

Procjena stanja brodskih sustava i planiranje održavanja

Pšihistal, Tea

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:845205>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-29**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

TEA PŠIHISTAL

**PROCJENA STANJA BRODSKIH SUSTAVA I PLANIRANJE
ODRŽAVANJA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**PROCJENA STANJA BRODSKIH SUSTAVA I PLANIRANJA
ODRŽAVANJA**

**ASSESSMENT OF THE STATE OF SHIP SYSTEMS AND
MAINTENANCE PLANNING**

DIPLOMSKI RAD

MASTER THESIS

Kolegij: Pregled i planiranje održavanja brodskih sustava

Mentor: prof. dr. sc. Renato Ivče

Studentica: Tea Pšihistal

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075696

Rijeka, rujan 2024.

Studentica: Tea Pšihistal

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075696

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom "PROCJENA STANJA BRODSKIH SUSTAVA I PLANIRANJE ODRŽAVANJA" izradila samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc Renato Ivče.

U radu sam primijenila metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrizirajući navela u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirala sam i povezala s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Studentica



Tea Pšihistal

Studentica: Tea Pšihistal

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075696

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao studentica – autorica diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima Creative Commons licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na

<https://creativecommons.org/licenses/>

Studentica – autorica



Tea Pšihistal

SAŽETAK

Od početaka razvoja pomorstva i brodarstva od ključne važnosti za uspješnost poslovanja, plovidbe i dugotrajnost brodova upravo je stavka njihov održavanja. U suvremenom svijetu razvijen je značajan broj strategija održavanja brodova s osnovnim ciljem povećanja sigurnosti plovidbe, poslovanja i posade, osiguranja učinkovitosti te smanjenja potencijalnog negativnog utjecaja plovidbe na okoliš. Međunarodni, regionalni i nacionalni pravni propisi svakako propisuju obvezu održavanja brodova i njihovih sustava te različitim aktima podupiru sigurnu plovidbu te daju odobrenja za istu. Planiranje provođenja različitih oblika održavanja glavna je zadaća brodarka i brodskih operatera, koji imaju najveći interes od brodova i sustava koji su u ispravnom stanju. Strategije održavanja brodskih sustava podrazumijevaju njihovo korektivno i preventivno održavanje, primjenu terotehnologije, TPM i RCM oblika održavanja te sustava samoodržavanja koji postaju sve popularniji kod novoizgrađenih brodova. Neovisno o načinu održavanja, isto predstavlja nužan i obavezan postupak, čije pomno planiranje i provedba mogu rezultirati značajnim pomacima u poslovanju, prvenstveno u troškovnom smislu.

Ključne riječi: brodski sustavi, održavanje brodskih sustava, planiranje održavanja.

SUMMARY

From the beginning of the development of maritime and shipping industry, the item of maintenance is of key importance for the success of business, navigation and longevity of ships. In the modern world, a significant number of ship maintenance strategies have been developed with the basic goal of increasing the safety of navigation, operations and crew, ensuring efficiency and reducing the potential negative impact of navigation on the environment. International, regional and national legal regulations certainly stipulate the obligation to maintain ships and their systems and support safe navigation with various acts and give approvals for the same. Planning the implementation of various forms of maintenance is the main task of shipowners and ship operators, who have the greatest interest in ships and systems that are in good condition. Strategies for maintaining ship systems include their corrective and preventive maintenance, the use of terotechnology, TPM and RCM forms of maintenance, and self-maintenance systems that are becoming more and more popular with newly built ships. Regardless of the maintenance method, it is a necessary and mandatory procedure, the careful planning and implementation of which can result in significant changes in business, primarily in terms of costs.

Keywords: maintenance of ship systems, maintenance planning, ship systems.

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY.....	II
SADRŽAJ.....	III
1. UVOD	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	1
1.2. RADNA HIPOTEZA.....	2
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	2
1.4. ZNANSTVENE METODE	3
1.5. STRUKTURA RADA	3
2. OPĆI POJAM I RAZVOJ SUSTAVA ODRŽAVANJA NA BRODOVIMA.....	5
2.1. ODRŽAVANJE BRODOVA KROZ POVIJEST.....	5
2.2. OPĆI POJAM I KLASIFIKACIJA ODRŽAVANJA BRODOVA.....	8
3. BRODSKI SUSTAVI I PROCESI ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA.....	14
3.1. OSNOVNI BRODSKI SUSTAVI.....	14
3.2. OPĆI POJAM ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA.....	15
3.3. NAČELA ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA.....	18
3.4. TROŠAK ODRŽAVANJA.....	20
3.5. PRAVNA REGULATIVA	23
4. PLANIRANJE ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA	28
4.1. KOREKTIVNA STRATEGIJA ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA	28
4.2. PREVENTIVNA STRATEGIJA ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA	31
4.3. ODRŽAVANJE TEMELJENO NA TEROTEHNOLOGIJI	36
4.4. STRATEGIJE ODRŽAVANJA SUKLADNO KOMPONENTAMA SUSTAVA... ..	39
4.5. TPM I RCM OBLICI ODRŽAVANJA	40
4.6. STRATEGIJA ODRŽAVANJA TEMELJENA NA SAMOODRŽAVANJU	45

5. ZAKLJUČAK	50
LITERATURA.....	51
POPIS GRAFIKONA, SLIKA TABLICA.....	55

1. UVOD

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Održavanje je aktivnost uz pomoć koje se izvode određene radnje na objektima ili opremi i to izvođenjem popravaka ili prilagodbom ili zamjenom potrebnih dijelova ili elemenata, a sve sa svrhom kako bi se stvorili zadovoljavajući operativni uvjeti poslovanja u skladu s onim što je planirano. Prema navedenoj definiciji, održavanje obuhvaća sve aktivnosti kojima se oprema održava ili vraća u određena stanja i prikladna za obavljanje svojih osnovnih funkcija. Procesi popravaka i održavanja ključni su tehnički aspekt na brodovima. Važno je istaknuti kako loše planiranje održavanja može dovesti do ozbiljnog pogoršanja sigurnosti, učinkovitosti i ekoloških performansi broda jer istraživanja pokazuju postojanje značajnih nedostataka, kvarova i oštećenja na brodovima sa manjkavim sustavom održavanja. Međutim, procedura planiranja održavanja na brodovima toliko je komplicirana i zahtijeva veliki napor, prvenstveno zbog velikog broja ograničenja procesa kao što su vremenska i osobna ograničenja, sigurnosni aspekti, međunarodni pomorski propisi, rizici za okoliš te izvanredna stanja i katastrofe.

Održavanje brodova svakako ne predstavlja novost, naime radi se o potrebi koja je svoju primjenu našla još u srednjem vijeku kada su za trgovačke brodove koji su onda predstavljali većinu svjetske flote organizirani popravci i procesi održavanja u lukama u koje su pristajali. Iz toga se razvidno očituje potreba i važnost ovog područja za pomorstvo odnosno brodarstvo. Prednosti koje nude sustavi održavanja brodova za poslovanje vrlo su značajni, primjerice adekvatnim načinima održavanja moguće je utjecati na stanje i životni vijek brodova, njegove performanse tijekom plovidbe, smanjenje troškova povezanih s iznenadnim kvarovima i oštećenjima, smanjenje negativnog utjecaja na okoliš koji se može pojaviti u slučaju plovidbe neispravnim brodovima te povećanje sigurnosti posade koja svoj rad obavlja na brodu.

Temeljem navedenog moguće je definirati problem istraživanja, koji se definira kao: proces planiranja te odabir adekvatne metode održavanja brodskih sustava od ključnog je utjecaja na stabilnost poslovanja brodarske kompanije kroz sigurniji brod i njegovu opremu, posadu te smanjenje troškovnog i ekološkog utjecaja na poslovanje i plovidbu.

Predmet istraživanja ovog rada prikaz je mogućnosti i načina planiranja te strategija održavanja brodskih sustava koji se primjenjuju u suvremenom pomorstvu. Objekt istraživanja predstavljaju strategije i mogućnosti održavanja brodskih sustava.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Sukladno definiciji problema, predmeta i objekata ovog istraživanja moguće je istaknuti i radnu hipotezu istraživanja koja će biti obrađena u temeljnim pretpostavkama samog istraživanja:

Procjena stanja brodskih sustava zajedno s metodama i strategijama planiranja vrste održavanja istih od ključne je važnosti za neometanu plovidbu broda, poslovanje brodarske kompanije te smanjenje ekološkog otiska plovidbe.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Osnovnom svrhom ovog rada smatra se prikaz potrebe za održavanjem brodova zajedno s osnovnim metodama planiranja održavanja brodskih sustava kao i karakteristike njihove primjene u praksi.

Glavni cilj ovog rada je analiza potreba i mogućnosti planiranja održavanja brodskih sustava te njihov utjecaj na neometano obavljanje aktivnosti tijekom plovidbe kao i na sigurnost broda, posade i okoliša.

Prema navedenom, nužno je definirati i istraživačka pitanja na koja će se ovim radom ponuditi odgovor:

1. Na koji način su se održavali brodovi kroz povijest?
2. Na koji način je moguće vršiti održavanje brodskih sustava?
3. Što podrazumijeva proces održavanja brodskih sustava?
4. Koja su osnovna načela održavanja brodskih sustava?

5. Postoji li i koja pravna regulativa u području održavanja brodova i njihovih sustava?
6. Tko je odgovoran za procese održavanja brodskih sustava?
7. Uz pomoć kojih strategija se provodi planiranje održavanja brodskih sustava?

1.4. ZNANSTVENE METODE

U izradi ovog diplomskog rada korišteno je nekoliko znanstvenih metoda. Prvenstveno, korištena je metoda analize, uz pomoć koje je prikupljena i analizirana dostupna literatura korištena u radu. Analizirani i korišteni radovi dostupni su u elektroničkim bazama podataka kao što je Science Direct, Google Scholar i Research Gate kao i na službenim stranicama brodarskih kompanija, međunarodnih pomorskih organizacija i drugih subjekata povezanih s područjem pomorstva. Također, uz navedenu, u radu su korištene i metode klasifikacije, kompilacije, sinteze, metode indukcije i dedukcije te deskriptivna znanstvena metoda.

1.5. STRUKTURA RADA

Rad se sastoji od nekoliko osnovnih poglavlja. Prvo poglavlje predstavlja Uvod rada kojim su definirani problem, predmet i objekti istraživanja, svrha i ciljevi rada, istraživačka pitanja, metodologija izrade te struktura rada. Drugo poglavlje rada prikazuje opći pojam i razvoj sustava održavanja na brodovima. Tako je riječ o načinima i mogućnostima održavanja brodova koji su se primjenjivali u prošlim razdobljima te općem pojmu i klasifikaciji održavanja brodova odnosno brodskih sustava. Treće poglavlje prikazuje brodske sustave i procese održavanja brodskih sustava te podrazumijeva definiranje pojma brodskih sustava koji se zahtijevaju održavanje, identifikaciju osnovnog pojma održavanja brodskih sustava, načela i troškove koji se povezuju s procesima održavanja brodskih sustava te pravnu regulativu na globalnoj, regionalnoj te nacionalnoj razini. Četvrto poglavlje rada prikazuje različite strategije

održavanja brodskih sustava, pa je tako riječ o korektivnoj strategiji, preventivnoj strategiji, održavanju temeljenom na terotehnologiji, strategiji održavanja temeljenoj na komponentama sustava, TPM i RCM strategijama održavanja te strategiji temeljenoj na samoodržavanju brodova. Peto poglavlje čini zaključak rada u kojemu su sintetizirane sve osnovne teze prikazane radom. Posljednja poglavlja rada odnose se na popis korištenih referenci te popis grafikona, slika i tablica korištenih u radu.

2. OPĆI POJAM I RAZVOJ SUSTAVA ODRŽAVANJA NA BRODOVIMA

Pojam održavanja brodova podrazumijeva postojanje aktivnosti i procesa pomoću kojih se sprječava nastanak kvara u brodskom sustavu, produljuje se vijek njihova korištenja te se otklanjaju nastali kvarovi koristeći se najučinkovitijim mogućim metodama [1].

2.1. ODRŽAVANJE BRODOVA KROZ POVIJEST

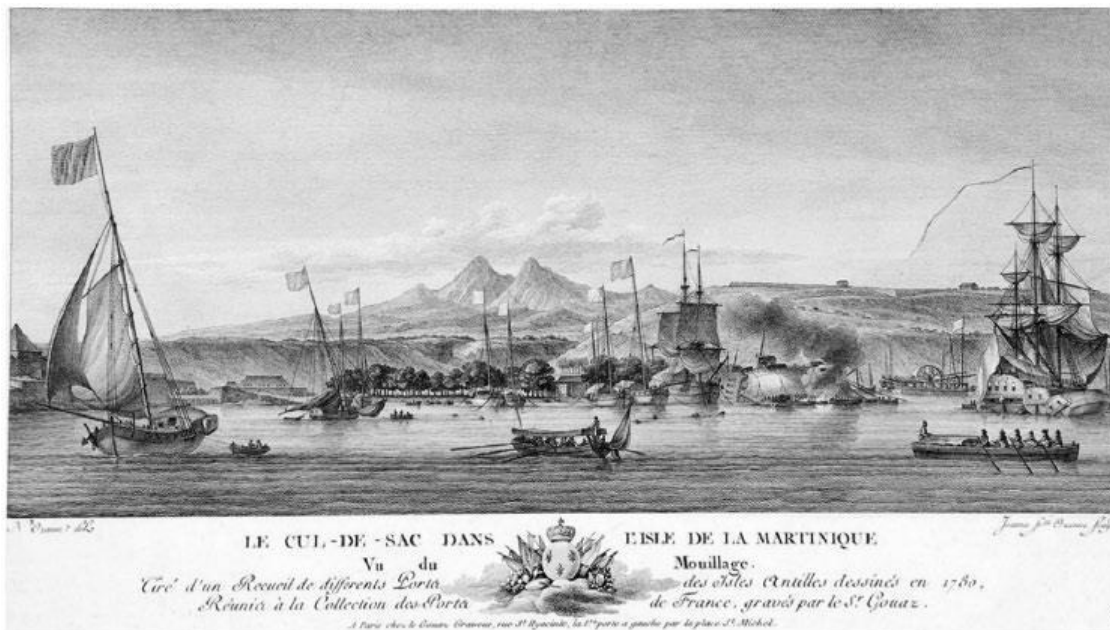
Razvoj mreže pristanišnih luka bio je prvi korak u planu uspostave i obrane vojno-trgovačkih putova, ali je bilo nužno da ih prati i postavljanje potrebne infrastrukture i organizacija sustava za opskrbu brodova osnovnim materijalima. O izgledu kolonijalnih luka u suvremenom svijetu postoji vrlo malo pouzdanih podataka. Urbana povijest zaobišla je lučke četvrti gradova i vrlo je teško pronaći popis infrastrukture (pristaništa, radionice za održavanje, skladišta) i raspoložive opreme (dizalice i druga oprema) korištene za održavanje i izgradnja trgovačkih ili ratnih brodova [1].

Samo su određene luke imale koristi od širokog i djelomično koordiniranog plana pomorskog i lučkog razvoja. Izgradnja tadašnje infrastrukture bila je pod sponzorstvom uglavnom tadašnjih mornarica i rijetkih brodarskih kompanija, a istu su predviđeli za vlastitu upotrebu, pa čak i ako je koristila i komercijalnim brodovima. Ne ulazeći u detalje različitih razvojnih planova, izgradnja infrastrukture odnosila se na izgradnju „potpunih“ luka, sposobnih istovremeno održavati i popravljati brodove, ali jednako tako i konstruirati plovila [2].

Međutim, ovakvi projekti izgradnje imali su vrlo različitu povijest. Naime, za brodove su postojale baze u kojima su se vršili opsežni popravci te koje su, najviše tijekom 18. stoljeća opremane upravo za takve zahvate, dok je u drugim lukama razvoj bio znatno drugačiji. Nakon početnog razvoja brodogradilišta, koje su kontinuirano koristili privatni brodograditelji, tonaža brodova koje je projektirala mornarica zahtijevala je izgradnju i drugih brodogradilišta. Međutim, u oba slučaja prezimljavanje i veliki remont plovila bili su teški, a državna infrastruktura je bila vrlo skromna. Naime, postojao je očit

nedostatak pomorske infrastrukture, a pojam „luka“ mogao se shvatiti tek kao nešto više od mjesta privezivanja s obzirom na to koliko je malo pomorske opreme bilo dostupno na obalama [2].

