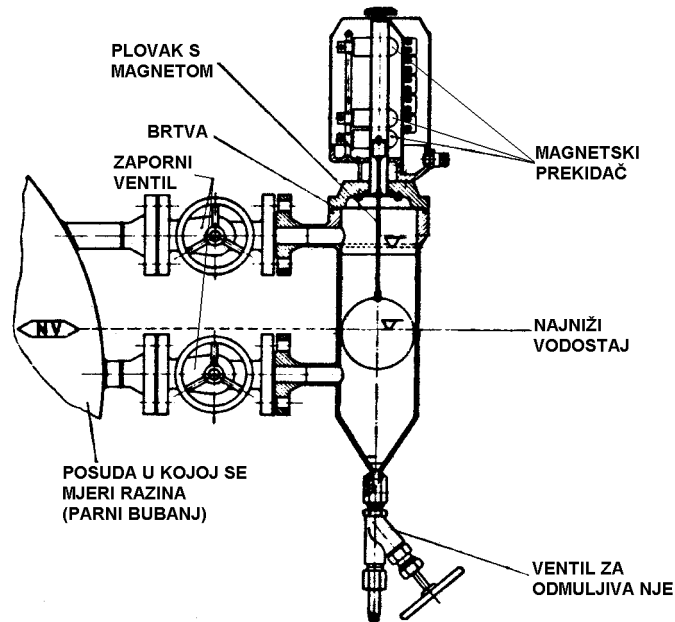
Uređaji za mjerenje razine tekućine u posudi (tanku, parnom bubnju, hidroforu) pojavljuju se također u mnogim sustavima. Koriste se kako oni najjednostavniji, lokalni, s prozirnomo cjevčicom koja je na svom vrhu i dnu spojena s posudom u kojoj se mjeri razina, tako i neki, sofisticirani, prigodni za daljinsko prikazivanje izmjerene veličine: pneumatski, zvučni, ultrazvučni, s piezodavačem, sa zračenjem, kapacitivni te radarski.

Kod lokalnih je važno znati kako su na posudu cjevčice spojene pipcima, koji su zbog sigurnosti u radu ponekad zatvoreni te razina u cjevčici ne pokazuje pravo stanje. Stoga je za uspješno očitavanje pipce potrebno najprije otvoriti, a po potrebi, prije toga izvršiti i ispušt tekućine iz cjevčice, te nakon očitavanja, zbog sigurnosti opet zatvoriti.

Daljinski se uređaji na modernim brodovima ugrađuju vrlo često. Započelo je s tankovima tereta, ali danas se koriste i kod tankova goriva, ulja za podmazivanje, vode te kod parnih bubnjeva generatora pare.

¹⁵ Dobro je znati odnos ovih temperatura: $t[°C]=5/9 (t[°F]-32)$.

Ovakvi se uređaji obično koriste za indicaciju razine, no za automatsko uključivanje ili isključivanje dobavne pumpe, aktiviranje alarma, prekidanje dovoda goriva tj. gašenje plamena niske razine tekućine u parnom bubnju i sl., koristi se magnetski uređaj s plovkom, kakav je prikazan na slici 15.

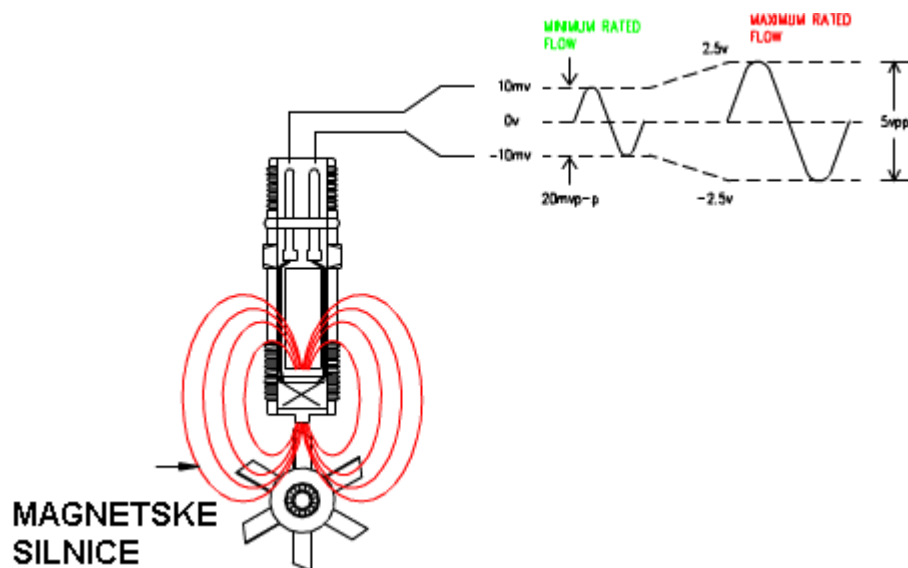


Slika 15. Magnetski uređaj s plovkom.

Kućište uređaja u kojem je plovak s dva je zaporna ventila spojeno na posudu (parni bubanj generatora pare, vrh tanka tereta ili goriva...). Plovak s ugrađenim magnetom se s promjenom razine diže ili spušta. Magnet je vođen u nemagnetičnoj cijevi i upravlja magnetskim prekidačima razmještenim uzduž cijevi koji zatvaraju ili otvaraju strujne krugove različitih uređaja. Takvom se izvedbom uključuju i isključuju dobavne pumpe ili aktiviraju alarmi razine.

Uređaji za mjerenje protoka nisu toliko česti u brodskim cjevovodima. Tipična je primjena u cjevovodu goriva glavnog porivnog stroja, kao zasebna lokalna jedinica ili kao indikator kompjuterskog sustava upravljanja. U drugom se slučaju podatak dobiven takvim mjeračem može koristiti za optimizaciju plovidbe, tj. usmjeravanje broda u odnosu na lokalne morske struje, vjetrove i valove te zakrivljenost Zemlje, kako bi se uz najmanji utrošak goriva uplovilo u određenu luku točno na vrijeme.

Najčešće se takav indikator izvodi kao turbina smještena unutar cjevovoda. Pokreće ju strujanje fluida, a ona može preko zupčaničkog prijenosa pokretati brojčanik ili se, kako je prikazano na slici 16, protok određuje na osnovi broja električnih impulsa. U osloncu mjernog instrumenta ugrađena je zavojnica oko trajnog magneta. Kada lopatica turbine dođe u blizinu osjetnika presjeka silnice magnetskog polja, stvarajući električni impuls u zavojnici. Volumenski protok je proporcionalan broju okretaja turbine, odnosno broju impulsa. Uređaj je tvornički baždaren kako bi broj impulsa točno određivao protok fluida. Negativna je strana takve izvedbe mogućnost zaprljanja i blokiranja, a posebno u slučaju teške nafte. Zato u cjevovodu goriva uvijek postoji i mimovod (engl. by-pass) mjerača protoka.



Slika 16. Mjerač protoka.

Kinematički je viskozitet svojstvo fluida da se opire gibanju. Ovisi o temperaturi fluida i za tekućine je ta ovisnost data izrazom

$$\log \nu \approx \frac{1}{t} ,$$

odnosno, tekućinama se zagrijavanjem kinematički viskozitet smanjuje, a hlađenjem povećava. Ovaj se mjerni instrument također ugrađuje u cjevovodu goriva dizelskog motora. Prema izmjerenoj vrijednosti viskoziteta sustav djeluje na ventil pare – kod pada vrijednosti pritvara ga, a kod povećanja ga vrijednosti viskoziteta otvara. Izmjerena se vrijednost prikazuje analogno, i to lokalno i daljinski, koristi se za sustav

upozoravanja ukoliko poprimi nedozvoljene vrijednosti, a ponekad se i zapisuje na traci. Naravno, i u ovom se slučaju na brodovima koriste različite jedinice. U SI sustavu mjera jedinica kinematičkog viskoziteta je Stokes ($1 \text{ St} = 1 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) ili malo pogodnija manja jedinica cSt (centistokes). Njemačka je jedinica stupanj Englera °E, a u anglosaksonskom se području još koriste sekunde Sayboldta te sekunde Reynoldsa¹⁶.

U brodskim se cjevovodima koriste i neki specifični mjerni uređaji, kao što su mjerači udjela kisika u plinskoj smjesi ili udjela vode u ulju. Uređaji koji mjere udio kisika u plinskoj smjesi koriste se kod modernih generatora pare velikih kapaciteta te u cjevovodima inertnog plina. Jedan od ulaza u mjerni instrument je smjesa plinova u kojoj je mali udio kisika, a drugi je referentni plin (zrak). Kada je s obje strane diska isti parcijalni tlak kisika nema razlike potencijala, no kada nije, javlja se razlika električnog potencijala. U modernim rješenjima separatora goriva i ulja koriste se mjerni instrumenti koji određuju udio vode u radnom mediju (gorivu, ulju), te se prema izmjerenoj vrijednosti automatski upravlja radom uređaja. Mjerač udjela ulja u vodi značajan je i u cjevovodu kaljuže, gdje kod postignute granične vrijednosti mora doći do automatskog prekida ispuštanja vode u more.

7. OSTALI ELEMENTI BRODSKIH CJEVOVODA

Filtri su elementi koji, nasuprot uvriježenom mišljenju, ne služe za čišćenje već štite stroj ili uređaj od tvrdih čestica, koje bi mogle oštetiti mekanu, kliznu površinu ležaja, blokirati rad klipne pumpe, začepiti otvor rasprskavača goriva itd. Neki se ugrađuju na usisnu cijev pumpe¹⁷, kada im je funkcija zaštita pumpe, a neki na tlačni cjevovod pumpe, kada im je funkcija zaštita stroja ili uređaja kojeg pumpa opslužuje. Usisni su filtri znatno grublji od tlačnih, odnosno zaustavljaju samo čestice većih dimenzija.

Mogu se podijeliti prema načinu filtriranja te postoje filtri koji filtriraju:

- po dubini filtarskog materijala,
- po površini filtarskog materijala.

¹⁶ Za gotovo sve današnje dizelske motore zahtijeva se viskozitet od 13 do 17 cSt, što odgovara od 2 do 3 °E te od 60 do 90 sekundi Reynoldsa.

¹⁷ Tipičan je primjer usisni filtar morske vode.

Primjer filtra koji filtrira po dubini jest tlačni filter goriva izrađen od filca. Filc su u osnovi nasumično poslagana vlakna, različitih dimenzija, te se po cijeloj dubini istog zaustavljaju čestice. Koriste se vlakna od celuloze, pamuka, staklene vune ili sintetska. Pored njih, koriste se i porozni materijali proizvedeni sinteriranjem dvaju materijala te obično kemijskim djelovanjem na jednu od komponenti ili materijali proizvedeni iz porozne poliuretanske pjene.

Tipičan primjer filtra koji čestice zadržava samo na površini jest filter izrađen od izbušenog (perforiranog) lima, koji se često koristi kao usisni filter morske vode. Oblik perforiranog lima može biti cilindar te se tada naziva sito. U tu grupu spadaju i filteri s mrežom, a takav je i lamelasti filter (npr. ulja glavnog motora). I magnetski filteri zadržavaju nečistoće samo na površini. Koriste se za zadržavanje samo metalnih, magnetskih čestica te se koriste u cjevovodima ulja kao zaštita mehaničkih prijenosnika unutar glavnog motora.

Filteri se mogu podijeliti i prema finoći tj. veličini čestica koje zadržavaju iz fluida. Veličina zadržanih čestica ovisi o vrsti filtriranja:

- ultrafiltriranje, kada se zadržavaju čestice manje od $0,2 \mu\text{m}$;
- mikrofiltriranje, kada se zadržavaju čestice veličina od $0,2 \mu\text{m}$ do $2 \mu\text{m}$;
- makrofiltriranje, kada se zadržavaju čestice veće od $2 \mu\text{m}$.

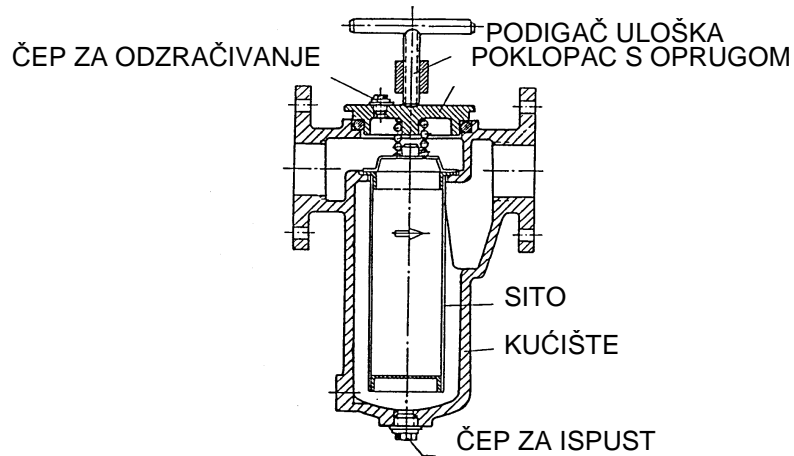
Po takvoj su podjeli gotovo svi brodski filteri grubi, no postoje osjetne razlike. Usisni filter morske vode zadržava nečistoće veličine nekoliko milimetara (do 1 cm), dok tlačni filteri ulja ili goriva zadržavaju sve nečistoće veće od $30 \mu\text{m}$. Kod odabiranja filtera, osim izvedbe i finoće, važna je propusna moć čistog filtera te hidrodinamički otpor koji isti predstavlja.

Prva je karakteristika važna zbog perioda između dva čišćenja filtera pa je slobodna površina čistog filtera uvijek malo veća od teoretski potrebne¹⁸. Druga je karakteristika bitna za odabir agregata (pumpe, kompresora).

Osim redovite provjere zaprljanosti filterarskog uloška, filter se mora povremeno odzračivati. Pojava plinovite faze u kućištu filtera smanjit će ili potpuno prekinuti protok tekućine (npr. goriva). Na vrhu kućišta filtera, prikazanog na slici 7, nalazi se čep za odzračivanje. Njegovim popuštanjem na otvor će u početku izlaziti mjehurići, a kada ih zamijeni tekućina, filter je odzračen.

¹⁸ Koja bi odgovarala površini poprečnog presjeka odgovarajućeg cjevovoda.

Na dnu filtra nalazi se čep za ispušt (drenažu). Ispuštena tekućina (dizelsko gorivo, ulje) sakuplja se u uljnoj tavi, koja se nalazi oko svih elemenata cjevovoda goriva i ulja kod kojih je moguće ispuštanje, a iz nje cijedi u tank taloga.



Slika 7. Filtar sa sitom.

Na slici 8 prikazan je lamelasti samočistivi filter ulja tvrtke Moatti (Alfa-Laval). Lamelle su 'podijeljene' u nekoliko (osam) sektora. Ulje dolazi kroz unutrašnjost lamela te prolazi po cijeloj visini donjeg sloga i zatim kroz raspore između lamela, osim u jednom sektoru gdje struji u suprotnom smjeru. Taj se sektor čisti, jer struja ulja odnosi čestice nakupljene u prethodnom vremenskom periodu.

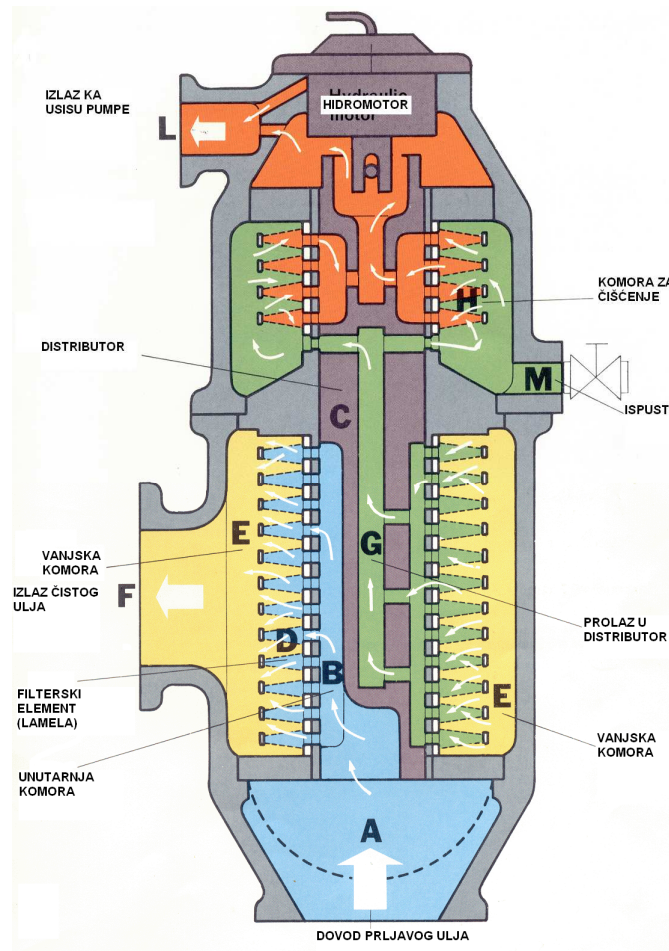
Visina raspora mora biti veličine čestica koje se žele zaustaviti, a tlačni filtri ulja zaustavljaju čestice npr. veće od $30 \mu\text{m}$ ¹⁹. Nakon nekog vremenskog perioda, vremenski relej, lamele se zakreću te se čisti sljedeći sektor. Signal za zakretanje može biti i povećana razlika tlaka na filtru.

Prijavi fluid prolazi kanalima u gornji dio filtra gdje se čisti te pročišćen vraća u sustav. Na analogan se način čiste sekcije gornje komore.

Ovakvim se rješenjem povećava vremenski period između dva remonta – čišćenja – filtra, no to će se ipak ostvariti. Zato je u cjevovodu nužan još jedan tlačni filter, koji se koristi tijekom ručnog čišćenja samočistivog filtra.

¹⁹ Što zavisi o zahtjevima proizvođača motora.

Dužnost je časnika stroja provjeravati razliku tlakova na tlačnom filtru te ispravnost instrumenata ili prekidača²⁰. Mora postojati mali pad tlaka kroz filtar, čak i kada je riječ o upravo očišćenom filtru. S vremenom se pad tlaka mora povećavati, ali ne smije biti prevelik jer će u tom slučaju tlak na ulazu u motor biti previše nizak.



Slika 8. Samočistivi lamelasti filtar ulja tvrtke Moatti.

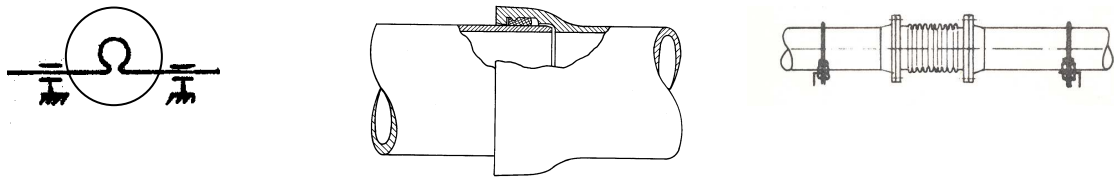
Treba, međutim, naglasiti da nepostojanje pada tlaka ukazuje na veći i opasniji problem u radu. To ukazuje na oštećenje filtra ili neodgovarajuću ugradnju filtarskog elementa. Takav filtar ne ostvaruje svoju ulogu zaštite motora te može doći do oštećenja.

Kompenzatori dilatacija su bitni elementi brodskih cjevovoda, a koriste se kada je kompenzaciju dilatacija nemoguće ili nepodesno izvesti vođenjem samog cjevovoda. Do dilatacije cjevovoda dolazi zbog temperaturnih promjena ili deformacija trupa, većih strojeva (motora) ili uređaja (generator pare).

²⁰ Prekidača razlike tlakova tj diferencijalnog presostata.

U strojarnici se cjevovodi izgrađuju s mnogo koljena te je kompenzatore rijetko kad potrebno ugrađivati. S druge strane, cijevi koje se vode po palubi ili kroz tunelsku kobilicu, ravne su i dugačke te su i relativna produljenja velika. Nadalje, takvi se cjevovodi povezuju s trupom na nekoliko mjesta (fiksne točke), a tada dolazi do deformacije cjevovoda s promjenom oblika trupa.

Osim samim oblikom cjevovoda, kompenzacija dilatacije cijevi može se izvesti cijevnom lirom, kliznim kompenzatorima te kompenzatorima od korugiranog lima (slika 9). Prvo je rješenje relativno jeftino, no izvedba zahtijeva više prostora uz otežanu izvedbu kod velikih nazivnih promjera cijevi. Klizni se kompenzatori izvode s brtvenicom, a nepropusnost je takve izvedbe tijekom dugotrajne eksploatacije upitna. Stoga se ne smiju koristiti kod fluida čije bi ispuštanje moglo stvoriti atmosferu koja je zapaljiva, zagušljiva ili otrovna. Najpouzdaniji su, ali i najskuplji, kompenzatori od korugiranog lima. Postoji više izvedbi, ali osnovna je podjela na kompenzatore za aksijalne i za radijalne deformacije cjevovoda.



Slika 9. Cijevna lira, klizni kompenzator i kompenzator od korugiranog lima.

Kondenzni se lonci²¹ koriste na izlazu ogrjevnice iz grijača i svrha im je zaustaviti paru koja se nije, prolazeći kroz grijač i predajući svoju latentnu toplinu grijanom fluidu, u potpunosti ukapljila. Iako moderne izvedbe nemaju niti približno izgled lonca zadržao se naziv.

8. SPAJANJE ELEMENATA BRODSKIH CJEVOVODA

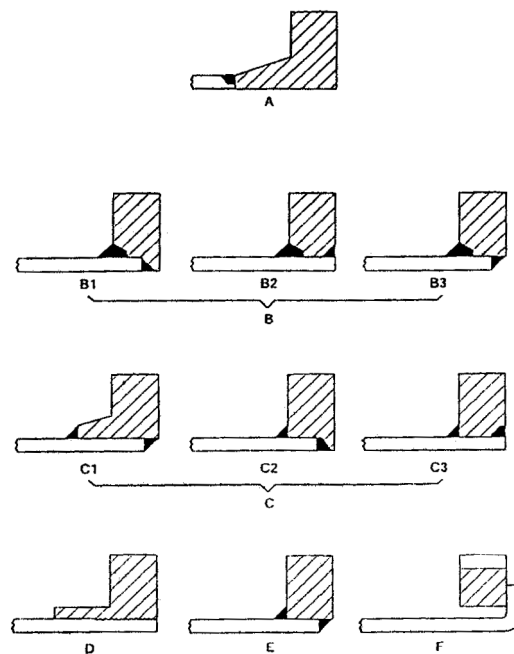
Spajanje elemenata cjevovoda može biti rastavljivo i nerastavljivo. Nerastavljivo, tj. zavarivanjem, lemljenjem ili posebnim cijevnim spojnica, se spajaju cijevi koje prolaze kroz vodonepropusne pregrade ili cijevi koje se nalaze u tankovima tereta ili

²¹ Engl. steam trap, doslovno zamka za paru.

goriva (npr. za grijanje). Rastavljivi prirubnički ili navojni spojevi koriste se pri spajanju cijevi na pomoćne uređaje, elemente cjevovoda koje je potrebno redovito održavati ili povremeno mijenjati.

