Organizacija, upravljanje i održavanje brodskog sustava u programu Bassnet

Matjašić, Jure

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:130464

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET U SPLITU

JURE MATJAŠIĆ

ORGANIZACIJA, UPRAVLJANJE I ODRŽAVANJE BRODSKOG SUSTAVA U PROGRAMU BASSNET

DIPLOMSKI RAD

SPLIT, 2019.

	POMORSKI FAKULTET U SPLITU	STRANICA: ŠIFRA:	1/1 F05.1.-DZ
	DIPLOMSKI ZADATAK	DATUM:	22.10.2013.

SPLIT, 13.12.2017.

ZAVOD/STUDIJ: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE I INFORMATIČKE TEHNOLOGIJE

PREDMET: ODRŽAVANJE I POUZDANOST BRODSKIH STROJNIH SUSTAVA

D I P L O M S K I ZADATAK

STUDENT/CA: JURE MATJAŠIĆ

MATIČNI BROJ: 0171262489

ZAVOD/STUDIJ: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE I INFORMATIČKE TEHNOLOGIJE

ZADATAK: ORGANIZACIJA, UPRAVLJANJE I ODRŽAVANJE BRODSKOG SUSTAVA U PROGRAMU BASSNET

OPIS ZADATKA:

SUSTAV VENTILACIJE STROJARNICE KAO JEDAN OD POMOĆNIH BRODSKIH SUSTAVA, BITI ĆE PREDMET ISTRAŽIVANJA ANALIZE ODRŽAVANJA KORIŠTENJEM PODATAKA IZ PROGRAMA ZA PLANIRANO ODRŽAVANJE.
DOBIVENI PODACI ISKORISTIT ĆE SE ZA DETALJNU ANALIZU POMOĆNOG SUSTAVA I USTVRDITI ISPRAVNOST POSTOJEĆEG MODELA ODRŽAVANJA, ODNOSNO POBOLJŠANJE ISTOG.

CILJ:

CILJ ISTRAŽIVANJA JE ODREDITI MOGUĆE NEDOSTATKE POSTOJEĆEG PLANA ODRŽAVANJA TE SHODNO ANALIZI MODIFICIRATI GA S CILJEM VISOKE RAZINE POUZDANOSTI I MANJIH TROŠKOVA ODRŽAVANJA.

ZADATAK URUČEN STUDENTU/CI: 13.12.2017.

POTPIS STUDENTA/CE:

MENTOR: IZV. PROF. DR. SC. IVAN KOMAR

©ZABRANJENO UMNOŽAVANJE

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE I INFORMATIČKE TEHNOLOGIJE

ORGANIZACIJA, UPRAVLJANJE I ODRŽAVANJE BRODSKOG SUSTAVA U PROGRAMU BASSNET

DIPLOMSKI RAD

MENTOR:

izv. prof. dr. sc. Ivan Komar

KOMENTOR:

Ladislav Stazić, mag. ing.

STUDENT:

Jure Matjašić

(MB: 0171262489)

SPLIT, 2019.

SAŽETAK

Zapisi programa za planirano održavanje nekog tehničkog sustava kroz dovoljno dug vremenski period su dobar izvor podataka za izračun pouzdanosti pri slučajnim kvarovima. Rezultati izračuna pružaju dovoljno informacija da se sustav za planirano održavanje prilagodi postavkama održavanja usmjerenog na pouzdanost. U brodarstvu gdje se posluje s velikim novčanim iznosima, potencijalne uštede u procesu održavanja mogu biti značajne. Pri tome, provedene akcije ne smiju utjecati na performanse broda i sigurnost rada te ih treba izvršiti nakon ozbiljnih razmatranja i analize.

Sustav ventilacije strojarnice jedan je od pomoćnih brodskih sustava, važan za normalan rad postrojenja. Sastoji se od nekoliko centrifugalnih ventilatora, koji rade neovisno jedan o drugome. Održavanje sustava uključeno je u brodski računalni program za planirano održavanje gdje se pohranjuju podaci o izvršenom održavanju. Promjenom perioda održavanja nakon izvršene analize zapisa o izvršenom održavanju, moguće je ostvariti znatne uštede uz zadržavanje visoke razine pouzdanosti.

Ključne riječi: *Planirano održavanje, baza podataka, pouzdanost, troškovi održavanja.*

ABSTRACT

Planned maintenance program records for a technical system over a long enough period of time provide sufficient data for reliability calculation based on random failure. The calculation results provide enough information to enable modifications of planned maintenance system towards reliability centered maintenance conditions. As the maritime industry operates with large financial amounts, savings in maintenance process can be significant. In doing so, the actions taken must not affect ship performance and safety of the operation, and they should be made after serious considerations and analysis.

Analyzed engine room ventilation system is one of auxiliary systems on board, important for normal operation of the plant. The system consists of several centrifugal fans, operating independently. Maintenance of the system is included into ship's Planned Maintenance System where data about the system maintenance is stored. By modeling maintenance period after the analysis of maintenance records, it is possible to achieve significant savings while retaining a high level of reliability.

Key Words*: Planned Maintenance, database, reliability, maintenance costs.*

SADRŽAJ

1. UVOD 5
1.1. PREDMET ISTRAŽIVANJA 5
1.2. RADNA HIPOTEZA 5
1.3. CILJ ISTRAŽIVANJA 5
1.4. ISTRAŽIVAČKE METODE I POSTUPCI 5
1.5. STRUKTURA RADA 6
NAPOMENA O TAJNOSTI PODATAKA 6
2. ODRŽAVANJE I POUZDANOST BRODSKIH SUSTAVA 7
2.1. ODRŽAVANJE 7
2.1.1. Općenito o održavanju 7
2.1.2. Povijest održavanja 8
2.1.3. Pristupi održavanju 9
2.1.4. Korektivno održavanje 10
2.1.5. Preventivno održavanje 11
2.1.6. Planirano (periodično) održavanje 12
2.1.7. Održavanje po stanju 13
2.1.8. Usporedba troškova principa održavanja 15
2.2. KVAROVI 16
2.3. POUZDANOST 18
2.3.1. Pouzdanost pri slučajnim kvarovima 20
2.3.2. Zalihost sustava 21
3. RAČUNALNI PROGRAM „BASSNET“ 24
3.1. OPĆENITO O "BASSNET-U" 24
3.2. POVIJEST "BASSNET-A" 24
3.3. BASSNET MODULI 25
3.4. PRIKAZ BASSNET-A NA ANALIZIRANOM BRODU 26
4. PREDMET ISTRAŽIVANJA 30
4.1. SUSTAV VENTILATORA STROJARNICE 30
4.1.1. Ventilatori 31
4.1.2. Aksijalni ventilator 33
4.1.3. Pogonski stroj promatranog ventilatora 34