Slika 1. Prikaz povijesne luke za izgradnju i održavanje trgovačkih brodova



Izvor: Plouviez, D. (2019). The maintenance, repair and construction of ships in the French Empire during the eighteenth century. *International Journal of Maritime History*, 31(3), 590-611.

Kako se može objasniti nedostatak lučke infrastrukture, čak i u onim lukama koje su bile ključne za trgovinu? Svijet trgovine i trgovci bili su zainteresirani za posjedovanje infrastrukture za popravak i održavanje svojih plovila, glavnog alata njihove trgovine, ali trošak izgradnje takve infrastrukture bio je neprihvatljiv. Međutim, ove su se investicije vrlo brzo pokazale isplativima u smislu smanjenja vremena potrebnog za održavanje brodova svih kategorija [1].

U početku su se zadaci održavanja više smatrali financijskim opterećenjem i potrebnim prepravkom, a ne pristupom koji može donijeti važne prednosti u smislu sigurnosti, okoliša i cjelovitosti imovine. Prema tome, u pomorstvu su u početku primijenjene isključivo korektivne mjere održavanja [3].

Današnji moderni brodovi imaju značajan broj ugrađenih sustava podržanih resursima informacijske tehnologije (IT) koji sadrže najnovija dostignuća brodske tehnologije, kao

što su propulzijski sustav, navigacijski sustav i drugi sustavi na zapovjednom mostu, sustav kontrole i manipulacije brodskog tereta, sustav nadzora i upravljanje sustavom zaštite od požara i poplava, elektroenergetskim sustavom, sustav upravljanja brodom i ostalima. IT resursi implementirani u brodske sustave sve više preuzimaju centralne funkcije u kreiranju, praćenju, kontroli i provedbi pomorskih procesa. Procesni moduli, koji se nazivaju upravljački moduli ili kontroleri, ugrađuju se u suvremene brodske sustave. Njihova je uloga pratiti i kontrolirati unaprijed definirane radne parametre sustava u koji su ugrađeni [4].

Kao posljedica toga, sve veća implementacija IT resursa u sustave na brodu otvara neka nova pitanja. Jedno od njih je kako brodske sustave ili IT resurse održati operativnim. Ovo je jedan od glavnih izazova ne samo za svaku brodarsku tvrtku, već i za svaki pojedini brod. Pritom, izostanak pravodobnog, pravilno izvedenog, ažurnog i organiziranog održavanja može izravno uzrokovati poteškoće u ostvarivanju planiranih procesa. S druge strane, neizravno može donijeti i značajan materijalni i/ili financijski gubitak. Stoga brodarske tvrtke zahtijevaju pouzdan i siguran rad svih brodskih sustava, kao i učinkovitu servisnu podršku koja osigurava brzu i sigurnu dostavu rezervnih dijelova u bilo koju luku u svijetu. Zbog toga korištenje suvremenih tehnologija predstavlja izazov za sve djelatnike brodarskih tvrtki, a posebno za tehničke odjele, jer se od njih očekuje ispravan i neprekidan rad, učinkovito praćenje, kontrola i upravljanje pomorskom flotom [5].

Projektanti i proizvođači sofisticiranih brodskih sustava u većoj mjeri koriste suvremene IT, alate i procedure kako bi povećali pouzdanost i raspoloživost brodskih sustava, te upravljanje ne samo jednim brodom, već cijelom flotom brodova. Nove IT skraćuju aktivnost i povećavaju učinkovitost preventivnog i korektivnog održavanja, smanjuju troškove životnog ciklusa brodova uz pomoć sustava s brzim pronalaženjem i isporukom rezervnih dijelova, kao i pomaganjem brodskim posadama u provedbi aktivnosti održavanja brodskih sustava operativnim, istovremeno dok brodovi plove svjetskim morima i oceanima. Svrha suvremenog IT-a, posebno u procesima održavanja brodova i brodskih sustava, je zadržati projektiranu pouzdanost, dostupnost, sigurnost i razinu korisnog djelovanja uz što je moguće niže ukupne troškove (trošak održavanja + trošak neoperativnog vremena + trošak gubitaka) za brodarsku tvrtku [6].

2.2. OPĆI POJAM I KLASIFIKACIJA ODRŽAVANJA BRODOVA

Procesi održavanja razlikuju se od jednog industrijskog područja do drugog. Na primjer, održavanje mostova zahtijeva različite procese od održavanja zgrada, a održavanje strojne opreme razlikuje se od jedinice do jedinice. Održavanje je zauzelo važno mjesto u svakom području zahvaljujući modernoj tehnologiji koja zahtijeva često održavanje, a takvo je održavanje potrebno kako bi se osigurala učinkovitost rada strojeva, bez obzira je li održavanje klasificirano kao planirano ili neplanirano [7].

Brodarstvo je višestruki industrijski sektor s karakteristikama po kojima se razlikuje od kopnenih i drugih industrija. Sukladno tome, održavanje brodova prilagođeno je specifičnostima ovog industrijskog sektora. Brodarstvo se sastoji od velikog broja tvrtki/operatora koji upravljaju ili jednim brodom ili flotom od nekoliko desetaka do nekoliko stotina brodova. Većina tih tvrtki je u privatnom vlasništvu dok je tek manjina u državnom vlasništvu. Trgovački brodovi širom svijeta, plove u surovijim uvjetima u usporedbi s boljim prometnim uvjetima na kopnu, dok je u pomorstvu u posljednje vrijeme iskazan sve veći interes za poboljšanjem praksi njihova održavanja. Same zadatke održavanja teže je izvesti, pratiti i procijeniti u usporedbi s istim zadacima koji se odvijaju na kopnu. Nadalje, u pomorstvu je značajno više nesreća koje su pripisane, između ostalog, neispravnim postupcima provođenja održavanja [8].

Važnost održavanja izazvala je sve veći interes i za razvoj i implementaciju optimalnih strategija održavanja, sa svrhom poboljšanja pouzdanosti sustava, sprječavanje pojave kvarova sustava i smanjenje troškova održavanja sustava [2].

Osim pokušaja postizanja navedenih ciljeva, primjena optimalnog sustava održavanja u organizaciji može rezultirati mnogim drugim koristima, koje se mogu sažeti kako slijedi:

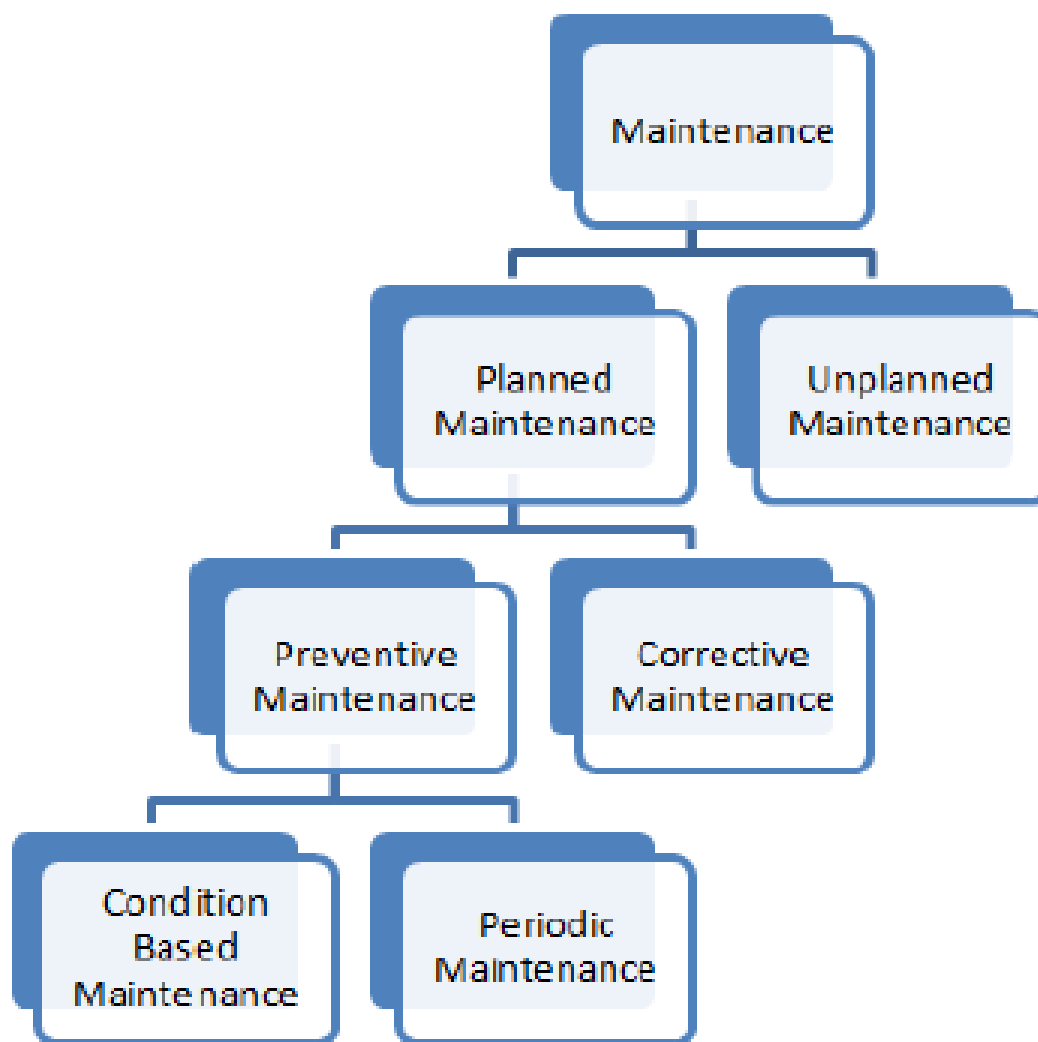
- Imovina ostaje u svom radnom stanju i rizici kvara se mogu izbjeći.
- Trenutna dostupnost imovine kada je potrebna za rad.
- Povećanje razine sigurnosti za zaposlenike koji upravljaju strojevima.

- Povećana pouzdanost, što dovodi do manjeg gubitka vremena dok se objekti popravljaju, manje ometanja normalnih aktivnosti i operacija, manje varijacije u izlaznim stopama i pouzdanije razine usluge.
- Pogreške u kvaliteti mogu se izbjeći jer je vjerojatnije da će dobro održavana oprema i sustav zadovoljiti standarde, čime se gotovo u potpunosti izbjegavaju problemi s kvalitetom.
- Potencijalno smanjenje operativnih troškova ako se održavanje provodi u redovitim intervalima.
- Duži životni vijek strojeva, odnosno redovito održavanje može produljiti učinkoviti vijek trajanja sustava i opreme smanjenjem malih problema u radu čiji kumulativni učinak uzrokuje njihovo trošenje ili propadanje.
- Veća krajnja vrijednost strojeva odnosno dobro održavane objekte općenito je lakše vrednovati na tržištima rabljenih strojeva ili opreme [8].

U literaturi su različiti autori različito kategorizirali održavanje i to na temelju sustava potrebnog za održavanje procesa koji je u tijeku. Neki su autori kategorizirali održavanje prema različitim strategijama, dok su drugi su kategorizirali održavanje prema politikama koje zahtijevaju da se održavanje izvodi na različite načine. Pouzdanost je druga kategorija održavanja, kao što je održavanje usmjereno na pouzdanost (RCM) i ukupno produktivno održavanje (TPM), ovisno o primjenama [9].

Razine održavanja obično se razlikuju od jednog operatera do drugog, ovisno o njihovim različitim zahtjevima. Operater obično razmatra adekvatnosti metoda i prema tome donosi odluku o najprikladnijem održavanju svoje opreme. Pritom, osnovna je namjera održavati stroj ili opremu u operativnom stanju tako da može zadovoljiti tražene performanse. Operater obično ima više od samo jedne opcije ili načina održavanja sustava, strojeva ili opreme, stoga je potrebno provesti detaljnu analizu i odabrati odgovarajuću politiku ili strategiju za provedbu postupaka održavanja [2].

Slika 2. Klasifikacija održavanja



Izvor: Šegulja, I., Bukša, A. Ship Machinery Maintenance. Pomorstvo, 2006;20(2):105-118.

Neplanirano održavanje je osnovno i jednostavno, naime definira se kao „održavanje u slučaju kvara” ili „održavanje do kvara”. Filozofija ove vrste održavanja je „popravi kada se pokvari” ili „ako nije pokvareno, nemoj ga popravljati.” Ovaj je pristup standardni pristup koji je u svim industrijama, pa tako i u pomorstvu, korišten prije Drugog svjetskog rata, u razdoblju kada industrija nije bila visoko mehanizirana i zastoji su imali manje štetne učinke. U ovoj politici održavanja, popravak ili zamjena se izvode samo kada dođe do kvara. Drugim riječima, to je reaktivna tehnika koja ovisi o vremenu potrebnom za procjenu neuspjeha. Osnovno preventivno održavanje, kao što je podmazivanje i podešavanje stroja, primjenjuje se na sustave u redovitim intervalima. Politika održavanja

od rada do kvara može biti najskuplja politika. Naime, analiza troškova održavanja pokazuje da će popravak obavljen u reaktivnom načinu rada biti u prosjeku oko tri puta skuplji od popravaka obavljenih unutar planiranog ili preventivnog modela. To će rezultirati visokim razinama prekovremenog rada, dugim periodima zastoja stroja, niskom proizvodnjom i visokim troškovima zaliha rezervnih dijelova. Ova je politika prikladna za sustave s niskom stopama opasnosti od zastoja i bez ozbiljnih troškova ili sigurnosnih posljedica pojave istoga. Ako se ova tehnika primjenjuje kao politika kompanije u području održavanja, potrebno je osigurati brzu reakciju u pogledu dostupnosti rezervnih dijelova, a osim toga, osoblje za održavanje mora biti dobro pripremljeno, imati potrebne vještine i biti spremno i dostupno za ažuran popravak sustava ili opreme [11].

Planirano održavanje postalo je uobičajeno nakon Drugog svjetskog rata kada je prepoznata činjenica da se kvar opreme može spriječiti. Naime, neispravna imovina rezultira skupim popravcima i skupim gubitkom vremena za popravak, ali planirano održavanje može spriječiti pojavu visokih troškova i s njima povezanih zastoja putem redovitih pregleda i održavanja. Raspored održavanja ili njegovo planiranje obuhvaća sve aktivnosti potrebne za planiranje, kontrolu i bilježenje svih obavljenih radova u vezi s održavanjem opreme ili sustava prema prihvatljivom standardu [9].

U planiranom održavanju treba izvršiti četiri osnovne vrste zadataka kako bi se zaštitila pouzdanost i sigurnost sustava. To su:

1. pregled komponente radi otkrivanja kvara
2. otkrivanje kvara
3. zamjena i odbacivanje komponente prije njezine maksimalne starosti
4. pregled stavki radi identifikacije i procjene nevidljivih kvarova [2].

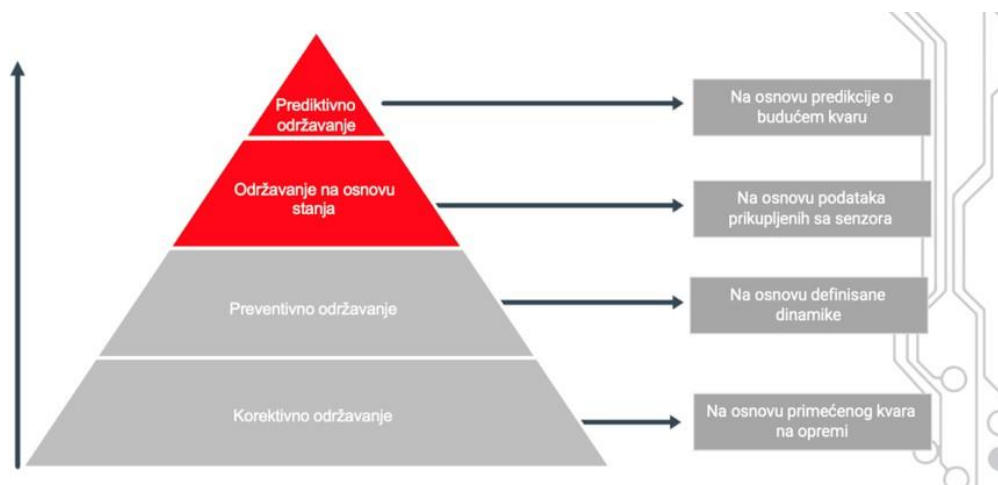
Planirano održavanje može se provoditi klasičnim pristupom koji se temelji na srednjem vremenu između kvarova (MTBF). Ovaj se pristup temelji na modelu vremena koje protekne između razdoblja održavanja, a koje uzima u obzir mehanizme kvarova, a to su rani kvar, slučajni kvar i kvar zbog trošenja. Planiranje održavanja pritom uključuje preventivno održavanje, prediktivno održavanje, korektivno održavanje, planirani remont, planiranu zamjenu i nabavu rezervnih dijelova [9].

