

Dr. sc. Ivica Šegulja
Dr. sc. Ante Bukša
Pomorski fakultet u Rijeci
Studentska 2
51000 Rijeka

Pregledni članak
UDK: 629.5.03.083
Primljeno: 21. rujna 2006.
Prihvaćeno: 11. listopada 2006.

ODRŽAVANJE BRODSKOG POGONA

U radu je izložen način održavanja brodskog pogona koji obuhvaća sistem brodskog održavanja, pristupe brodskom održavanju i održavanje u brodskom životnom ciklusu. U sistem brodskog održavanja ulaze četiri glavna faktora koji utječu na funkcionalnost održavanja broda. To su operater, okolina (luke pristajanja, luke u slučaju potrebe, klima, uvjeti na moru), zakonitost (propisi koje brod mora zadovoljiti) i samoodržavanje. Predočen je pregled pristupa održavanju u posljednjih trideset godina. Korektivno održavanje je najstariji model održavanja opreme, a izvodi se nakon što je došlo do kvara. Preventivno održavanje može biti periodično i preventivno održavanje prema stanju. Kod periodičnog održavanja interval održavanja može biti temeljen na kalendaru ili vremenu rada (vijeku). Politika periodičnog održavanja temeljena na vijeku (periodi održavanja po instrukcijskim knjigama proizvođača) općenito se koristi na brodovima. Preventivno održavanje prema stanju može biti povremeno ili kontinuirano. Prikazana je struktura troškova održavanja, kao i sve faze održavanja u brodskom životnom ciklusu.

Ključne riječi: održavanje, korektivno održavanje, preventivno održavanje, održavanje prema stanju, proaktivno održavanje, upravljanje vijekom trajanja, troškovi životnog ciklusa

1. UVOD

Namjena suvremenog održavanja je održati projektiranu pouzdanost, raspoloživost i stupanj korisnog djelovanja uz što manje troškove. Od pravilnog održavanja brodskog pogona ovisi njegov pouzdani dugotrajni rad. Neplanirani zastoji i havarije, koji mogu nastati uslijed neodgovarajućeg održavanja, mogu stvoriti dodatne troškove. Zadatak stručnjaka za održavanje je učiniti sve da do neočekivanog zastoja ne dođe ili da se vrijeme zastoja smanji, jer svaki sat zastoja brodovlasniku donosi velike troškove.

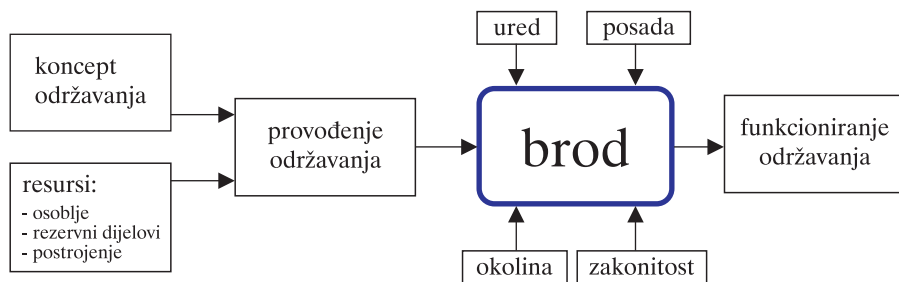
Održavanje brodskog pogona temelji se na planu održavanja zasnovanog na podacima dobivenim od proizvođača. Konceptcija održavanja po vremenu, koja se općenito koristi na brodovima, ne predstavlja najdjelotvorniji način održavanja. Zbog toga svaki brodar individualno za sebe traži najpovoljniji model održavanja. Niz neplaniranih (slučajnih) kvarova porivnog stroja, koji se pojavljuju tijekom operacije, pokazuju da je potrebno kombinirati i ostale modele održavanja.

2. SISTEM BRODSKOG ODRŽAVANJA

Održavanje obuhvaća sve radnje potrebne da se zadrži ili obnovi jedan sustav u radnom stanju. Cilj održavanja broda je efikasni nadzor za tehnički sustav (brod i njegovi sustavi) uz niske troškove i u skladu sa sigurnosnim zahtjevima. Sistem 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.

Postoje četiri glavna faktora koja utječu na funkcionalnost održavanja broda, a prikazana su na slici 1. To su operater (direktno posada ili indirektno - pomoćno osoblje smješteno na kopnu - ured), okolina (promet, luke pristajanja, luke u slučaju potrebe, klima, uvjeti na moru i sl.), zakonitost (pravila i propisi koja brod mora zadovoljiti) i održavanje.