5. ANALIZA ODRŽAVANJA SUSTAVA VENTILACIJE 36
5.1. ODRŽAVANJE VENTILATORA STROJARNICE 36
5.1.1. Preporučeno održavanje proizvođača 36
5.1.2. Zahtjevi i pravila klasifikacijskog društava 37
5.1.3. Nedostatak u Planu održavanja 37
5.1.4. Održavanje po pravilima SMS-a 37
5.1.5. Održavanje sustava ventilatora 38
5.2. POVIJEST ODRŽAVANJA 39
5.3. RAD VENTILATORA STROJARNICE 40
5.4. IZRAČUN POUZDANOSTI SLUČAJNIH KVAROVA 42
5.4.1. Analiza rada ventilatora 44
5.4.2. Rezultat analize i prijedlog promjene 44
5.4.3. Potencijalna ušteda 45
6. ZAKLJUČAK 47
POPIS LITERATURE 48
POPIS SLIKA 51
POPIS TABLICA 53
POPIS KRATICA 54

1. UVOD

1.1. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Sustav ventilacije strojarnice [26] jedan je od pomoćnih sustava, nužan za normalan rad strojeva i uređaja u strojarnici. Sustav ventilacije strojarnice redovito se sastoji od više ventilatora koji rade neovisno jedan o drugom [4]. Ventilatori imaju svoj sustav održavanja koji je uključen u brodski računalni sustav za planirano održavanje [30].

U radu se analizira održavanje sustava ventilacije strojarnice koristeći podatke preuzete iz računalnog programa za planirano održavanje „BASSnet“. Uvidom u održavanje sustava ventilacije tijekom nekoliko godina, analizirajući zapise o održavanju, utrošene dijelove, napomene i primjedbe [2], dobivena je potpuna slika održavanja sustava. Rezultati analize održavanja koja je napravljena u radu, pružaju odgovor da li je održavanje promatranog sustava dobro ili ga treba promijeniti.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Sustavnim promatranjem i analizom održavanja u duljem vremenskom periodu [15], moguće je precizno podesiti period održavanja. Upotreba računalnog programa planiranog održavanja čini jednostavnijim praćenje održavanja, omogućuje jednostavne i brze promjene u planu održavanja i bolji nadzor nad provedbom i rezultatima izmijenjenog perioda održavanja.

1.3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je odrediti moguće nedostatke zadanog plana održavanja i shodno rezultatima istraživanja modificirati period održavanja kako bi se:

- poboljšala pouzdanost sustava u radu smanjenjem korektivnog održavanja,
- smanjili troškovi održavanja povećanjem perioda održavanja.

1.4. ISTRAŽIVAČKE METODE I POSTUPCI

Pri analiziranju i formiranju rezultata istraživanja korištene su sljedeće znanstvene metode istraživanja: metoda deskripcije, metoda analize i sinteze te statistička metoda [3], [22].

1.5. STRUKTURA RADA

Rad je podijeljen u pet poglavlja koja su međusobno povezana predmetom istraživanja, sustavom ventilacije strojarnice. Rad završava zaključkom u kojem se prikazuju rezultati istraživanja i analize podataka.

U uvodu je naveden predmet istraživanja, definirana su radna hipoteza i cilj istraživanja te su navedene istraživačke metode korištene u radu.

U drugom poglavlju opisana je povijest održavanja, definirane su metode održavanja i njihove karakteristike [30] te su navedene njihove prednosti i mane. Opisani su kvarovi i njihove značajke te pouzdanost sustava u radu.

U trećem poglavlju opisan je računalni program za planirano održavanje „BASSnet“ koji služi za organizaciju održavanja uređaja i nadzor nad utroškom dijelova [12], [24]. Navedeni su svi BASSnet moduli, a detaljnije je opisan modul održavanja iz kojeg su preuzeti podaci o održavanju sustava ventilacije strojarnice.

U četvrtom poglavlju opisuje se sustav ventilacije strojarnice, njegov način rada i karakteristike te plan održavanja kojeg je odredio proizvođač jer *"važnost poznavanja komponente i njezinih karakteristika je ključno u određivanju plana održavanja"* [37].

U petom poglavlju analizira se održavanje promatranog sustava ventilacije strojarnice tijekom vremenskog perioda. Poseban značaj pridaje se analizi održavanja s osvrtom na pouzdanost pri slučajnim kvarovima [6], [14], [29]. Ovo poglavlje je najznačajniji dio rada gdje su prikazani rezultati analize održavanja i preporuke za izmjenu perioda održavanja. Izmjena perioda održavanja uzrokovala bi uštede u procesu održavanja s naznakom na održivost razine pouzdanosti.

NAPOMENA O TAJNOSTI PODATAKA

Budući da je brodarska tvrtka omogućila pristup bazi podataka i stvarnim podacima pod uvjetom o tajnosti podataka, svi podaci koji vode do identifikacije broda i tvrtke uklonjeni su sa slika i teksta.

2. ODRŽAVANJE I POUZDANOST BRODSKIH SUSTAVA

2.1. ODRŽAVANJE

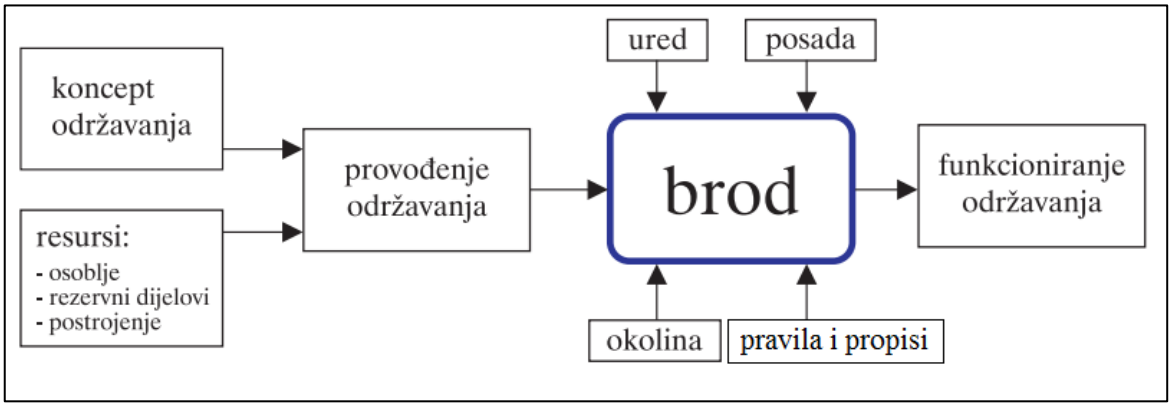
2.1.1. Općenito o održavanju

Održavanje predstavlja kombinaciju svih tehničkih i drugih aktivnosti, izvedenih kako bi sustav zadržao vlastite karakteristike ili se vratio u stanje u kojem obavlja zahtijevanu funkciju u zadanom vremenu i u zadanim uvjetima uporabe [27]. Namjena suvremenog održavanja je učiniti sve da stroj ili uređaj budu što sigurniji i pouzdaniji u radu uz što manje troškove održavanja. „*Sustav održavanja je jedna organizacijska cjelina resursa (osoblja, uređaja, rezervnih dijelova), metoda (postupaka, informacija) i objekta održavanja (tehnički sustav – brodski pogon)*“ [31].

Razlikuju se četiri glavna čimbenika koji utječu na funkcionalnost održavanja broda [31] (Slika 1.).