Preventivno održavanje obično ovisi i o preporukama proizvođača i prošlom iskustvu s planiranjem vremena popravka ili zamjene određenih dijelova sustava ili opreme. U ovoj se politici održavanje izvodi prema rasporedu unutar planiranih intervala. Preventivno održavanje je vremenski vođeno u smislu da se održavanje izvodi na temelju proteklog vremena ili sati rada. Također, preventivno održavanje sastoji se i od radnji koje su osmišljene da poboljšaju stanje elemenata sustava prije nego što se dogodi kvar ili zakažu. Program preventivnog održavanja varira od vrlo osnovnog održavanja, kao što je primjerice samo podmazivanje, do velikog održavanja, kao što je potpuni remont sustava ili strojeva. Svi programi preventivnog održavanja pretpostavljaju da će se stroj potrošiti unutar vremenskog okvira tipičnog za njegovu kategoriju. Osnovni problem s ovim pristupom je taj što način rada i korištenja sustava i strojeva te specifične varijable koje su povezane sa sustavom ili određenim postrojenjem izravno utječu na radni vijek strojeva [11].

Prediktivno održavanje jedna je od tehnika koja se koristi u preventivnom održavanju. Odluke u ovoj politici održavanja temelje se na trenutnom stanju sustava ili opreme i izbjegavanju nepotrebnog i neočekivanog održavanja provođenjem postupaka održavanja kada je potrebno kako bi se spriječio kvar. Drugi oblik ove politike je održavanje temeljeno na stanju komponenti (CBM). Ovo podrazumijeva nadzor strojeva i djelovanje u skladu s njihovim stanjem. Pritom, praćenje stanja sastoji se od četiri koraka:

1. odabir pokazatelja,
2. mjerenje podataka,
3. izdvajanje obilježja,
4. klasificirati stanje stroja [9].

Slika 3. Prikaz prediktivnog održavanja



Izvor: EKapija (2024) Prediktivno održavanje, Dostupno na:

<https://ba.ekapija.com/news/3919149/power-supply-rjesenje-za-prediktivno-odrzavanje-opreme-za-neprekidno-napajanje>

Za praćenje stanja sustava ili strojeva koriste se različite tehnike, kao što su vizualni pregled, praćenje performansi, praćenje trendova, praćenje vibracija, toplinsko praćenje, praćenje razine maziva, praćenje termografom i akustično praćenje. Prednosti takve politike su u tome što se može izbjeći nepotreban rad, čime se sprječavaju katastrofalne posljedice i nesreće. Gubitak proizvodnje tijekom planiranog zastoja stroja može se smanjiti, a komponente mogu ostati u funkciji ako je stroj u dobrom radnom stanju [2].

3. BRODSKI SUSTAVI I PROCESI ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

Svaki se brod može podijeliti na sustave. Kada je riječ o području sigurnosti, sustavi se mogu podijeliti na važnije i manje važne. U slučaju pouzdanosti, navedenu podjelu nije moguće u potpunosti prihvatiti, ali se ista niti ne odbacuje. Procesom održavanja brodskih sustava ne ostvaruju se samo veće stope sigurnosti, već se osigurava i mogućnost viših razina iskoristivosti samog broda [12].

3.1. OSNOVNI BRODSKI SUSTAVI

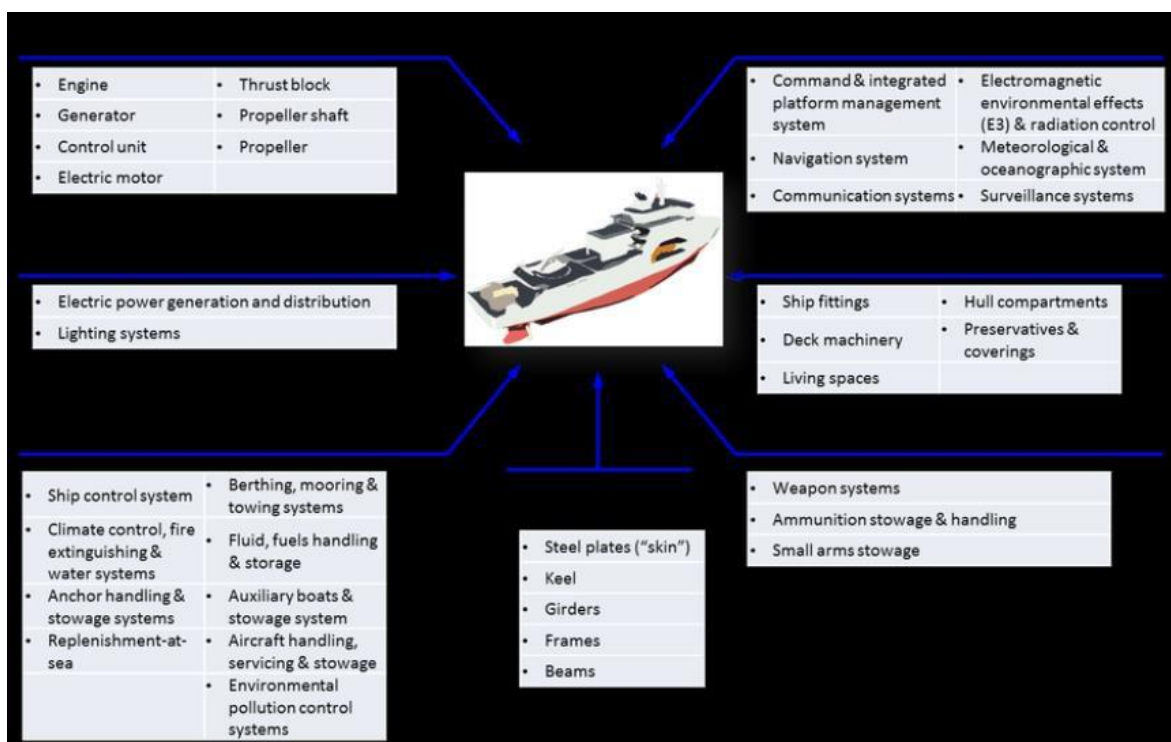
U proteklih nekoliko desetljeća tehnološki razvoj donio je velike promjene u način projektiranja i upravljanja brodovima. Automatizacija je pomaknula granice performansi i povećala upotrebu složenih sustava na plovilima. Iako je skupa za uvođenje, automatizacija se višestruko isplatila pomorskoj industriji. Povećanje broja složenih sustava i sustava automatskog nadzora dovelo je do povećane operativne učinkovitosti i sigurnosti posade, ali i smanjenih troškova održavanja [12].

Međutim, postoje neki brodski sustavi koji zahtijevaju kontinuirano održavanje :

1. Pogonski sustavi: održavanje motora, generatora, turbina i drugih sustava koji su ključni za pokretanje broda. Redovito održavanje ovih sustava osigurava učinkovitost i sprječava ozbiljne kvarove.
2. Navigacijski sustavi: sustavi poput radara, GPS-a, komunikacijske opreme i autopilota moraju biti u ispravnom stanju kako bi brod sigurno plovio i održavao komunikaciju.
3. Sustavi za upravljanje energijom: to uključuje električne sustave, sustave za distribuciju energije i sustave za upravljanje gorivom. Održavanje ovih sustava je ključno za osiguranje neprekidnog napajanja svih brodskih sustava.
4. Hidraulički i pneumatski sustavi: održavanje pumpi, ventila i cijevi je ključno za ispravan rad brodskih sustava, uključujući sustave za upravljanje teretom i balastne sustave.

5. Sustavi za zaštitu okoliša: sustavi za pročišćavanje balastnih voda, tretman otpadnih voda i sustavi za kontrolu emisija zahtijevaju redovito održavanje kako bi se osigurala usklađenost s međunarodnim propisima i smanjio ekološki utjecaj broda.
6. Sigurnosni sustavi: protupožarni sustavi, sustavi za spašavanje, alarmni sustavi i sustavi za evakuaciju moraju se redovito testirati i održavati kako bi bili u funkcionalnom stanju u slučaju nužde [2].

Slika 4. Osnovni brodski sustavi i podsustavi



Izvor: ResearchGate (2012). Dostupno na: https://www.researchgate.net/figure/Ship-Systems-and-Subsystems_fig3_281750869

3.2. OPĆI POJAM ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

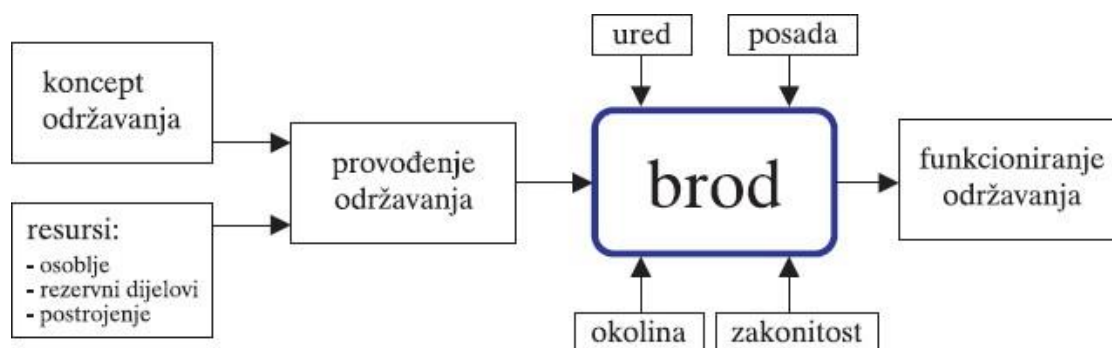
Prema međunarodnim standardima održavanje se definira kao kombinacija svih tehničkih i administrativnih radnji, uključujući radnje nadzora, namijenjene zadržavanju ili

vraćanju objekta u stanje u kojem može izvršiti potrebnu radnju. Glavni ciljevi održavanja su sprječavanje kvarova, poboljšanje proizvodnje, smanjenje zastoja, poboljšanje sigurnosti, smanjenje ukupnih troškova, produljenje životnog vijeka sustava i opreme i sprječavanje onečišćenja okoliša. Trenutačno, područje održavanja brzo napreduje i usvaja prakse iz analitike podataka i umjetne inteligencije (AI) [13].

Sukladno navedenom, 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) angažiranih u ostvarivanju navedenog cilja [2].

Postoje četiri glavna faktora koja utječu na funkcionalnost održavanja broda. 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 sustavu 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. Ono uključuje stanje pogoršanja, postupno slabljenje performansi i kvarove. Funkcionalnost održavanja određuje troškove, koji se zauzvrat koriste za procjenjivanje efikasnosti koncepta održavanja. Efikasnost koncepta održavanja također se ocjenjuje kontroliranjem usuglašenosti sa sigurnosnim zahtjevima [11].

Slika 5. Održavanje brodskih sustava



Izvor: Šegulja, I., Bukša, A. Ship Machinery Maintenance. Pomorstvo, 2006;20(2): 105-118.

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 [2].

Važnost održavanja brodskih sustava proizlazi iz:

- Sigurnosti: pravilno održavanje sprječava kvarove koji mogu ugroziti sigurnost posade i broda.
- Ekonomičnosti: redovno održavanje smanjuje troškove kroz produženje vijeka trajanja opreme i sprječavanje skupih popravaka ili zastoja.
- Usklađenosti s propisima: održavanje osigurava da brod ispunjava sve međunarodne propise i standarde, što je ključno za legalnu plovidbu.
- Operativne učinkovitosti: dobro održavani sustavi omogućuju brodu da radi s maksimalnom učinkovitosti, smanjujući potrošnju goriva i drugih resursa [14].

Ključne karakteristike luka ili prostora za održavanje, odnosno sredstva potrebna za rad su:

- Dizalica za prijenos materijala s broda na brod i s obale na brod, uključujući mogućnost uklanjanja opreme za održavanje. Uglavnom bi trebao biti dostupan odgovarajući raspon kapaciteta s maksimalnim kapacitetom dizanja od 25 tona.
- Prostor za smještanje niza radionica, uključujući prostore za zavarivanje, skladišta za strojeve i radionice poput hidrauličkih i elektronskih. Veličina područja ovisi o razinama pružanja podrške i usluga i kreće se od nekoliko stotina do nekoliko tisuća četvornih metara.
- Prostrani skladišni prostori za potrebne skladištenja alata, rezervnih dijelova i potrošnog materijala.
- Smještaj za stručno osoblje koje vrši popravke i održavanje
- Sustavi koji omogućuju opskrbu gorivom, slatkom vodom, morskom vodom pod visokim pritiskom, zrakom i strujom za plovilo [15].

Posljednjih godina, održavanje brodova značajno se razvilo kako bi se povećala sigurnost i zaštita okoliša. Imajući u vidu da je broj posade na brodu drastično smanjen i da

održavanje zahtijeva značajan napor (ljudstvo, vrijeme, novac), izrada plana održavanja pokazala se korisnim alatom. Održavanje broda zapravo čini i 20-30% operativnih troškova broda i povezano je s neočekivanim kvarovima, popravcima, gubitkom operativne raspoloživosti, a posljedično i prihoda. Kako je i ranije navedeno, postupci održavanja mogu se podijeliti na korektivno, preventivno, održavanje temeljeno na stanju i održavanje usmjereno na pouzdanost. Preventivni i postupci održavanja koji se temelje na stanju su u stalnom razvoju korištenjem različitih alata i tehnoloških poboljšanja s ciljem otkrivanja nadolazećih kvarova prije nego što se dogode, čime se povećava pouzdanost i smanjuju troškovi [13]. U tom smislu, struktura održavanja transformirana je iz perspektive nužnog troška u investiciju za kontinuirano, sigurno i pouzdano korištenje sustava, strojeva i opreme. To se može shvatiti kao prijelaz održavanja s reaktivnog načina na proaktivniji pristup. Općenito se smatra da su odjeli inspekcije i održavanja u suvremenim brodarskim tvrtkama najveći po pitanju broja radne snage i troškova. Povrh svega navedenog, operateri brodova još uvijek pokušavaju pronaći način da na učinkovit način kombiniraju bogato praktično znanje stečeno u stvarnom području pomorstva s tehnološkim napretkom koji proizlazi iz relevantnog sektora informacijske tehnologije. Ovo posljednje dolazi uz učinke na primjenu odgovarajućeg redoslijeda održavanja na brodu [14].

3.3. NAČELA ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

Aдекватno održavanje brodova osigurava se kroz:

- Osiguravanje točnosti podataka – točni podaci ključni su za učinkovito održavanje broda. Uspostavljanjem jasnih podatkovnih standarda i protokola može se postići ujednačenost u cijeloj floti, smanjujući pogreške, dupliciranje i nedosljednosti. Redovito praćenje i revizija podataka sustava planiranog održavanja neophodni su za održavanje njegove točnosti i integriteta. To uključuje definiranje protokola za izvore podataka, formate, provjere valjanosti i tijekove rada koji upravljaju unosom, ažuriranjem i pristupom podacima.
- Olakšavanje komunikacije - učinkovita komunikacija igra ključnu ulogu u učinkovitosti održavanja brodova. Implementacija sučelja prilagođenih

korisniku na globalnoj razini i pojednostavljenje prijenosa podataka između ureda i brodova može značajno poboljšati i komunikaciju i optimizirati iskorištenje vremena. Sustav planiranog održavanja je pritom ključni alat za izvješćivanje uprave broda, dokumentiranje internih i eksternih revizija i pružanje sveobuhvatnih resursa za vođenje evidencije o održavanju za buduću analizu.