Brod je centralno mjesto u sistemu održavanja. 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, koje se za uzvrat koriste za procjenjivanje efikasnosti koncepta



Slika 1. Sistem brodskog održavanja

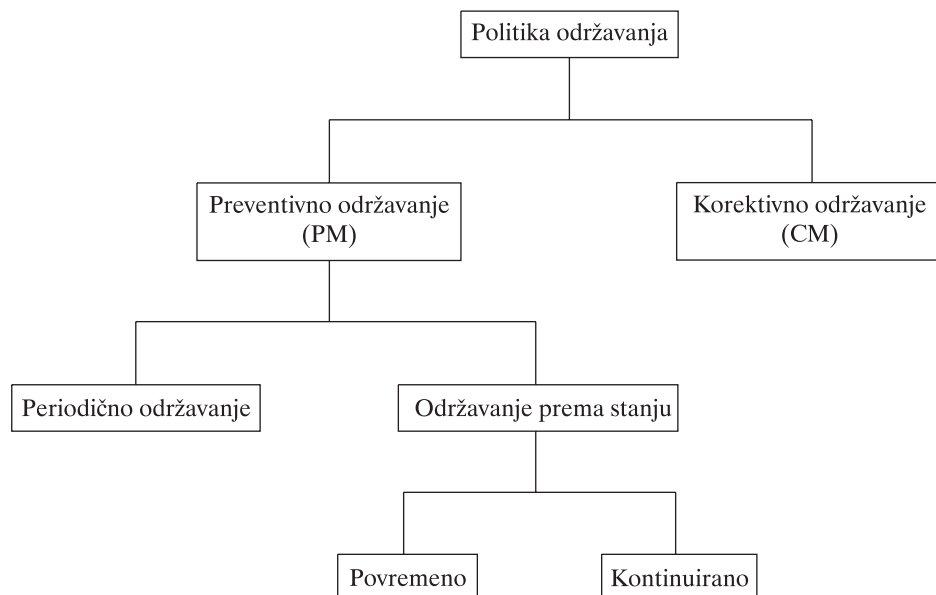
održavanja. Efikasnost koncepta održavanja također se ocjenjuje kontroliranjem usuglašenosti sa sigurnosnim zahtjevima.

Koncept održavanja uključuje specifikaciju preventivnih (PM) i korektivnih (CM) zadataka koji su potrebni da povrate ili zadrže opremu u specificirano stanje. Nadalje, koncept također uključuje: plan izvršenja zadataka (plan održavanja), razinu održavanja i potrebne resurse za izvršenje zadataka.

3. PRISTUPI BRODSKOM ODRŽAVANJU

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 koncepta održavanja. Osnovni cilj učinkovitog održavanja brodskog pogona je omogućavanje stalne funkcionalne sposobnosti pod zadanim uvjetima, kroz određeno razdoblje, uz minimalne troškove. Ovaj cilj može se ostvariti različitim modelima i konceptima održavanja, a oni su prikazani na slici 2.

Korektivno održavanje (CM – Corrective Maintenance ili On-Failure Maintenance [2]) je najstariji model održavanja opreme, a izvodi se nakon što je došlo do kvara. Nijedna preventivna akcija prije kvara nije izvršena. Aktivnosti korektivnog održavanja svode se na vraćanje opreme iz stanja kvara u stanje



Slika 2. Pristupi održavanju

rada. Sedamdesetih godina održavanje brodskog pogona temeljeno je na korektivnom održavanju. Planirani pregledi bili su bez ikakvog sistema, a troškovi održavanja dolazili su do izražaja u troškovima eksploatacije [3]. U većini slučajeva održavanje je prepušteno volji posade. Tih godina održavanje se tretiralo kao nužno zlo i to sa strane vrlo odgovornih ljudi. Međutim, u [4] opisana je neophodnost izrade planova održavanja brodskog pogona u određenom vremenskom roku. W.M.J. Geraeds 1972. godine na I. europskom kongresu o održavanju u Wiesbadenu, CM pristup naziva «čekaj i pogledaj» [5]. Danas se ovaj pristup koristi samo za pomoćnu opremu ili u kombinaciji s preventivnim održavanjem.

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 može biti *periodično* (Periodic PM) i *preventivno održavanje prema stanju* (On-Condition PM). Kod periodičnog PM 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. Preventivno održavanja prema stanju može biti povremeno (Discrete On-Condition PM) ili kontinuirano (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.

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). Zadatak pregleda (inspekcije) je uočiti pogoršanje koje se zove potencijalni kvar, koji može dovesti do stvarnog funkcionalnog kvara. Drugi korak uključuje izvršenje održavanja. Ovo se događa ako stanje komponente padne ispod stanja u skladu s potencijalnim kvarom. Akcije koje udovoljavaju ovoj politici efikasne su samo, kada se potencijalni kvar može primijetiti (detektirati) bilo monitoring operativnim parametrima ili monitoring opremom koja će prikazati pogoršanje ili inspekcijskim pregledom.