To su:

- operater (posada ili pomoćno osoblje na kopnu),
- okolina (promet, luke, klima, uvjeti na moru),
- pravila i propisi,
- održavanje.



Slika 1. Sustav brodskog održavanja [31]

Koncept održavanja, zajedno s resursima (osobljem, rezervnim dijelovima i postrojenjem), određuje funkcionalnost održavanja. Resursi uključeni u proces održavanja su u skladu s uputama definiranim u konceptu održavanja. Način održavanja prikazan kao reakcija sustava uključuje stanja pogoršanja, postupno slabljenje karakteristika i kvarove.

Efikasnost koncepta održavanja procjenjuje se funkcioniranjem održavanja koje uključuje troškove tokom procesa. Plan održavanja sadrži izvršavanje preventivnih (PM) i korektivnih (CM) metoda održavanja nužnih da karakteristike uređaja ostanu u prvobitnom stanju [31].

2.1.2. Povijest održavanja

Održavanje se prilagođavalo promjenama tijekom povijesti, a posebno se vodila briga o porastu svijesti o utjecaju kvarova na sigurnost ljudi i okoline. Razvoj održavanja se može podijeliti u tri faze (Slika 2.).

Prva faza koja je trajala do 2. svjetskog rata, nije bila industrijski visokomehanizirana dok sprječavanje pojave kvarova nije imalo veliki prioritet. Većina tehničkih sustava su zbog svoje jednostavnosti predstavljali lako održive sustave. Kroz prvu fazu, potreba za stručnim znanjem iz održavanja se smatrala nepotrebnom.

Druga faza započinje od 2. svjetskog rata pa do sredine 70-ih godina 20. stoljeća. Kroz taj period raste potreba za razvijenim tehničkim sustavima. Uvodi se preventivno održavanje gdje se kvarovi identificiraju kao uzročnici smanjenja raspoloživosti. Kroz drugu fazu održavanja, troškovi zaokupljaju pažnju za organiziranom kontrolom i planiranjem održavanja.

Posljednja faza slijedi nakon 70-ih godina 20. stoljeća, kada industriju zahvaća val promjena kod očekivanja i stvaranja novih tehnologija. U tom razdoblju pronalaze se tehničko-ekonomska rješenja održavanja kako bi se što bolje gospodarilo tehničkim sustavom.

Slika 2. Održavanje kroz povijest [20]

2.1.3. Pristupi održavanju

Razvitak različitih pristupa i koncepata održavanja uzrokovan je razvojem sve složenijih brodskih sustava i traženjem rješenja koja bi omogućila da budu u funkciji bez zastoja ili da zastoji budu što rjeđi.

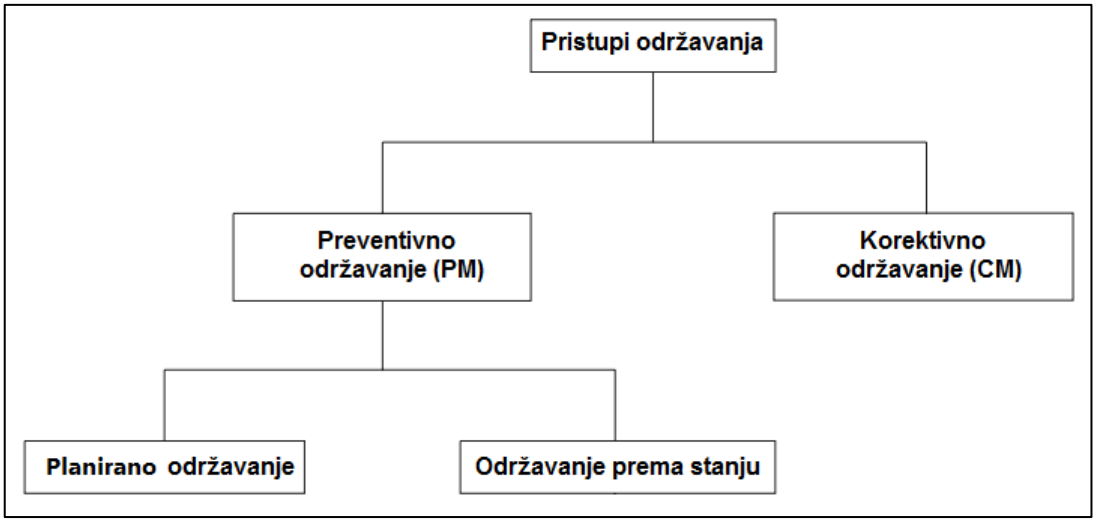
Održavanje broda se od samih početaka temelji na dva osnovna pristupa koja se međusobno isprepliću i koja jedan drugog ne isključuju, a to su:

- pasivno ili korektivno održavanje – sustav se ne održava dok radi, već se pasivno čeka da se kvar dogodi, nakon čega se pristupa održavanju,
- aktivno ili preventivno održavanje – sprječava se nastajanje kvara [34].

Pristup održavanju kod pasivnog održavanja je tijekom povijesti ostao nepromijenjen. To je s kriterija pouzdanosti najnepoželjniji način održavanja kojem se pristupa nakon što se kvar dogodi.

Preventivno (lat. praevenire = sprječavati) održavanje omogućava sprječavanje kvara, što je sa stajališta pouzdanosti prednost nad pasivnim održavanjem [30].

Održavanje po stanju, kao jedna od grana aktivnog održavanja, je uznapredovani način dijagnosticiranja stanja sustava koji uz učešće svih čimbenika u procesu omogućuje maksimalnu pouzdanost nadziranih uređaja [23].



Slika 3. Pristupi održavanja sustava [31]

2.1.4. Korektivno održavanje

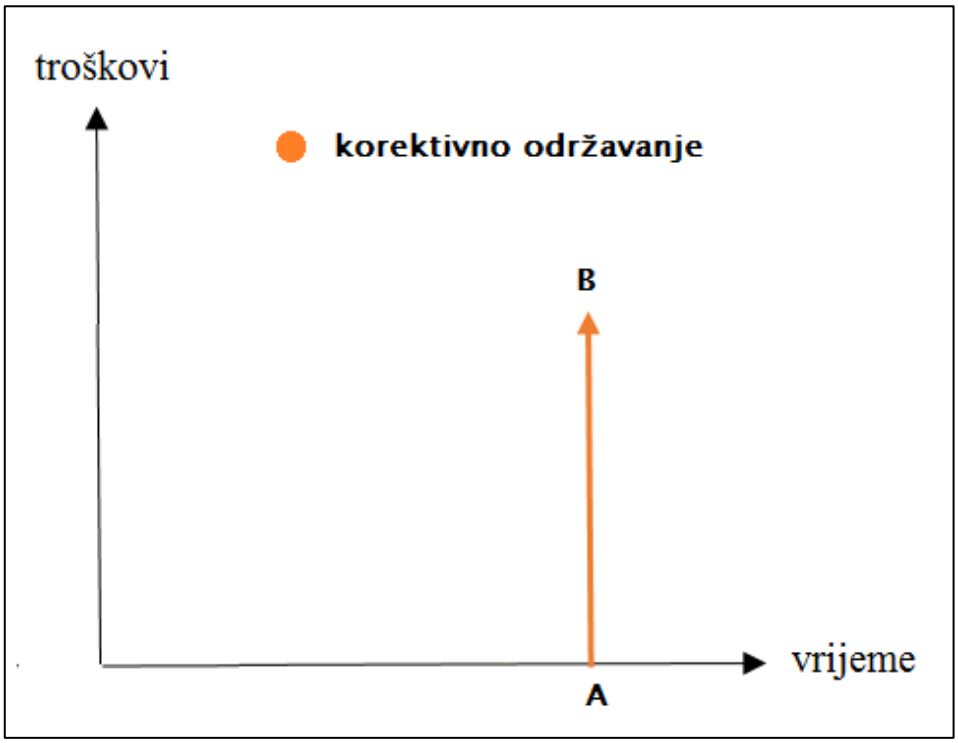
Korektivno održavanje je najstariji pristup održavanju opreme koji obuhvaća obnavljanje i zamjenu dijelova koje se izvodi nakon kvara. Oštećenje jednog uređaja ili njegovog dijela često ima za posljedicu oštećenje drugog uređaja ili dijela pa se ukupna šteta znatno povećava i često uzrokuje havarije, što je posebno izraženo kod mehaničkih sustava [5].