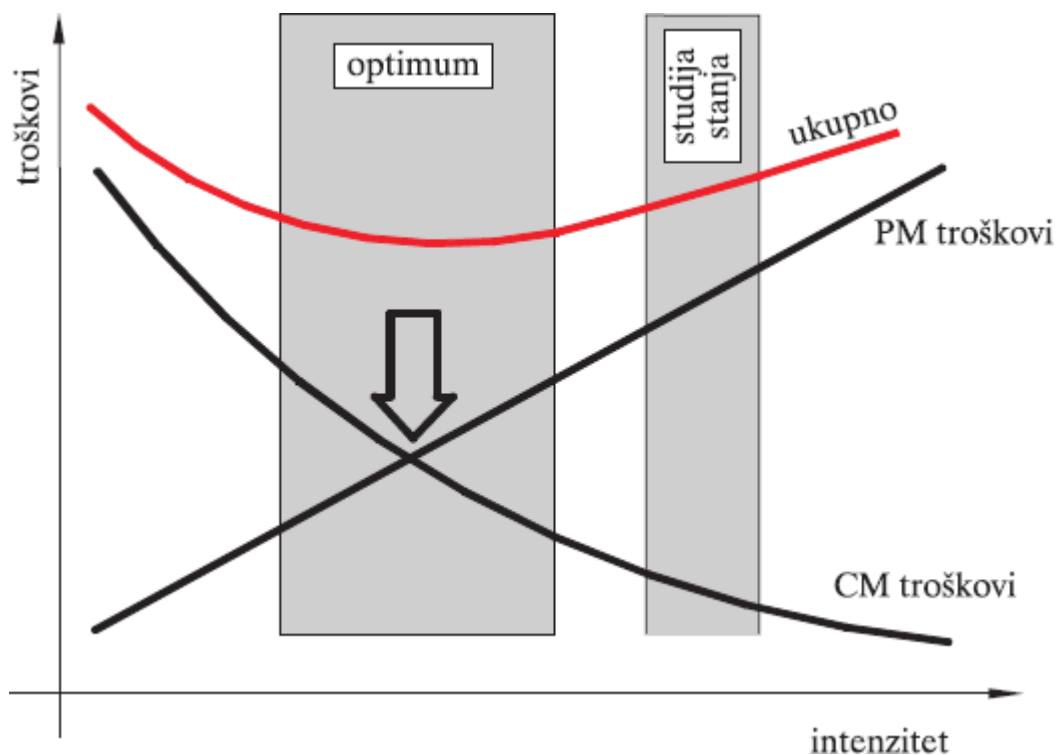
- Osiguravanje usklađenosti s propisima - pridržavanje propisa, posebno onih navedenih u Međunarodnom kodeksu upravljanja sigurnošću (ISM), imperativ je za postizanje sigurnosnih i ekoloških ciljeva u pomorskim operacijama. Implementacija adekvatnog sustava planiranog održavanja sastavni je dio nastojanja za usklađivanjem, budući da automatizira procese održavanja plovila i osigurava poštivanje zahtjeva proizvođača, klasifikacijskog društva i države zastave.
- Naglašavanje proaktivnog održavanja - proaktivne strategije održavanja ključne su za održavanje operativne učinkovitosti i sigurnosnih standarda. Davanje prioriteta inicijativama proaktivnog održavanja pomaže u ublažavanju eskalacije manjih problema, čime se smanjuje vjerojatnost skupih popravaka i zastoja. Usklađenost s ISM kodeksom za sustav planiranog održavanja olakšava automatizirano planiranje održavanja, osiguravajući pravovremene inspekcije i popravke kako bi se poboljšala ukupna sigurnost i operativna učinkovitost [16].

U suprotnosti s tim da je održavanje samo važna komponenta pomorskih operacija, održavanje broda ključna je komponenta koja definira uspjeh brodarske kompanije i naglašava važnost sigurnosti, učinkovitosti i radnog vijeka brodova, uključujući i sigurnost posade. Pridržavanje preciznog rasporeda održavanja omogućuje vlasnicima brodova i operaterima da minimiziraju kvarove, poboljšaju performanse, održe proračune i produže vijek trajanja plovila [16].

3.4. TROŠAK ODRŽAVANJA

Troškovi održavanja podijeljeni su u preventivne i korektivne troškove. Osnovna jednažba za izračun istih uključuje varijable koje ekonomska teorija smatra važnim determinantama troškova održavanja. Međutim, s obzirom da je fokus na determinantama izdataka koji su povezani s održavanjem brodova, modeli izvedeni iz teorije uglavnom su nedostatni. Implikativno, jednažbu za izračun troškova održavanja treba proširiti kako bi se omogućili dodatni čimbenici za koje se pokazalo ili za koje se sumnja da imaju značajan utjecaj na troškove održavanja brodova, bez obzira na to dolazi li njihova identifikacija iz teorijske literature, empirijske literature ili propisa nacionalnih i međunarodnih tijela. Stoga je razumno razmotriti dodavanje i kvantitativnih i kvalitativnih varijabli [17].

Grafikon 1. Kretanje troškova održavanja



Izvor: Šegulja, I., Bukša, A. Ship Machinery Maintenance. Pomorstvo, 2006;20(2): 105-118.

Tablica 1. Klasifikacija troškova održavanja

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

Izvor: Šegulja, I., Bukša, A. Ship Machinery Maintenance. Pomorstvo, 2006;20(2): 105-118.

Dodatna posada na brodu za obavljanje radova na održavanju može izravno povećati troškove održavanja. Međutim, ako se održavanje odgodi, to može rezultirati većim budućim troškovima održavanja i izgubljenom zaradom. Stoga odnos posade na brodu i troškova održavanja nije jednostavno objasniti. Nadalje, sastav posade koja radi na postupcima održavanja, u smislu različitih nacionalnosti, ne nameće nikakva očekivanja, budući da sva posada ima jednake međunarodno ekvivalentne potvrde i dopuštenja za rad. Međutim, produktivnija posada može posvetiti više pozornosti održavanju, čime se povećavaju trenutni troškovi održavanja, ali potencijalno smanjuje rizik od neočekivanih većih troškova za održavanje u budućnosti [18].

Očekuje se da je vrsta plovila značajan čimbenik u analizi troškova održavanja, prvenstveno zato što različite vrste plovila impliciraju da operativni postupci mogu imati utjecaj na istrošenost plovila i rezultirati širokim spektrom troškova održavanja. Obično se kontejnerski brodovi, brodovi za prijevoz plina kao što su ukapljeni naftni plin (LPG), ukapljeni prirodni plin (LNG) i Ro-Ro brodovi obavljaju operacije prijevoza i prekrcaja koje od njih zahtijevaju da rade na velikim brzinama kako bi ispunili svoje ciljeve u unaprijed zadanom vremenskom rasporedu. Štoviše, veliki broj posjećenih luka godišnje i veća učestalost prekrcaja tereta, dovodi do viših razina fizičkog napora plovila. S druge strane, pomorski brodovi fleksibilniji su u pogledu prilagodbe brzine, budući da ista ovisi o samom teretu. Čimbenici kao što su mjesto prekrcaja tereta pažljivo se razmatraju budući da zarada od prijevoza od tereta ne može uvijek nadoknaditi rizik od oštećenja broda u terminalu koji nije standardan, posebno kada tereti poput željezne rude mogu značajno oštetiti trup broda [19].

Odabir zastave može omogućiti vlasniku broda da izbjegne neke troškove jer države zastave postavljaju propise o održavanju, posadi i sigurnosnim uvjetima. Istraživanja o sigurnosnim zapisima trideset i šest glavnih svjetskih flota koristeći dvadesetogodišnje podatke potvrdila da su flote zemalja u razvoju bile tehnički bolje od flota razvijenih zemalja. Stoga odabir zastave može utjecati na politiku održavanja i uvjetovati upis u evidenciju sposobnosti plovila za plovidbu. Primjerice, Panama je zabilježena kao jedna od najlošijih zastava u smislu razine sigurnosti. Zanimljivo je, međutim, dok je Singapur ocijenjen boljim od Paname, najveći postotak zadržanih brodova nisu bili oni s panamskom zastavom, već oni sa singapurskom zastavom, budući da je 10% potonjih bilo zadržano za razliku od 6% prvih. Naposljetku, pravila o održavanju brodova nametnuta ISMC shemom, kao i sve veći broj kontrola u lukama, mogu poništiti utjecaj zastave na spomenute troškove. To će se vjerojatno dogoditi jer, iako još uvijek postoje neke zastave iz zemalja u razvoju za koje su pravila ISMC-a relativno neprimjenjiva, brodarske tvrtke su dužne posvetiti sve veću pozornost sigurnosnim pitanjima, bez obzira na zastavu svojih plovila [17].

Čimbenik kao što je izvorna konstrukcija broda može utjecati na naknadne zahtjeve održavanja. Ako je epoksidni premaz nanesen na teretne i balastne tankove kada je plovilo izgrađeno, to može donijeti dugotrajne prednosti jer štiti plovilo od rane korozije na površini. Osim toga, niz plovila izgrađenih tehnologijom čelika visoke čvrstoće rezultiralo je većim zahtjevima za održavanjem. Čelik visoke čvrstoće je tanji i rezultira većim brojem budućih zamjena čelika kao rezultat pojave korozije a trupu plovila. Osobito treba ispitati jesu li specifični troškovi popravaka i pregleda pozitivno povezani s ovim faktorom [20].

Klasifikacijska društva igraju ulogu u ocjenjivanju sposobnosti plovila za plovidbu. Pritom, glavni zadatak klasifikacijskih društava je povećati sigurnost života i imovine na moru osiguranjem visokih tehničkih standarda projektiranja, proizvodnje, izgradnje i održavanja trgovačkog i netrgovačkog brodarstva. Klasifikacijska društva su ta koja su nametnula obvezne posebne preglede. Ovi zahtjevi postavljaju opće propise za certificiranje broda. Svako društvo, međutim, može proširiti svoje zahtjeve i postaviti još stroža pravila. Na primjer, Lloyds Register nameće poseban pregled trupa i strojeva svakih pet godina te godišnje preglede trupa i strojeva. Jasno je da postoje implikacije povezane s pokrićem osiguranja broda, jer se certificirano plovilo suočava sa smanjenim

premijama osiguranja. Međutim, uvijek je bilo kontroverzi u slučajevima kada su lučke vlasti zadržale brodove ili su isti imali ozbiljnu nesreću zbog lošeg održavanja [18].

Još jedna karakteristika trgovačkih brodova je činjenica da mogu uvjetovati lokaciju brodogradilišta za posebno održavanje. Kontejnerski brodovi vrlo su ograničeni u odabiru najjeftinijih brodogradilišta za izvođenje održavanja jer se obavljaju svoje poslovanje i aktivnosti na fiksnim rutama i prema tijesnom rasporedu. Budući da pružaju kontinuiranu uslugu, kontejnerske tvrtke vrlo su oprezne u planiranju sljedećih pregleda svoje flote. Svako kašnjenje može narušiti ugled tvrtke i oštra konkurencija može preuzeti njezine klijente. Stoga, nije neuobičajeno da većina kontejnera stoji na suhom pristaništu u kojem se nude usluge održavanja, kako bi izbjegli putovanje s jedne lokacije na drugu i otkazali planirana putovanja. Odabir mjesta za obavljanje posebnog pregleda ili međupregleda postaje jednako važan za sve brodarske tvrtke budući da isti mogu značajno utjecati na troškove održavanja. Istina je da se u ovom pogledu daje prednost običnom brodarstvu budući da brodovi za rasuti teret i tankeri imaju veći izbor među brodogradilištima. Budući da sve tvrtke moraju provoditi posebne preglede i međupreglede svakih 5 i 2 i pol godine, izbor luke čini veliku razliku u troškovima. Najkonkurentnija su brodogradilišta u dalekoistočnoj Aziji, poput Singapura i Kine [17].

Tržište pomorskog prijevoza doista je međunarodno tržište. Iako različiti sektori, poput brodogradilišta i remontnog brodogradilišta, slijede sličan trend pod istim gospodarskim uvjetima, još uvijek postoje lokalni uvjeti koji unaprijed određuju relativnu cijenu rada i resursa, pritom i regionalna gospodarska situacija može pogodovati nekim brodogradilištima da svojim uvjetima budu konkurentnija od drugih. Ukratko, plovilo koje se mora popraviti ili održavati u brodogradilištu ostvariti će veće troškove održavanja. Ipak, izbor luke ili brodogradilišta odredit će opseg povećanja troškova održavanja. Također je moguće da su neka brodogradilišta jeftinija od drugih, a vlasnici brodova mogu uštedjeti u cjenovno konkurentnijim brodogradilištima [17].

3.5. PRAVNA REGULATIVA

Brodarske kompanije suočavaju se s novim pritiscima i izazovima u osiguravanju učinkovitog i isplativog rasporeda održavanja. Tijekom 1990-ih godina došlo je do

usvajanja novih pomorskih propisa te sve veće aktivnosti u pregledima države luke s ciljem osiguravanja da brodovi ostvare svjedodžbe o sposobnosti za plovidbu promijenile su percepciju o održavanju brodova. Uistinu, novi trend politike prema uklanjanju brodova koji ne zadovoljavaju standarde ima za cilj poboljšanje sposobnosti za plovidbu i podizanje kvalitete broda i njegovih sustava, kao i učestalosti održavanja [17].

U razdoblju prije uvođenja Međunarodnog kodeksa upravljanja sigurnošću (ISM), brodovlasnici su se obično opredjeljivali za politiku „kvara“. Drugim riječima, sva bi se oprema pažljivo koristila, ali se ne bi održavalo sve dok se oprema ne pokvari i zahtijeva popravke ili potpunu promjenu rezervnih dijelova. Ta je politika dovela do brodova čija je kvaliteta gradnje i razina održavanja bila ispod standarda i povezuje se s nizom istaknutih brodskih nesreća. Kao rezultat toga, kreatori politike promijenili su stavove o tome kako bi se trebalo obavljati održavanje brodova. Iako su neke brodarske tvrtke možda organiziranije od drugih, preventivna priroda novih propisa nameće veće troškove održavanja za sve tvrtke. Osim toga, činjenica da planirani radovi na održavanju zahtijevaju strožu kontrolu i postojanje evidencije doveli su do češćeg održavanja umjesto odgađanja do idućeg izvanrednog pregleda. Pritom, ISM ne preporučuje politiku rijetkog održavanja, ali nameće stalnu procjenu stanja plovila i zahtijeva trenutnu akciju brodarske tvrtke kako bi otklonila bilo kakvu grešku ili neispravnost sustava [21].

Tablica 2. Komponente broda koje je potrebno preventivno održavati prema ICS-u

• Čelični dijelovi trupa i nadgrađa • Sigurnosna, protupožarna i oprema protiv zagađenja • Navigacijska oprema • Upravljački mehanizam • Oprema za sidrenje i privez • Glavni motor i pomoćni strojevi • Cjevovodi i ventili	• Oprema za utovar i istovar tereta • Signalni i alarmni sustavi • Pomoćni sustavi za odvajanje kaljuže i balasta • Sustavi gospodarenja otpadom • Komunikacijska oprema
--	--

Izvor: Bitros, G. G. C., Kavussanos, M. G. A cross sectional analysis of ship maintenance expenses. Manolis, 2005.

Naposljetku, sve veći broj lučkih kontrola i zadržavanja plovila prisilio je vlasnike brodova da budu vrlo oprezni u vođenju dobre evidencije o održavanju plovila i da provedu radove na održavanju prije nego što brod uđe u luku sa strogim sigurnosnim standardima. Stoga, kad god je to praktično izvedivo, brodske tvrtke povećavaju radove na održavanju tijekom plovidbe broda, kako bi se izbjegla moguća zadržavanja u lukama. Potencijalni rizik od zadržavanja plovila ima velike komercijalne, kao i pravne implikacije i implikacije na osiguranje budući da se svako zadržavanje prijavljuje i mogu utjecati na novčane tokove plovila u smislu prihoda i premija osiguranja, koje će morati platiti za plovilo čija je razina održavanja ispod standarda [21].

Pravna regulativa u održavanju brodova igra ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti, zaštite okoliša i efikasnosti u pomorskoj industriji. Ova regulativa obuhvaća niz međunarodnih, regionalnih i nacionalnih propisa i standarda koje vlasnici brodova, i posada moraju poštovati. Ključni međunarodni propisi i konvencije koji se povezuju s područjem održavanja brodova uključuju sjedeće:

1. Međunarodna pomorska organizacija (IMO):

- SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea): ova konvencija postavlja minimalne sigurnosne standarde za konstrukciju, opremu i ekonomsko iskorištavanje brodova, uključujući održavanje. SOLAS zahtijeva da svi brodovi redovito prolaze inspekcije i održavanje kako bi se osigurala njihova sigurnost.
- MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships): ova konvencija donesena je s ciljem potpune eliminacije namjernog ili slučajnog onečišćenja morskog okoliša s brodova, a također regulira emisije iz brodova i propisuje obvezno održavanje sustava za kontrolu zagađenja, uključujući tretman balastnih voda i otpadnih voda.
- ISM Code (International Safety Management Code): propisuje zahtjeve za upravljanje sigurnošću, uključujući održavanje broda. Prema ISM Kodeksu, operateri brodova moraju uspostaviti i održavati sigurnosni sustav upravljanja (SMS), koji obuhvaća planove i procedure za redovno održavanje broda.

2. ILO (International Labour Organization):

- MLC (Maritime Labour Convention): ova konvencija regulira uvjete rada i života na brodu, uključujući zahtjeve za održavanje prostora za posadu i opreme, kako bi se osigurali sigurni i zdravi uvjeti rada.

