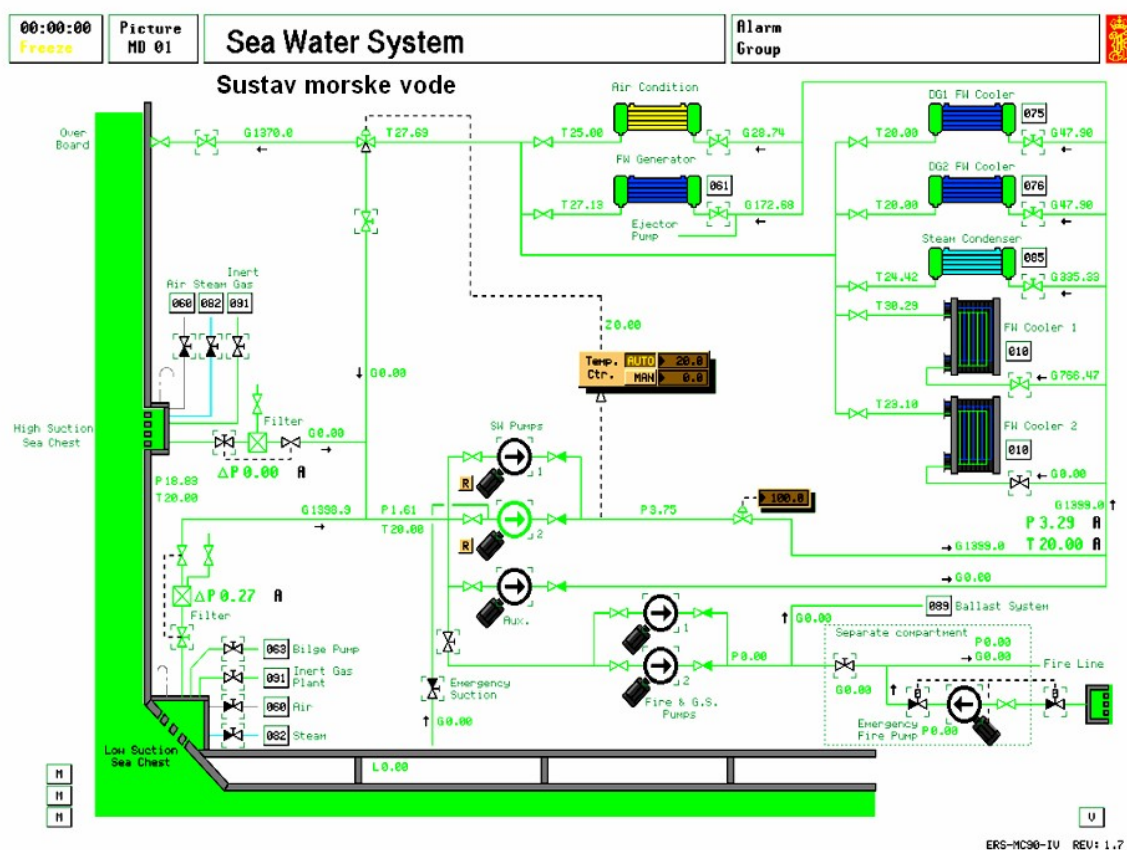


### 3. ANALIZA I RUKOVANJE SUSTAVIMA (upućivanja, morske i slatke rashladne vode, goriva, ulja zapodmazivanja)

#### 3.1 SUSTAV MORSKE RASHLADNE VODE

Namjena sustava morske vode jest osigurati dobavu i cirkulaciju dovoljne količine morske vode odgovarajuće temperature ( $20^{\circ}\text{C}$ ) za hlađenje slatke vode sustava hlađenja glavnog (porivnog) dizel motora i pomoćnih motora, tj. dizel-generatora, te drugih pomoćnih strojeva.

Sustav morske rashladne vode (*slika 1*) napaja se morem preko dva usisa morske vode-niskog i visokog. Visoki usis morske vode obično se koristi dok je brod u plovidbi sa teretom ili dolaskom u luku zbog toga što, osobito u plićim lukama, postoji opasnost od usisavanja raznih nečistoća i mulja s dna. U plovidbi broda pod balastom koristi se niski usis.



Slika 1. Sustav morske vode

Pumpe morske vode usisavaju more preko usisnih košara, odnosno filtera. Na ovom primjeru ugrađene su dvije glavne pumpe mora i jedna pomoćna. Jedna glavna pumpa mora radi dok je druga u pripremi (stand by). Ukoliko dođe do nepravilnosti u radu pumpe koja je u pogonu (nestanak napajanja na E.M., smanjenje tlaka iz bilo kojeg razloga, itd.), uređaj za automatsku zamjenu pumpi uključi pumpu koja je bila u pripremi, a isključuje pumpu koja je do tada radila,

javljaajući tu promjenu u brodsku alarmnu centralu strojarnice koja aktivira alarm. Jasno je da usisni i tlačni ventil pumpe koja je u pripremi moraju stalno biti otvoreni. Na ovom načelu rade gotovo sve pumpe u pripremi na nenadziranim strojarnicama. Pomoćna pumpa radi samo kod operacija s teretom kada je potrebno zadovoljiti veće potrebe rashladne morske vode za kodenzaciju pare (turbopumpe). Glavna pumpa morske (2) vode može se koristiti kao kaljužna pumpa u nuždi.

Protok od pumpi ide do rashladnika koji su spojeni paralelno i to:

- rashladnik slatke vode 1,
- rashladnik slatke vode 2,
- kondenzator pare,
- rashladnik vode dizel-generatora 1,
- rashladnik vode dizel-generatora 2,
- kondenzator klima uređaja,
- generator slatke vode (evaporator).

More koje prođe kroz rashladnike, prima na sebe toplinu i tako zagrijano vodi se do trosmjernog automatskog ventila koji, bez obzira na promjene temperature mora i toplinsko opterećenje rashladnika, održava stalnu temperaturu morske vode u sustavu. Ukoliko je potrebna viša temperatura u sustavu, više tople vode odlazi prema pumpi, a manje izvan broda i obrnuto. Sustav se obično proračunava na maksimalnu temperaturu morske vode od 32-35°C.

Dvije protupožarne pumpe koje se koriste i kao pumpe opće službe (balast) također usisavaju more preko preko usisnih košara i filtara. Protupožarna pumpa u nuždi ima svoju zasebnu usisnu košaru.

Postupak pripreme i puštanje u rad sustava morske vode:

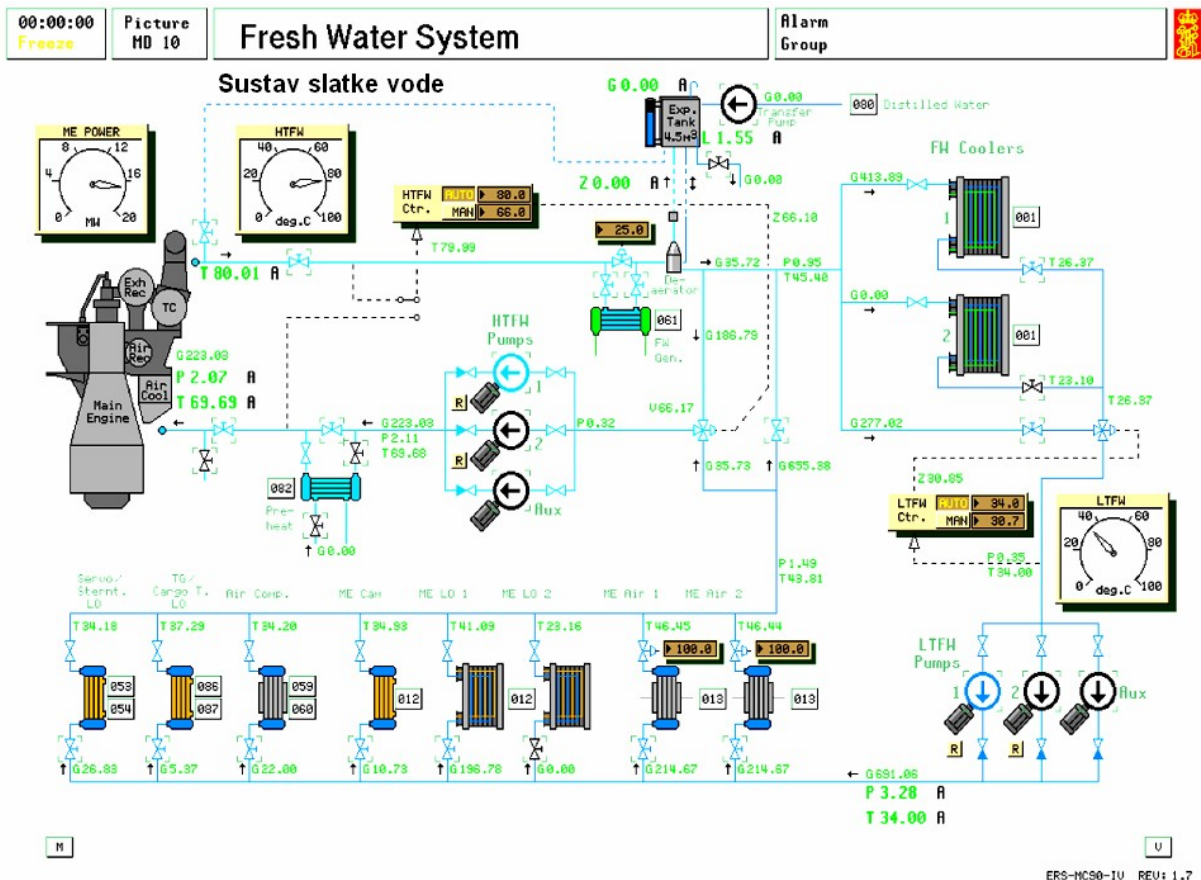
- 1.1 Otvoriti odgovarajuće usisne ventile mora (niski ili visoki usis)
- 1.2 Otvoriti usisne i tlačne ventile na pumpi.
- 1.3 Otvoriti ventile na rashladnicima. U normalnim uvjetima dovoljan je jedan rashladnik slatke vode.
- 1.4 Namjestiti regulator za recirkulaciju na trosmjernom automatskom ventilu na automatski rad i 20°C.
- 1.5 Uputiti (lokalno) jednu pumpu mora.
- 1.6 Drugu pumpu postaviti na automatski rad (na upravljačkom panelu). Normalno je da jedna pumpa bude u radu druga u pripremi (standby).