Određivanje stanja dizel-motora može se postići pomoću *analize ulja* [6], gdje se može ustanoviti koncentracija čestica istrošenih dijelova u ulju za podmazivanje, *uljne magle* [7] – **metode za otkrivanje koncentracije uljne magle** radi sprječavanje eksplozije (osobito kod dizel-motora s križnom glavom) i korištenjem *tribotehnologije* [8], **koja se bazira na znanju iz tribologije (nauke o trenju)**. Rezultat tretmana tribotehnologije na dizel-motorima je smanjenje potrošnje ulja za podmazivanje, smanjeno trošenje tarnih površina (manje

trenje), a time i smanjenje potrošnje goriva. Tribotehnologija uvodi koncept analiza stanja i izvođenja tzv. CP – analiza (Concept of Condition and Performance Analysis; CP – Analysis).

Kontrola vibracija predstavlja najčešće korištenu metodu u preventivnom održavanju prema stanju. Utvrđivanje uzroka nastalih promjena stanja i performansi složeniji je i odgovorniji posao. Dijagnostika stanja ležajeva obavlja se preko metode udarnih impulsa SPM (Shock Pulse Method) [2,9,10]. Problem vibracija i dinamičkih sila pojavljuje se u složenim brodskim reduktorima kod porivnog sustava s tri dizel-motora i jednim porivnim vijkom [24]. To je poznati problem raspodjele opterećenja kod zupčastih prijenosa s višestrukim zahtovom (u ovom slučaju sa spajanjem snage). Promjene stanja stroja utječu i na promjene vibracije stroja. Mehaničke greške mogu se podijeliti u dvije osnovne kategorije na one koje se brzo razvijaju i na one koje se postepeno razvijaju kroz duže vrijeme (tjedan, mjesec ili godinu dana). Britanska tvrtka Aconstic Technology Limited razvila je računalni program za praćenje vibracija pogonskog motora [11]. Korištenjem spomenutog programa mogu se predvidjeti eventualni kvarovi na stroju. Sistem praćenja vibracija i stanja stroja bazirano je na unaprijed definiranom konceptu. Program koristi zabilješke o održavanju i povijesti kvarova sličnih pogona da bi se definirali točni parametri za praćenje i odredila najefikasnija metoda analize podataka i prezentacija informacija. Važno je primijetiti da kod bilo kojeg sistema za praćenje zahtjevi programa moraju biti detaljno definirani na osnovu tipa stroja (koji se prati), tipova kvarova i grešaka koji će imati stroj. Postizavanjem detaljnijih znanja o karakteristikama kvarova pogona mogu se poboljšavati spomenuti sustavi. Tvrtka MMC – podružnica BP Shipping razvila je računalni sistem CM koji koristi vibracije strojeva za utvrđivanje njihovog stanja [12]. Ovaj računalni sistem koristio je podatke snimljene pri preuzimanju stroja (pokusna vožnja) i vršio kontrolu po izvršenim radovima na održavanju. Postavljeni detektori mjere i buku.

Tvrtka Siemens AG 1976. godine proizvela je računalno koje služi za davanje dijagnoze o stanju motora [13]. Cilj je bio izrada takvog sistema dijagnosticiranja koji obuhvaća i kontrolu kompletnog pogonskog uređaja. Ispitivanja su započela na pokusnom motoru tvrtke MAN tipa V65/65. Wärtsilä Diesel, jedna od vodećih tvornica dizel-motora, osamdesetih godina uvela je novi nadzorni sustav specijalno namijenjen dizel-motorima ENCOM (Engine Condition Monitoring) s naglaskom na pouzdanost i povećanu sigurnost [14]. Tih godina objavljeno je niz radova i izvješća u kojima se razmatra nadzor i dijagnoza stanja motora, kao npr. [15, 16, 17, 18, 19, 20].

Ekspertni sustavi za održavanje nastaju također osamdesetih godina razvojem tehnologije umjetne inteligencije, a predstavljaju novu etapu u tehnološkom razvoju praćenja stanja dizel-motora. To su računalni programi, koji djeluje kao inteligentna pomagala u rješavanju određenih problema. Baza znanja ekspertnog sustava je datoteka gdje se unose teoretska i praktična znanja

eksperata. U spomenutom razdoblju Lloyd Register razvija sistem DECSP (Diesel Engine Software Processor) s ekspertnim sustavom dijagnoze kvara i karakteristike goriva uz simulaciju potrebnog održavanja [21].