Regionalni propisi kojima se regulira obveza provođenja postupaka održavanja brodova su sljedeći:

1. EU regulativa:

- Direktiva 2009/16/EC o nadzoru lučke države (Port State Control Directive): ova direktiva zahtijeva inspekciju stranih brodova u lukama EU kako bi se osiguralo da su u skladu s međunarodnim propisima, uključujući one koji se odnose na održavanje.
- EU MRV (Monitoring, Reporting and Verification) regulativa: propisuje obveze vezane uz monitoring i izvješćivanje o emisijama CO₂ iz brodova, što uključuje održavanje sustava za praćenje i kontrolu emisija [22].

Također, na nacionalnoj razini važno je istaknuti kako svaka zemlja koja ima vlastitu obalnu stražu ili sličnu instituciju može imati dodatne propise koji reguliraju održavanje brodova. Na primjer:

- Zakonodavstvo u Sjedinjenim Američkim Državama: Američka Obalna straža (United States Coastal Guard) ima vrlo stroge zahtjeve koji se povezuju s procesima održavanja brodova koji plove u američkim vodama ili su registrirani pod američkom zastavom, uključujući redovite inspekcije i certifikaciju od strane ovlaštenih tijela.
- Zakonodavstvo u Republici Hrvatskoj: Prema hrvatskim zakonima i propisima, brodovi koji plove pod hrvatskom zastavom moraju se pridržavati odredbi Pomorskog zakonika, koji propisuje standarde održavanja, inspekcije i certificiranja [23].

Klasifikacijska društva, poput Lloyd's Register, DNV GL, Bureau Veritas i drugih, također igraju ključnu ulogu u regulativi održavanja brodova. Naime, u njihovoj je domeni izdavanje certifikata koji potvrđuju da je brod izgrađen i održavan u skladu s odgovarajućim međunarodnim propisima i standardima. Također, inspekcije koje provode ova društva su obvezne za sve brodove i u skladu su s međunarodnim i nacionalnim propisima [22].

Provedba pravnih regulativa u održavanju brodova uključuje:

- Pregled države luke (Port State Control, PSC): inspektori provode inspekcije brodova koji ulaze u njihove luke kako bi provjerili usklađenost s međunarodnim i regionalnim propisima.
- Inspekcije zastave (Flag State Inspections, FSI): države pod čijom zastavom brod plovi odgovorne su za osiguranje da brodovi pod njihovom zastavom ispunjavaju sve relevantne propise, uključujući one o održavanju.

Nepridržavanje pravnih regulativa u održavanju brodova može rezultirati ozbiljnim posljedicama, uključujući:

- Zadržavanje broda u luci: brodovi koji ne ispunjavaju zahtjeve mogu biti zadržani u luci dok se ne isprave nepravilnosti.
- Novčane kazne: vlasnici i operateri mogu biti kažnjeni značajnim novčanim kaznama za nepoštivanje propisa.
- Opoziv certifikata: brodovi mogu izgubiti svoje klasifikacijske i operativne certifikate, što može dovesti do nemogućnosti plovidbe.

Pravna regulativa u održavanju brodova ključna je za osiguranje sigurnosti na moru, zaštitu okoliša i održavanje standarda u globalnoj pomorskoj industriji [23].

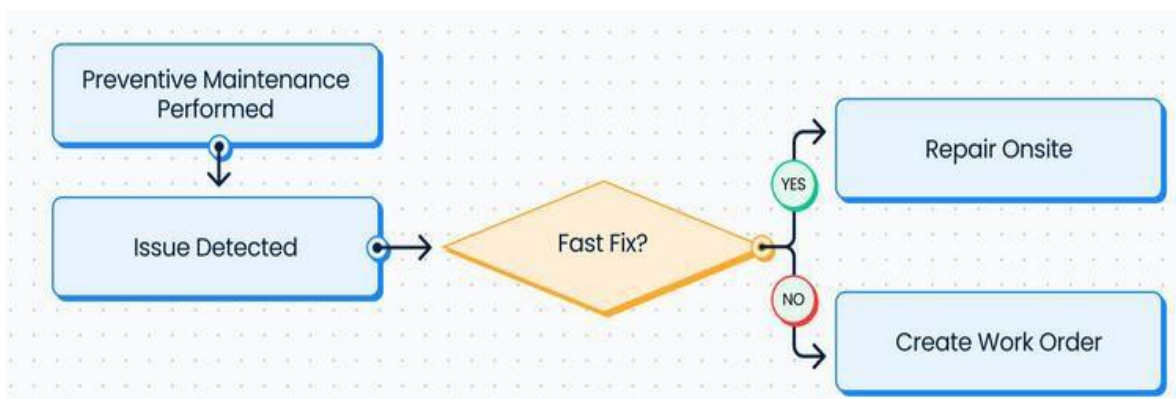
4. PLANIRANJE ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

Vlasnici brodova imaju ključnu dužnost obavljati aktivnosti održavanja broda kako bi plovilo bilo ispravno i sigurno. U to je uključeno mnogo različitih zadataka, od izravnog i jednostavnog održavanja do velikog remonta komponenti motora i raznih naknadnih ugradnji. Sastavljanje popisa za provjeru, provođenje održavanja i njihovo bilježenje dio su rutine održavanja. Učinkovito održavanje broda nije samo zadatak, to je ključni čimbenik u održivosti i pouzdanosti broda koji sprječava kvarove i produljuje njegovu trajnost. To također dovodi i do smanjenih izdataka i manjeg ugljičnog otiska, što je bitno za smanjenje razina globalnog zatopljenja. Ovo je potvrda vještina i predanosti pomorskih stručnjaka, koji osiguravaju da se i mali i veliki strojevi servisiraju periodično i pravodobno kako bi radili učinkovito. Primarni cilj plana održavanja je osigurati da se zadaci završe unutar vremenskih okvira i na racionalan način, dok se također osigurava da brod zadovoljava sve standarde i propise. Pridržavanje ovih standarda nije samo uvjet, to je ključni dio pomorskih operacija. Međunarodni kodeks upravljanja sigurnošću (ISM) nameće sustav planiranog održavanja broda, naglašavajući njegovu ulogu kamena temeljca pomorskih operacija [24].

4.1. KOREKTIVNA STRATEGIJA ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

Korektivno održavanje ključan je dio u upravljanju brodovima prvenstveno iz razloga što rezultira smanjenjem vremena zastoja rješavanjem problema čim prouzrokuju kvar. Korektivno održavanje je neplanirano održavanje nakon kvara opreme, sa svrhom vraćanja sustava na razine performansi prije nastanka kvara. Jedina razlika između korektivnog održavanja kućanskih uređaja i industrijskog korektivnog održavanja je u tome što industrijsko ima mogućnost dublje istražiti temeljne uzroke, analizirati troškove i smanjiti vjerojatnost budućeg kvara [25].

Slika 6. Tijek rada u korektivnom održavanju



Izvor: Gwiliam, A (2022) Corrective Maintenance: Definition, Types, Pros, & Cons, MantainX,
Dostupno na: <https://www.getmaintainx.com/learning-center/corrective-maintenance>

Ova vrsta održavanja može se kategorizirati na nekoliko načina:

1. Popravak kvara: vraćanje neispravnog sredstva u njegovo operativno stanje.
2. Remont: vraćanje sredstva u njegovo potpuno servisno stanje kako je navedeno u standardima za održavanje. Ovdje se sustavi, strojevi i oprema samo pregledavaju i popravljaju prema potrebi.
3. Recikliranje: odlaganje nepopravljivih materijala i korištenje drugih materijala.
4. Servisiranje: popravak nakon poduzimanja korektivnih mjera
5. Obnova: vraćanje sustava ili strojeva što je bliže moguće izvornim standardima u smislu performansi, izgleda i očekivanog životnog vijeka. Obnavljanje uključuje rastavljanje dijelova, njihovo ispitivanje, popravak istrošenih komponenti i zamjenu neispravnih u skladu s originalnim specifikacijama i proizvodnim tolerancijama. Ponovno sastavljena sredstva se zatim testiraju kako bi se osiguralo da odgovaraju zahtjevima izvorne proizvodnje [24].

Tih pet kategorija obično se dijeli u dvije osnovne klase: neplanirano (trenutačno) korektivno održavanje i planirano (odgođeno) korektivno održavanje [25].

Tablica 3. Prednosti i nedostaci korektivnog održavanja

Prednosti	Nedostaci
• Smanjuje potrebu za planiranjem • Nije resursno intenzivan proces • Isplativo je za nekritičnu imovinu • Poboljšava sigurnost na radnom mjestu kada se koristi s preventivnim održavanjem	• Povećava nepredvidljivost • Stvara sigurnosne probleme kada se žuri s održavanjem • Povećava troškove održavanja • Povećava vrijeme zastoja u slučaju ozbiljnih problema

Izvor: Gwiliam, A (2022) Corrective Maintenance: Definition, Types, Pros, & Cons, MantainX,

Dostupno na: <https://www.getmaintainx.com/learning-center/corrective-maintenance>

Baš kao što vozila i druge vrste mehaničke opreme zahtijevaju redovito održavanje, brodovi također zahtijevaju kontinuirano održavanje kako bi se postiglo njihovo maksimalno ekonomsko iskorištavanje. Planirano ili periodično održavanje možda neće biti dovoljno da spriječi kvarove opreme i strojeva na brodovima, osobito tijekom plovidbe. Iz tog razloga, neke operacije dodaju prediktivno održavanje svom popisu preventivnih mjera. Razumijevanjem što je prediktivno održavanje i njegovom implementacijom na vlastitim plovilima, dodatno se povećava njihova učinkovitost, produžuje životni vijek i moguće je uštedjeti na popravcima. Primarna prednost prediktivnog održavanja za brodove je mogućnost planiranja korektivnih održavanja prije nego što su brodovi isplove, prvenstveno jer je nakon isplovljavanja teže i skuplje obavljati popravke. Budući da je na brodove implementirana i tehnologija poput sustava nadzora koji upozoravaju na prijeteće kvarove, ista pomaže posadi predvidjeti ciklus održavanja opreme ili strojeva. Dodatne pogodnosti uključuju:

- Priprema potrebnih dijelova
- Smanjenje troškova
- Ušteda energije
- Ukupna poboljšanja učinkovitosti
- Smanjeni troškovi održavanja i popravka

- Poboljšana produktivnost
- Manje kvarova komponenti [26]

Dok je preventivno održavanje vitalno i neke nesreće su neizbježne, prediktivno održavanje popunjava praznine koje ostavlja preventivno održavanje. Preventivno održavanje odvija se samo u skladu s rasporedom programa. Tehnologije prediktivnog održavanja nadzire opremu u radu, što posada ne može činiti tijekom dana, i obavještava članove posade kada komponenti treba pozornost prije nego što otkáže [24].

4.2. PREVENTIVNA STRATEGIJA ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

Sustav preventivnog održavanja, poznat i kao PMS, proaktivan je pristup koji uključuje planiranje i dokumentiranje aktivnosti održavanja unaprijed. Primarni cilj je smanjiti vrijeme zastoja osiguravanjem da su svi potrebni resursi, kao što su radna snaga i dijelovi, dostupni na zahtjev. Ovaj sustavni pristup ključni je dio životnog ciklusa kroz koji svi brodovi prolaze kako bi održali operativnu spremnost i učinkovitost [27].

Preventivno održavanje ključno je za povećanje pouzdanosti i dugovječnosti rada. Prihvaćajući sustavni pristup održavanju, usredotočen je na rutinske provjere, popravke i prilagodbe kako bi se spriječili kvarovi prije nego što se dogode. Ovaj pristup ne samo da osigurava operativnu sigurnost i učinkovitost, već također značajno smanjuje neplanirane zastoje i povezane troškove [24].

Grafikon 2. Usporedba preventivne strategije održavanja s ostalima



Izvor: Hansen, R (2024) Your guide to Preventive Maintenance Strategies, Dostuono na:
<https://www.sertica.com/blog/your-guide-to-preventive-maintenance-strategies/#gref>

Strategija preventivnog održavanja popularna je s razlogom jer dolazi s mnogim prednostima. Glavne prednosti sažete su u 4 točke:

- Isplativost - redovitim održavanjem opreme može se izbjeći skupe popravke koji proizlaze iz iznenadnih kvarova. Planirani zastoji omogućuju bolje proračunsko planiranje i raspodjelu resursa, smanjujući utjecaj na operativne rasporede i financijsko planiranje.
- Sigurnost i sukladnost - redovito održavanje osigurava da svi sustavi i oprema zadovoljavaju potrebne sigurnosne standarde i regulatorne zahtjeve, ključne za podršku sigurnosti posade.
- Operativna pouzdanost - preventivno održavanje povećava pouzdanost rada broda, osiguravajući da su plovila sposobna za putovanja i da mogu ispuniti stroge rasporede pomorskih operacija bez neočekivanih prekida.
- Produžuje životni vijek imovine - redovito održavanje i provjere sprječavaju rano propadanje komponenti, čime se produljuje životni vijek ove vrijedne imovine [24].

3 glavne strategije preventivnog održavanja:

1. Kalendarsko održavanje

2. Održavanje na temelju brojača
3. Održavanje prema stanju [24]

Održavanje temeljeno na kalendaru odnosi se na zamjenu ili obnavljanje komponenti kako bi se povratila njegova pouzdanost u određeno vrijeme, bez obzira na njegovo stanje. Vremenski interval može biti fiksna na svaki tjedan, svaki mjesec ili svaka tri mjeseca i slično. Strategija održavanja temeljena na kalendaru također se naziva i održavanje temeljeno na vremenu ili na satu. Ova je strategija vrlo učinkovita za opremu ili dijelove povezane sa starenjem, za koje je poznato da traju samo određeno vrijeme. Ovu metodu koristi i većina brodarski tvrtki jer planirano održavanje čini relativno lakim. Međutim, ovom metodom može se riskirati prečesto održavanje opreme ili obrnuto. Ova se strategija često primjenjuje na imovinu kratkog vijeka kao što su pumpe i aparati za gašenje požara. Primjer bi mogao biti pregled aparata za gašenje požara svakih 12 mjeseci. U digitalnom sustavu upravljanja održavanjem dobiva se lagan i jednostavan pregled zadataka. S nekoliko klikova može se aktivirati, završiti, ispisati i pratiti status svakog zadatka. Mogu se vidjeti i tehničke informacije i radni nalozi te promijeniti detalje u poslu, čime se automatski stvaraju novi rokovi [24].

Slika 7. Kalendarsko održavanje



Izvor: Hansen, R (2024) Your guide to Preventive Maintenance Strategies, Dostupno na:
<https://www.sertica.com/blog/your-guide-to-preventive-maintenance-strategies/#gref>

Održavanje temeljeno na brojaču je situacija kada se obavlja održavanje na temelju upotrebe, što su obično radni sati, npr. svakih 1000 sati. Također može se planirati održavanje na temelju broja događaja ili operacija, primjerice svakih 200 ciklusa. Može biti teško prepoznati kada izvršiti održavanje, kako uočiti potrebu i kako pratiti, analizirati

i organizirati sve potrebne podatke. Ako se u zato prilagođenim sustavima uključe automatska očitavanja, sve postaje još kompliciranije i skuplje. Strategija održavanja temeljena na brojaču daje točan datum za aktivnosti održavanja budući da se temelji na stvarnom korištenju opreme, što štedi troškove održavanja. Štoviše, može se napraviti i točan proračun troškova [24].