Rastavljivi navojni cijevni spojevi (tzv. holonderi) primjenjuju se na cjevovodima manjih promjera. Gornja granica unutarnjeg promjera, neovisno o klasi cjevovoda, za primjenu takve vrste spoja iznosi 32 [mm].

Tipovi spojeva s prirubnicom prikazani su na slici 19. Primjena pojedinog tipa ovisi o klasi cjevovoda. Tip prirubničkog spoja A je najpouzdaniji te se može primjenjivati za sve klase cjevovoda, najviše tlakove i temperature, dok se tip F primjenjuje samo za cjevovode vode ili cjevovode koji nisu pod tlakom²².

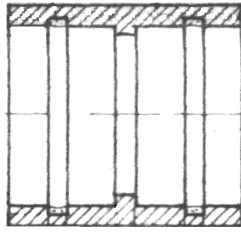


Slika 19. Dopusćeni prirubnički spojevi prema Hrvatskom registru brodova.

Nerastavljivi spojevi su, kada se radi o čeličnim cijevima, zavareni stični spojevi. Za cijevi od obojenih metala, odnosno njihovih legura²³, može se primijeniti cijevna spojka prikazana na slici 20. Prikazana je u punom presjeku. Na obje strane spojke je žlijeb u kojem je legura srebra niskog tališta. Po umetanju cijevi zagrijavanjem spojke dolazi do taljenja legure i stvaranja nerastavljivog spoja.

²² S otvorenim krajem.

²³ Takve se cijevi primjenjuju kod grijanja sirove nafte u tankovima tereta.



Slika 20. Cijevna spojka.

Načine spajanja cijevi, kao i materijale iz kojih se izrađuju brtve rastavljivih spojeva u svakom slučaju odobrava registar. Brtve moraju odgovarati fizikalnim i kemijskim svojstvima radnog fluida, a koriste se guma, guma s impregnacijom, papir tj. karton, tekstolit, teflon, pa i metal.


























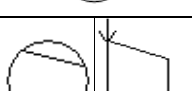
9. OZNAČAVANJE ELEMENATA BRODSKIH CJEVOVODA U SHEMAMA

Elementi cjevovoda se u klasifikacijskim shemama prikazuju simbolima. Projektni uredi koriste različite simbole, no ipak su u većoj mjeri podudarni. Kako bi se mogle pratiti sheme u sljedećim poglavljima, ovdje će se dati jedan od mogućih popisa najčešćih simbola (tablica 1). U radu se uglavnom koriste prikazani simboli, ali se u nekim shemama koriste i drugi, ovisno o izvoru.

Najčešći su različiti zaporni elementi, no česti su na shemama kontrolni i regulacijski elementi. Ispravnost potonjih se periodički ispituje, a tu je važan njihov smještaj u cjevovodu, značenje u sustavu nekog stroja ili uređaja, podešene vrijednosti i sl. Označavanje ovih elemenata je vrlo raznoliko te je u njihovoj identifikaciji korisnik ponekad prisiljen koristiti vlastitu intuiciju te poznavanje engleskog jezika. U tablici dolje dan je jedan kratki presjek mogućih oznaka. Također, brodski cjevovodi moraju uključivati i pomoćne uređaje: pumpe, kompresore, ventilatore, izmjenjivače topline i dr.

'Čitanje' brodskih cjevovoda možda nije u opisu radnog mjesta kandidata ovog kursa, no na informacijskim se sustavima upravljanja, bez čega gotovo da se ne može zamisliti novogradnja, koriste se vrlo slični prikazi. Dapače, u radu su korištene, među ostalim, i sheme renomiranog proizvođača takvih informacijskih sustava – Kongsberg Norcontrola.

Tablica 1. Simboli elemenata u klasifikacijskim shemama [1]

	zaporni ventil (ručni) engl. globe valve		indikacija tlaka, lokalna
	zasun engl. gate valve		indikacija temperature, lokalna
	leptirasti zaporni ventil engl. butterfly valve		indikacija razine, daljinska u ECR
	nepovratni ventil engl. check (nonreturn) valve		indikacija protoka, daljinska u ECR i BCR
	zaporno-nepovratni ventil		indikacija viskoziteta (kinematičkog)
	sigurnosni ventil engl. safety valve		prekidač tlaka
	pneumatski upravljani prigušni (regulacijski) ventil engl. choke valve		prekidač temperature
	troputni ventil engl. threeway valve		prekidač razine
	daljinski upravljani ventil		alarm visokog tlaka
	ručni brzozatvarajući ventil engl. quickclosing valve		alarm visoke temperature
	filtar engl. fliter, strainer		alarm visoke razine
	kondenzni lonac engl. steam trap		alarm vrlo visoke razine
	pumpa		kompresor

10. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA BRODSKIH CJEVOVODA

U skladu sa zadaćom cjevovoda, omogućavanjem odgovarajućeg protoka fluida, određuju se osnovnih veličina: unutarnji promjer, debljina stjenke ili pad tlaka kroz cjevovod. Prva se dva podatka koriste za odabir cijevi, dok je drugi potreban za odabir agregata (pumpe, kompresora, ventilatora).

U ovisnosti o vrsti fluida, potrebnom volumenskom protoku te dopuštenoj brzini strujanja fluida kroz cjevovod, prema jednadžbi kontinuiteta određuje se unutarnji promjer

$$d_u = \sqrt{\frac{4\dot{V}}{v_{dop}\pi}},$$

a na klasifikacijskih se shemama cjevovoda označava njegov nazivni promjer. Volumenski protok može biti definiran preporukom proizvođača stroja ili određen pravilom klasifikacijskog društva²⁴.

HRB daje dopuštene brzine strujanja u ovisnosti o nazivnom promjeru (ND [mm]) cijevi. Nepotrebno je ovdje ulaziti u detalje, ali za tekućine se koriste niske vrijednosti dopuštenih brzina strujanja (do 5 ms^{-1} , ovisno o vrsti tekućine), za pare 20 ili ukoliko je pregrijana i više od 100 ms^{-1} . kao i za plinove pod tlakom.

Druga je bitna veličina debljina stjenke cijevi. Cijev deblje stjenke je trajnija (uslijed korozije stjenka se stanjuje) i čvršća, ali je veće mase, stoga skuplja i teža. Za poznat tlak, unutarnji promjer, materijal cijevi i izvedbu teoretska se debljina računa prema izrazu

$$s_o = \frac{d \cdot p}{2\sigma_d \cdot \varphi + p} [\text{mm}],$$

gdje je d [mm] – vanjski promjer cijevi, σ_d [MPa] – dopušteno naprezanje, φ - koeficijent čvrstoće jednak jedinici za bešavne i jednakovrijedne zavarene cijevi te p [MPa] – proračunski tlak jednak najvišem radnom tlaku tj. tlaku otvaranja sigurnosnih ventila.

²⁴ Proizvođači motora daju preporuke o potrebni količinama radnih fluida, npr. rashladne vode, a kapacitet kompresora startnog zraka određen je propisom klasifikacijskog društva.

Teoretska se debljina stjenke povećava zbog korozije ili smanjenja debljine prilikom izrade koljena prema izrazu (HRB):

$$s = s_o + b + c ,$$

gdje su b [mm] dodatak zbog savijanja i c [mm] dodatak zbog korozije. Prema standardima brodogradnje cijevi se mogu odabrati s četiri debljine: tanke, srednje debele, debele te s povećanom debljinom stjenke (ekstra debele). Klasifikacijska društva određuju minimalne dopuštene debljine stjenki cijevi u ovisnosti o nazivnom promjeru, vrsti materijala i namjeni cjevovoda.

Prema padu tlaka kroz cjevovod odabiru se agregati – pumpe, kompresori, ventilatori. Nekad su se cjevovodi izrađivali 'na licu mjesta' te je točan proračun pada tlaka mogao biti izvršen tek po finaliziranju 'proizvoda'. U novije se doba točni radionički nacrti kompletnih cjevovoda izrađuju kompjutorski te je izračun pada tlaka moguć prije izgradnje.

U osnovi se pojavljuju padovi tlaka u svim elementima cjevovoda: ravnim dijelovima cjevovoda, faznim komadima (koljena, promjene presjeka, spojevi), te u ostalim, specifičnim elementima cjevovoda (filtri, izmjenjivači topline itd.). Teoretski izraz za pad tlaka kroz cjevovod je

$$\Delta p = \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{\rho \cdot v_i^2}{2} + \sum_{j=1}^m \zeta_j \cdot \frac{\rho \cdot v_j^2}{2} ,$$

gdje prva suma s desne strane jednadžbe predstavlja ukupni pad tlaka kroz n ravnih dijelova cjevovoda, a druga ukupan pad tlaka u m faznih komada ili drugih elemenata cjevovoda²⁵. Ovaj se proračun bitno mijenja kod fluida koji mijenjaju agregatno stanje u cjevovodu (para), jer dolazi do znatnih razlika u gustoći. Za takve se slučajeve koriste empirijski izrazi proračuna pada tlaka.

Cjevovodi se nakon ugradnje hidraulički ispituju. To se odnosi na cjevovode klase I i II²⁶, cjevovode pare, napojne vode, stlačenog zraka i goriva, s proračunskim tlakom većim od 0,35 MPa. Ispitivanje se provodi prije bojenja cijevi, oblaganja i izoliranja uz prisustvo predstavnika registra.

²⁵ Proizvođači elemenata cjevovoda daju tablično koeficijentne trenja u ovisnosti o brzini strujanja.

²⁶ Oznake klasa cjevovoda prema Hrvatskom registru brodova (Dio 8 – Cjevovodi).

Hidraulički ispitni tlak iznosi

$$p_{\text{ispit}} = 1,5 p [\text{MPa}] ,$$

gdje je p – proračunski tlak. Ukoliko su proračunske temperature više od 300°C ispitni se tlak povećava, ali ne više od dvostruke vrijednosti proračunskog.

DIO 4. POGONSKI I CJEVOVODI OPĆE SLUŽBE

1. UVOD

Kako je u uvodnom dijelu objašnjeno ovi su cjevovodi potrebni za rad strojeva koji ostvaruju poriv broda. Budući se danas, a vjerojatno će to ostati tako i u daljoj budućnosti, u velikoj većini brodovi pogone dizelskim motorima ovdje će biti objašnjeni cjevovodi upravo za tu vrstu poriva.

Također, zbog obima gradiva, objasniti će se pogonski cjevovodi za dizelske motore najvećih snaga, koji su za većinu motora u osnovi slični. Shvaćanje rada ovih složenijih cjevovoda potrebnih za rad motora najveće snage, daje sigurnost u shvaćanju rada cjevovoda motora male ili srednje snage, npr. dizelskog generatora električne energije.

U svakom slučaju, danas se u grupu cjevovoda za dizelmotorni poriv ubrajaju cjevovodi: goriva, ulja za podmazivanje, rashladne vode, uputnog (komprimiranog) zraka, pare²⁷, ispirnog zraka te ispušnih plinova. Svi se ti cjevovodi sastoje u osnovi od dva dijela: prvog, koji pripada samom stroju ili uređaju (npr. generatoru pare) i brodogradilištu se isporučuje u sklopu isporuke samog stroja, te drugog, koji treba izgraditi brodogradilište, naravno u skladu s preporukama proizvođača stroja te tehničkim pravilima. Ovdje se objašnjavaju funkcije i izvedbe drugog dijela cjevovoda. Iz tog se razloga neće objašnjavati cjevovod ispirnog zraka – u potpunosti je dio motora, od usisa turbopuhala do ispirnog spremnika.

U grupu cjevovoda opće službe ubrajaju se cjevovod kaljuže i balasta, protupožarni cjevovodi, ventilacija i klimatizacija te više drugih.

2. CJEVOVOD GORIVA

Budući da ovaj naziv, u najširem smislu, podrazumijeva kompletan cjevovod od priključaka za punjenje brodskih skladišnih tankova²⁸ do usisa visokotlačnih pumpi motora, može se napraviti podjela na manje dijelove te imamo dijelove za: ukrcaj i

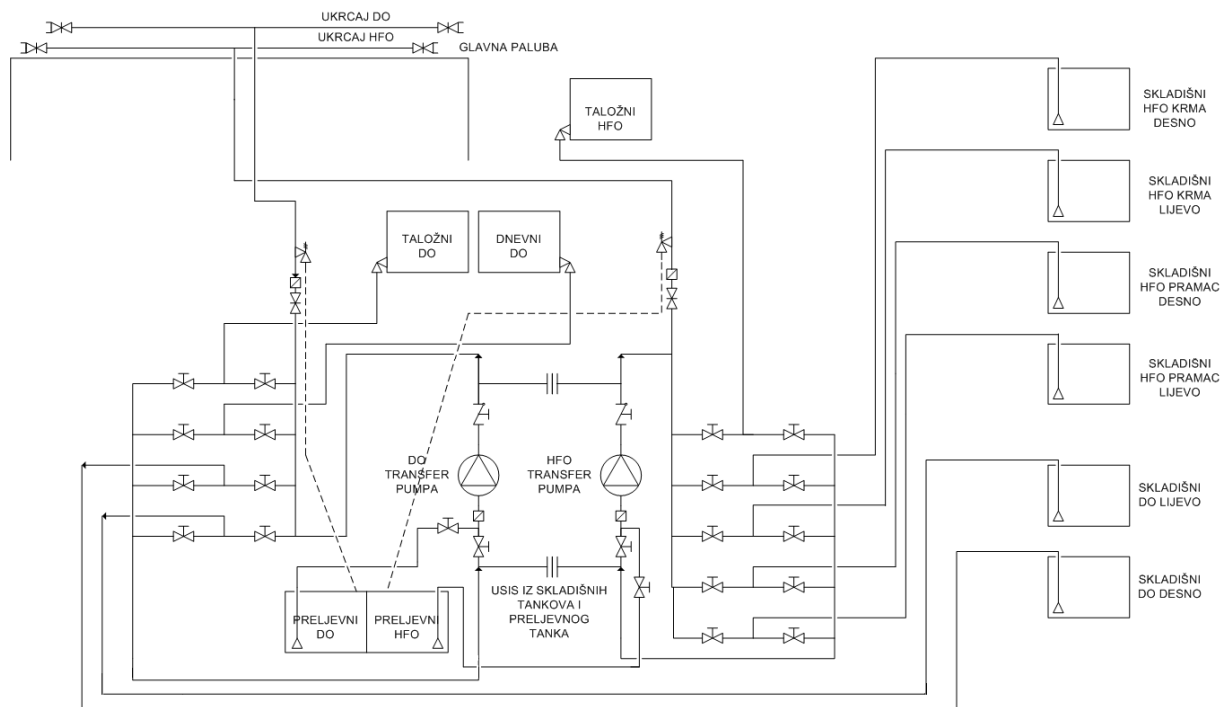
²⁷ Ispravno bi bilo napisati pare, kondezata i napojne vode.

²⁸ Prema engleskog izvorniku često naši pomorci tankove zovu bunker, a tako se zove i postupak ukrcaja.

skladištenje goriva, pretakanje goriva (engl. transfer), obradu te distribuciju i pripremu za potrošnju.

2.1. Ukrcaj i skladištenje goriva

Cjevovod ukrcaja goriva te distribucije do skladišnih tankova prikazan je na slici 21. Na palubi, najčešće je to glavna ili teretna paluba, i to na oba boka, nalaze se priključci za ukrcaj. Silazne cijevi spuštaju se i razvode do pojedinih skladišnih tankova, gdje god da se oni nalaze. Prije svakog se tanka nalazi zaporni ventil kako bi se moglo birati u koji će se tank vršiti ukrcaj. Kako svi brodski prostori koji se mogu, namjerno ili nenamjerno nalijevati, moraju imati odušnike, jasno je da ih imaju i skladišni tankovi. Ti se odušnici vode na otvorenu palubu i izvode na način koji sprječava ulaz mora kod nevremena.



Slika 21. Cjevovod ukrcaja i pretakanja goriva [1]

U provođenju postupka ukrcaja mora se voditi računa o sprječavanju istjecanja u more. Jedan je od mogućih uzroka pretjerano punjenje tanka. Stoga se tankovi tijekom postupka ukrcaja često sondiraju ('ručno') ili imaju preljevni spoj na preljevni

tank i na njemu neku vrstu indikacije protoka²⁹ ili imaju, danas vrlo precizne, indikatore razine u tanku.

Skladišni tankovi svojim ukupnim volumenom moraju osigurati određenu neovisnost broda o opskrbi s gorivom. Dužnost je komandanta broda u dogovoru s upraviteljem stroja planirati pravovremen ukrcaj goriva.

Treba napomenuti kako neki brodovi koriste dvije vrste goriva: većim dijelom teško dizelsko gorivo, a samo u manjoj mjeri dizelsko gorivo. Sve gore navedeno odnosi se na obje vrste goriva.

2.2. Pretakanje ili transfer goriva

Iz skladišnih je tankova gorivo potrebno prebaciti u taložne tankove. Brodovi imaju jedan, dva ili više taložnih tankova, posebno za svaku vrstu goriva. Zato se ugrađuju pumpe za pretakanje³⁰, po jedna za svaku vrstu goriva, odvojene slijepim prirubnicama ili drugim prihvatljivim načinom, kako bi ih se moglo zamijeniti u nuždi. Kada se slijepe prirubnice uklone svaka od dvije pumpe za pretakanje ima usisni spoj na svaki od skladišnih tankova, uključujući i preljevni tank te tlačni spoj na sve skladišne i taložne tankove.

Skladišni tankovi za teško dizelsko gorivo moraju imati ugrađene grijače. Obično su parni, tj. ogrjevnj je medij para te je ovo prvi razlog zbog kojeg se para ubraja u pogonske cjevovode na brodovima s dizelmotornim porivom. Teška su dizelska goriva ostaci kod postupka frakcijske destilacije nafte, viskozna su te ih je s ciljem smanjenja viskoziteta potrebno ponekad prije pretakanja dogrijati.

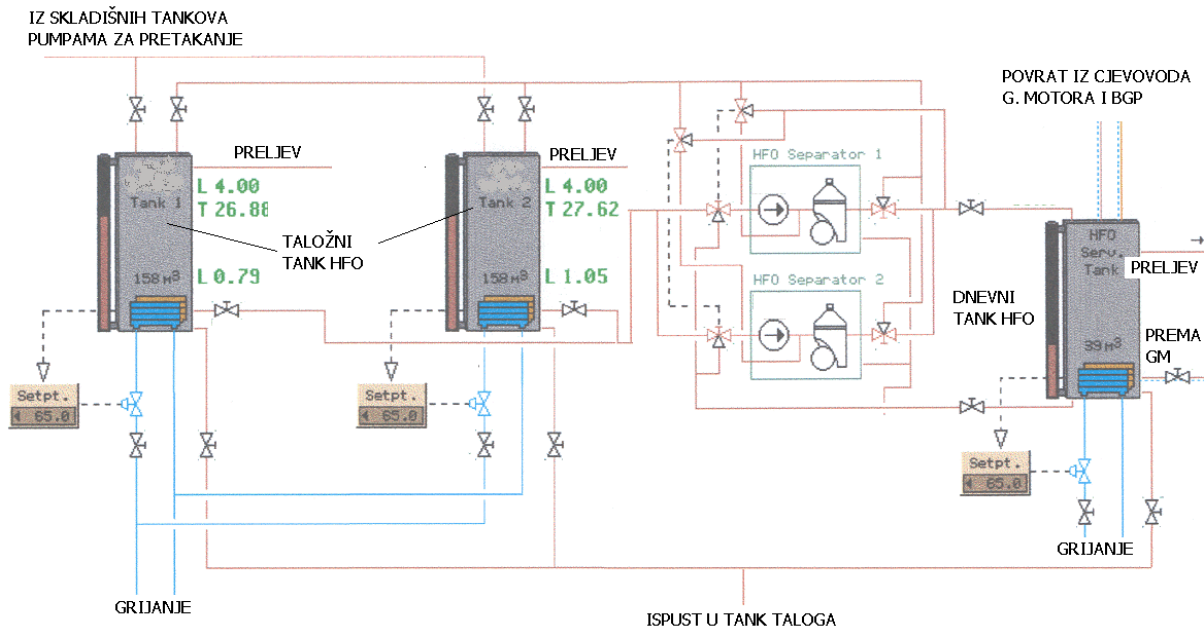
Pumpe za pretakanje (transfer) goriva imaju usis iz svakog pojedinog skladišnog tanka te preljevnog tanka i dobavljaju gorivo u taložni ili taložne tankove. Gorivo se može pretakati iz jednog u drugi skladišni tank, zbog boljeg stabiliziranja ili trima broda.

Na slici 22 prikazan je dio sustava goriva ta obradu goriva: dva taložna tanka te priključci dvaju separatora na taložne tankove. Čisto se gorivo iz separatora vodi u dnevni tank. Može se uočiti i mogućnost recirkulacije: ako je dnevni tank pun čisto se

²⁹ Može se raditi o mjeracu protoka te će bilo koja vrijednost veća od nule ukazivati na napunjenost skladišnog tanka ili o jednostavnom pokaznom staklu pored kojeg član posade stroja dežura i javlja kada se pokaže protok.

³⁰ Obično se zovu transfer pumpe.

gorivo može vraćati u taložni tank³¹ ili pumpa separatora može usisavati iz dnevnog tanka.



Slika 22. Taložni i dnevni tankovi teškog dizelskog goriva [1]

2.3. Obrada goriva

Gorivo pretočeno u taložni tank čisti se djelovanjem sile gravitacije. Voda i krute čestice veće su gustoće od goriva te pod njezinim utjecajem tonu na dno tanka. Kako bi se postupak ubrzao i taložni tankovi imaju grijače (i ovdje su najčešće parni). Temperature teškog dizelskog goriva u taložnim tankovima kreću se u rasponu od 50 do 60°C. Dizelska su goriva čišća te cjevovodi ponekad nemaju taložne tankove, a ako ih imaju oni mogu i ne moraju imati grijače. Cjevovodi s dva ili više taložnih tankova pouzdaniji su i bolji, jer se taloženje nečistoća i odvodnja ne vrše iz istog tanka, tj. taloženje nečistoća traje 24 sata i više.