„Prednost korektivnog održavanja je u potpunoj iskoristivosti elemenata tehničkog sustava te nije potrebno poznavati zakonitosti pojave kvarova sustava, a ne zahtijeva se ni priprema aktivnosti održavanja.

Nedostaci korektivnog održavanja su u nepouzdanom radu sustava zbog iznenadnih zastoja, niskom stupnju iskoristivosti u eksploataciji, dugim i učestalim zastojima i nemogućnosti planiranja aktivnosti održavanja. Uređaji ili sustav naglo ispadaju iz režima rada te je velika vjerojatnost da će doći do dužih zastoja izazvanih održavanjem" [19].

Na Slici 4. prikazan je omjer troškova tijekom vremena rada kod korektivnog održavanja. Od početka eksploatacije pa do trenutka A troškovi su jednaki nuli, a zatim rastu na vrijednost B, koja je najčešće jednaka vrijednosti samog uređaja.

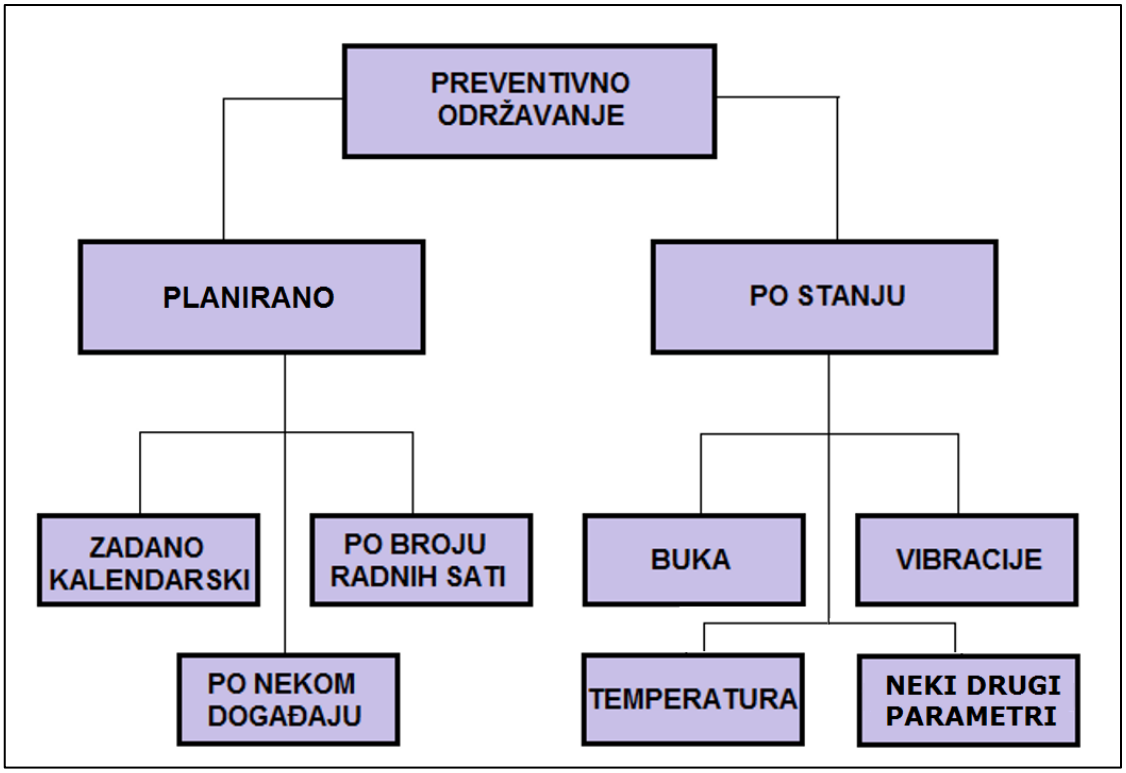
U slučaju oštećenja drugih uređaja uzrokovanih kvarom ove komponente, točka B može biti *"x"* puta veća od vrijednosti samog uređaja.



Slika 4. Korektivno održavanje [19]

2.1.5. Preventivno održavanje

Preventivno održavanje je održavanje dijelova ili sustava koje se vrši prije nego što se dogodi kvar. Podjela preventivnog održavanja je prikazana na Slici 5.



Slika 5. Podjela preventivnog održavanja

Kada za to dođe vrijeme ili kada se detektira promjena parametara rada, vrši se održavanje uređaja te zamjena novim, bez obzira na njegovo stanje (npr. ležajevi elektromotora) ili zamjena dijela ukoliko izmjerena istrošenost komponente prelazi dozvoljena ograničenja proizvođača (npr. prstenovi centrifugalnih sisaljki, prstenovi kompresora, itd).

Preventivno održavanje se može podijeliti [9] na:

- održavanje prema stanju (engl. Condition Based Maintenance, CBM),
- periodično ili planirano održavanje (engl. Periodic/Planned Maintenance, PM).