Slika 8. Održavanje temeljem brojača

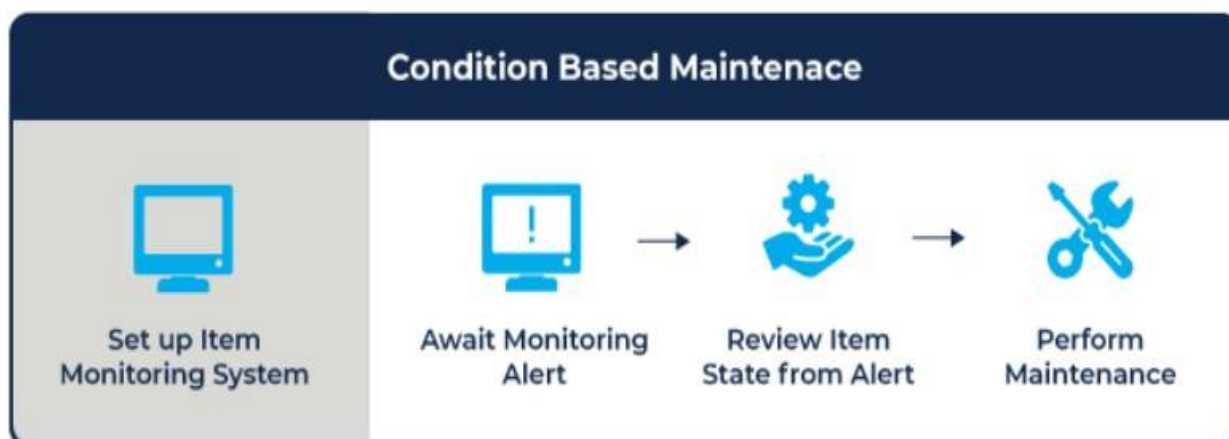


Izvor: Hansen, R (2024) Your guide to Preventive Maintenance Strategies, Dostuono na:

<https://www.sertica.com/blog/your-guide-to-preventive-maintenance-strategies/#gref>

Održavanje temeljeno na stanju je metoda pri kojoj je moguće nadzirati stanje određene opreme u stvarnom vremenu kako biste odredili koje zadatke održavanja treba izvršiti. Ova strategija pruža nekoliko prednosti, uključujući smanjenje neplaniranih zastoja. Nadalje, može se poboljšati i planiranje zaliha rezervnih dijelova točnim uvidom u to koji su novi dijelovi potrebni i kada. Održavanje temeljeno na stanju obično se koristi za mjerenje vrijednosti koje dolaze iz nadzornog sustava. Ideja je da će ovaj nadzor u stvarnom vremenu timovima za održavanje dati dovoljno vremena prije nego što dođe do kvara ili performanse padnu ispod optimalne razine. Također mogu se provoditi redovite vizualni pregledi ili testovi kako bi se provjerilo stanje sustava ili opreme. Najčešći signali za mjerenje uključuju vibracije, temperaturu, tlak, ulje i buku. Glavni cilj održavanja temeljenog na stanju je pomoći organizaciji optimizira svoje resurse za održavanje izvođenjem radova održavanja samo kada je to potrebno [24].

Slika 9. Održavanje temeljeno na stanju



Izvor: Hansen, R (2024) Your guide to Preventive Maintenance Strategies, Dostuono na: <https://www.sertica.com/blog/your-guide-to-preventive-maintenance-strategies/#gref>

Slika 10. Usporedba preventivnih strategija održavanja

 Maintenance Type	Preventive Maintenance		
	Calendar Based	Counter Based	Condition Based
Task Type	Scheduled	Scheduled	Monitored
Interval	Fixed time interval	Fixed count of runtime or cycles	Monitored
Objective	Replace or renew an item regardless of condition	Replace or renew an item regardless of condition	Replace or renew an item based on the monitoring alert

Izvor: Hansen, R (2024) Your guide to Preventive Maintenance Strategies, Dostuono na: <https://www.sertica.com/blog/your-guide-to-preventive-maintenance-strategies/#gref>

Korištenje PMS mogućnosti osigurava prepoznavanje i rješavanje problema prije nego što prerastu u skupe popravke, stvarajući pretjerane probleme i nesigurnu atmosferu na brodu. Među svojim brojnim prednostima, PMS pruža vrijedne informacije o zalihama

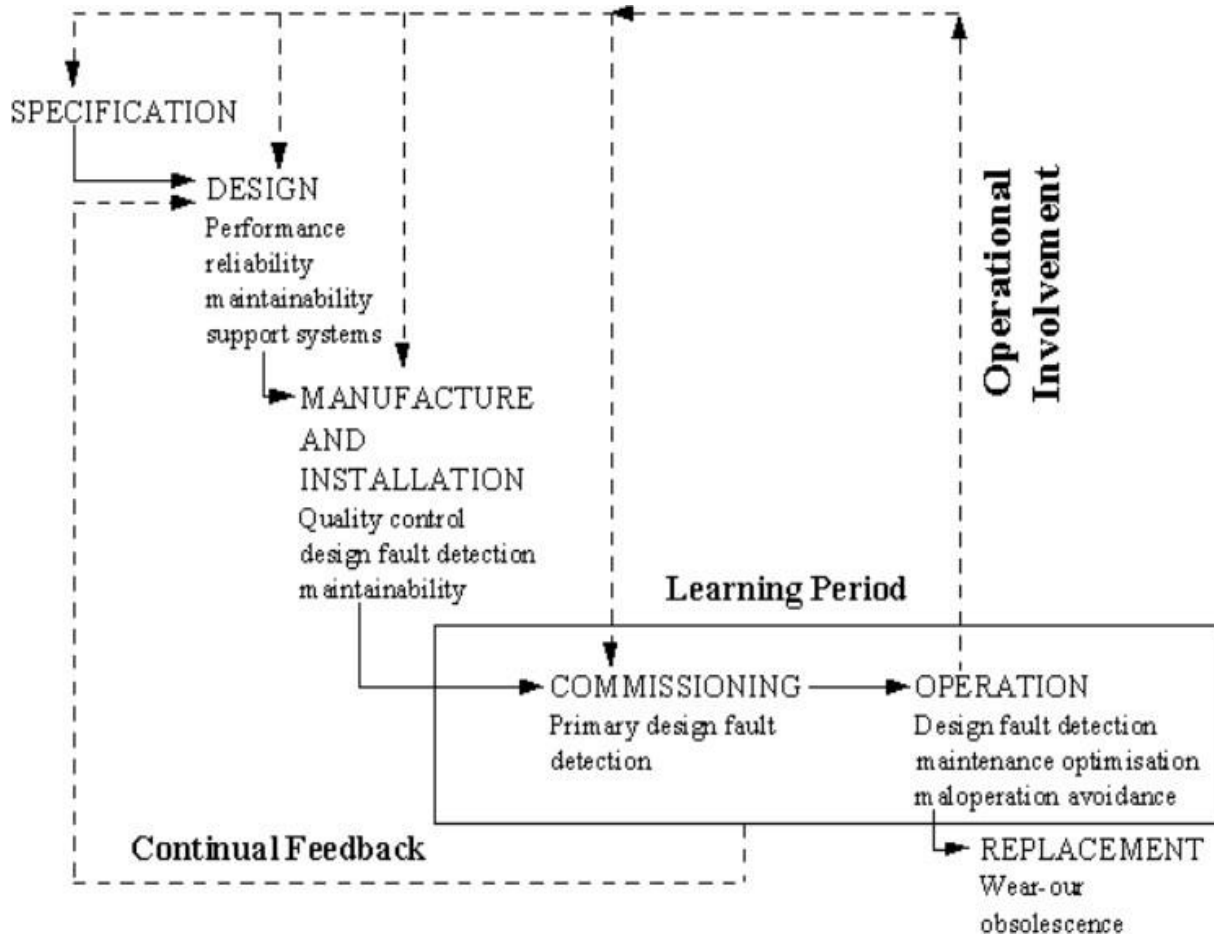
brodskog materijala, olakšavajući pravilno planiranje za projekte koji uključuju nadogradnju ili zamjenu opreme. Ukratko, PMS obuhvaća dva glavna područja: preventivni i korektivni rad, oba su ključna za zaštitu pomorskih putovanja, osiguravanje učinkovitih i sigurnih operacija i održavanje standarda brodarstva [27].

4.3. ODRŽAVANJE TEMELJENO NA TEROTEHNOLOGIJI

Razvijena u Ujedinjenom Kraljevstvu ranih 1970-ih, riječ „terotehnologija“ dolazi od grčkog korijena riječi „terein“ što znači „čuvati“ ili „brinuti se“. Koristi se uz riječ „tehnologija“ i odnosi se na proučavanje troškova povezanih s imovinom tijekom njezina životnog ciklusa, od stjecanja do odlaganja. Stoga se može primijeniti na opremu, strojeve, zgrade, postrojenja i strukture te uključuje troškove i prihode organizacije koja ih nabavlja. Međutim, uvjet je da to mora uključivati sustavnu primjenu financijske, inženjerske i upravljačke stručnosti u procjeni utjecaja životnog ciklusa organizacije preuzimatelja na te prihode i troškove [28].

Terotehnologija je koncept koji je stekao značajnu važnost u području kontrole kvalitete. Odnosi se na upravljanje imovinom kako bi se osigurala njezina optimalna izvedba, pouzdanost i isplativost tijekom njezina životnog ciklusa. Integriranjem inženjerskih, ekonomskih i načela upravljanja, terotehnologija igra ključnu ulogu u poboljšanju ukupne kvalitete proizvoda i usluga. Terotehnologija obuhvaća sveobuhvatan pristup upravljanju imovinom, fokusirajući se na cijeli životni ciklus imovine. Uključuje primjenu inženjerskih i ekonomskih načela za optimizaciju učinka, dostupnosti i isplativosti sredstava. Ovaj pristup omogućuje organizacijama donošenje informiranih odluka u vezi s nabavom, radom, održavanjem i zamjenom imovine. Usvajanjem terotehnologije, tvrtke mogu učinkovito upravljati svojom imovinom, smanjiti vrijeme zastoja i poboljšati ukupnu kontrolu kvalitete [29].

Slika 11. Terotehnološki sustav



Izvor: OCM (2024) Maintenance Techniques and Analysis, Dostupno na:

<https://wrapperband.github.io/Open-Condition-Monitoring/MaintenanceTechniquesAnalysis/>

Terotehnološki sustav općenito se prikazuje kao kombinacija sustava upravljanja i komunikacijskih kanala koji pružaju podršku održavanju. Tipični doprinosi uključuju:

- Dizajn - sredstva dizajnirana za održavanje i pouzdanost
- Nabava - primjena „best buy“ tehnika nabave
- Projekti - osiguranje imovine koja ima značajke operativnosti i održavanja
- Operacije - uvođenje operativnih tehnika koje smanjuju zastoje i poboljšavaju brigu o imovini
- Financije - kontrola troškova, praćenje troškova i povratna informacija

- Kadrovi - selekcija i programi obuke operativnog i osoblja koje provodi aktivnosti održavanja [30]

Održavanje brodova temeljeno na terotehnologiji je pristup koji se fokusira na optimizaciju performansi, pouzdanosti i troškova tokom cjelokupnog životnog ciklusa broda. Ovaj pristup kombinira različite discipline kao što su inženjering, ekonomija i menadžment, s ciljem postizanja što efikasnijeg održavanja i eksploatacije broda. Ključni aspekti terotehnologije u održavanju brodova:

1. Životni ciklus opreme: terotehnologija se fokusira na optimizaciju troškova i performansi tokom cjelokupnog životnog ciklusa broda, od dizajna i proizvodnje, preko operacija i održavanja, pa sve do demontaže ili recikliranja.
2. Preventivno i prediktivno održavanje: koristi se napredna dijagnostika i monitoring sistema broda kako bi se identificirali potencijalni problemi prije nego što dođe do kvara. To omogućava planiranje održavanja na način koji minimizira neplanirane zastoje i produžava vijek trajanja opreme.
3. Optimizacija troškova: terotehnologija teži minimalizaciji ukupnih troškova održavanja kroz analizu troškova i koristi različitih strategija održavanja. Ovo uključuje balansiranje između inicijalnih troškova, troškova održavanja i operativnih troškova.
4. Upotreba tehnologije i podataka: integracija senzora, IoT tehnologije i softverskih rješenja za prikupljanje i analizu podataka omogućava kontinuirano praćenje stanja opreme i optimizaciju održavanja na osnovu stvarnih podataka o performansama.
5. Ekološka održivost: fokus na smanjenje ekološkog otiska broda kroz efikasnije korištenje resursa i smanjenje emisija, što je važan aspekt modernih terotehnoloških praksi [31].

U osnovne prednosti ovog pristupa održavanju uključuju se slijedeće:

- Povećana pouzdanost i sigurnost: bolje planiranje i izvršavanje održavanja smanjuje rizik od kvarova i povećava sigurnost broda i posade.

- Smanjenje ukupnih troškova: efikasno upravljanje resursima i održavanjem smanjuje ukupne troškove vlasništva.
- Duži vijek trajanja opreme: pravovremeno održavanje i zamjena kritičnih dijelova produžava životni vijek opreme i smanjuje potrebu za skupim zamjenama.
- Poboljšana operativna efikasnost: optimizacija održavanja dovodi do manje zastoja i većeg kapaciteta za ispunjavanje operativnih zadataka.

Ovaj pristup postaje sve značajniji u modernom brodarstvu, gdje su troškovi i regulative sve stroži, a potreba za pouzdanim i efikasnim operacijama sve veća [32].

4.4. STRATEGIJE ODRŽAVANJA SUKLADNO KOMPONENTAMA SUSTAVA

Iako su sustavi preventivnog održavanja značajni za životni vijek plovila, bitno je upoznati se sa sustavima prediktivnog održavanja. Neke nesreće ili kvarove je teško izbjeći, a prediktivno i preventivno održavanje mogu se nadopunjavati. S prediktivnim održavanjem može se nadmašiti planirano preventivno održavanje i nadzirati opremu u radu kako bi se obavijestila posada o komponentama kojima je potrebna pažnja [33].

Prediktivno održavanje uključuje praćenje stanja plovila u stvarnom vremenu i korištenje podataka za predviđanje kada će komponente vjerojatno zastariti ili otkazati. To omogućuje da se popravci obave neposredno prije oštećenja, smanjujući vrijeme zastoja i troškove popravka. Primjeri uključuju praćenje vibracija, analizu ulja, korištenje dijagnostičkih sustava i toplinske provjere [34].

Opseg održavanja prema komponentama i dijagnoze grešaka uključuje otkrivanje nadolazećeg kvara čak i prije nego što dođe do početnih kvarova, povećavajući dostupnost, pouzdanost, učinkovitost i sigurnost strojeva, smanjenjem troškova održavanja kroz kontrolirane zalihe rezervnih dijelova. U domeni industrije, podržava se održavanje sukladno stanju komponenti koje pojašnjava rizike i predodređivanje strateških akcija. Stoga bi implementacija ovog oblika održavanja trebala dovesti do veće razine pouzdanosti i smanjenja troškova integracijom informacija i upravljanja kritičnim komponentama. U ovom slučaju, tehnologija nadzora stanja komponenti primjenjuje se

kroz različite alate, bilježeći i ocjenjujući mjerljive parametre kao što su analiza signala vibracija, termografija i analiza ulja za podmazivanje [14].

Praćenje vibracija uglavnom se primjenjuje na rotirajućim strojevima jer može otkriti neuravnotežene rotirajuće dijelove strojeva, prekomjerno trošenje ležišta ležaja, neusklađenosti, oštećene zube zupčanika i oštećene ležajeve. Zapis podataka uključuje mjerenje fizičkih veličina kao što su pomak, brzina ili ubrzanje. Ovo se mjerenje pretvara u proporcionalni električni signal koji se može ispitati u osnovne frekvencije. S druge strane, termografija je alat koji se može primijeniti i na električnu i na mehaničku opremu, a koristi se za prepoznavanje vrućih i hladnih točaka dajući rane znakove kvara opreme. Nadalje, Infracrvena termografija (IRT) jedan je od najprihvaćenijih alata. Zbog beskontaktna funkcije prikladan je za otkrivanje strukturalnih, električnih i materijalnih kvarova. Koriste se ručni uređaji za snimanje kao što su termalne kamere i termometri. Treća tehnologija koja se procjenjuje je analiza ulja za podmazivanje. Analiza ulja postiže se laboratorijskom analizom koncentracije u mazivu, koja se bavi oblikom, veličinom, sastavom čestica trošenja i analizom degradacije maziva za fizikalna i kemijska svojstva. Analiza maziva oduzima puno vremena jer zahtijeva transport uzoraka ulja s broda na kopno. Međutim, to je ujedno i najučinkovitiji dijagnostički alat jer se iz male količine tekućina može odrediti stanje cjelokupnog maziva u svakom stroju [14].

4.5. TPM I RCM OBLICI ODRŽAVANJA

Totalno produktivno održavanje, kao što ime sugerira, sastoji se od tri riječi: totalno znači uzeti u obzir svaki aspekt i uključiti sve od vrha do dna, produktivnost naglašava pokušaje to učiniti dok proizvodnja traje i minimizirati probleme za proizvodnju, održavanje znači održavanje opreme, samostalno od strane proizvodnih operatera, u dobrom stanju, popravak, čišćenje, podmazivanje i prihvaćanje trošenja potrebnog vremena na takve aktivnosti. TPM se može definirati i kao inovativan pristup održavanju koji optimizira učinkovitost opreme, eliminira kvarove i promiče autonomno održavanje operatera kroz svakodnevne aktivnosti koje uključuju cjelokupnu radnu snagu. Nadalje, TPM je program upravljanja održavanjem s ciljem eliminacije zastoja opreme. Međutim, TPM nije politika specifična za održavanje, to je kultura, filozofija i novi stav prema održavanju [35].