MAN B&W razvio je sustav računalnog nadzora rada motora CoCoS (Computer Controlled Surveillance) čime se omogućuje povećani nadzor, planiranje održavanje motora i identifikacija pričuvnih dijelova. Postoje četiri softverska programa. Program CoCoS EDS (The Engine Diagnostics System) obuhvaća bilježenje, nadzor i dijagnostiku. Ukoliko postoji odstupanje performanse ili kvar, dobit će se mogućnost uzroka kvara i koje radnje treba poduzeti da bi se kvar uklonio. CoCoS MPS (The Maintenance Planning System) daje podatke za cjelovito planiranje poslova održavanja, potrebnih rezervnih dijelova, alata, kao i predviđeno vrijeme za obavljanje određenog posla. CoCoS SPO (The Stock and Spare Parts Ordering System) omogućava optimizaciju pričuvnih dijelova, potrebne minimalne zalihe rezervnih dijelova, cijene, opskrbljivače, dok CoCoS SPC (The Spare Parts Catalogue) daje informaciju o pričuvnim dijelovima, potrebne crteže, skice, itd. [22]. Sulzer je razvio sustav za dijagnostiku stanja brodskih motora pod nazivom MAPEX koji se koristi za optimizaciju rezervnih dijelova i održavanje [23,24]. Baza podataka omogućava traženje bilo koje komponente, potrebne operacije, identifikaciju pričuvnih dijelova, pristupa održavanja, itd. Sulzer je u sklopu razvojnog projekta Technology Demonstrator primijenio elektroničko upravljanje i nadzor na motor 4 RT X 54.

Američka mornarica razvila je više pristupa održavanja. U radu [25] **opisan** je PIMS (Phalanx Integrated Maintenance System) integrirani sustav održavanja razvijen da smanji zahtjeve za vremenom održavanja, poveća pristupačnost sustavu i osigura okvir za budućnost elektroničkom održavanju. PIMS kombinira ekspertni dijagnostički sustav, automatizirane postupke održavanja, automatski upisuje aktivnosti održavanja, itd.

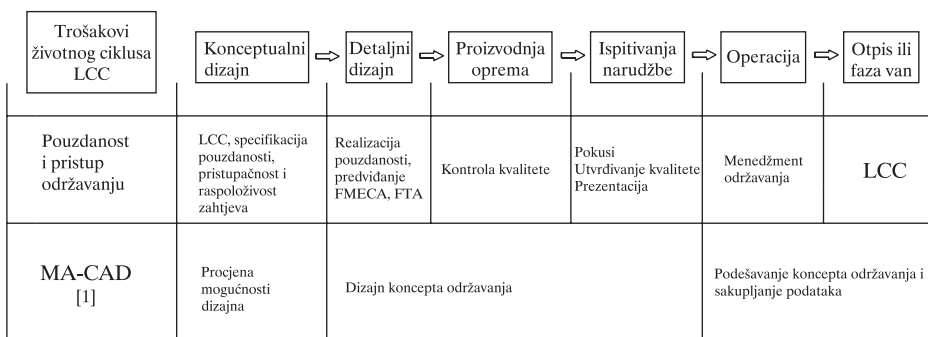
Prijedlog za implementaciju procesa proaktivnog održavanja PaM (Proactive Maintenance) unutar američke mornarice opisan je u [26]. **PaM pristup** usredotočen je na reduciranje koncepta održavanja i maksimiziranje vijeka strojeva putem sistematske identifikacije i eliminacije/ublažavanja korijenskih uzroka kvarova. Pristup koji je predložen zasniva se na principima održavanja usmjerenog na pouzdanost RCM (Reliability Centred Maintenance) i cjelovitim produktivnom održavanju TPM (Total Productive Maintenance). Dizajniran je da bude kompatibilan s ukupnom kvalitetom kontinuirane strategije održavanja – mornaričkog poslovnog poduzetničkog modela CMS-NBE (Continuous Maintenance Strategy – Navy Business Enterprise Model) i informatičkog integralnog sustava za utvrđivanje stanja ICAS (Integrated Condition Assessment System). PaM ili «living RCM» analizira podatke, ističe potencijalni problem područja, istražuje rješenja i nudi novi pravac u nastojanju održavanja. Predloženi PaM proces sastoji se od osam koraka uključujući

pristupe RCM i TPM. Pristup je sličan krugu dr. Deminga «planiraj – uradi – kontroliraj – djeluj». Koraci PaM procesa su: 1. Selekcija sustava ⇒ 2. Opis sustava & definicija područja ⇒ 3. Verifikacija opreme & procjena ⇒ 4. Funkcionalni opis & definicija kvara ⇒ 5. Analiza modova kvara ⇒ 6. Analiza korijena uzroka ⇒ 7. Razvoj strategije rješenja ⇒ i 8. Implementacija rješenja & monitoring.

