

Mr.sc. Mato Tudor
Mr.sc. Ante Bukša
Mr.sc. Predrag Kralj
Pomorski fakultet u Rijeci
Rijeka, Studentska 2

Pregledni rad
UDK: 629.5.03
629.5.083.4
Primljeno: 07. lipnja 2004.
Prihvaćeno: 14. srpnja 2004.

ODRŽAVANJE BRODSKIH SUSTAVA

U radu su izloženi načini odrađivanja različitih pristupa u održavanju brodskih sustava. Troškovi održavanja predstavljaju bitan ekonomski čimbenik u poslovanju broda. S jedne strane dobrom politikom održavanja povećava se profitabilnost broda, a s druge strane raste cijena provođenja poslova održavanja. Brodari nastoje pronaći rješenja održavanja kojima će se postići najpovoljniji odnos troškova održavanja. Uvođenjem informacijskih tehnologija, na brodu se implementiraju metode održavanja bazirane na računalima. Zadovoljavanje ciljeva brodskog održavanja nastoji se postići analizom ponašanja brodskih sustava, kada se na njima dogodi kvar (tj. analiza uzroka i posljedica kvara). Na temelju takve analize, koja se bazira na bazi podataka o kvarovima, određuje se koji će se pristup održavanja primijeniti. Analiza pokazuje reakciju pojedinog sustava ili njegovog dijela na pojavu kvara. Za pokazatelje takvih reakcija najčešće se uzimaju parametri kao što su pouzdanost ili raspoloživost. U radu je prikazana metoda zasnovana na pouzdanosti RCM (Reliability Centered Maintenance). Kako kod nje nije najbolje uključen rizik posljedica kvara, dana je i izvedenica RCM metode zasnovane na riziku (Risk Centered Maintenance).

Ključne riječi: održavanje, pristup održavanju, Reliability Centered Maintenance.

1. UVOD

Održavanje brodskih sustava je djelatnost koje ima zadatak spriječiti, a ako već nastupaju, i otklanjati kvarove na brodskim sustavima. Ciljevi brodskog održavanja su smanjenje troškova i produženje životnog vijeka broda, uz zadovoljavanje svih sigurnosnih uvjeta koji su definirani različitim zakonskim propisima međunarodnog karaktera (npr. konvencije u okviru IMO, propisi klasifikacijskih zavoda) ili propisima zemalja čijim teritorijalnim vodama brod plovi.

Brodovi su osnovna sredstva izuzetno velike vrijednosti, pa njihova racionalna eksploatacija zahtijeva visokoobrazovane stručnjake. Svaki nepotreban zastoj modernog broda samo u jednom danu donosi troškove koji se mjere tisućama dolara. Ukupni godišnji troškovi održavanja u prosjeku se izjednačuju s visinom

troškova amortizacije, kod otpisa broda od 15 godina. S ciljem postizanja što veće raspoloživosti, odnosno pouzdanosti broda, radovi na održavanju i kontrola njihove provedbe su neophodni i u principu podijeljeni u grupe:

- održavanje po uputama iz instruktivskih knjiga proizvođača,
- radovi održavanja za dobivanje atesta klasifikacijskih zavoda,
- radovi održavanja na otklanjanju kvarova,
- radovi održavanja prema stanju brodskih sustava, odnosno prema njegovim performansama.

Za poslove održavanja, odnosno poštivanje rokova izvršenja radova, na brodu su odgovorni svaki za svoje područje, zapovjednik odnosno upravitelj stroja. Kao izvršilac radova najčešće se pojavljuje posada broda, služba održavanja brodarar ili treća lica (npr. remontna brodogradilišta).

Osnovna funkcija broda je da, uz naplatu vozarine, vrši prijevoz roba i putnika. Održavanje je usko povezano sa sposobnošću broda da izvršava svoju osnovnu funkciju i donosi profit. Utjecaj održavanja na profitabilnost se odražava preko više pokazatelja, a najvažniji su:

- brod više vremena u svom životnom vijeku može obavljati prijevozničku funkciju (efikasnije održavanje ima za posljedicu manji broj zastoja broda),
- manja cijena resursa za održavanje (ljudi, opreme, pričuvnih dijelova...) i optimalno provođenje održavanja ima za posljedicu manje troškove resursa potrebnih za izvođenje poslova održavanja,
- duža životna dob broda (s efikasnijim održavanjem produžuje se životni vijek broda, što ima za posljedicu duže vrijeme eksploatacije).

Iz gore navedenog vidi se da održavanje predstavlja bitan ekonomski čimbenik u poslovanju broda. S jedne strane dobrom politikom održavanja povećava se profitabilnost broda, a s druge strane raste cijena provođenja poslova održavanja. Zbog toga je veoma značajno pronaći optimalno održavanje kojim će se postići najpovoljniji odnos troškova održavanja i njihovog utjecaja na profitabilno poslovanje broda.