2.1.6. Planirano (periodično) održavanje

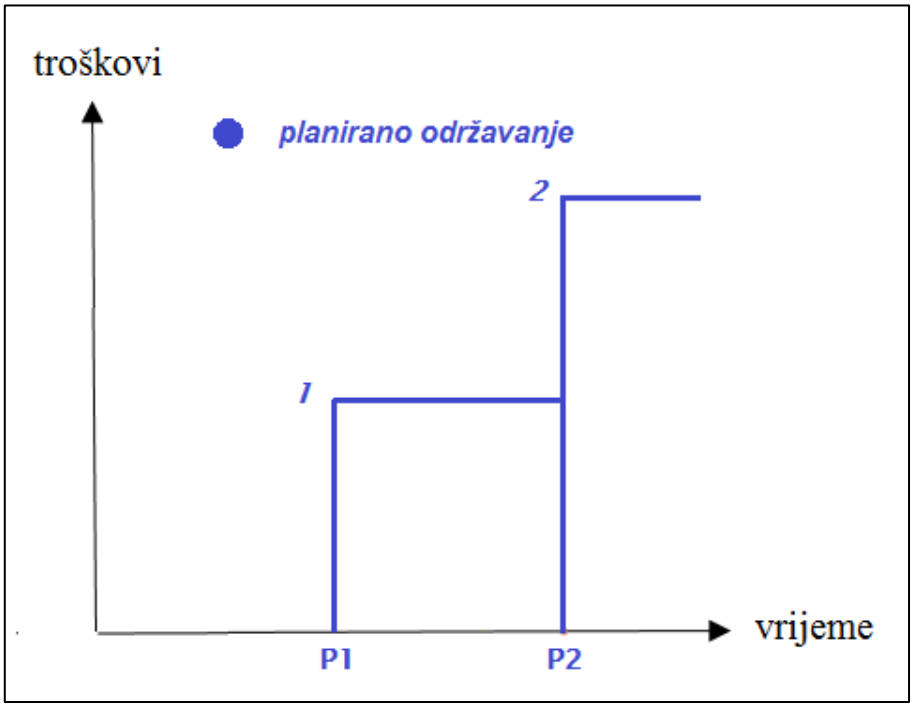
„Planirano održavanje je oblik održavanja koji se odvija na temelju prioritetnog sustava događanja, kako bi se prvotno osigurali i obavili najhitniji i najvažniji poslovi održavanja“ [10].

Planirano održavanje uslijed brojnih aktivnosti održavanja omogućuje dosta veliku sigurnost. Nedostatak ove strategije održavanja je u relativno velikim troškovima zbog mijenjanja dijelova koji su još uvijek iskoristivi i koji bi mogli odraditi još radnih sati. Osim toga, povećava se broj utrošenih sati potrebnih za održavanje sustava.

Strategija planiranog održavanja se vodi izrekom *“Bolje spriječiti nego liječiti ”* i u nju su uključene sljedeće aktivnosti održavanja:

- preventivni periodički pregledi, čišćenja i podmazivanja,
- traženje i otklanjanje slabih mjesta,
- kontrolni pregledi,
- planirani popravci - remont (mali, srednji, veliki).

Na Slici 6. prikazani su troškovi kod strategije planiranog održavanja. Važno je istaknuti kako je vrijeme između 0 i P_1 jednako vremenu između P_1 i P_2. Troškovi rastu skokovito, u za to predviđenim trenutcima (troškovi 0-1 su jednaki troškovima 1-2).



Slika 6. Troškovi planiranog održavanje [19]

2.1.7. Održavanje po stanju

Održavanje po stanju strategija je preventivnog održavanja gdje se donošenje odluka o intervencijama održavanja zasniva na planiranoj ili neprekidnoj kontroli tehničkog stanja sustava u eksploataciji [2].

„Održavanje po stanju je filozofija održavanja koja postavlja odluke o popravku ili zamjeni, ovisno o sadašnjem ili budućem stanju komponente“ [27].

Iskustva u eksploataciji pokazala su da najveći dio tehničkog sustava ne gubi svoju funkcionalnost odjednom, već postupno. Mjerenjem određenih parametara, bitnih kod ocjenjivanja kvalitete tehničkog sustava, mogu se ustanoviti odstupanja parametara od stanja normale te omogućiti donošenje pravovaljane odluke o potrebnom zahvatu održavanja.

Planirano održavanje i održavanje po stanju se razlikuju po načinu izvođenja zahvata održavanja. Kod planiranog održavanja zahvat se izvodi u unaprijed određenom, planiranom vremenskom periodu. Kod održavanja po stanju održavanje se izvodi kada se analizom utvrdi potreba za održavanjem.

Prednosti koje donosi održavanje po stanju [19] su:

- bolja kontrola razine pouzdanosti,
- smanjenje direktnih troškova održavanja,
- smanjenje kvarova, a time i gubitaka zbog zastoja,
- lako uočavanje slabih mjesta,
- veća efikasnost i kvaliteta rada tehničkog sustava,
- dulji životni ciklus sustava.

Modeli održavanja po stanju mogu se podijeliti u dvije grupe:

- održavanje po stanju s kontrolom parametara,
- održavanje po stanju s kontrolom razine pouzdanosti.

Pri održavanju po stanju s kontrolom parametara određuje se stanje tehničkog sustava stalnim ili povremenim mjerenjem parametara uređaja u radu. Odluka o održavanju donosi se kada se zamijeti prekoračenje dozvoljenih vrijednosti mjerenih parametara.

Pri održavanju po stanju s kontrolom razine pouzdanosti prikupljaju se, obrađuju i analiziraju podaci o pouzdanosti tehničkog sustava. Odluka o održavanju se donosi nakon smanjenja pouzdanosti ispod dopuštene vrijednosti.

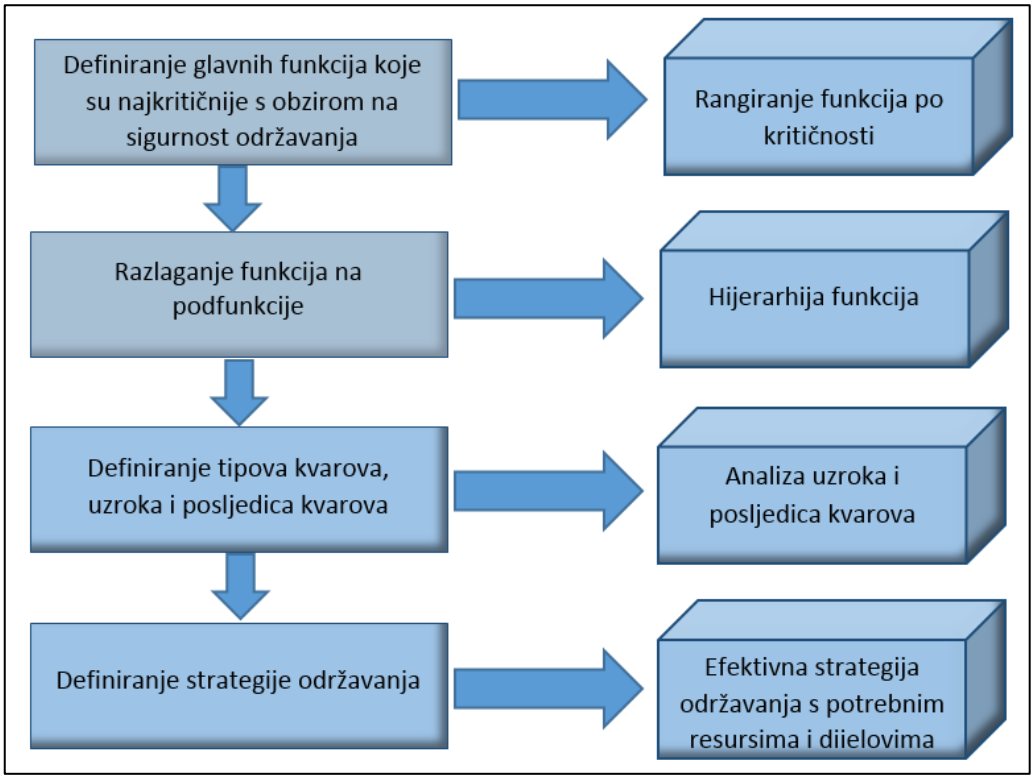
Održavanje usmjereno na pouzdanost (engl. Reliability centered maintenance) je model koji se koristi za određivanje strategije održavanja. To je proces pri kojem se nastoji odrediti najučinkovitiji model održavanja, kombiniranjem raznih pristupa i strategija održavanja.