Taloženje je prvi stupanj čišćenja goriva. Značajniji se dio procesa čišćenja vrši u uređajima koji se zovu separatori. Dobavne pumpe separatora sišu gorivo iz taložnog tanka te ga dobavljaju do separatora. Izlazni tlak goriva na separatoru dovoljan je kako bi gorivo došlo do dnevnog tanka.

³¹ Sustavi na modernim brodovima to mogu vršiti automatski, kada je u dnevnom tanku postignuta gornja razina.

Dobavni cjevovod separatora vrlo je značajan, jer se gorivo prije uvođenja u separator mora dovesti u odgovarajuće stanje. Potrebno je podesiti tlak i protok prema separatoru te temperaturu, a s njom i viskozitet. Ukoliko je temperatura neodgovarajuća ili je tlak previsok gorivo se vraća u taložni tank. Potrebna temperatura postiže se u grijaču (i opet najčešće parnom što je već treći razlog za uključenje cjevovoda pare u grupu pogonskih cjevovoda) i za teška dizelska goriva iznosi od 90 do 100°C.

Prljavo se gorivo uvodi u posudu kojoj velikom brzinom rotiraju tzv. tanjuri. Zbog trenja s tanjurima postiže se kruženje goriva te se pod djelovanjem centrifugalne sile nečistoće (krute čestice i voda) izdvajaju u periferne dijelove posude i periodički ispuštaju u poseban tank (tank taloga ili engl. sludge tank)³².

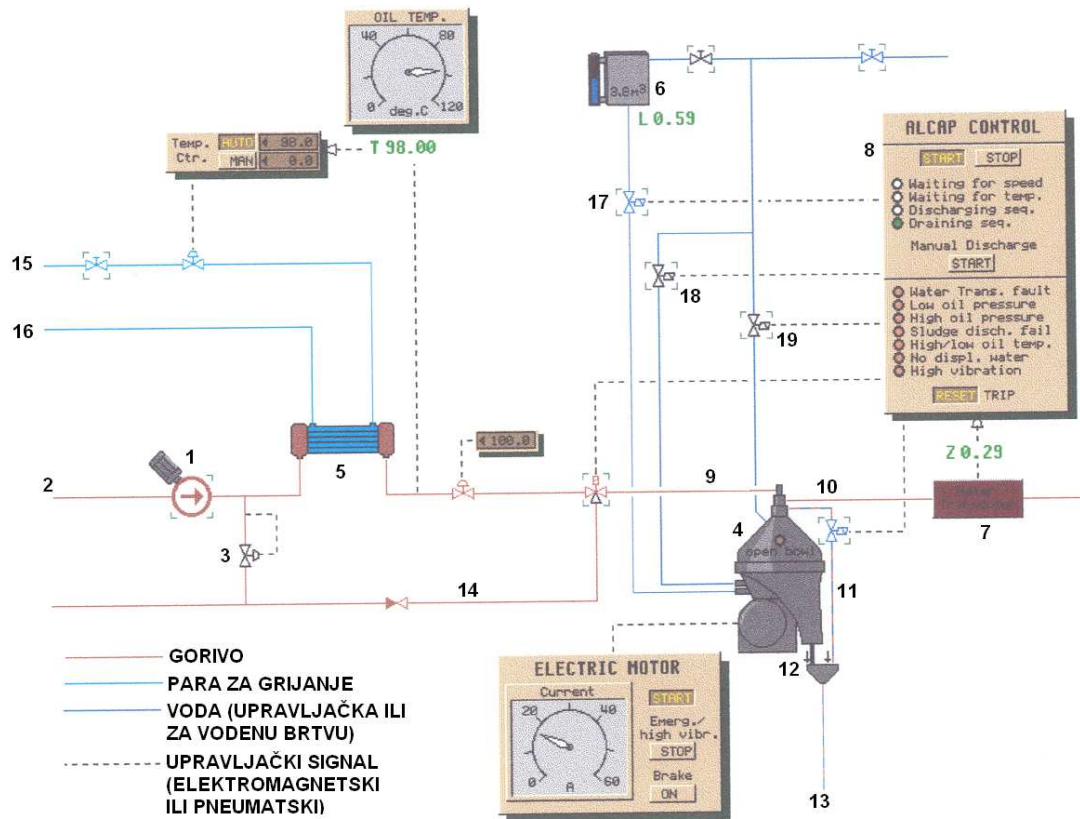
Uređajem je naravno moguće upravljati lokalno ('ručno'), no kod modernih je pogona njegov rad u potpunosti automatiziran. Kako bi se to postiglo, iako relativno jednostavan uređaj, ima veći broj osjetnika (senzora) te upravljačkih ventila: temperature, tlaka, udjela vode u čistom gorivu, vibracija itd.

Brodovi su u pravilu opremljeni s po dva separatora teškog dizelskog goriva, kako je prikazano na slici 22, te jednim separatorom dizelskog goriva. Jedan od separatora teškog goriva konstantno je u pogonu, dok se separator dizelskog goriva koristi rjeđe, s obzirom na potrošnju tog tipa goriva.

Separator teškog goriva s pripadajućim mjernim uređajima te upravljačkim sustavom prikazan je na slici 23. Prljavo gorivo separatoru dobavlja pumpa 1, gorivo se zagrijava u parnom (može biti i električni) grijaču 5 na 90 do 100°C, te kroz prigušni ventil kojim se regulira tlak medija na ulazu u separator i time njegov kapacitet uvodi u separator. Višak prljavog medija vraća na usisnu stranu prekotlačni ventil 3, a u slučaju bilo kakvog problema u radu sustav upravljanja djeluje na troputni ventil i također vraća medij na usisnu stranu pumpe. Očišćeno se gorivo ispušta kroz cijev 10 u dnevni tank, a voda izdvojena u separatoru povremenim otvaranjem pneumatski upravljanog ventila kroz cijev 11, te talog, uključujući i dio vode, povremenim otvaranjem bubnja separatora kroz ispušni otvor 12, u tank taloga. Za rad separatora vrlo je važan osjetnik udjela vode u očišćenom gorivu 7 te operativni elektromagnetski

³² Ovakvo rješenje s jedinstvenim uređajem koji čisti i krute čestice i vodu koristi tvrtka Alfa-Laval, jedan od vodećih proizvođača.

ventili 17 i 18 kojima se otvara i zatvara bubanj separatora, kao i 19 kojim se dodaje brtvena voda u bubanj.



Slika 23. Cjevovodi separatora teškog goriva: 1 – dobavna pumpa, 2 usis pumpe iz dnevnog ili taložnog tanka, 3 – ventil konstantnog tlaka, 4 – separator, 5 – parni (ili električni ili parno-električni) grijač, 6 – tank radne vode, 7 – mjerni instrument udjela vode, 8 – upravljačka jedinica, 9 – dovod prljavog goriva, 10 – izlaz pročišćenog goriva, 11 – ispust vode, 12 – ispust taloga, 13 – odvod taloga i vode u tank taloga (engl. sludge), 14 – povrat goriva u tank, 15 – dovod pare, 16 – povrat kondenzata, 17 – elektromagnetski upravljački ventil vode za zatvaranje bubnja, 18 - elektromagnetski upravljački ventil vode za otvaranje bubnja, 19 - elektromagnetski ventil za dodavanje vode u bubanj [1]

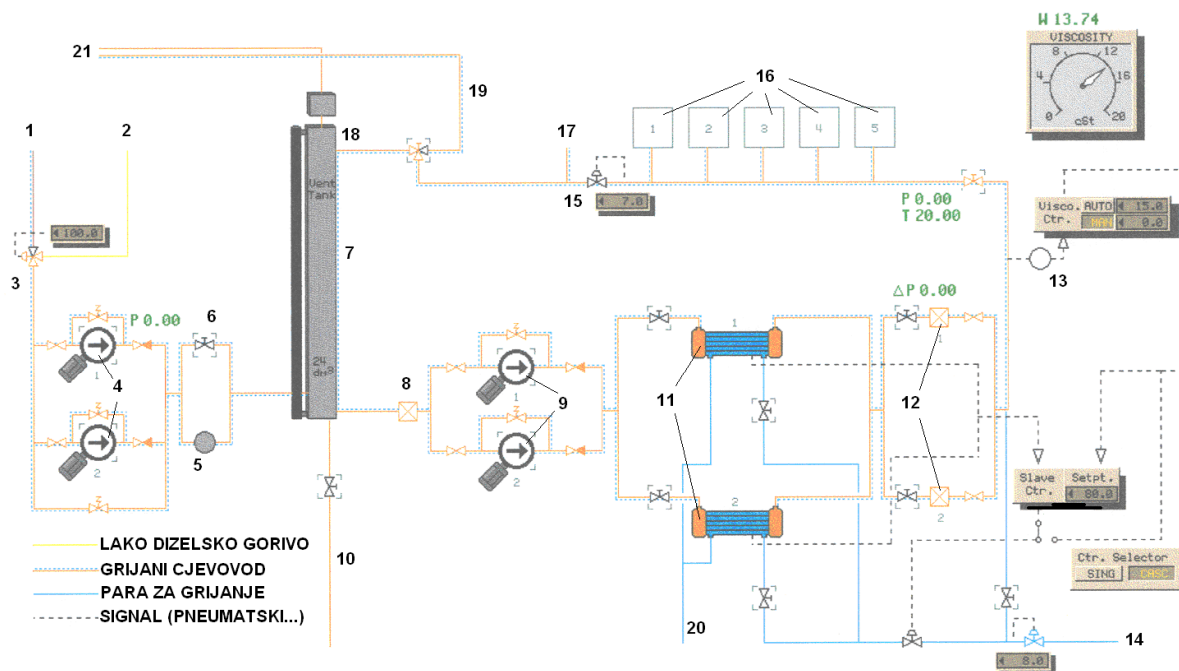
2.4. Distribucija i priprema za potrošnju goriva

Očišćeno gorivo sakuplja se u odgovarajućem dnevnom tanku (HFO i DO) te iz njega razvodi prema potrošačima: glavnom porivnom stroju ili strojevima, dizelskim generatorima električne energije, loženim generatorima pare, spaljivačima smeća i dr. Svaki od navedenim potrošača zahtjeva odgovarajuću pripremu goriva pa se gorivo zagrijava s ciljem postizanja potrebnog viskoziteta, filtrira s ciljem zaštite stroja ili uređaja te tlači na potrebne radne tlakove.

Cjevovod goriva glavnog motora prikazan je na slici 24. Gorivo se dovodi iz dnevnog tanka teškog dizelskog goriva kroz cijev 1 ili dnevnog tanka dizelskog goriva kroz

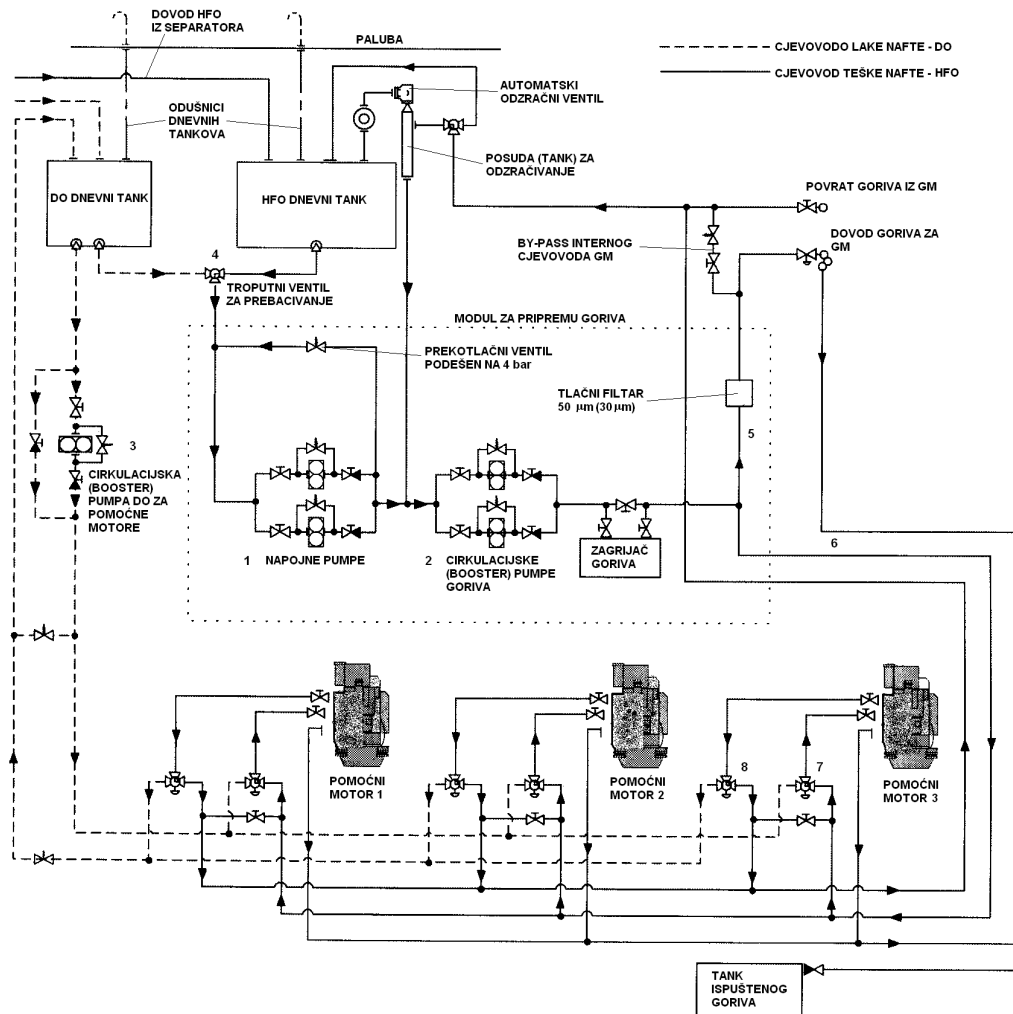
cijev 2, te se troputnim ventilom 3 (tzv. ventil za prebacivanje) vrši odabir goriva. Prikazani sustav ima dobavne pumpe 4, dok sustavi koji takve pumpe nemaju, imaju visoko u strojarnici smještene dnevne tankove. Dobavne pumpe gorivo tlače na mjerac protoka 5. U slučaju njegovog zaprljanja i blokiranja cijevi rad se nastavlja mimovodnim cjevovodom kroz ventil 6.

Cirkulacijske pumpe 9 usisavaju gorivo iz tanka za miješanje 7 u kojem se miješa gorivo dobavljeno pumpama 4 te povratnog gorivo iz motora 18. Povrat iz motora visokog je tlaka i temperature te se ne smije vraćati u dnevni tank kroz cijev 21. Direktni povrat u dnevni tank može se koristiti kada motor ne radi, a želi se isprati cjevovod lakim dizelskim gorivom. Nakon zagrijavanja goriva parom i grijaču 11 i filtriranja u tlačnom filtru 12 gorivo se vodi na usis visokotlačnih pumpi goriva samog motora. U tom se cjevovodu mjeri kinematički viskozitet te se u skladu s time regulira količina dovedene energije u grijaču goriva – količina pare.



Slika 24. Cjevovod goriva sporookretnog dizelskog motora: 1 – dovod iz dnevnog tanka teške nafte, 2 – dovod iz dnevnog tanka lakog dizelskog goriva, 3 – troputni ventil za odabir goriva (miješanje), 4 – napojne (dobavne) pumpe, 5 – mjerac protoka, 6 – 'by-pass' mjeraca, 7 – tank za odzračivanje ili miješanje, 8 – usisni filter cirkulacijskih pumpi, 9 – cirkulacijske pumpe, 10 – ispust u preljevni tank, 11 – grijači goriva, 12 – tlačni filteri, 13 – mjerac (indikator, regulator, pisač) viskoziteta, 14 – dovod pare za grijanje, 15 – ventil konstantnog tlaka, 16 – visokotlačne pumpe motora, 17 – povrat viška goriva iz motora, 18 – povrat u tank za odzračivanje, 19 – povrat u dnevni tank, 20 – povrat kondenzata, 21 – spoj na dnevni tank [1]

Manji dizelski motori, npr. dizelski generatori električne energije, imaju slične sustave goriva budući danas koriste, kao i sporookretni motori, teško dizelsko gorivo. Umjesto da svaki od motora ima vlastiti sustav pripreme goriva, može se primijeniti zajednički cjevovod kao što to prikazuje slika 25.



Slika 25. Zajednički cjevovod goriva glavnog motora i generatora električne struje: 1 – napojne pumpe, 2 – cirkulacijske pumpe, 3 – cirkulacijska pumpa lakog dizela za pomoćne motore, 4 – troputni ventil za prebacivanje glavnog sustava, 5 – dovod goriva glavnom motoru, 6 – dovod goriva pomoćnim motorima, 7 – troputni ventil pomoćnog motora broj 3 za prebacivanje, 8 – povratni troputni ventil pomoćnog motora broj 3 za prebacivanje [1]

Nakon zagrijača goriva vrši se razvod prema cjevovodu glavnog motora 5 te prema cjevovodima pomoćnih motora (za pomoćni motor br. 3 to je ventil 7). Troputni ventili 7 i 8 pomoćnog motora br. 3, kakve imaju i ostali pomoćni motori koriste se za automatsko prebacivanje rana na dizelsko gorivo kod greške u radu glavnog cjevovoda goriva.

Cjevovod goriva generatora pare predstavlja zanimljivo rješenje sa stanovišta automatskog rada i zaštite cijelog uređaja, no ovdje se zbog obima programa neće obrađivati.

3. CJEVOVOD ULJA ZA PODMAZIVANJE

Cjevovodu ulja za podmazivanje bitne odrednice daje model motora. Motori malih snaga, koji su klipni i četverotaktni, mogu imati podmazivanje 'bućkanjem'. Tada se ulje zadržava u uljnoj tavi ('karteru') te ga koljениčasto vratilo tijekom svog kružnog kretanja zahvaća i prska prema cilindrima u gronjem dijelu kućišta. Kod velikih motora, stapnih, s križnom glavom to je nemoguće iz više razloga: zbog visine motora upitno je bi li se kapljice ulja uopće mogle rasprskavati do visine na kojoj se nalaze košuljice, oko stapajice se nalazi brtvenica kojom je 'karter' odijeljen od cilindarskih prostora, a pored toga za podmazivanje cilindra koristi se drugo ulje.

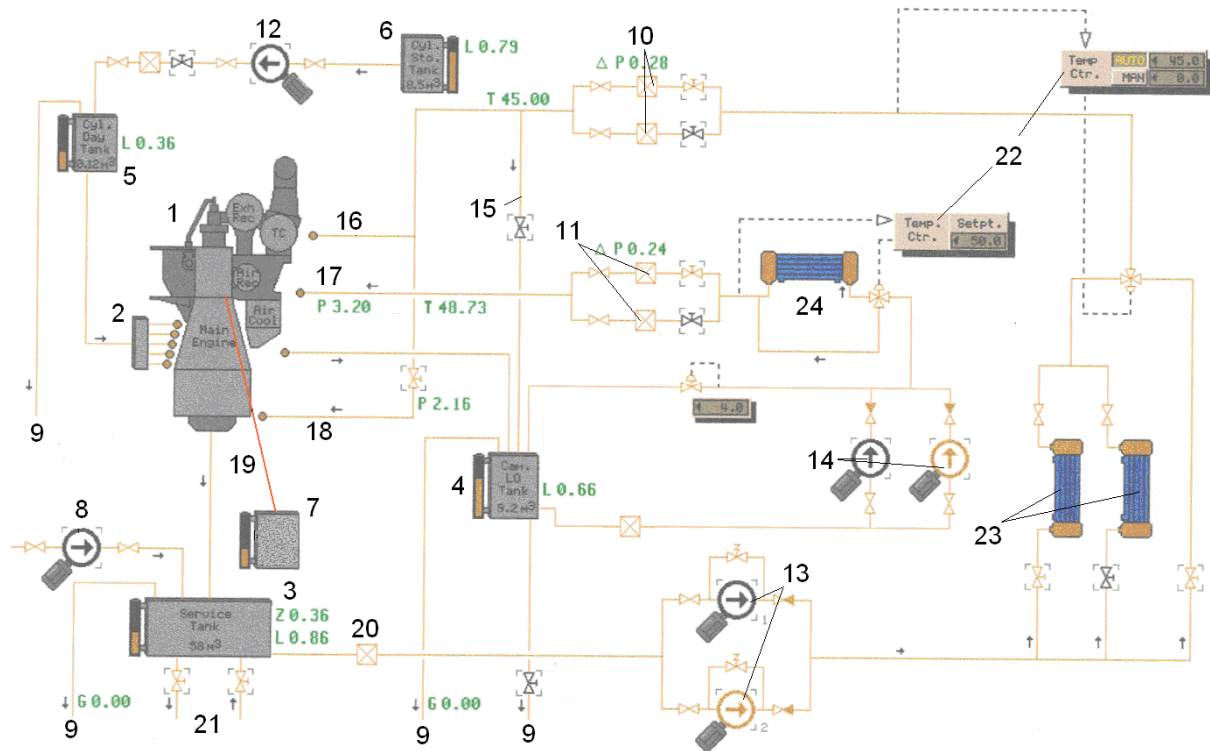
Konstrukcija motora određuje gdje sve mora biti dovod ulja, te kojeg je na tom mjestu ulje stanja (tlaka i temperature). Na slici 26 prikazan je sustav ulja za podmazivanje jednog sporookretnog motora.

Ulje se ne sakuplja u 'karteru' već se s dna uljne tave slijeva u slivni tank 3 ugrađen u dvostruku stjenku (dvodno) strojarnice. U pravilu je taj tank sa svih bočnih strana te s donje strane zaštićen zračnim tankom (pregradnim tankom), no ukoliko s donje strane to nije učinjeno mora imati mimovod usisa (engl. by-pass). Kroz usisni filter 20 iz slivnog tanka sišu glavne pumpe ulja 13. Glavni motor mora imati jednu rezervnu pumpu³³. Ulje se hladi slatkom vodom u jednom od dva rashladnika 23. Temperatura ulja regulira se pomoću troputnog ventila kojim upravlja regulator 22 miješanjem hladene i nehladene struje. Temperatura ulja je bitna zbog osjetljivosti kliznih površina motora i iznosi oko 45°C. Prije dovoda u motor ulje prolazi kroz tlačni filter 10 (drugi je rezerva) koji služi kao zaštita motora. Veličina čestice koju filter zadržava također je određena zahtjevima proizvođača motora.