2. STRUKTURA TROŠKOVA ODRŽAVANJA

Održavanje kao ekonomska kategorije očituje se u troškovima održavanja. Troškovima održavanja smatraju se troškovi koji nastaju kod organiziranja, izvršavanja i kontroliranja radova koji se obavljaju radi sigurnog poslovanja broda. Troškovi održavanja sastoje se iz direktnih (troškovi provođenja poslova održavanja) i indirektnih troškova održavanja (nemogućnost broda da obavlja svoju osnovnu funkciju) [5].

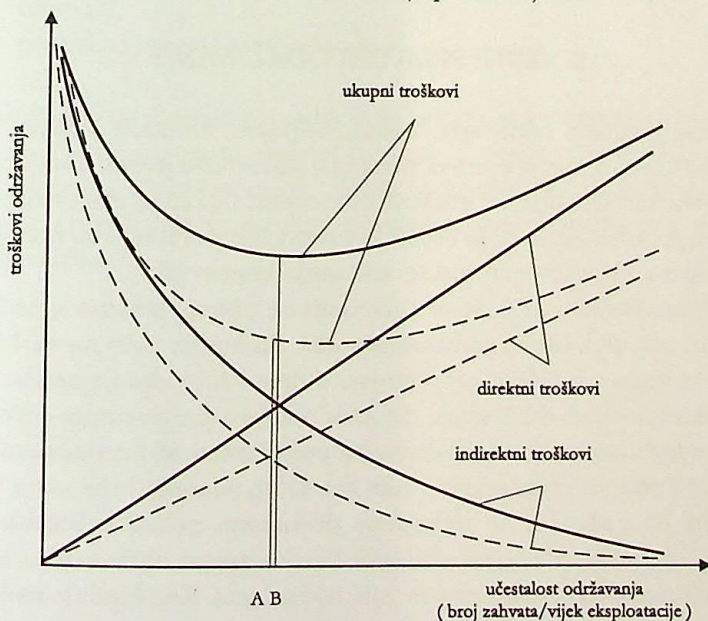
Direktne troškove održavanja čine: cijena ljudskog rada utrošenog na održavanju, trošenje alata uporabljenog na zahvatu održavanja, potrošak pričuvnih dijelova i

potrošnog materijala. Cijenu ljudskog rada čini dio plaća posade i ljudi iz kopnenih službi broдача koji rade na održavanju. U direktne troškove svrstavaju se i usluge trećih lica na radovima održavanja kao i usluge klasičkih zavoda.

Indirektne troškove održavanja čine troškovi zastoja broda. Da bi on bio svrstan u indirektne troškove održavanja, mora biti isključivo povezan sa održavanjem. Zastoj može biti uzrokovan kvarom ili nekim planiranim zahvatom održavanja (npr. boravak broda na popravku u brodogradilištu radi godišnjeg pregleda ili radova u klasi). Ovi troškovi se prikazuju kao izgubljena dobit i/ili kao povećani troškovi rada broda. Npr. kvar na brodskoj dizalici imat će za posljedicu angažiranje obalne dizalice, što će povećati ukrajno-iskrajne troškove. Izgubljena dobit zbog zastoja može se valorizirati tako da se dnevni fiksni troškovi pomnože s brojem dana zastoja, ili da se od prosječne dnevne vozarine odbiju prosječni varijabilni troškovi.

Troškovi osiguranja protiv havarija broda i brodske opreme ne spadaju u troškove održavanja, ali indirektno ovise o kvaliteti održavanja broda. Ukoliko se brod loše održava, povećat će se broj šteta, što će izazvati povećanje premije za naredni period osiguranja.

Glede toga da troškovi održavanja predstavljaju znatnu stavku u poslovanju broda teži se tome da budu čim manji. Međutim, ukoliko se ne provodi kvalitetno održavanje povećava se broj zastoja broda uslijed kvara, što ima za posljedicu gubitak vozarine. Potrebno je pronaći optimalnu učestalost održavanja (optimalan interval između dva sukcesivna zahvata) pri kojoj su ukupni troškovi održavanja najmanji. Odnos troškova održavanja u ovisnosti od učestalosti održavanja prikazan je na slici 1.



Slika 1. Optimizacija troškova održavanja

Direktni troškovi održavanja su proporcionalni učestalosti održavanja, što znači da počinju od nule i rastu s povećanjem učestalosti održavanja. To je logično jer ako nema održavanja nema ni troškova održavanja.

Indirektni troškovi počinju iz beskonačnosti kad nema održavanja i s povećavanjem učestalosti održavanja padaju po paraboli. Ako nema održavanja sustav će kad-tad stati i zbog nedostatka održavanja neće proraditi. Indirektni troškovi tada rastu u beskonačnost. Povećavanjem učestalosti održavanja indirektni troškovi naglo padaju. Svrha planiranja održavanja je optimizacija troškova održavanja, odnosno pronalaženje optimalne učestalosti održavanja (točka B), pri kojem su ukupni troškovi održavanja najmanji.

