

# Primjena ekspertnih sustava za održavanje suvremenih brodskih motora

---

Škalic, Boško

Master's thesis / Diplomski rad

2016

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:533544>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**BOŠKO ŠKALIC**

**PRIMJENA EKSPERTNIH SUSTAVA ZA  
ODRŽAVANJE SUVREMENIH BRODSKIH  
MOTORA**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2016.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**NAZIV STUDIJA: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE  
TEHNOLOGIJE**

**PRIMJENA EKSPERTNIH SUSTAVA ZA  
ODRŽAVANJE SUVREMENIH BRODSKIH  
MOTORA**

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:**

**doc. dr. sc. Ivan Komar**

**STUDENT:**

**Boško Škalic (MB:0171233642)**

**SPLIT, 2016.**

## SAŽETAK

U radu je izložen način održavanja suvremenih brodskih motora pomoću ekspertnih sustava. Pojam suvremeni brodski motor, se odnosi na elektronički upravljani motor. Razvojem pomorstva i brodova, pri tome mislimo na njihovu veličinu, snagu i mogućnosti razvijale su se i popratne stvari bez kojih brod ne bih imao funkciju. Pri tome mislimo na održavanje, moderniziranje, automatizaciju broda i slično.

Modernizacija i automatizacija broda je zapravo zamjena ljudske radne snage strojevima. Ti strojevi moraju biti funkcionalni i moraju izvršavati zadatke onako kako ih čovjek uputi, te biti njegova dostojna zamjena.

Ekspertni sustavi su računalni programi temeljeni na znanju iz nekog specijalističkog područja. U području za koje su izrađeni, postižu kvalitetu i efikasnost zaključivanja eksperta, te pomažu u rješavanju problema. U rješavanju problema ekspertni sustavi ponajviše se oslanjaju na integrirano znanje eksperta, što odgovara spoznaji da su eksperti efikasni u rješavanju problema prvenstveno zbog svog akumuliranog znanja. U radu se opisuje rad i djelovanje ekspertnog sustava "CoCoS" kojeg razvija tvrtka MAN-B&W za svoje motore, ekspertnog sustava MAPEX razvijenog od tvrtke Wartsilla Sulzer, te sustava SCADA namjenjenog kontroli i nadziranju suvremenog brodskog motora.

**Ključne riječi:** Ekspertni sustavi, Suvremeni brodski motori, Održavanje, Automatizacija, CoCoS, MAPEX, SCADA

## SUMMARY

The paper presenting the maintenance of modern marine engines using expert systems. The concept of modern marine engine, refers to an electronically controlled engine. The development of shipping and ships, it is our opinion of their size, strength and capabilities were developed and supporting things without which ship would not have the function. By this I mean the maintenance, modernization, automation of the ship and the like. Modernization and automation of the ship is actually a replacement of human labor machines. These machines must be functional and must perform tasks as instructed them to the man, and to be his worthy replacement.

Expert systems are computer programs based on knowledge for some specialist areas. The area for which they are made, achieve quality and other expert conclusion, and help solve problems. In solving the problem of expert systems mainly rely on the integrated knowledge of experts, what corresponds to the knowledge that experts are efficient in solving problems primarily because of its accumulated knowledge. This paper describes the work and activities of the expert system "CoCoS" developed by company MAN-B & W for their engines, an expert system developed by the company MAPEX Wartsilla Sulzer AND SCADA system intended for control and monitoring of modern marine engine.

**Keywords:** Expert systems, Modern engines, Maintenance, Automation, CoCoS, MAPEX, SCADA

# SADRŽAJ:

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. UVOD.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. SUSTAV ODRŽAVANJA BRODA .....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1 Uvod u sustav održavanja broda .....   | 3         |
| 2.2 Ciljevi održavanja broda .....   | 4         |
| 2.3 Vrste održavanja broda .....   | 5         |
| 2.4 Planiranje zahvata održavanja .....  | 10        |
| 2.5 Troškovi održavanja .....  | 12        |
| <b>3. ODRŽAVANJE S OBZIROM NA POUZDANOST .....</b>   | <b>14</b> |
| 3.1 Svrha RCM-a .....  | 15        |
| 3.2 Određivanje granica opreme .....   | 17        |
| 3.3 Primjer podjele komponenti elektromotora mlina sirovine u tvornici ‘Sv.Juraj’<br>Dalmacijacement ..... | 19        |
| 3.4 Kvarovi na komponentama .....  | 20        |
| 3.5 Analiza kvarova .....  | 23        |
| 3.5.1 Kritičnost kvarova .....   | 23        |
| 3.5.2 Obrasci pojave kvarova.....  | 24        |
| 3.6 Odabir metode održavanja .....   | 25        |
| <b>4. EKSPERTNI SUSTAVI .....</b>  | <b>32</b> |
| 4.1 Ekspertni sustavi na brodu.....  | 32        |
| 4.2 Pojam i definicija ekspertnih sustava.....   | 34        |
| 4.3 Ekspertni model .....  | 38        |
| 4.4 Model samoodržavanja .....   | 39        |
| 4.5 Programski jezici i alati za izradu ekspertnih sustava .....   | 40        |
| <b>5. EKSPERTNI SUSTAV "CoCoS" .....</b>   | <b>42</b> |
| 5.1 Razvoj ekspertnog sustava "CoCoS" .....  | 42        |
| 5.2 Moduli ekspertnog sustava "CoCoS" .....  | 44        |
| 5.2.1 Modul EDS (Engine Diagnosis System) – Sustav praćenja stanja motora.....                             | 44        |
| 5.2.2 Modul MPS (Maintenance Planning System) – Sustav planiranja održavanja.....                          | 46        |
| 5.2.3 Modul SPC (Spare Part Catalogue) – Katalog rezervnih dijelova .....                                  | 48        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2.4 Modul SPO (Stock Handling and Spare Part Ordering) – Vođenje zaliha i naručivanje rezervnih dijelova..... | 50        |
| <b>6. EKSPERTNI SUSTAV "MAPEX" .....</b>  | <b>52</b> |
| 6.1 Razvoj ekspertnog sustava "MAPEX" .....   | 52        |
| 6.2 Moduli ekspertnog sustava "MAPEX" .....   | 53        |
| 6.2.1 MAPEX-PR – Pouzdanost rada klipova.....   | 53        |
| 6.2.2 SIPWA-TP – Trošenje stapnih prstenova.....  | 54        |
| 6.2.3 MAPEX-SM - Rezervni dijelovi i održavanje .....   | 55        |
| 6.2.4 MAPEX-TV – Otkrivanje torzionih vibracija.....  | 56        |
| 6.2.5 MAPEX-AV – Otkrivanje aksijalnih vibracija .....  | 56        |
| 6.2.6 MAPEX- CR – Pouzdanost izgaranja.....   | 56        |
| 6.2.7 MAPEX- FC – Nadzor ubrizgavanja goriva .....  | 57        |
| <b>7. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) .....</b>  | <b>58</b> |
| 7.1 Razvoj sustava SCADA.....   | 58        |
| 7.2 Koncept rada SCADA sustava.....   | 59        |
| <b>8. ZAKLJUČAK.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>9. LITERATURA .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>10. POPIS TABLICA .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>11. POPIS ILUSTRACIJA.....</b>   | <b>66</b> |
| <b>11. POPIS KRATICA.....</b>   | <b>67</b> |

# 1. UVOD

Koncept ovog rada je zamišljen na način, da će se najprije obraditi općenito cijeli sustav održavanja broda. Glavne podjele od kojih se sastoji brodsko održavanje bit će smjernica za objašnjenje ekspertnih sustava koji su razvijeni da poboljšaju uspješnost broskog održavanja.

Učinkovito iskorištavanje broda kao tehnološkog sredstva, zahtijeva izradu plana održavanja. Izvodi se pregled brodskih sustava i određivanje potrebnih zahtijeva održavanja prema prioritetu. Iz knjige "Održavanje brodskih pogona" [3] korištena je literatura za opis podjela broskog održavanja.

Uspješnost provođenja broskog održavanja se očitava u ostvarenim ciljevima koji su zadani prije samog početka provođenja održavanja. Ciljevi su dakako, što bolja pouzdanost rada broskog sustava uz što manje troškove. Održavanje broda mora biti smišljeno i kordinirano. Dvije osnovne podjele održavanja koje su u radu detaljno opisane su preventivno i korektivno održavanje. Preventivno se provodi prije, a korektivno nakon nastanka kvara.

Preventivni zahvat održavanja na brodu se izvodi planski. U radu je prikazan način izračuna indeksa kvarova. Dijagram troškova održavanja najbolje prikazuje odnos troškova održavanja i troškova zastoja [16]. Na njemu se jasno vidi da je početno ulaganje u održavanje veliko, ali kroz određeni vremenski period troškovi su puno manji nego kod troškova zastoja broda. Održavanje s obzirom na pouzdanost (RCM) je pojašnjeno koristeći literaturu "Electrical power stations, electrical and instrumentation systems, equipment and instalation maintenance activities in Cemex Croatia d.d, 2014." [10]. Naime u tvornici cementa "Sv. Juraj" Cemex Hrvatska, metoda RCM je u fazi implementacije.

Za ekspertne sustave u radu su izloženi pojam i definicija. Svaki eksperti sustav sadrži u sebi ekspertni model kojeg sačinjavaju moduli za pripremu podataka, referentni podaci te programski moduli.

Najuobičajeni alat za razvoj ekspertnog sustava čine programski jezici opće namjene. Izbor adekvatnog alata, ključni je element u razvoju ekspertnih sustava.

Koristeći literaturu "CoCoS User guide" [7], [8], [9] izdanu od kompanije MAN-B&W za korisnike "CoCoS" ekspertnog sustava поближе je prikazan njegov rad, podjela i svrha. Program je podijeljen na samostalne, ali povezane module, pokrivajući čitav sustav planiranog održavanja. Sastoji se od četiri glavna modula:



- Sustav praćenja stanja motora
- Sustav planiranja održavanja
- Katalog rezervnih dijelova
- Vođenje zaliha i naručivanje rezervnih dijelova

Ekspertni sustav MAPEX je proizvod tvrtke Wartsilla Sulzer. Za njegov opis korištena je literatura preuzeta iz knjiga "Automatizacija broda II" [2] i "L. Vision of Engineering" [6]. Sustav sadrži podjelu na 7 modula i to:

- Pouzdanost rada klipova
- Trošenje stapnih prstenova
- Rezervni dijelovi i održavanje
- Otkrivanje torzionih vibracija
- Otkrivanje aksijalnih vibracija
- Pouzdanost izgaranja
- Nadzor paljenja

Navedeni moduli mogu se koristiti kao cjelina ili mogu raditi odvojeno neovisno jedan o drugom.

SCADA je sustav kontrole, nadziranja i prikupljanja podataka. Ovi sustavi u različitim oblicima postoje još od 60-tih godina, a od 90-tih godina 20. stoljeća doživljavaju veliku ekspanziju sa pojavom sve bržih i efikasnijih računalnih i mikrokontrolerskih uređaja. Mogu se koristiti za jednostavan nadzor (npr. temperature, vlažnosti zraka, tlaka), kao i za kompleksan nadzor i upravljanje proizvodnim procesima i regulacijom. U radu je izložen i opisan rad SCADA sustava parnih kotlova na brodovima. Korištena je literatura preuzeta sa stranice (training material Alfa Laval) Danske kompanije "Aalborg" koja se bavi izradom i servisiranjem parnih kotlova na brodovima [11].

## **2. SUSTAV ODRŽAVANJA BRODA**

### **2.1 Uvod u sustav održavanja broda**

Održavanje broda podrazumijeva postupak pregleda, popravka ili poboljšanja nekog uređaja čime mu se otklanja kvar, poboljšava postojeće stanje ili samo produžava radni vijek. Održavanje sustava je niz postaka provedenih za sprječavanje zastoja, odnosno vraćanje sustava iz zastoja u radno stanje u zadanom vremenu i pri propisanim uvjetima okoline. Teorija održavanja temelji se na dva zahtjeva:

1. Troškovi održavanja moraju biti što manji
2. Uređaj mora raditi što pouzdanije

Sustav održavanja broda se može definirati i kao provođenje svih tehničkih aktivnosti sa ciljem da dio sustava zadržimo ili vratimo u radno stanje, u kojem vrši zahtijevanu funkciju.

Cilj održavanja broda je efikasni nadzor za tehnički sustav (brod i njegovi sustavi) uz niske troškove i u skladu sa sigurnosnim zahtjevima. Sustav održavanja je jedna organizacijska cjelina resursa (osoblja, uređaja, rezervnih dijelova), metoda (postupaka, informacija) i objekta održavanja (tehnički sustav - brodski pogon) u ostvarivanju gore spomenutog cilja.

Četiri glavna faktora utječu na funkcionalnost održavanja broda:

1. operater (direktno posada ili indirektno - logističko osoblje smješteno na kopnu - ured),
2. okolina (promet, luke, pristaništa, luke u slučaju potrebe, klima, uvjeti na moru i sl.),
3. zakonitost (pravila i propisi koja brod mora zadovoljiti)
4. održavanje.

U sustavu broskog održavanja brod je centralno mjesto. Resursi uključeni u održavanje broda su u skladu s uputama koje su specificirane u konceptu održavanja. Koncept održavanja definira ili pobliže određuje (u kooperaciji s tri druga faktora: operater, zakonitost, okolina) funkcionalnost održavanja. Način održavanja je reakcija operacije sustava. Ono uključuje stanje pogoršanja, postupno slabljenje performansi i kvarove.

Funkcionalnost održavanja određuje troškove, koji se za uzvrat koriste u procjeni efikasnosti koncepta održavanja. Efikasnost koncepta održavanja također se ocjenjuje kontroliranjem usuglašenosti sa sigurnosnim zahtjevima. Koncept održavanja uključuje specifikaciju preventivnih (PM) i korektivnih (CM) zadataka koji su potrebni da povrate ili

zadrže opremu u specificirano stanje. Koncept uključuje: plan izvršenja zadataka (plan održavanja), razinu održavanja i potrebne resurse za izvršenje zadataka.

## **2.2 Ciljevi održavanja broda**

Osnovni cilj učinkovitog održavanja broda je omogućavanje stalne funkcionalne sposobnosti pod zadanim uvjetima, kroz određeno razdoblje uz minimalne troškove. Ovaj cilj se može ostvariti različitim modelima i konceptima održavanja.

Osnovni ciljevi održavanja broda:

- postizanje minimalnih zastoja u radu
- postizanje optimalnih troškova održavanja
- održavanje radne sposobnosti i produžavanje vijeka trajanja
- postizanje zadane kvalitete
- održavanje normalnih uvjeta rada

U svrhu postizanja zadanih ciljeva, postavljaju se i zahtjevi za minimalnim zastojima zbog održavanja. To se prvenstveno odnosi na ključnu opremu.

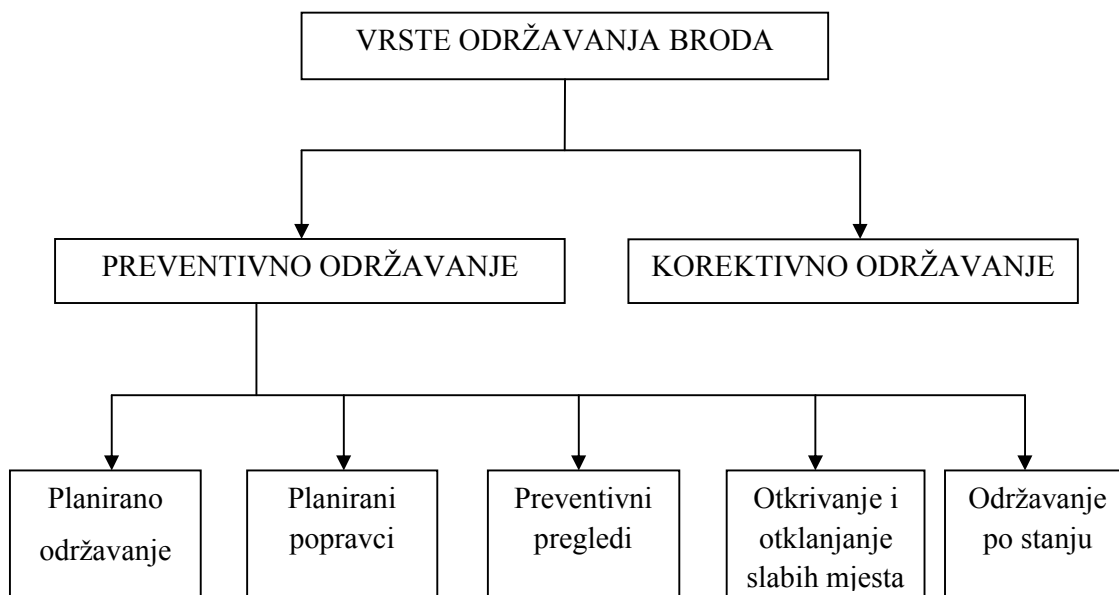
Približavanje željenom cilju održavanja, provode se razne tehnike i metode:

1. Formaliziranje pristupa upravljanja rizikom (primjena tehnike RCA).
2. Primjenom suvremene strategije održavanja (primjena tehnike RCM).
3. Potpuno produktivno održavanje (primjena tehnike TPM).
4. Izvršavanje integracija utjecaja ljudskog faktora (pouzdanost, pogreške, itd.).
5. Primjena participativnog pristupa u projektiranju opreme.

S obzirom na zadatke i djelokrug održavanja, mogu se utvrditi primarni i sekundarni zadaci održavanja broda. U primarne zadatke se ubrajaju: održavanje brodova, održavanje eksploatacijskih sustava i instalacija, pregledi i podmazivanje elemenata sustava, rekonstrukcija pogona brodova, izrada raznih konstrukcija i instalacija te postavljanje nove opreme. Sekundarni zadaci održavanja broda su: briga oko održavanja uvjeta rada, provođenje propisanih sigurnosnih mjera, iskorištavanje otpadnih materijala, davanje mišljenja o kupovini nove opreme, odlučivanje o izuzimanju opreme radi popravka i slično.

## 2.3 Vrste održavanja broda

Razvojem sve složenijih brodskih porivnih sustava i traženje rješenja koja bi im omogućila da budu u funkciji bez zastoja ili da se zastoji svedu na najmanji mogući broj, pogodovali su da se u svijetu razvije niz pristupa i koncepata održavanja. Na slici 1. su prikazane vrste održavanja broda.



Slika 1. Vrste održavanja broda [3]

**Korektivno održavanje** (CM – Corrective Maintenance) je najstariji model održavanja opreme, a izvodi se nakon što je došlo do kvara. Najjednostavniji sustav održavanja je onaj pri kojemu nema nikakvog održavanja, ni planiranja. To je sustav održavanja koji je prividno najjeftiniji, jer su troškovi tekućeg održavanja jednaki nuli, naime nema ih, kao ni tekućeg održavanja. Kod ovog načina održavanja uređaj se upotrebljava sve dok ne otkáže, a tada se vrši popravak. Problem kod ovog načina održavanja jest da uređaj traje onoliko koliko traje njegova najslabija komponenta, a tada moramo vršiti popravak i zamjenu dijela ili uređaja koji je otkazao. Da bi uspješno otklonili kvar potrebno je na brodu imati zamjenski dio ili uređaj, što utječe na količinu dijelova koje je potrebno imati na brodu. Ovaj način održavanja, sa svim svojim nedostacima je još uvijek prisutan u upotrebi na brodovima. Zbog nepostojanja redovitog održavanja, cijeli sustav je nepouzdan i ne bi se smio primjeniti na uređaje koji su bitni za normalno izvršavanje namjene broda, već samo za sporedne sustave

koji svojim otkazivanjem neće utjecati na normalan rad broda. Postoji još jedan problem pri ovoj vrsti održavanja. To je velika vjerojatnost posljedičnog kvara, tj. djelovanja dijela koji je otkazao na druge dijelove, a time uzrokuje dodatnih troškova. Zbog toga nije uputno ovim načinom održavati skuplje uređaje, već samo uređaje zanemarive važnosti, odnosno uređaje koji neće dovesti u pitanje sposobnost plovila da obavlja svoju svakodnevnu zadaću, a uz to su dovoljno jeftini da bi troškovi rada na njima prelazili njihovu vrijednost. To su manji uređaji za sporedne namjene. Većinom su to uređaji koji se koriste u kuhinjama ili sanitarnim prostorijama broda.

Korektivno održavanje na brodu je temelj potpunog iskorištenja elemenata sustava, te se sve manje primjenjuje i to uglavnom za slučajeve kada zastoj elemenata sustava ne može utjecati na sigurnost posade, ne uzrokuje teže havarije i lomove, nije u funkciji dugih zastoja, ne rezultira visokim troškovima i važnije ne utječe na stupanj iskorištenja sustava.

Za vrijeme eksploatacije sustava dolazi do opadanja nazivnih karakteristika i tada je potrebno izvršiti: mali popravak, srednji popravak ili opći popravak. To se smatra izvođenjem korekcije stanja promatranog elementa, kako bi se na radikalna način približilo nazivnim karakteristikama.

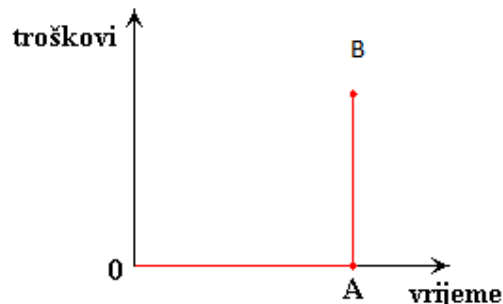
**Mali popravak** se provodi kad stroj (uređaj) ne radi. Mijenja se manji broj sitnih dijelova koji se najbrže troše. Taj popravak daje strojevima eksploatacijsku preciznost samo za one operacije koje se trenutno obavljaju na njima.

**Srednji popravak** znači izuzimanje stroja (uređaja) iz eksploatacije na duže vrijeme. Rastavljaju se pojedini sklopovi, čiste, popravljaju, dotjeruju radne plohe, mijenjaju se ležaji, brtve i slično, ali ne skidanjem s temelja. Srednji popravak ne daje preciznost novog stroja.

**Opći popravak** znači izuzimanje stroja (uređaja) iz eksploatacije na duži vremenski period. Obično to znači skidanje sa temelja i odnošenje u remontnu radionicu. Potpuno se rastavlja i čisti. Mijenjaju se svi oštećeni dijelovi i oni koji više ne jamče sigurnost u daljnjem radu. Nakon sastavljanja i ispitivanja stroj se premazuje bojom. Opći popravci su veoma skupi. Troškovi zahvata kod nekih strojeva (uređaja) mogu iznositi i 70% vrijednosti novoga stroja (uređaja).