Ovaj podsustav dovodi ulje za temeljne i odzivni ležaj ugrađen u kućištu motora¹⁸ te za križne glave 16. Poseban je podsustav za podmazivanje razvodnog mehanizma

³³ Dva motora imaju tri pumpe, tri motora četiri itd.

17 s pumpama 14 , rashladnikom 24 te tlačnim filtrima 11. Budući oba podsustava koriste isto ulje nadopuna drugi vrši se preko spoja 15.



Slika 26. Cjevovod ulja glavnog motora: 1 – glavni motor, sporookretni, s križnom glavom, 2 – mazalice cilindara (lubrifikatori), 3 – slivni tank ulja, 4 – sabirni tank ulja za podmazivanje bregaste, 5 – dnevni gravitacijski tank cilindarskog ulja, 6 – skladišni tank cilindarskog ulja, 7 – slivni tank prljavog cilindarskog ulja, 8 – pumpa za nadopunu, 9 – ispusti i preljevi, 10 – tlačni filtri, 11 - tlačni filtri ulja bregaste, 12 – pumpa za nadopunu cilindarskog ulja, 13 – glavne pumpe ulja, 14 – pumpe ulja za bregastu, 15 – nadopuna cjevovoda za podmazivanje bregaste, 16 – dovod ulja za križne glave, 17 – dovod ulja za bregastu, 18 – dovod ulja za temeljne i odzivni ležaj, 19 – sakupljanje prljavog cilindarskog ulja, 20 – usisni filtar, 21 – usis ulja pumpe separatora i povrat, 22 – regulatori temperature, 23 – rashladnici ulja, 24 – rashladnici ulaj bregaste [1]

Sistemska se ulje nadopunjuje u slivni tank pumpom za nadopunu 8 iz skladišnog tanka. Manji pogoni, gdje se radi o manjim količinama ulja, mogu rezervu ulja imati uskladištenu u bačvama. Potrebna je rezerva za zamjenu cjelokupne količine ulja u sustavu. Na shemi se vidi i usis pumpe separatora ulja iz slivnog tanka te povrat čistog ulja iz separatora 21.

Cilindarsko je ulje poseban sustav, već i zbog karakteristika ulja. Ovo je ulje izrazito lužnato kako bi bilo u stanju neutralizirati kiseline nastale izgaranjem goriva u cilindarskom prostoru. Dolazi gravitacijski iz dnevnog tanka 5, koji je baždaren te se dnevno očitava potrošnja, do mazalica glavnog motora 2. Cilindarsko ulje koje stapni

prstenovi sastružu s košuljice sakuplja se u ispirnim prostorima motora te se cijedi (19) u poseban tank 7. Budući je kontaminirano produktima izgaranja može ga se spaliti u spaljivaču smeća, iksrcati na kopno ili separirati posebnim separatorima za jako prljavo ulje i ponovo koristiti.

Sustavi ulja četverotaktnih srednjeokretnih motora, koji se tipično koriste za pogon generatora električne energije nešto su jednostavniji. Imaju međutim neke interesantne opcije, barem kada se radi o automatiziranim brodskim elektranama. Generator koji je rezerva na glavnoj razvodnoj ploči (engl. stand-by generator) treba biti što spremniji za upućivanje te ima ugrađene po dvije pumpe ulja. Jedna je od njih privješana dok je druga pogonjena elektromotorom i zove se pumpa predpodmazivanja (engl. priming pump). Pumpa predpodmazivanja u kratkim se periodima uključuje i isključuje sve dok se motor ne pokrene i postigne nominalni broj okretaja kada dobavu ulja u potpunosti ostvaruje privješana pumpa.

4. CJEVOVOD KOMPRIMIRANOG ZRAKA

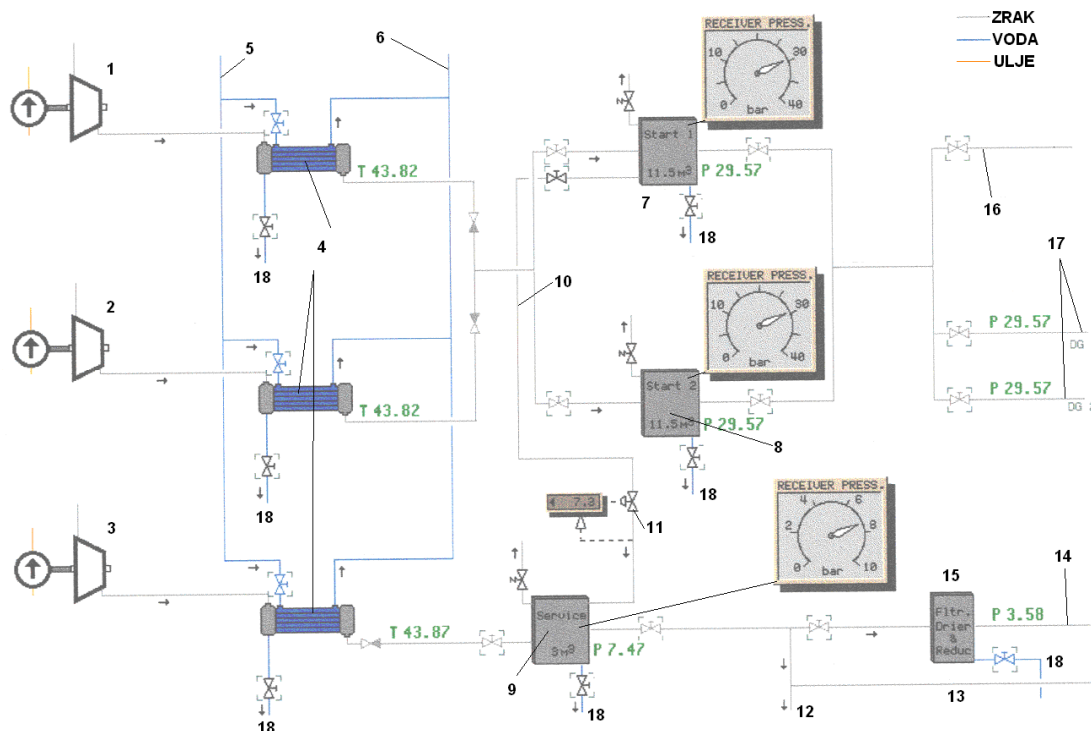
Glavna je primjena komprimiranog zraka upućivanje motora – glavnih i pomoćnih, no pored toga koristi se za brodsku sirenu, pogon pneumatskih alata, pneumatske sustave upravljanja i dr. Budući je upućivanje motora izvedeno s komprimiranim zrakom ovaj je sustav od presudnog značaja za ispunjavanje jednog od glavnih zahtjeva klasifikacijskih društava: brod bi uvijek trebao biti u stanju uspostaviti pogon bez pomoći drugoga.

Spremnici uputnog zraka moraju osigurati minimalan broj uzastopnih upućivanja, uključujući i utrošak za upravljanje (prekretanje), bez nadopunjavanja. Po Hrvatskom registru brodova to je ukupno 12 uzastopnih upućivanja ukoliko se radi o prekretnom motoru koji pokreće vijak s fiksnim krilima, a dvostuko manji broj kada je motor neprekretan.

Glavni kompresori trebaju biti u stanju nadopuniti prazan spremnik (atmosferski tlak) do tlaka koji će osigurati potreban minimalni broj uzastopnih upućivanja (obično to iznosi 3 MPa manometarskog tlaka) u roku od jednog sata.

Ukoliko su drugi potrošači spojeni na glavne spremnike njihov se volumen mora povećati u skladu s potrošnjom. Pomoćni motori mogu se upućivati zrakom iz spremnika uputnog zraka glavnog motora ili mogu imati zaseban spremnik, kojega puni poseban kompresor.

Slika 27 prikazuje jedan složeniji sustav komprimiranog zraka. Spremnike uputnog zraka 7 i 8, iz koji se razvodi zrak za upućivanje glavnog motora 16 te pomoćnih motora 17, pune glavni kompresori 1 i 2. Nakon kompresora zrak se hladi slatkom vodom u rashladnicima 4. Ventili za ispust tekućine 18 ugrađeni su u rashladnicima i spremnicima. Spremnici imaju sigurnosne ventile, kao i sve posude pod tlakom.



Slika 27. Cjevovod komprimiranog zraka: 1, 2 – glavni kompresori, 3 – kompresor radnog zraka, 4 – rashladnici, 5 – dovod NT vode, 6 – povrat NT vode, 7, 8 – spremnici uputnog zraka, 9 – spremnik radnog zraka, 10 – cjevovod za punjenje spremnika radnog zraka u nuždi, 11 – redukcijски ventil, 12 – spoj radnog zraka na palubu, 13 – spoj za propuhivanje čađe generatora pare, 14 – zrak za automatiku, 15 – filter/sušilac, 16 – uputni zrak glavnog motora, 17 – uputni zrak generatora električne energije, 18 – ispust vode [1]

Za pomoćne svrhe zrak se može akumulirati u posebnom spremniku radnog zraka 9, kojega nadopunjava kompresor radnog zraka 3, ali se u nuždi može nadopunjavati iz spremnika uputnog zraka 7 kroz zaporni ventil te redukcijски ventil 11. Nominalni manometarski tlak u spremniku uputnog zraka je oko 3 MPa, a u spremniku radnog zraka oko 0,8 MPa. Jedna od važnih primjena radnog zraka jest u sustavima

upravljanja. Tada se radni zrak dodatno filtrira i suši u jedinici za pripremu 15, koja najčešće ima više sekcija od kojih se jedna koristi za pripremu zraka dok se druge regeneriraju. Nakon nekog perioda funkcije sekcija se zamjenjuju.

Sustavi na modernim brodovima rade automatski. Na spremnicima zraka ugrađeni su tlačni prekidači koji uključuju i isključuju kompresore u skladu s podešenim vrijednostima³⁴. Ovakva se regulacija naziva dvopozicijska i česta je u brodskim cjevovodima.

Spremnici zraka zaštićeni su sigurnosnim ventilima ili jednostavnijim rastalnim pločicama, koji će u slučaju previsokog tlaka ispustiti zrak. Preporuka je da taj ispust vodi van strojarnice. Nadalje, na dnu spremnika ugrađuje se ispusni ('drenažni' prema engl. drain) ventil za ispust tekućine. Ispust vode vrši se barem jednom dnevno te prije upućivanja glavnog motora, a ventil može biti i elektromagnetski kada ga periodički otvara vremenski relej.

5. CJEVOVOD RASHLADNE VODE

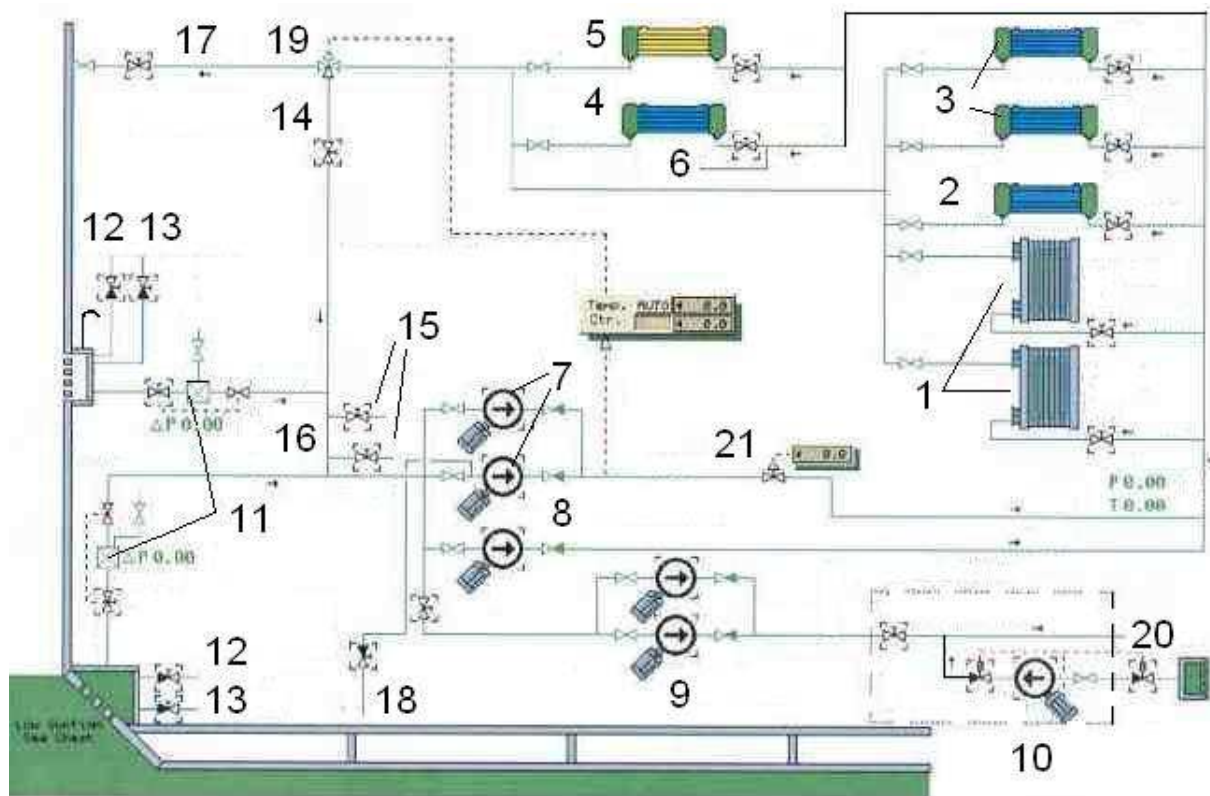
Jedan dio energije dovedene motoru gorivom preuzimaju na sebe konstrukcijski dijelovi motora te ih je potrebno hladiti. Stariji su rashladni sustavi bili direktni, protočni s morskom vodom, no takvi su se zadržali samo na motorima malih snaga. Hlađenje današnjih motora indirektno je. Indirektni sustavi iako skuplji kod ugrađnje vraćaju uloženi novac kroz manje eksploatacijske troškove motora.

Cjelokupni se sustav hlađenja može podijeliti u tri dijela: cjevovod slatke vode ima podsustav niskotemperaturne vode koja hladi ispirni zrak motora, ulje za podmazivanje te neke pomoćne sustave broda, te podsustav visokotemperaturne vode koja hladi košuljice i glave cilindara glavnog i pomoćnih motora, a slatka se voda hladi morskom. Ipak, još i danas su u upotrebi razna rješenja hlađenja, od onih vrlo jednostavnih koji nemaju tzv. NT vodu već njezinu ulogu preuzima morska voda, koja pored toga hladi i VT vodu³⁵, do nekih složenijih s različitim rasporedima rashladnika.

³⁴ To su visokotlačni prekidači koji na gornjoj vrijednosti djeluju na kontakte elektromotora kompresora i isključuju ga, dok ga na donjoj vrijednosti tlaka ponovo uključuju.

³⁵ NT je skraćeno za niskotemperaturna, a VT za visokotemperaturna voda.

Na slici 28 prikazan je cjevovod rashladne morske vode. Dvije glavne pompe morske vode 7, pumpa lučkog pogona 8, te ostale pompe morske vode (balasta, opća služba i dr.) kroz ventila 15 imaju usis iz kolektora morske vode 16. Kolektorska cijev spaja usise (usisne kutije) na najkraći mogući način kako bi cjevovod morske vode bio što jednostavniji. Donji se usis koristi u plovidbi otvorenim morem, a gornji kada je brod u luci, osim ako je brod u balastu te ima mali gaz. Brodovi u pravilu imaju po dva niska i jedan visoki usis. Na usisne se kutije ugrađuju usisni ventili nakon kojih slijede usisni filtri 11.



Slika 28. Cjevovod morske vode: 1 – centralni rashladnici slatke vode, 2 – kondenzator pare, 3 – rashladnici dizel-generatora 1 i 2, 4 – kondenzator generatora slatke vode, 5 – kondenzatori parno-kompresijskih rashladnih uređaja (provijanta, klime), 6 – usis ejektroske pumpe generatora slatke vode, 7 – glavne pumpe morske vode, 8 – pumpa lučke službe (pomoćna), 9 – glavne protupožarne pumpe, 10 – protupožarna pumpa u nuždi, 11 – usisni filtri, 12 – dovod pare i 13 – dovod komprimiranog zraka na donju i gornju usisnu kutiju, 14 – recirkulacija vode, 15 – usis ostalih pumpi morske vode (kaljuže, balasta, hlađenja inertnog plina...), 16 – usisni kolektor morske vode, 17 – ispus morske vode van broda, 18 – usisni ventil za otplavlivanje strojarnice u nuždi, 19 – troputni regulacijski ventil, 20 – spoj na protupožarni cjevovod, 21 – tlačni regulacijski ventil [1]

Morskom se vodom u jednom od dva centralna rashladnika 1 hladi slatka voda, a pored toga para, voda dizelskih generatora električne energije, radne tvari rashladnih uređaja itd. Kroz ispusni ventil (engl. overboard) 17 more se ispušta van broda, ali ne

sva količina. Budući je sustav dimenzioniran za tropske uvjete³⁶ dio se zagrijanog mora recirkulira automatski upravljanim troputnim ventilom 19 i recirkulacijskim ventilom 14.

Cjevovod morske vode ima i jednu važnu sigurnosnu funkciju. Kako se radi o pumpama relativno velikog kapaciteta može ga se iskoristiti za otplavlivanje strojarnice u nuždi pomoću usisnog ventila 18³⁷. Tada je potrebno zatvoriti sve ostale usisne ventile, isključiti automatsku regulaciju temperature, tj. svu morskou vodu izbacivati van broda i uključiti obje glavne pumpe, a možda čak i pumpu lučke službe.

Neka su mjesta na cjevovodu, poput usisnih kutija, opremljena odušnicima. Pomoću njih se iz tog dijela cjevovoda može otpustiti nakupljeni plin koji može uzrokovati smanjen protok tekućine. Na usisnim su kutijama ugrađeni i ventili za dovod komprimiranog zraka za propuhivanje otvora te pare za odleđivanje.

Cjevovod morske vode zaštićuje se pocinčavanjem, raznim premazima, a neki dijelovi čak i oblaganjem gumom. Pored toga ima ugrađenu zaštitu od elektrokemijske korozije (galvanske članke) te uređaje za sprečavanje obraštanja. Ovaj se uređaj automatski uključuje kod povišenih temperatura mora kada je rast morskih organizama u unutrašnjosti cijevi ubrzan.

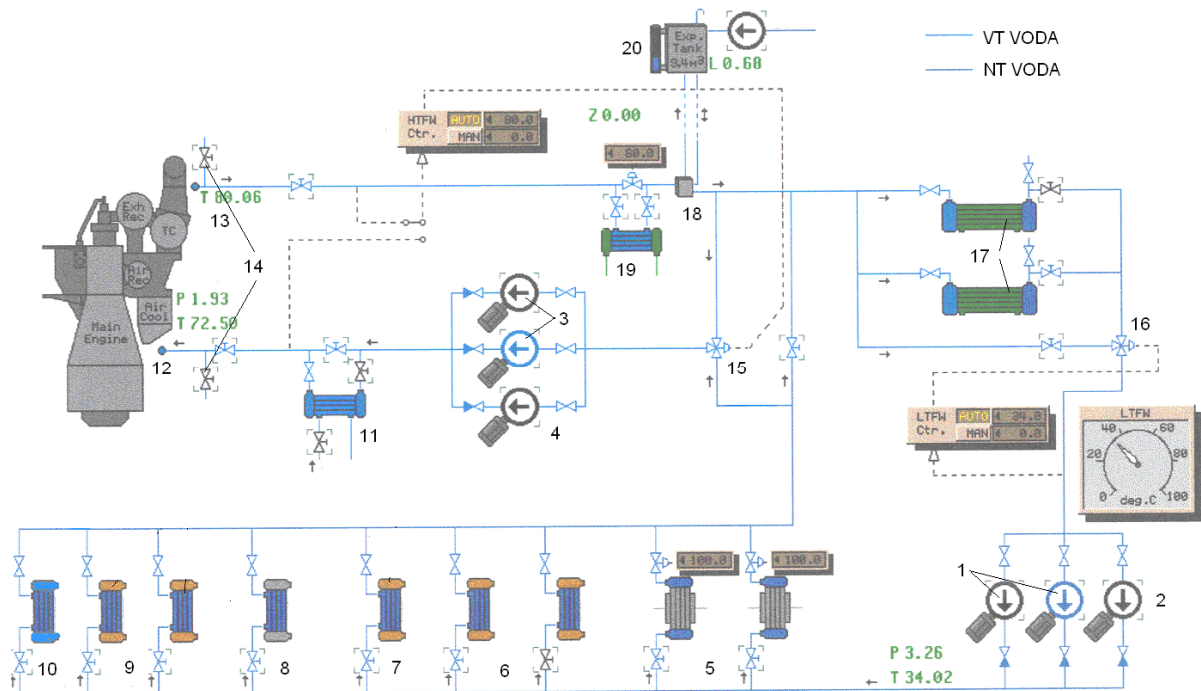
Tipičan cjevovod slatke vode prikazan je na slici 29. Centralni su rashladnici slatke vode ovdje označeni pozicijom 17. Uočljiv je dvostruki komplet pumpi – VT i NT vode, te u skladu s time dva podsustava. Njihove su funkcije već objašnjene. Regulacija temperature VT vode vrši se troputnim 'termostatskim' ventilom 15 koji miješa dio izlazne VT vode i dio NT vode. Preostale količine miješaju se i hlade u centralnom rashladniku. Temperatura NT vode također se regulira troputnim ventilom 16, koji miješa rashlađeni protok s mimovodnim (engl. by-pass) protokom.

Toplina VT vode djelomično se iskorištava u uređaju za proizvodnju destilirane vode 19. Zbog više temperature razine u ovom se podsustavu pojavljuje više plinova te se ugrađuje otplinjač (engl. deaerator)18. Iz njega i svih ostalih mjesta u cjevovodu u kojima se može pojaviti plinski jastuk vode prema ekspanzijskoj posudi 20 odzračne cijevi. Preko ekspanzijske se posude vrši nadopunjavanje cjevovoda slatkom vodom, potrebnim aditivima prema preporukama proizvođača motora, ona omogućuje širenje

³⁶ Zrak temperature 35°C i more temperature 32°C.

³⁷ Obično se ugrađuje po jedan na svakom boku strojarnice.

vode u cjevovodu zbog povećanja temperature bez prelijevanja i gubitka, te održava statički rad u sustavu, važan za ispravan rad centrifugalnih pumpi.



