

Kristijan Lenac, dipl. ing.
Rijeka, Beli Kamik 4

Pregledni rad
UDK: 629.5.03
629.5.063.5
504.06

Primljeno: 15. travnja 2004.
Prihvaćeno: 10. svibnja 2004

COMMON RAIL SUSTAV

U ovom je radu prikazan princip rada sustava sa zajedničkim cjevovodom (Common Rail System) te WECS (Wartsila Electronic Control System) elektronskog sustava koji upravlja radom motora sa zajedničkim cjevovodom. Sustav ima mnoge prednosti u odnosu na klasične motore kao što su: smanjenje potrošnje goriva, smanjena težina motora, miran rad pri malim brojevima okretaja, smanjeni troškovi održavanja, a kao najvažnija se ističe znatno smanjena emisija štetnih plinova ispod granica koje propisuje MARPOL 73/78 konvencija iz čega se može zaključiti da će ovaj sustav u budućnosti biti sve zastupljeniji na brodovima. Smanjenju emisije štetnih plinova najviše je pridonijela elektronska regulacija količine ubrizganog goriva te vrijeme ubrizgavanja i elektronska regulacija otvaranja i zatvaranja ispušnih ventila.

Ključne riječi: common rail sustav, WECS-9500

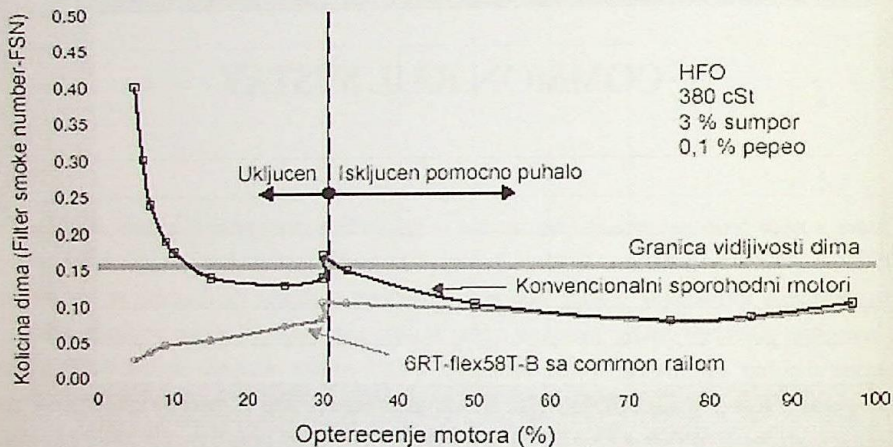
1. UVOD

Sulzer je 1993. godine počeo razvoj motora sa common rail sustavom, a prvi takav motor je ušao u upotrebu 2001. godine. To je bio Sulzerov motor 6RT-flex58T-B i razvijao je snagu do 11 275 kW. Common rail sustav danas sve više nalazi primjenu kod brodskih motora radi svojih brojnih prednosti pred standardnim tipovima motora. Najvažnije prednosti toga sustava su bezdimni rad motora pri malim brojevima okretaja, smanjena potrošnja goriva, povećana pouzdanost pri radu motora te značajno smanjenje težine motora. Kod motora sa common rail sustavom upravljanje svim važnijim funkcijama motora, kao što su vrijeme ubrizgavanja goriva, količina ubrizganog goriva, vrijeme otvaranja i zatvaranja ispušnih ventila, vrši elektronski sustav (WECS). WECS sa sastoji od dva glavna dijela i to: opće elektronske jedinice čija je funkcija regulacija tlaka u zajedničkom cjevovodu i cilindarske elektronske jedinice koja upravlja radom cilindra.

2. PREDNOSTI SULZEROVIH RT- FLEX MOTORA

Sulzerovi RT – flex motori sa Common Rail sustavom imaju brojne prednosti pred standardnim Sulzerovim motorima. Prednosti su sljedeće :

Bezdimni rad



Slika 1. Mjerenje emisije dima na Sulzer RT-flex motoru

Vidljiva prednost motora sa sustavom zajedničkog cjevovoda (Common Rail System) je bezdimni rad pri svim brojevima okretaja. Bolje izgaranje goriva se kod motora sa Common Rail sustavom postiže održavanjem tlaka ubrizgavanja goriva na optimalnom nivou pri svim brzinama. Uz to, selektivno zatvaranje ubrizgača i optimizirano otvaranje i zatvaranje ispušnih ventila pomaže pri održavanju emisije dima ispod vidljive granice, pri vrlo malim brzinama.

Emisija NO_x-a je kod Sulzerovih RT-flex motora ispod granica koje propisuje aneks 6 MARPOL 73/78 konvencije, jer je postignuta najbolja moguća ravnoteža između potrošnje goriva i emisije NO_x-a pri svim opterećenjima.

Smanjeni troškovi rada motora

Smanjenje troškova rada motora postiglo se je smanjenjem troškova održavanja i smanjenjem potrošnje goriva. Troškovi održavanja se mogu mnogo lakše predvidjeti radi bolje izbalansiranog rada motora i boljeg zadržavanja podešenosti motora za duži period radnih sati. Volumetrička kontrola Common Rail sustava omogućuje odličnu

izbalansiranost u proizvedenoj snazi među cilindrima motora i za svaki ciklus posebno. Budući da podešavanje motora vrši elektronski, performanse motora, kao što je potrošnja goriva, se ne pogoršavaju tijekom vremena. Bolji rad motora će također voditi do boljeg predviđanja vremena održavanja motora i na taj način omogućiti produženje vremenskog intervala između dva remonta broda.