Sedamdesetih godina održavanje broskog pogona temeljeno je na korektivnom održavanju. Planirani pregledi bili su bez ikakvog sustava, a troškovi održavanja dolazili su do izražaja u troškovima eksploatacije. U većini slučajeva održavanje je prepušteno volji posade. Danas se ovaj pristup koristi samo za pomoćnu opremu ili u kombinaciji s preventivnim održavanjem.

Na slici 2. je prikaz troškova kod sustava korektivnog održavanja. Od početka eksploatacije pa do trenutka A troškovi su jednaki nuli, a zatim rastu na vrijednost B, koja je najčešće jednaka vrijednosti uređaja.



Slika 2. Troškovi kod provođenja korektivnog održavanja [13]

**Preventivno održavanje** (PM – Preventive Maintenance) ova politika održavanja uključuje zadatke održavanja, koji se vrše po određenom rasporedu, prije nego što se javio kvar. Uzima se da je stanje komponente, nakon izvršenja preventivnog održavanja, isto tako dobro kao i novo. Preventivno održavanje je održavanje dijelova ili sustava pri kojemu se održavanje vrši u za to predviđenim vremenskim intervalima, bilo kalendarskim ili po radnim satima. Kada za to dođe vrijeme, vrši se održavanje uređaja, te ili zamjena dijela novim, bez obzira na njegovo stanje (ležajevi elektromotora) ili zamjena dijela ukoliko izmjerena istrošenja prelaze dozvoljena ograničenja proizvođača (prsteni centrifugalnih sisaljki, prsteni kompresora...). Prilikom ovog načina održavanja, u obzir se uzimaju preporuke proizvođača, kao i zahtjevi klasifikacijskih društava, koje za neke sustave imaju zahtjev preventivnog održavanja.

Ovaj način održavanja pruža dosta veliku sigurnost za uređaje koji se održavaju ovim načinom, međutim, troškovi održavanja su relativno veliki jer se mijenjaju dijelovi koji su još ispravni i koji su mogli odraditi još radnih sati, a osim toga povećava se i broj utrošenih radnih sati potrebnih za održavanje stroja.

Primjer preventivnog održavanja, uzimajući u obzir preporuke proizvođača jest izmjena ležajeva na sisaljka ili elektromotorima u točno određenom intervalu, unutar roka kojeg proizvođač daje za ležajeve.

Primjer održavanja po zahtjevima je održavanje čamaca za spašavanje, pirotehnički uređaji, protupožarni aparati, čela palubnih uređaja,... koje se vrši shodno pravilima koja propisuje država pripadnosti broda.

Razvoj sustava dijagnostike stanja uređaja smanjio je preventivno održavanje po preporukama proizvođača zamjenjujući ga efikasnijim održavanjem po stanju. To su prihvatila i klasifikacijska društva te su kod određenih uvjeta omogućili da se preventivno održavanje zamijeni održavanjem po stanju. To se naravno ne odnosi na sve uređaje sustave, već samo na pojedine stavke kod kojih se zamjena može primjeniti.

Preventivno održavanje obuhvaća slijedeće aktivnosti održavanja:

- Preventivne periodične preglede
- Traženje i otklanjanje slabih mjesta u sustavu
- Kontrolne preglede
- Tehničku dijagnostiku
- Planirane popravke (male, srednje i velike)

Univerzalnim katalogom sastavnih dijelova, rasčlanjuje se i propisuje tehnološki proces preventivnih pregleda u funkciji vremena, za pojedine skupine elemenata sustav. Potrebno je istaknuti kako je za svaki konkretni sustav nužna pisana izrada tehnološkog postupka provođenja preventivnog održavanja, a sve u funkciji sniženja troškova.

Preventivno održavanje može biti:

- Periodično (Periodic PM)
- Preventivno održavanje prema stanju (On-Condition PM).

***Periodično održavanje (Periodic PM):*** Kod tog održavanja interval održavanja može biti baziran na kalendaru ili vremenu rada (vijeku). Za kontinuirane operacije prikladnije je periodično održavanje po vijeku, odnosno, ako je operacija povremena, druge relevantne jedinice održavanja mogu biti prikladnije (br. ciklusa). Politika periodičnog održavanja bazirana na vijeku (periodi održavanja po instrukcijskim knjigama proizvođača) općenito se koristi na brodovima. Izbor perioda dijagnostičkih mjerenja je važan za dobivanje valjanih parametara za ocjenu stanja. Period može biti fiksna, ali se može i mijenjati ovisno o potrebi. kada se utvrdi da u nekoliko uzastopnih mjerenja nema značajnih promjena, to je znak da kontrola može biti i sa duljim periodom ponavljanja, dok se kod brzih promjena i ključnih sustava ti periodi mogu skraćivati.

*Preventivno održavanje prema stanju* je akcija od dva koraka. Prvi korak je utvrđivanje stanja, što uključuje pregled komponente zbog mogućih kvarova (kvarova koji se očekuju). Preventivno održavanje prema stanju može biti povremeno (engl. Discrete On-Condition PM) ili kontinuirano (engl. Continuous On-Condition PM). Kod održavanja prema stanju kontinuirano se mjere određene veličine i intervenira se samo onda ako je veličina izvan određenih granica. Povremeno provjeravanje stanja obavlja se vizualno ili pomoću raznih instrumenata. Kako se stvarno stanje mijenja tijekom vremena to znači da izmjereno stanje odgovara samo tom trenutku, te je potrebno periodično ili kontinuirano praćenje stanja sustava kako bi smo utvrdili da li se promatrani parametri sustava nalaze u željenim granicama i kakvi su trendovi njihovih promjena. Na temelju toga se procjenjuje kolika je vjerojatnost i duljina očekivanog ispravnog rada, te se donosi odluka o daljnjem radu ili se provodi neka od aktivnosti održavanja (zamjena, popravak i sl.).

Prognoziranje stanja ostvaruje se različitim matematičkim metodama. Strategije održavanja prema stanju možemo podijeliti u dvije grupe:

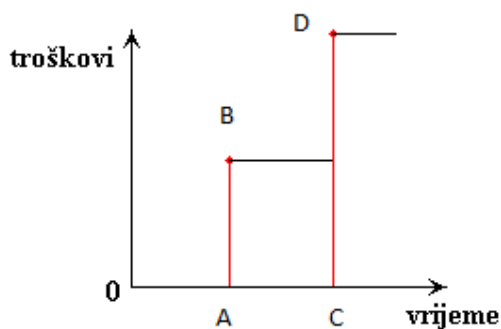
- Održavanje prema stanju s kontrolom parametara
- Održavanje prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti

Može se reći da je održavanje prema stanju dijagnostički proces koji nam omogućava utvrđivanje stanja i planiranje aktivnosti održavanja na temelju stvarnog stanja. Time produžujemo koristan rad i smanjujemo neplanirane zastoje. Da bi smo provodili program održavanja po stanju, nužno nam je imati:

- Potrebne instrumente i postupke
- Pripremljeno osoblje
- Pogodnu organizaciju
- Raspoloživost komponenti inspekcijskom pregledu

Na slici 3. je prikaz troškova kod preventivnog održavanja prema stanju. Primjećujemo da je vrijeme između 0 i A jednako vremenu između A i C, a tako se nastavlja i dalje. Troškovi rastu skokovito, u za to predviđenim trenucima.





Slika 3. Troškovi kod preventivnog održavanja prema stanju [13]

## 2.4 Planiranje zahvata održavanja

Da bi se mogla planirati aktivnost u vezi sa zahvatima održavanja, valja prvo točno utvrditi objekt te aktivnosti: brodske sustave i njima pripadajuće uređaje. Dakle treba prvo napraviti detaljni i točni popis te opis svih brodskih uređaja i mehanizama koji zahtjevaju održavanje.

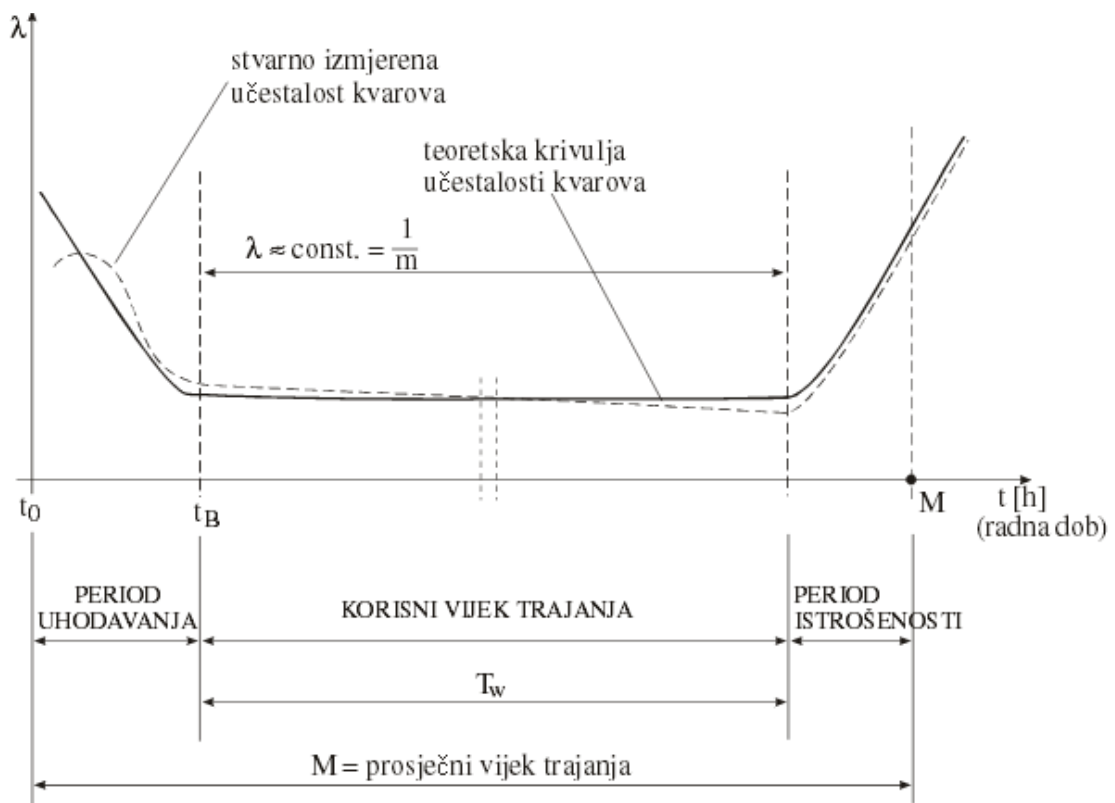
Kada se izradi popis i opis brodskih uređaja onda njegovu vjerodostojnost valja održavati tijekom cijelog vijeka korištenja broda. To znači da treba zabilježiti svaku promjenu koja se u pogledu karakteristika brodskih uređaja (uređaj zamijenjen novim) dogodi tijekom korištenja broda, i to odmah i na svim relevantnim pozicijama u mreži podataka potrebnih za upravljanje tehnološkim procesom na brodu.

Planiranje zahvata održavanja započinje proučavanjem knjige uputa proizvođača za svaki pojedini uređaj, da bi se utvrdio prosječni interval planiranog zahvata  $M_p$ . Uređaju treba procijeniti indeks kvarova  $\lambda$  i izračunati prosječno vrijeme između kvarova  $M_T$  za preporučeni interval  $M_p$ . Recipročna vrijednost prosječnom vremenu između kvarova  $m$  je indeks kvarova. Prosječno vrijeme između kvarova (engl. Mean Time Between Failure) označava srednje izmjereno vrijeme između dva kvara sustava u promatranom periodu eksploatacije sustava, označava se sa  $m$  (MTBF) i izražava u satima.

Jednadžba indeksa kvara :

$$\lambda = \frac{1}{m} \left[ \frac{1}{h} \right] , \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} \quad [3]$$

Slika 4. prikazuje promjenu indeksa kvara ( $\lambda$ ), obzirom na vrijeme korištenja sustava.



**Slika 4. Promjena indeksa kvara obzirom na vrijeme korištenja sustava [13]**

Ako je  $M_T$  u normalnim vrijednostima, onda je  $M_P$  (podatak iz uputa proizvođača) koji se ne smije zaboraviti. Ako  $M_T$  odstupa od normalnih vrijednosti, onda se  $M_P$  mora skratiti ili produljiti.

Daljnji je važan korak u planiranju zahvata održavanja da se utvrde uvjeti korištenja broda. To znači da treba u suradnji sa službom koja se bavi logistikom rada i plovidbe broda ocijeniti koliko vremena će brod provesti u plovidbi a koliko u mirovanju. Ima uređaja gdje se zahvat održavanja odvija postupno po dijelovima. To se osobito odnosi na glavni motor. Tako će osnovni dio za planiranje zahvata kod glavnog motora biti cilindar, a zahvat će se izvršiti na poklopcu, košuljici...

## 2.5 Troškovi održavanja

Vezano za troškove održavanja na brodu moramo napomenuti da se dijele na direktne i indirektne.

**Direktne troškove** održavanja čine cijena ljudskog rada utrošenog za održavanje i trošak za upotrijebljene materijale, kao što su dopune ispražnjenim medijima, materijali za čišćenje, brušenje, konzerviranje, trošenje alata... Sve ono što je izravno povezano sa fizičkim izvršenjem radova.

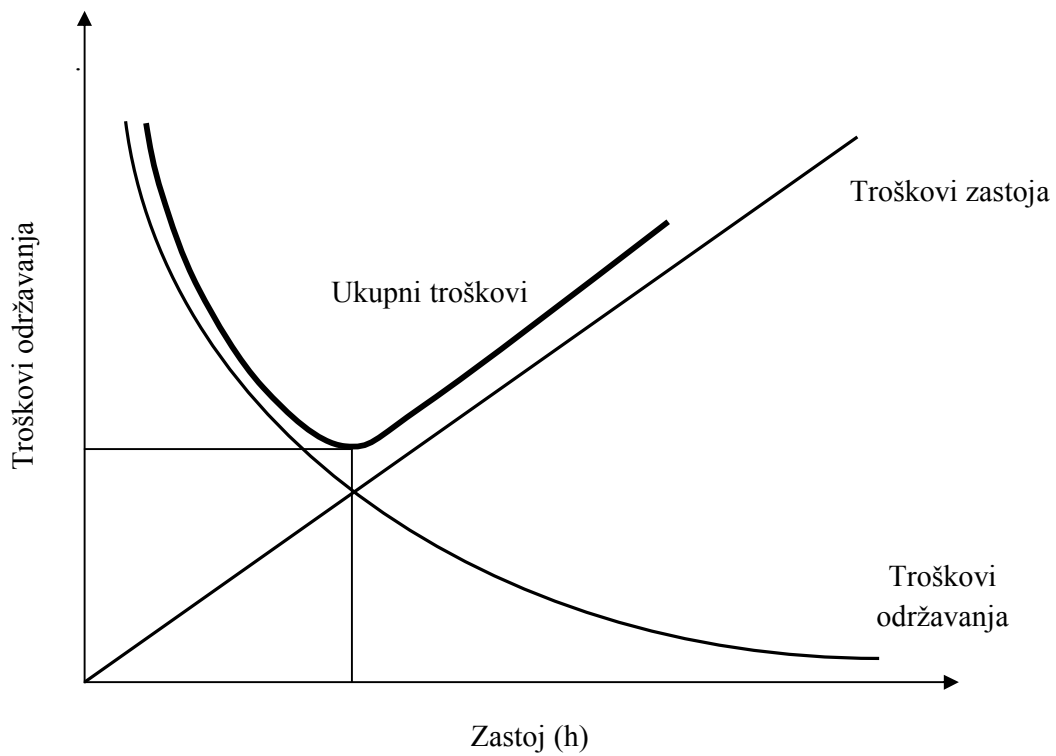
**Indirektne troškove** održavanja čine troškovi zastoja. Taj zastoj može uzrokovati ili neki kvar ili neka planirana akcija na održavanje. U svakom slučaju, da bi takav zastoj bio pribrojem indirektnim troškovima održavanja, bitno je da bude isključivo povezan sa održavanjem.

Troškovi zastoja mogu se promatrati na dva načina: ili kao izmakla dobit ili kao trošak broda u stajanju. Izmakla dobit računa se na osnovi stvarnog zaključka o prijevozu, koji ovisi o trenutnom stanju na tržištu brodskog prostora. Budući da je kretanje vozarina podložno velikim varijacijama, temeljenje indirektnih troškova održavanja na izmakloj dobiti nije sa tehnološkog stajališta korektno. Događa se ponekad da brod na pojedinom dijelu puta prevozi teret sa realnim gubitkom tj. Kad mu vozarina ne pokriva niti pogonske troškove. U takvom bi slučaju, kad bi se indirektni troškovi računali na osnovi izmakle dobiti, ispalo da je brod u zastoju isplativiji.

Indirektne troškove održavanja treba promatrati kao troškove broda u stajanju. To su zapravo fiksni troškovi tj. troškovi iskorištenja broda od kojih smo odbili troškove goriva i komercijalne troškove. Oni se obično računaju na dan, pa se mogu i nazvati dnevna cijena broda. Kako i sam naziv kaže (fiksni), oni su konkretna i jasno definirana kategorija troškova, ovisna jedino o karakteristikama broda, što ih čini valjanim parametrom u okvirima tehnološkog pristupa problemu.

Teorijski, pravilno održavan tehnički sustav broda nikad ne stari. No, kad na red po dotrajalosti dođu i vrlo trajne i skupe komponente, onda ukupni troškovi održavanja (direktni i indirektni) imaju tendenciju takva porasta da brod učine ekonomski nerentabilnim.

Na slici 5. prikazan je dijagram troškova održavanja



Slika 5. Dijagram troškova održavanja [13]

### 3. ODRŽAVANJE S OBZIROM NA POUZDANOST

#### RCM (engl. Reliability Centered Maintenance)

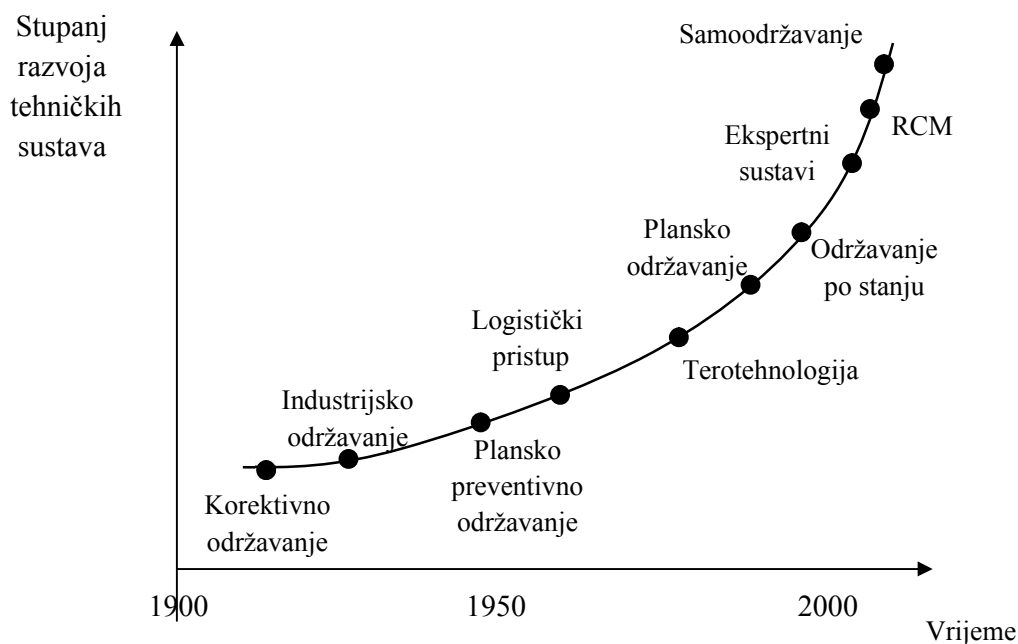
Pod tradicionalnim strategijama održavanja podrazumijeva se preventivno, korektivno i kombinirano održavanje. Suvremene strategije održavanja su: RCM, TPM, održavanje prema stanju i prediktivno održavanje.

Rezultati postignuti primjenom strategije RCM su:

- smanjenje broja radnih sati za preventivno održavanje za 87%.
- smanjenje ukupnog broja radnih sati za održavanje do 29%.
- smanjenje troškova repromaterijala za održavanje do 64%.
- povećanje raspoloživosti opreme i sustav do 15%.
- povećanje pouzdanosti tehničkih sredstava do 100%.

Investicije uložene u RCM strategiju održavanja vraćaju se 3 do 6 mjeseci, te se smanjuje broj zahtjeva za održavanje za 25 do 40 %. Za njegovu primjenu i potpunu implementaciju potrebno je 3 do 6 godina, jer su procedure, analize, i unos podataka u sustav vrlo opsežni, detaljni i komplicirani. Održavanje prema stvarnom stanju naglašava vrijednost logike RCM odabira zadataka i naglašava da su zamjene i remontirani potrebni samo u slučajevima kada se dogodi zamjetno (mjerljivo) trošenje ili starenje.

Na slici 6. prikazan je razvoj i primjena metoda održavanja kroz povijest.