### **3.2 SUSTAV RASHLADNE SLATKE VODE**

Namjena sustava slatke vode jest osigurati cirkulaciju i nadopunu dovoljne količine slatke vode odgovarajuće temperature za hlađenje cilindra, ulja za podmazivanje i hlađenje stapa, te zraka neophodnih za rad glavnog i pomoćnih dizel motora.

Suvremeni rashladni sustav (*slika 2*) sastoji se od dva povezana kruga rashladne vode: kruga rashladne vode visoke temperature (HTFW – High Temperature Fresh Water) i kruga

rashladne vode niske temperature (LTFW – Low Temperature Fresh Water). Razlika od klasičnog sustava, u kojem se morska voda koristila za hlađenje rashladnika kompresora ulja, zraka, rashladnih uređaja, turbogeneratora, itd., je u tome što je sada tu ulogu preuzela voda niske temperature. Osnovna prednost je u tome što otpada razgranati i složeni sustav morske vode koji je izložen agresivnom djelovanju morske vode.



Slika 2. Sustav slatke vode

Krug visoke temperature (HTFW) služi samo za hlađenje glavnog motora (košuljice cilindara) i grijanje tijekom boravka u luci. Dio toplinske energije slatke vode na izlazu iz motora koristi se za proizvodnju (isparavanje) morske vode u evaporatoru. Rashladni krug niske temperature (LTFW) hladi sve ostale pomoćne uređaje i to:

- dva kompresora zraka za upućivanje,
- kompresor zraka za pomoćne službe,
- sustav podmazivanja turbogeneratora i pumpi tereta,
- ulje za podmazivanje statvene cijevi
- sustav hlađenja ispirog zraka glavnog motora,
- hlađenje sustava ulja bregaste osovine i ulja za podmazivanje glavnog motora.

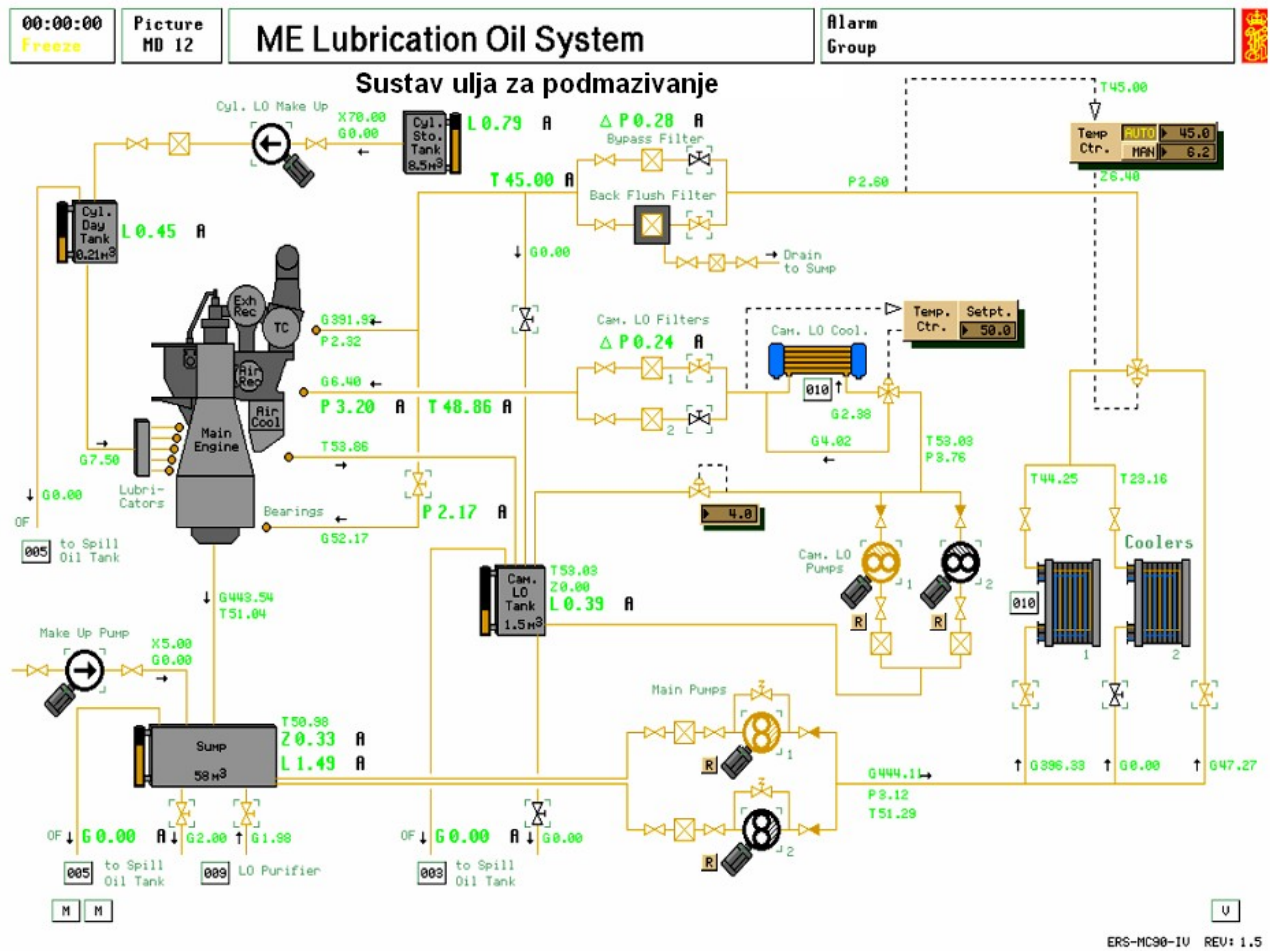
Krug visoke temperature ima dvije glavne rashladne pumpe i jednu pomoćnu pumpu koja služi za hlađenje motora u slučaju gubitka električne energije (black out) ili za grijanje motora tijekom

lučkog pogona. Zagrijana voda (80-85°C) odlazi prema rashladnicima slatke vode (1) i (2) (uvijek je jedan rashladnik u pogonu a drugi u rezervi), dok se jedan dio vode vraća na usis pumpi preko automatskog trosmjernog ventila upravljanog regulatorom temperature HTFW. Trosmjerni ventil održava konstantnu temperaturu vode visoke temperature, miješajući prema potrebi manje zagrijanu vodu niske temperature, koja dolazi iz grupe rashladnika koji su hlađeni vodom niske temperature, i više zagrijanu vodu visoke temperature koja dolazi iz glavnog motora. Pumpe vode visoke temperature šalju rashladnu vodu temperature oko 70°C prema glavnom motoru gdje ona na sebe prima toplinu cilindra. Ekspanzijski ili kompenzacijski tank spaja se na izlaz rashladne vode iz motora uvijek na najvišu točku. Njegova namjena je nadopuna sustava slatkom vodom uslijed eventualnih propuštanja i isparavanja. Za dužeg perioda mirovanja glavnog motora potrebno je isti predgrijavati i to zagrijavanjem vode pomoću parnog grijača. Uobičajena temperatura predgrijanja je 55-60°C. Nedovoljno predgrijavanje glavnog motora prije upućivanja može dovesti do oštećenja ležajeva motora i propuštanja vode.

Krug niske temperature je također opskrbljen sa dvije glavne rashladne pumpe i sa jednom pomoćnom pompom koja služi za hlađenje uređaja kod lučkog pogona ili u slučaju gubitka električne energije (black out). Rashladne pumpe vode niske temperature usisavaju vodu preko trosmjernog automatskog ventila za održavanje konstantne temperature (34°C) i tlače je prema grupi rashladnika. Konstantna temperatura vode niske temperature održava se miješanjem vode koja je prošla kroz rashladnike slatke vode. Slično kao i kod sustava morske vode, glavne pumpe su "stand by" izvedbe, dok pomoćne pumpe opslužuju sustav za vrijeme mirovanja glavnog motora. Sve pumpe sustava morske vode i sustava slatke vode uglavnom su centrifugalne izvedbe.