Manje brzine rada motora

Kombiniranje precizne kontrole ubrizgavanja, visokog tlaka ubrizgavanja na malim brzinama i sekvencijalno zatvaranje ubrizgača omogućuje miran rad motora na vrlo malim brzinama bez dima, sve do 10% – 12% nominalne brzine.

Velika pouzdanost

Posebna pažnja je bila posvećena pouzdanosti RT-flex-a. Common Rail sustav također uključuje i zalihost, čime se povećava stupanj pouzdanosti i sigurnosti. Zalihost se postiže upotrebom većeg broja pumpi goriva i servisnog ulja, od kojih je uvijek jedna rezervna i uključuje se ukoliko dođe do kvara na pumpi koja radi, zajedno sa duplim sustavom visokotlačnih cijevi goriva, dobavnih pumpi servisnog ulja, te elektronskim sustavima. Više pumpi stvara adekvatnu zalihost za motore, tako da oni mogu proizvoditi potpunu snagu ukoliko je jedna pumpa goriva i jedna pumpa servisnog ulja izvan pogona, a ukoliko i ostale pumpe prestanu raditi, doći će samo do proporcionalnog smanjenja snage.

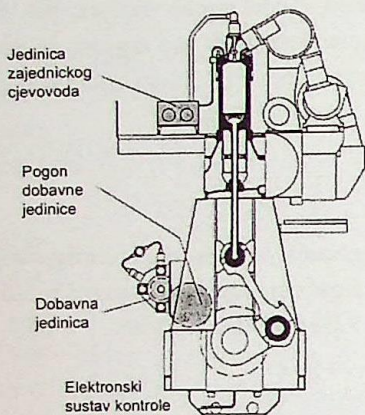
3. KLJUČNI ELEMENTI SULZEROVIH RT-FLEX MOTORA

Ključni elementi koji čine RT-flex motore boljima i korisnijima u odnosu na standardne Sulzerove motore su sljedeći :

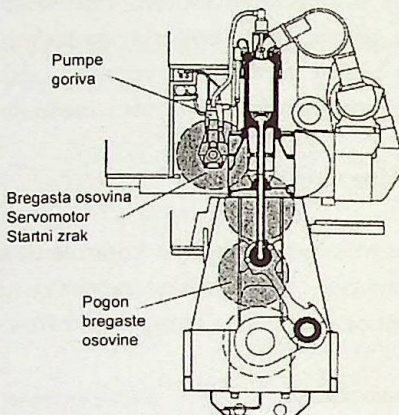
Common rail sustavi

Sulzerovi RT-flex motori uvode po prvi put ubrizgavanje goriva pomoću common raila kod modernih, velikih diesel motora. Dosadašnji sustav impulsnog ubrizgavanja goriva je kombinirao stvaranje tlaka, tempiranje i doziranje goriva u pumpama za ubrizgavanje sa ograničenom fleksibilnošću utjecaja na varijable ubrizgavanja. Za razliku od toga, common-rail sustav odvaja funkcije i na taj način daje mnogo veću fleksibilnost. On ima zasebne funkcije kontrole preciznog volumetričkog ubrizgavanja goriva, oblikovanja varijabli vremena ubrizgavanja i slobodnog odabira tlaka ubrizgavanja.

RT-flex motor



RTA motor

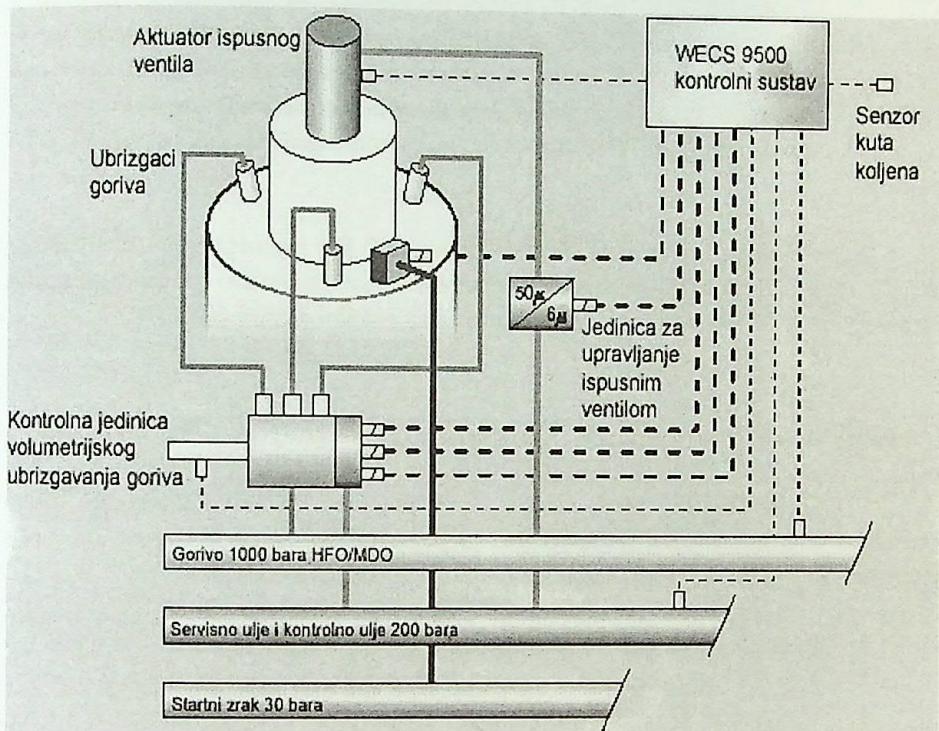


Slika 2. Razlika između RT-flex motora sa zajedničkim cjevovodom i RTA motora

Kvalitetne pumpe goriva

Kod ovih motora koriste se visoko iskoristive pumpe goriva, koje su bazirane na već dokazanom dizajnu pumpi za ubrizgavanje, korištenih kod Sulzerovih srednjehodnih motora. One dobavljaju adekvatnu količinu goriva u common railu pri tlaku dovoljno visokom za ubrizgavanje u cilindar. Common rail je ustvari glavni cjevovod koji se proteže cijelom dužinom motora malo ispod nivoa poklopaca cilindra. On osigurava određeni skladišni volumen za gorivo i ima ulogu prigušivača dinamičkih tlačnih udara.