Pune linije na slici prikazuju ponašanje troškova održavanja kod prosječnog sustava (broda). Troškovi održavanja mogu se smanjiti:

- boljom organiziranošću posade čime se postigne efikasnije održavanje,
- boljim dizajnom i izbalansiranim odnosom održavanja koje se provodi s ciljem da se spriječi kvar i održavanja koje ima za cilj otkloniti kvar,
- poboljšanjem dizajna broda (uzimajući u obzir bolji odabir ugrađene opreme).

Kada bi se poštovalo gore navedeno, onda bi se postignuti rezultati na području održavanja mogli prikazati isprekidanim linijama. Optimalna učestalost održavanja u tom je slučaju malo manja i prikazana je točkom A.

3. VRSTE PRISTUPA ODRŽAVANJA

Različiti pristupi održavanju broda, odnosno brodskih sustava, imaju za posljedicu različitu učestalost kvarova, potrošnju pričuvnih dijelova, zastoje broda zbog kvara, odnosno različite ukupne troškove održavanja. Općenito gledajući, razlikuju se dva osnovna pristupa održavanju brodskih sustava: preventivan, koji nastoji spriječiti nastanke kvarova i korektivan kojim se otklanjaju kvarovi [6].

Brodar prilikom definiranja politike održavanja ne poštuje striktno ni jedan od ova dva pristupa, već se koristi kombinacijom oba. Striktnom primjenom korektivnog održavanja povećava se učestalost kvarova, a time i broj zastoja broda, čime jako rastu indirektni troškovi održavanja. Striktna primjena preventivnog održavanja bila bi u skladu s poštivanjem načela maksimalne pouzdanosti, ali i maksimalnih troškova održavanja. Korektivno održavanje u tom kontekstu odnosilo bi se samo na slučajne kvarove, čije posljedice bi se izbjegavale dovoljnom zalihošću brodskih sustava. Ovakvo održavanje je opravdano tamo gdje kvar na nekom dijelu sustava bitno utječe na sigurnost i može izazvati katastrofu (npr. kod aviona). Kod broda je rizik da bi kvar mogao rezultirati katastrofom minimalan.

Važan čimbenik prilikom definiranja pristupa održavanju je osoblje koje će ga

obavljati. Brod ima posadu koja može izvršavati zahvate održavanja i tijekom njegove eksploatacije. Uz dostatnu zalihost u sustavima i dobru opskrbljenost pričuvnim dijelovima moguće je otkloniti kvar, a da do zastoja nikada ne dođe. Može se kazati da je pouzdanost brodskih sustava pouzdanost uz zahvate. To je ono što određuje i uravnotežuje različite pristupe održavanju.

Raščlamba održavanja prikazana je na *sluci 2*. Planirano održavanje može biti preventivnog ili korektivnog pristupa. Uglavnom se održavanje unaprijed planira. Kako nije moguće predvidjeti sve slučajne kvarove, prisutno je i neplanirano održavanje, čiji pristup je korektivan.

Korektivni pristup održavanju

Korektivni pristup održavanju podrazumijeva čekanje da se dogodi kvar da bi se zatim pristupilo zahvatu održavanja.

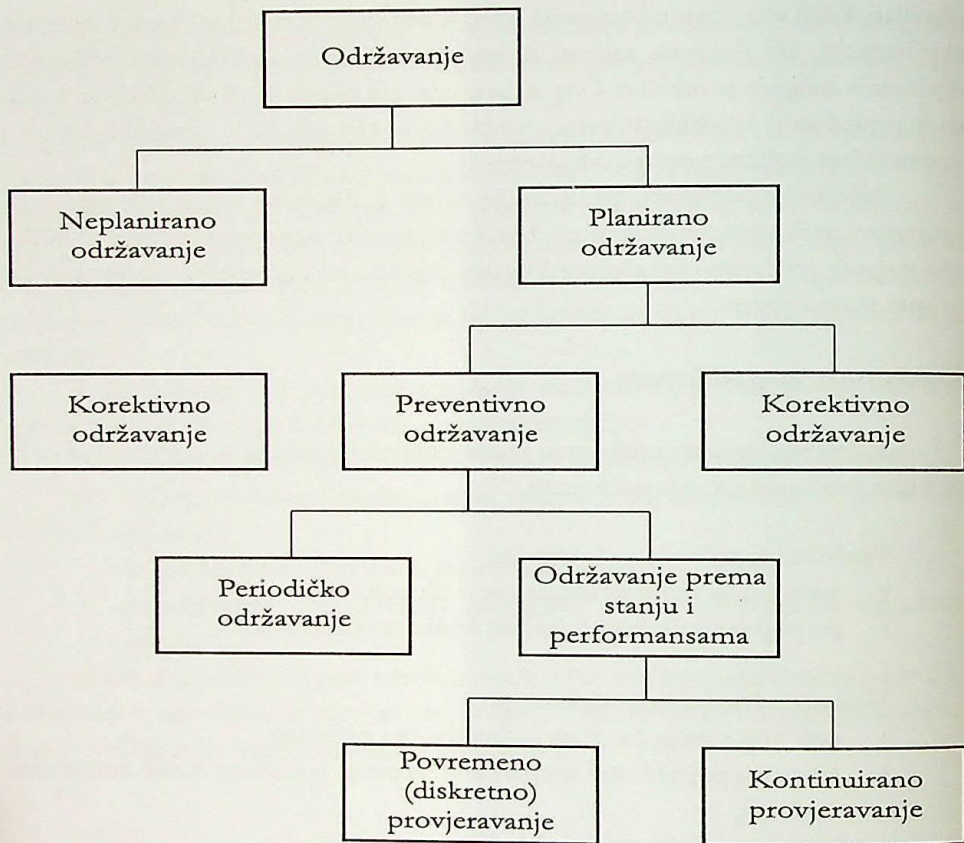
Prednosti korektivnog održavanja:

- sustav ili dio sustava iskoristi se u cijelosti,
- do pojave kvara nema nikakvih troškova održavanja.

Nedostaci korektivnog održavanja:

- veći broj zastoja jer nema preventivnog održavanja,
- mogu se pojaviti veći kvarovi koje brodska posada ne može samostalno otkloniti,
- povećano vrijeme zastoja broda.

Korektivno održavanje pogodno je za sustave koji nemaju potrošnih dijelova, odnosno kod kojih nastupaju slučajni kvarovi. U ovu grupu spadaju elektronički sklopovi i pojedini električni uređaji. Kada se korektivno održavanje primjeni na vremenske kvarove, onda to rezultira povećanim brojem kvarova, a time i većim troškovima održavanja.



Slika 2. Raščlamba održavanja

Preventivni pristup održavanju

Preventivni pristup održavanju ima za cilj spriječiti nastanak kvara, što se postiže tako da se sustav, ili dio sustava, prije nastanka kvara zamijeni novim. Najmanji troškovi održavanja bit će ako se dio sustava zamijeni novim, neposredno prije nastanka kvara. Važnu ulogu kod preventivnog održavanja ima određivanje vremena, kada će ono biti izvršeno. Ono se može periodički ponavljati ili biti određeno prema stanju i performansama sustava. U slučaju periodičkog održavanja, vrijeme je definirano brojem sati rada sustava ili njegovom starošću. Ukoliko se sustavu provjeravaju stanje i performanse, rezultati provjeravanja određuju vrijeme održavanja. Provjeravanje stanja i performansi može biti povremeno ili neprekidno (kontinuirano). Povremeno se provjeravanje obavlja najčešće ručno pomoću raznih instrumenata, dok za kontinuirano provjeravanje mora biti ugrađen sustav za kontinuirano praćenje stanja i performansi.

Preventivnim održavanjem može se smanjiti broj kvarova, ali se ne mogu spriječiti u potpunosti.

Prednosti preventivnog održavanja:

- veliki broj sustava imaće smanjeni broj kvarova u odnosu na korektivno održavanje,
- smanjeni broj zastoja zbog kvara,
- ravnomjernije opterećenje posade sa poslovima održavanja,
- planovi održavanja mogu se uskladiti s eksploatacijskim poslovima broda.

Nedostaci preventivnog održavanja:

- mogućnost pojave "pretjeranog" održavanja, što ima za posljedicu nepotrebno povećanje troškova održavanja,
- pojava manjeg broja kvarova koji mogu nastupiti, ako se poremete prethodno podešene radne karakteristike sustava.

Za većinu brodskih sustava preventivno održavanje daje bolje rezultate od korektivnog. Poslove održavanja moguće je planirati, pa je i posada ravnomjernije opterećena poslovima održavanja. Poslovanje broda je ekonomičnije jer je smanjen broj šteta, zastoja broda i havarija.

Metode održavanja

Za održavanje brodskih sustava primjenjuje se nekoliko metoda u kojima su uključeni prije navedeni pristupi održavanju:

- metoda održavanja na osnovi kalendarskog roka
- metoda održavanja na osnovi sati rada
- metoda održavanja nakon kvara
- metoda održavanja obnovom
- metoda održavanja na osnovi stanja (performansi).

Najviše je zastupljena metoda na osnovi provjere stanja i performansi. Donedavno je održavanje na osnovu sati rada obuhvaćala znatan udio od ukupnog održavanja. Trend je da se implementacijom suvremenih mikroprocesorskih sustava udio održavanja, na osnovu sati rada kao i održavanja na osnovu kalendarskog roka, mijenja u korist održavanja na osnovu provjere stanja i performansi. Udio metode održavanja obnovom ovisi o tipu broda, pa je ona zastupljenija kod putničkih nego kod trgovačkih brodova.