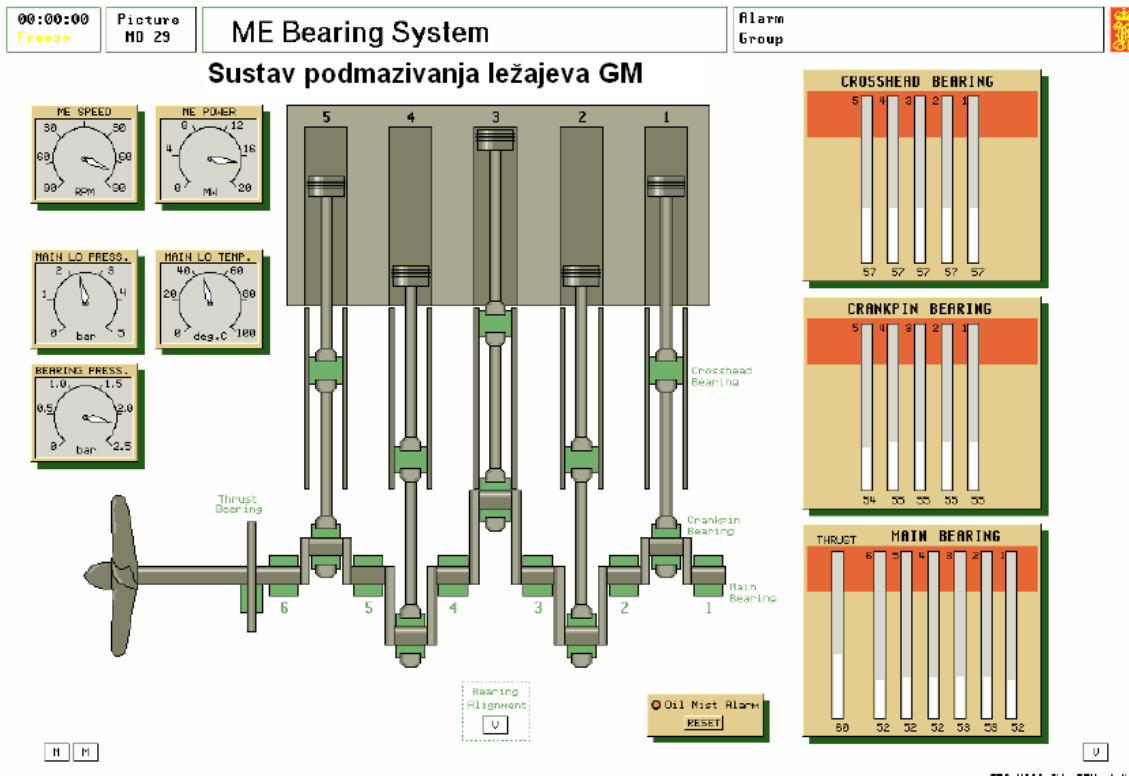
### **3.3 SUSTAV ULJA**

Namjena sustava ulja (*slika 3*) je cirkulacija i nadopuna dovoljne količine ulja odgovarajućeg tlaka, čistoće i temperature koje služi za podmazivanje (cirkulacijsko-tlačno podmazivanje) i za odvođenje topline dijelova glavnog motora.



Slika 3. Sustav ulja glavnog motora

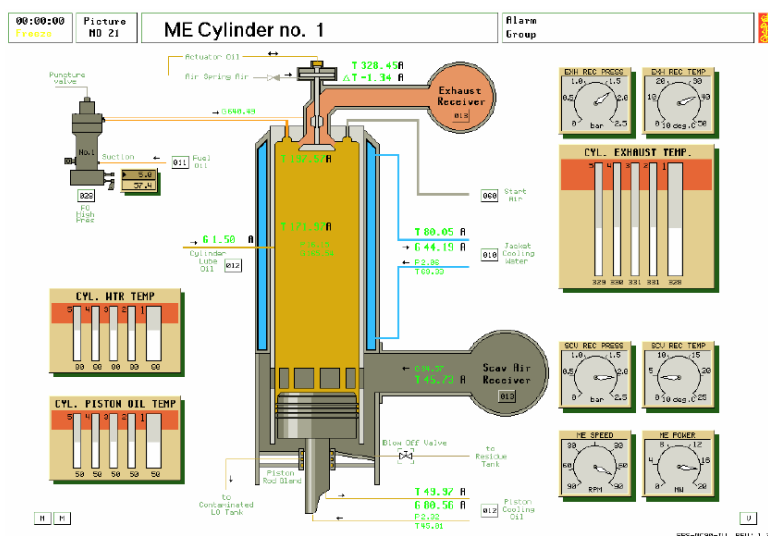
Uobičajeni sustav sastoji se od tri neovisna sustava ulja. Prvi je sustav za podmazivanje ležajeva glavnog motora (glavni ležajevi, leteći ležaj, odzivni ležaj, ležajevi križne glave), te za rashlađivanje stapala (slika 4).



Slika 4. Sustav podmazivanja ležajeva glavnog motora

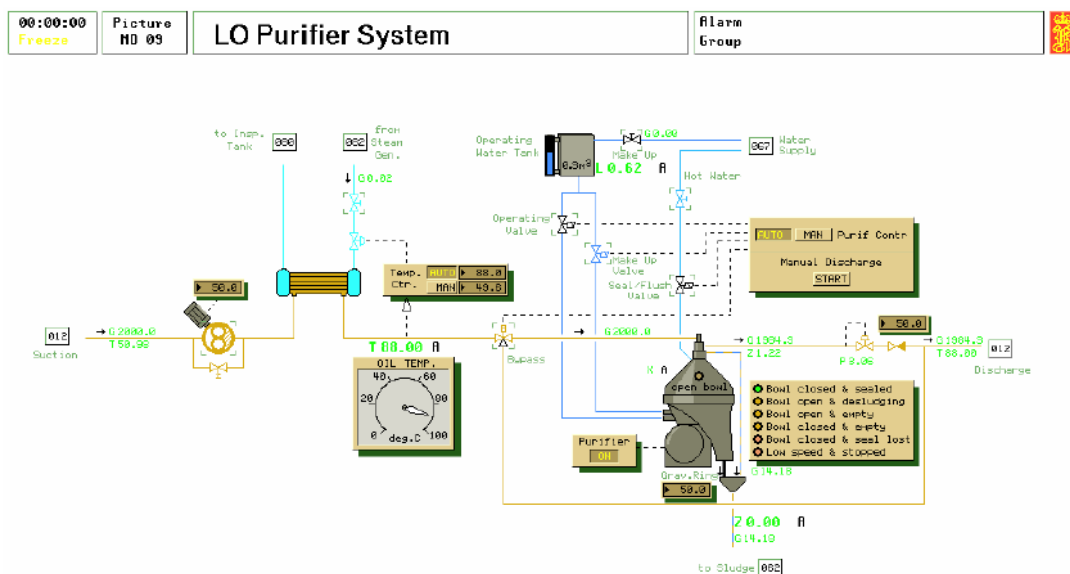
Drugi sustav služi za podmazivanje razvodne osovine (osovina koja pogoni visokotlačne pumpe goriva i aktuator za hidrauličko otvaranje ispušnog ventila).

Treći sustav služi za podmazivanje cilindara glavnog motora (slika 5).



Slika 5. Kontrola parametara cilindara glavnog motora

Glavne pumpe ulja za podmazivanje ležajeva su obično vijčane izvedbe i usisavaju ulje iz slivnog tanka glavnog motor, temperature oko 50°C, te ga tlače pod tlakom od 3 bara kroz filtere prema rashladnicima ulja. Naravno, dok jedna pumpa radi, druga je u pripremi. Za održavanje konstantne temperature (45°C) brine se trosmjerni automatski ventil s regulatorom čiji se pripadajući osjetnik nalazi na izlaznoj cijevi ulja iz rashladnika. Prema potrebi miješa se ulje koje je prošlo kroz rashladnik s uljem koje ide mimo rashladnika (*by-pass*). Nakon toga ulje odlazi prema glavnom motoru gdje se jedan dio odvaja za podmazivanje križne glave i rashlađivanje stapa, dok se drugi dio koristi za podmazivanje ležajeva glavnog motora. Ulje se dalje slijeva u karter motora, a odatle u slivni tank. Ulja za podmazivanje sadrže u sebi vodu (posljedica propuštanja ili kondenzacije), metalne čestice, šljaku, hrđu, čestice ugljena, asfaltne ostatke, organske i anorganske kiseline, te stoga obvezatno podliježu pročišćavanju. Centrifugalni separator (*slika 6*) služi za pročišćavanje ulja od tih nečistoća, te za odvajanje vode iz ulja. Ovaj uređaj djeluje tako da se ulje dovede u rotacijsko gibanje kako bi centrifugalne sile odvojile izmiješane tekućine i čestice različitih gustoća. Sve nečistoće štetne i strane primjese moraju se iz ulja odstraniti da se smanji trošenje ležajeva koji se podmazuju uljem. Separator, preko posebne ili privješene pumpe, usisava ulje iz slivnog tanka i pročišćeno ulje vraća u isti tank, dok nečistoće i vodu izbacuje u tank taloga (*sludge tank*).



Slika 6. Sustav centrifugalnog separatora ulja

Proces separiranja (odjeljivanja) krutih i težih čestica (nečistoće i voda) od lakših (ulja) bolje se odvija što je ulje manje viskozno. Viskoznost prilikom odjeljivanja treba biti nešto niža od 37,4 cSt. U tu svrhu se gorivo i mazivo ulje grije u posebnim parnim ili električnim grijačima na približnu temperaturu od 75-90°C. Ukoliko je u centrifugalnom čistioću potrebno razdijeliti mješavinu ulja i vode, u kojoj je količinski više ulja, bubanj čistioća treba napuniti vrućom vodom prije nego se uvodi mješavina. Temperatura vode treba biti jednaka temperaturi potrebnoj za grijanje ulja. Nadalje, poželjno je prije ulaza nečistog ulja u separator dodavati slatku vodu,

kojoj je temperatura 5°C iznad temperature ulja na ulazu u čistioč. Ovim postupkom voda ispire organske i anorganske kiseline nastale izgaranjem teškog goriva cilindru motora, a koje procure uz stap cilindra u karter motora i pomiješaju se s uljem. Također se postiže lakše odjelivanje krutih čestica jer iste bivaju ovlažene i teže. Preporučljivo je ukupnu količinu ulja u sustavu podmazivanja i hlađenja pročistiti 2,5-3 puta u roku od 24 sata.

Na slivni tank ugrađena je i preljevna cijev prema preljevnom tanku ulja (*spill oil tank*). U slučaju potrebe nadopunjavanja, ili pak izmjene cijele količine ulja, koristi se pumpa ulja za nadopunjavanje koja je povezana sa skladišnim tankovima ulja. Detektor uljnih para (*oil mist*), u slučaju prevelike količine uljnih para u karteru, zaustavlja glavni motor i tako otklanja opasnost od eksplozije.