Elektronska regulacija ubrizgavanja



Slika 3. Elektronski reguliran common rail sustav za ubrizgavanje goriva i rad ispusnog ventila

Gorivo se dobavlja preko common raila kroz jedinicu za kontrolu ubrizgavanja do standardnih ventila za ubrizgavanje. Kontrolna jedinica regulira vrijeme ubrizgavanja za svaki cilindar, regulira volumen ubrizganog goriva i podešava slijed ubrizgavanja. Tri ventila ubrizgača goriva u glavi cilindra se kontroliraju, neovisno jedan od drugog tako da oni mogu biti programirani da rade odvojeno ili zajedno, ako zatreba.

Upravljanje ispušnim ulja i sustavi servisnog ulja

Sulzerovi RT-flex motori također sadrže upravljanje ispušnim ventilom i regulaciju startnog zraka. Upravljanje ispušnim ventilima se vrši na isti način kao i kod postojećih Sulzer RTA motora sa hidrauličkom polugom, ali se pokretačka energija sada dobiva iz zajedničkog cjevovoda servisnog ulja pod tlakom od 200 bara. Opskrba servisnim uljem se vrši uz pomoć visokotlačnih hidrauličkih pumpi koje pokreće isti sklop zupčanika koji pokreće i pumpe goriva. Elektronski kontrolirana jedinica za upravljanje za svaki cilindar daje potpunu fleksibilnost za slijed otvaranja i zarvaranja ventila.

Jednostavni za ugradnju

Unatoč tome što se RT-flex motori mogu nazvati revolucionarnima, oni su potpuno kompatibilni sa RTA motorima što se tiče instalacije i brodskih operacija. To znači da su glavne vanjske dimenzije, temelji, glavni parametri motora i integracija sa brodom automatskom RT-flex motora identični sa onima odgovarajućih RTA motora.

Također je potrebno zamjetiti da u osnovi RT-flex motori imaju istu strukturu kao i postojeća RTA serija motora. Vitalni dijelovi motora kao što su ubrizgači goriva i ispušni ventili RT-flex motora su potpuno kompatibilni sa onima RTA motora.

4. SUSTAV REGULACIJE RADA MOTORA WECS-9500

WECS-9500 (Wartsila Electronic Control System) je kompjuterizirani sustav regulacije rada motora koji je specijalno razvijen za dvotaktne Sulzerove motore s Common Rail tehnologijom. Taj sustav regulira sljedeće funkcije motora :

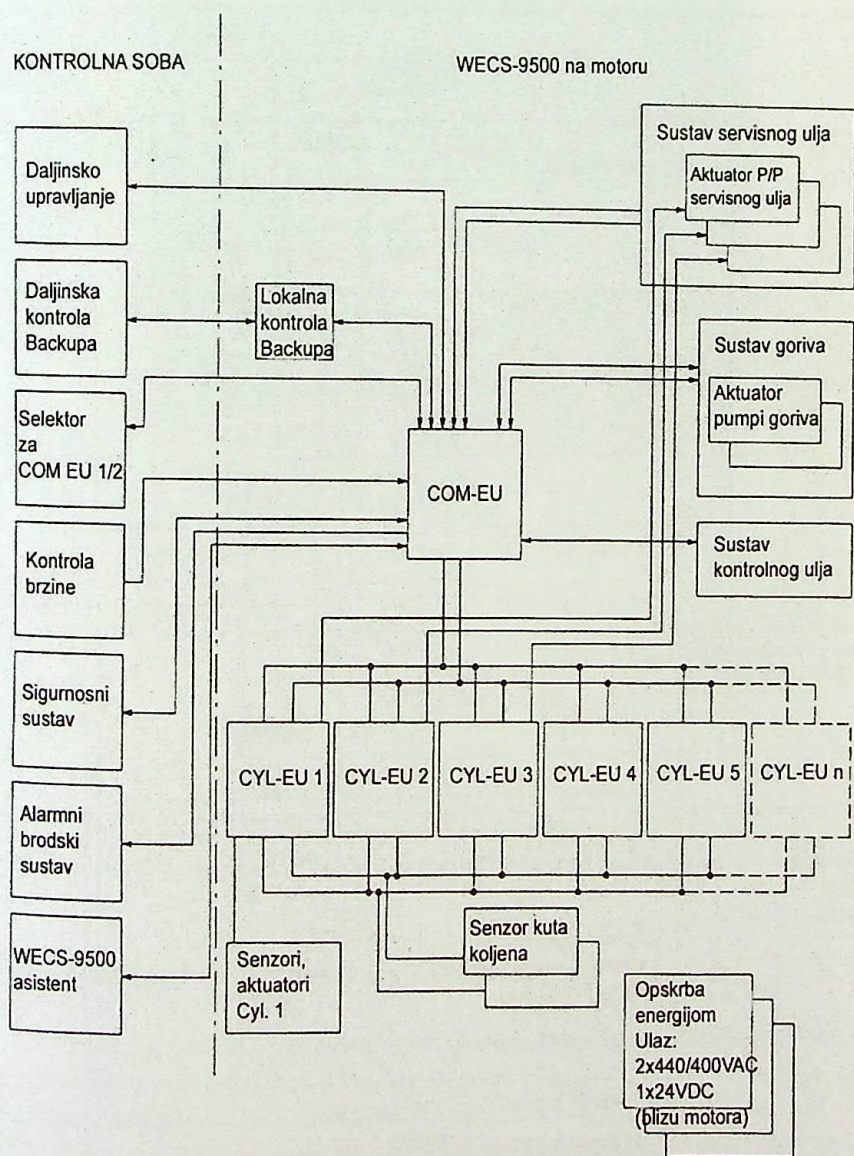
- Startanje, prekretanje i zaustavljanje
- Vrijeme ubrizgavanja i vrijeme otvaranja ispušnih ventila
- Tlak goriva
- Tlak servisnog ulja za otvaranje i zatvaranje ispušnih ventila
- Zalihost i funkcije nadzora