TPM opisuje odnos između proizvodnje i održavanja, sa svrhom kontinuiranog poboljšanja kvalitete proizvoda, operativne učinkovitosti, kapaciteta, osiguranja i sigurnosti, to je agresivna strategija koja se fokusira na stvarno poboljšanje funkcije i dizajna proizvodne opreme. TPM je prihvaćen kao strategija koja najviše obećava za poboljšanje performansi održavanja kako bi se uspjelo u vrlo zahtjevnim tržišnim uvjetima. Implementacija TPM-a može značajno doprinijeti poboljšanju organizacijskog ponašanja što dovodi do konkurentnosti svjetske klase, također se smatra učinkovitom strateškom inicijativom poboljšanja za poboljšanje kvalitete u inženjerskim aktivnostima održavanja. Drugi strateški rezultat implementacije TPM-a je smanjena pojava neočekivanih kvarova na strojevima koji ometaju poslovanje i dovode do gubitaka, koji mogu premašiti milijune dolara godišnje kada je riječ o brodarskoj industriji. Tri su krajnja cilja TPM-a: nula nedostataka, nula nezgoda i nula kvarova [36].

Šest ključnih elemenata TPM-a uključuje:

1. Poboljšanje učinkovitosti opreme ciljanjem na smanjenje velikih gubitaka;
2. Uključivanje operatera u svakodnevno, rutinsko održavanje opreme;
3. Poboljšanje učinkovitosti i djelotvornosti održavanja;
4. Obuka za sve uključene u proces održavanja;
5. Upravljanje životnim ciklusom opreme i dizajn preventivnog održavanja;
6. Timski rad usmjeren na zajedničke ciljeve [37].

Rezultat ovih šest elemenata koji zajedno rade na poboljšanju performansi i pouzdanosti opreme je zapravo kratki prikaz TPM-a. Niti jedan element, ne može samostalno stvoriti učinke koji se mogu postići ovom strategijom, niti će se to postići bilo kojom kombinacijom kojoj nedostaje čak i samo jedan element. Šest elemenata je međusobno povezano i dizajnirano da podupire jedan drugog. Možda je upravo nedostatak ovog sveobuhvatnog pristupa doveo do napuštanja 50% TPM inicijativa otkako je uveden u Sjedinjenim Američkim Državama 1986. godine. Logika iza TPM-a može se lakše shvatiti razumijevanjem Toyotinog proizvodnog sustava, odnosno tradicije koja stoji iza istoga. Naime, donedavno je bilo teško odrediti radnu definiciju Toyotinog proizvodnog sustava. To je zato što je Toyotin proizvodni sustav akumulirani rezultat procesa pokušaja i pogrešaka tijekom pet desetljeća i nikada nije točno definiran niti zapisan. Međutim, moguće je izdvojiti sljedeća četiri pravila koja se odnose na upravljanje sustavom:

1. Sav rad mora biti strogo specificiran u pogledu sadržaja, slijeda, vremena i ishoda,
2. Svaka veza kupac-dobavljač mora biti izravna i mora postojati nedvosmislen način za slanje zahtjeva i primanje odgovora,
3. Put do svakog proizvoda i usluge mora biti jednostavan i izravan,
4. Svako poboljšanje mora biti učinjeno u skladu sa znanstvenom metodom, pod vodstvom učitelja, na najnižoj mogućoj razini u organizaciji [38].

Prva tri pravila ilustriraju stvarne procese TPM-a i uloge koje svaka osoba uključena u održavanje mora imati. Četvrto pravilo proširuje ovu strukturu komentirajući kako riješiti probleme i poboljšati ukupnu izvedbu. Imajući to na umu, prvo pravilo, „sav posao mora biti strogo specificiran u pogledu sadržaja, redoslijeda, vremena i ishoda“, nalaže da sve što se radi na održavanju i poboljšanju opreme mora biti dokumentirano u postupcima koje slijedi svaki zaposlenik. Ova dokumentacija treba sadržavati detaljne informacije o korištenim dijelovima, uključenim radnim satima, opisima problema koji su se pojavili, procijenjenim uzrocima problema i korektivnim mjerama poduzetim za rješavanje problema. To također znači da je rad na održavanju vođen planiranim rutinama održavanja i da se česta zajednička proizvodnja i planiranje održavanja i sastanci o statusu planiraju kako bi se naponi mogli ujednačiti. Drugo pravilo, „svaka veza kupac-dobavljač mora biti izravna i mora postojati nedvosmislen način slanja zahtjeva i primanja odgovora“, znači da su odgovarajući alati za održavanje, dijelovi i zalihe dostupni prema potrebi. To također znači da se rezervni dijelovi održavaju na odgovarajući način i da se zahtjevi za održavanje šalju i promptno potvrđuju. Vizualni sustavi i signali se mogu koristiti za eliminaciju dugih objašnjenja i potrebe za čitanjem. Na kraju, kada se izvrše odgovarajući popravci ili poboljšanja, oni koji su ih zatražili trebali bi ih prihvatiti. Treće pravilo kaže da „put za svaki proizvod i uslugu mora biti jednostavan i izravan“ zahtijeva od svakog operatera opreme da zna točno kamo se obratiti za pomoć u slučaju problema s opremom. U širem smislu, to znači da svaka osoba za održavanje zna na kojoj opremi je kvalificirana za rad i gdje on ili ona mogu dobiti pomoć kada nastane problem. Konačno, ovo pravilo nalaže da dokumentacija za određenu opremu ostane dostupna onima kojima je potrebna. razini u organizaciji, također ukazuje na to da podatke treba prikupljati, analizirati i učiniti dostupnima kako bi poboljšanja bila učinkovitija i djelotvornija. Osim toga, informirani ljudi koji su najbliži problemu trebaju razraditi

moгуća rješenja i provesti eksperimente kako bi utvrdili izvedivost svojih rješenja. Primjena logike ovog pravila također zahtijeva da službeno iskusni i obučeni ljudi čija je zadaća rješavanje problema predvode napore za poboljšanjem i da se naprave promjene u opremi i pratećim radnim procesima, a svi ljudi, u slučaju brodarstva posada, budu obučeni za nove metode [36].

S druge strane, RCM ima svoje korijene u nalazima Upravljačkih skupina za održavanje (MSG), koje su formirane u zrakoplovnoj industriji kako bi razvile program održavanja za zrakoplove Boeing 747 i Lockheed L101. Uzimajući u obzir veličinu, nosivost putnika i tehnološki napredak ovih zrakoplova, prvotno je preporučeno da je program održavanja toliko opsežan da bi zrakoplov učinio komercijalnim neuspjehom. To je navelo predstavnike raznih zrakoplovnih kompanija, proizvođača zrakoplova i vladu Sjedinjenih Američkih Država da formiraju ove odbore s namjerom da preispitaju prevladavajuće prakse i analiziraju njihov utjecaj na životni ciklus komponenti [39].

RCM je službeno definirao John Moubray kao „proces koji se koristi za utvrđivanje što se mora učiniti kako bi se osiguralo da bilo koja fizička imovina nastavi raditi što god njeni korisnici žele da radi u svom sadašnjem operativnom kontekstu”. Također, dodano je i kako RCM koristi perspektivu sustava u svojim analizama funkcija sustava, kvarova u funkcijama i prevencije tih kvarova. Ove izjave zajedno najbolje definiraju RCM proces. Ono što RCM održava je funkcija sustava. Može biti potrebno redizajnirati ili modificirati fizičku imovinu kako bi se održala funkcija sustava u slučaju promjene operativnog konteksta. U slučaju da nema utjecaja na funkciju sustava, moglo bi se isplatiti razmotriti izostanak proaktivnog održavanja ili, dodjeljivanje fizičke imovine za rad do kvara, budući da bi cilj trebao biti održavanje funkcije sustava, a ne komponente [39].

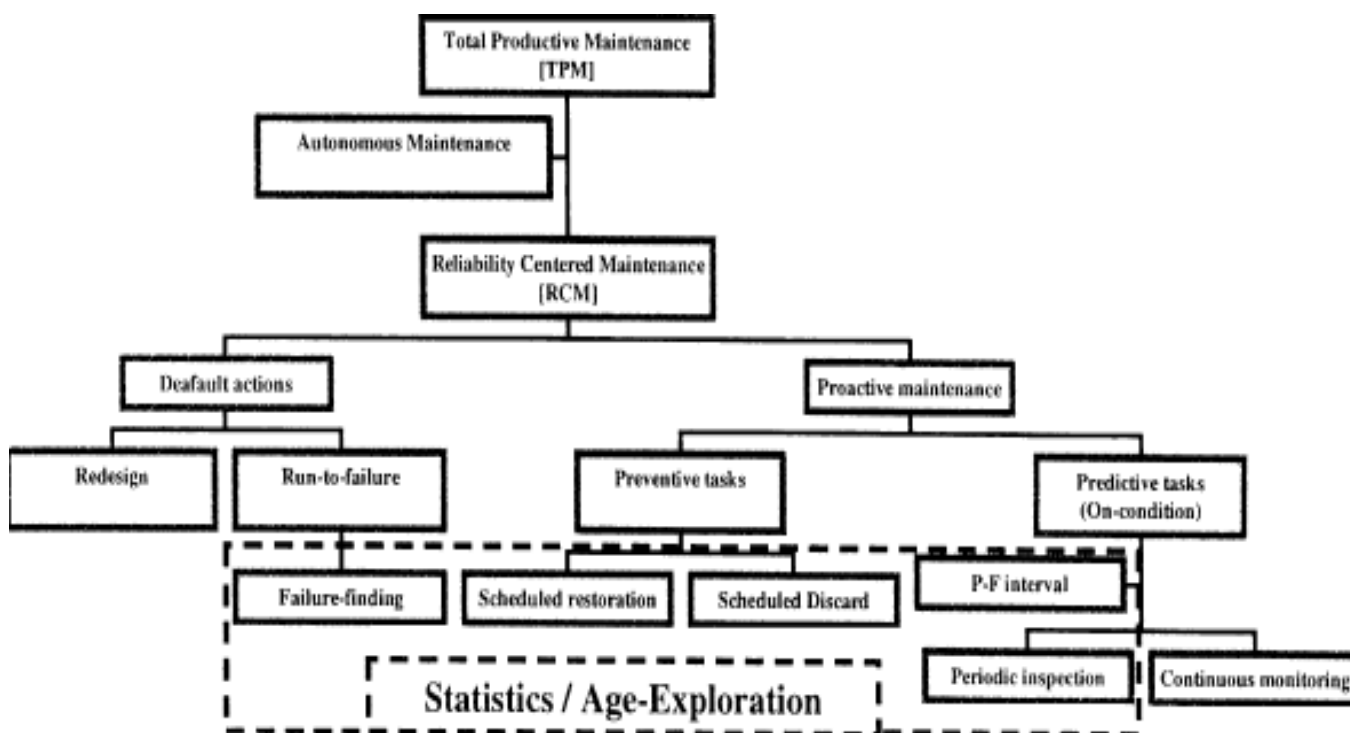
RCM metodologija u potpunosti je opisana u sljedeće četiri značajke:

1. očuvanje funkcija;
2. identificiranje načina kvara koji mogu onemogućiti funkcije;
3. određenje prioriteta funkcionalnih potreba (putem načina kvarova);
4. odabrati samo primjenjive i učinkovite zadatke.

To znači da RCM daje prioritet potrebama održavanja i fokusira resurse na one zadatke koji promoviraju pouzdanost sustava [39].

Također, ova se strategija održavanja koristi za utvrđivanje zahtjeva za održavanje opreme. RCM utvrđuje funkcionalne zahtjeve i željene standarde performansi opreme, a oni su zatim povezani s dizajnom i inherentnim parametrima pouzdanosti stroja. Za svaku funkciju definiran je pridruženi funkcionalni kvar, te su analizirani načini kvara i posljedice funkcionalnog kvara. Utvrđuju se posljedice svakog kvara, koje spadaju u jednu od četiri kategorije: skrivene, sigurnosne ili ekološke, operativne i neoperativne. Slijedeći RCM logiku, odabiru se zadaci preventivnog održavanja koji će spriječiti ove posljedice, pod uvjetom da su zadovoljeni kriteriji primjenjivosti i učinkovitosti preventivnog održavanja [40].

Slika 12. Povezanost TPM i RCM održavanja s drugim strategijama



Izvor: Mokashi, A. J., Wang, J., Vermar, A. K. A study of reliability-centred maintenance in maritime operations. Marine policy, 2002;26(5):325-335.

Zahtjevi za primjenjivost odnose se na tehničke karakteristike i kriterije učinkovitosti za zadatke preventivnog održavanja i učestalost njihove provedbe. Kriteriji učinkovitosti ovise o posljedicama neuspjeha, vjerojatnosti višestrukih kvarova za skrivene posljedice kvara, prihvatljivo nizak rizik kvara za sigurnosne posljedice i neoperativne posljedice.

Kada zahtjevi za planiranim održavanjem nisu ispunjeni, zadaci uključuju pronalaženje kvarova (za skrivene kvarove, mogući redizajn opreme, postupaka i procesa obuke) i održavanje bez rasporeda [40].

Budući da su nedostaci RCM i TPM strategija održavanja postali očiti još 1990-ih godina, lean strategija održavanja pojavila se kao zamjenska strategija održavanja. Međutim, lean održavanje nije ni podskup ni spin-off lean proizvodnje. Umjesto toga, to je preduvjet za uspjeh kao lean tvrtka koji pruža holistički pristup funkciji održavanja. Kako lean koncept uzima maha svim sektorima, sve se više shvaća da se održavanje ne smije promatrati samo u uskom operativnom kontekstu koji se bavi kvarovima opreme i njihovim posljedicama. Umjesto toga, održavanje se mora promatrati u dugoročnom strateškom kontekstu i mora integrirati različita tehnička i komercijalna pitanja na učinkovit način [36].

4.6. STRATEGIJA ODRŽAVANJA TEMELJENA NA SAMOODRŽAVANJU

Kako bi se kod brodskih vitalnih sustava spriječilo da njihov zastoj zbog pojave kvara na nekom uređaju uzrokuje nemogućnost broda da obavlja svoju zadaću, proizvođači takve uređaje nastoje dizajnirati ne samo da su tolerantni na pojavu greške, nego da imaju sposobnost i njezina otklanjanja. Pritom, uređaj s ugrađenim samoodržavanjem je uređaj koji može funkcionirati i u slučaju pojave greške. Pod tim pojmom se ne misli na popravak ili zamjenu neispravnih fizičkih dijelova nego na popravak funkcionalnosti sustava. To znači da se u slučaju greške, tj. primijećene razlike u funkciji uređaja, uređaj mora samoodržavanjem vratiti u ispravno funkcionalno stanje. Ovakvo održavanje se zove funkcijsko održavanje te je mnogo kompleksnije od fizičkog održavanja. Njegovom primjenom ne samo da se povećava raspoloživost sustava, poboljšava tolerantnost na greške, nego i smanjuju troškovi održavanja [41].

Strategija samoodržavanja brodova je pristup u kojem se brodovi opremaju tehnologijom i sustavima koji im omogućuju da samostalno provode određene aktivnosti održavanja, smanjujući potrebu za vanjskom intervencijom i optimizirajući operativne troškove. Cilj ove strategije održavanja je povećati autonomiju broda, smanjiti zastoje i povećati

efikasnost rada. U ključne elemente strategije samoodržavanja brodova moguće je uključiti slijedeće:

1. Integracija naprednih senzora i monitoringa:

- IoT senzori: instalacija senzora za praćenje ključnih parametara brodskih sustava, kao što su temperatura, pritisak, vibracije i razina ulja, omogućuje stalno praćenje stanja opreme. Ovi senzori omogućuju rano otkrivanje problema i automatsko pokretanje procedura održavanja.
- Sustavi za dijagnostiku: softverski sustavi za dijagnostiku mogu analizirati podatke sa senzora u realnom vremenu i identificirati potencijalne kvarove prije nego što se dogode, što omogućuje prediktivno održavanje.

2. Automatizirano preventivno održavanje:

- Samostalni robotski sustavi: upotreba robota za obavljanje jednostavnih, ali važnih zadataka održavanja, kao što su čišćenje trupa broda, zamjena potrošnih dijelova ili podmazivanje mehaničkih komponenti. Ovi sustavi mogu raditi autonomno ili pod nadzorom posade.
- Automatizirani sustavi za zamjenu dijelova: sustavi koji omogućuju automatsku zamjenu potrošnih dijelova na brodu, poput filtera ili brtvila, bez potrebe za ljudskom intervencijom.