Pumpe ulja razvodne osovine usisavaju ulje iz tanka ulja razvodne osovine i tlače ga preko rashladnika (hlađen slatkom vodom) i filtera prema razvodnoj osovini. Za održavanje konstantne temperature (45°C) brine se trosmjerni automatski ventil s regulatorom čiji se pripadajući osjetnik nalazi na izlaznoj cijevi iz rashladnika. Prema potrebi miješa se ulje koje je prošlo kroz rashladnik s uljem koje ide mimo rashladnika (*by-pass*). Ulje se, nakon što obavi svoju radnju, vraća u isti tank. Taj tank se nadopunjuje iz sustava ulja za podmazivanje ležajeva, križne glave i hlađenja stapa preko pripadajućeg ventila. Ispust tanka teče u preljevni tank ulja. Dakle, u ova dva sustava nalazi se ulje iste kvalitete i osobina.

Sustav ulja za podmazivanje cilindara sastoji se od dnevnog i skladišnog tanka. Za nadopunjavanje dnevnog tanka cilindarskog ulja služi pumpa cilindarskog ulja koja je cjevovodom povezana sa skladišnim tankom cilindarskog ulja. Iz dnevnog tanka cilindarskog ulja ulje slobodnim padom dolazi do lubrikatora i odatle se tlači u priključke za podmazivanje koji su radialno raspoređeni na više mjesta po cilindarskoj košuljici. Ulje koje podmazuje cilindarsku košuljicu i stapne prstenove da bi nakon toga izgorjelo zajedno s gorivom.

Radni postupci kod pokretanja glavnog motora :

- *Pokretanja sustava za podmazivanje ležajeva i hlađenje stapala:*
  - Provjeriti da slivni tank ima dovoljno ulja i po potrebi nadopuniti.
  - Namjestiti regulator temperature na automatski rad i temperaturu od 45°C.
  - Otvoriti usisne i tlačne ventile na obje glavne pumpe za podmazivanje.
  - Otvoriti ventil dobave ulja za podmazivanje ležajeva.
  - Startati ručno jednu glavnu pumpu i čekati dok tlak ne naraste na 3 bara.
  - Namjestiti rad pumpe na automatski rad (jedna u radu druga u pripremi-standby).
  - Provjeriti da li ulje za hlađenje stapa i podmazivanje ležajeva ima radnu temperaturu.
- *Pokretanje sustava podmazivanja razvodne osovine:*
  - Namjestiti regulator temperature na automatski rad i temperaturu od 50°C.
  - Provjeriti da tank ulja za podmazivanje razvodne osovine ima dovoljno ulja i po potrebi nadopuniti iz sustava ulja za podmazivanje glavnog motora.
  - Na regulatoru tlaka podestiti tlak ulja na 4 bara.
  - Provjeriti da li su otvoreni ventili na obje pumpe i i oba filtera.
  - Startati ručno jednu pumpu i čekati dok tlak ne naraste na 3,7 bara.



- Namjestiti rad pumpe na automatski rad (jedna u radu druga u pripremi-standby).
- *Pokretanje sustava za podmazivanja cilindara:*
  - Provjeriti da li dnevni tank ulja za podmazivanje cilindra ima dovoljno ulja i po potrebi nadopuniti,
  - Provjeriti da li su svi potrebni ventili otvoreni.

Radni postupak kod zaustavljanja glavnog motora:

Kada se motor zaustavi i završi s manovorom potrebno je sačekati oko 30 minuta kako bi se motor ohladio i isključile sve pumpe ulja. Temperatura ulja u slivnom tanku za vrijeme lučkog pogonu održava se kontinuiranim radom separatora ulja.

Alarmiranje i zaštita GM:

- *Alarmi:*
  - nizak tlak ulja temeljnih, letećih i odrivnog ležaja,
  - nizak tlak ulja za podmazivanje križne glave i hlađenja stapa,
  - nizak tlak ulja bregaste osovine,
  - niska razina ulja u tankovima,
  - velik pad tlaka na tlačnim filtrima
  - visoka temperatura ulja na ulazu u motor,
  - niska razina cilindarskog ulja u dnevnom tanku.
- *Zaštita (SLOW DOWN i SHUT DOWN):*
  - nizak tlak ulja temeljnih, letećih i odrivnog ležaja,
  - nizak tlak ulja za podmazivanje križne glave i hlađenja stapa (samo SLOW DOWN)

### 3.4 SUSTAV GORIVA

Namjena sustava goriva je skladištenje, nadopuna i dobava goriva odgovarajućih parametara (temperature-viskoznosti, tlaka i čistoće) za izgaranje u glavnom i pomoćnim dizel motorima, te pomoćnom parnom kotlu.

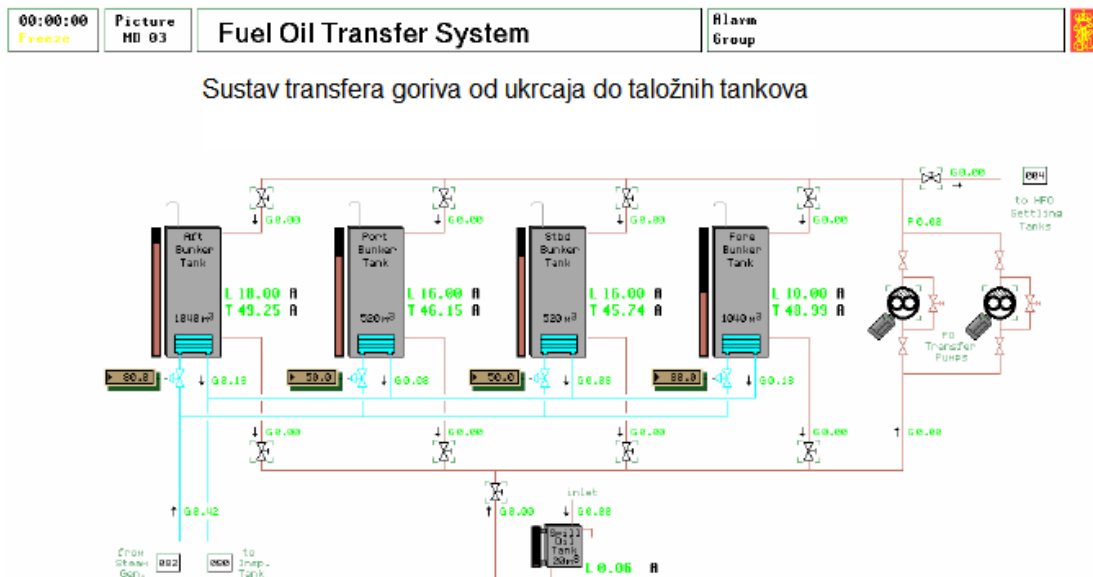
Sustav goriva kod suvremenih dvotaktnih propulzijskih dizel motora sastoji se od sljedećih podsustava:

- sustav goriva od ukrcaja do dnevnih tankova,
- sustavu goriva od dnevnih tankova do glavnog motora.

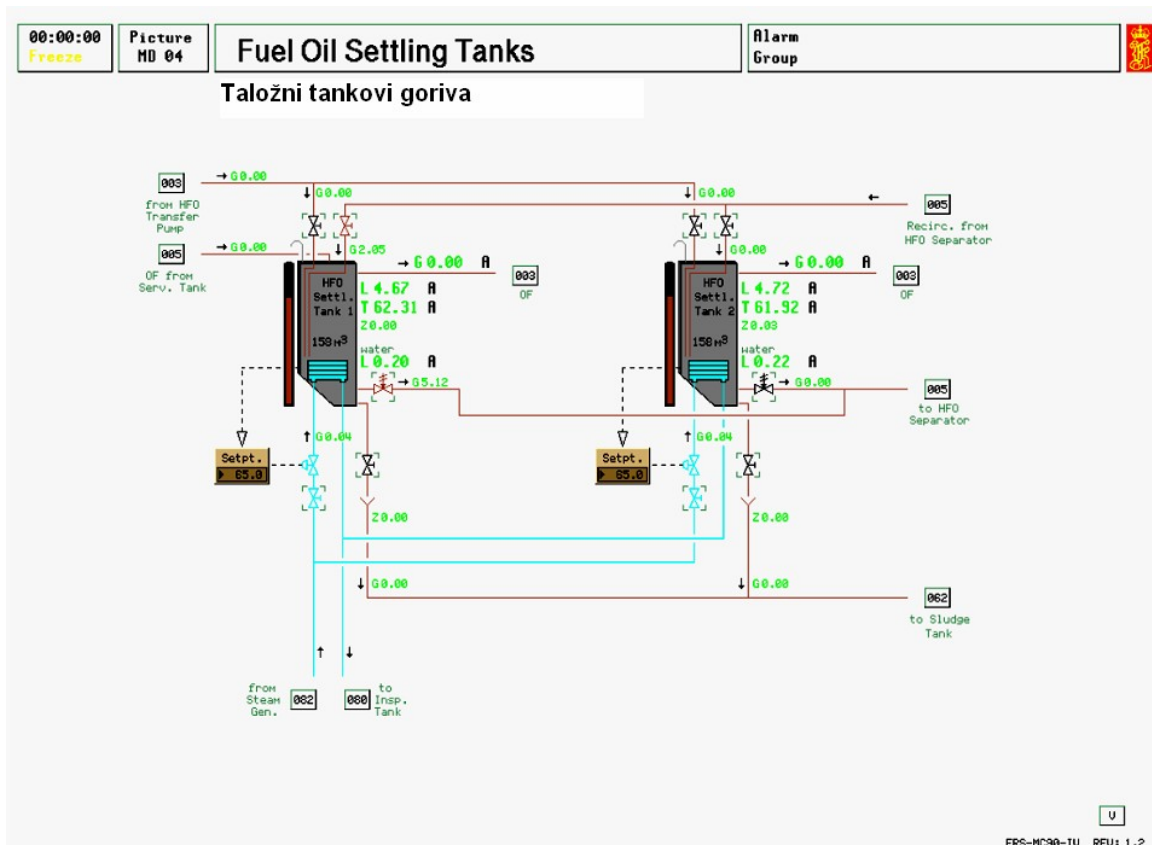
Gorivo se krca preko odgovarajućih priključaka na palubi u skladišne tankove teškog goriva (*slika 7*) i skladišne tankove dizel-goriva čiji broj ovisi o tipu i namjeni broda. Skladišni tankovi teškog goriva griju se parnim zagrijačima na temperaturu do maksimalno 60 °C kako bi se isto moglo transferirati pumpama. Naime, pri temperaturi teškog goriva manjoj od 20 °C zbog velike viskoznosti nije ga moguće transferirati. Temperatura grijanja ovisi o temperaturi teškog goriva kod njegovog ukrcaja.