Slika 4 prikazuje WECS-9500 elektronski sustav te njegovu povezanost sa kontrolnom prostorijom. WECS-9500 elektronski sustav se sastoji od dva dijela i to: opće elektronske jedinice (1 po motoru) i cilindarskih elektronskih jedinica (1 za svaki cilindar). Opća elektronska jedinica vrši nadzor tlaka u zajedničkom cjevovodu, upravlja aktuatorima pumpi goriva te vrši komunikaciju sa kontrolnom sobom. Opća jedinica je povezana sa cilindarskim jedinicama preko dvije CAN sabirnice. Cilindarske kontrolne jedinice upravljaju aktuatorima pumpi servisnog ulja, otvaranjem i zatvaranjem ispušnih ventila, reguliraju pilot ventil startnog zraka te reguliraju volumetrijsko ubrizgavanje goriva. Backup mode služi da u slučaju neke greške na regulatoru brzine, motor također može nastaviti raditi uz pomoć ručno podesivog signala goriva.

Daljinski sustav regulacije radi ovisno od WECS-9500, ali je blisko povezan sa njime. WECS-9500 smješten je na samom motoru, dok je daljinski sustav upravljanja smješten u kontrolnoj sobi. Jedina komponenta WECS-9500 koja nije smještena na

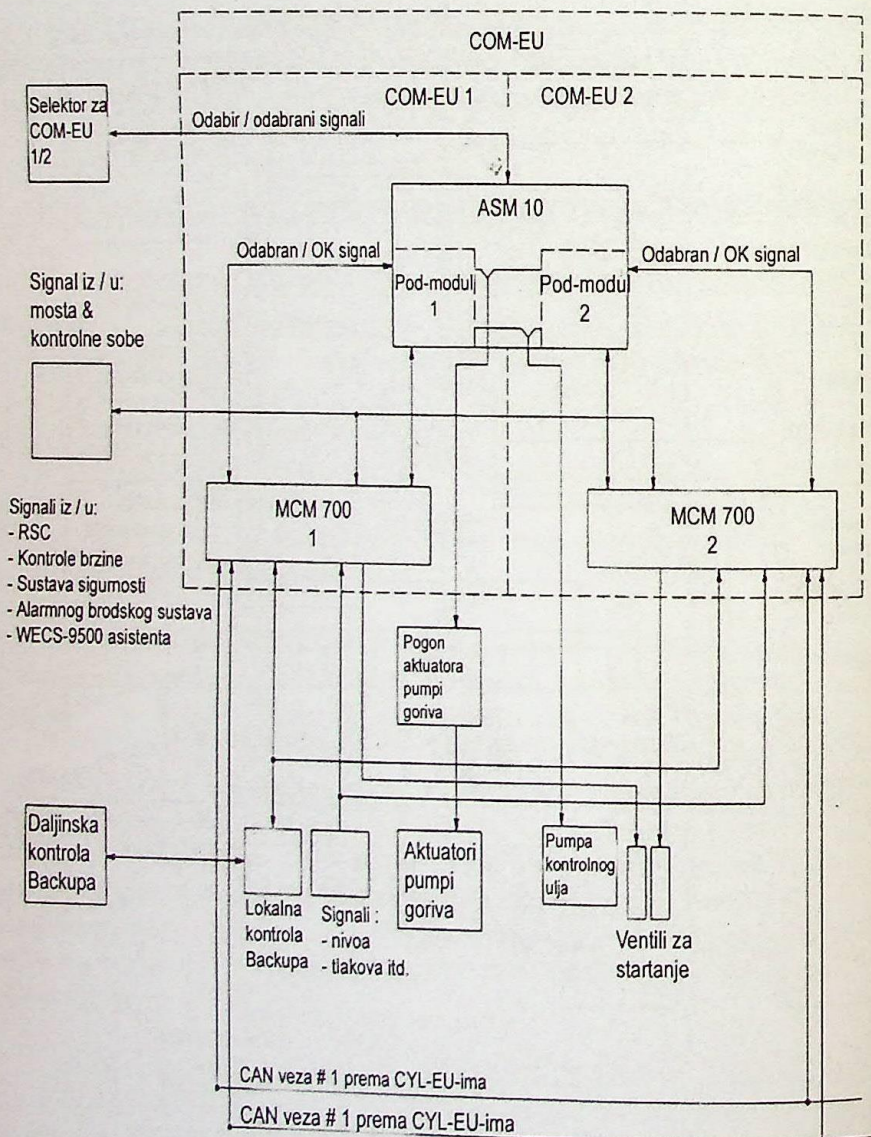
motoru nego u kontrolnoj sobi je WECS-asistent. Glavne komponente WECS-9500 sustava su :