Sve veći troškovi i složenost sustava u kombinaciji s kraćim ekonomskim vijekom trajanja proizvoda visoke tehnologije potiče analizu učinkovitosti sustava i troškova u vijeku trajanja. Posljednjih godina razvio se sustav upravljanja vijekom trajanja ili LCM – sustav (Life Cycle Management), kako bi se poboljšala kontrola logističkog procesa i postigla bolja troškovna učinkovitost ratnih brodova i sustava Nizozemske kraljevske ratne mornarice RNLN (Royal Netherlands Navy) [27]. Konceptcija LCM – sustava sastoji se od definiranja, specificiranja, primjene i kontrole logističkog procesa. To se postiže metodom analiziranja koja je utemeljena na analizi logističke podrške LSA (Logistic Support Analysis – MIL-STD 1388-1A) i metodom programiranja zasnovanom na integralnoj logističkoj potpori ILS (Integrated Logistic support).

4. ODRŽAVANJE U BRODSKOM ŽIVOTNOM CIKLUSU

LSA metoda obuhvaća zadatke u traženju dizajna, operacijskih i potpornih pristupa koji minimiziraju LCC (Life Cycle Costs). ILS/LSA je selektivna primjena znanstvenih i inženjerskih analiza poduzetih za vrijeme procesa dizajna u skladu s mogućnostima održavanja. Glavni cilj održavanja u brodskom životnom ciklusu je smanjenje troškova životnog ciklusa LCC. Uobičajene faze vijeka jednog broda prikazane su na slici 3 [1].



Slika 3. Ciklus brodskog vijeka

Konceptualni dizajn

Nakon što je identificirana potreba za brodom određene usluge (prijevoz tereta ili putnika) po specificiranoj brzini, do potpuno detaljne specifikacije preciznih zahtjeva koji se tiču brodske forme i opreme, vrši se izbor pogonskog sustava uz potrebnu snagu za određenu brzinu, tip goriva, način održavanja i tražena posada. Pored spomenutog, konceptualni dizajn uključuje planove, crteže, predračun, pismo namjere i ugovor o gradnji. Konceptualni dizajn se smatra najkreativnijom fazom brodskog životnog ciklusa.

Detaljni dizajn

Klasifikacijska društva određuju odgovarajuće norme u konstrukciji broda. Najjasnije norme koje se tiču održavanja su pitanja zalihosti (redundance). Zahtjevi se odnose na glavne brodske funkcije da zadovolje sigurnosne uvjete kao što su porivno postrojenje i uređaj za kormilarenje, a ne održavanje. Međutim, klasifikacijske norme imaju utjecaj na koncept održavanja. Brod koji je izgrađen u skladu s normama dobiva klasifikacijski certifikat, a time se osigurava određeni standard čvrstoće i kvalitete.

Vrlo rijetko brodovlasnici pristup održavanju temelje na analizi stabla greške FTA (Fault Tree Analysis) i moda kvara, efekata i analize kritičnosti FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis).

Proizvodnja

Funkcija brodogradilišta je proizvodnja gotovog broda prema normama postavljenim u ugovoru o izgradnji. Obično je trup glavni proizvod brodogradilišta, a nakon porinuća brod se oprema potrebnim uređajima, sustavima cijevi, palubnim strojevima, sustavima tereta, sigurnosnom opremom, itd.

Glavna aktivnost održavanja za vrijeme proizvodnje i opremanja je kontrola kvalitete procesa proizvodnje (naročito za trup) i postupka ugradnje (strojeva). Osim vlasnika, kontrolori klasifikacijskih društva odgovorni su za testiranje materijala i kontrolu konstrukcije. Za vrijeme ove faze završava koncept održavanja. Oprema se kompletira s pripadajućim priručnicima za održavanje. Oni moraju biti uključeni u koncept održavanja sustava broda.

Probe i narudžbe

Probe predstavljaju testove kada se gradnja broda približava završetku. Za vrijeme probne vožnje brodogradilište dokazuje ugovorenu operativnost broda, koja uključuje test: brzine, okretanja, sidrenja, mjerenja buke i vibracije,

otkrivanja požara, itd. Održavanje u ovom periodu usmjereno je prema kontroli kvalitete gotovog proizvoda brodogradilišta – broda.

Operacija

Osim zakonima zemlje zastave, u međunarodnim vodama, brodovi se moraju pridržavati propisa u skladu sa sljedećim međunarodnim konvencijama:

Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea - COLREG

International Convention for the Safety of Life at Sea - SOLAS

International Conventions on Load Lines

International Conventions for the Prevention of Pollution from Ships - MARPOL

International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk - IGC Code.

Ove konvencije tiču se dizajna i operativnih zahtjeva, dok su zahtjevi održavanja definirani u kontrolnom programu koji brod mora ispuniti da zadrži svoju klasu. Kada je brod operativan kontrolori klasifikacijskog društva periodično kontroliraju trup i sustave za utvrđivanje klase. Povremeno podešavanje inicijalnog koncepta održavanja u eksploataciji doprinosi minimizaciji LCC-a.