Slika 29. Cjevovod slatke vode: 1 – glavne pumpe niske temperature slatke vode (NT), 2 – pumpa lučke službe NT vode, 3 – glavne pumpe visokotemperature slatke vode (VT), 4 - pumpa lučke službe VT vode, 5 – rashladnici ispirnog zraka glavnog motora, 6 – rashladnici glavnog cjevovoda ulja, 7 – rashladnik ulja za podmazivanje bregastog vratila, 8 – hlađenje i međuhlađenje komprimiranog zraka, 9 – rashladnici ulja za podmazivanje ležajeva statvene cijevi, turbogeneratora, hidraulike zakretnog propelera, 10 – rashladnici VT vode, ispirnog zraka i ulja pomoćnih motora, 11 – predgrijač glavnog motora, 12 – dovod VT vode za glavni motor, 13 – odvod VT vode, 14 – ispušni i odzračivanje na spoju motora, 15 – troputni ventil za regulaciju temperature VT vode, 16 – troputni ventil za regulaciju temperature NT vode, 17 – centralni rashladnici slatke vode, 18 – odzračivač (deaerator), 19 – generator slatke vode, 20 – ekspanzijski tank cjevovoda slatke vode [1]

Najčešća konfiguracija pumpi svih triju podsustava je kako to prikazuju dane sheme: po dvije glavne te jedna manja, pomoćna, tj pumpa lučke službe. Rad glavnih je pumpi kod automatiziranih strojnica također automatiziran. U slučaju pada tlaka u cjevovodu uključuje se rezervna glavna pumpa (engl. stand-by) uz odgovarajuću indikaciju nenormalnog rada. Nakon određenog broja radnih sati jedne pumpe, upućuje se druga, a prva zaustavlja, održavajući podjednaku istrošenost i lakše planiranje periodičkog održavanja. Kod uspostave elektroenergetskog sustava broda nakon prethodnog raspada sustava (engl. black-out) uključuju se prema određenom prvenstvu sve glavne pumpe koje su u trenutku raspada bile u pogonu.

Podsustav VT vode ima i jednu važnu funkciju koja se koristi kod pripreme glavnog motora za rad – predgrijavanje. U tu se svrhu koristi predgrijač vode 11, koji može biti parni, električni ili parno-električni. Njegova snaga određuje trajanje predgrijavanja kako bi se postigle radne temperature motora. Nije nevažno spomenuti uobičajenu praksu da se nakon primljene zapovijedi s komandnog mosta o završetku rada s glavnim motorom odmah prebacuje na njegovo grijanje, osim ukoliko se moraju izvršiti radovi na motoru.

Podsustavi VT vode na nekim brodovima zajednički su glavnom i pomoćnim motorima. Tada se predgrijavanje glavnog motora izvodi drukčije: zagrijanom vodom koja je hladila pomoćni motor u pogonu.

6. CJEVOVOD PARE, KONDENZATA I NAPOJNE VODE

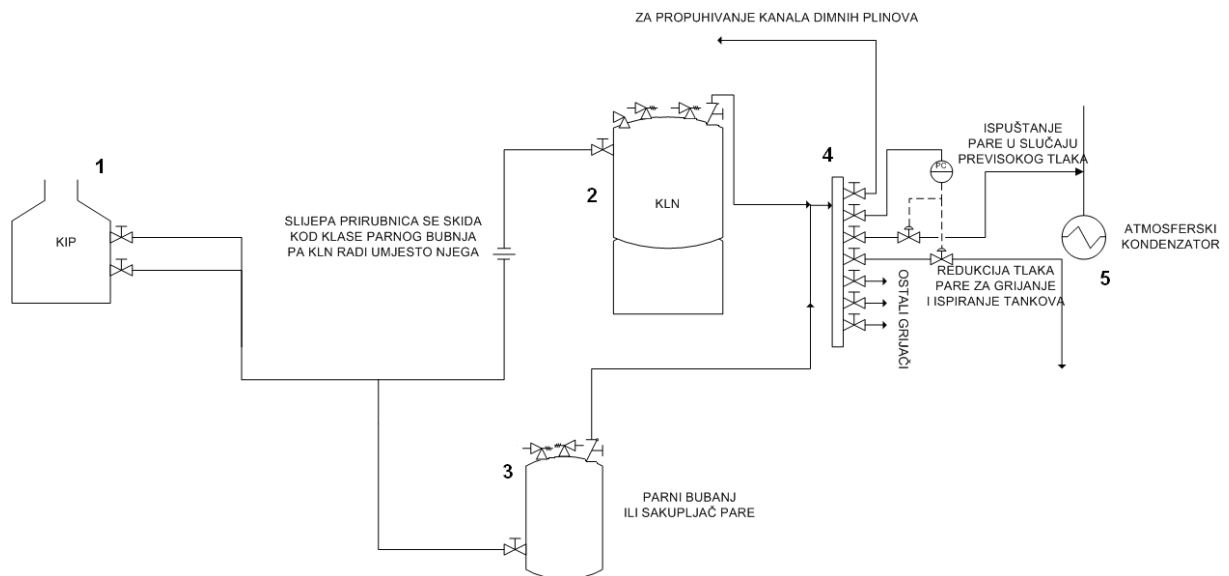
Para se na brodovima s dizelmotornim porivom koristi uglavnom za grijanje, a samo rijetko za pogon nekih pomoćnih turbina koje pokreću generatore električne energije ili na tankerima za ulja pumpe tereta. Podsustavom pare ona se razvodi do 'potrošača', podsustavom kondenzata on se sakuplja, a podsustavom napojne vode vraća se voda u generatore pare.

Generatori su pare, u skladu s prethodnim poglavljem, pomoćni jer se para koristi isključivo za pomoćne potrebe. Mogu biti loženi i utilizatori, tj. koristiti otpadnu energiju sadržanu u ispušnim plinovima dizelskih motora. Manji brodovi mogu umjesto takva dva generatora pare imati jedan s obje funkcije – kompozitni ili kombinirani.

Na parnom bubnju generatora pare nalazi se glavni parni ventil, uvijek otvoren kada je generator pare u upotrebi ili potpuno zatvoren kada nije. Nakon njega na cjevovodu se ugrađuju razvodni ventili pare prema raznim grijačima ili turbinama. Moguće je da neki 'potrošači' zahtijevaju niži tlak pare pa se za tu grupu tlak reducira u redukcijskom ventilu.

Mada neki utilizatori mogu imati parni bubanj (sakupljač pare) na modernim su brodovima protočni i takvu posudu nemaju. Tada su spregnuti s loženim generatorom pare, tj. koriste njegov parni bubanj. Naziv protočni znači da cirkulacijska pumpa siše

vodu iz parnog bubnja loženog generatora i tlači ga u cijevi utilizatora, u njima dolazi do isparivanja i sve se vodi u isti parni bubanj. Ne slici 30 prikazano je takvo sprezanje. Ipak, ima i jedan dodatak, rezervnu posudu za sakupljanje pare 3, ukoliko se iz nekog razloga ne može koristiti parni bubanj loženog generatora.



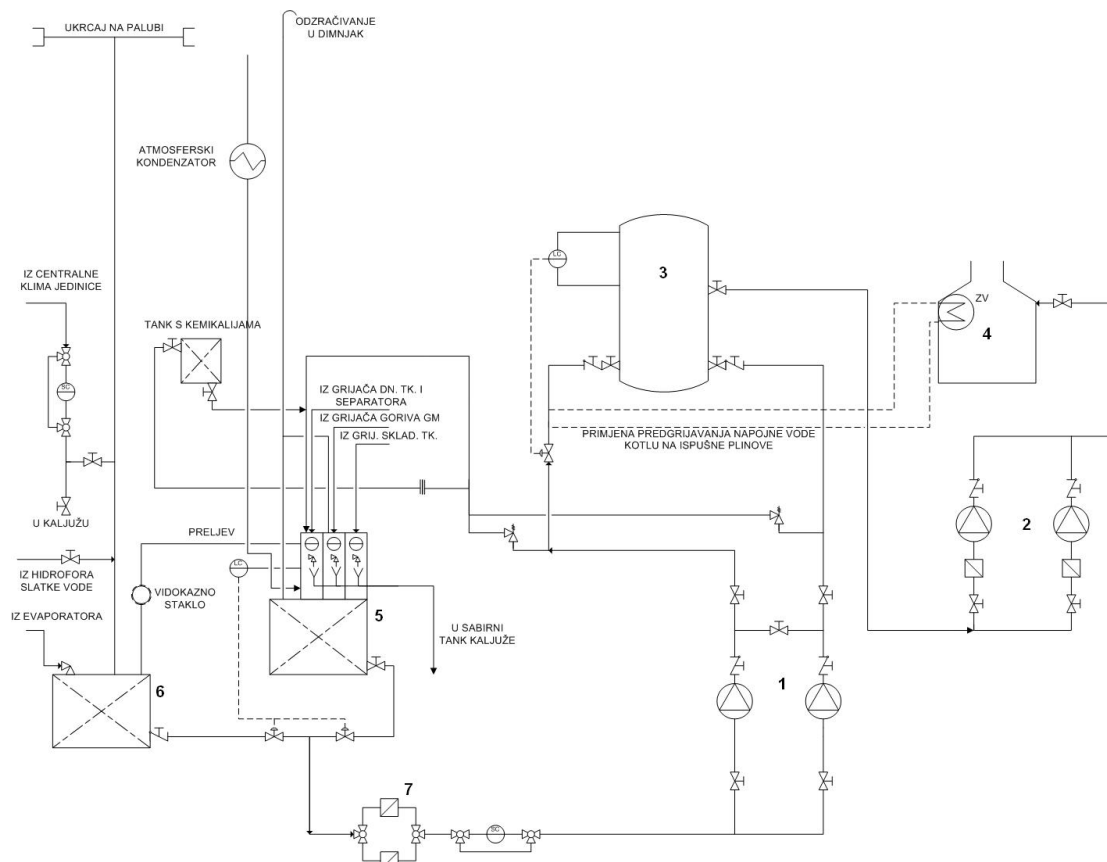
Slika 30. Cjevovod pare na kontejnerskom brodu gdje se para koristi samo za grijanje: 1 – kotao na ispušne plinove, 2 – loženi kotao, 3 – sakupljač pare KIP-ove, 4 – parni kolektor, 5 – kondenzator [1]

Iako bi se para prolazeći kroz grijače trebala u potpunosti ukapljiti³⁸ s obzirom na udaljenost grijača od generatora pare i pada tlaka u povratnom cjevovodu dolazi do djelomičnog isparivanja. Takva se mokra para vodi najprije u atmosferski kondenzator te zatim u mlaki zdenac. U slučaju previsokog tlaka u cjevovodu pare, a to se često događa zbog teško uskladive potrošnje i proizvodnje pare kroz duži period, ugrađuje se ventil za direktan ispuštanje pare u kondenzator (engl. steam dump).

Na slici 31 prikazan je cjevovod napojne vode. Loženi generator napajaju dvije napojne pumpe 1 usisavajući kondenzat iz mlakog zdenca 5. U slučaju pada razine vode u mlakom zdencu sustav regulacije razine djeluje na par ventila kojima se usis preusmjerava na tank napojne vode 6. Kod nekih se sustava sve vraća u tank napojne vode i napajanje generatora ide isključivo iz njega, a ima i varijanti gdje nadopunjavanje sustava ide preko mlakog zdenca kako hladna voda ne bi uzrokovala toplinske šokove u generatoru.

³⁸ Na izlaznoj cijevi svakog grijača ugrađuje se kondenzni lonac (engl. steam trap) koji zadržava paru u cijevima grijača dok se potpuno ne kondenzira.

Napojne pumpe imaju dva napojna cjevovoda. Na jednom je ugrađen sustav regulacije napajanja³⁹, a na drugom, koji se koristi u nuždi je regulaciju potrebno provoditi ručno.



Slika 31. Shema cjevovoda napojne vode: 1 – napojne pumpe, 2 – cirkulacijske pumpe kotla na ispušne plinove, 3 – loženi generator pare, 4 – generator na ispušne plinove, 5 – mlaki zdenac, 6 – tank napojne vode, 7 – usisni filtri [1]

Tank napojne vode nadopunjava se vodom proizvedenom u evaporatoru (generatoru slatke vode), vodom iz centralnih klima jedinica ili kroz priključke za ukrcaj s kopna. Na većim sustavima ugrađuje se i poseban skladišni tank aditiva (kemikalija). Ispuštanje otopljenih plinova, problematičnih za rad generatora pare, vrši se u mlakom zdencu ili se ugrađuje posebna jedinica – deaerator.

³⁹ Može biti jedno, dvo ili trokomponentna regulacija.

7. CJEVOVODI KALJUŽE I BALASTA

Iako imaju različite funkcije ovi su cjevovodi često povezani kroz zajedničke pumpe ili grupe ventila – tzv. ventilske stanice. Često brod ima po jednu pumpu kaljuže, balsta te opće službe, pri čemu se sve tri mogu koristiti kao pumpe spomenutih cjevovoda, te za neke druge funkcije kao što su: sanitarna voda, protupožarna pumpa i dr.

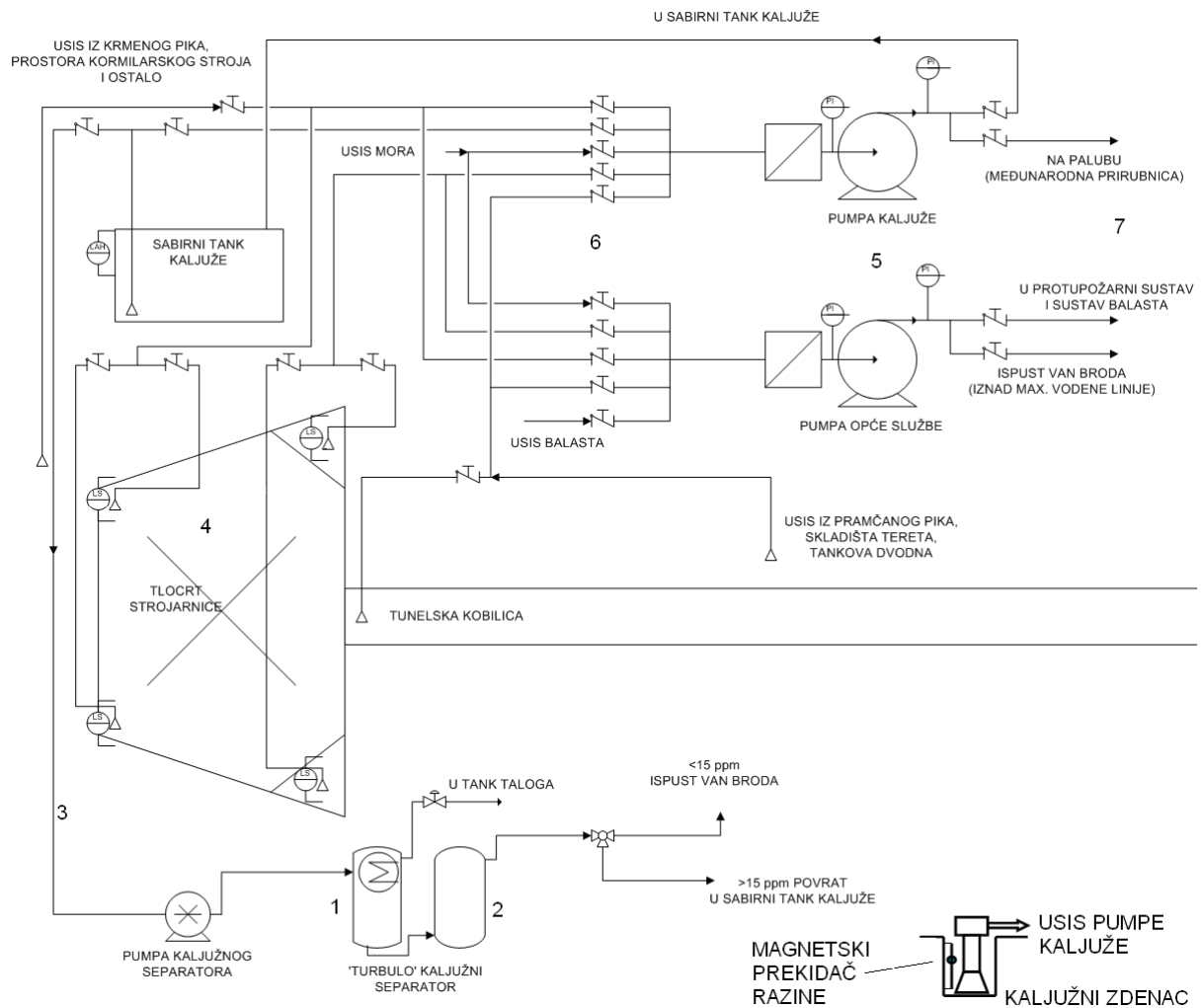
7.1. Cjevovod kaljuže

Na dnu mnogih se brodskih prostora sakupljaju namjerno ili nenamjerno ispuštene tekućine. One mogu biti zauljene ili kontaminirane drugim fluidima i česticama. Njihovo prisustvo može biti neugodno zbog mirisa, mogu stvarati zapaljive, zagušljive ili otrovne smjese, te utječu na trim i nagib, tj. stabilitet broda. Neki brodski prostori, smješteni u višim dijelovima trupa, imaju gravitacijske izljeve, dok drugi takve izljeve nemaju.

Zadatak je cjevovoda kaljuže tekućine koje se pojavljuju na dnu takvih prostora sakupljati, preraditi te u skladu s prilikama izbaciti van broda. U skladu s pravilima o zaštiti okoliša ispuštanje ne smije biti direktno već prerada mora biti odgovarajuća. Ukoliko to nije, izbacivanje van broda mora biti automatski prekinuto.

Na slici 32 prikazan je cjevovod kaljuže. Ugrađena je pumpa kaljuže te pumpa opće službe. Tipična mjesta iz kojih se vode usisni ogranci kaljuže, a prikazani su na slici su: oba boka krmene i pramčane pregrade strojarnice, krmeni dio tunelske kobilice, pramčani i krmeni pik, prostor kormilarskog stroja, skladišta tereta. U strojarnici dno koje je izvedeno kao dvostruka stjenka (tzv. dvodno) usisni su ogranci spušteni u kaljužne zdence, kakav je detaljnije prikazan na slici. U kaljužnim je zdencima prekidač razine (engl. level switch) koji automatski uključuje pumpu kaljuže kod prevelike razine.

Pumpa prebacuje kaljužnu vodu u sabirni tank kaljuže, a iz njega ga posebna pumpa siše i tlači ka kaljužnom separatoru. Kakva god da je izvedba separatora kaljuže u vodi koja se izbacuje van broda ne smije biti više od 15 ppm ulja. U protivnom izbacivanje se prekida, a voda se vraća nazad u sabirni tank kaljuže ili u tank čiste kaljuže ili naprosto nazad u strojarnicu, te ponovo pročišćava.



Slika 32. Shema cjevovoda kaljuže: 1 – prva sekcija kaljužnog separatora, 2 – druga sekcija, 3 – usis pumpe kaljužnog separatora, 4 – usisni ogranci u strojarnici, 5 – dvije pumpe koje se koriste kao kaljužne, 6 – usisni cjevovodi, 7 – tlačni cjevovodi [1]

Ulje izdvojeno na vrhu posude separatora 1 povremeno se ispušta u tank taloga (engl. sludge). U njega se ispuštaju i razna druga kontaminirana ulja. Posuda separatora ima ugrađen električni grijač kako bi se povećala razlika u gustoći vode i ulja te smanjio viskozitet te time olakšalo razdvajanje ulja i vode.

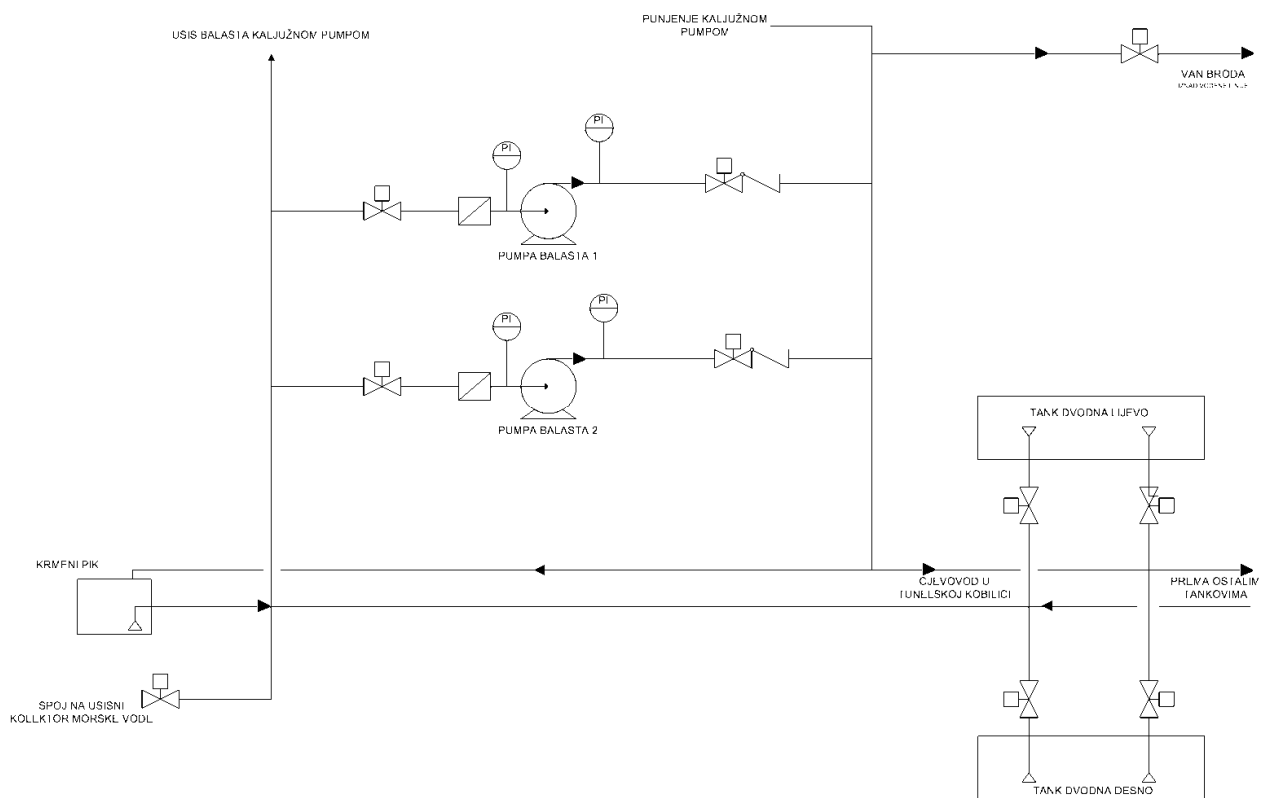
Prije spomenuti prekidač razine ugrađen u kaljužnom zdencu na najvišoj razini uključuje alarm visoke razine kaljuže. Do takve razine može doći uslijed većeg prodora mora u strojarnicu ili greške pumpe kaljuže. Taj alarm ima ugrađeno kašnjenje kako se alarm ne bi javljao nepotrebno, prilikom valjanja broda uslijed nemirnog mora.