- Opća elektronska jedinica (Common Electronic Unit – COM-EU), 1 po motoru (slika 5)
- Cilindarska elektronska jedinica (Cylinder Electronic Unit – CYL-EU), 1 po cilindru (slika 6)



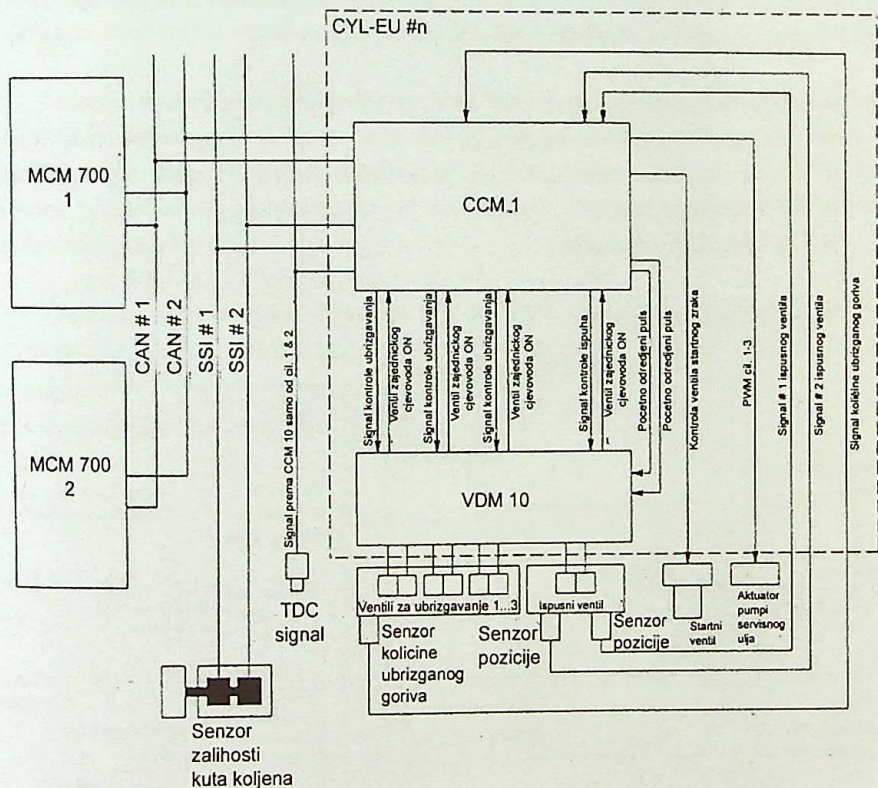
Slika 4. Povezanost između WECS-9500 i kontrolne sobe

Slika 5 prikazuje opću elektronsku jedinicu koja se sastoji od dva glavna kontrolna modula (MCM) od kojih jedan radi, a drugi je stand-by i uključuje se ukoliko prvi prestane raditi. Prebacivanje sa jednog kontrolnog modula na drugi može se izvršiti iz kontrolne sobe pomoću selektora za COM-EU. Glavni kontrolni moduli su CAN vezom spojeni sa cilindarskim jedinicama. Opća elektronska jedinica vrši komunikaciju sa sustavom daljinskog upravljanja, kontrolom brzine, sigurnosnim sustavima, alarmnim sustavima i WECS-9500 asistentom.



Slika 5. Opća elektronska jedinica (Common Electronic Unit – COM-EU)

Slika 6 prikazuje cilindarsku kontrolnu jedinicu koja se sastoji od cilindarskog kontrolnog modula (CCM) i pojačivača signala (VDM) među kojima postoji stalna komunikacija. Također CCM vrši komunikaciju sa MCM preko CAN veza te na nju dolazi signal o položaju kuta koljena, o položaju ispušnog ventila i signal o količini ubrizganog goriva. Cilindarska jedinica regulira volumen ubrizganog goriva, otvaranje i zatvaranje ispušnih ventila, regulira pilot ventil startnog zraka i upravlja aktuatorima pumpi servisnog ulja.



Slika 6. Cilindarska elektronska jedinica (Cylinder Electronic Unit – CYL-EU)

4.1. Kontrolne funkcije povezane s radom motora

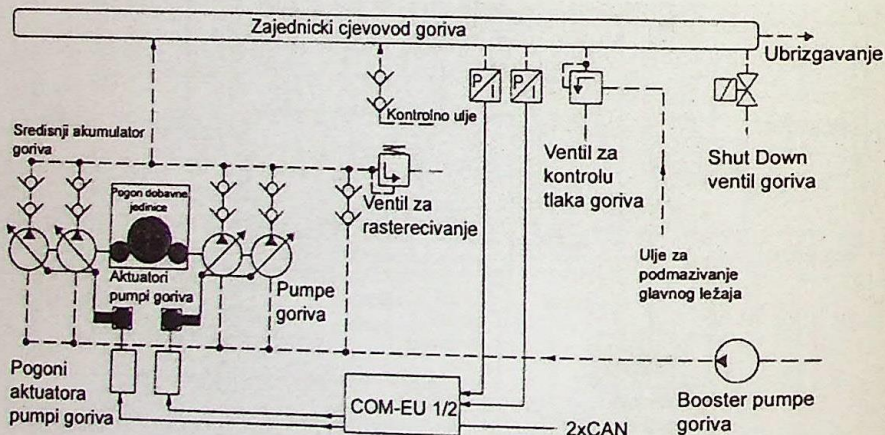
Funkcije povezane sa radom motora se kontroliraju i nadziru pomoću glavnog kontrolnog modula (Main Controller Module – MCM). Da bi se pokrile potrebne funkcije dovoljan je samo jedan modul po motoru, bez obzira na broj čilindara. Unatoč tome ugrađuju se po dva modula iz sigurnosnih razloga, jedan radi dok je drugi stand by. To znači da su CAN veza i i opskrba energijom uvijek uključeni, i u slučaju da aktivni MCM prestane raditi, uključuje se drugi modul, koji je bio stand