Radni postupci kod prebacivanja goriva:

- Kordinirati sa službom palube prije prebacivanja goriva.
- Otvoriti ulaz odabranog tanka za prebacivanja teškog goriva pumpom.
- Otvoriti izlaz odabranog skladišnog tanka.
- Startati pumpu za prebacivanje goriva.

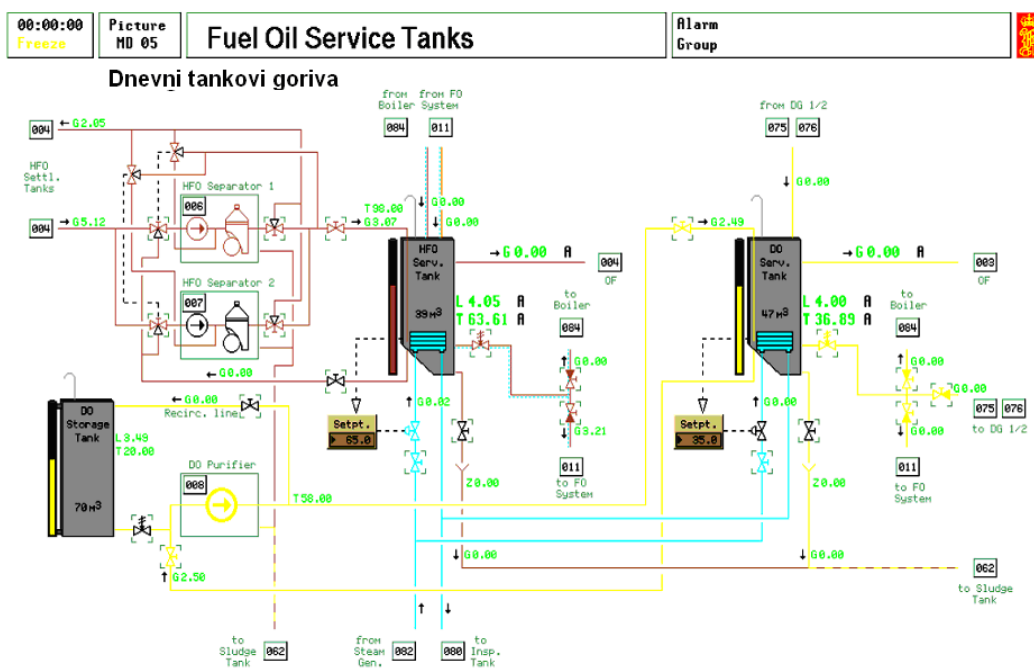


Slika 7. Sustav transfera teškog goriva od ukrcaja do taložnih tankova



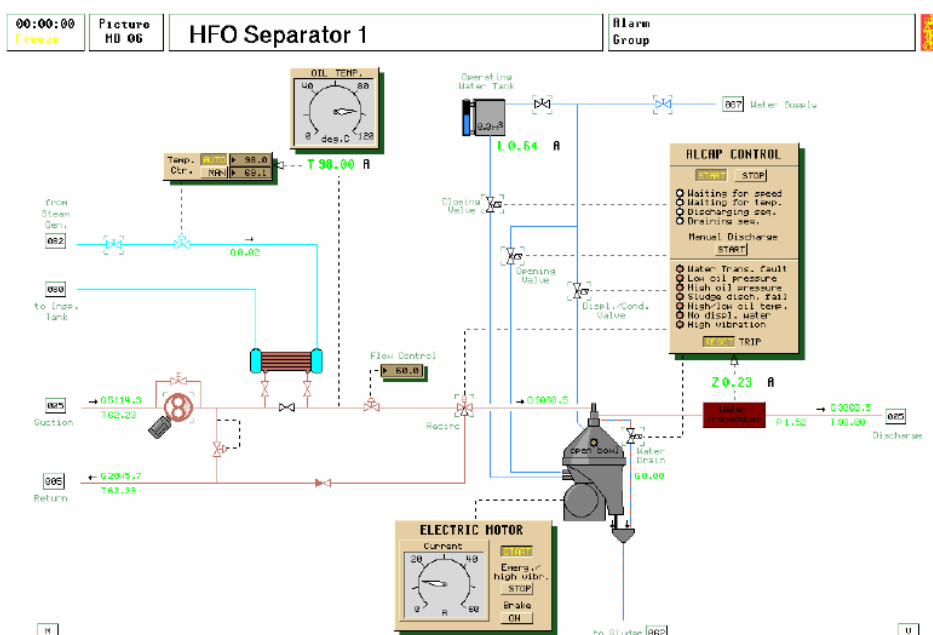
Slika 8. Taložni tankovi teškog goriva

Iz taložnih tankova gorivo se preko centrifugalnog separatora pročišćava i prebacuje u dnevne tankove (slika 9). Temperatura grijanja teškog goriva u taložnim tankovima je 60 °C.



Slika 9. Dnevni tankovi teškog goriva

Teško goriva su rafinerijski ostaci i imaju nisku kavkoću, odnosno visoki sadržaj štetnih krutih čestica različitih veličina (pepeo, vanadij, asfalt, voda, natrij itd.). Korištenjem ove vrste goriva, uz primjenu neodgovarajućeg sustava pročišćavanja izaziva jako trošenje dijelova dizel motora, pa se stoga isto pročišćava pomoću centrifugalnog separatora. Kapacitet separatora podešava se tako da bude isti kao i potrošnja goriva iz dnevnog tanka. Kao što se vidi iz primjera, moguće su kombinacije da se separatorom separira taložni tank teškog goriva – taložni tank teškog goriva, kao i dnevni tank teškog goriva – dnevni tank teškog goriva. Prvi slučaj koristi se kod kraćih zadržavanja u lukama tako da se, umjesto zaustavljanja separatora, separira teško gorivo iz istog u isti tank. Temperatura teškog goriva u dnevnim tankovima održava se na temperaturi od oko 60°C (dizel goriva na 35°C). Na slici 10 prikazan je shema separiranja teškog goriva.



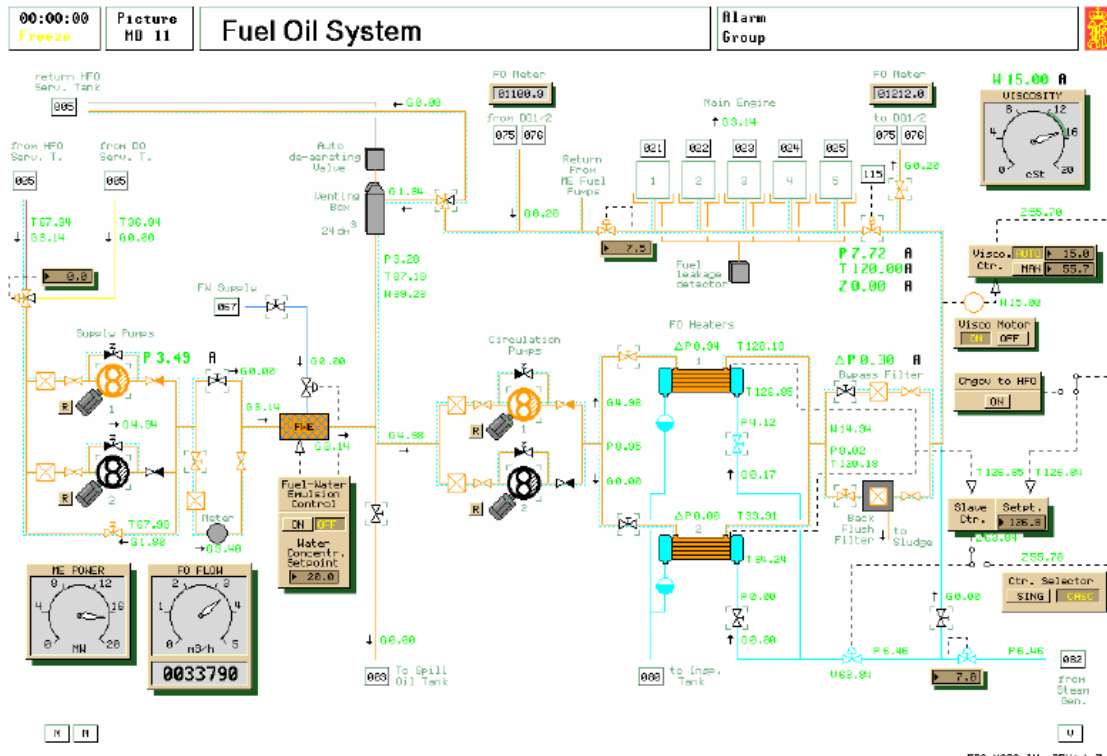
Slika 10. Shema separiranja teškog goriva

Obično su ugrađena dva separatora. U normalnim okolnostima dovoljno je da radi jedan separator jer dobavna pumpa separatora ima kapacitet dobave veći za 10% od maksimalne potrošnje goriva. U svaki separator voda potrebna za njihov rad dobavlja se iz gravitacionog tanka kojeg je tijekom rada po potrebu nadopunjavati. Teško gorivo se prije ulaska u separator zagrijava pomoću parnog grijača na temperaturu od oko 98°C. Postupak separiranja i ispusta taloga i vode obavlja se automatski uz kontrolu i dojavu alarma niskog izlaznog tlaka goriva (<1,45 bara), visokog izlaznog tlaka goriva (>1,9 bara), visoke/niske temperature (promjene temperature za 5%), velikih vibracija, nedostatka vode i grešku u ispustu taloga i vode. U slučaju da se separator ne može osloboditi taloga i vode, upravljačka jedinica postupak ponavlja, a ako se i nakon toga separator ne oslobodi taloga isti se automatski zaustavlja, a gorivo se preko trogranog ventila vraća u tank. Isto se događa i u slučaju alarma velikih vibracija.