Slika 6. Razvoj i primjena metoda održavanja kroz povijest [13]

### 3.1 Svrha RCM-a

Svrha RCM analize je uspostaviti (preventivni) program održavanja na sustavni način kroz sljedeće korake:

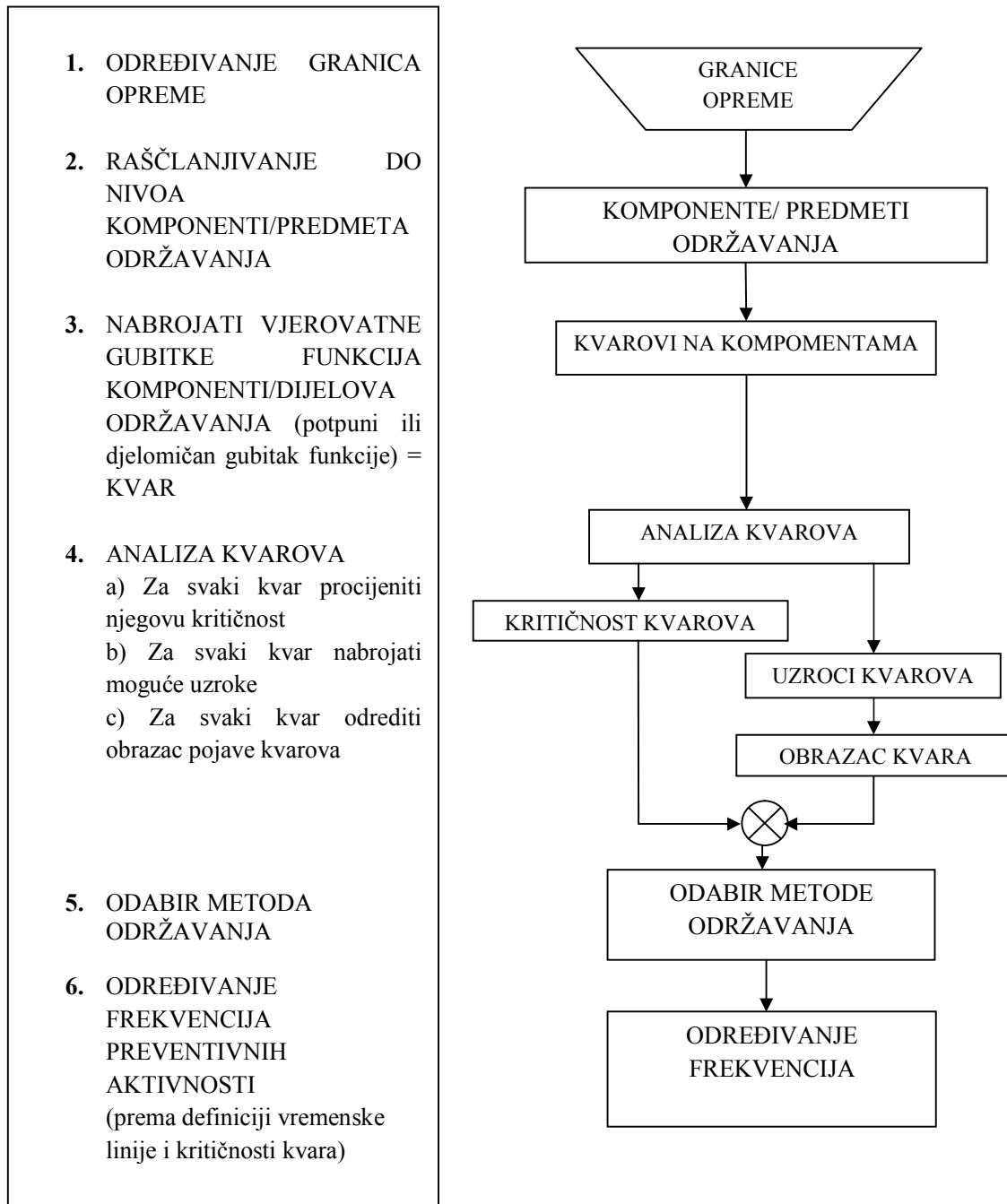
- Analiza funkcionalnosti, koja definira glavnu funkciju sustava
- Analiza kritičnosti, koja definira oblik pojave kvara i njegovu učestalost na promatranoj opremi
- Otkrivanje uzroka kvara, mehanizmi za kritični oblik pojave kvara
- Način i tip održavanja koji određuje kritičnost kvara, vjerojatnost kvara, trošak održavanja itd.

RCM proces zahtjeva nadograđivanje tijekom životnog ciklusa u smislu revidiranja programa za održavanje, koristeći relevantne iskustvene podatke kao i utvrđivanje procjene kritičnosti. Ispravna informacija procjene učinka proizvodnje korištena u ranijim fazama projekta trebala bi se implementirati u RCM proces, kada je to moguće, da bi se omogućila dosljednost između dviju studija.

RCM treba dati odgovore na sljedeća pitanja:

- Što oprema treba raditi i s kojim nominalnim učinkom? (Funkcije)
- Na koje sve načine mogu zakazati zahtjevane funkcije opreme? (Kvarovi funkcija)
- Koji događaji mogu prouzročiti pojedinu vrstu otkazivanja? (Oblici pojave kvara)
- Kako se manifestira pojedini kvar? (Efekti kvarova)
- Na koji način pojedini kvar utječe na proces? (Posljedice kvarova - Matrica kritičnosti)
- Koje se preventivne aktivnosti, sustavno mogu provoditi da spriječe ili umanje do zadovoljavajućeg stupnja, posljedice nastanka kvara? (Aktivnosti održavanja sa pripadajućim intervalima)
- Što treba uraditi ako se ne mogu osigurati prihvatljive preventivne aktivnosti? (Modifikacija/unapređivanje)

Na slici 7. su prikazani koraci u implementaciji RCM-a



Slika 7. Koraci u implementaciji RCM-a [10]

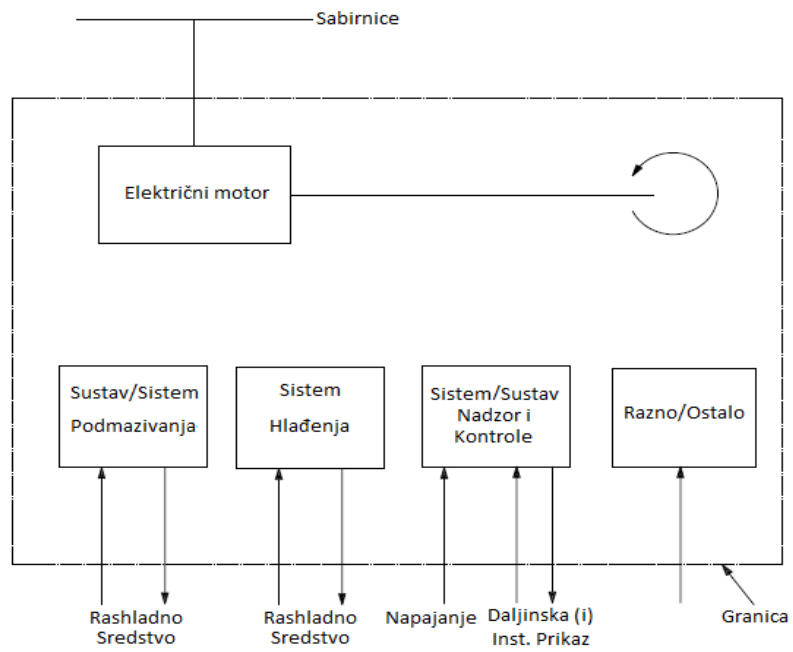
### 3.2 Određivanje granica opreme

Uloga određivanja granica jest, da osigura opće razumijevanje dijelova sustava/komponenti i dijelova koji se održavaju uključenih u granice pojedine opreme na kojima se bilježe kvarovi i održavateljske aktivnosti. Za definiciju granica, preporučaju se sljedeća pravila :

- a) Ne uključuju se dijelovi specifičnog dizajna ili konfiguracije. Uključuju se samo oni dijelovi koji se podrazumijevaju da budu opći za klasu opreme koja se razmatra, sa ciljem da se uspoređuju (slični sa sličnim)
- b) Isključuju se povezani dijelovi iz granica opreme, osim specifičnih uključenih u specifikaciju granice. Kvarovi koji se odnose na veze (npr. curenje), i kao takvi se ne mogu odnositi na povezani dio, trebaju biti uključeni u definiciju granice.
- c) Ako pogon i pogonjena jedinica koriste zajednički dio opreme (npr. sustav podmazivanja), povezuju se kvarovi i održavateljske aktivnosti, u pravilu, na dio opreme pogonjene jedinice.
- d) Instrumentaciju se uključuje samo tamo gdje postoji specifična kontrola ili nadzorna funkcija za opremu . Kontrolna i nadzorna instrumentacija za opću upotrebu (poput SCADA) se, u pravilu, ne uključuje.

Značajna pažnja mora se posvetiti lokacijskim djelovima uređaja. Na slici broj 8. prikazan je primjer definiranja granica kod električnog motora mlina sirovine u tvornici "Sv. Juraj" Dalmacijacement. Vidi se da je uređaj za nadzor i kontrolu uključen u dio opreme "sustav nadzora i kontrole", dok su individualni instrumenti (alarm, greška, upravljanje) uključeni unutar odgovarajućeg dijela opreme npr. sustav ili sistem podmazivanja.





**Slika 8. Definiranje elemenata (granica) opreme, električni motor [10]**

### 3.3 Primjer podjele komponenti elektromotora mlina sirovine u tvornici ‘Sv.Juraj’ Dalmacijacement

U tablici 1. prikazana je podjela (rasčlanjivanje) sustava do dijelova na kojima se izvode aktivnosti održavanja na elektromotoru mlina sirovine u tvornici cementa ‘Sv.Juraj’ Dalmacijacement..

**Tablica 1. Podjela opreme, Električni motor [10]**

| Oprema   | Električni motor  |  |   |  |              |
|--|---|--|---|--|--------------|
| Dio opreme   | Elektro motor   | Upravljanje i nadzor <sup>a</sup>  | Sustav podmazivanja   | Sustav hlađenja  | Razno/Ostalo |
| Komponente/Dijelovi održavanja   | Stator<br>Rotor<br>Uzbuda<br>Radikalni ležaj<br>Potisni ležaj | Pogonjeni uređaj<br>Upravljačka jedinica<br>Unutarnje napajanje<br>Nadzor<br>Senzori <sup>b</sup><br>Ožičenje<br>Ventili<br>Cjevarija<br>Brtve | Spremnik<br>Pumpa<br>Motor<br>Filter<br>Hladnjak<br>Ventili<br>Cijevi<br>Ulje | Izmjenjivač topline<br>Filter<br>Ventil<br>Cjevi<br>Pumpa<br>Motor<br>Ventilator | Kučište      |
| <sup>a</sup> U praksi se ne koristi neki dodatni kontrolni sustav za motore. Za motore u ex. izvedbi nadzire se unutarnji tlak a kod većih motora i temperatura.<br><sup>b</sup> Odrediti tip senzora npr. tlak, temperatura, nivo, itd. |   |  |   |  |              |

### 3.4 Kvarovi na komponentama

Mehanizmi nastanka kvara su fizički, kemijski ili neki drugi procesi ili kombinacija procesa, koje dovode do kvara. To je svojstvo kvara koja se može tehnički utvrditi, drugim riječima, uočiti uzrok kvara. Osnovni uzroci mehanizma nastanka kvara su kodirani bez obzira da li je informacija dostupna.

Kodovi mehanizma nastanka kvarova vezani su s jednom od sljedećih velikih kategorija tipova kvarova:

- a) Mehanički kvarovi;
- b) Kvarovi u materijalu;
- c) Kvarovi instrumenata;
- d) Električni kvarovi;
- e) Vanjski utjecaji;
- f) Razno, ostalo.

U tablici 2. prikazani su osnovni uzroci gubitka funkcije, tj. nastanka kvara.

**Tablica 2. Osnovni uzroci nastanka kvara [10]**

| Uzrok nastanka kvara |                   | Podpodjela mehanizma nastanka kvara |                         | Opis mehanizma nastanka kvara  |
|----------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|--|
| Kod                  | Bilješka          | Kod                                 | Bilješka                |  |
| 1                    | Mehanički kvarovi | 1.0                                 | Općenito                | Kvar povezan s mehaničkim oštećenjem ali detalji nisu poznati.   |
|                      |                   | 1.1                                 | Curenje                 | Vanjsko ili unutarnje curenje bilo plina ili tekućine; Ako je kvar na nivou jedinice opreme okarakterizirana kao curenje, više uzročni orjentirani mehanizam nastanka kvara potrebno je koristiti gdje god je to moguće. |
|                      |                   | 1.2                                 | Vibracije               | Abnormalna vibracija; ako je oblik pojave kvara, na nivou opreme vibracija koja je uzročno više orjentirana ka mehaničkom kvaru, uzrok nastanka kvara bi trebao biti zabilježen kad god je to moguće.                    |
|                      |                   | 1.3                                 | Kvar razmaka/poravnanja | Kvar uzrokovan neispravnim razmakom ili poravnanjem  |
|                      |                   | 1.4                                 | Deformacija             | Distorzija, savijanje, izvijanje,  |

|  |  |     |                   |  |
|--|--|-----|-------------------|--|
|  |  |     |                   | popuštanje, skupljanje, stvaranje, mjehura, itd.   |
|  |  | 1.5 | Opuštanje         | Odspajanje, popuštanje dijelova  |
|  |  | 1.6 | Naljep/ljepljenje | Ljepljenje, hvatanje, zaglavljenje uzrokovano kvarovima koje nisu deformacija ili kvarovima razmaka i poravnanja |

| Uzrok nastanka kvara |                      | Podpodjela mehanizma nastanka kvara |               | Opis mehanizma nastanka kvara  |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------|--|
| Kod                  | Bilješka             | Kod                                 | Bilješka      |  |
| 2                    | Kvarovi u materijalu | 2.0                                 | Općenito      | Kvar povezana s oštećenjem materijala ali detalji nisu poznati.                    |
|                      |                      | 2.1                                 | Kavitacija    | Bitna za opremu kao što su pumpe ili ventili                                       |
|                      |                      | 2.2                                 | Korozija      | Svi tipovi korozije, bila mokra (elektrokemijska) ili suha (kemijska)              |
|                      |                      | 2.3                                 | Erozija       | Erozivno trošenje  |
|                      |                      | 2.4                                 | Habanje       | Abrazivno habanje, npr. urezivanje, izjedanje, zaribanje, trošenje                 |
|                      |                      | 2.5                                 | Lom           | Prijelom, proboj, naciknuće (pukotina)   |
|                      |                      | 2.6                                 | Zamor         | Ako je uzrok loma zamor materijala, tada koristiti ovaj kod oblika nastanka kvara. |
|                      |                      | 2.7                                 | Pregrijavanje | Materijalno oštećenje usljed pregrijavanja/izgaranja                               |
|                      |                      | 2.8                                 | Eksplozija    | Prsnuće, napuknuće urušenje  |
|                      |                      |                                     |               |  |
| Uzrok nastanka kvara |                      | Podpodjela mehanizma nastanka kvara |               | Opis mehanizma nastanka kvara  |
| Kod                  | Bilješka             | Kod                                 | Bilješka      |  |
| 3                    | Kvar na instrumentu  | 3.0                                 | Općenito      | Kvar vezan za instrumentaciju, ali detalji nisu poznati                            |

|                          |                    |                                     |                                      |  |
|--------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
|                          |                    | 3.1                                 | Kvar upravljačke jedinice            | Nepostojeće ili krivo upravljanje  |
|                          |                    | 3.2                                 | Nema signala/indikacije/ alarma      | Nema signala, indikacije, alarma iako se očekuje da bude   |
|                          |                    | 3.3                                 | Neispravan signal/ indikacija/ alarm | Signal, indikacija, alarm je netočan u odnosu na stvarni proces. Može biti lažan, povremen, oscilirajući, proizvoljan.             |
|                          |                    | 3.4                                 | Izvan podešenja                      | Greška kalibracije,  |
|                          |                    | 3.5                                 | Kvar u programu                      | Netočna ili nepostojeća kontrola, nadzor, upravljanje zbog greške u programu   |
|                          |                    | 3.6                                 | Zajednički uzrok                     | Istovremeno otkazivanje nekoliko instrumenata npr. Pomoćni detektori vatre i plina, također greške uzrokovane zajedničkim uzrokom. |
| Uzrok nastanka kvara     |                    |                                     |                                      |  |
| Uzrok nastanka kvara     |                    | Podpodjela mehanizma nastanka kvara |                                      | Opis mehanizma nastanka kvara  |
| Kod                      | Bilješka           | Kod                                 | Bilješka                             |  |
| 4                        | Električni kvarovi | 4.0                                 | Općenito                             | Kvarovi vezani za napajanje i prijenos električne energije, ali daljnji podaci nisu poznati.                                       |
|                          |                    | 4.1                                 | Kratki spoj                          | Kratki spoj  |
|                          |                    | 4.2                                 | Otvoren krug                         | Odspajanje, prekid, prekinuta žica/ kabel  |
|                          |                    | 4.3                                 | Nema napona/ napajanja               | Nepostojeće ili nedovoljno napajanje električnom energijom   |
|                          |                    | 4.4                                 | Neispravno napajanje/ napon          | Neispravno napajanje električnom energijom, npr. prenapon  |
|                          |                    | 4.5                                 | Neispravno uzemljenje/ izolacija     | Neispravno uzemljenje,   |
| Mehanizam nastanka kvara |                    |                                     |                                      |  |
| Mehanizam nastanka kvara |                    | Podpodjela mehanizma nastanka kvara |                                      | Opis mehanizma nastanka kvara  |
| Kod                      | Bilješka           | Kod                                 | Bilješka                             |  |
| 5                        | Vanjski utjecaji   | 5.0                                 | Općenito                             | Kvar uzrokovan nekim vanjskim događajima, van granice, gdje daljnje  |

|                          |          |                                     |                        |  |
|--------------------------|----------|-------------------------------------|------------------------|--|
|                          |          | 5.1                                 | Začepljenost           | informacije nisu dostupne, poznate.<br>Protok ograničen/blokiran usred obraštanja, onečišćenja, zaleđivanja itd. |
|                          |          | 5.2                                 | Onečišćenje            | Onečišćenje tekućine, plina, površine npr. onečišćeno ulje za podmazivanje                                       |
|                          |          | 5.3                                 | Razni vanjski utjecaji | Strani objekti, utjecaji, utjecaji iz susjednih sustava.   |
|                          |          |                                     |                        |  |
| Mehanizam nastanka kvara |          | Podpodjela mehanizma nastanka kvara |                        | Opis mehanizma nastanka kvara  |
| Kod                      | Bilješka | Kod                                 | Bilješka               |  |
| 6                        | Razno    | 6.0                                 | Općenito               | Mehanizam nastanka kvara koji se ne može uvrstiti u neku od gore navedenih kategorija                            |
|                          |          | 6.1                                 | Bez uzroka             | Kvar istražen ali uzrok nije pronađen ili je previše nepouzdan.  |
|                          |          | 6.2                                 | Kombinirani uzroci     | Nekoliko uzroka. Ako je jedna od njih dominantan treba biti šifriran.  |
|                          |          | 6.3                                 | Ostalo                 | Nema mogućnosti kodiranja. Koristiti slobodan tekst.   |
|                          |          | 6.4                                 | Nepoznato              | Informacija nije dostupna.   |

### 3.5 Analiza kvarova

#### 3.5.1 Kritičnost kvarova

U tablici 3. je prikazana podjela razine kritičnosti prema ozbiljnosti konačnih posljedica

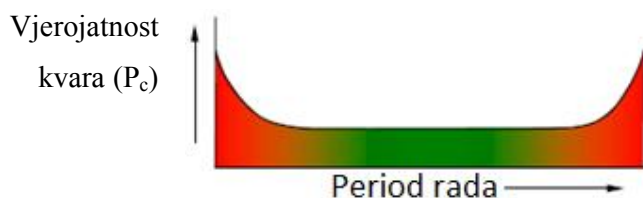
**Tablica 3. Podjela razine kritičnosti [10]**

| Razred | Razina kritičnosti | Posljedice za osoblje ili okoliš  |
|--------|--------------------|---|
| IV     | Katastrofalna      | Oblik kvara koji bi mogao potencijalno rezultirati zastojem primarne funkcije sustava i kao takav uzrokovati ozbiljnu štetu sustavu i njegovom okruženju te i osobnoj ozljedi.                                    |
| III    | Kritična           | Oblik kvara koji bi mogao potencijalno rezultirati zastojem primarne funkcije i kao takav uzrokovati i znatna oštećenja sustava i njegovog okruženja, ali ne predstavlja ozbiljnu prijetnju za život ili ozljedu. |

|    |            |  |
|----|------------|--|
| II | Granična   | Oblik kvara koji može potencijalno smanjiti učinkovitost sustava bez mjerljive štete sustava ili pretnje za život ili ozljedu. |
| I  | Zanemariva | Oblik kvara koji bi potencijalno smanjio funkcionalnost sustava ali bez šteta i opasnosti po život.                            |

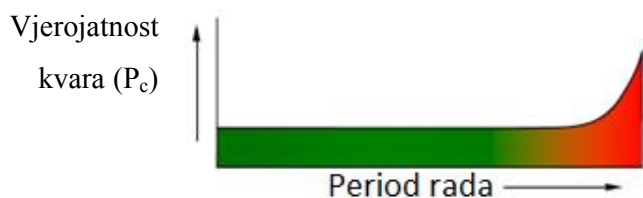
### 3.5.2 Obrasci pojave kvarova

Slika 9. predstavlja 6 dominantnih obrazaca pojave kvarova. U odnosu na ove obrasce biraju se različite strategije upravljanja kvarovima. Redovne zamjene koriste se da bi se ublažio broj kvarova uzrokovanih zbog starenja kako kod obrazaca A, B i C. Dok kod uzoraka D, E i F vjerojatnost pojave kvara se ne povećava sa starenjem.