Svrha RCM-a je pronalaženje logičnog, preglednog alata, uz čiju će pomoć osoba koja održava izvesti financijski učinkovit plan održavanja u skladu sa svojim potrebama [7]. Za postizanje toga plana osoba koja održava mora imati jasnu sliku standarda koje želi dostići i treba poznavati procijenjenu pouzdanost odabranog uređaja [8].

„RCM metodologija ujedinjuje različite postupke održavanja, tako da maksimalno koristi svoje prednosti, a minimalizira nedostatke“ [6]. Cilj je usmjeriti resurse na aktivnosti i procese koji direktno utječu na pouzdanost sustava u cjelini te izbjeći nepotrebne napore i troškove održavanja.

RCM metoda služi za povećanje :

- sigurnosti sustava,
- raspoloživosti i pouzdanosti,
- životnog vijeka sustava,
- efikasnosti održavanja.



Slika 7. RCM metodologija

Održavanje prema pouzdanosti se može podijeliti na dvije podskupine:

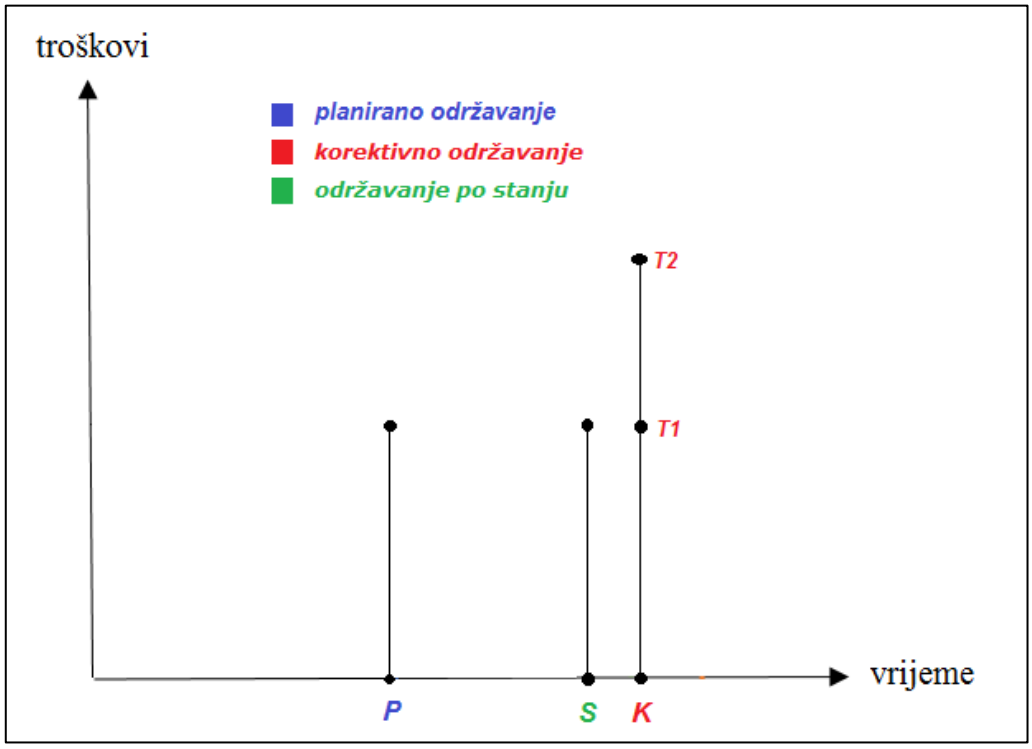
- RCM metoda za uređaje i sustave,
- RCM metoda za konstrukciju (strukturu).

Kao što prikazuje Slika 7., uporabom RCM metode prate se ključni odgovori u rješavanju kvarova i sprječavanju istih, uz pomoć sustavne analize koja se može izraziti kroz četiri koraka:

- definiranje i procjenjivanje kritičnosti glavnih funkcija,
- dekompozicija funkcija i stvaranje hijerarhije funkcija, do razine uređaja,
- analiza mogućih kvarova te analiza uzroka i posljedica kvarova,
- odabir strategije održavanja te potrebnih rezervnih dijelova.

2.1.8. Usporedba troškova principa održavanja

Na Slici 8. prikazani su troškovi pojedinog načina održavanja. Pri uspoređivanju ovih triju načina održavanja polazi se od pretpostavki da je jedinična cijena rada i utroška materijala jednaka za sva tri principa održavanja.



Slika 8. Troškovi s obzirom na pristup održavanja [19]

Korektivno održavanje se vrši kada uređaj otkaže, odnosno pojavom funkcionalnog kvara. Pri tome, kod korektivnog održavanja mogu se pojaviti dvije vrste troškova:

- T1 – jedinična cijena rada i utrošak materijala (npr. izmjena ležaja elektromotora),
- T2 – posredni troškovi nastali uslijed kvara (npr. izmjena cijelog elektromotora, zbog većih oštećenja uzrokovanih otkazivanjem ležaja).

Planirano održavanje se vrši u trenutku zadanom periodom održavanja koji je unesen u plan održavanja. Zbog sigurnosti se ovo održavanje vrši mnogo prije nego nastupi kvar, prema iskustveno dobivenim podacima.

Trenutak održavanja kod održavanja po stanju se približava otkazivanju uređaja, jer će sustav otkriti promjene parametara koji ukazuju na potencijalni kvar (npr. temperaturu ili zvuk ležaja ili vibracije uređaja). Sustav će upozoriti na uočene promjene te će se izvesti zahvat održavanja. Time se produljuje broj radnih sati u odnosu na planirano održavanje.