Otpis ili “faza van”

Otpis ili “faza van” je zaključna faza brodskog životnog vijeka

Metoda za podešavanje i dizajniranje koncepta održavanja MA-CAD (Maintenance Concept Adjustment and Design) detaljno je opisana u [1]. Minimizira LCC i zadovoljava sigurnosne limite.

U MA-CAD-u procjena mogućnosti dizajna (za vrijeme konceptualnog dizajna) broda koristi podatke o ponašanju stroja koji su sakupljeni u fazi eksploatacije. Podaci se koriste za procjenjivanje alternative dizajna i izbora najboljeg stroja, koristeći osnovu troškova životnog ciklusa (LCC), uz razmatranje potrebnog održavanja.

Oblikovanje koncepta održavanja počinje s detaljnim dizajnom broda. Za novi brod radi se inicijalni koncept održavanja. Koncept se bazira na podacima ponašanja sličnih strojeva ranijih generacije (ukoliko su pristupačni). Zadaci efikasnog održavanja biraju se na osnovi analize rizika. Koncept inicijalnog održavanja gotov je prije eksploatacije. On uključuje: zadatke održavanja s definiranim frekvencijama, razine izvršenja i traženu potporu (rezervni dijelovi, dokumentacija, alat, oprema za testiranje).

Podešavanje ili prilagođavanje koncepta održavanja uključuje podešavanje na osnovi podataka o eksploataciji brodskog pogona. Ovo podrazumijeva da je

koncept održavanja poznat i da su sakupljeni podaci o ponašanju sustava u eksploataciji. Ovi podaci se koriste za poboljšavanje sadašnjeg koncepta održavanja (sadržaj zadatka i interval izvršenja).

5. STRUKTURA TROŠKOVA ODRŽAVANJA

Kod razmatranja održavanja tehničkih sustava podrazumijeva se niz postupaka potrebnih za sprječavanje pojava stanja u zastoju, odnosno vraćanje sustava iz stanja zastoja u operativno stanje. Međutim, životni ciklus tehničkog sustava počinje od trenutka kada se pristupi njegovom projektiranju. Od toga momenta pa sve do otpisa sustava (Phase Out) poduzimaju se mjere da bi se postigla odgovarajuća spremnost sustava. Zbog visokih troškova održavanja, istraživači su 1970. godine u Velikoj Britaniji počeli koristiti koncept terotehnologije s ciljem optimizacije troškova održavanja u životnom ciklusu [28].

Brodski operativni troškovi podijeljeni su u direktne (troškovi goriva, ulja za podmazivanje, osiguranja, posade, održavanja, štete, itd.) i indirektno troškove (lučke pristojbe, agencije i dr.). Troškovi održavanja broda kao dio brodskih operativnih troškova tvrke Nedlloyd prikazani su u tablicama 1 i 2 [1].

Tablica 1. Troškovi održavanja i troškovi ovisni o održavanju

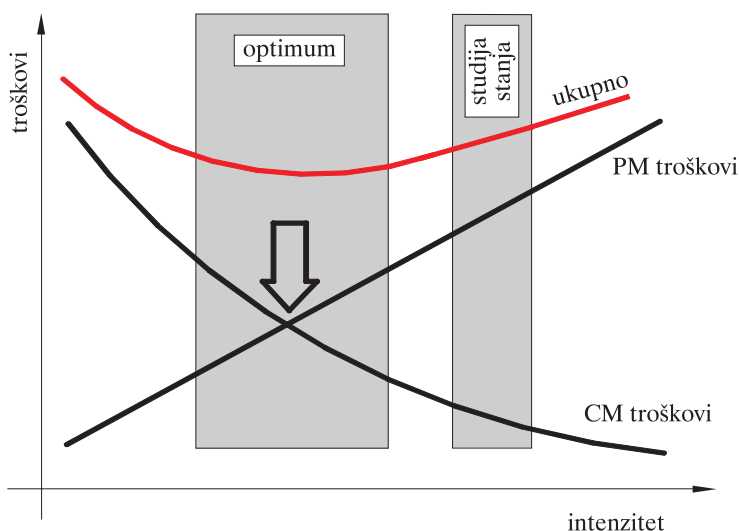
Operativni troškovi	Troškovi održavanja	Personal	10,8%
		Treće stranke	4,5%
100%	16,5%	Materijal	1,2%
	Troškovi ovisni o održavanju		1%

Troškovi ovisni o održavanju procijenjeni na 1% operativnih troškova (Tablica 1), a pripisuju se gubitku zarade broda zbog zastoja. U troškove zastoja uzima se i zastoj zbog dokovanja, koji ima karakter preventivnog održavanja. Ti troškovi također moraju uključiti troškove zbog smanjenja performansi usljed nedovoljnog održavanja.