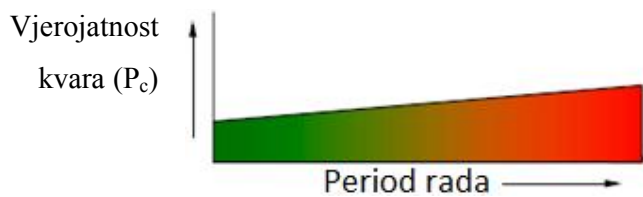
Uzorak A: KADA

Vjerojatnost greške u početku rada je visoka, zatim konstantna ili se blago povećava i izrazita je u području zone istrošenosti



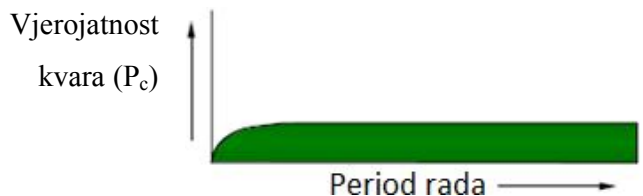
Uzorak B: TRADICIONALNO

Konstantno ili polagano povećanje vjerojatnosti pojave greške izraženo u području zone istrošenosti



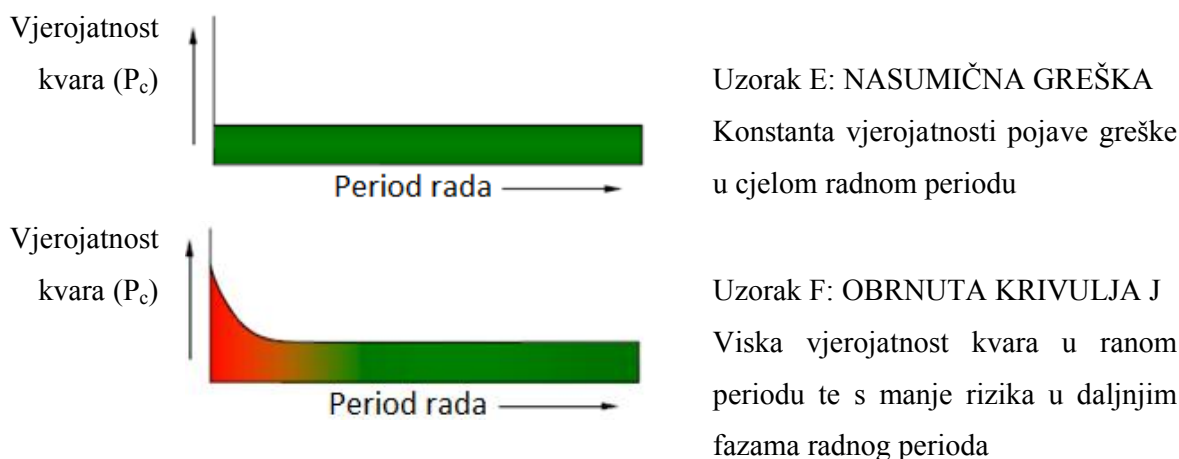
Uzorak C:

Postepeno povećanje vjerojatnosti pojave greške ali bez izražene zone istrošenosti



Uzorak D:

Niska vjerojatnost pojave kvara u početku te naglo povećanje rizika u ostalom periodu rada do konstantne vrijednosti



Slika 9. Obrasci pojave kvarova [10]

### 3.6 Odabir metode održavanja

Kod odabira metode održavanja koriste se određene aktivnosti kojima se kvarovi otkrivaju. Devet kategorija aktivnosti otkrivanja su predstavljene u tablici 4. zajedno s pripadajućim kodovima za korištenje u bazi podataka. Ova informacija je od vitalne važnosti kada se ocjenjuje učinak održavanja npr. razlika između kvarova otkrivenih planiranim akcijama (inspekcijama, periodičnim održavanjem) ili slučajno (uobičajnim promatranjem).

Tablica 4. Metode otkrivanja kvara [10]

| Broj | Bilješka <sup>a</sup>      | Opis  | Aktivnost          |
|------|----------------------------|---|--------------------|
| 1    | Periodično održavanje      | Kvar otkriven tijekom preventivnog servisa, zamjene ili repariranja uređaja za vrijeme programa preventivnog održavanja                           | Redovne aktivnosti |
| 2    | Test funkcionalnosti (FFM) | Kvar otkriven aktiviranjem određene funkcije i uspoređivanjem s predefiniranim standardom. Ova metoda tipična je za otkrivanje skrivenih kvarova. |                    |
| 3    | Inspekcija (SM)            | Kvar otkriven tijekom planiranog pregleda npr. vizualni pregled   |                    |



|    |   |   |                       |
|----|---|---|-----------------------|
| 4  | Periodično praćenje stanja <sup>b</sup> (CBM) | Kvar otkriven tijekom planiranog redovnog praćenja stanja poznatog oblika kvara , bilo ručno ili automatski npr. termografijom, mjerenjem vibracija, analizom ulja, uzorkovanjem. |                       |
| 5  | Kontinuirano praćenje stanja (CBM)            | Kvar otkriven tijekom kontinuiranog praćenja stanja poznatog oblika pojave kvara  | Kontinuirano praćenje |
| 6  | Proizvodne smetnje (RTF)                      | Kvar otkriven proizvodnom smetnjom, smanjenjem proizvodnje itd.   |                       |
| 7  | Svakodnevno promatranje (SM)                  | Svakodnevno promatranje tijekom rutinske kontrole ili svakodnevne provjere od strane korisnika  | Povremene pojave      |
| 8  | Korektivno održavanje (RTF)                   | Kvar uočen tijekom korektivnog održavanja   |                       |
| 9  | Na zahtjev (RTF)                              | Kvar otkrivena prilikom pokušaja aktiviranja “na zahtjev“(Npr. Sigurnosni ventil nije reagirao na signal nužnog isklopa, plinska turbina nije startala na zahtjev itd.)           |                       |
| 10 | Ostalo  | Ostale metode promatranja ili kombinacija nekoliko metoda   | Ostalo                |

<sup>a</sup> posebna opaska na detektore plina i vatre, procesne senzore i jedinice kontrole: gore navedeni kodovi bi trebali biti protumačeni kako slijedi:

test funkcionalnosti – periodično testiranje funkcionalnosti

svakodnevno promatranje – promatranje na terenu

periodično praćenje stanja – abnormalno stanje otkriveno od strane osoblja kontrolne sobe ( bez dojava greške)

kontinuirano praćenje stanja – dojava greške u kontrolnoj sobi ( audio i /ili vizualni alarm)

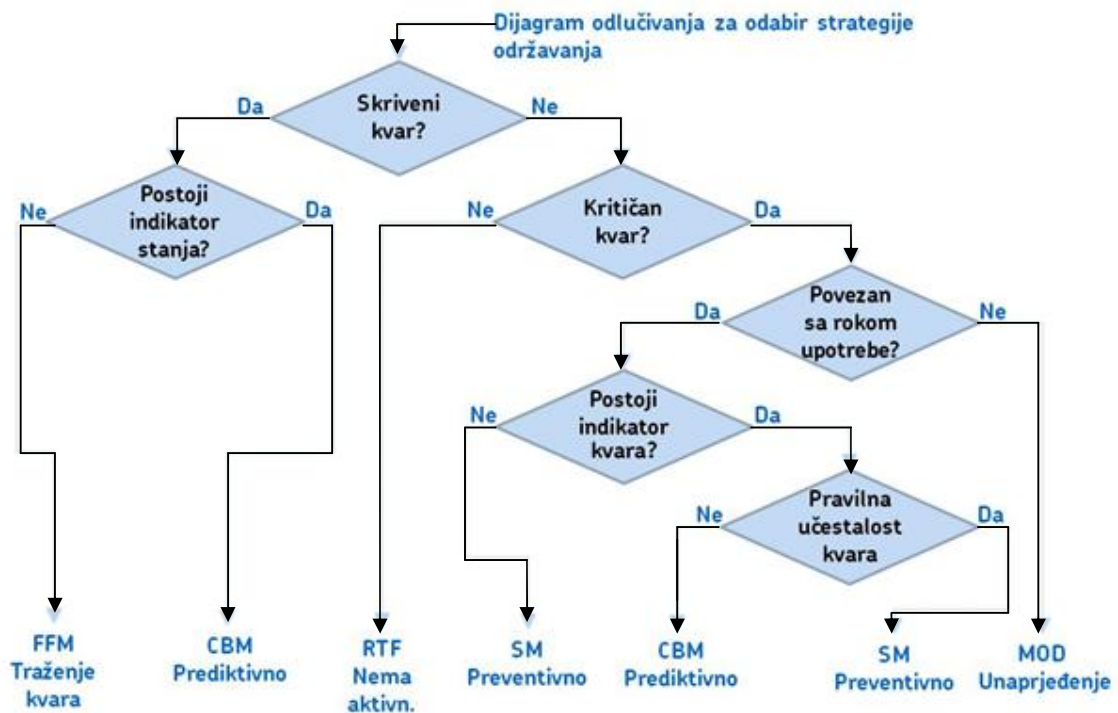
<sup>b</sup> praćenje stanja podrazumjeva korištenje specifične opreme i/ili algoritama za praćenje stanja opreme s uvažavanjem već postojećih oblika pojave kvara( “test” i “inspekcija” su različiti kodovi). Praćenje stanja može se podijeliti u dvije skupine:

1) periodično praćenje

2) kontinuirano praćenje: Termografija, mjerenje vibracija, analiza ulja, uzorkovanje, kalibracijske provjere

Praćenje procesnih parametara npr. Temperature, tlaka, protoka, okretaja je u svrhu uočavanja abnormalnih promjena.

Na slici 10. prikazan je blok dijagram odlučivanja pri odabiru strategije održavanja



Slika 10. Dijagram odlučivanja za odabir strategije održavanja [10]

Za određivanje karakteristike svakog oblika pojave greške postoji više dostupnih opcija.

#### 1. Praćenje stanja

Praćenje stanja je stalna ili periodična zadaća za procjenu stanja uređaja u radu kontrolom podešenja parametara u svrhu praćenja pogoršanja stanja. Može se sastojati od inspeksijskih zadaća, koje su promatranje uređaja u odnosu na neki određeni standard.

## 2. Planirani remont (redovni remont)

Remont je radnja potrebna da se uređaj vrati u određeno standardno stanje. Budući da remont može varirati od čišćenja do zamjene nekoliko dijelova, opseg tog remonta mora biti definiran.

## 3. Planirana zamjena (redovna izmjena)

Redovna izmjena se odnosi na uklanjanje starog uređaja iz pogona na kraju životnog ciklusa i zamjena s novim koji u potpunosti zadovoljava tražene standarde. Redovite zamjene se odnose na tzv. "jednokratne dijelove" dijelove kao uložak od printera, cilindri itd.

## 4. Traženje kvara, ispitivanje

Zadatak metode traženja kvara je ustvrditi da li je uređaj sposoban izvršiti funkciju. Jedina svrha je otkriti skrivenu slabost. Metoda se sastoji od vizualnih pregleda to kvantitativnih procjena u odnosu na određeni standard. Neke aplikacije ograničavaju sposobnost provođenja kompletnog funkcionalnog testa. U takvim slučajevima, mogu se primjeniti djelomična funkcionalna ispitivanja.

## 5. Bez preventivnog održavanja

Može se desiti da nije potrebna nikakva radnja u nekim situacijama, ovisno o efektu kvara. Strategija ovakvog upravljanja greškom je korektivno održavanje ili čak neodržavanje.

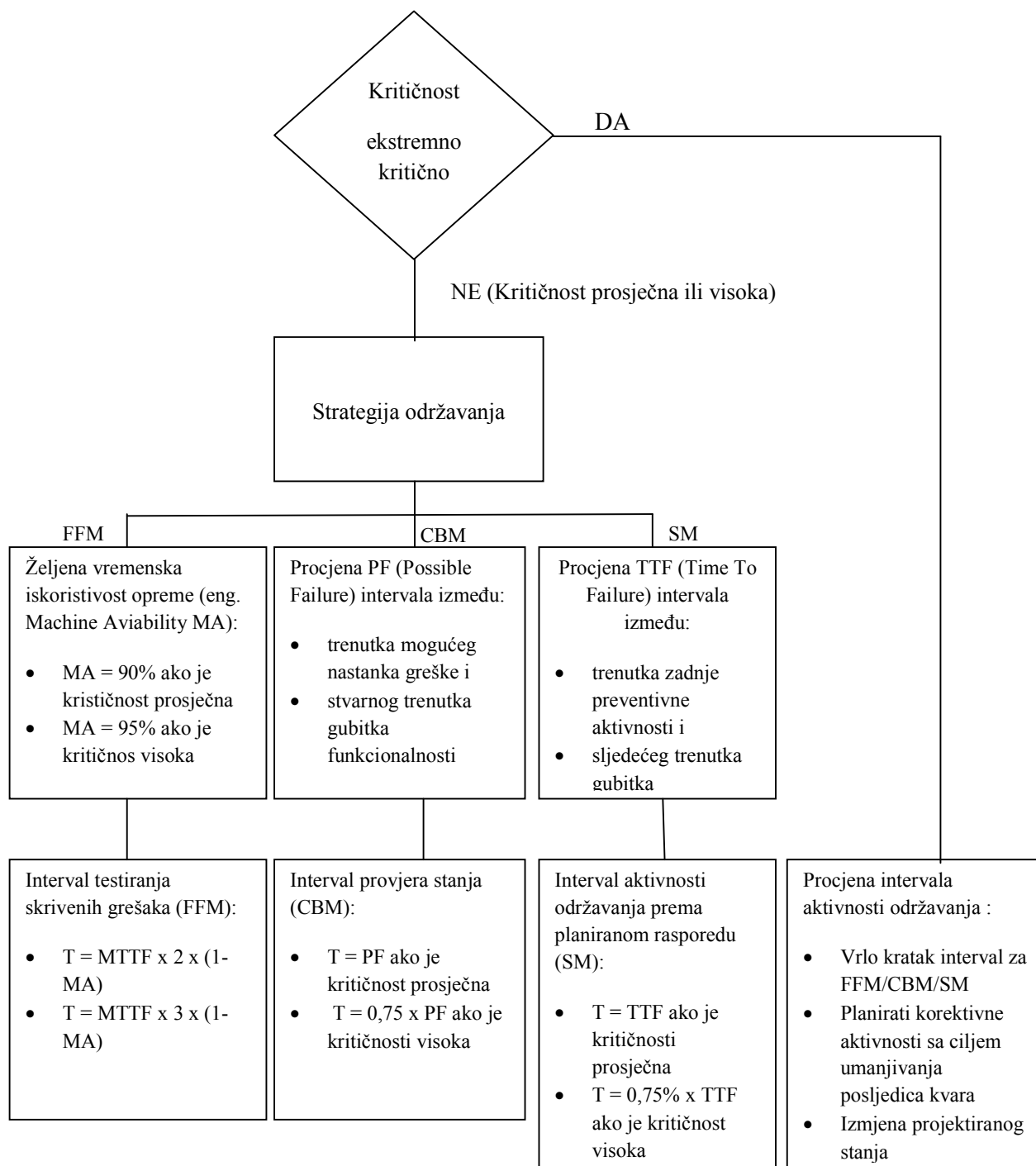
## 6. Alternativno djelovanje

Alternativne radnje/akcije mogu rezultirati iz promjene procesa odlučivanja RMC-a, uključujući:

- Redizajn
- Preinaka postojeće opreme
- Izmjena radne procedure
- Promjene procedure održavanja
- Provjere prije i poslje upotrebe
- Izmjena strategije nabave rezervnih dijelova

### 3.7 Određivanje frekvencija preventivnih aktivnosti

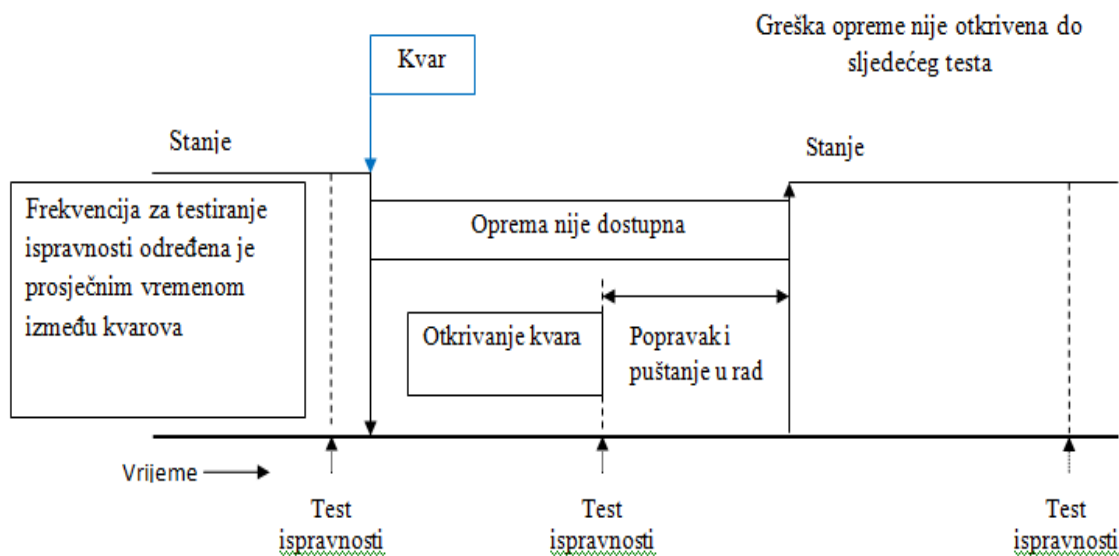
Na slici 11. je prikazan blok dijagram procjene određivanja intervala održavanja



Slika 11. Dijagram procjene određivanja intervala održavanja [10]

Na slici 12. prikazano je otkrivanje kvara testom ispravnosti

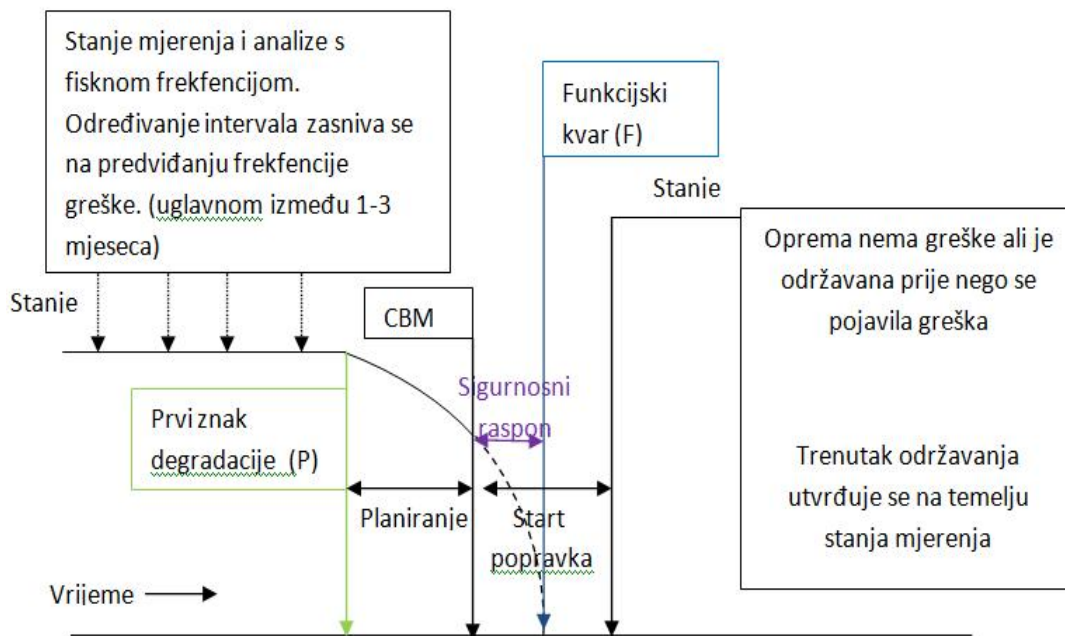
FFM (engl. fault finding maintenance)



Slika 12. FFM metoda otkrivanja kvara [10]

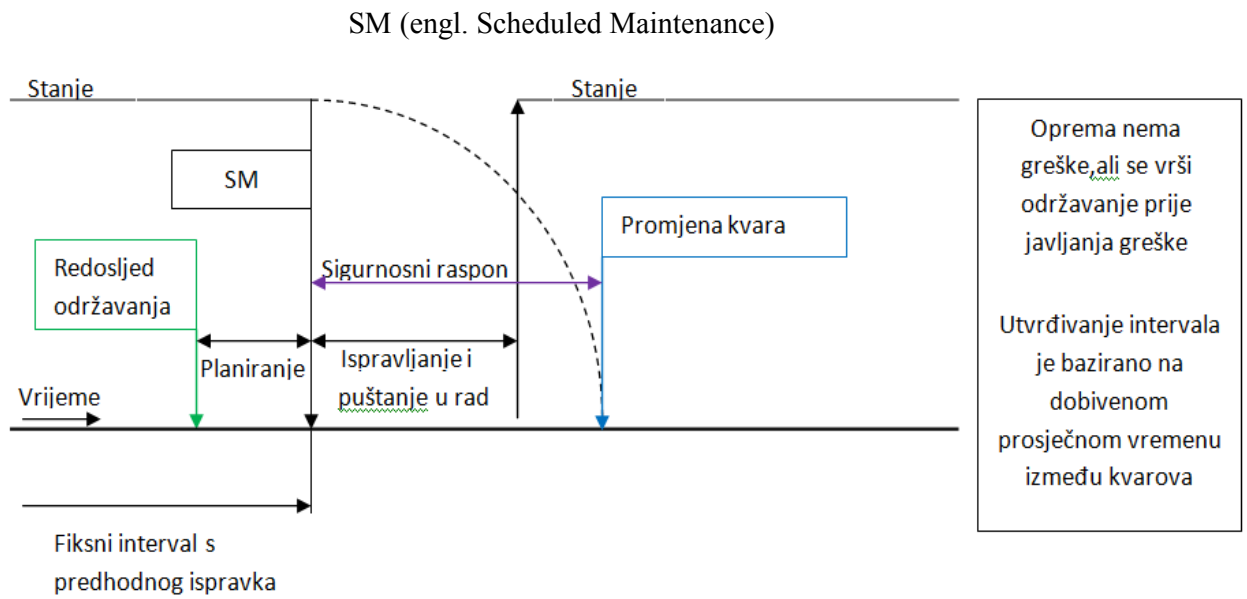
Na slici 13. je prikazana metoda otkrivanja kvara periodičnim praćenjem stanja.

CBM (engl. Condition Based Maintenance)



Slika 13. CBM metoda otkrivanja kvara [10]

Na slici 14. je prikazano otkrivanje kvara planiranim održavanjem (inspekcijom).



Slika 14. SM metoda otkrivanja kvarova [10]

## **4. EKSPERTNI SUSTAVI**

### **4.1 Ekspertni sustavi na brodu**

Primjena novih tehnologija na brodu, posebice softverskih, kao što su ekspertni sustavi, neizrazita logika, genetički algoritmi, neuronske mreže, prepoznavanje uzoraka i slično, pruža nove mogućnosti glede upravljanja, dijagnostike stanja, te potpunog vođenja broda kao složenog autonomnog objekata.

Ugradnjom inteligencije u sustave nadzora, upravljanja i vođenja brodskih procesa znatno se povećava ukupna pouzdanost i raspoloživost broda kao cjeline. Ekspertni sustavi su se razvijali usporedno sa razvojem računala, novih računalnih programa i novih spoznaja o održavanju tehničkih sustava. Došli su na razinu jedno jako visoko razvijenog sustava praćenja, prepoznavanja i otklanjanja problema raznih strojeva i uređaja.

Najviše su se razvili ekspertni sustavi za velike uređaje kao što su glavni porivni strojevi. Ekspertni sustavi se temelje na eksperimentalnim podacima dobivenim mjerenjem relevantnih značajki motora, koji se od strane proizvođača motora unose u bazu podataka, u kojoj su iskustvena, stručna saznanja eksperata, po kojima je cijeli sustav i dobio ime. Baza podataka se spaja s modulom, koji ima sposobnost donošenja zaključaka. Takav sustav čini ekspertni sustav za dijagnostiku stanja brodskog sporohodnog dvotaktnog dizelskog motora.