7.2. Cjevovod balasta

Balast je naziv za namjerno dodanu masu u trup broda s ciljem postizanja potrebnog trima, izravnavanja trupa vezanog uz neravnomjeran raspored tereta, poboljšanja maritimnih svojstava broda kada plovi prazan te smanjivanja opterećenja trupa uslijed rasporeda tereta ili izostanka mase tereta.

U tu se svrhu u trup raspoređuju tankovi balasta, a tvar za balastiranje je morska voda. Tankovi balasta tipično su u dvodnu ispod tankova ili skladišta tereta, pramčani i krmeni pik te bočni tankovi.

Na slici 33 prikazan je dio cjevovoda balasta. Prikazani sustav ima dvije pumpe koje su usisnim ventilima spojeni na usisni kolektor morske vode te svaki od tankova balasta, dok su tlačnim ventilima spojene na ispust van broda te svaki tank balasta.



Slika 33. Shema cjevovoda balasta [1]

Sustavom balasta na tankerima upravlja se iz kontrolne prostorije tereta, jer se sustav koristi prilikom operacija s teretom: ukrcaja ili iskrcaja tereta. Na RO-RO i kontejnerskim brodovima koristi se potpuno automatiziran sustav izravnavanja trupa

u skladu s rasporedom tereta u trupu. Takav sustav radi u skladu sa signalom uređaja koji mjeri nagib broda – inklinometra. Naziva se protunagibni (engl. antiheeling) i obavezno uključuje postojanje dva tanka vode ugrađena na suprotnim bokovima broda. Kada se, zbog razmještanja tereta brod nagne na jedan bok, sustav automatski prebacuje vodu u suprotni tank, izravnavajući na taj način trup.

8. PROTUPOŽARNI CJEVOVODI

Brodovi se za slučaj požara opremaju prijenosnim protupožarnim aparatima te ugrađenim protupožarnim cjevovodima. Ugrađeni se cjevovodi smiju primjenjivati prema pravilima klasifikacijskih društava tj. SOLAS konvencije. U ovisnosti o protupožarnom sredstvu koje cjevovod koristi on se može primijeniti u zatvorenom ili na otvorenom prostoru.

Prema pravilima trup broda dijeli se u protupožarne zone u kojima se, u pravilu, javljaju i različite klase požara. Tako postoji zona, tj. prostor strojeva u kojem se tipično javljaju požari klase B (tekućine) i E (električne instalacije pod visokim naponom), zona tereta podijeljena poprečnim pregradama u više dijelova u kojoj se, ovisno o vrsti tereta (tekućine, rasuti terete itd.), javljaju različite klase požara (A – krutine, B – tekućine, C – plinovi) te zona posade i putnika, tj. nadgrađe.

Od ugrađenih protupožarnih cjevovoda vrijedi spomenuti glavni protupožarni cjevovod koji kao protupožarno sredstvo koristi morsku vodu i razveden je po cijelom trupu, protupožarne cjevovode koji se tipično koriste u prostorijama strojeva i koji najčešće koriste plinovita sredstva poput ugljičnog dioksida, halona 1301 ili alternativa za halone, cjevovode s pjenom i to teškom za otvorene palube na tankerima za ulja i kemikalije, cjevovod praha koji je tipičan za otvorene palube tankera za kemikalije i ukapljene plinove, te konačno cjevovodi koji gase rasprskivanjem ili raspršivanjem vode.

8.1. Glavni protupožarni cjevovod

Duboko u strojarnici, ispod vodene linije, smještene su barem dvije protupožarne pumpe. Po cijeloj su strojarnici razmješteni crvenom bojom⁴⁰ označeni protupožarni ventili. Pored njih, u pripadnim košarama, nalaze se protupožarna crijeva koja završavaju zapornim organom i mlaznicom. U nadgrađu i na otvorenim palubama protupožarni su ventili ugrađeni u protupožarne ormariće ili niše. Na njihovim se vratima ispisuje slovo H. U njima su i protupožarna crijeva. Na putničkim brodovima crijeva su spojena na ventile, a sustav je pod tlakom.

Protupožarne pumpe moraju biti kapaciteta u skladu s nosivošću broda, a najmanji tlak koji postižu na najgorem protupožarnom ventilu broda najmanje nosivosti mora iznositi barem 0,2 MPa. Na teretnom brodu najveće nosivosti to iznosi najmanje 0,28 MPa, a na najvećem putničkom brodu 0,4 MPa.

Pored prije navedenih pumpi brod mora imati i protupožarnu pumpu za nuždu. Tipična situacija kada se koristi je požar u strojarnici, kada su ostale pumpe neupotrebljive. Stoga se ova pumpa uvijek mora smjestiti van strojarnice. To može biti prostor pramčanog pika ili prostor kormilarskog stroja. I njezin je kapacitet ovisan o nosivosti broda. Pokreće ju stroj ugrađen u istom prostoru, a danas najčešće elektromotor. Preporuka je da se upućivanje može izvršiti lokalnim uputnikom te s otvorene palube, a brodovi većih dimenzija upućivanje protupožarne pumpe u nuždi imaju i s komandnog mosta.

8.2. Cjevovodi s plinovitim sredstvima za prostore strojeva

Sustavi s plinovitim protupožarnim sredstvima ne smiju se koristiti na otvorenim palubama, jer oblik sredstva ne zadovoljava. Požar bi se primjenom takvog sredstva možda i mogao pogasiti, međutim ne bi se moglo sa sigurnošću postići zaštita prostora kako se požar ne bi obnovio. Dakle, protupožarni cjevovodi s plinovitim sredstvima smiju se ugrađivati samo u zatvorenim brodskim prostorima: prostorima strojeva, skladišta tereta, skladišta boja, neki prostori nadgrađa i dr.

Ugljični je dioksid najvjerojatnije najčešći sustav za prostore strojeva. Haloni, točnije halon 1301 se napuštaju. Ne bi bilo točno reći kako su zabranjeni, ali se od 1994.

⁴⁰ Crvena je boja oznaka opasnosti te su elementi svih protupožarnih cjevovoda označeni tom bojom, a također i prijenosni protupožarni aparati.

godine ne ugrađuju na brodove. Razlozi za napuštanje su ekološke prirode, jer haloni sadržavaju halogene elemente koji utječu na nastanak ozonskih rupa i uz to se radi o stakleničkim plinovima. Ispravni sustavi ne trebaju se zamijeniti, a čak se sredstvo još uvijek može nabaviti na tržištu. Na tržištu su se pojavila sredstva, i sustavi koji ih koriste, koja su ekološki prihvatljiva i gase sličnim mehanizmima: Inergen, FM 200, FE 13.

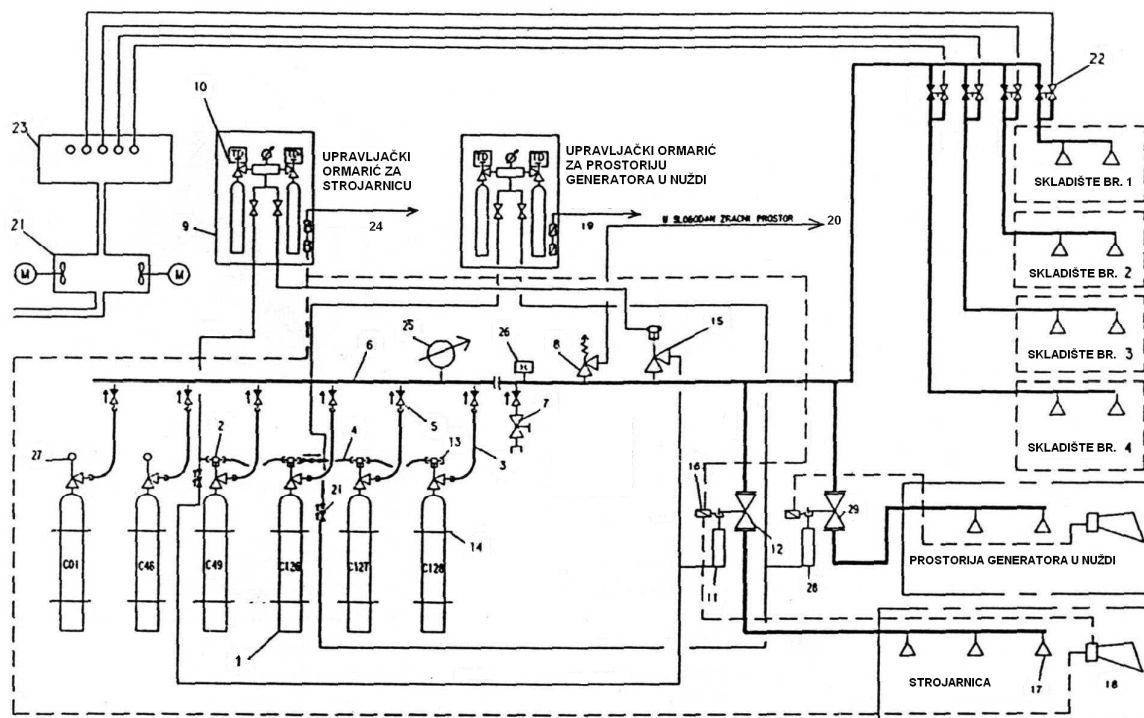
8.2.1. Cjevovod s ugljičnim dioksidom

Kada se radi o cjevovodu za prostore strojeva najvažnije je odrediti potrebnu količinu ugljičnog dioksida. Ona se određuje prema volumenu najvećeg šticeenog prostora, u ovom slučaju cijele strojarnice. Ostali prostori strojeva, budući su dijelovi iste te strojarnice, moraju po prirodi stvari biti manjeg volumena te je količina dovoljna i za njih. To vrijedi i za prostor u kojem je smješten izvor električne energije za nuždu, koji nije nikada dio strojarnice, ali je sigurno manjeg volumena. Ovo određuje sustav aktiviranja, jer za svaki pojedini prostor gašenja mora biti predviđen odgovarajući ormarić (kabinet). Svaki takav ormarić za daljinsko aktiviranje otvara ventile na određenom broju boca u skladu s volumenom prostora u kojem se gasi te ventil za ispuštanje predviđene količine u prostor gašenja.

Daljinsko aktiviranje sustava može biti pneumatsko (najčešće i jest), hidrauličko, elektromagnetsko ili neka kombinacija, no za slučaj nužde mora postojati mogućnost lokalnog aktiviranja. Zbog takvog pravila prostorija u kojoj se nalaze spremnici ugljičnog dioksida nikad nije dio šticeenog prostora, već se redovito nalazi u nadgrađu, na razini glavne palube⁴¹.

Na slici 34 prikazan je visokotlačni cjevovod ugljičnog dioksida za prostore strojeva. Ventili na spremnicima posuda za skladišta tereta otvaraju se lokalno. Prikazana su četiri skladišta tereta, a broj spremnika određen je volumenom najvećeg skladišta. Za razliku od njih, spremnici za prostore strojeva otvaraju se daljinski – pneumatski, a ukoliko taj sustav zakaže lokalno – mehanički. Važno je uočiti jednak broj šticeenih prostora strojeva i kabineta za daljinsko aktiviranje.

⁴¹ Nekoliko visokotlačnih spremnika ugljičnog dioksida može se nalaziti u strojarnici, no taj se sustav koristi za gašenje požara u nekim manjim dijelovima strojarnice: glavna razvodna ploča, ispirni prostor velikog dizelskog motora, kotlovi.



Slika 34. Shematski prikaz visokotlačnog cjevovoda s CO₂: 1 – spremnici s CO₂, 2 – aktuator, 3 – spojna cijev spremnika i kolektora, 4 – upravljačke cijevi, 5 – nepovratni ventil, 6 – kolektor, 7 – ventil, 8 – sigurnosni ventil, 9 – upravljački ormarić, 10 – pilot boce, 11 – aktuator glavnog ventila za ispuštanje u strojarnicu, 12 – glavni ventil, 13 – završetak upravljačkog cjevovoda, 14 – učvršćenje, 15 – ventil za ubrzavanje, 16 – aktuator glavnog ventila za strojarnicu, 17 – mlaznice, 18 – sirena, 19 – prekidanje ventilacije u prostoriji gen. u nuždi, 20 – ispust, 21 – isisni ventilatori, 22 – spregnuti ventili, 23 – cijevni detektori i indikator protoka, 24 – prekidanje ventilacije u strojarnici, 25 – manometar, 26 – presostat, 27 – ručno otvaranje boca za skladišta, 28 – aktuator, 29 – ventil za ispuštanje u prostoriju gen. u nuždi [1]

Otvaranjem vrata ormarića za daljinsko aktiviranje za strojarnicu 9 automatski se uključuje alarm prepoznatljivog zvučnog i svjetlosnog znaka, isključuje se ventilacija strojarnice⁴², a ponegdje se isključuju pumpe i drugi uređaji koji rade sa zapaljivim tekućinama. U ormariću se nalaze pilot boce kojima se otvaraju zaporni ventili na spremnicima ugljičnog dioksida te ventil kojim se ubrzava ispuštanje sadržine u strojarnicu, tj. otvaranje glavnog ventila za ispuštanje.

Iz prethodno datih objašnjenja vidljivo je kako postoje i niskotlačni cjevovodi. Razlika je u načinu ukapljivanja ugljičnog dioksida u spremnicima. U prvom je slučaju to postignuto visokim tlakom (50-tak bara za okolnu temperaturu od 20-tak °C). Prema pravilima HRB ukupna količina ugljičnog dioksida nalazi se u jednom ili svega nekoliko niskotlačnih spremnika u kojima je dopušten manometarski tlak od 18 do 22

⁴² Isključuju se ventilatori zraka za strojarnicu i u glavnim vertikalama zraka zatvaraju protupožarne klapne (obično pneumatski upravljane), a mogu se automatski zatvarati poklopci ventilacijskih otvora strojarnice. Ukoliko ovo ne ide automatski moraju se poklopci staviti ručno.

bar i temperatura od -18 do - 20°C. Prednost je niskotlačnog cjevovoda u nižim tlakovima, no mora imati rashladni uređaj.

8.2.2. Cjevovod s H1301

Halogenirani ugljikovodici ili kraće haloni proizvode se iz metana (CH₄) ili etana (C₂H₆). Umjesto atoma vodika u molekule su 'ugrađeni' halogeni elementi poput kroma (Cr) ili broma (Br). Ovakvi su spojevi vrlo interesantni za tehnologiju gašenja požara, jer su potrebne količine za uspješno gašenje vrlo male. Problem je u zagađivanju okoliša, tj. promjenama u atmosferi koje uzrokuju atomi halogenih elemenata nakon ispuštanja.

Halon 1301 je u osnovi jedini interesantan za primjenu na brodovima, jer je gotovo bezopasan po čovjeka. Čovjek se može zadržati u prostoru u koji je ispušten H1301 u koncentraciji od 5 do 7% volumena 15 minuta bez opasnosti po zdravlje. Uslijed visoke temperature uzrokovane požarom H1301 raspada se na kemijski jako aktivne spojeve koji kemijski reagiraju sa sudionicima požara te na taj način kemijskim putem prekida požar⁴³. Pri tome nastaju i spojevi broma i drugih halogenih elemenata koji su toksični, no ukoliko se potrebna koncentracija halona postigne u skladu s pravilima postignute koncentracija spomenutih otrovnih spojeva su zanemarive. Haloni 1211 i 2402 nekoliko su puta otrovniji za ljudski organizam.

Spremnici halona u pravilu se izvode s dušikom, tj. ekspanzija dušika će istjerati halon iz spremnika nakon otvaranja ventila. Otvaranje spremnika dušika je kao i u slučaju ugljičnog dioksida pneumatsko, a lokalno, mehaničko koristi se ukoliko daljinsko aktiviranje zakaže. Budući je samo protupožarno sredstvo bezopasno po čovjeka, spremnici mogu biti smješteni u prostoru gašenja.

8.2.3. Cjevovodi s alternativama za halone

Ekološki prihvatljive alternative za halone, koje uz to još i gase požar na sličan način su Inergen, FM 200 i FM 13. Inergen je mješavina plinova dušika, ugljičnog dioksida i argona – sve plinova koji se nalaze u atmosferi. Njihov maseni udio u tlačnim spremnicima nije identičan udjelu u atmosferi. Iza komercijalne oznake FM 200 krije

⁴³ Požar je u većini slučajeva nekontrolirana oksidacija, reakcija gorive tvari s kisikom, uz pojavu veće količine topline.

se heptafuoropropan HFC-227ea, a FE 13 je prvobitno razvijan kao radni fluid rashladnih uređaja. Sva tri navedena sredstva sigurna su za ljude te se po izbijanju i detektiranju požara aktiviranje sustava može izvesti automatski.

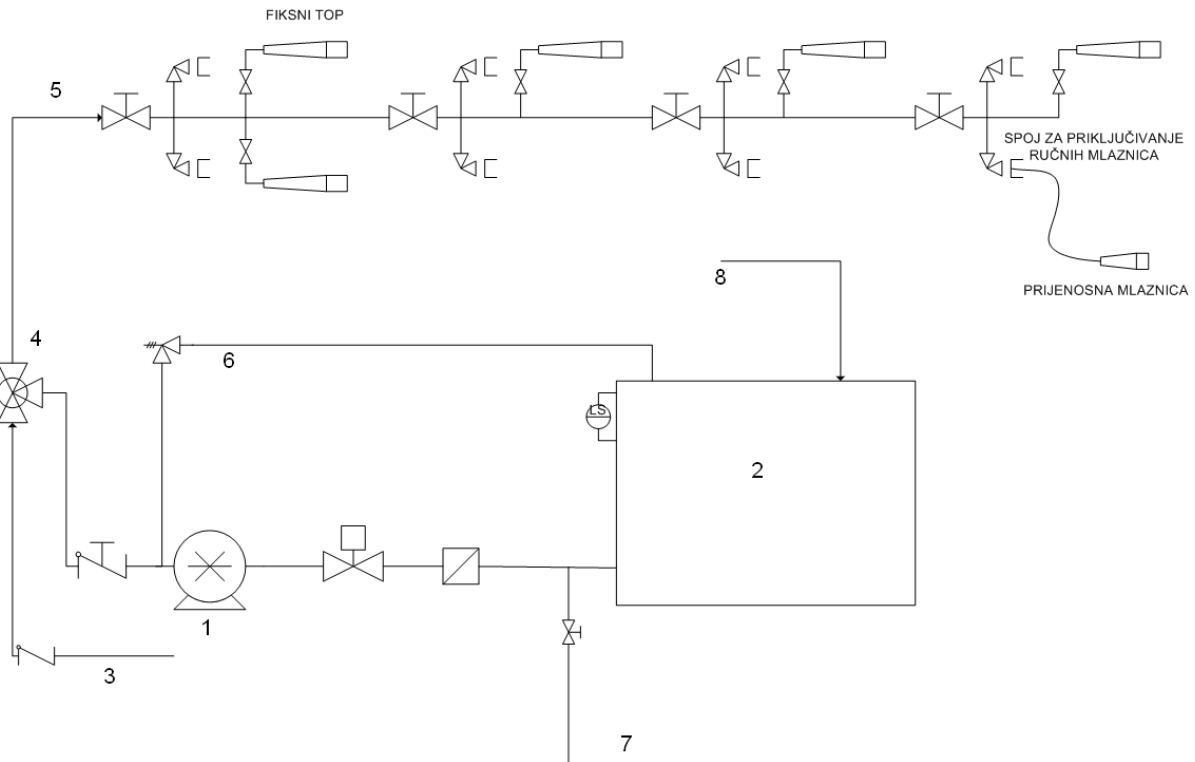
8.3. Cjevovodi teške pjene za palubu tankera

Na brodovima se primjenjuju mehaničke ili zračne pjene i kemijske pjene. Sustavi koji koriste kemijske pjene rijetki su. Primjenjuju se na tankerima za prijevoz kemikalija. Mehaničke pjene proizvode se prvotnim miješanjem (morske) vode i pjenila te naknadnim dodavanjem zraka. Razlikuju se prema koncentraciji pjenila, odnosno prema ekspanzijskom omjeru.

Na otvorenim palubama tipično se ugrađuju sustavi s teškim pjenama ekspanzijskih omjera od 1:5 do 1:7. Ugrađeni topovi imaju domete 50-tak metara i više, a brodovi moraju imati i barem četiri prijenosne mlaznice za pjenu. Jedan od važnih kriterija za procjenu ispravnosti sustava je sposobnost prekrivanja cjelokupne teretne palube pjenom.

Slika 35 prikazuje sustav teške pjene na palubi tankera za ulja. Cjevovod pjene na palubi zapornim je ventilima podijeljen u sekcije kako bi se mogao izolirati dio cjevovoda oštećen eksplozijom tanka. Svaka sekcija na oba boka ima priključke za prijenosne mlaznice.

Pumpa pjenilma 1 siše iz tanka 2 i tlači pjenilo ka uređaju za doziranje 4. Sustav može imati vlastitu pumpu morske vode ili biti spojen na protupožarnu pumpu ukoliko ona zadovoljava. Doziranje pjenila važno je za postizanje potrebnog ekspanzijskog omjera pjene. Koristi se više metoda: nekoliko njih koriste mlazne pumpe, pomoću tlačno-membranskog dozatora, modernije metode imaju mjerače protoka vode i pjenila te upravljačke jedinice koje upravljaju regulacijskim ventilima.