U tank taloga dolazi talog iz svih separatora i taložnih tankova. Talog iz taložnog tanka spaljuje se preko sustava inceneratora, a dio koji je voda prebacuje se u tank kaljužne vode odakle se kaljužnim separatorom pročišćava i izbacuje izvan broda.

Iz dnevnog tanka dizel-goriva gorivo odlazi prema dizel-generatorima i kotlu (ukoliko je potrebno da kotao radi na dizel-gorivo).

Na slici 11 prikazana sustav goriva glavnog motora. Iz dnevnih tankova gorivo dolazi do trosmjernog ventila za prebacivanje kojim se određuje hoće li se koristiti teško ili dizel-gorivo.



Slika 11 . Sustav goriva glavnog motora

Suvremeni motori pogone se teškim gorivom i za vrijeme manevra, dok se u luci koristi stalna cirkulacija teškog goriva kako bi se održala temperatura goriva. U slučaju većih radova na glavnom motoru, sustavu goriva ili dokovanju broda kad nismo u mogućnosti zagrijavati teško gorivo u sustavu, potrošnja se prebacuje na dnevni tank dizel-goriva. Dobavne pumpe usisavaju gorivo iz dnevnog tanka i tlače ga pod tlakom od 4 bara preko mjerača protoka u odzračni tank. Cirkulacione pumpe usisavaju gorivo iz odzračnog i tlače ga kroz zagrijače teškog goriva preko filtera u visokotlačne pumpe glavnog motora. Za održavanje konstantnog viskoziteta teškog goriva brine se automatski viskozimetar koji preko regulacijskih ventila propušta u zagrijače teškog goriva onu količinu pare koja je potrebna za održavanje željenog viskoziteta (max. viskozitet 20 cSt i temp.150°C). Budući da dobavne pumpe dobavljaju veću količinu goriva nego što motor troši, višak goriva se pod tlakom od 7 bara vraća se u odzračni tank i tu se miješa s gorivom koje dolazi iz dnevnog tanka ili se pak preko troputnog ventila može vraćati direktno u dnevni tank. Svi dobavni i povratni cjevovodi opremljeni su parnim cijevnim grijačima postavljenim oko cijevi.

Za smanjenje sadržaja NO<sub>x</sub> plinova u ispušnim plinovima motora ugrađena je upravljačka jedinica za kontrolu emulzije gorivo-voda koja gorivu dodaje mali sadržaj vode.

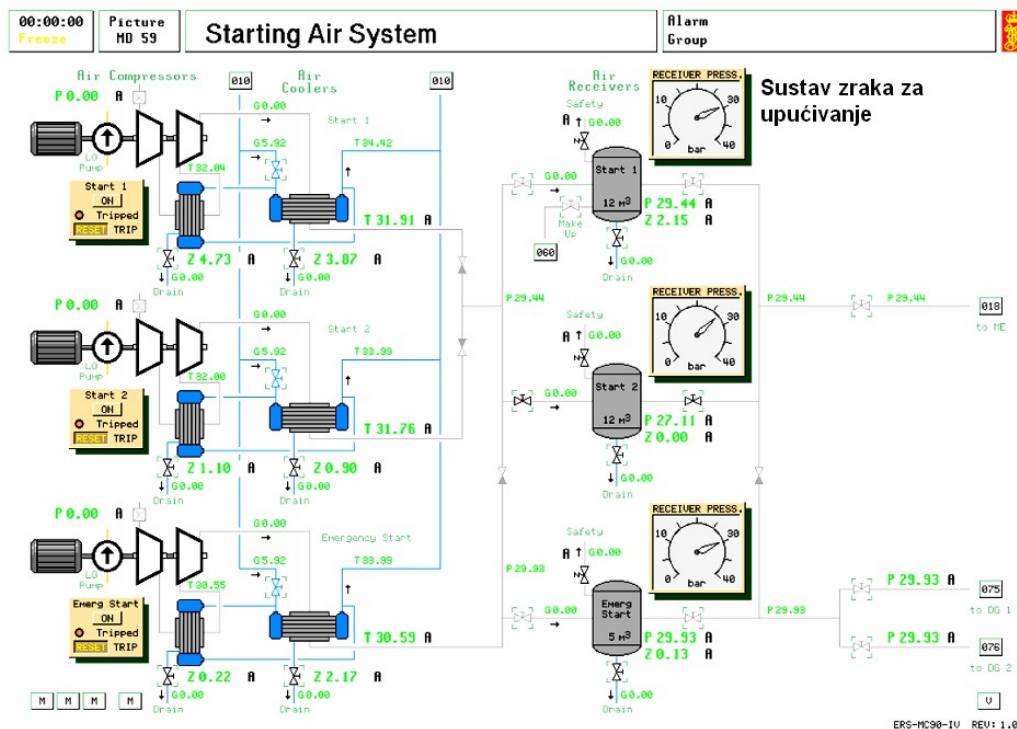
### 3.5. SUSTAV ZRAKA

Sustav zraka na suvremenim sporohodnim dizel motorima sastoji se od dva sustava:

- sustav zraka za upućivanje glavnog motora i pomoćnih motora,
- sustav zraka za pomoćne službe.

Namjena sustava zraka za upućivanje glavnog motora je osigurati dovoljne količine komprimiranog zraka odgovarajućih parametara (tlaka i temperature) za upućivanje dizel motora (glavnog i pomoćnih). Sustav zraka za pomoćne službe osigurava potrebne količine zraka za pneumatsko upravljanje sustavom upućivanja i manevriranje dizelskih motora, daljinsko upravljanje raznim pneumatskim ventilima potrebnih za automatski rad strojeva i uređaja, za čišćenje i propuhivanje, za pogon alata itd.

Sustav zraka za upućivanje dizelskih motora prikazan na slici 12 opslužuje dva glavna kompresora zraka i jedan kompresor u slučaju nužde. Svi kompresori zraka rade na načelu dvostupanjske kompresije s međuhlađenjem, što znači da se sastoje od dva stupnja između kojih je rashladnik.



Slika 12. Sustav zraka za upućivanje

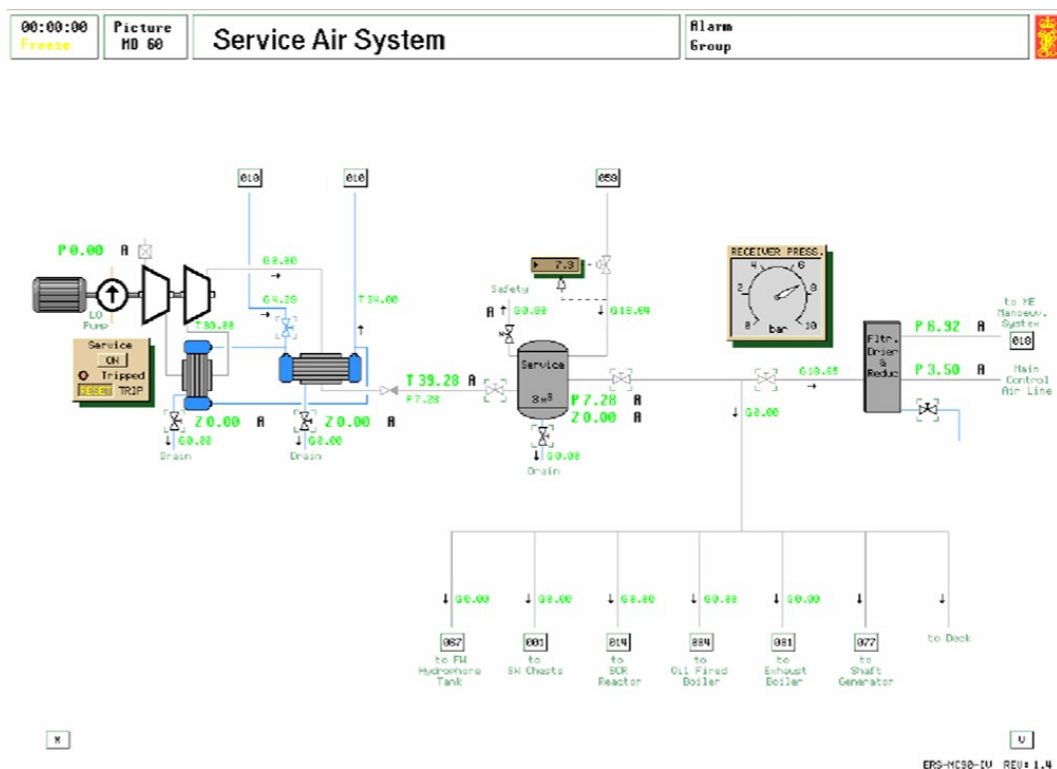
Kompresori usisavaju zrak iz strojarnice i tlače ga u zračne spremnike. Zračni spremnici su dimenzionirani tako da omoguće ne manje od dvanaest uzastopnih upućivanja prekretnog motora, a ako je motor neprekretan (npr. s prekretnim propelerom), onda se radi o šest uzastopnih upućivanja. Međutim, budući da je to donja granica, u praksi se izvode izvedbe s daleko većim brojem mogućih upućivanja što opet ovisi od uputa proizvođača motora i pravila pojedinih klasifikacijskih zavoda. Zračni spremnici se uglavnom pune do tlaka od 30 bara, a rad kompresora zraka je automatiziran, što znači da se padom tlaka u zračnom

spremniku kompresori automatski uključuju, odnosno da se isključuju kada tlak dosegne željenu vrijednost. U normalnom radu oba kompresora rade automatski s tim da je jedan odabran kao glavni kompresor. Sva tri spremnika zraka su pod radnim tlakom. Kompresor za nuždu se po potrebi upućuje ručno. Iz spremnika i rashladnika zraka mora se redovito ispuštati nakupljeni kondenzat.