Karakteristika ekspertnih sustava je brzo i točno djelovanje, objašnjavanje i davanje odgovora na temelju teorije ili pozivajući se na već zapamćene slučajeve iz prošlosti. Ekspertni sustavi imaju sposobnost izravnog informiranja korisnika koji postavlja pitanja.

Ekspertni sustav za dijagnostiku stanja brodskoga dizelskog motora temelji se na eksperimentalnim podacima dobivenima mjerenjem relevantnih značajki brodskog motora i kontinuiranim praćenjem njegova rada.

Baza znanja pri izradi dijagnostičkog ekspertnog sustava je datoteka kvarova gdje se unose teorijska i praktična znanja stručnjaka. Osnovni zahtjevi koji se očekuju u radu stroja, pa tako i brodskoga dizelskog motora, jesu maksimalni radni učinci s minimalnim troškovima održavanja. Danas se ovim zahtjevima može udovoljiti samo uvođenjem novoga tehnološkog pristupa u praćenju i mjerenju radnih karakteristika stroja, uz korištenje računalnom tehnikom i znanošću u dijagnosticiranju i otklanjanju kvarova.

Ekspertni sustav je u radu cijelo vrijeme i mora izvršiti slijedeće:

- Primati i obrađivati informacije
- Razvrstavati prikupljene informacije
- Uspoređivati primljene podatke s podacima u bazi i prepoznati potencijalni problem
- Obraditi i nepotpune informacije i odvojiti bitne od nebitnih informacija
- Pravovremeno primjeniti znanje iz baze, pružajući podatke operateru (radniku u strojarnici) sustava koji će mu omogućiti izvršenje djelovanja koje će otkloniti potencijalni problem
- Primati i unapređivati svoje prvobitno znanje, nadopunjujući bazu podataka i vezujući novostečena znanja s početnim podacima u bazi.

Samo odlučivanje računala se temelji na izboru ponuđenih unosa u bazi, vezanim uz određene primljene podatke te njihovom usporedbom. Program mora iz nekoliko rješenja odrediti najvjerojatniji uzrok problema i predložiti operateru način otklanjanja tog uzroka. Naravno, da bi sustav radio, njegovi zaključci moraju biti točni. Ponekad će se dogoditi i pogrešno dijagnosticiranje problema i tada sustav zahtjeva nadopunu novim saznanjima, jer je nemoguće da se prilikom izvedbe baze predvide apsolutno sve okolnosti koje se mogu dogoditi tijekom radnog vijeka stroja.

Upotreba ekspertnog sustava pruža mogućnost korištenja prednosti automatskog nadzora stroja i direktne intervencije, kao i mogućnost stalne nadogradnje baze podataka novim saznanjima i iskustvima. Time se povećava sigurnost broda, a vlasniku i operateru se omogućuje smanjenje odgovornosti, olakšava održavanje i kontrola uređaja, te što je najvažnije, smanjuju se troškovi održavanja i troškovi zastoja.

Ekspertni sustavi u pomorstvu prema užem području primjene, odnosno zadatku kojeg rješavaju, mogu se klasificirati u grupe:

***Ekspertni sustav za pomorski transport*** – planiranje i optimiranje plovnih putova, prijevoznih sredstava, transporta tereta, robe i putnika i slično.

***Ekspertni sustav za podršku u odlučivanju*** – pomoć i savjeti menadžmentu u donošenju odluka u raznim situacijama kao kod gradnje broda, upravljanje resursima poduzeća, izbor ponuđača i opreme i sličnih stvari.

***Ekspertni sustavi za projektiranje / dizajn*** - projektiranje brodskih strojeva i uređaja, te aranžiranje opreme na brodu, dizajniranje offshore platformi i izbor položaja.

***Ekspertni sustavi u sustavima upravljanja*** – praćenje flote i upravljanje, vođenje broda, dinamičko pozicioniranje, integrirano upravljanje s mosta, itd.



***Ekspertni sustavi u sustavima nadzora i dijagnostike*** – nadzor glavnih i pomoćnih strojeva i opreme na brodu, dijagnostika rada i kvarova brodskih strojeva i uređaja, analiza performansi strojeva u eksploataciji i slično.

***Ekspertni sustavi u simuliranju i predviđanju*** – prognoze vremena i stanja mora, simuliranje brodskih procesa, predviđanje stanja strojeva i preventivno planiranje održavanja.

***Ekspertni sustavi u klasifikaciji*** – pravna regulativa u pomorstvu, zahtjevi klasifikacijskih društava

***Ekspertni sustavi opće namjene*** – informacijski ekspertni sustav o raspoloživim resursima (materijalni, financijski, kadrovski i drugi.)

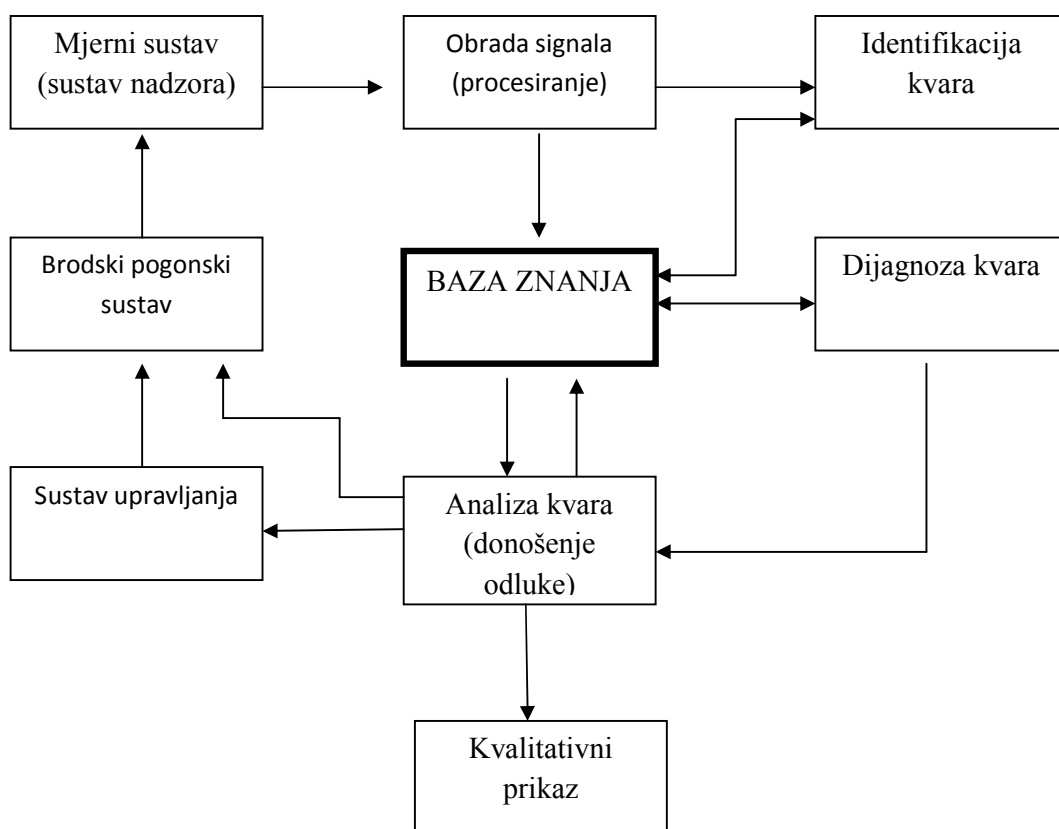
***Ekspertni sustavi u edukaciji*** – inteligentni sustavi o edukaciji

## **4.2 Pojam i definicija ekspertnih sustava**

Ekspertni sustavi su računalni programi realizirani različitim metodama umjetne inteligencije, koji poput ljudi rješavaju probleme u svom specijaliziranom problemskom području uz pomoć logičkog zaključivanja i upotrebom opsežnog znanja koje je u njih implementirao čovjek.

Pod pojmom ekspertni sustav upravljanja danas se podrazumijeva sustav koji može učinkovito obavljati funkcije upravljanja, ne samo u normalnim radnim uvjetima i definiranim stanjima, nego i u uvjetima nepotpunih i nepouzdanih informacija, šumova, smetnji, te uvjetima kvarova. Ovakvi sustavi imaju sposobnost učenja i adaptivnosti te tolerancije kvarova. Osnovna ideja u izgradnji inteligentnih sustava upravljanja je implementacija logike zaključivanja i donošenja odluka – akcija svojstvenih čovjeku, te mogućnost snalaženja odnosno uspješnog vođenja procesa u nepredvidivim okolnostima. Ovakvi sustavi su zasnovani na bazi znanja, što znači da za njihov rad nisu dovoljni samo mjereni podaci, već su ovisni o kvalitetnoj bazi znanja o procesu – objektu upravljanja. Izvori za izgradnju baze znanja su mnogobrojni i nužno ih je koristiti u dizajniranju i primjeni inteligentnih sustava na brodu: podaci proizvođača opreme, podaci i informacije s probnih ispitivanja, znanje i iskustvo eksperata područja, stručna, znanstvena i druga literatura, iskustvo operatera, simulacijski modeli, on- line odnosno podaci iz eksploatacije...

Suvremeni sustavi upravljanja brodskih energetske procesa podržani su ili potpuno vođeni sustavom digitalnih računala i mikroelektroničkih sklopova. Ugradnjom "znanja" u te sustave i mogućnosti što ih pružaju nove tehnologije i tehnike, naročito softverske: neizrazita logika, prepoznavanje uzoraka, genetički algoritmi, neuronske mreže i dr., moguće je ove sustave učiniti ekspertnim i visoko tolerantnim na kvarove u tijeku rada. To je ujedno najbolji način za povećanje učinkovitosti i raspoloživosti pogonskog procesa. Slika 15. prikazuje shemu ekspertnog sustava upravljanja i dijagnostike brodskog pogonskog stroja. Ovakvi sustavi u radu koriste osim signala dobivenih neposrednim mjerenjem s mjernih pretvornika – senzora, i pridodane baze znanja i simulacijske modele procesa, te mehanizme zaključivanja i odluke što im pruža nove mogućnosti dijagnostike, inteligentnog i adaptivnog upravljanja.



**Slika 15. Ekspertni sustav upravljanja i dijagnostike brodskog pogonskog stroja [13]**

Primjena ekspertnih sustava u pomorstvu je: podrška u odlučivanju, upravljanje i nadzor brodskih strojeva, identifikacija brodskih procesa, projektiranje i razmještaj brodske opreme, simulacija, prognoza, dijagnostika kvarova i slično. Ekspertni sustavi znaju korisniku objasniti svoj način zaključivanja i često su sposobni zaključivati i na temelju nepotpunih informacija. Pošto se "znanje" tih sustava bazira u znatnoj mjeri na znanju iz područja primjene, često se takvi sustavi nazivaju i sustavima zasnovanim na znanju i inteligenciji. Tipična područja primjene ekspertnih sustava su ona za koja nisu poznati točni algoritmi ili matematički modeli ponašanja, niti je znanje dovoljno formalizirano kao na primjer kod medicinske dijagnostike, ekonomskog istraživanja i sličnih područja.

Arhitektura ekspertnih sustava ovisi o području primjene i predmet je stalnih istraživanja i usavršavanja. Iako je svaki ekspertni sustav različit, svi skupa imaju nekoliko bitnih zajedničkih komponenti .

**Baza znanja:** Kvaliteta ekspertnog sustava prvenstveno je funkcija obujma i kvalitete njegove baze znanja. Baza znanja sadrži znanje točno o određenom problemskom području za koje je namjenjen ekspertni sustav, i to najčešće u obliku činjenica i pravila te heuristike. Kod činjenica i pravila misli se na opće poznate i prihvaćene, a dok pod pojmom heuristika podrazumjevaju se ekspertova pravila zaključivanja i odlučivanja na temelju dubokih znanja i iskustva u danom području. Jedno od centralnih pitanja u izgradnji ekspertnog sustava je izgradnja baze znanja, što predstavlja jednu od najsloženijih faza u projektiranju i razvoju ekspertnog sustava. Za izgradnju takve baze znanja potrebno je najprije prikupiti i ekstrahirati ekspertova znanja, a zatim transformirati u oblik za najefikasnije iskorištenje na računalu.

**Razvojno sučelje** još se naziva i modul za prikupljanje znanja. Proces prikupljanja znanja i njegove transformacije u izabranu formu za predstavljanje naziva se inženjerstvo znanja, a stručnjaci koji taj posao obavljaju nazivaju se tehnolozi znanja.

Proces prikupljanja i inoviranja znanja može se obaviti na tri načina.

1. Ručno uz posredovanje tehnologa znanja (konzultiranjem stručnjaka-eksperata)
2. Ručno, ali bez posredovanja tehnologa znanja. U razvoju novijih ekspertnih sustava teži se ovakvom načinu prikupljanja znanja, pa se razvijaju i odgovarajući alati za akviziciju. To su softverski moduli koji moraju biti sofisticirani s obzirom da ekspert područja ne mora posjedovati mnogo znanja iz računalne znanosti
3. Automatsko učenje, kao najviši oblik inoviranja znanja temelji se na generalizacijama i induktivnom učenju stroja na osnovi poznatog primjera iz prošlosti

Na ovim tehnikama obavljaju se intezivna istraživanja bazirana prije svega na metodama i tehnikama automatskog učenja i kvalitativnog modeliranja.

Kod izgradnje baze znanja postavlja se uvijek isto pitanje. Kako na najbolji mogući način predstaviti znanje da bude jasno korisniku? Opća forma za predstavljanje znanja treba omogućiti zapis znanja iz problemske domene, što uključuje činjenice o karakteristikama objekta, relacije među njima, opća pravila i metode za rješavanje problema o tom području. Shema predstavljanja znanja (formalizam) se smatra prikladnim za upotrebu u ekspertnim sustavima ako omogućuje efikasno rješavanje problema i istovremeno je pogodan za jednostavnu verifikaciju, modifikaciju i dopunjavanje baze znanja. Za predstavljanje znanja koriste se razne sheme (formalizmi): produkcijska pravila, semantičke mreže, okviri, predikatni račun i drugo.

U primjenjenim ekspertnim sustavima najčešće se koriste produkcijska pravila, prvenstveno zbog prednosti koje pružaju kao:

- svako pravilo predstavlja mali, relativno nezavisan dio znanja (primitiv)
- dodavanje novih i modifikacija postojećih pravila relativno je jednostavno i nezavisno od ostalih pravila.
- Potpomažu transparentnosti sustava na način da omogućuju odgovor na pitanja tipa "kako" i "zašto", što je posebno važno za korisnika sustava.

**Mehanizam zaključivanja** je modul kod ekspertnih sustava koji generira algoritme za rješavanje problema koristeći bazu znanja za problemsko područje naziva se mehanizmom zaključivanja. On treba osigurati odgovor korisniku na pitanja u raznim situacijama, služeći se pri tome procesom zaključivanja koji je korisniku postao razumljiv i prihvatljiv. Osim toga, ovaj modul treba realizirati upravljaču strategiju po kojoj se određuje redoslijed koraka u rješavanju problema ili nove situacije. Proces zaključivanja se temelji na dva fundamentalna koncepta:

- *zaključivanje naprijed*, koje polazi od poznatih uvjeta činjenica i traži cilj (hipotezu) koji odgovara tim uvjetima. Zaključivanjem (ulančavanjem) unaprijed, zaključuje se na temelju pojedinog odstupanja određenih vrijednosti ili kvara. Ekspertni sustav upućuje na provjeru komponente koja je uzrokovala poremećaj a upisana je u bazu znanja. Ova provjera može se obavljati i u prikazivanju znanja s određenom sigurnošću, tako da se mogući kvar s najmanjom mogućnošću pojavljivanja i najmanjim utjecajem, kontrolira posljednji. Ako je test pozitivan, nastupa akcija i uklanjanje pogreške u radu motora. Zaključivanjem unaprijed nije moguće odrediti na što kvar određenog strojnog dijela može utjecati. U tu svrhu primjenjuje se postupak zaključivanja unatrag.

- *zaključivanje natrag*, koje započinje postavljanjem cilja i traži uvjete koji udovoljavaju tom cilju. Mehanizam zaključivanja je relativno neovisan o problemskom području, pa tako i o bazi znanja, što je utjecalo na odvojeni razvoj mnogih pravila zaključivanja.

**Korisničko sučelje** ima ulogu da prihvati informacije i poruke od korisnika i prevodi u oblik razumljiv sustavu i obratno, tj. omogućuje dvostranu komunikaciju čovjek – stroj. Pošto ekspertnim sustavom želimo nadomjestiti čovjeka, on mora imati sposobnost objašnjavanja svojih odluka i savjeta u raznim situacijama na način što je moguće bliže ekspertovom. U tu svrhu služi *modul za objašnjenje*, koji predstavlja dio komunikacijskog sučelja (interface). Sučelje korisnik – ekspertni sustav, treba biti u stanju prepoznati mod rada korisnika, razinu njegove vještine i prirodu komunikacije, te se prilagoditi tome. Ovaj zahtjev nije lako ispuniti, pa kod istraživanja sve je usmjereno ka tom cilju.

### 4.3 Ekspertni model

Ekspertni model je program koji se ponaša slično kao stručnjak, ekspert, za određeno usko područje. Osim mogućnosti rješavanja problema, ekspertni model treba korisniku pružiti objašnjenje svojih zaključaka koji su doveli do tih odluka.

Ovaj se model zasniva na:

- Objašnjenju pitanja (kako, zašto)
- Primjeni nepotpunih podataka
- Upotrebi nepouzdanih podataka
- Jasnoći

Ekspertni sustav je sastavljen od modula:

- Modul za pripremu podataka
- Modul referentnih podataka sustava
- Programskog modula

Ekspertni sustavi se zasnivaju na principu opskrbljivanju računala znanjem, prema određenoj shemi. Ekspertni sustav će raditi prema postavljenim pravilima, koristeći se tehnikom postavljanja pitanja i odgovora koji se baziraju na dijagnostičkim mjerenjima. Eksperti tijekom vremena proširuju spoznaje i nadopunjuju bazu podataka ekspertnih sustava kako bi oni što bolje i učinkovitije obavili svoju zadaću.

Vrhunski sustavi imaju dijagnostiku koja uključuje:

- Praćenje vibracija, podmazivanja, termografije i analizu tih podataka
- CMMS (Computerized Maintenance Management System) koji objedinjuje kompletan sustav
- Ekspertni sustav zasnovan na tehnologiji praćenja stanja sa preporučenim kretanjima dijagnostičkih parametara.

#### **4.4 Model samoodržavanja**

Model samoodržavanja je sustav sposoban za automatsku dijagnostiku i popravak, još ga možemo nazvati samoobnavljajući sustav. Razvoj ovog pristupa održavanja zasniva se na iskustvima elektroničkih sustava, te se preslikava i na sve ostale tehničke sustave s težnjom ostvarenja koncepta broda s malim brojem posade.

Koncept broda s malim brojem posade, zasniva se na pojmu kapsula koje se promatraju kao ćelije u živom organizmu. Svaka kapsula sadrži više funkcionalnih jedinica koje predstavljaju podsustav. Uvođenjem pojma metamorfoza, određuju se postupci koji će se na osnovi potreba eksploatacijskog sustava računalno izvršavati, te odrađivati sastavljanje funkcionalnih jedinica unutar kapsule. Operacije održavanja izvodi posada.

Postupkom samoobnavljajućeg modela, održavanje je moguće odraditi s pomoću robota. Samoodržavanje kao koncept predstavlja najrazvijeniju razinu funkcije održavanja u potpuno automatiziranom brodu sa vrhunskim stupnjem automatizacije. Taj model je najbliži razvoju u budućnosti, a sastoji se od jednog ili više ekspertnih sustava.

Nagli razvoj informacijskih sustav nameće potrebu njihovog korištenja i daje brojne pogodnosti korisnicima. Računalom podržano upravljanje održavanjem (CMMS) je jedan od alata u održavanju za bolji tijek podataka i olakšavanje procesa donošenja odluka.

CMMS (Computerized Maintenance Management System) je jedan od alata u održavanju za bolji tijek podataka i olakšavanje donošenja odluka.

Sastoji se od modula koji obuhvaćaju:

- Identifikaciju sustava
- Radne upute uprave
- Planiranje i raspoređivanje
- Preventivno održavanje
- Popis kontrola

- Povijest sustava
- Rad
- Cijene i proračun

#### 4.5 Programski jezici i alati za izradu ekspertnih sustava

Najuobičajeni alat za razvoj ekspertnog sustava čine programski jezici opće namjene. Izbor adekvatnog alata, ključni je element u razvoju ekspertnih sustava. Adekvatni i pravilno odabrani alati osiguravaju bogato softversko okruženje kao pomoć u razvoju aplikacijskog softvera. Pružaju specifičnu pomoć za brzi razvoj prototipova (inkrementalni kompajleri) . Također mogu znatno reducirati potrebni rad i vrijeme za razvoj ekspertnih sustava, posebno u predstavljanju znanja i mehanizmu zaključivanja jer su te mogućnosti već djelomično ugrađene u alate. Alati za ekspertne sustave mogu pružiti pomoć prilikom razvoja ekspertnog sustava za specifično područje primjene, jer već sadrže ugrađeni dio znanja iz tog područja, pomažu i u procesu inoviranja znanja ili verifikacije sustava. Od programskih jezika opće namjene danas se najviše koriste *Lips*, *Prolog*, *POP II* kao jezici umjetne inteligencije. Oni predstavljaju simboličke programske jezike. *Lisp* i *POP II* su po svom konceptu slični, funkcionalni jezici, dok je *Prolog* logički jezik. Razlika je u tome što kod funkcionalnih jezika, svaka instrukcija predstavlja opis neke funkcije a dok kod logičkog jezika svaka instrukcija je neki izraz u formalnoj logičkoj sintaksi. Istraživanja su usmjerena razvoju jezika koji će kombinirati funkcionalne i logičke karakteristike. Osim navedenih, za razvoj i implementaciju ekspertnih sustava, koriste se i konvencionalni jezici kao npr. *C*, *Pascal*, *Fortran*. Konvencionalni jezici imaju nekoliko nedostataka u odnosu na jezike *AI* (*Prolog*, *Lisp*), a među najvažnijim nedostatkom je mnogo slabija podrška za simboličko procesiranje i automatsko upravljanje resursima baze znanja. Imaju oni i neke prednosti, pogotovo *C* jezik. Radi brže na hardveru opće namjene, ima širu opću podršku i više je raspoloživ, te lakše dostupan na tržištu, mnogo se lakše integrira sa postojećim vanjskim softverom.