by, preko adaptera za odabir modula (Adapter Selector Module – ASM) pritiskom na dugme u kontrolnoj sobi, kako je prikazano na slici 5.

Uz funkcije unutarnjeg nadzora i regulacije, MCM također služi i kao veza sa eksternim uređajima kao što su kontrola brzine, alarmni sustav i DENIS-9 (Diesel Engine coNtrol and optImizing Specification). DENIS sadrži specifikacije za sustave upravljanja svim modernim tipovima Sulzerovih diesel motora. DENIS-9 je specifikacija za RT-flex60C diesel motor. Funkcije koje kontrolira glavni kontrolni modul (Main Controller Module – MCM) su:

- Regulacija tlaka goriva
- Regulacija tlaka servisnog ulja
- Komunikacija između WECS-9500 i eksternih sustava
- Funkcije nadzora
- Kontrola pumpi ulja

4.1.1. Regulacija tlaka goriva



Slika 7. Regulacija tlaka goriva

Prije startanja, u zajedničkom cjevovodu se postiže tlak od 200 bara pomoću kontrolnog ulja da bi se poboljšalo startanje. Te pumpe kontrolnog ulja se pokreću pomoću elektromotora, a kada starta motor one se isključuju i opskrbu uljem preuzimaju pumpe ulja pogonjene motorom. Prilikom startanja aktuator pumpi goriva se postavlja u poziciju start. Prilikom rada motora tlak goriva će ovisiti o opterećenju motora tj. što je veće opterećenje to i tlak goriva mora biti veći (pri maksimalnom opterećenju tlak goriva iznosi 1000 bara). Kontrolna petlja tlaka goriva u zajedničkoj cijevi se može opisati na sljedeći način :

- MCM (slika 5) dobiva signal o brzini motora iz kontrolnog modula cilindra

(Cylinder Control Module (slika6)) preko CAN-a.

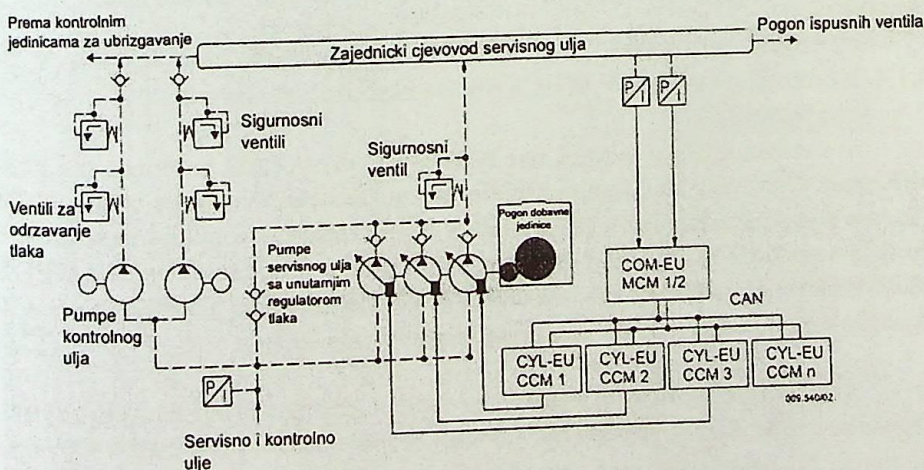
- Izlazni signal iz MCM-a ide na pogone aktuatora i aktuatore.
- Svaki aktuator regulira dvije ili tri pumpe goriva, ovisno o broju cilindara, preko nazubljene letve.
- Rezultirajući tlak u zajedničkoj cijevi mjeri se pomoću dva tlačna transmitera (PI) i idu kao povratni signal nazad u MCM (slika 5).

Prilikom gašenja motora aktuatori pumpi goriva postavljaju se u poziciju "nula" i aktivira se shut-down ventil goriva pomoću sigurnosnog sustava.

Ukoliko dođe do kvara na jednom od aktuatora pumpi goriva, njegova regulirana vrijednost ostaje na poziciji na kojoj je bila prije kvara ili se pomiče na maksimum uz pomoć opruge. Drugi aktuator i dalje regulira tlak goriva. Kad je opterećenje ispod polovice maksimalnog opterećenja, sav višak goriva se ispušta pomoću kontrolnog ventila tlaka goriva.

Ukoliko nije postignut dovoljan tlak u zajedničkoj cijevi pomoću kontrolnog ulja, motor će i dalje moći startati, ali će se povećati potrošnja startnog zraka.