Troškovi održavanja podijeljeni su u preventivne (PM) i korektivne (CM) troškove, a prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Troškovi održavanja

Troškovi	PM	CM
Personal	81%	19%
Treće stranke	86%	14%
Materijal	78%	22%
Prosječna vrijednost	≈ 82%	≈ 18%



Slika 4. Prikaz troškova održavanja

Tablica pokazuje odnos troškova PM naprama CM održavanja Nedlloyd brodova. Očito, urađeno je previše preventivnog održavanja (82%). Vidljivo je da su PM troškovi preveliki u ukupnim troškovima.

Koncept održavanja je kombinacija preventivnog i korektivnog pristupa. Program održavanja koji se koristio u Nedlloyd brodovima, kao i kod ostalih kompanija, pokazuje da se on može znatno poboljšati. Indikatori za ovaj zaključak su: visoki troškovi rada održavanja, niski materijalni troškovi, nepravilan omjer (PM/CM).

Iz slike 4 proizlazi dominantni rast PM troškova u ukupnim troškovima održavanja. Brodska studija stanja (Case Study Vessel) leži na desnoj strani od optimalnih troškova (ili optimalna površina - Optimum Area). Optimizacija troškova može se postići pomicanjem razine prevencije u lijevo, tj. reduciranjem PM troškova, a time i manjeg PM/CM omjera.

6. ZAKLJUČAK

U radu je predložen pregled istraživanja i pristupa održavanju u posljednjih trideset godina. Zbog velikih troškova održavanja koji su dolazili do izražaja u troškovima eksploatacije, sedamdesetih godina vodila se velika rasprava da li je bolje vršiti preventivno ili korektivno održavanje. Osamdesetih godina za održavanje brodskog porivnog sustava koristi se model preventivnog održavanja prema stanju i performansama. Ovaj model izvodi se na temelju mjerenja i

praćenja niz utjecajnih parametara uz pomoć tehničke dijagnostike tijekom eksploatacije, na temelju koje se ocjenjuje stanje opreme i donose odluke o potrebnim zahvatima održavanja. Ekspertni sustavi za održavanje nastaju također osamdesetih godina razvojem tehnologije umjetne inteligencije, a predstavljaju novu etapu u tehnološkom razvoju praćenja stanja dizel-motora. To su računalni programi koji djeluje kao inteligentna pomagala u rješavanju određenih problema. Baza znanja ekspertnog sustava je datoteka gdje se unose teoretska i praktična znanja eksperata.

Održavanje i troškovi ovisni o održavanju podijeljeni su u preventivne i korektivne troškove. Analizom spomenutih troškova trgovačkih brodova dobije se da je omjer troškova preventivnog održavanja prema korektivnom održavanju (PM/CM) 4,5 : 1.

Prijedlog autora je da se optimizacija troškova može postići boljim obrazovanjem i organizacijom posade kako bi se efikasnije otkloni kvar. Time se postiže smanjenje troškove životnog ciklusa broda i to od konceptualnog dizajna pa do otpisa ili završne faze brodskog životnog vijeka. Cilj je pomicanje razine prevencije ulijevo bliže optimalnoj površini, smanjenjem troškova preventivnog održavanja, a time i manjeg PM/CM omjera.

Oznake

CM	- korektivno održavanje (Corrective Maintenance ili On-Failure Maintenance)
ILS	- integralna logistička potpora (Integrated Logistic support)
LCC	- troškovi životnog ciklusa (Life Cycle Costs)
LCM	- upravljanje životnim ciklusom (Life Cycle Management)
LSA	- analiza logističke podrške (Logistic Support Analysis)
FMA	- analiza modova kvara (Failure Modes Analysis)
FMECA	- mod kvara, učinci i analiza kritičnosti (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)
FTA	- analiza stabla greške (Fault Tree Analysis)
MA-CAD	- podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja (Maintenance Concept Adjustment and Design)
PM	- preventivno održavanje (Preventive Maintenance)
PaM	- proaktivno održavanje (Proactive Maintenance)
RCM	- održavanje usmjereno na pouzdanost (Reliability Centered Maintenance)
TPM	- cjelovito produktivno održavanje (Total Productive Maintenance).