U izboru jezika za razvoj ekspertnog sustava treba poštovati dva osnovna principa (*Rolson*):

- a) Razmotriti razvoj ekspertnog sustava primjenom simboličkog jezika *AI* (*Prolog*, *Lisp*) i prevođenja konačne verzije sustava u konvencionalni jezik za isporuku.
- b) Module realizirati primjenom simboličkog jezika

*LJUSKE ekspertnih sustava* (engl.shells): Kao prvi i najvažniji korak u razvoju specifičnog alata za ekspertne sustave bio je razvoj i uvođenje ljuski ekspertnog sustava. U istraživanju razvoja ekspertnog sustava došlo se do spoznaja da je moguće promatrati i razvijati ekspertni sustav kao dvije odvojene i relativno neovisne komponente: mehanizam zaključivanja i problemski ovisna baza znanja. Ovim se znatno povećava efikasnost u razvoju i izgradnji ekspertnog sustava, jer se ista ljuska može koristiti za različita, ali slična područja primjene, samom implementacijom odgovarajuće baze znanja. Implementacijom baze znanja za konkretno područje primjene u ljusku ekspertnog sustava mora se prilagoditi izabranom formalizmu predstavljanja znanja i mehanizmu zaključivanja. Pod riječi formalizam podrazumijeva se težnja za preciznošću jedne faze istraživačkog postupka, koja nije usklađena sa ostalim fazama. Dakle isticanjem formalnih elemenata zanemaruje se sadržaj i ideja.

Za razvoj ljuske ekspertnog sustava potrebno je :

1. Izabrati formalizam u kojem će znanje biti predstavljeno
2. Razviti formalizmu za predstavljanje znanja, odgovarajući mehanizam zaključivanja
3. Razviti sučelje pomoću kojega će sustav moći korisniku objašnjavati svoje odluke i postupak zaključivanja
4. Razviti metode i tehnike za rad s nepouzdanim i nepotpunim podacima

Postoji velik broj komercijalno raspoloživih alata za izradu ekspertnih sustava. Kreću se od najjednostavnijih, do veoma kompleksnih hibridnih sustava koji obuhvaćaju sofisticirana razvojna okruženja s višestrukim formalizmima za predstavljanje znanja i paradigmatama zaključivanja, te omogućavaju rješavanje problema iz više različitih područja primjene. Za upotrebu ovakvih složenih alata potrebne su sofisticirane automatizacijske stanice.



## 5. EKSPERTNI SUSTAV "CoCoS"

### 5.1 Razvoj ekspertnog sustava "CoCoS"

Ekspertni sustav CoCos razvija tvrtka MAN-B&W za svoje motore. Razvoj je započeo 1991. godine, na temelju već postojećih programskih proizvoda raznih kompanija, sa ciljem izrade ekspertnog sustava, koji bi mogli nazvati sustav električkog upravljanja motora. "CoCoS" je kratica engl. Computer Controlled Surveillance, što u prijevodu znači računalno upravljano nadziranje. To je softverski sustav baziran na PC-u, a koristi se za nadzor motora, praćenje njegovog stanja, održavanje po dijagnosticiranim potrebama, logistiku, te nabavu dijelova i praćenje zaliha. "CoCoS" ekspertni sustav je osmišljen tako da stalno prati i vrši ispitivanje podataka prikupljenih na motoru.

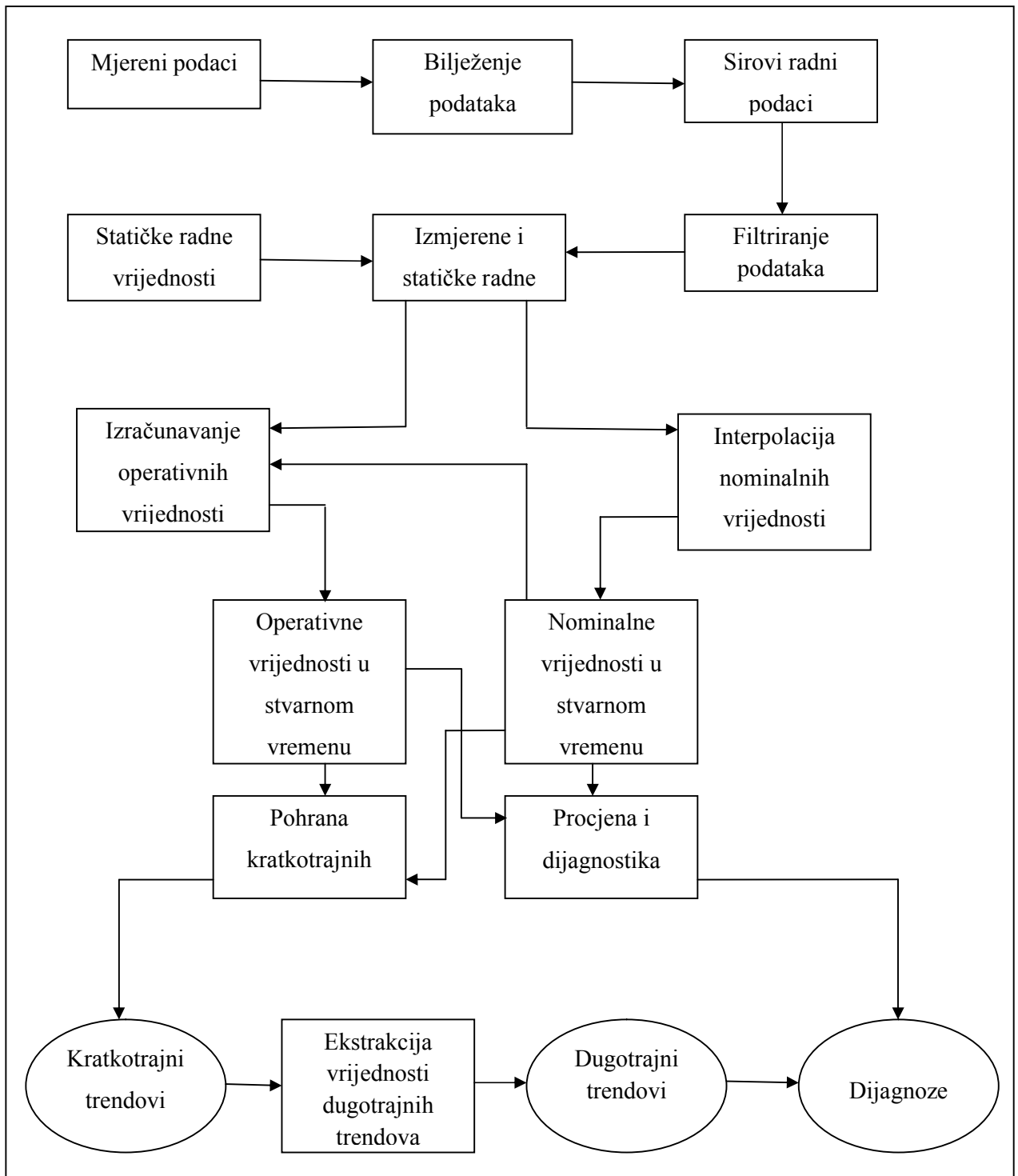
Radi se o MAN B&W i S.E.M.T.Pielstick 2-taktnim i 4-taktnim diesel motorima, bez obzira koriste li za poriv ili proizvodnju električne energije (glavni i pomoćni motori). Uspoređuje ih sa zadanim vrijednostima koje su postavljene u sustavu, te izvještava osoblje o greškama i nepravilnostima.. Pruža i preporuke za otklanjanje tih nedostataka, odnosno aktivira radne naloge koje osoblje treba izvršiti da bi se nedostaci u radu motora otklonili. Sustav prati i stanje zaliha rezervnih dijelova te nastoji optimizirati njihovu količinu, vodeći računa o količini dijelova koja je nužna za nepredviđene kvarove, kao i o količini dijelova potrebnih za zahvate koji će po analizi stanja motora uskoro dospjeti za izmjenu.

Program je podijeljen na samostalne, ali povezane module, pokrivajući čitav sustav planiranog održavanja. Grafički alat je integriran unutar CoCoS-a kako bi olakšao i osigurao odabir rezervnih dijelova. CoCoS omogućuje da od slike glavnog motora, odabirom i povećanjima dobijemo sliku nekog manjeg dijela koji su predloženi ili slikom ili crtežom. Svi ti podaci su pohranjeni u bazi podataka (koji su dostupni iz svih modula CoCoS-a.)

CoCoS program povezuje slijedeće:

- nadzor motora
- dijagnoze radnog učinka
- mehaničkog stanja motora
- planiranja održavanja
- rukovanje i nabavu rezervnih dijelova
- daje optimalne zaključke i preporuke
- opskrbljuje posadu ukupnom procjenom stanja motora

Na slici 16. je prikazan dijagram toka informacija, temeljem kojih se iz mjerenih podataka i pohranjene baze znanja obavlja dijagnostika u stvarnom vremenu.



Slika 16. Dijagram toka informacija u CoCoS sustavu [12]

Ekspertni sustav CoCoS je podijeljen na četiri glavna dijela tj. na četiri zasebna modula. Svaki se može posebno aktivirati, korisnik ne mora upotrebljavati sva četiri modula.

Moduli CoCoS-a imaju funkcije:

- osiguravaju matricu u koju će biti instalirani različiti programski moduli
- osiguravaju distribuciju informacija između pojedinih modula
- posadi daju jednostavan pristup različitim aplikacijama i programskih alatima
- osiguravaju lako korištenje programskih alata koji su bazirani na Microsoft Windows sustavu

## **5.2 Moduli ekspertnog sustava "CoCoS"**

1. EDS (Engine Diagnosis System) – Sustav praćenja stanja motora
2. MPS (Maintenance Planning System) – Sustav planiranja održavanja
3. SPC (Spare Part Catalogue) – Katalog rezervnih dijelova
4. SPO (Stock Handling and Spare Part Ordering) – Vođenje zaliha i naručivanje rezervnih dijelova

### **5.2.1 Modul EDS (Engine Diagnosis System) – Sustav praćenja stanja motora**

Sustav praćenja motora nadzire motor u radu. Prikuplja i obrađuje podatke te određuje moguće pogreške rada. Karakteristike ovog sustava su radne krivulje i proračuni. Podaci se prikupljaju sondama i osjetnicima koji su instalirani na motoru i uspoređuju se sa podacima koji su unešeni u bazu podataka sustava tj. sa pravilima koja su postavili ljudi prilikom izvedbe sustava. Na osnovu prikupljenih informacija i podataka logički sklopovi zaključuju kakvo je stanje motora. Kad se utvrde odstupanja koja prelaze zadane granice, aktivira se korektivna akcija. Aktiviranje korektivne akcije se najčešće pokreće izdavanjem upozorenja osoblju uz aktiviranje drugog modula MPS.

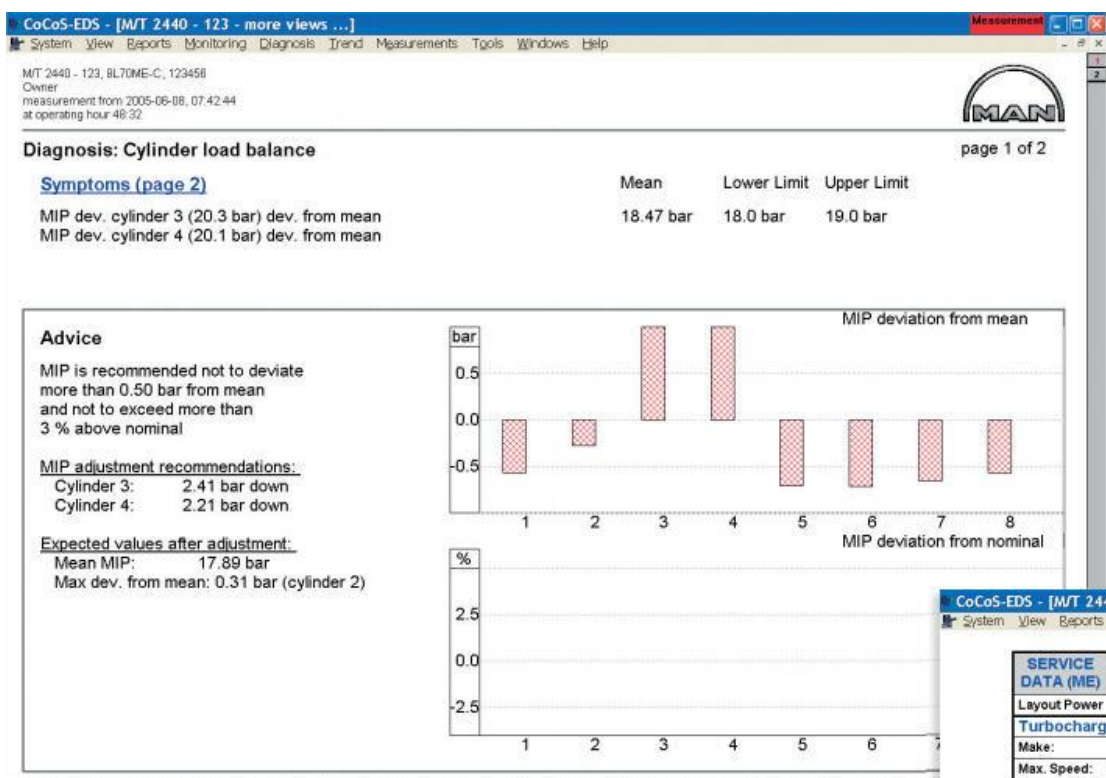
Dijagnosticiraju se slijedeći parametri :

- opterećenje motora, neregularnost izgaranja i uštrcavanja goriva
- temperature i tlakovi zraka, plinova, ulja i vode
- nepravilnosti u radu kompresora, rashladnog zraka, turbina i filtra zraka

- temperature komponenata

On-line dijagnostikom može se dalje planirati preventivno održavanje, uz objašnjenje uzroka i posljedica smetnji u radu.

Na slici 17. dat je prikaz srednjih indiciranih tlakova izgaranja u sustavu CoCoS EDS.



Slika 17. Prikaz srednjih indiciranih tlakova izgaranja u sustavu CoCoS EDS [7]

Najvažniji podaci se redovito unose u sustav praćenja promjene podataka, kako bi se moglo izvršiti potpuna dijagnostička analiza. Ukoliko je potrebno može se raditi i sa ručno unesenim podacima kao što je prikazano na dijagnostičkom izvještaju u tablici 5.

**Tablica 5. Primjer dijagnostičkog izvještaja [7]**

| <b>DIJAGNOSTIČKI IZVJEŠTAJ</b>   |                        |                |                 |
|--|------------------------|----------------|-----------------|
| Cilindar broj  | 1                      | broj sati rada | 10843           |
| DIO  | <b>Ubrizgač goriva</b> |                |                 |
| Stanje   | (oštećen)              |                |                 |
| Vjerovatnost   | (skoro)                |                |                 |
| <b>NAREDBA</b>   |                        |                | <b>Broj = 5</b> |
| <p>Izvršiti sljedeće naredbe glede ubrizgača goriva</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- potvrda djelova za ubrizgač goriva</li> <li>- potvrda održavanja ubrizgača goriva</li> </ul> <p>Izvršiti pregled ubrizgača goriva što je prije moguće</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- izmjeniti sapnicu</li> </ul> |                        |                |                 |

### **5.2.2 Modul MPS (Maintenance Planning System) – Sustav planiranja održavanja**

Osnovna namjena ovog modula je planiranje pregleda i održavanja koje treba izvesti nakon određenog broja radnih sati ili kalendarskih dana. Kada se stvore uvjeti za ovu aktivnost ekspertnog sustava, svi potrebni radovi se prikazuju na monitoru. Tako korisnik može vidjeti kada i što treba biti učinjeno, te napraviti raspored radova a da pri tom ne utječe na trenutno putovanje broda.

Baza podataka (koja je unesena od strane proizvođača motora) je temelj ovog programa. Posada najčešće tokom rada upotpunjuje ovu bazu.

Program radi na način da se u skladu izabrane preporuke (modula) odabere određeni posao, te se na osnovu toga isplanirano cijeli radni zadatak (od radnih kartica, upustava, crteža, narudžbenica) automatski ispisuje na pisaču. Obaveza je operatora da na kraju posla

napiše izvješće s komentarima koje će služiti prilikom slijedećeg izvršenja istog posla. Svi se ti podaci obnavljaju i pohranjuju u bazu podataka

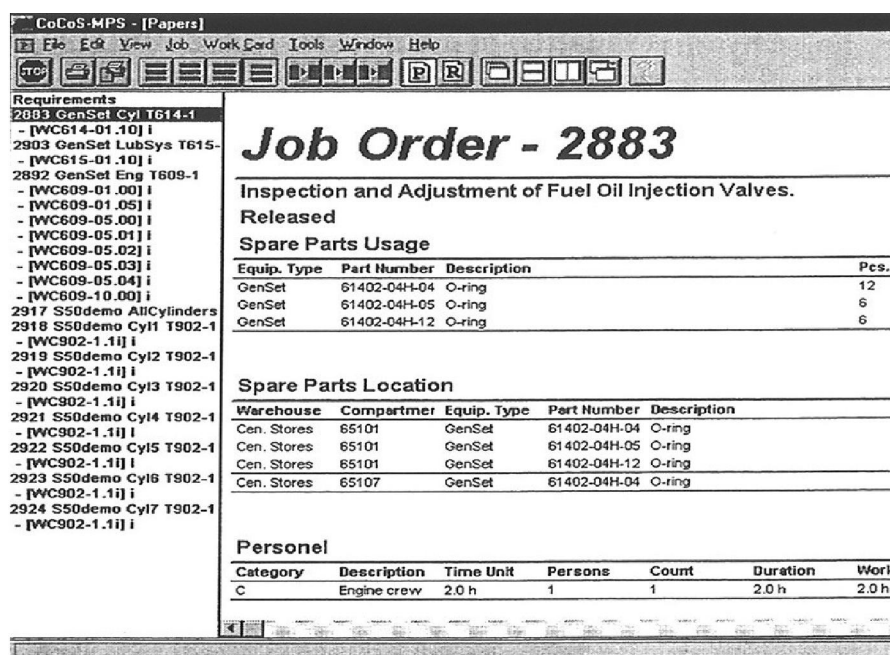
**Najvažnije funkcije ovog modula su:**

- vođenje zabilješki o redovnim održavanjima kao i dodatnim poslovima
- optimiziranje plana održavanja koje uključuje redovite poslove i poslove koji su zavisni jedni od drugih, uzimajući u obzir raspoložive resurse
- instrukcije o postupcima, crteži, alat i ostala pomagala pri izvođenju posla
- razvoj baze podataka o povijesti održavanja, te tako daje statističku procjenu mogućih poslova remonta

Osim ovih podataka još su uzeti u obzir i raspoloživi resursi kao:

- instrukcije
- radna snaga
- rezervni dijelovi
- alat
- raspored plovidbe

Na slici 18. prikazan je radni nalog u CoCoS- MPS



Slika 18. Radni nalog u "CoCoS" – MPS [9]

Također je u izborniku CoCoS – MPS moguće pronaći izvještaje tj. povijest održavanja (Maintenance History), u kojem su zabilježene sve radnje koje su dosad izvršene na tom uređaju ili sustavu.

### **5.2.3 Modul SPC (Spare Part Catalogue) – Katalog rezervnih dijelova**

CoCoS SPC je elektronički katalog koji pokriva čitav spektar rezervnih dijelova za MAN B&W i S.E.M.T. Pielstick motore, i podatke za svaki sustav prilagođava za određeno postrojenje. Kao i u slučaju CoCoS MPS-a, i CoCoS SPC je također “otvoren” pošto ga korisnik može nadopuniti relevantnim informacijama za pomoćnu opremu.

To je računalno izveden katalog koji olakšava prepoznavanje i odabir rezervnog dijela, a samim time i naručivanje istih. Postoji u vidu tablice s kodnim brojevima, kao i u vidu grafičkog prikaza, tj. slika na kojima su prikazani dijelovi motora s prečacem na pojedine dijelove. Pruža potpune i detaljne podatke o svim dijelovima motora, čime znatno pomaže osoblju koje se njime koristi. Sa modulom SPC se jako jednostavno rukuje jer je sve prilagođeno pregledu krajnjem korisniku.

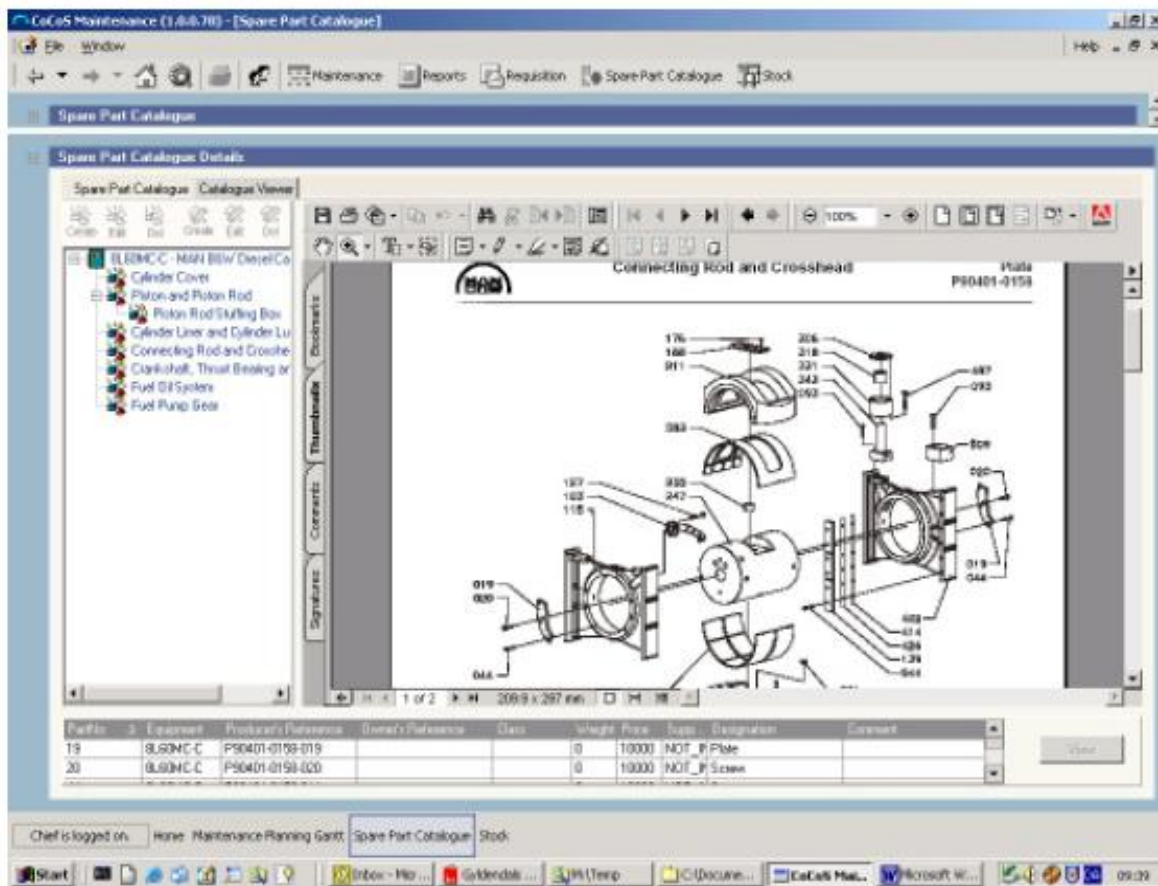
Ovo znači da ovaj modul može zamijeniti jedinstven skup menadžera i tehničara koji kontinuirano nadgledaju, prate stanje skladišta, razmatraju, odlučuju i obnavljaju trenutno stanje postrojenja.