4.1.2. Regulacija tlaka servisnog ulja



Slika 8. Regulacija tlaka servisnog ulja

Integrirani mehanički kontroler tlaka sa električkim podesivačem ugrađen je za svaku pumpu servisnog ulja. Podešavanje se vrši pomoću pulsog signala od 0 – 2.5 ampera (istosmjerne struje) pri frekvenciji od 60 – 100 Hz. Vrijednost na koju se

podešava je uglavnom funkcija opterećenja motora. Tu vrijednost daje MCM i ona se prenosi na CCM. Regulacija u zatvorenoj petlji kompenzira gubitke tlaka u cijevima između pumpi i zajedničke cijevi servisnog ulja. Svaki CCM osigurava po jedan izlaz. Decentralizacija povećava dostupnost sustava servisnog ulja.

Ukoliko jedna servo pumpa prestane raditi, sustav će i dalje nastaviti svoj rad. Opterećenje preuzimaju druge pumpe.

4.1.3. Komunikacija s WECS-asistentom

Parametri koji se podešavaju podijeljeni su u dvije grupe :

- Parametri za korisnike, dostupni su bez šifre
- Parametri za eksperte, dostupni su samo sa šifrom

Parametre za korisnike kao što je npr. maksimalna količina goriva, mogu podešavati članovi posade na brodu, dok parametre za eksperte mogu mijenjati isključivo graditelji broda, servisno osoblje, uglavnom tijekom uhadavanja broda. Tipičan takav parametar je redoslijed paljenja motora koji se podešava samo jednom.

Sve informacije o trenutnom statusu WECS-9500 su dostupne na ekranu WECS-asistenta. To uključuje izmjerene vrijednosti senzora, alarme, namještene parametre.

4.1.4. Komunikacija između WECS-9500 i eksternih sustava

Sve komande za rad motora, npr. NAPRIJED ili NAZAD, generiraju se u RCS-u (Remote Control System) prema zahtjevima rukovatelja. Na drugu stranu, MCM generira signal opterećenja i šalje ga na RCS. Signal zraka za propuhivanje se prenosi do RCS-a preko WECS-9500, i radi toga je taj signal redundantan. Ukoliko WECS-9500 detektira neku grešku on šalje signal o njoj do brodskog alarmnog sustava ili signal za usporavanje / gašenje motora do sigurnosnog sustava.

Regulator brzine motora je nezavisni elektronički uređaj i nije dio WECS-9500. Regulator brzine šalje "signal goriva" na WECS-9500. Nakon što WECS-9500 primi taj signal, MCM ga dalje šalje svim CCM-ovima. Taj signal predstavlja reguliranu vrijednost za količinu goriva koju treba ubrizgati u cilindar. U slučaju neke greške na regulatoru brzine, motor također može raditi uz pomoć ručno podesivog signala goriva (backup mode).

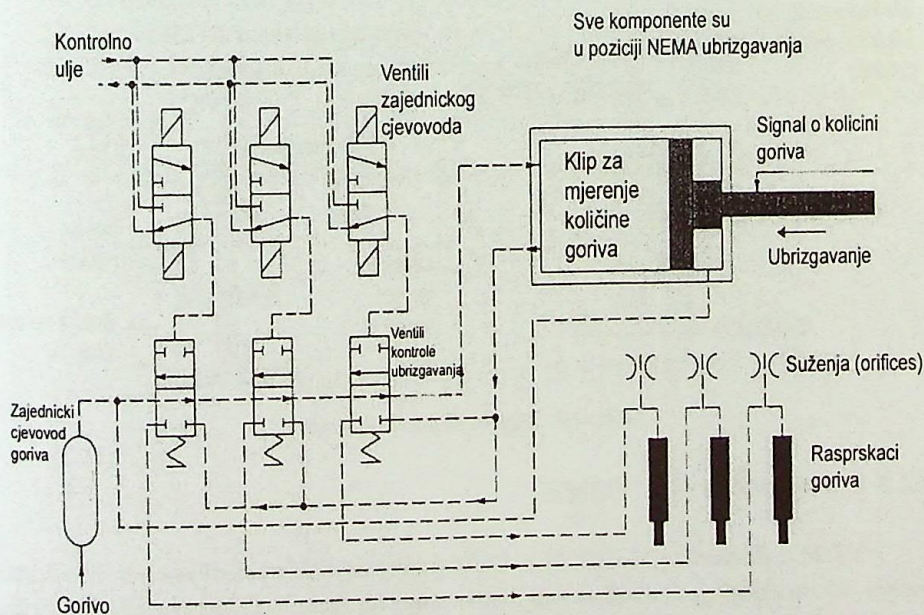
4.2. Kontrolne funkcije povezane s radom cilindara

Svaki cilindar je opremljen sa CYL-EU koji sadrži CCM i VDM module. CAN sabirnica osigurava komunikaciju između CYL-EU-ova i COM-EU-a. CYL-EU dobiva signal kuta koljena. Ukoliko dođe do kvara na CYL-EU, cilindar kojim ona upravlja isključuje se iz rada. Ostale CYL-EU nastavljaju raditi.

Funkcije koje kontrolira CYL-EU su sljedeće:

- Regulacija volumetrijskog ubrizgavanja, uključujući VIT (Volumetric Injection Timing)
- Regulacija ispušnih ventila, uključujući VEO (Variable Exhaust Valve Opening)/VEC (Variable Exhaust Valve Closing)
- Regulacija pilot ventila startnog zraka
- Kontrolni signal za jednu pumpu servisnog ulja
- Nadzor

4.2.1. Regulacija volumetrijskog ubrizgavanja goriva



Slika 9. Regulacija volumetrijskog ubrizgavanja goriva

Svi ventili za ubrizgavanje se reguliraju pojedinačno, ali sa jednim zajedničkim povratnim signalom o potrebnoj količini goriva za ubrizgavanje. Normalno je da se svi

ventili za ubrizgavanje aktiviraju zajedno i vrše ubrizgavanje u jednom taktu. Specijalni modovi rada omogućuju ubrizgavanje sa samo jednim ili dva ventila ili ubrizgavanje sa prekidima. Da bi se poboljšalo raspršivanje pri niskim opterećenjima, jedan ili dva ventila se automatski isključuju.