Održavanjem na osnovi kalendarskog roka provodi se planirano održavanje na osnovi proteklog vremena, bez obzira na broj sati rada sustava, ili na broj operacija koje je sustav izvršio. Zahvat održavanja se provodi periodički u određenim vremenskim intervalima. Održavanje na osnovi kalendarskog roka primjenjuje se na sustave koji se podjednako troše bez obzira rade ili ne. Sustavi na kojima se najčešće provodi ova metoda su: palubni, električni, hidraulični i protupožarni uređaji, uređaji za spašavanje i drugi. Metodom održavanja na osnovi kalendarskog roka provodi se preventivni pristup održavanju.

Održavanje na osnovi sati rada je preventivno održavanje. Provodi se planirano na osnovu sati rada sustava. Primjenjuje se najčešće na električne generatore, elektromotore, kompresore, pumpe i općenito na sve pomoćne strojeve i uređaje. Broj sati rada, koji definira kada treba obaviti zahvat održavanja, određuje se po instruktivnim knjigama proizvođača.

Održavanje nakon kvara je metoda koja se primjenjuje tek nakon što se kvar dogodi. Održavanje se obavlja tako da se sustav u kvaru popravi. To se provodi na način da se dio sustava koji je u kvaru zamijeni novim i time sustav dovede u funkcionalno stanje. Ovom metodom održavaju se manje važni uređaji kao što su pumpe hidrofora i slično. Po svom pristupu, metoda održavanja nakon kvara, svrstava se u korektivno neplanirano održavanje.

Održavanje obnovom također se obavlja nakon kvara. Razlika u odnosu na metodu održavanja nakon kvara je u tome što se kod ove metode sustav na kojem se dogodio kvar ne popravljaju, već se zamjenjuje novim (obnavlja). Održavanje obnovom primjenjuje se na sustave koji nisu od presudne važnosti za uporabnost broda i koje se ne isplati popravljati. Ovom metodom održavaju se uređaji široke kućanske primjene kao npr: kabinski hladnjaci, manji električni aparati i slično. Metoda održavanja obnovom svrstava se, po pristupu, u korektivno neplanirano održavanje.

Tehnologija održavanja sve se više temelji na **provjeri stanja i performansi sustava**. Zahvat održavanja preduzima se kada rezultati provjere stanja i performansi na to upute. Provjera stanja i performansi dva su odvojena područja, ali se međusobno dopunjuju. Provjera stanja sustava treba pokazati fizikalno stanje, odnosno njegovu dotrajalost. Zahvat održavanja ne mora uvijek biti motiviran dotrajalošću, ili sprečavanjem mehaničkog kvara. On se često poduzima radi smanjene djelotvornosti sustava, odnosno radi pogoršanja performansi sustava. Provjeru stanja i performansi moguće je napraviti na različite načine. Starije metode zasnivale su se na najobičnijem dotiru prstiju, oslušivanju, zatim raznim prijenosnim i ugrađenim instrumentima kao što su: mehanička sonda, brojilo okretaja, termometar, manometar i drugi, odnosno na raznovrsnim sensorima povezanim sa sustavom uzbune. Provjere su kontinuirane ili povremene. Kontinuirane provjere omogućuju utvrđivanje stanja nekog sustava, bez da se on rastavlja. Na temelju rezultata utvrđivanja stanja, donosi se odluka o preventivnom zahvatu radi sprečavanja kvara.

Moderni sustavi za praćenje stanja i performansi temelje se na mikroprocesorima. Takav sustav očitava tijekom rada odgovarajuće parametre, obrađuje ih i prezentira kao pokazatelje stanja odnosno performansi pojedinog sustava.

Metoda održavanja prema stanju i performansama odlikuje se sljedećim svojstvima:

- omogućuje planiranje zahvata održavanja, čime se izbjegavaju neplanirani zastoji,
- rano upozoravanje na neispravnost povećava sigurnost broda,
- smanjuje obim radova, jer se zahvati održavanja izvršavaju samo onda kada stanje sustava to zahtijeva,
- smanjuje kvarove koji nastaju nakon zahvata održavanja, jer se po završetku zahvata ponovno provjeravaju stanje i performanse sustava,
- u nekim slučajevima zamjenjuje demontažu sustava radi kontrolnih pregleda od strane inspektora klasifikacijskog zavoda.

Metoda održavanja prema stanju najčešće se koristi na porivnom stroju, odnosno tamo gdje se isplati ugraditi sustav za provjeru stanja i performansi.

Implementacijom ove metode uočava se pogoršanje stanja sustava prije nastanka kvara te se zahvati održavanja mogu unaprijed planirati. Zbog toga se metoda održavanja po svom pristupu svrstava u planirano preventivno održavanje.