LITERATURA

1. Vučinić, B., *MA – CAD, Maintenance Concept Adjustment and Design*, Delft, Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology, 1994.
2. Majdandžić N., *Strategija održavanja i informacijski sustavi održavanja*, Slavonski Brod, Strojarski fakultet, 1999.
3. *Considerations on systematic or preventive maintenance*, The Motor Ship, 53 (1972), 622, str. 57a – 58.
4. Schapals, P., *Vorbeugende Instandhaltung von Schiffsmaschinenanlagen*, Hansa, 111 (1974), 4, str. 485 – 488.
5. Čala, I., *Suvremeni pristup strategiji održavanja*, Management i održavanje, 1 (1994), br.1.
6. Fucks A., *Zustandsermittlung des Dieselmotors durch Olanalyse-ein Weg zur Einhaltung betriebsgerechter Standzeiten*, Jahrbuch STG, 73 (1979), str. 27 – 29.
7. Behrens H. P., *Triebräumüberwachung von Grobdieselmotoren durch Ölnebeldetektion*, Hansa, 119 (1982), 18, II. September, str. 1209 – 1211.
8. "Repair cost reductions from "Tribo-Technology", Marine Propulsion Intern., (1987), March, str. 13-14.
9. Šarić, T., N. Majdandžić, *Inteligentni sustav za predviđanje i potporu odlučivanju u održavanju po stanju*, Opatija, 9. međunarodno savjetovanje HDO, Održavanje, 2003.
10. Žibrat, D., *Daljinski nadzor signala kotrljajućih ležajeva turbopuhala*, Opatija, 9. međunarodno savjetovanje HDO, Održavanje, 2003.
11. *Vibration monitoring to reduce maintenance costs*, Marine Propulsion Intern., March, 1987., str. 9 – 10.
12. *Computerized condition monitoring optimizes maintenance*, The Motor Ship, 69 (1988), 813, str. 62.
13. Hasselbacher, F., *Motordiagnose mit Prozeßrechner*, Hansa, 133 (1976), 24, str. 2147.
14. ENCOM – *Engine Monitoring System from Wärtsilä Diesel*, Sciff und Hafen, 37 (1985), 5, str. 56.
15. Singer, W., Brandes, K. H., *Maschinenüberwachungsanlagen für den Bordbetrieb*, Hansa 125 (1988), 15-16, str. 822.
16. *Complete computer control of machinery*, Marine Propulsion Intern., (1986), May, str. 31.
17. *Valmet develops bridge workstation for engine control*, The Motor Ship, 69 (1988), 817, str. 34.
18. *On-line monitor helps to optimize performance*, The Motor Ship, 69 (1988), 813, str. 45.
19. *Engine history at Dicare's heart*, The Motor Ship, 68 (1987), 804, str. 26 – 28.
20. *EAW eletronic E 8100 – Einrichtung zur Automatisierung des Schiffsmaschinenbetriebes*, Hansa, 125 (1988), 7-8, str. 402 – 403.
21. *Diesel Engine Condition Monitoring Research*, The Motor Ship, 68 (1987), 798, str. 20.
22. "The Intelligent Engine: Development Status and Prospects", MAN&W Diesel A/S, Copenhagen, Publ. No. P. 360 – 399.
23. Dvornik, J., *Primjena ekspertnog sustava u rješavanju pogonskih smetnji broskog motora*, Naše more, 49 (2002), 3-4, str. 117 – 125.

24. Pederson Sun, P., *Development Towards the Intelligent Engine*, 16th International Marine Propulsion Conference, London, 1994.
25. Raley, G. C., Lewellyn, A. H., *PHALANX Integrated Maintenance System, The Future Maintenance Today*, Naval Engineers Journal, March, 1996.
26. Hedderich, C. P., *Navy Proactive Maintenance*, Naval Engineers Journal, November, 1996.
27. Stavenuiter, J., *A Methodology to Design and Implement a Life Cycle Management Model*, Održavanje i eksploatacija, 5 (2001), 2, str. 53 – 61.
28. Tomić, M., Ž. Adamović, *Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema*, Beograd, Tehnička knjiga, 1986.

Summary

SHIP MACHINERY MAINTENANCE

The paper aims at presenting the maintenance of the ship machinery, which includes the system of the ship maintenance, the approaches to the ship maintenance and the maintenance during the ship life cycle. The four main factors that influence the functionality of the ship maintenance are included in the ship maintenance system. These are the operator; the environment (the ports of call, the emergency ports, the climate, the conditions at sea), the legislation (regulations that a ship must fulfill) and the maintenance itself. A survey of the maintenance procedure used in the last 30 years is presented. The corrective maintenance is the oldest model of the equipment maintenance. It is performed after a failure. The preventive maintenance can be a periodical and an on-condition preventive maintenance. The maintenance interval by the periodical preventive maintenance can be a calendar based or the operating life based one. The periodic maintenance policy based on the operating life (maintenance performed following the manufacturer's instructions) is generally used onboard ships. The on-condition preventive maintenance can be periodical or continued. The maintenance cost structure is presented, as well as all the maintenance phases in the ship life cycle.

Key words: *maintenance, corrective maintenance, preventive maintenance, on-condition preventive maintenance, ship life cycle management, proactive maintenance, ship life cycle costs.*

*Faculty of Maritime Studies Rijeka
Studentska 2
51000 Rijeka
Croatia*