3. Prediktivno održavanje uz pomoć umjetne inteligencije:

- AI analitika: primjena umjetne inteligencije za analizu povijesnih i trenutnih podataka o performansama broda. AI može predvidjeti kada će određeni sustavi trebati održavanje, što omogućuje planiranje održavanja na najoptimalniji način, smanjujući nepotrebne intervencije.
- Samoučeći sustavi: Ovi sustavi mogu prilagoditi i optimizirati planove održavanja na temelju stvarnih operativnih uvjeta, čime se osigurava da brodovi uvijek rade s maksimalnom učinkovitosti.

4. Centralizirani sustavi upravljanja održavanjem (CMMS):

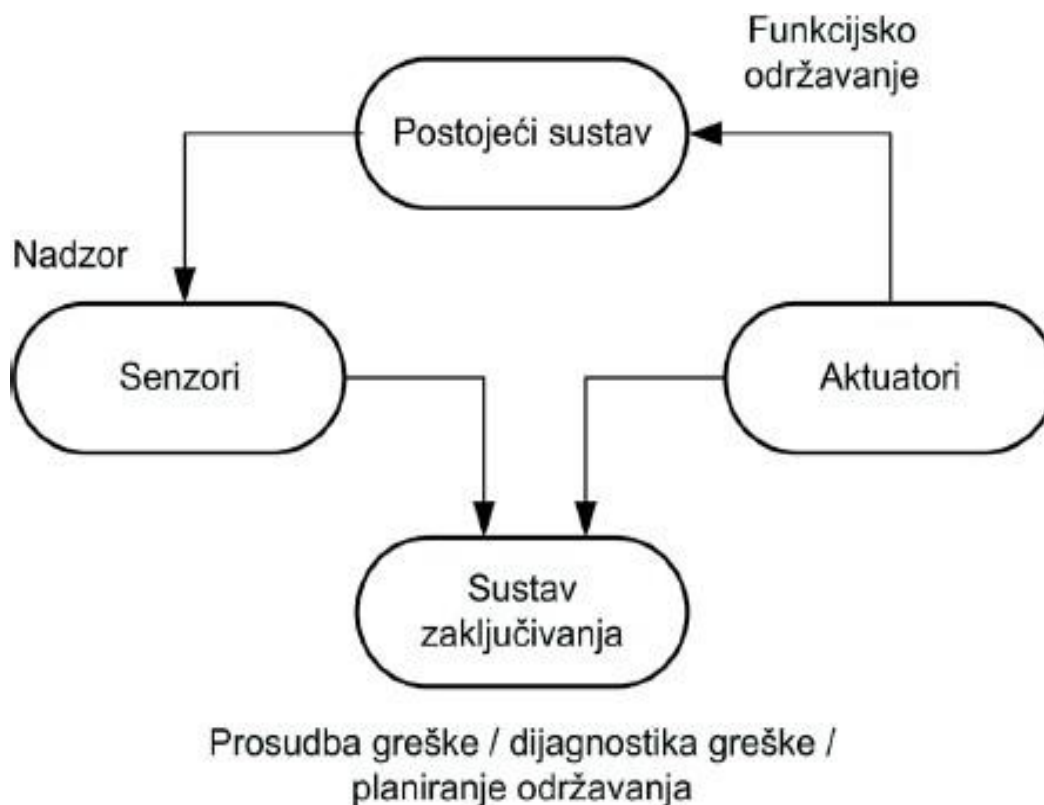
- Digitalna platforma za održavanje: integrirani softverski sustavi koji omogućuju posadi da prati, planira i izvodi aktivnosti održavanja. Ovi sustavi također omogućuju daljinski nadzor od strane tehničara na kopnu, koji mogu pružiti podršku i savjete u stvarnom vremenu.

- Pametno planiranje resursa: sustavi za optimizaciju raspodjele resursa, kao što su rezervni dijelovi i potrošni materijali, osiguravaju da brod uvijek ima potrebne resurse za održavanje na brodu.
5. Sustavi za automatsko izvješćivanje i dokumentaciju:
- Digitalne evidencije: automatska generacija izvještaja o održavanju i stanju opreme, koji se pohranjuju u digitalne zapise. Ovi izvještaji olakšavaju pregled usklađenosti s propisima i omogućuju brzu reakciju u slučaju inspekcije ili revizije.
 - Daljinsko izvješćivanje: sustavi koji omogućuju slanje podataka o stanju brodskih sustava i aktivnostima održavanja u realnom vremenu prema središnjim uredima ili klasifikacijskim društvima [41].

Pretpostavka za implementiranje samoodržavanja na nekom sustavu je da je na njemu ugrađen sustav nadzora i samodijagnostike. Stoga sustav s implementiranim samoodržavanjem mora imati ugrađenu sposobnost izvršavanja:

- nadzora
- prosudbe (procjene) greške
- dijagnosticiranja
- planiranja održavanja
- održavanja [41].

Slika 13. Struktura sustava samoodržavanja



Izvor: Tudor, M. Self-maintenance of ship's systems, Scientific Journal of Maritime Research, 2007:21(2).

U prednosti strategije samoodržavanja moguće je uključiti smanjenje operativnih troškova, odnosno sve veća automatizacija i prediktivno održavanje smanjuju potrebu za vanjskom intervencijom i skupim popravcima, čime se smanjuju ukupni troškovi održavanja, također na ovaj način povećava se operativna efikasnost, naime, samoodržavajući brodovi mogu duže raditi bez neplaniranih zastoja, što povećava operativnu dostupnost i produktivnost. Osim toga unutar ove strategije održavanja javlja se i povećana sigurnost, prvenstveno iz razloga što rano otkrivanje potencijalnih problema i automatsko održavanje smanjuju rizik od ozbiljnih kvarova i nesreća na brodu. U konačnici, govori se i o poboljšanoj usklađenosti s regulativama, odnosno automatizirani sustavi za dokumentaciju i izvješćivanje pomažu u osiguravanju da brodovi ispunjavaju sve potrebne propise i standarde. Unatoč prednostima, postoje i određene negativne strane ove strategije održavanja, a iste uključuju visinu početne investicije, odnosno činjenicu

da uvođenje tehnologije za samoodržavanje može zahtijevati značajna početna ulaganja u opremu, softver i obuku posade. Također, proces održavanja autonomnih sustava jedan je od nedostataka jer iako autonomni sustavi mogu smanjiti potrebu za ljudskom intervencijom, oni sami zahtijevaju održavanje i nadzor kako bi ispravno funkcionirali. U konačnici, u nedostatke ove strategije uključuje se i promjena radne kulture. Naime, vođenje novih tehnologija može zahtijevati promjenu u načinu rada posade, uključujući potrebu za dodatnom obukom i prilagodbom na nove sustave [42].

5. ZAKLJUČAK

Planiranje održavanja i sami postupci održavanja brodova i brodskih sustava ne predstavljaju luksuz već potrebu. Naime, u suvremenom je svijetu od ključne važnosti kontinuitet poslovanja brodarskih kompanija budući da se najveća količina tereta na svijetu prevozi upravo brodovima. Sukladno tomu, oni brodovi koji nemaju razvijene sustave održavanja mogu imati značajne nedostatke i kvarove, koji se potom mogu odraziti i na poslovanje kompanije, ali i na okoliš.

Upravo iz ovog razloga od ključne je važnosti posebnu pažnju pridodati brodskim sustavima i njihovom održavanju te odabiru adekvatne strategije održavanja brodova. U suvremenom svijetu, također, razvijen je značajan broj strategija i metoda održavanja, a brodari i operateri brodova analizom dolaze do odgovarajuće odluke o odabiru adekvatne metode održavanja.

Važno je istaknuti i kako ne postoji samo jedna, optimalna metoda održavanja već se tijekom životnog vijeka brodova primjenjuje kombinacija značajnog broja metoda, ovisno o stanju broda i njegovim potrebama. Također, sve više novih brodova u primjeni ima sustave samoodržavanja koji su projektirani na način da ne samo da prepoznaju nedostatke ili pogreške već su u mogućnosti iste i otkloniti.

LITERATURA

1. Plouviez, D. The maintenance, repair and construction of ships in the French Empire during the eighteenth century. *International Journal of Maritime History*, 2019;31(3):590-611.
2. Šegulja, I., Bukša, A. Ship Machinery Maintenance. *Pomorstvo*, 2006;20(2):105-118.
3. Lazakis, I., Turan, O., Aksu, S.. Improving ship maintenance: a criticality and reliability approach. 11th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, PRADS 2010.
4. Mihanović, L., Ristov, P., Belamarić, G. Use of new information technologies in the maintenance of ship systems. *Pomorstvo*, 2016;30(1):38-44.
5. Ristov, P., Perić, M., Tomas V. The implementation of cloud computing in shipping companies, *Scientific Journal of Maritime Research*, 2014.
6. Krakowski, R. Diagnosis modern systems of marine diesel engine, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2014;21(3):14-20
7. Courtney, S. Condition based maintenance in the marine industry. Integrated monitoring solutions”, 3rd Condition Monitoring Conf., London, 2009.
8. Lazakis, I., Turan, O., Alkaner, S., Olcer, A.. Effective ship maintenance strategy using a risk and criticality based approach. In 13th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, 2009.
9. Vučinić, B., MA – CAD, Maintenance Concept Adjustment and Design, Delft, Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology, 1994.
10. Lazakis, I, Turan, O, Aksu, S. Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy, *J. Ships Offshore Structures.*, 2010.
11. Pederson Sun, P., Development Towards the Intelligent Engine, 16th International Marine Propulsion Conference, London, 1994.
12. Rawson, K. J., Tupper, E. C. Basic ship theory: Hydrostatics and strength Butterworth-Heinemann, 2001.

13. Jovanović, I., Vladimir, N., Perčić, M., Koričan, M., An Overview of Maintenance Procedures for Ship Machinery, The 25 th Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding, 2022.
14. Lazakis, I., Dikis, K., Michala, A. L., Theotokatos, G. Advanced ship systems condition monitoring for enhanced inspection, maintenance and decision making in ship operations. Transportation Research Procedia, 2016;14:1679-1688.
15. Kimber, A. Future ship concepts for repair and maintenance at sea. In The 2nd World maritime technology conference. The Institute of Marine Engineering, Science and Technology, London, 2006.
16. Wilhelmsen (2024) Comprehensive Guide to Onboard Ship Maintenance Procedures, Dostupno na: <https://www.wilhelmsen.com/media-news-and-events/industry-perspectives/2024/comprehensive-guide-to-onboard-ship-maintenance-procedures/> (19.08.2024)
17. Bitros, G. G. C., Kavussanos, M. G. A cross sectional analysis of ship maintenance expenses. Manolis, 2005.
18. Stopford, M., Maritime Economics, London: Routledge, 2nd Edition, 1997.
19. Ye, M. H. Optimal Replacement Policy with Stochastic Maintenance and Operation Costs, European Journal Of Operations Research 1990;44:84-94.
20. Frankel, E. G., The economies of technological change in shipping”, Maritime Policy and Management, 1991;18(1):43-53.
21. International Chamber of Shipping and International Shipping Federation, Guidelines on the application of the IMO International Safety Management (ISM) Code, available from 12 Carthusian Street, London, 1996.
22. Grewal, D.. International ship safety regulations. Informa, 1998.
23. Nikcevic Grdinic, J. Legal regulations in the function of ensuring ship safety. Pomorstvo, 2015;29(1), 30-39.
24. Hansen, R (2024) Your guide to Preventive Maintenance Strategies, Dostupno na: <https://www.sertica.com/blog/your-guide-to-preventive-maintenance-strategies/#gref> (19.08.2024)
25. Gwiliam, A (2022) Corrective Maintenance: Definition, Types, Pros, & Cons, MantainX, Dostupno na: <https://www.getmaintainx.com/learning-center/corrective-maintenance> (19.08.2024)

26. Polygon (2024) Maintenance Can Help Your Marine Ships from Being Permanently Damaged, Dostupno na: <https://www.polygongroup.com/en-US/blog/how-predictive-maintenance-can-help-your-marine-ships-from-being-permanently-damaged/> (19.08.2024)
27. Wilhelmsen (2024) Comprehensive Guide to Onboard Ship Maintenance Procedures, Dostupno na: <https://www.wilhelmsen.com/media-news-and-events/industry-perspectives/2024/comprehensive-guide-to-onboard-ship-maintenance-procedures/> (19.08.2024)
28. Terotechnology: what is it? Definition and goals (2018), Dostupno na: <https://hub.exapro.com/terotechnology-definition-goals> (19.08.2024)
29. What Is Terotechnology And Its Role In Quality Control (2024), Dostupno na: <https://fastercapital.com/keyword/what-is-terotechnology-and-its-role-in-quality-control.html> (19.08.2024)
30. OCM (2024) Maintenance Techniques and Analysis, Dostupno na: <https://wrapperband.github.io/Open-Condition-Monitoring/MaintenanceTechniquesAnalysis/>
31. Cipollini, F., Oneto, L., Coraddu, A., Murphy, A. J., Anguita, D. Condition-based maintenance of naval propulsion systems with supervised data analysis. Ocean Engineering, 2018;14:268-278.
32. Ibazebo, E., Savsani, V., Siddhpura, A., Siddhpura, M. Review on Ship Onboard Machinery Maintenance Strategy Selection Using Multi-Criteria Optimization. 2015.
33. NAVATOM (2024) The Importance of Maintenance Systems in Vessel Management, Dostupno na: <https://navatom.com/blog/the-importance-of-maintenance-systems/> (19.08.2024)
34. TransTRACK (2022) Here's Why Ship Maintenance Needs to Be Done Regularly, Dostupno na: <https://blog.transtrack.co/en/tips-trick/automotips/ship-maintenance/> (19.08.2024)
35. Ahuja, I.P.S. and Khamba, J.S. An evaluation of TPM implementation initiatives in an Indian manufacturing enterprise, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2007;13(4):338-52.

36. Baluch, N., Abdullah, C. S., Mohtar, S. (2012). TPM and lean maintenance—A critical review. *interdisciplinary journal of contemporary research in business*, 2012;4(2):850-857.
37. Brah, S.A., Chong, W.K. Relationship between total productive maintenance and performance, *International Journal of Production Research*, 2004;42(12):2383-401.
38. Chaneski, W.S. Total productive maintenance – an effective technique", *Modern Machine Shop*, 2002;75(2):46-48.
39. Mokashi, A. J., Wang, J., Vemmar, A. K. A study of reliability-centred maintenance in maritime operations. *Marine policy*, 2002;26(5):325-335.
40. Maintenance Engunering anf Manageenr+t, 2024. Dostupno na: https://www.google.hr/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.vssut.ac.in/lecture_notes/lecture1430512365.pdf&ved=2ahUKEwjhz4_C1pOIAxUl_rsIHRF3E-E4FBAWegQIFhAB&usg=AOvVaw0HVuTeLu7LRRdhf_P6Rzqg (19.08.2024)
41. Tudor, M. Self-maintanence of ship's systems, *Scientific Journal of Maritime Research*, 2007:21(2).
42. Karatug, C., Arslanoglu, Y., Soares, C. G. Review of maintenance strategies for ship machinery systems. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 2023;22(5):233-247.

POPIS GRAFIKONA, SLIKA TABLICA

Popis grafikona

Grafikon 1. Kretanje troškova održavanja	20
Grafikon 2. Usporedba preventivne strategije održavanja s ostalima.....	32

Popis slika

Slika 1. Prikaz povijesne luke za izgradnju i održavanje trgovačkih brodova	6
Slika 2. Klasifikacija održavanja	10
Slika 3. Prikaz prediktivnog održavanja	13
Slika 4. Osnovni brodski sustavi i podsustavi	15
Slika 5. Održavanje brodskih sustava	16
Slika 6. Tijek rada u korektivnom održavanju.....	29
Slika 7. Kalendarsko održavanje.....	33
Slika 8. Održavanje temeljem brojača	34
Slika 9. Održavanje temeljeno na stanju.....	35
Slika 10. Usporedba preventivnih strategija održavanja.....	35
Slika 11. Terotehnološki sustav	37
Slika 12. Povezanost TPM i RCM održavanja s drugim strategijama	44
Slika 13. Struktura sustava samoodržavanja.....	48

Popis tablica

Tablica 1. Klasifikacija troškova održavanja.....	21
Tablica 2. Komponente broda koje je potrebno preventivno održavati prema ICS-u	24
Tablica 3. Prednosti i nedostaci korektivnog održavanja	30