4. RAČUNALNO UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM

Održavanje se razlikuje od kompanije do kompanije, od broda do broda. Kod nekih brodara plan održavanja sastoji se od papirnatih zapisa o tome koje preventivne poslove održavanja i na kojem dijelu opreme ili sustava treba obaviti. Kod drugih plan održavanja sadrži zapise u bazi podataka o korektivnom održavanju koje će se izvršiti. Uvođenjem informacijskih tehnologija na brod, stvorili su se predujti za implementaciju održavanja koja se zasniva na primjeni računala, tako da danas sve više brodara rješenja vide u sustavu računalnog upravljanja održavanjem (Computerized Maintenance Management System). On omogućuje brodaru da planira i prati izvođenje poslova održavanja [8]. Tako se može pratiti potrošnja rezervnih dijelova kao i racionalizacija nabavke rezervnih dijelova, planiranje izvođenja poslova preventivnog održavanja s ciljem smanjenja troškova a uz zadržavanje postojeće sigurnost i pouzdanost. Prilikom izrade plana održavanja prioriteti se daju izvođenju poslova održavanja na sustavima i uređajima kod kojih pojava kvara rezultira posljedicama, koje mogu biti loše pa i pogubne ne samo na funkcionalnost i sigurnost broda, nego i na okoliš. Zato se implemetacijom ovih metoda znatno povećava i zaštita morskog okoliša.

Danas je RCM (Reliability-Centered Maintenance) najrasprostranija metoda održavanja, zasnovana na primjeni računala.

RCM metoda

Danas se sve češće čuje fraza “obavi posao na pravi način”, ali se i često zapostavlja “obavi pravi posao”. Da bi se poboljšala učinkovitost održavanja, prvo se mora odrediti što se stvarno mora učiniti. Za brodare koji upravo implementiraju računalni sustav upravljanja održavanjem ili za brodare gdje je takva metoda već implementirana, mora se osigurati da održavanje, koje se provodi, bude pravo održavanje koje će rezultirati željenom/zahtijevanom pouzdanošću uz minimalne troškove. Slijed postupaka, koji se moraju poduzeti da se ostvare ti ciljevi, definira se RCM metodom.

RCM je opće priznata efektivna osnova za razvoj i poboljšanje održavanja. Richard B. Jones [1] definirao je da se, promatrano iz perspektive sustava, RCM mora temeljiti na održavanju koje će se provoditi te na analizi sustavskih funkcija i kvarova na tim funkcijama (sustavu, komponenti) kao i na zaštiti od tih kvarova. RCM opsežno analizira primjenjene procese kod novih i postojećih sustava. Rezultati analiza prikazuju reakciju pojedinog sustava ili njegovog dijela na pojavu kvara. Primjeri reakcija su vrijeme greške, vrijeme održavanja, nivo degradacije performansi i slično. Za pokazatelje takvih reakcija najčešće se uzimaju parametri kao što je pouzdanost. Zato se ta metoda naziva i metoda zasnovana na pouzdanosti.

U industriji se mogu susresti različite forme ove metode, pri čemu je svaka od njih neznatno različita u njezinom pristupu održavanju. Uprkos razlici u terminologiji ili pristupu, zajedničko za sve forme je da se metoda sastoji iz četiri osnovna elementa [4], a to su:

1. Kritično vrednovanje glavnih funkcija
2. Raščlamba glavnih funkcija na podfunkcije te kreiranje funkcijske hijerarhije
3. Analiza uzroka i posljedica kvara
4. Izbor pristupa održavanju.

Kritičko vrednovanje glavnih funkcija

Kritičnost različitih funkcija određuje se na temelju provedenih sljedećih postupaka:

- Vrednovanje posljedica kvara s gledišta: sigurnosti, onečišćenja morskog okoliša, vremena i metode koje će se primijeniti za otklanjanje kvara, cijenu popravka.
- Procjena učestalosti pojave kvara (ETTF – Estimate Time To Failure) u slučaju izostanka preventivnog održavanja.
- Utvrđivanje razine redundancije opreme.

Raščlamba glavnih funkcija na podfunkcije te kreiranje funkcijske hijerarhije

Brod se funkcijski raščlanjuje zato da bi se moglo lakše pratiti širenje kvara. Pojava kvara na nekoj ugrađenoj komponenti utječe na njezino funkcioniranje. Funkcije se dijele na podfunkcije do nivoa komponente na kojem se pojedino održavanje može izvršiti. Dubina funkcijske raščlambe ovisi o kompleksnosti pojedinog sustava.

Analiza uzroka i posljedica kvara

Cilj analize je uspostaviti osnove za određivanje pristupa održavanju. Za svaki uređaj se identificiraju: funkcijski kvarovi, uzroci kvarova, posljedice kvarova, metode utvrđivanja mogućeg kvara, procijenjeno vrijeme do pojave kvara (ETTF), kritičnost kvara u odnosu na sigurnost, okoliš, raspoloživost i cijenu održavanja [7].

Izbor pristupa održavanju

Cilj je odrediti najefikasniji pristup i interval u kojem će se provesti održavanje za sve kvarove, koji su identificirani kao kritički u postupku analize uzroka i posljedica kvara. Za nekritičke kvarove pristup je definiran mogućnošću isključivanja uređaja. Vremenski interval izvođenja poslova održavanja ovisi o zakonskim propisima i zahtjevima proizvođača, procijenjenim vremenom pojave kvara, kritičnosti i karakteristikama kvara. Kod određivanja zakonski propisi uvijek prevladavaju kao i uvjeti održavanja definirani garancijom, u odnosu na sugestije dobivene ovom metodom.