#### ***Glavne značajke ovog programa su:***

1. Fleksibilnost sustava omogućava pronalaženje rezervnih dijelova na temelju različitih kriterija
2. Pronalaženje rezervnih dijelova upotpunjeno je elektroničkim notesom, koji automatski obnavlja pohranjene informacije o komponentama, i omogućava dopunu dodatnim informacijama
3. Korisniku je predočena jednostavna organizacijska hijerarhija komponenata i dijelova, kao i lista pojedinačnih dijelova i njihova precizna identifikacija što smanjuje mogućnost pogreške
4. Kako je katalog integrirani dio CoCoS sustava, ostali moduli pružaju informacije i crteže potrebne za određeni rezervni dio.

Ovi faktori značajno poboljšavaju kontinuitet izmjene posade, što je vrijedan doprinos modernoj floti i menadžmentu flote. Uštedom vremena, smanjujući pogreške i sprečavajući krive narudžbe, CoCoS SPC daje veliki doprinos optimalnom iskorištenju broskog postrojenja.

Na slici 19. je prikazan primjer izbornika kataloga rezervnih dijelova

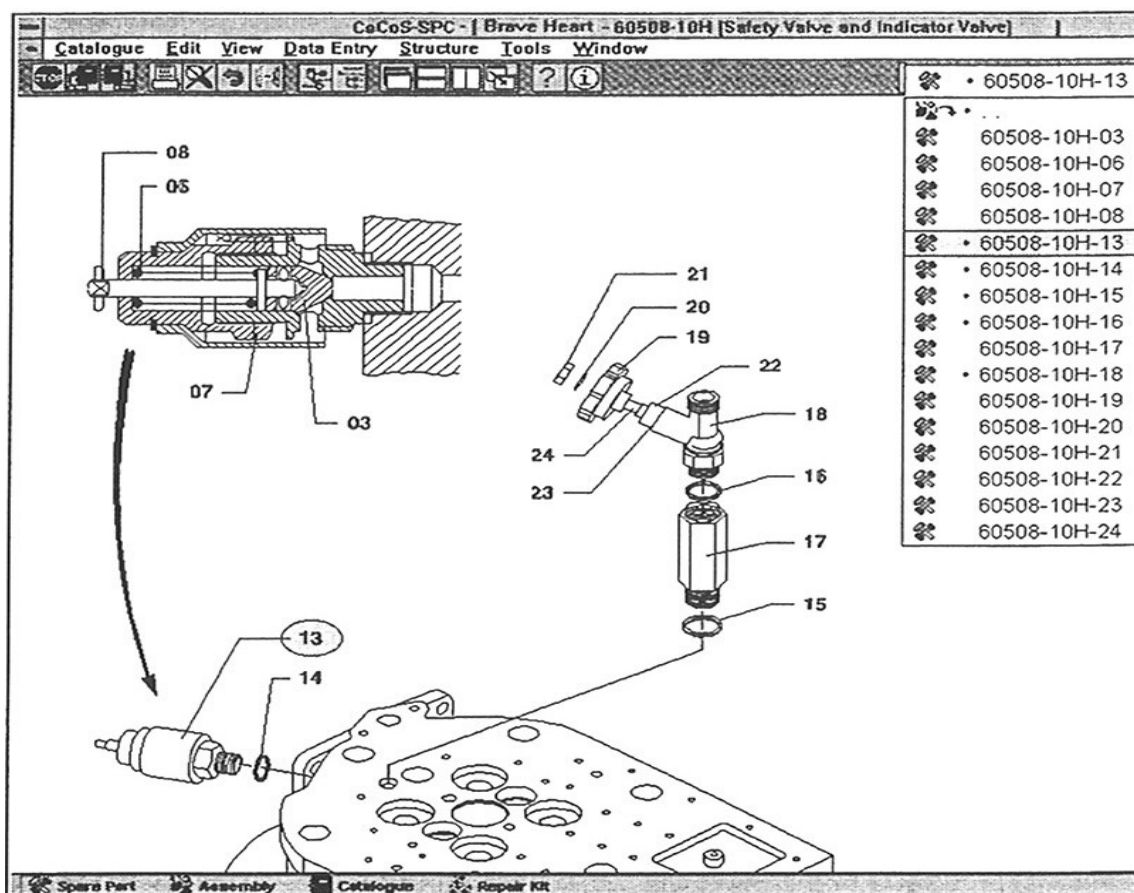


Slika 19. Izbornik iz kataloga rezervnih dijelova [12]

Katalog je jednostavna kompjuterizirana lista rezervnih dijelova. Kursorom se klikne na određeni dio na motoru, a pošto su svi dijelovi pohranjeni u bazu podataka kao digitalizirani 'jpeg' kompjuterski format, onda vidimo i fotografiju (ili nacrt) tog rezervnog dijela, kao što je prikazano na slici 20.

Funkcije programa su mnogo složenije, pošto one mogu koristiti informacije o radu i održavanju motora iz drugih CoCoS modula.





Slika 20. Princip traženja dijelova u CoCoS sustavu [8]

#### 5.2.4 Modul SPO (Stock Handling and Spare Part Ordering) – Vodenje zaliha i naručivanje rezervnih dijelova

Ovaj sustav pomaže posadi pri vođenju stanja broskog skladišta, nabavci dijelova i povremenom popisu dijelova na skladištu. U sustavu su predviđene posebne tablice za smještaj dijelova, podataka o dobavljačima, podataka o cijenama, minimalne potrebne zalihe, te cjelokupni pregled zaliha uključujući i njihovu knjigovodstvenu vrijednost. Ovaj je sustav povezan sa sustavom planiranja održavanja CoCoS MPS, tako da se djelovi koji su upotrebljeni prilikom održavanja automatski otpisuju sa zaliha. Vode se kao upotrebljeni. Uz pomoć baze podataka, sustav pomaže posadi u rukovanju logistikom rezervnih dijelova. Baze podataka su slijedeće:

- Baza podataka zaliha koja daje informacije o rezervnim dijelovima

- Baza podataka lokacija koja pomaže lociranju rezervnih dijelova
- Baza podataka statistike rezervnih dijelova
- Baza podataka opskrbljivača rezervnih dijelova
- Baza podataka narudžbi

Međusobna povezanost ovih funkcija omogućava CoCoS SPO-u:

- Centralizaciju informacija o zalihama
- Osiguranje jedinstvene predvidljive kontrole zaliha
- Izvršavanje narudžbi rezervnih dijelova u bliskoj suradnji sa ostalim modulima CoCoS-a

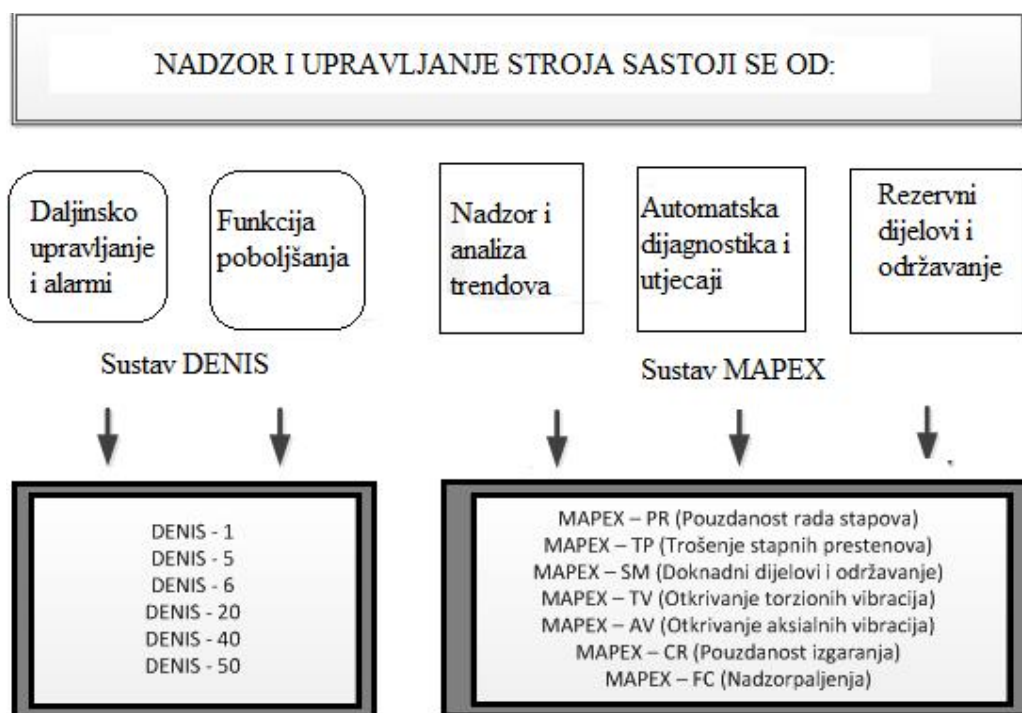
Ove funkcije i mogućnosti garantiraju efikasnost i optimalnu logistiku rukovanja rezervnim dijelovima za bilo koje postrojenje uključeno u sustav CoCoS modula.

## 6. EKSPERTNI SUSTAV "MAPEX"

### 6.1 Razvoj ekspertnog sustava "MAPEX"

Ekspertni sustav MAPEX razvija tvrtka Wartsilla Sulzer. MAPEX (Monitoring and Maintenance Performance Enhancement with expert knowledge) je nadogradnja na postojeći sustav elektronskog upravljanja DENIS (Diesel Engine Control and Optimizing Specification). Sustav MAPEX je razvijen kao podrška za upravljanje diesel motorima tvrtke Wartsilla Sulzer s ciljem stvaranja električki upravljanih motora, olakšavanja rukovanja motorom te održavanja motora. MAPEX u prijevodu znači "Praćenje i poboljšavanje procesa održavanja sa znanjem eksperta".

Slika 21. grafički prikazuje ukupan sustav upravljanja motorom, rada s njim, održavanja i dijagnostike motora. Na slici se jasno vidi za što je namjenjen sustav DENIS a za što je njegova nadogradnja, sustav MAPEX.



Slika 21. Prikaz sustava upravljanja motorom, rada s njim, dijagnostike i održavanja [6]

Na slici se vidi da je sustav DENIS predviđen za nadgledanje i poboljšanje rada motora.

MAPEX je predviđen kao podrška sustavu održavanja motora. MAPEX ekspertni sustav se sastoji od sedam modula.

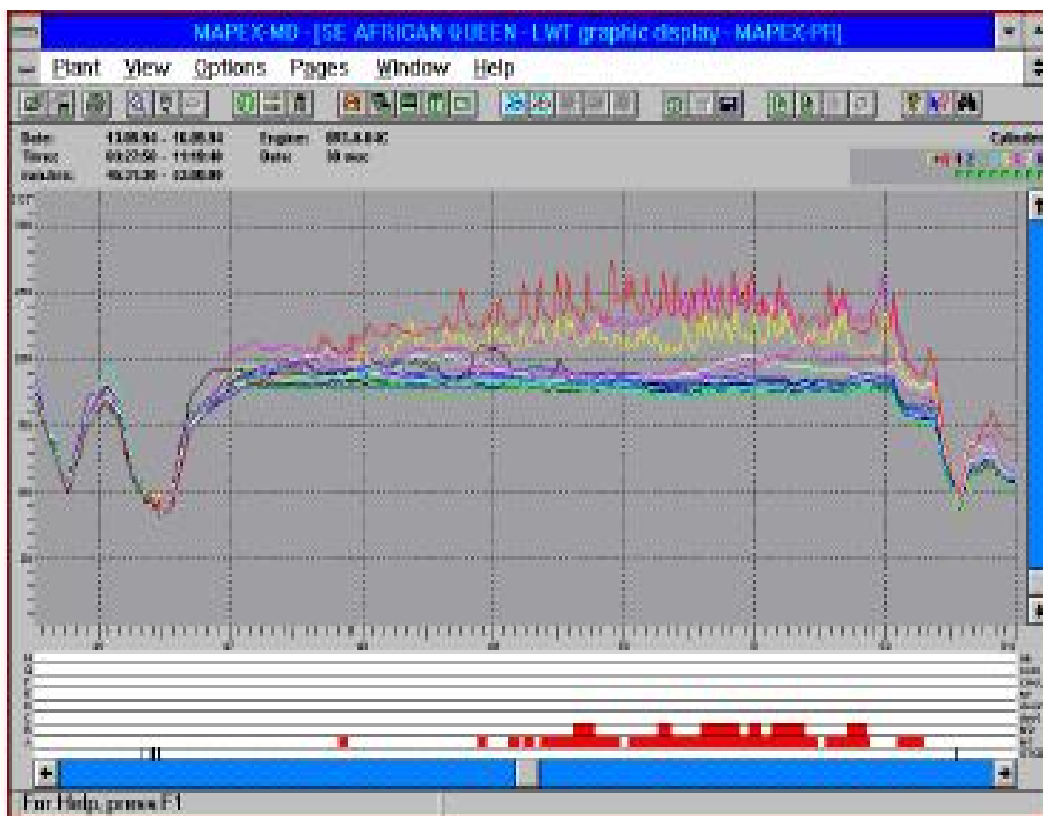
## 6.2 Moduli ekspertnog sustava "MAPEX"

1. MAPEX-PR (*eng. MAPEX Piston-running Reliability*) - Pouzdanost rada klipova
2. SIPWA-TP (*eng. Sulzer Integrated Piston-ring Wear-detecting Arrangement with Trend Processing*) – Trošenje stapnih prstenova
3. MAPEX-SM (*eng. MAPEX Spare parts and Maintenance*) – Rezervni dijelovi i održavanje
4. MAPEX-TV (*eng. MAPEX Torsional Vibration Detection*) – Otkrivanje torzionih vibracija
5. MAPEX-AV (*eng. MAPEX Axial Vibration Detection*) – Otkrivanje aksijalnih vibracija
6. MAPEX-CR (*eng. MAPEX Combustion Reliability*) – Pouzdanost izgaranja
7. MAPEX-FC (*eng. MAPEX Firing Control*) – Nadzor paljenja

### 6.2.1 MAPEX-PR – Pouzdanost rada klipova

MAPEX-PR je sustav nadzora cilindara. Sustav je namijenjen velikim dvotaktnim motorima. Sustav kontinuirano prati radne uvjete u cilindru motora kao što su temperatura radne površine cilindarske košuljice, ulaznu i izlaznu temperaturu rashladne tekućine cilindra, temperaturu ispirnog zraka nakon svakog rashladnika, mjeri broj okretaja motora i opterećenje motora.

U cilindru motora su smješteni senzori, osjetnici i sonde raznih izvedbi. To su pretvarači, koji izmjerenu vrijednost pretvaraju u struju. Današnji pretvarači najčešće daju na izlazu struju od 4 do 20 mA. Signali dolaze u spojnu kutiju koja ih šalje u elektronsku jedinicu. Te elektronske jedinice su nekad bile većinom analogne kartice, dok se u današnje vrijeme koristi PLC (programmable logic controller). Iz elektronske jedinice signal profibusom (process field bus) ide u računalo koje pomoću instaliranog softvera dobivene vrijednosti prima, te ih grafički predočuje na ekranu. Jedan takvi izvještaj prikazan je na slici 22.



**Slika 22. Grafički prikaz dobivenih podataka u sustavu MAPEX-PR [6]**

Izvrještaj sadrži informacije o temperaturi stijenke košuljice, temperaturi ulaza i izlaza rashladne vode, temperaturi ispirog zraka iza svakog pojedinog rashladnika, broj okretaja motora te indikator opterećenja motora. Na slici se vidi povećana temperatura na stijenci košuljice.

### **6.2.2 SIPWA-TP – Trošenje stapnih prstenova**

SIPWA- TP sustav kontrole trošenja stapnih prstenova nam omogućuje praćenje istrošenosti prstenova kao i njihovo okretanje u utorima stapa. Senzori primaju signale te ih predaju računalu koje ih obrađuje. Na osnovu obrađenih podataka, računalu daje cjelokupnu sliku stanja stapnih prstenova, omogućujući optimizaciju podmazivanja te potrošnje cilindarskog ulja. SIPWA- TP sustav vrlo brzo otkriva nepovoljne radne uvjete te aktivira alarme kojima obavještava osoblje.

Sustav sadrži grafičke pokazatelje slijedećih vrijednosti:

1. Prosječno ukupno trošenje stapnih prstenova. Najviše do 3,5 milimetara
2. Istrošenost određenih dijelova prstena
3. Okretanje prstena u odnosu na radne sate
4. Prosječne okretaje motora, sa bilježenjem perioda zaustavljanja
5. Predviđena održavanja u usporedbi sa radnim satima, za svaki cilindar posebno

### **6.2.3 MAPEX-SM - Rezervni dijelovi i održavanje**

MAPEX – SM je sustav za održavanje i rezervne dijelove. Njegova svrha je planiranje održavanja, vođenja skladišta, praćenje količine dijelova na skladištu te naručivanje novih dijelova.

MAPEX- SM sustav se sastoji od šest podsustava.

1. Održavanje
2. Nabava
3. Inventar
4. Izdavanje radnih naloga
5. Grafičko i statističko izvještavanje
6. Izlazno - ulazni podsustav

1. *Podsustav održavanja* - je namjenjen planiranju cjelokupnog održavanja. Pri tome uzima u obzir predviđene poslove, potreban alat, potrebne dijelove, vrijeme rada, broj osoblja potreban za održavanje, te detalje održavanja. Zapise o održavanju čuva u posebnom registratoru, skupa sa statistikama održavanja. Ovaj podsustav također planira korektivno održavanje, raspoređeno po dijelovima motora.

2. *Nabava* – ovaj podsustav obuhvaća sve dijelove motora, njihove detalje, cijenu te adrese dobavljača. Unutar modula nalaze se obrasci za narudžbu, koji se popunjavaju jednostavnim pozivom na nedavno utrošene dijelove.

3. *Inventar* – ovaj podsustav obuhvaća kompletan nadzor i registraciju svih rezervnih dijelova na brodu. Podsustav prati količinu dijelova na skladištu, potrebnu minimalnu količinu, njihovu vrijednost, te mjesto skladištenja.

4. *Izdavanje radnih naloga* – ovaj podsustav izdaje radne naloge tj. upute za održavanje. U ovom podsustavu su spremljeni opisi svih poslova koji će se raditi na motoru tijekom njegovog radnog vijeka. Napisani su iscrpno sa svim detaljima specifičnim za određeni motor ili neki njegov dio.

5. *Grafičko i statičko izvještavanje* – ovaj podsustav omogućava ovlaštenom osoblju da podatke u sustavu pregleda na nekoliko načina. Najzanimljiviji je grafički pristup i prikaz.

6. *Izlazno – ulazni podsustav* je potreban samo ako postoji MAPEX-SM instaliran i u uredu. U tom slučaju svi zapisi u sustavu vrlo se brzo i jednostavno repliciraju prema uredu. To nam olakšava i ubrzava komunikaciju.

Program MAPEX-SM se može napraviti tako da dobiva ulazne podatke od sustava praćenja stanja MAPEX-PR i SIPWA-TP, te da na osnovu dobivenih signala aktivira radne naloge u svojoj bazi.

#### **6.2.4 MAPEX-TV – Otkrivanje torzionih vibracija**

**Mapex-TV** je sustav koji nadzire torzione vibracije na motoru, tj. sustav za kontinuirano izračunavanje torzionih vibracija 1. i 2. reda. Detektira zatajenje paljenja u cilindru motora, spriječava lažne alarme te nadzire torzione vibracije na koljeničastoj osovinu. Informacije predaje računalu koje obrađuje podatke. Na osnovu dobivenih informacija računalo upozorava korisnika u slučaju pojave vrijednosti većih od dopuštene. Ovaj sustav ima mogućnost prikazivati podatke u grafičkom obliku.

#### **6.2.5 MAPEX-AV – Otkrivanje aksijalnih vibracija**

**Mapex-AV** je sustav jako sličan sustavu Mapex-TV, samo što ne detektira torzione nego aksijalne vibracije. Također ima mogućnost grafičkog prikaza dobivenih rezultata.

#### **6.2.6 MAPEX-CR – Pouzdanost izgaranja**

**Mapex-CR** je sustav pouzdanosti izgaranja tj. sustav kontrole izgaranja. Prati proces pomoću elektronskih osjetnika koji su konstruirani i ugrađeni da vrše kontinuirano mjerenje tlakova u cilindru motora. Modul Mapex-CR prati parametre : maksimalni tlak izgaranja,

vrijednost tlaka u ovisnosti o položaju koljenastog vratila, tlak kompresije te srednji indicirani tlak. Na osnovu nekog odstupanja mjerenih vrijednosti, može se rano otkriti neki nedostatak u radu motora. Možemo otkriti da je motor preopterećen, da su cilindri neuravnoteženo opterećeni, da je ubrizgavanje u motor nekvalitetno te možemo detektirati slomljeni stapni prsten. U slučaju odstupanja vrijednosti od zadanih parametara modul upozorava posadu broda.

#### **6.2.7 MAPEX- FC – Nadzor ubrizgavanja goriva**

**Mapex-FC** – je sustav koji koji nadzire izgaranje goriva u cilindrima. Šalje ih računalu, koje ih obrađuje te uspoređuje sa podacima upisanim u bazi podataka. Na osnovu dobivenih rezultata, sustav sam podešava vrijeme ubrizgavanja goriva.