Postupci pripreme i upućivanja kompresora nakon dužeg perioda izvan rada su:

- Provjeriti da li je sustav morske vode i krug niske temperature slatke vode u radu, te da li su otvoreni ventili prema rashladnicima zraka.
- Otvoriti ulazne ventile zraka na rashladnicima zraka.
- Ispustiti kondenzat iz rashladnika otvaranjem ventila za njegov ispušt
- Otvoriti ulazne i izlazne ventile na spremnicima zraka.
- Ispustiti kondenzat iz spremnika otvaranjem ventila za njegov ispušt.
- Zatvoriti ventile za ispušt kondenzata.
- Namjestiti rad kompresora na automatski mod rada i odabrati glavni kompresor (upravljački panel).
- Kada tlak u spremnicima naraste otvotiti ventil prema odabranim potrošačima.

Zrak za pomoćne službe (slika 13) dobiva se preko radnog zračnog spremnika kojeg opslužuje kompresor pomoćnog zraka.



Slika 13. Sustav pomoćnog zraka

Taj je zrak pod tlakom od obično 6-8 bara, a moguće su i kombinacije da se taj zrak dobije preko glavnih kompresora i spremnika za upućivanje. Upravljački zrak obvezno se vodi kroz jedinicu za pripremu zraka koja se sastoji od sušioća, filtera, regulatora tlaka i nauljivača čija je svrha dovesti komprimirani zrak u stanje što prihvatljivije za rad pneumatskih sustava.

### 3.6 SUSTAV ZA KONTROLU I SMANJENJE EMISIJE NO<sub>x</sub>

Zagađivanje zraka može se definirati kao stanje atmosfere kod kojeg su štetne tvari prisutne u dovoljno velikim koncentracijama iznad njihovog normalnog nivoa da proizvedu mjerljive negativne efekte na čovjeka, životinje, biljke ili materijale (okoliš). Efikasan način da se ponovno uspostavi osjetljiva ekološka ravnoteža u prirodi je korištenje kontrole emisije plinova uvijek, kad i gdje je to moguće.

Sastav ispušnih plinova za jedan sporohodni dizel motor rezultat je procesa u motoru, goriva i načina kontrole emisije ispušnih plinova. Njihov tipičan sastav je: N<sub>2</sub> 76%, O<sub>2</sub> 13%, CO<sub>2</sub> 5%, H<sub>2</sub>O 5%, a što iznosi oko 99,5% ukupne količine plinova. Ostatak emisije ispušnih plinova otpada na dušične okside (NO<sub>x</sub>), ugljični monoksid (CO), ugljikovodike (HC) i čestice ugljične čade, metalnih oksida sulfata neizgorenog ugljikohidrata.

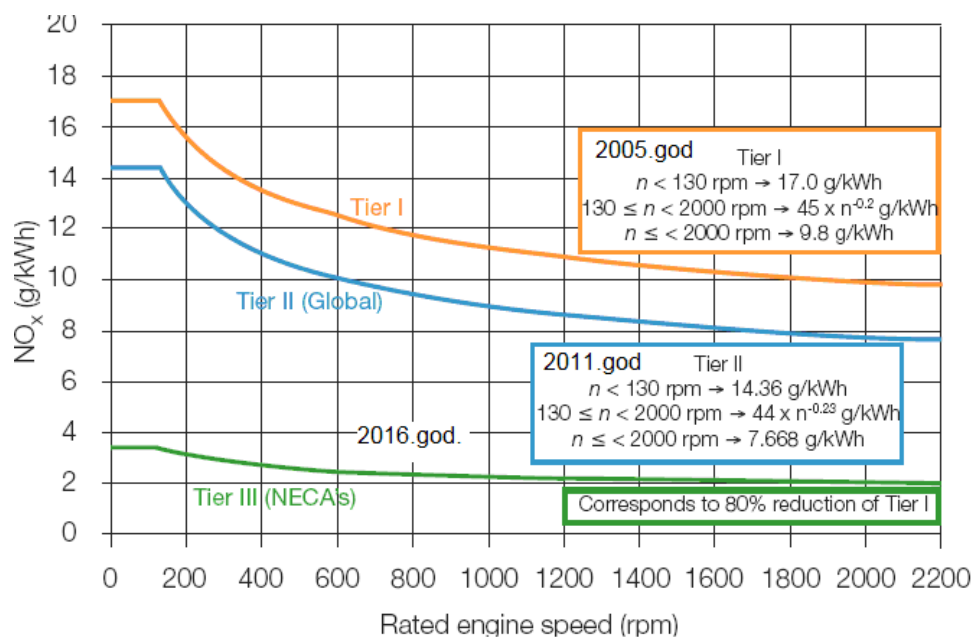
Glavni onečišćivači iz dizelskih motora su kao:

- *dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>)* – njihova emisija utječe na stvaranje smoga i kiselih kiša. Emisija dušikovih oksida neprestano raste kao rezultat povećanoga prometa; ona, naime, uglavnom nastaje kao posljedica izgaranja bilo kojega tekućeg goriva.
- *sumporni oksidi (SO<sub>x</sub>)* – sumporni dioksid SO<sub>2</sub> poznat je kao “kisel” plin jer njegovom transformacijom nastaju kiseli sastojci što se izdvajaju iz atmosfere u obliku kiselih kiša. Emisija SO<sub>2</sub> ovisi izravno o kvaliteti goriva, tj. sadržaju sumpora u njemu.
- *ugljični monoksid (CO)* – posljedica nepotpunog izgaranja goriva, utječe na stvaranje smoga i ozonskih rupa. Današnji motori imaju vrlo malu emisiju ugljičnog monoksida poradi visoke koncentracije kisika i efikasnoga procesa izgaranja.
- *ugljikovodici (HC)* – sadržaj ugljikovodika u ispušnim plinovima ovisi o vrsti goriva, ugađanju i konstrukciji motora. Samo mali dio HC napustit će proces neizgoren – utječe na efekt staklenika.
- *ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>)* – iako nije otrovan, posvećuje mu se posebna pozornost kao osnovnom uzroku stvaranja efekta staklenika. Motori s visokim stupnjem iskoristivosti i uporaba goriva s niskim udjelom ugljika preduvjet su da se smanje te emisije.

Proučavanjem danih emisija uočeno je da je udio utjecaja ugljikovodika i ugljičnog monoksida s brodova nizak u usporedbi s drugim tehničkim pogonima, a također, zbog superiornije toplinske iskoristivosti dizelskog procesa, niska je i emisija ugljičnog i sumpornog dioksida. Sva je pozornost u brodarstvu zato prebačena na smanjenje dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>).

Aneksom VI Međunarodne konvencije o sprječavanju zagađenja s brodova (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL 73/78), Međunarodne pomorske organizacije (The International Maritime Organization - IMO) koji je stupio na snagu 2005 godine, propisan je najveći sadržaj NO<sub>x</sub> u ispušnom plinu motora s unutrašnjim izgaranjem snage veće od 130 kW u zavisnosti od brzine vrtnje motora (*slika 14*).





Slika 14. Grafikon primjene MARPOL-a, Aneks VI

Nadalje, prilogom VI definiran je najveći dopušteni sadržaj sumpora u gorivu za pogon motora s unutrašnjim izgaranjem koji iznosi 4,5% za područje u kojima nije ograničena emisija SO<sub>x</sub> u ispušnim plinovima, a u području u kojima je ograničena emisija SO<sub>x</sub> u ispušnim plinovima kao što su : Sjeverno more, Baltičko more i Engleski kanal, sadržaj sumpora u gorivu ograničen je na 1,5%.

Tehnike smanjenja NO<sub>x</sub> mogu se podijeliti na tri osnovne kategorije:

- obradu prije uporabe goriva, odnosno prethodno tretiranje goriva,
- modifikacija procesa u cilindru motora- direktna metoda,
- obrada ispušnog plina po izlasku iz cilindra motora (sekundarna metoda).

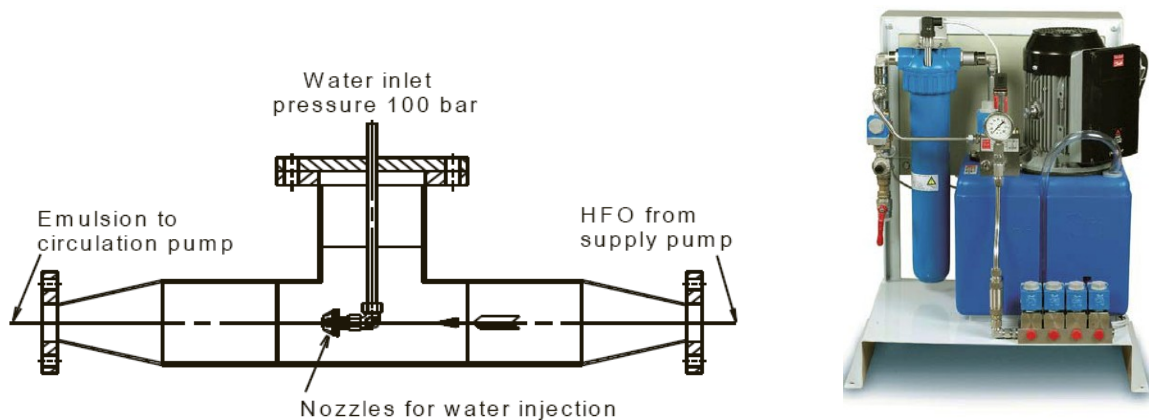
Obrada prije uporabe goriva uglavnom se bazira na smanjenju dušika u gorivu, tj. na njegovoj denitraciji, ali zasad za to nema praktičnih metoda.