RCM se prvo počela primjenjivati u avioindustriji, gdje je polučila odlične rezultate. To je potaklo i ostale grane industrije da njenom implementacijom poboljšaju procese održavanja. Problemi pri implementaciji RCM metode na brodu su:

- Nedostatak podataka o kvarovima. Nema lakog pristupa do podataka o kvarovima jer na postojni niti zajednička baza, gdje bi se nalazile sve zajedničke informacije. Uzrok tome su najčešće komercijalni razlozi. Brodovi obavljaju svoju prijevozničku zadaću pod različitim uvjetima eksploatacije, što otežava da se na njima koriste podaci o kvarovima nastalim na drugim brodovima.
- RCM analiza daje jedinstvene rezultate za svaki kontekst eksploatacije. To znači da isti dijelovi na brodu (npr. pumpe) mogu biti ugrađeni u različite sustave s različitim funkcijama, mogu raditi pod različitim uvjetima eksploatacije, s radudancijom ili bez pa će na njima vjerovatnost pojave i vrsta kvara biti drugačija. Zato se analiza pojave kvara mora obaviti posebno za svaki ugrađeni dio, ali i za svaki brod.
- Brodsko osoblje rijetko je osposobljeno za vođenja menadžmenta

održavanja ili za primjenu tehnika procjene rizika, posebno kada se zahtjeva statistički pristup. Razlog tome je najčešće nedostatak potrebnog predznanja, posebno iz matematike.

- Uvjeti eksploatacije opreme (npr. naprezanja, podmazivanje ili različita onečišćenja,...) koje se sa sigurnošću mogu uzeti u drugim industrijama, u pomorskoj industriji su konstantno izvor zabrinutosti.
- Brodsko osoblje je danas preopterećeno. Tendencija je smanjivanja članova posade, tako da su oni više operateri nego su osposobljeni voditi poslove održavanja.
- Strogi propisi različitih međunarodnih tijela. Brodovi moraju ispunjavati strogu regulativu međunarodnih organizacija, osiguravajućih društava, ali i zemalja čijim morima prolaze ili vrše ukrcaj ili iskrcaj. Ispunjenje svih ovih zahtjeva traži ugraditi u plan održavanja.
- Brodska posada se mijenja. Ovo nalaže jasnu dokumentaciju smjernica vođenja održavanja, da bi se izbjeglo nekonsistentnost u analizi i primjeni RCM metode kod različitih ekipa ljudi.

Unatoč navedenim problemima, sve više brodara danas implementira upravo ovu metodu održavanja. Međutim, osim ove postoje i druge metode koje se temelje na istim principima i daju iste ili slične rezultate. Jedan takav način vođenja održavanja je ono koje se zasniva na riziku kvara (Risk-Centered Maintenance) [2]. Dok se kod RCM (održavanje zasnovano na pouzdanosti) rabi dosta široka kategorija posljedica kvara da bi se definirali kvarovi, održavanje orijentirano na riziku temelji se na kombinaciji vjerojatnosti pojave kvara kao i na njegovim posljedicama. Na osnovu rizika mogućih posljedica određuje se pristup održavanju. Time se dobije finija raščlamba posljedica mogućih kvarova.

Postupak definiranja pristupa održavanja počinje analizom ponašanja sustava u slučaju kvara. Analiza je proces koji ima zadaću da za uočene simptome kvara na nekoj razini funkcijske raščlambe, zbog mogućnosti širenja posljedica kvara, otkrije što je pravi uzrok kvara kao i gdje se on nalazi. Zbog toga se na računalu nalazi pohranjena baza podataka o kvarovima koja obuhvaća sve relevantne podatke o kvaru (uzrok, mjesto, širenje, posljedice,...). Analizom se u bazi podataka traže svi zapisi o kvarovima, koji su se već dogodili na tom uređaju, kako bi se na temelju tih prijašnjih slučajeva moglo otkriti mogući uzrok i mjesto kvara. Svakom kvaru u bazi je pridružen i indeks rizika [3] koji treba prikazati veličinu (važnost) opasnosti koju imaju posljedice kvara. Indeks rizika ovisi o učestalosti pojave kvara i indeksa opasnosti koji pokazuje utjecaj posljedica kvara na ekonomičnost, funkcionalnost, sigurnost i ekologiju. Definiranje indeksa rizika za pojedine kvarove ovisi o zakonskim propisima kao i politici brodarka. Brodar određuje koje posljedice kvara su prihvatljive i koje još ne zahtijevaju otklanjanje kvara. Na temelju provedenog postupka analize kvara i za taj kvar dobivenog indeksa rizika, određuje se koji će se pristup održavanju primijeniti

te se taj pristup ugrađuje u plan održavanja.