Slika 35. Protupožarni cjevovod s pjenom na palubi tankera: 1 – pumpa pjenila, 2 – tank pjenila s alarmnim prekidačem, 3 – spoj pumpe morske vode (npr. glavna protupožarna), 4 – dozator pjenila (troputni ventil mješač), 5 – cjevovod na palubi, 6 – povrat u slučaju prvevisokog tlaka pjenila, 7 – spoj za ispiranje, 8 – punjenje pjenila [1]

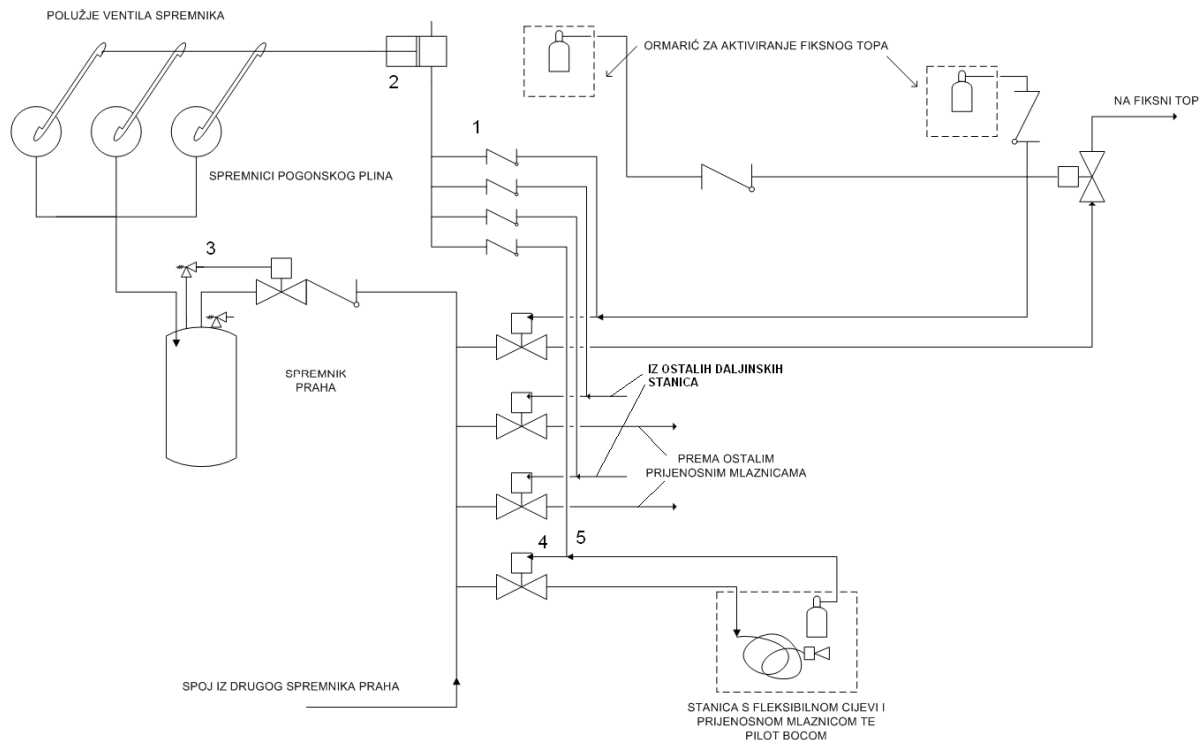
8.4. Cjevovod praha za otvorenu palubu

Kada bi se razmatralo samo mehanizme gašenja požara prah bi sigurno bio među najboljim protupožarnim sredstvima. U zatvorenim se prostorima pojavljuje problem čišćenja opreme nakon gašenja prahom, te je ipak povoljnija primjena na otvorenim palubama.

Tipičan sustav za otvorenu palubu prikazan je na slici 36. Brodovi nosivosti veće od 1000 t imaju dvije potpuno neovisne radne stanice i u svakoj od njih barem jedan spremnik dovoljnog volumena kako bi u njemu pohranjena količina praha omogućavala rad svih ugrađenih i svih prijenosnih mlaznica najvećim kapacitetom u trajanju od barem 45 sekundi. Shema prikazuje jedan spremnik u jednoj od stanica te priključak ka drugoj radnoj stanici.

Sustav se aktivira iz bilo kojeg od ormarića razmještenih po teretnoj palubi. U svakom od ormarića nalazi se pilot boca. Otvaranjem ventila na pilot boci otvara se pneumatski ventil na cjevovodu praha 4, a plin zatim djeluje kroz cjevovod 5 na odgovarajući nepovratni ventil 1 na pneumatski aktuator 2. Aktuator zakreće polužje

ventila na spremnicima pogonskog plina. Pogonski plin ulazi u spremnik praha, djelomično se miješa s prahom, a dio ostaje pri vrhu spremnika praha. Kada se u spremniku praha postigne radni tlak plina, otvara se ventil 3 te plin otvara pneumatski upravljani ventil, te prah kroz njega i otvoreni ventil 4 dolazi do ormarića koji je i aktivirao sustav.



Slika 36. Shema cjevovoda gašenja s prahom i djelovanje na upravljačke ventile: 1 – nepovratni ventili za djelovanje na spremnike pogonskog plina, 2 – aktuator spremnika plina, 3 – ventil konstantnog tlaka, 4 - spoj za otvaranje ventila za ispuštanje praha, 5 – spoj za otvaranje spremnika pogonskog plina [1]

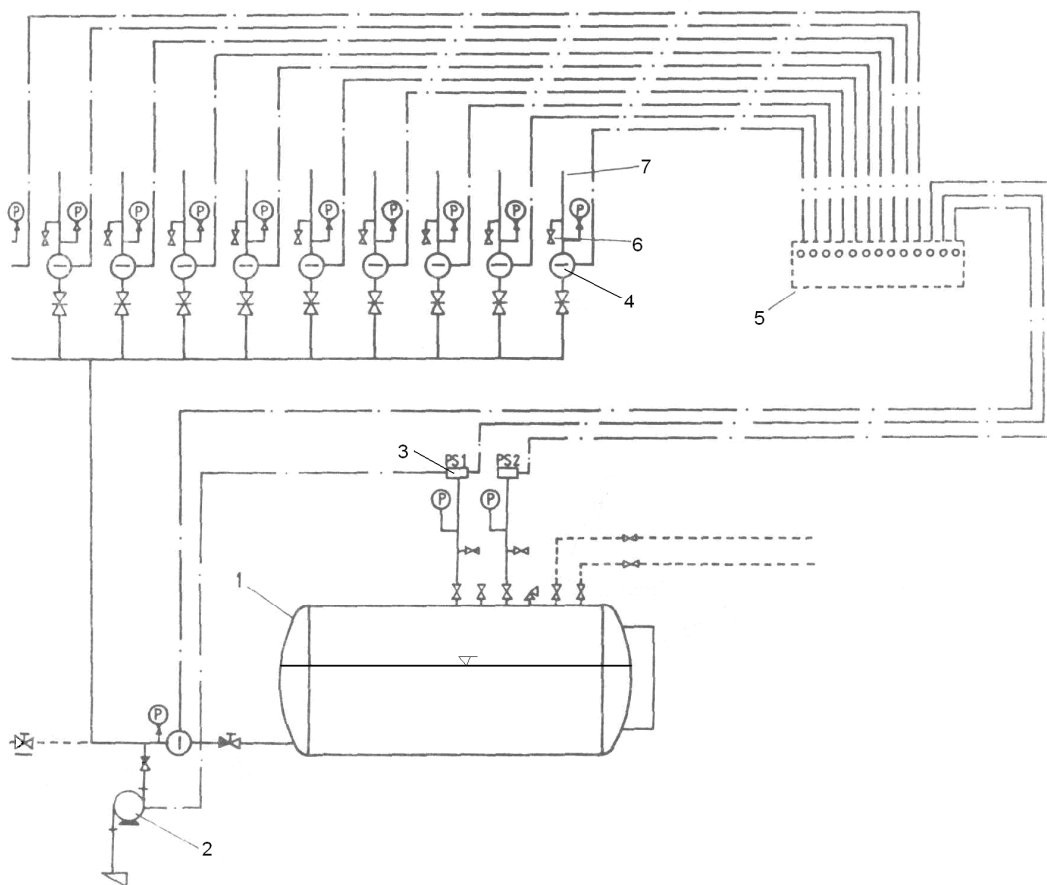
Nakon uspješnog gašenja cjevovod je potrebno propuhivati pogonskim plinom i u prvoj luci obnoviti potrošeni prah.

8.5. Cjevovodi rasprskivanja i raspršivanja vode

Voda ima neke dobre, ali i neke loše karakteristike kada se radi o gašenju požara. Dobre su sigurno dostupna količina te rashladna svojstva. Na brodovima se ugrađuje nekoliko sličnih sustava koji požar gase prskanjem vode. Razlikuju se načinom rasprskivanja, postupkom aktiviranja sustava i dr. U nadgrađu se tipično ugrađuju automatski sustavi koji požar gase prskanjem vode. Oni započinju gašenje kada se u prostoru postigne odgovarajuća temperatura. Slični sustavi, ali ne automatski, koriste

se na palubama vozila. Proces gašenja u tom slučaju aktivira čovjek⁴⁴, otvaranjem potrebnih ventila te uključivanjem pumpe morske vode. Važno je istaknuti kako sustavi koji gase prskanjem vode nisu primjenjivi u prostorima strojeva, tj. u prostorima u kojima se javljaju požari klase B i E.

Nasuprot tome, sustavi koji gase raspršivanjem vode (engl. water mist) mogu se primijeniti i u takvim prostorima. U čemu je razlika? Potonji rade s višim tlakovima te se voda finije rasprši. Tako raspršena voda ne provodi električnu struju. Najnovija rješenja koriste tlakove čak i više od 14 MPa ili se voda rasprši plinom za raspršivanje⁴⁵.



Slika 37. Automatski sustav za gašenje požara rasprskivanjem: 1 – spremnik slatke vode (iscrpni izvor), 2 – pumpa morske vode (neiscrpni izvor), 3 – tlačni prekidač, 4 – 'alarmni ventil', 5 – alarmna stanica, 6 – manometar, 7 – testni pipac [1]

Slika 37 prikazuje automatski sustav koji gasi prskanjem. Sustav je pod tlakom i u potpunosti ispunjen slatkom vodom. Takav se sustav zove mokri sustav. Ukoliko

⁴⁴ Ima i suprotnih rješenja – automatski na palubama vozila, a čovjek aktivira u nastambama.

⁴⁵ Engl. atomising gas, obično dušik, u svakom slučaju plin koji ne podržava gorenje.

postoji mogućnost zaleđivanja vode u cijevima, sekcije se pune zrakom. U tom se slučaju radi o suhom sustavu. Zrakom su ispunjeni dijelovi cjevovoda od elementa 4. Na svakoj sekciji smije se ugraditi najviše 200 rasprskivača (engl. sprinkler). Suhi i mokri sustav gase identično i to neovisno o broju rasprskivača koji su se otvorili (aktivirali) istovremeno.

Početak gašenja vrši se slatkom vodom koju u cjevovod dobavlja hidrofor 1 – iscrpni izvor vode. Kada se slatka voda potroši, pada tlak zraka u hidroforu što djeluje na dva tlačna prekidača. Desni na shemi daje alarm o ispražnjenom hidroforu, a lijevi 3 uključuje pumpu morske vode.

Moderni rasprskivači zatvoreni su staklenom ampulom napunjenom većim dijelom s obojenom tekućinom. Boja tekućine je način označavanja temperature prskanja, tj. početka gašenja. Na putničkim se brodovima može uključiti električni grijač pojedinog rasprskivača kako bi se potaknulo prskanje ampule i raniji početak gašenja. Starija rješenja su koristila mehanički sklop poput škarica koje je držao prsten izrađen od legure niskog tališta. Kod određene bi temperature prsten pucao te bi se oslobodio mehanizam i otvorio rasprskivač.

9. CJEVOVODI VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE

Razlika ventilacije i klimatizacije je u stanju zraka kojeg ti sustavi uvode u brodske prostore. Ventilacijom se uvodi svjež zrak, okolišnog stanja, koji se možda samo filtrira kako bi se zadržale čestice prašine. Cjevovodi klimatizacije zrak kondicioniraju, tj. pripremaju kako bi odgovarao zahtjevima prostora. Najčešće se radi o prostorima u kojima borave ljudi, ali se može raditi o prostorima s hranom ili teretom.

Ventilacijski i klimatizacijski kanali (cijevi) mogu se podijeliti prema nekoliko kriterija. Prvi, važan zbog odabira ventilatora, je brzina strujanja, tj. tlak zraka u cjevovodu. Prema tom se kriteriju sustavi dijele na niskotlačne ili niskobrzinske i visokotlačne ili visokobrzinske. U glavnim kanalima niskobrzinskih sustava brzine iznose oko 10 ms^{-1} te se prema pojedinim ograncima i izlaznim otvorima spuštaju na 4 do 6 ms^{-1} , dok su kod visokotlačnih sustava brzine dvostruko veće. Budući da vrijedi ovisnost $\Delta p \sim v^2$ visokotlačni sustavi trebaju ventilatore većih snaga, veći je utrošak struje za njihov rad, izvori su vibracija i buke, ali s druge strane, zbog manjih dimenzija cjevovoda

zauzimaju manje mjesta. Brodograđevna je praksa da se za ventilaciju prostora strojeva koriste niskotlačni sustavi, a za klimatizaciju nadgrađa visokotlačni.

Drugi je kriterij oblik presjeka cijevi, pa se na brodovima koriste kvadratne i pravokutne cijevi za niskotlačne sustave ventilacije strojarnice⁴⁶ i cijevim kružnog presjeka za visokotlačne sustave klimatizacije nadgrađa.

Tipičan brodski prostor za koji je vrlo važan cjevovod ventilacije jest strojarnica. Prije odabira bilo kakvih elemenata sustava potrebno je odrediti količine zraka koje bi takav sustav trebao biti u stanju dobavljati. Toplinski strojevi i uređaji trebaju zrak za izgaranje. Te količine može dati proizvođač stroja ili se određuju prema specifičnoj potrošnji goriva. Gotovo sva oprema smještena u strojarnici zrači toplinu te ju je s ciljem održavanja neke prihvatljive temperature zraka u strojarnici potrebno odvoditi. Neki dijelovi strojarnice, u kojima se mogu sakupljati štetni plinovi, mogu imati i isisnu ventilaciju⁴⁷. Utošak zraka ljudi u stroju je zanemariv u usporedbi s prethodnim količinama.

Prema tako određenim količinama odabiru se kapaciteti ventilatora. Manji broj ventilatora velikih kapaciteta je jeftiniji od sustava koji ima veći broj ventilatora manjeg kapaciteta. Brojem ventilatora treba postići fleksibilnost sustava koji treba dovoditi u prostor količine zraka koje odgovaraju potrošnji. Naravno, mogu se ugrađivati ventilatori pokretani elektromotorima s mogućnošću regulacije broja okretaja, no to također poskupljuje izvedbu.

Sustav ventilacije strojarnice trebao bi biti pozitivno balansiran, što znači da bi kod bilo kojeg režima rada strojnog kompleksa trebao dobavljati količinu zraka kako bi održavao relativno mali pretlak od 50 Pa. Nadalje, razvod cijevi po strojarnici trebao bi osigurati ravnomjerne temperature zraka, iako će niže temperature biti u nižim, a više u višim dijelovima strojarnice. Dopušteno povećanje temperature zraka na izlaznim otvorima u odnosu na temperaturu usisnog zraka⁴⁸ iznosi 12,5 K.

Potrebne količine zraka za prostorije nadgrađa, kao i za neke druge prostore⁴⁹, određuju se brojem izmjena po satu. Za skladišta tereta koji ispušta štetne plinove

⁴⁶ Iako ima niskotlačnih sustava s cijevima kružnog presjeka.

⁴⁷ To vrijedi i za neke prostore nadgrađa, npr. CO₂ prostorija.

⁴⁸ Za temperaturu zraka na usisu uzima se prema ISO standardu tropsko stanje od 35°C.

⁴⁹ Pumpne stanice tankera, prostorije s opremom za proizvodnju i pripremu inertnog plina.

količina se zraka može odrediti prema dopuštenoj vrijednosti koncentracije koja se ne smije prijeći zbog kvarenja tereta.

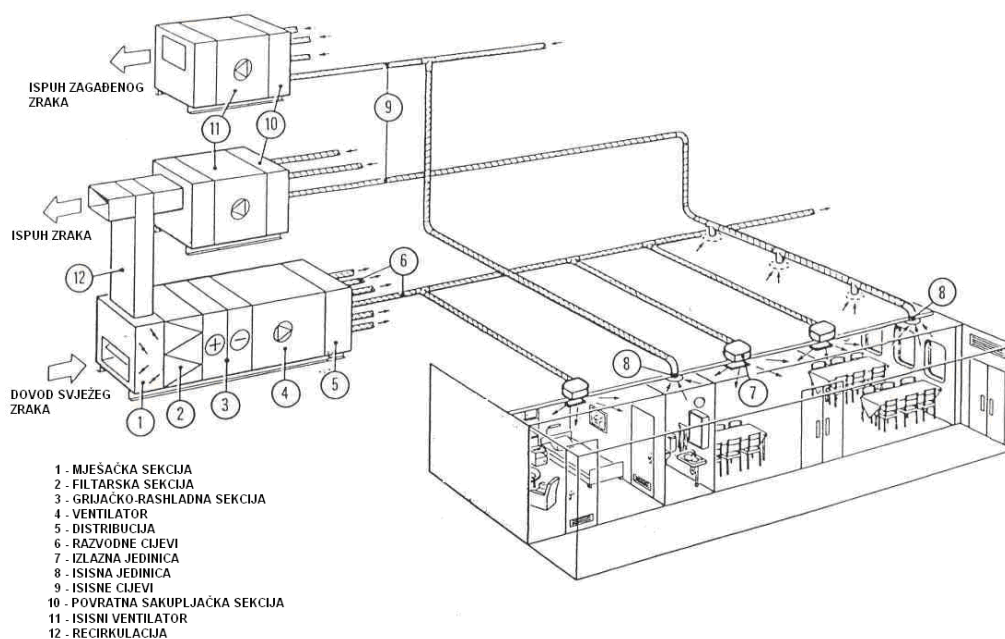
Ventilatori mogu biti centrifugalni i aksijalni. Aksijalni se mogu ugraditi u unutrašnjost cijevi te se mogu prekretati, tj. mogu raditi kao tlačni ili isisni. Pored toga aksijalni imaju nešto veće mogućnosti regulacije kapaciteta.

Osnovna jedinica cjevovoda klimatizacije je centralna klima jedinica. U pravilu se na brodove ugrađuju po dvije jednakih kapaciteta te svaka zadovoljava prostor klimatizacije. Centralne se klima jedinice sastoje od sekcija koje mogu biti: usisna s ili bez miješališta, filtarska, rashladna s odjeljivanjem orošene vode, ovlaživačka, grijačka i dr.

Iz centralne se klima jedinice zrak razvodi prema klimatiziranim prostorima (npr.nadgrađa). Postoji nekoliko sustava razvoda zraka te nekoliko tipičnih rješenja centralnih jedinica. Jedan razlog za primjenu različitih rješenja je način uštede energije. Energetski nečinkoviti bi bio sustav gdje bi se kontinuirano u centralnu jedinicu usisavala ukupna količina zraka te istovremeno ista količina bacala u okoliš. Dva su načina uštede energije u praktičnoj primjeni: recirkulacijom dijela zraka te primjenom regenerativnog izmjenjivača topline.

Prvo je rješenje tipično na teretnim brodovima te je sustav prikazan na slici 38. Prva sekcija centralne jedinice je miješalište 1 u kojem se, ovisno o položajima klapni, miješava vanjski i povratni – recirkulirani zrak. Iz distribucijske se sekcije zrak, pripremljen na jedinstven način, razvodi prema klimatiziranim prostorijama. Prema svakom pojedinom prostoru vodi se jedna cijev pripremljenog zraka. Umjesto tkavog načina, jedinstvene pripreme zraka za sve prostore, može se u distribucijsku sekciju ugrađivati dodatni dogrijač zraka te se do svakog izlaznog otvora vode dvije cijevi: toplog i hladnog zraka. U svakom se prostoru može individualno podešavati njihov omjer.

Na slici je vidljiva i činjenica kako se ne može recirkulirati zrak iz svih brodskih prostora. Iz prostora gdje se stvaraju neugodni mirisi kao što su sanitarni čvorovi, zrak isisava poseban ventilator. Ostatak zraka se recirkulira vodom 12. Uobičajen iznos recirkuliranog zraka je 70%. Na nekim je brodovima to tvornički podešeno, tj. položaj klapni je fiksiran. Sofisticiraniji brodovi mogu imati automatsku regulaciju omjera vanjskog i recirkuliranog zraka.



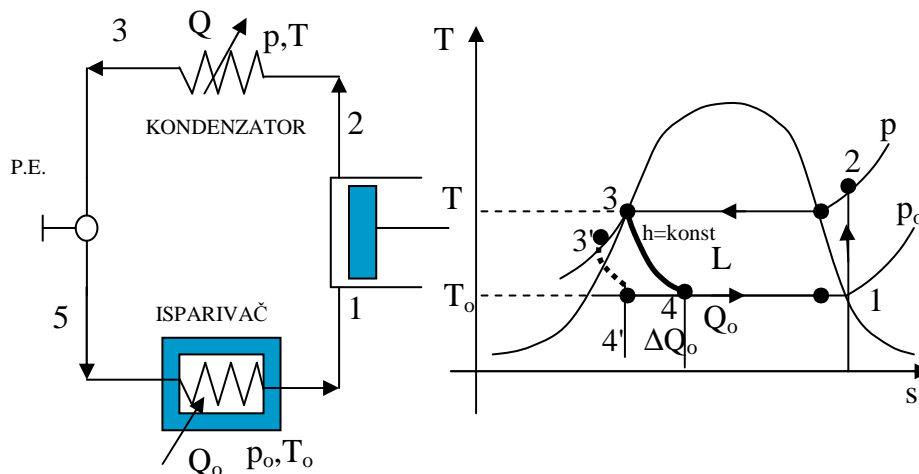
Slika 38. Jednocijevni sustavi s recirkulacijom zraka

Grijača sekcija sadrži cijevni izmjenjivač topline s parom kao ogrjevnim medijem. Rashladna sekcija ima izmjenjivač topline, također direktan, s rashladnim fluidom. Rashladni je uređaj važan dio brodskih pomoćnih sustava, ne samo zbog klimatizacije zraka, već prije svega zbog očuvanja živežnih namirnica potrebnih za posadu i putnike.

9.1. Direktni parno-kompresijski rashladni uređaj

Parno-kompresijski rashladni uređaji rade poput dizalica topline⁵⁰, te imaju četiri osnovna elementa: kompresor, kondenzator, prigušni element i isparivač. Vrlo pojednostavljeni prikaz takvog uređaja i toplinskog procesa u T-s dijagramu dan je na slici 39.

⁵⁰ Koristi se i naziv toplinske pumpe.