2.2. KVAROVI

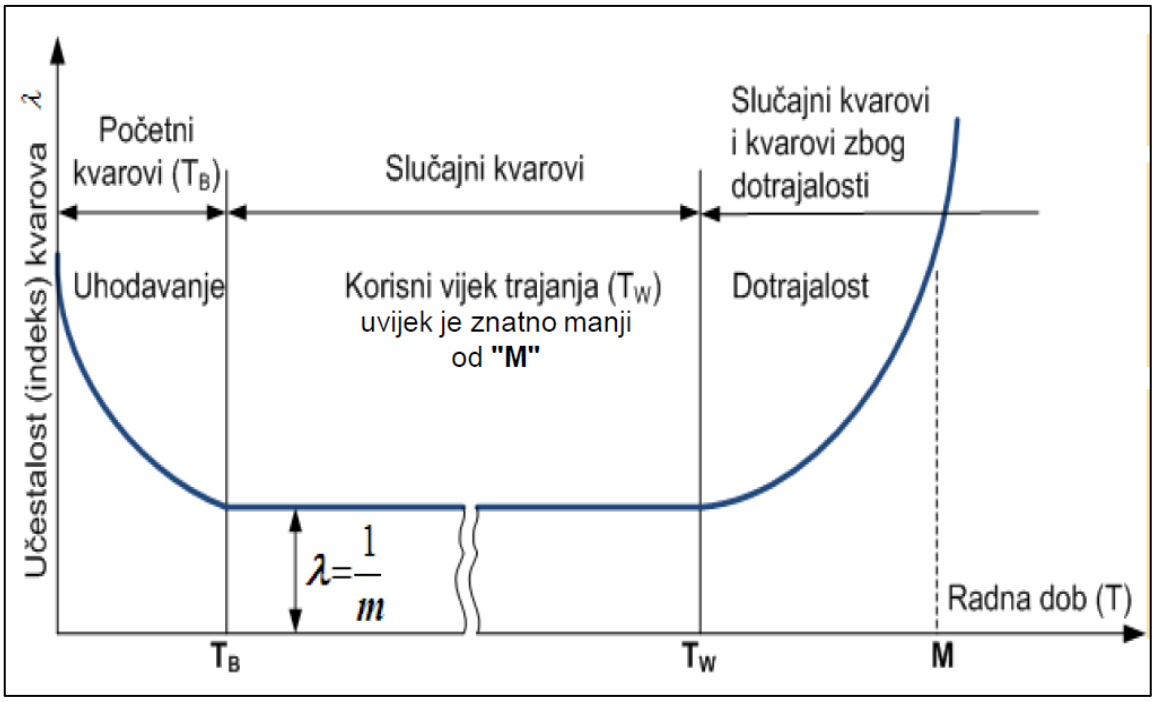
Kvar je promjena stanja nekog tehničkog sustava ili uređaja kada on prestane obavljati svoju funkciju ili odstupa od normalnih projektiranih radnih parametara.

Postoji više vrsta kvarova, vidljivih na Slici 9.:

- **Početni kvarovi** nastaju poslije početka rada uređaja. Posljedica su grešaka u konstrukciji, izradi ili montaži, a vrlo često i nedovoljna kontrola kvalitete proizvoda. Ovi kvarovi se pojavljuju u periodu uhodavanja. Broj početnih kvarova opada tijekom ovog perioda, a nema ih u korisnom vijeku trajanja.
- **Slučajni kvarovi** su prisutni cijelu radnu dob uređaja, od početka rada do rashodovanja. Tijekom perioda uhodavanja slučajni kvarovi su pomiješani s početnim kvarovima i teško ih je ili nemoguće odvojiti. Uzrok slučajnih kvarova se ne može precizno odrediti, smatra se da nastaju uslijed grešaka u komponentama koje nisu otkrivene u procesu proizvodnje, a ni kasnijim pregledima. Slučajni kvarovi se ne mogu spriječiti ni najintenzivnijim održavanjem, nastaju nasumično, bez ikakva redoslijeda. Mogu se otkriti neposredno prije nastanka nadzorom radnih parametara kao što su vibracije, tlak, temperatura, jakost struje, jačina zvuka, itd.
- **Kvarovi zbog dotrajalosti** se dešavaju pri kraju radne dobi uređaja. Nastaju zbog istrošenja resursa neke komponente ili sustava uslijed zamora materijala, korozije, erozije, deformacija, uslijed dugotrajne upotrebe. Intenzivnim održavanjem i

izmjenom dijelova pojava ovih kvarova se može odgoditi na duže vrijeme, a u određenim slučajevima i spriječiti. Ova vrsta kvarova, kao i početni kvarovi, se često miješaju sa slučajnim kvarovima, jer je teško razlikovati kvar uslijed fizičke istrošenosti i kvar uslijed istrošenosti resursa komponente.

Pri opisivanju kvarova koristi se krivulja indeksa ili učestalosti kvara (Slika 9.), koja se zbog svog oblika naziva „krivulja kade“ (engl. Bath curve).



Slika 9. Krivulja učestalosti kvara [2], [14]

Na krivulji kade vidljiva su tri perioda.

- **Uhodavanje** (engl. burn in/running in) je vremenski period tijekom kojega se javljaju i otklanjaju početni kvarovi. Ovaj vremenski period je najčešće pokriven jamstvenim rokom proizvođača koji će tijekom jamstvenog roka otklanjati kvarove.
- **Korisni vijek trajanja** (engl. useful life) je period od prestanka pojave početnih kvarova do početka pojave kvarova zbog dotrajalosti. U literaturi se označava s Tw. Određivanje korisnog vijeka trajanja komponente važno je za planiranje održavanja i zamjene komponente novom prije pojave kvarova zbog dotrajalosti.
- **Dotrajalost** (engl. wearout) je period od početka pojave kvarova zbog dotrajalosti do kraja radne dobi.

Prosječni vijek trajanja M (engl. mean wear-out life) je period od početka rada uređaja pa do sredine vremena od zakazivanja uslijed dotrajalosti prve i posljednje komponente. Učestalost kvarova zbog dotrajalosti je najveća oko točke M (kraj radne dobi).

Indeks kvarova λ (engl. failure rate) je učestalost kojom se kvarovi pojavljuju na određenom uređaju ili sustavu. Indeks kvarova se mjeri brojem kvarova u promatranom vremenskom periodu ili brojem kvarova tijekom određenog broja operacija.

Indeks kvarova može se izraziti:

$$\lambda = \frac{n}{t} \tag{1}$$

gdje je:

λ – indeks kvarova,

n – broj kvarova,

t – ukupan broj radnih sati uređaja ili sustava.

Prosječno (srednje) vrijeme između kvarova (m ili MTBF) (engl. Mean time between failures) je recipročna vrijednost indeksa kvarova:

$$m = \frac{1}{\lambda} \tag{2}$$

gdje je:

m – prosječno vrijeme između kvarova,

λ – indeks kvarova.

2.3. POUZDANOST

Pouzdanost **R** (engl. reliability) je jedno od osnovnih svojstava nekog tehničkog sustava. Pouzdanost se definira kao:

- *sposobnost sustava da održava radnu sposobnost tijekom eksploatacije, pod određenim uvjetima eksploatacije [19],*
- *vjerojatnost da će neki objekt (komponenta, uređaj, sustav) uspješno obaviti zadanu funkciju, pod određenim uvjetima i u zadanom vremenskom intervalu [29].*

Zanimljivost i različitost razvitka teorije pouzdanosti nekad i danas se može najbolje prikazati kroz naredbu Petra I. Velikog napisanu u 17. stoljeću:

Naredba

Petra I Velikog iz područja kvaliteta i pouzdanosti (1672.-1725.)

Članak 1.

Naređujem: Gazdu Tulske tvornice oružja Kormila Beloglasa izudarati bičem i uputiti na prisilni rad u manastire, zbog toga što se on, ugursuz, usudio vladarevoj vojsci prodavati neispravne topove i vojničke puške. Starješinu savjetnika Frola Fuxa izudarati bičem i uputiti u Arov, kako ne bi stavljao žig na loše oružje.