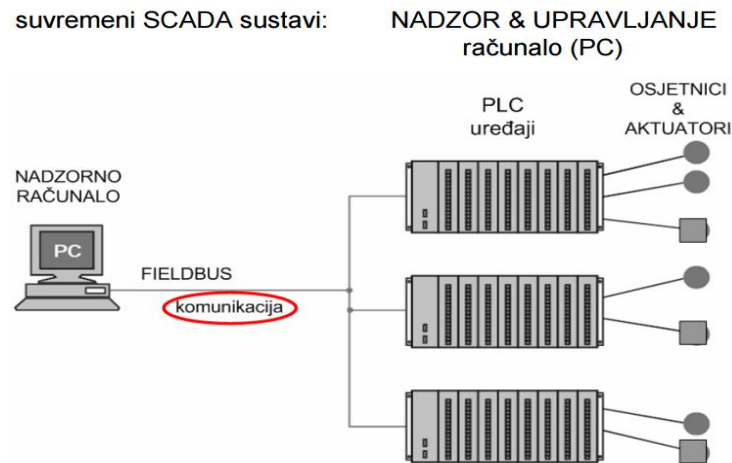
## 7. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

### 7.1 Razvoj sustava SCADA

SCADA je skraćeni naziv za "Supervisory Control And Data Acquisition" što u prijevodu znači "Kontrola, nadziranje i prikupljanje podataka".

Ovi sustavi u različitim oblicima postoje još od 60-tih godina, a od 90-tih godina 20. stoljeća doživljavaju veliku ekspanziju sa pojavom sve bržih i efikasnijih računalnih i mikrokontrolerskih uređaja. Mogu se koristiti za jednostavan nadzor (npr. temperature, vlažnosti zraka, tlaka), kao i za kompleksan nadzor i upravljanje proizvodnim procesima i regulacijom

SCADA tehnologija koja omogućuje prikupljanje podataka iz jednog ili više udaljenih postrojenja te slanje upravljačkih naredbi u ta postrojenja. Na slici 23. je prikazan koncept suvremenog SCADA sustava.



Slika 23. SCADA sustav [14]

Pretvornici i aktuatori predstavljaju početak lanca. Oni su električki ili mehanički vezani na proces koji promatramo. Zadaća pretvornika je da prate vrijednosti tlaka, protoka, temperature, brzine i sl., te da u analognom ili digitalnom obliku informaciju o trenutnom

stanju mjerene veličine proslijede PLC-u. Aktuatori primaju informaciju od PLC-a te npr. zatvaraju ili otvaraju ventile.

Nadgledanje u SCADA sustavu ostvaruje se grafičkim prikazom i procesiranjem skupa podataka gdje fizičko nadgledanje vrše operateri. Za prikupljanje, analiziranje i praćenje podataka je zadužena programska podrška, gdje pripada arhiviranje, evidentiranje, kontrola pristupa i alarmiranje.

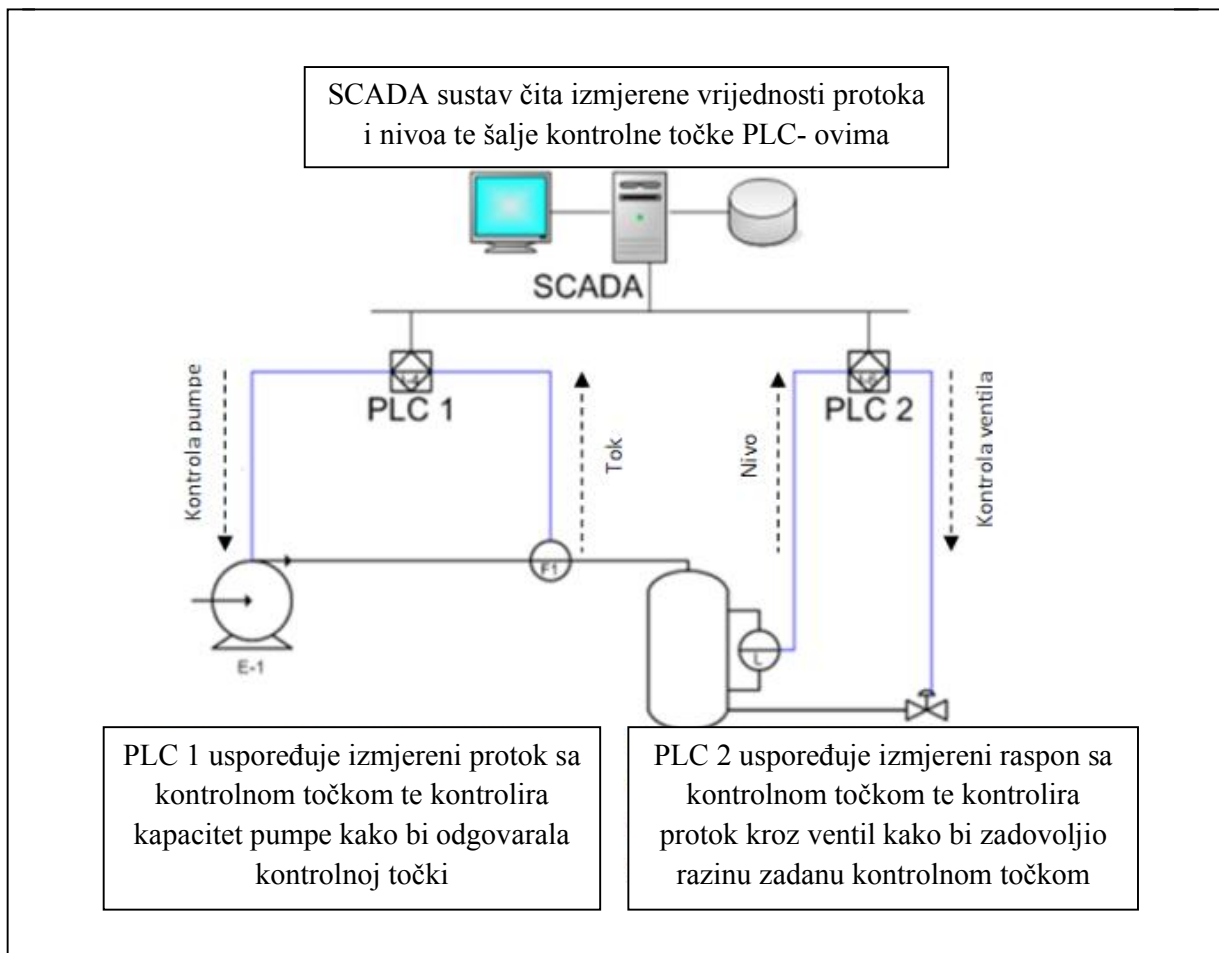
Tri generacije SCADA sustava:

1. Monolitička – jedna priključna i jedna nadzorna stanica
2. Distribuirana - višestruke priključne i nadzorne stanice
3. Umrežena – kombiniranje SCADA sustava, otvoreni protokoli

U sklopovnu arhitekturu SCADA sustava spadaju računala, upravljački uređaji, medij i topologija. Računala u SCADA arhitekturi mogu biti po ulogama klijenti i severi podataka, gdje serveri dobavljaju podatke o procesu, a klijenti šalju zahtjeve za podacima i ostvaruju operatorska sučelja.

## **7.2 Koncept rada SCADA sustava**

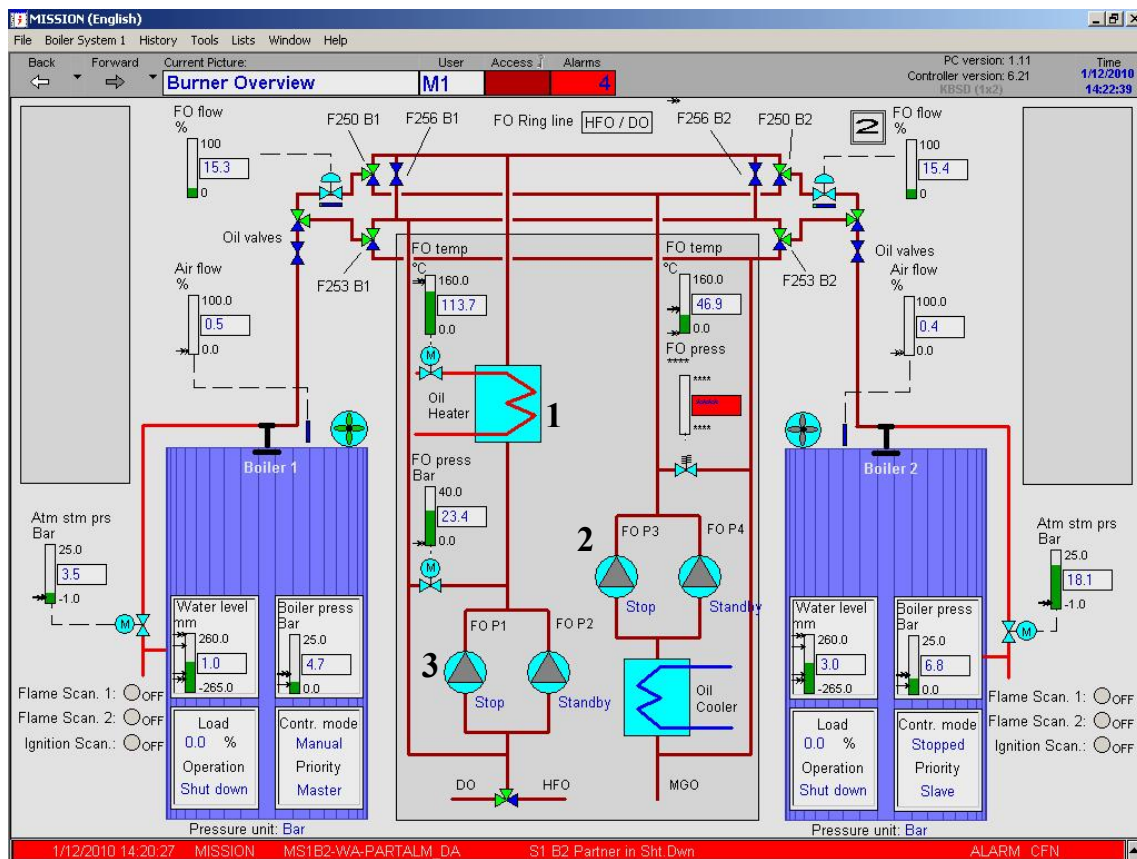
SCADA sustavi se sastoje od uređaja za primanje i slanje signala, kontrolnih uređaja, sučelja, komunikacije, baze podataka i programske podrške. Najčešći su kod sustava koja koriste razna mjerenja. Termin SCADA se obično odnosi na centralni sustav kojim se nadgleda i kontrolira neki drugi sustav raširen na velikom području. Većina kontrole sustava se zapravo obavlja preko RTU (engl. Remote Terminal Unit) ili preko programabilnog logičkog kontrolera (engl. PLC–Programmable Logic Controller). Funkcije tih uređaja su obično ograničene na osnovne reakcije pri promjenama u sustavu ili na samo nadgledanje bez mogućnosti kontrole. Na primjer, PLC može kontrolirati tok vode za hlađenje kroz dio procesa, ali SCADA sustav može dozvoliti operateru da promjeni kontrolne točke toka i dopušta zapisivanje i prikazivanje alarma pod bilo kojim uvjetima kao što je manjak protočnosti ili visoka temperatura. Krug povratnih veza je zatvoren između RTU ili PLC-a. Na slici 24. je prikazan SCADA sustav kako prati ukupne performanse zatvorenog kruga



**Slika 24. Shematski prikaz sustava za nadzor razine [15]**

Prikupljanje podataka započinje još na razini RTU-a ili PLC-a i uključuje rezultate mjerenja i stanje opreme koja se šalje SCADA sustavu. Podaci se tada pripreme tako da operater kontrolne sobe korištenjem HMI-a može donijeti potrebne odluke da prilagodi ili premosti ranije definirane kontrole RTU-a ili PLC-a. Podaci se također mogu pohraniti, kako bi bili mogući trendovi i druge analize.

Na slici 25. prikazan je kompletni sustav upravljanja i nadzora nad brodskim parnim kotlovima. Osim samih kotlova sa pripadajućom signalizacijom također je prikazan i cjelokupni cjevovod goriva, vode i pare.



Slika 25. SCADA sustav upravljanja brodskim kotlovima [11]

- 1 - Zagrijač goriva
- 2 - Pumpe za gorivo sa 0.1 % sumpora u sebi
- 3 - Pumpe za teško gorivo (engl. heavy fuel oil)

Cjevovod za gorivo je grafički označen tamno crvenom, cjevovod pare je označen crvenom, a cjevovod za vodu plavom bojom. Preko SCADA sustava određuje se način rada kotlova (automatski ili ručno), te prioritet kotlova (master- slave). Prilikom rada u automatskom režimu kontrolni sustav sam određuje opterećenje (load) u svrhu postizanja zadanog tlaka pare.

U ručnom (manual) radu, operater sam odabire željeno opterećenje, i radni tlak pare starta i zaustavlja napojne pumpe. Posada ima potpuni nadzor svih važnih parametara za nesmetan rad kotla te uvid u listu alarma.

## 8. ZAKLJUČAK

Primjenom ekspertnih sustava u održavanju suvremenih brodskih motora želi se postići veća pouzdanost brodske opreme. Ekspertni sustav je program koji je projektiran tako da svojim modelom oponaša sposobnost rješavanja problema koji zahtjevaju znatnu ljudsku stručnost, specifična znanja i postupke zaključivanja. Najvažniji postupak u razvoju ekspertnih sustava je prikupljanje znanja (koje se koristi u rješavanju problema) koje će se ugraditi u ekspertni sustav.

Zastoj broda povećava troškove. Ugradnjom ekspertnih sustava mogućnost pojave zastoja se želi svesti na minimum. Početna investicija u sustav je velika, ali pravilnom upotrebom i korištenjem sustava kroz određeni vremenski period, investicija se višestruko isplati. Znatno su dostupniji i jeftiniji od eksperata. Njihova pouzdanost je povećana zato što ne zaboravljaju i ne prave greške zbog umora i imaju mogućnost brze reakcije na nastali problem. Mogu naći približno rješenje problema čak i kada podaci o problemu nisu potpuni i mogu objasniti način na koji su došli do predloženog rješenja.

Ipak ekspertni sustav je tvorevina eksperta (čovjeka). Prvenstveno zamisao je olakšavanje posla, uvid u stanje procesa, zaliha i slično. Pravilnom upotrebom i implementacijom sustava u proces, dobija svoju primarnu namjenu.

Ekspertni sustavi svojom primjenom dostižu vrhunac tehnoloških procesa, te zbog neizbježnog razvoja novih tehnologija, potreban je kontinuiran razvoj istih, kako bi u doglednoj budućnosti mogli pratiti. Uz kombinaciju ekspertnih sustava i ostalih oblika umjetne inteligencije (npr. hibridnih sustava) povećavaju se i njihove mogućnosti a ekspertni sustavi sve više postaju korisni alati koji u svojim konkretnim područjima primjene na jedan ili drugi način izvršavaju svoju primarnu ulogu – pomaganje ljudima.

Za razliku od čovjeka znanje i stručnost ugrađeni u ekspertni sustav ne posjeduju rok trajanja.

## 9. LITERATURA

- [1] Milković, M. Brodski električni strojevi i uređaji, Pomorski fakultet Dubrovnik, 2005.
- [2] Antonić, R. Automatizacija broda II, Pomorski fakultet Split, 2005.
- [3] Šegulja, I, Bukša, A. Održavanje brodskog pogona, Pomorski fakultet Rijeka, 2006.
- [4] Milić, L.: Brodski diesel motori 2, Pomorski fakultet Dubrovnik, 2007.
- [5] Lovrić, J. Osnove brodske terotehnologije, Pomorski fakultet u Dubrovnik, 1989.
- [6] Grgec Bermanec, L. Vision of Engineering: The 90th Anniversary Conference, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2009.
- [7] CoCoS EDS- Stock Handling and Spare Part Ordering, Version 1.4
- [8] CoCoS Spare Parts Catalogue – User guide, Version 1.0
- [9] CoCoS Maintenance Planning System– User guide, Version 1.4
- [10] Electrical power stations, electrical and instrumentation systems, equipment and instalation maintenance activities in Cemex Croatia d.d, 2014.
- [11] <http://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/tubular-heat-exchangers/Shell-and-tube-heat-exchangers/aalborg-eh/>
- [12] [http://engine.od.ua/ufiles/CoCoS\\_Maintenance\\_www.engine.od.ua.pdf](http://engine.od.ua/ufiles/CoCoS_Maintenance_www.engine.od.ua.pdf)
- [13] <http://www.pfst.unist.hr/uploads/SUSTAVI%20ODRAVANJA.pdf>
- [14] [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/KDI,\\_Ana,\\_Mik.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI,_Ana,_Mik.pdf)
- [15] [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/Predavanje\\_4w.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Predavanje_4w.pdf)
- [16] [www.pfst.unist.hr/uploads/OBpredavanje\\_1.ppt](http://www.pfst.unist.hr/uploads/OBpredavanje_1.ppt)

## **10. POPIS TABLICA**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tablica 1. Podjela opreme, Električni motor [10].....</b>  | <b>19</b> |
| <b>Tablica 2. Osnovni uzroci nastanka kvara [10] .....</b>    | <b>20</b> |
| <b>Tablica 3. Podjela razine kritičnosti [10] .....</b>       | <b>23</b> |
| <b>Tablica 4. Metode otkrivanja kvara [10].....</b>           | <b>25</b> |
| <b>Tablica 5. Primjer dijagnostičkog izvještaja [7] .....</b> | <b>46</b> |



## 11. POPIS ILUSTRACIJA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Vrste održavanja broda .....  | 5  |
| Slika 2. Troškovi kod provođenja korektivnog održavanja .....                              | 7  |
| Slika 3. Troškovi kod preventivnog održavanja prema stanju .....                           | 10 |
| Slika 4. Promjena indeksa kvara obzirom na vrijeme korištenja sustava .....                | 11 |
| Slika 5. Dijagram troškova održavanja .....  | 13 |
| Slika 6. Razvoj i primjena metoda održavanja kroz povijest .....                           | 14 |
| Slika 7. Koraci u implementaciji RCM-a .....   | 16 |
| Slika 8. Definiranje elemenata (granica) opreme, električni motor .....                    | 18 |
| Slika 9. Obrasci pojave kvarova .....  | 25 |
| Slika 10. Dijagram odlučivanja za odabir strategije održavanja .....                       | 27 |
| Slika 11. Dijagram procjene određivanja intervala održavanja .....                         | 29 |
| Slika 12. FFM metoda otkrivanja kvara .....  | 30 |
| Slika 13. CBM metoda otkrivanja kvara .....  | 30 |
| Slika 14. SM metoda otkrivanja kvarova .....   | 31 |
| Slika 15. Ekspertni sustav upravljanja i dijagnostike broskog pogonskog stroja.....        | 35 |
| Slika 16. Dijagram toka informacija u CoCoS sustavu .....                                  | 43 |
| Slika 17. Prikaz srednjih indiciranih tlakova izgaranja u sustavu CoCoS EDS .....          | 45 |
| Slika 18. Radni nalog u "CoCoS" – MPS .....  | 47 |
| Slika 19. Izbornik iz kataloga rezervnih dijelova .....                                    | 49 |
| Slika 20. Princip traženja dijelova u CoCoS sustavu .....                                  | 50 |
| Slika 21. Prikaz sustava upravljanja motorom, rada s njim, dijagnostike i održavanja ..... | 52 |
| Slika 22. Grafički prikaz dobivenih podataka u sustavu MAPEX-PR .....                      | 54 |
| Slika 23. SCADA sustav .....   | 58 |
| Slika 24. Shematski prikaz sustava za nadzor razine .....                                  | 60 |
| Slika 25. SCADA sustav upravljanja brodskim kotlovima .....                                | 61 |

## 11. POPIS KRATICA

|   |  |
|---|--|
| PM (engl. Preventive Maintenance)   | Preventivno održavanje   |
| ICMS (engl. Integrated Condition Monitoring System)   | Sustav nadzora integriranog stanja                             |
| EDS (engl. Engine Diagnostics System)   | Sustav dijagnostike rada stroja                                |
| MPS (engl. Maintenance Planning System)   | Sustav planiranja održavanja                                   |
| SPO (engl. Spare parts Ordering)  | Sustav narudžbi rezervnih dijelova                             |
| SPC (engl. Spare Parts Catalogue)   | Sustav identifikacije pričuvnih dijelova                       |
| DEEDS (engl. Diesel Engine Expert Diagnostic System)  | Sustav ekspertne dijagnostike dizel motora                     |
| SIPWA-TP (engl. Sulzer Integrated Piston-ring Wear detecting Arrangement with Trend Processing) | Integrirani Sulzer sustav nadzora trošenja stapnih prstenova   |
| CoCoS (engl. Computer Controlled Surveillance)  | Računalno upravljano nadziranje                                |
| MAPEX (engl. Monitoring and maintenance performance enhancement with expert knowledge)          | Praćenje i poboljšavanje procesa održavanja sa znanjem experta |
| DENIS (engl. Diesel engine control and optimizing specification)                                | Upravljanje i specifikacija rada dizel motora                  |
| SM (engl. Spare parts and Maintenance)  | Rezervni dijelovi i održavanje                                 |
| TV (engl. Torsional Vibration Detection)  | Otkrivanje torzionih vibracija                                 |
| AV (engl. Axial Vibration Detection)  | Otkrivanje aksijalnih vibracija                                |
| CR (engl. Combustion Reliability)   | Pouzdanost izgaranja   |
| FC (engl. Firing Control)   | Nadzor paljenja  |

|  |  |
|--|--|
| FIKS (engl. Fault Indicating Knowledge System)           | Sustav za detekciju i lokalizaciju kvarova   |
| SCADA (engl. Supervisory Control And Data Acquisition)   | Kontrola, nadziranje i prikupljanje podataka |
| RTU (engl. Remote Terminal Unit)                         | Jedinica za daljinsko upravljanje            |
| PLC (engl. Programmable Logic Controller)                | Programabilni logički kontroler              |
| TPM (engl. Total Productive Maintenance)                 | Cjelovito učinkovito održavanje              |
| RTF (engl. Run to failure)                               | Uzroci pojave greške                         |
| RCM (engl. Reliability centered maintenance)             | Održavanje s obzirom na pouzdanost           |
| CMMS (engl. Computerized Maintenance Management System ) | Računalom podržano upravljanje održavanjem   |