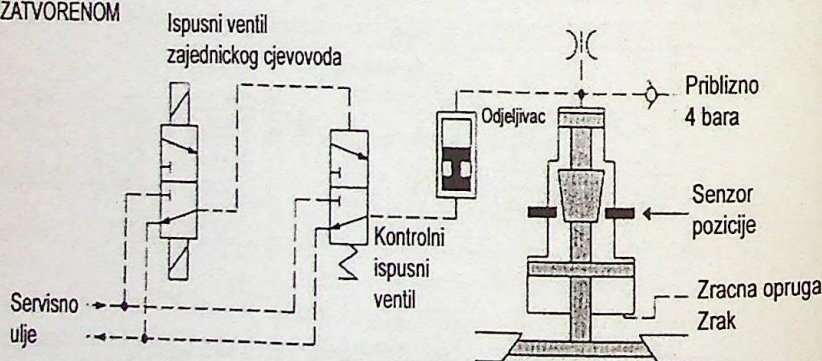
Ukoliko se pokvari senzor količine goriva, automatski se prelazi na mehanički regulirano ubrizgavanje.

4.2.2. Regulacija ispušnih ventila i ventila startnog zraka

Ispušni ventil se otvara i zatvara jednom po okretaju. Njegovo pomicanje mjere dva senzora pozicije. CCM kontrolira otvaranje i zatvaranje ispušnih ventila. VDM se koristi da bi pojačao izlazne signale do određene granice koja je potrebna ventilima zajedničkog cjevovoda.

U slučaju da je pokvaren samo jedan senzor, ventil nastavlja raditi sa preostalim senzorom, a u slučaju da se pokvare oba senzora, prelazi se na vremenski regulirani rad ventila tog cilindra. Otvaranje i zatvaranje ventila startnog zraka vrši se direktno pomoću CCM-a, jednom po okretaju pri određenom kutu koljena dok motor radi.

Sve komponente su prikazane u ZATVORENOM položaju



Slika 10. Regulacija ispušnih ventila

4.2.3. Funkcionalan opis VDM-a

VDM je dodatni modul CCM-a. On je projektiran da opskrbljuje pet bistabilnih ventila zajedničkog cjevovoda sa odgovarajućom strujom. VDM pojačava kontrolni signal ventila zajedničkog cjevovoda koji dolazi sa CCM-a do jačine koja odgovara potrebama ventila zajedničkog cjevovoda. Da bi se smanjila potrošnja energije, struja aktivne zavojnice se isključuje čim se prebaci na drugi ventil zajedničkog cjevovoda. Dužina "ON-time" signala se mjeri u CCM-u i koristi se za nadzor radnog stanja svakoga ventila zajedničkog cjevovoda.

5. ZAKLJUČAK

Common rail sustav predstavlja značajan napredak u razvoju brodskih motora i temelj je za daljni razvoj motora nove generacije. Vrlo bitna značajka motora sa common railom je smanjenje emisije štetnih plinova ispod granica koje su propisane strogim zakonima o zaštiti okoliša (MARPOL 73/78). Common rail sustav je u potpunosti automatiziran i sa svim važnijim funkcijama motora, kao što su ubrizgavanje goriva, otvaranje i zatvaranje ispušnih ventila, itd., upravlja elektronski sustav tako da je mogućnost ljudske greške svedena na minimum. Jedini nedostatak tog elektronskog sustava je da ukoliko dođe do kvara na elektronskoj kontrolnoj jedinici, posada broda nikako ne može otkloniti taj kvar jer za njegovo dijagnosticiranje i popravak treba posebna oprema koja je dostupna samo u ovlaštenim servisima. Elektronska upravljačka jedinica se sastoji od dva dijela: od opće elektronske jedinice i cilindarske elektronske jedinice.

LITERATURA

- [1] Aeberli K.: Common Rail: The Way Ahead for Ship Propulsion, Wartsila Switzerland Ltd.
- [2] Sulzer RT-flex low speed engines
- [3] Sulzer RT-flex60C Operating Manual, Wartsila Switzerland Ltd.
- [4] Sulzer RT-flex50C and RTA50 Information Release, Wartsila Switzerland Ltd.
- [5] Sulzer RT-flex60C Tehnology Review, Wartsila Switzerland Ltd.

Summary
COMMON RAIL SYSTEM

This paper outlines the operative principle of the Common Rail System and WECS (Wartsila Electronic Control System) that controls the engine performance of the common rail system. In comparison to classical engines the system has many advantages, such as: decreased fuel consumption, reduced engine weight, smoother running during low rpm, lesser maintenance costs, and most important is that the system provides considerable reduction of detrimental gas emission below the level prescribed by the MARPOL 73/78 Convention, from which it may be concluded that this system will to a steadily increasing extent be used on ships in the future. The electronic control system that regulates the quantity of injected fuel and the intervals of injection along with electronic regulation of the opening and closing of the exhaust valves have in the highest degree contributed to the reduction of detrimental gas emission.

Key words: common rail system, WECS-9500

*Beli kamik 4, 51000 Rijeka
Croatia*