Računalno upravljanje održavanjem dolazi do punog izražaja ukoliko je računalo povezano u jedinstveni informacijski sustav broda. Time se omogućuje da se svi relevantni podaci o mogućem simptomu kvara, detektiranom na nekom senzoru sustava za nadzor i upravljanje, direktno proslijede računalu na kojem se vodi održavanje. Računalno održavanja na temelju informacije o simptomu kvara pokreće postupak analize kvara, koji rezultira predloženim pristupom održavanja, a ugrađuje se u plan održavanja.

5. ZAKLJUČAK

Održavanje nekog sustava obuhvaća sve aktivnosti potrebne da se zadrži ili vrati sustav u njegovo operativno stanje. Ciljevi brodskog održavanja su smanjenje troškova i produženje životnog vijeka broda, uz zadovoljavanje zahtjeva sigurnosti. Kako troškovi održavanja predstavljaju znatnu stavku u poslovanju, brodari nastoje implementirati takve sustave čiji je cilj upravljati održavanjem, tako da se ono provodi u pravom trenutku. Time se smanjuju troškovi, a povećava funkcionalnost i ekonomičnost poslovanja uz zadanu sigurnost. Moderni sustavi održavanja brodskih sustava temelje se na računalu. Danas sve više brodara implementira RCM (Reliability Centered Maintenance) metodu koja se zasniva na pouzdanosti brodskih sustava. Zadovoljavanje ciljeva brodskog održavanja kod RCM metode nastoji se postići analizom ponašanja osnovnih funkcija brodskih sustava, kada se na njima dogodi kvar (tkz. analiza uzroka i posljedica kvara). Na temelju takve analize, koja se bazira na bazi podataka o kvarovima, kao i drugim parametrima kao što su konvencije u okviru IMO, propisi klasifikacijskih zavoda ili interni propisi zemlje čijim teritorijalnim vodama brod plovi, određuje se plan održavanja.

Kod se kod klasične RCM metode definiranje pristupa održavanja temelji na širokom aspektu posljedica kvara, iz nje se razvijaju slične metode koje se više zasnivaju na riziku posljedica kvara (Risk Centered Maintenance). Kroz indeks rizika daje se finija gradacija posljedica kvara na funkcionalnost, ekonomičnost, sigurnost i onečišćenje okoliša.

Kako se kod današnjih brodskih sustava njihovo upravljanje i nadzor vodi preko mikroprocesora nastoje se veličine dobivene od pojedinih senzora direktno unijeti u računalne sustave održavanja. Time se postiže da se zbog uočenog simptoma kvara trenutno pokrene postupak analize kvara i odredi pristup održavanju.

LITERATURA

- [1] Jones, R.B., Risk-based management: a reliability-centered approach, Houston, USA, Gulf Publishing Company, 1995.

- [2] Mokashi, A. J.; Wang J.; Vermar, A. K., A study of reliability-centered maintenance in marine operations, Marine policy 26, 2002, pp. 325-335.
- [3] Nieuwhof, G. W. E., Risk: A Probabilistic Concept, Reliability Engineering vol. 10, pp. 183-188, Elsevier Applied Science Publishers, London 1985.
- [4] Rasmussen, M.; Moen, H., The role of information technology for reduction of maintenance cost, The institute of Marine technology, Paper 14, ICMES 96 Safe and Efficient Ships: new approaches for Design, Operation and Maintenance, 13-14 June 1996.
- [5] Tudor, M., Računalni model održavanja broda, Pomorski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 1997, magistarski rad.
- [6] Tudor, M., Primjena računala u održavanju broda, Pomorski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 1997, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, pp. 49-59.
- [7] Tudor, M.; Kralj, P., Utjecaj rizika kvara na računalni odabir pristupa održavanju brodskih sustava, Odjel za pomorstvo, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2000, Pomorstvo, god. 14(2000), str 43-52.
- [8] Vučinić, B., MA - CAD, Maintenance Concept Adjustment and Design, Delf University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology, Delf, 1994.

Summary

MAINTENANCE OF SHIP'S SYSTEMS

The paper outlines implementation of different approaches in maintenance of shipboard systems. Maintenance costs represent an outstanding economic factor in the shipping business. On the one hand a good maintenance policy increases the ship's profitability, and on the other hand the price of conducting the maintenance business grows. Shippers endeavor to find a solution for maintenance that achieves a most favorable relationship of maintenance costs. With the introduction of information technologies, the ship implements computer-based maintenance methods. Efforts are made to fulfill the objectives of ship maintenance through analysis of the performance of the ship's systems when a fault occurs (so-called cause and effect breakdowns). On the grounds of such analyses based on a database of faults, the approach to the type of maintenance to be applied is determined. The analysis shows the reaction of a system, or a certain part of the system, to the emergence of a breakdown. The parameters most often taken as indicators of such reactions are reliability or availability. The paper outlines the RCM method based on reliability (Reliability Centered Maintenance). Since risk consequences of a breakdown are not included in the best possible way, a derivative RCM method based on risk (Risk Centered Maintenance) is also described.

Key words: maintenance, access to maintenance, Reliability Centered Maintenance

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