Direktne metode su metode koje direktno utječu na proces izgaranja u motoru što znači da je potrebno izvršiti određene modifikacije na samom motoru. Stvarni stupanj redukcije, odnosno smanjenja NO<sub>x</sub>, koji iznosi 10 -50 %, ovisi o tipu motora i metodi redukcije. U direktne metode spadaju:

- prilagođavanje sapnice rasprskaača,
- reduciranje maksimalnog tlaka izgaranja,
- uštrcavanjem vode posebnih sapnica ili sapnica goriva kroz koje se naizmjenično uštrcavaju gorivo i voda,
- vlaženjem zraka ispirnog zraka odmah iza turbopuhala,
- recirkulacija ispušnih plinova.
- metoda redukcije vodenom emulzijom itd.

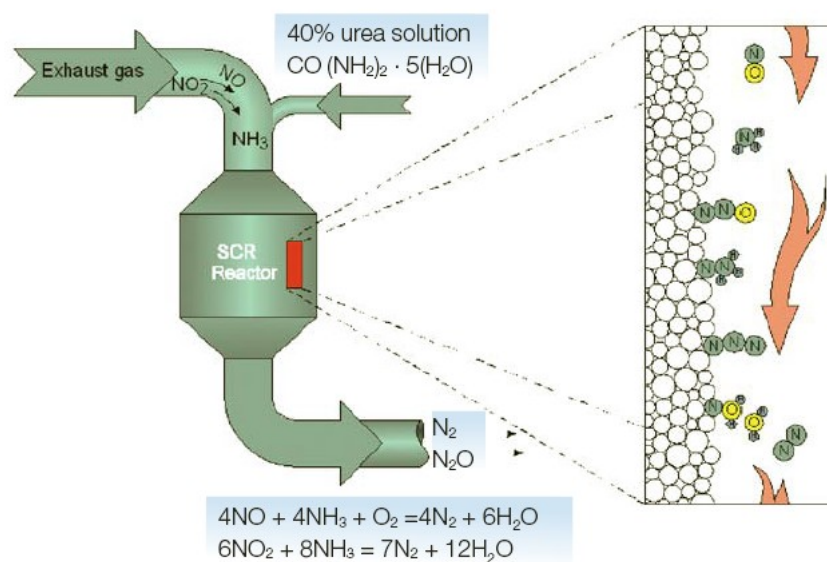
Metoda redukcije vodenom emulzijom sastoji se u dodavanje 20% demineralizirane vode kod punog opterećenja motora, a da to ne predstavlja ograničenje u pogledu izgaranja. Utjecaj vodene emulzije ovisi o tipu motora ali vrijedi općenito 1% vode reducira NO<sub>x</sub> za 1%. Dodavanje vode se regulira na osnovu izmjerenje vrijednosti NO<sub>x</sub> koja se kontinuirano prati.

Za brodske motore koji koriste emulziju goriva, ugrađen je specijalni sigurnosni sustav u vanjski sustav goriva tako da nestanak struje na brodu nema nikakvog utjecaja na stabilnost emulzije gorivo/voda, tako da se može upućivati bez prebacivanja na sustav bez vode.



Slika 16. Ubrizgavanje vode u cjevovod goriva i pumpni agregat za ubrizgavanje vode

Sekundarnim metodama reducira se  $\text{NO}_x$  bez mijenjanja konstrukcije motora. Danas je najzastupljenija metoda selektivnog katalitičkog smanjenja SCR-*Selective Catalytic Reduction*. Sustav koristi 40% otopinu uree ili amonijak ( $\text{NH}_3$ ). Ovom metodom (slika 17) ispušni se plin miješa s amonijakom ( $\text{NH}_3$ ) ili otopinom uree prije prolaska kroz sloj specijalnih katalizatora na temperaturi od 290 do 450 °C, čime se  $\text{NO}_x$  ponovno pretvara u neopasni dušik i vodu ( $\text{N}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ ).



Slika 17. Proces selektivnog katalitičkog smanjenja emisije  $\text{NO}_x$  (SCR- *Selective Catalytic Reduction*)

Kisik je pri tome u procesu. Ako je temperatura previsoka,  $\text{NH}_3$  će prije izgarati nego reagirati s  $\text{NO}/\text{NO}_2$ . Pri previše niskoj temperaturi reakcija će biti spora i kondenzacijom amonijevih sulfata uništavati će se katalizator. Količina uštrcanoga  $\text{NH}_3$  u cijev ispušnih plinova nadzire

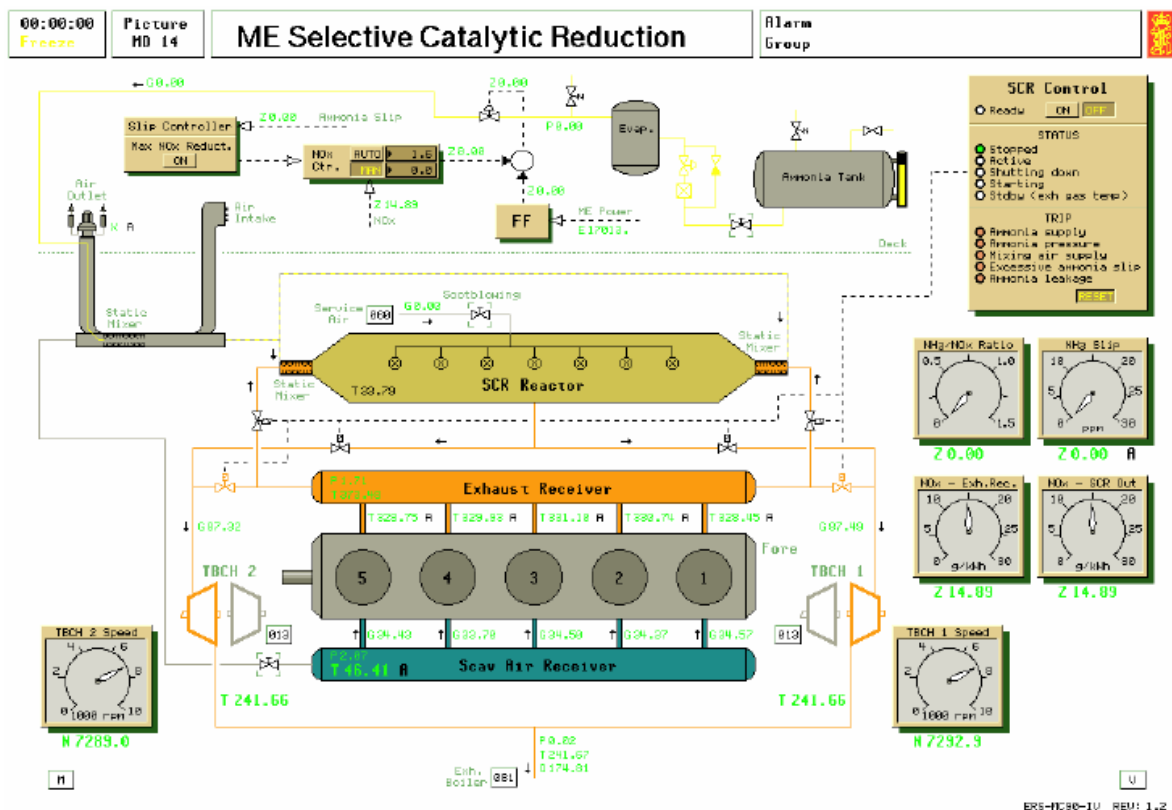
se procesnim računalom koje dozira  $\text{NH}_3$  u odnosu na  $\text{NO}_x$  što ga proizvodi motor ovisno o opterećenju. Odnos između proizvedenog  $\text{NO}_x$  i opterećenja motora mjeri se tijekom pokusnog rada na ispitnom stolu. Dobiveni odnos programira se računalom i služi za kontrolu doziranja  $\text{NH}_3$ . Doza se amonijaka potom namješta na odstupanje povratnog sustava na osnovi izmjenjenoga izlaznog signala  $\text{NO}_x$ .

Stupanj uklanjanja  $\text{NO}_x$  ovisi o količini dodanog amonijaka (izražen u omjeru  $\text{NH}_3/\text{NO}_x$ ). U isto će vrijeme količina neiskorištenog amonijaka (ispušteni  $\text{NH}_3$ ) porasti u očišćenom ispušnom plinu. Poželjno je da koncentracija neiskorištenog amonijaka u očišćenom plinu bude što manja jer kada ispušni plin dođe u kotao ili izmjenjivač topline, amonijak može reagirati s  $\text{SO}_3$  u ispušnom plinu pa će se ogrjevna površina onečistiti amonijevim sulfatom. Oksidacijom u SCR-procesu osim smanjenja emisije  $\text{NO}_x$  uklanja se i ponešto neizgorivih čestica i ugljikovodika iz ispušnih plinova.

Sustav (slika 17) kao minimum obuhvaća sljedeće podsustave.

- katalizator,
- kontrolni sustav,
- mjerni sustav,
- sustav za uštrcavanje.

Količine  $\text{NO}_x$  u ovim sustavima iznose oko 20g/kWh i smanjuju emisiju za 90% u odnosu na današnje norme.



Slika 17. Shema smanjenja  $\text{NO}_x$  plinova primjenom SCR metode na MAN B&W glavnom motoru