Slika 39. Shema sustava i teoretski proces u T-s dijagramu [2]

Kompresor siše pare stanja 1 (tlaka p_o i temperature T_o) i komprimira ih do stanja 2, tj. do tlaka p . Tom tlaku mora odgovarati temperatura kondenzacije T viša od stvarne temperature medija koji se koristi za kondenzaciju. Na pomorskim se brodovima koristi morska voda proračunske temperature 32°C . U kondenzatoru se radni medij potpuno ukaplji, do stanja vrele tekućine 3, tlaka p i temperature T , a zatim ide u prigušni element. Kao prigušni element najmanjih uređaja koristi se tanka cjevčica – kapilara, dok se kod većih primjenjuje regulacijski ventil. Vrlo česti su termoekspanzijski ventili (TEV), a u novije ih vrijeme potiskuju elektroekspanzijski ventili (EEV). U prigušnom elementu dolazi do ekspanzije te se radnom fluidu smanjuje radna temperatura i tlak na T_o i p_o , ali se mijenja i agregatno stanje. Od tekućeg stanja na ulazu u njega do mokre pare na izlazu. Postignutom tlaku odgovara temperatura zasićenja koja mora biti niža od željene temperature fluida⁵¹. Iz prigušnog elementa mokra para stanja 4 ulazi u isparivač gdje zbog primljene topline hlađenog fluida isparava do stanja suhozasićene pare 1.

Ukoliko je kondenzator većeg učina stanje na izlazu može biti podhlađeni kondenzat 3', a isto se postiže primjenom pothlađivača kondenzata kod rashladnih uređaja većih kapaciteta. U tom se slučaju u prigušnom elementu stanje mijenja od 3' do 4'. Time se postiže veći rashladni učin, što je označeno na dijagramu većom udaljenošću do točke 1⁵².

⁵¹ Zrak, tekućina, pare tereta na brodovima za prijevoz ukapljenih plinova.

⁵² Površina ispod osi s od točaka 4 ili 4' do 1 predstavlja postignuti rashladni učin.

Kao radne tvari parnokompresijskih rashladnih uređaja koristilo se i još se koristi veći broj čistih tvari kao što su 'freoni', amonijak, ugljični dioksid, hidrovodični spojevi, te neke zeotropne i azeotropne smjese. Radne tvari označavaju se velikim slovom R te brojem pa su tvari u čestoj primjeni R-12 (difluordiklormetan, freon 12), R-22 (difluoromonoklor metan, freon 22), R-717 (amonijak), R-744 (ugljični dioksid), R-134a (tetrafluoretan), R-410A (smjesa R-32 i R-125 u masenom omjeru 50/50%).

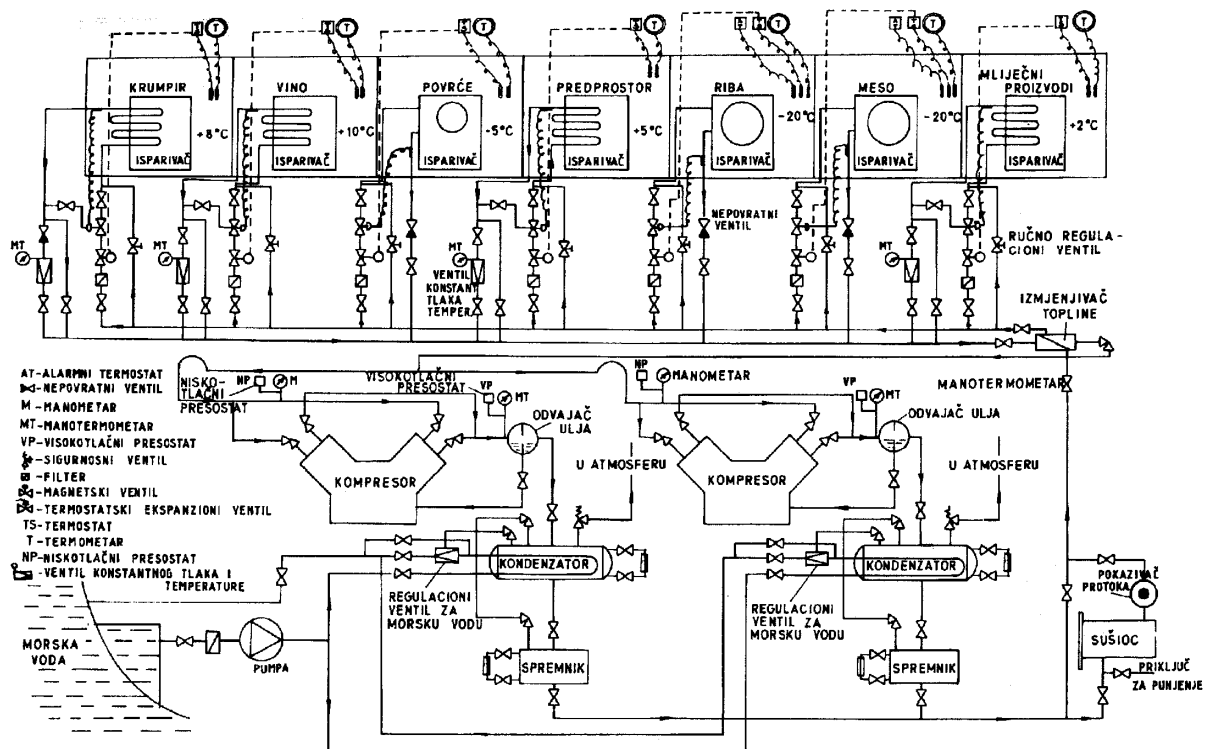
Rashladna sredstva moraju imati karakteristike koje odgovaraju primjeni u brodskim rashladnim uređajima, a to u novije doba znači i neškodljivost po morski okoliš. Vjeruje se da je klor, prisutan u tzv. halogeniranim ugljikovodicima koji su se dominantno koristili u rashladnim uređajima (R-12 i R-22) glavni uzročnik nastanka ozonskih rupa. Plinovi su uz to i staklenički te potiču zatopljenje atmosfere. Zato se umjesto R-12 koriste R-134a, R-410A i druge, ekološki prihvatljive tvari.

9.2. Tipični brodski rashladni uređaji

Dvije su osnovne primjene na svakom modernijem brodu veće nosivosti: rashladni uređaj provijanta te klimatizacijskog sustava broda. Pored toga ima više primjena koje se odnose na prijevoz različitih tereta.

Na slici 40 prikazan je rashladni uređaj provijanta. Zbog sigurnosti u radu sustav ima dva identična kompresora i kondenzatora. Zbog povećanja rashladnog učina koristi se pothlađivač kondenzata. Sustav hladi nekoliko različitih komora. Različite su po volumenu i količini hrane koju mogu primiti, potrebnim temperaturama hlađenja, učestalosti korištenja i dr. Prema svakoj komori rashladno se sredstvo razvodi ogrankom na kojem se između dvaju zapornih ventila nalaze termoekspanzijski i elektromagnetski ventil. Također, za svaku komoru postoji i mimovodni cjevovod s ručnim prigušnim ventilom za nuždu. Na izlazu komora niskih temperatura (zaleđeno meso i riba) nalaze nepovratni ventili, dok se na izlazu komora viših temperatura nalaze ventili konstantnog tlaka.

Od standardnih elemenata većih uređaja treba spomenuti odjeljivač ulja, ugrađen neposredno nakon kompresora, spremnik sredstva nakon kondenzatora te filter-sušilac. U skladu s pravilima klasifikacijskog društva sustav mora imati ugrađene elemente automatskog rada i zaštite.

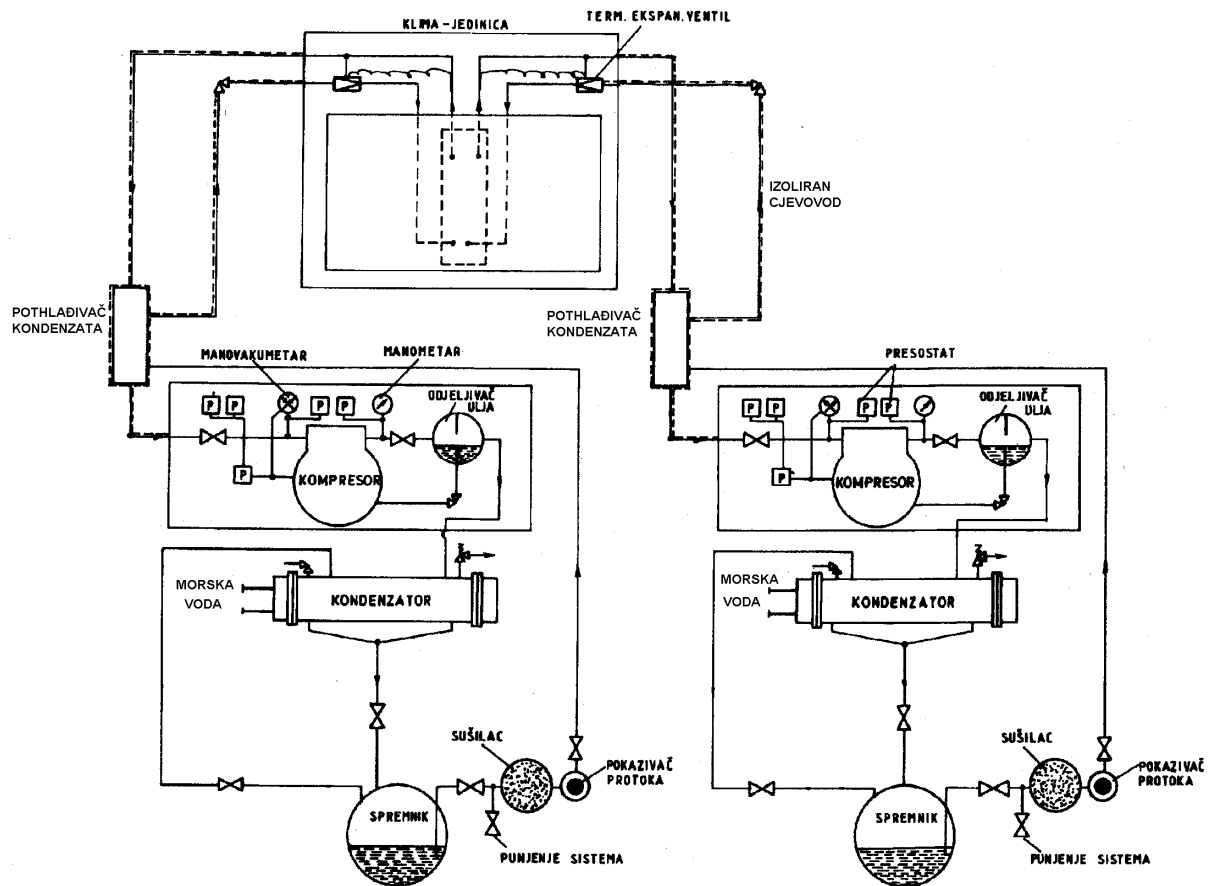


Slika 40. Rashladni uređaj provijanta [3]

U skladu s objašnjenjima uz centralne klima jedinice na slici 41 prikazan je odgovarajući rashladni uređaj. I tu su dva kompresora te dva kondenzatora, kao i spremnici rashladnog sredstva, odjeljivač ulja, filter-sušilac, pokazivač protoka te pothladivač. Specifičnost ovog uređaja je u izvedbi isparivača koji se nalazi u rashladnoj sekciji klima jedinice. Isparivač je najčešće izveden s većim brojem cijevi malog presjeka koje moraju biti jednake duljine i oblika kako bi pružale jednak otpor strujanju fluida.

Kao primjer rashladnog uređaja koji se koristi za hlađenje tereta na slici 42 prikazan je uređaj koji se ugrađuje na rashladni kontejner. To je u odnosu na prethodne sustave uređaj manjeg rashladnog učina, no ima neke specifičnosti koje se trebaju istaknuti.

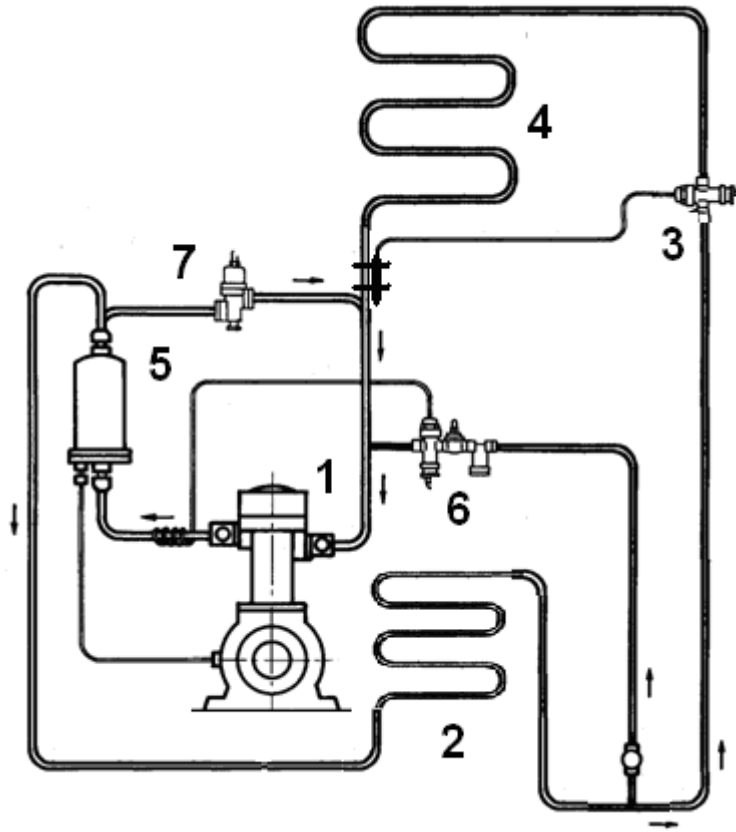
Za razliku od sustava velikih rashladnih učina koji zahtijevaju kompresore velikih kapaciteta s ugrađenim sustavom regulacije kapaciteta, kompresor kontejnerskog rashladnog uređaja takav sustav nema. Ipak, sam rashladni uređaj ima regulaciju kapaciteta. To je u osnovi vrlo jednostavan ventil konstantnog tlaka ugrađen na spojnom cjevovodu usisne i tlačne strane kompresora.



Slika 41. Rashladni uređaj klimatizacijskog sustava [4]

Kako u kontejneru uslijed rada rashladnog uređaja dolazi do pada temperature zraka termoekspanzijski ventil 3 se počinje pritvarati te sve manje rashladnog fluida prolazi kroz isparivač 4. Uslijed toga dolazi do pada tlaka u usisnoj cijevi kompresora 1. Regulacijski ventil konstantnog tlaka 7, spojen na tlačnu cijev neposredno nakon odjeljivača ulja 5, počinje puštati rashladno sredstvo u usisnu stranu kompresora održavajući na taj način konstantan tlak. Budući je medij u tlačnoj cijevi više temperature od onoga u usisnoj uslijed takvog rada dolazi do zagrijavanja usisne strane te posljedično kompresora i fluida u tlačnoj cijevi. Regulacijski ventil 6 (engl. quelch valve) povezuje izlaz iz kondenzatora⁵³ 2 s usisnom cijevi kompresora, a ima osjetnik temperature tlačne cijevi. Kada temperatura cijevi previše poraste on se otvara, u njemu se tekuće sredstvo prigušuje te mu se stanje mijenja u mokru paru niske temperature te na taj način hladi usis kompresora.

⁵³ Kondenzator je zračni s prisilnom cirkulacijom zraka.



Slika 42. Rashladni uređaj kontejnera [4]

9.3. Automatski rad i zaštita brodskih rashladnih uređaja

Najbolje ga je razmotriti kroz rad rashladnog uređaja provijanta koji je od prikazanih najsloženiji. Rad svakog rashladnog uređaja trebao bi biti u skladu s pravilom rashladne tehnike koje kaže kako se nikad ne hladi više nego je potrebno. Budući uređaj provijanta hladi više komora, na ogranku za svaku od njih ugrađen je elektromagnetski ventil kojim upravlja temperaturni prekidač osjetnik kojega je smješten u rashladnoj komori. Na temperaturnom se prekidaču podešava donja temperatura i temperaturna razlika u iznosu od nekoliko stupnjeva Kelvina. Kada se temperatura zraka u rashladnoj komori izjednači s onom podešenom na temperaturnom prekidaču ovaj prekidač strujni krug elektromagnetskog ventila te komore i hlađenje prestaje. Naravno, hlađenje ostalih komora i dalje traje.

Jedino u slučaju kada se zatvore svi elektromagnetski ventili mora se isključiti i kompresor. Do isključivanja kompresora dolazi često, jer je dimenzioniran kako bi radio oko 20 sati tijekom jednog dana. Kompresor isključuje tlačni prekidač niskog

tlaka spojen na usisnoj cijevi kompresora. I na njemu su podešene dvije vrijednosti tlaka. Tlak uključivanja (engl. start) te razlika (engl. difference) koja daje donju vrijednost – isključivanja kompresora.

Uključivanje kompresora nastupa čim se otvori barem jedan elektromagnetski ventil, jer tada radni fluid struji s tlačne na usisnu stranu kompresora te raste tlak u usisnoj cijevi. Kada se tlak u njoj izjednači s vrijednošću pod oznakom 'start' na niskotlačnom prekidaču ovaj uključuje elektromotor kompresora. Regulacija s dvije vrijednosti na temperaturnom ili tlačnom prekidaču zove se dvopoziciona.

Sustav ima još neke važne regulacijske komponente. Tijekom hlađenja komore, tj. u periodu kada je elektromagnetski ventil otvoren, količinu radnog fluida prema isparivaču komore regulira termoekspanzijski ventil. Kako se temperatura zraka u komori snizuje, snizuje se i toplinsko opterećenje isparivača, radni fluid prima sve manje topline te se TEV postupno pritvara.

Kompresor je najčešće stapni ili klipni s regulacijom kapaciteta 'isključivanjem' cilindara. Pod tim se nazivom u stvari krije hidraulički sustav, ugrađen u kućište kompresora, koji podiže automatske usisne ventile istovremeno na paru cilindara pa oni više ne ostvaruju dobavu. Sve što se usiše istisne se van cilindarskih prostora, jer ne dolazi do povećanja tlaka koji je potreban za automatsko otvaranje tlačnih ventila. U ovisnosti o ukupnom broju cilindara 6-cilindrični kompresori imat će mogućnost rada sa 100%, 66% te 33% kapaciteta, dok će 8-cilindrični kompresori moći raditi sa 100%, 75%, 50% i 25% kapaciteta. Kada kompresor radi s jednim parom cilindara te se zatvori i zadnji elektromagnetski ventil, dolazi do njegovog isključivanja.

Rad hidrauličkog sustava regulacije kapaciteta omogućuje privješana pumpa ulja smještena u 'karteru' kompresora, a na taj je način ostvaren još jedan važan aspekt rada kompresora. Zbog potrebne snage pogonskog elektromotora kompresor se uvijek treba upućivati s najmanjim kapacitetom. Potpuno je svejedno uzrokuje li upućivanje kompresora otvaranje jednog ili svih elektromagnetskih ventila istovremeno, on se uvijek upućuje s jednim parom cilindara – onim koji nema sustav upravljanja usisnim ventilima, tj. s najmanjim kapacitetom. Kako se pokrene kompresor, pokreće se i privješana pumpa ulja te dolazi do regulacije kapaciteta 'uključivanje' cilindara.

Na cjevovodu rashladne morske vode kondenzatora ugrađen je regulacijski ventil. Može biti presostatski ili termostatski. On pušta odgovarajuću količinu morske vode u cijevi kondenzatora održavajući na taj način tlak ili temperaturu kondenzacije.

U automatski se rad može svrstati i povremeno odleđivanje isparivača. Kako je zrak u rashladnim komorama vlažan, zbog niskih se temperatura rashladnih cijevi vlaga orosi na cijevima i zaleđi. S vremenom se debljina leda povećava umanjujući efekt hlađenja. Odleđivanje se može izvršiti na više načina ovisno o tipu isparivača. Kod kompaktnih isparivača između njegovih cijevi smješta se električni grijač. Grijanje se uključuje periodički, obično jednom dnevno, a tada istovremeno dolazi do zatvaranja elektromagnetskog ventila i isključivanja ventilatora zraka te komore. Veza elektromagnetskog ventila i ventilatora, ukoliko je strujanje zraka u komori prisilno, postoji i kod uključivanja. Ukoliko se ne uključi ventilator neće se otvoriti niti elektromagnetski ventil komore.

Budući da parnokompresijski rashladni uređaji rade s relativno visokim tlakovima, da radni fluidi mogu biti opasni po čovjeka (otrovni, zapaljivi ili pri nagloj ekspanziji izazivaju smrzotine u dodiru s kožom ili sluznicom), da se radi o vrijednoj brodskoj opremi, koja je potrebna za hlađenje važnih tvari, uređaji su redovito opremljeni s elementima automatske zaštite.

Prva, obavezna je zaštita od previsokih tlakova. U tu je svrhu na tlačnoj cijevi ugrađen visokotlačni prekidač. Podešen je na tlak nešto niži od ispitnog tlaka uređaja. I na njemu su podešene dvije vrijednosti. Druga je niža, tlak uključivanja. Ukoliko on zakaže uređaj će od daljnjeg povećanja tlaka zaštititi sigurnosni ventil kondenzatora.

Kada je riječ o većim kompresorima, koji imaju tlačno podmazivanje i hidraulički sustav regulacije kapaciteta, rad privještene pumpe ulja 'provjerava' prekidač razlike tlaka (diferencijalni presostat). Uređaj uspoređuje tlak u usisnoj cijevi kompresora (koji je u biti jednak tlaku u 'karteru' kompresora, tj. tlaku na usisnoj strani pumpe), jer neki od njih imaju usis kroz 'karter', s tlakom na tlačnoj strani pumpe. Ukoliko pumpa ne postiže potrebnu razliku tlaka kompresor se isključuje.

Rashladne komore u kojima se čuvaju zaleđeni proizvodi obično imaju i alarmni termostat koji će upozoriti na povišenu temperaturu i njihovo potencijalno odleđivanje.

Na cjevovodu morske vode za kondenzator i na cjevovodu morske vode hlađenja kompresora ukoliko se hladi vodom, mogu biti ugrađeni presostati ili termostati.

10. LITERATURA

1. Predrag Kralj, Ivica Šegulja, *Brodski cjevovodi*, Pomorski fakultet u Rijeci, u recenziji
2. Prerag Kralj, *Brodski pogonski sustavi*, Pomorski fakultet u Rijeci, u recenziji
3. Dragan Martinović, *Brodski rashladni uređaji*, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
4. www.pfri.hr/~pkralj