Članak 2.

Naređujem: Odjeljenje za naoružanje iz Peterburga premjestiti u Tulu i paziti i danju i noću da oružje bude ispravno. Neka upravnici kancelarija i njihovi pisari paze kako starješina-savjetnik stavlja žigove, a ako posumnjaju neka sami kontroliraju i pregled i gađanje. Svaki mjesec iz dvije puške gađati dok se ne pokvare. Ukoliko se dogodi otkaz u trupi, naročito u tijeku borbe, a to bude posljedica nedovoljne pažnje upravnika kancelarije i pisara, onda i njih batinati po golom turu:

Gazdi udariti 25 batina i kazniti ga s po zlatnikom za svaku pušku

Starješinu-savjetnika batinati dok ne padne u nesvijest

Starijeg upravnika kancelarije prevesti u dočasnika

Upravnika kancelarije prevesti u pisara

Pisaru oduzeti sljedovanje votke nedjeljom, tijekom jedne godine

Članak 3.

Novom gazdi tvornice oružja Demidovu naređujem izgraditi za upravnike i pisare kuće, koje ne smiju biti lošije od kuće samog gazde. Ako se dogodi da budu lošije, neka se Demidov ne ljuti, ali ću narediti da ga ubiju.

Petar I

Početak brzog razvoja pouzdanosti kao naučne discipline se vezuje za 30-te godine 20. stoljeća. Problem pouzdanosti postao je primarno zanimljiv u tehnici. Vrlo brzo je uočeno da povećanjem složenosti tehničkog sustava opada njegova razina pouzdanosti. Ta činjenica je uzrokovala pojavu mišljenja da će pouzdanost sustava biti ograničavajući čimbenik pri izradi većih i složenijih tehničkih sustava te se postavilo pitanje ima li smisla graditi velike i složene sustave ako će njihova pouzdanost biti zanemariva.

John von Neuman (američki matematičar i polihistor mađarskog porijekla) i njegovi suradnici su utvrdili da je moguće izgraditi sistem bilo koje veličine i bilo koje pouzdanosti. Na taj način razvili su tzv. „Teoriju pouzdanosti“. Teorija pouzdanosti se bavi sprečavanjem pojava kvarova i njihovih posljedica i osiguravanjem potpune radne sposobnosti tehničkog sustava ili uređaja.

2.3.1. Pouzdanost pri slučajnim kvarovima

Tijekom korisnog vijeka trajanja (Poglavlje 2.2, Slika 9.) vrijedi jednadžba pouzdanosti (3) za uređaj s konstantnim indeksom kvarova. Ta jednadžba predstavlja pouzdanost pri slučajnim kvarovima. Veličina "t" u jednadžbi ne smije prijeći korisni vijek trajanja komponente ili uređaja.

$$R = e^{-\lambda t} \tag{3}$$

gdje je:

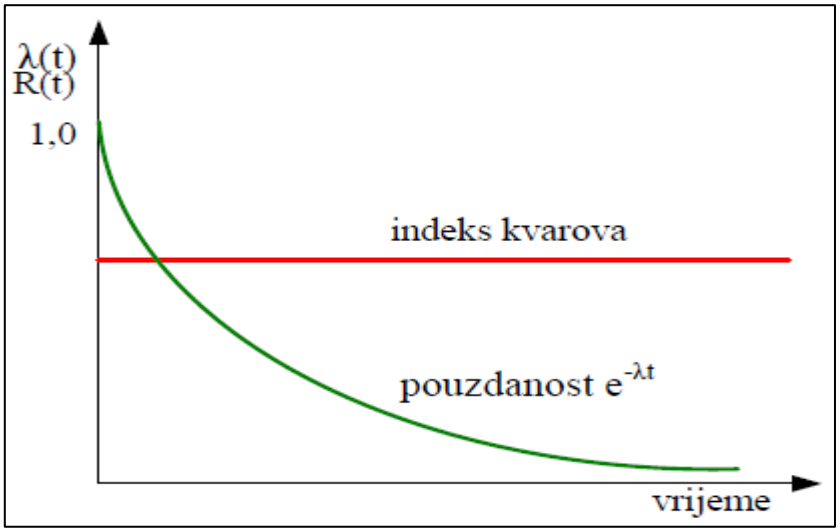
R – pouzdanost pri slučajnim kvarovima,

e – baza prirodnog logaritma (Eulerova ili matematička konstanta) e = 2.718,

λ – konstantna stopa kvara,

t – vrijeme rada sustava ili uređaja.

Tok eksponencijalne funkcije pouzdanosti pri slučajnim kvarovima prikazan je na Slici 10.



Slika 10. Tok funkcije pouzdanosti pri slučajnim kvarovima [19]

Iz (3) može se jednostavno izvesti jednadžba pouzdanosti sustava koja glasi:

$$R = e^{-\frac{t}{m}} \tag{4}$$

gdje je:

R – pouzdanost pri slučajnim kvarovima,

e – Eulerova ili matematička konstanta e = 2.718,

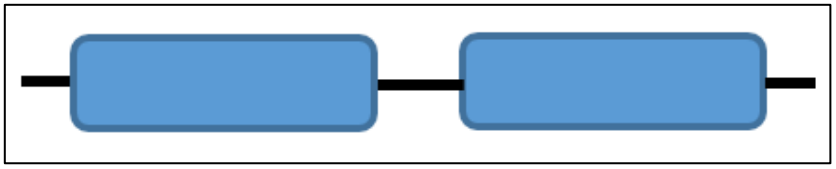
t – vrijeme rada sustava ili uređaja,

m - srednje (prosječno) vrijeme između kvarova.

2.3.2. Zalihost sustava

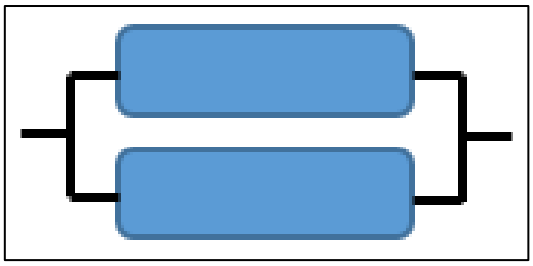
U nekim strukturama sustava, komponenta može imati veću važnost od drugih po pitanje pouzdanosti sustava [28]. Današnji sustavi su složeni od više komponenti ili uređaja, a mogu biti različito konfigurirani. Konfiguracija sustava direktno utječe na pouzdanost sustava u radu. Postoje dvije krajnje konfiguracije sustava:

- Serijski sustav



Slika 11. Osnovni serijski sustav

- Paralelni sustav



Slika 12. Osnovni paralelni sustav

Kombinacijom dviju konfiguracija mogu se izgraditi veoma složeni sustavi.

Serijski sustav predstavlja najjednostavniju konfiguraciju dva ili više uređaja spojenih u seriju. To je sustav bez zalihosti kojem je glavno svojstvo da će sustav otkazati kvarom bilo kojeg uređaja u seriji.

Pouzdanost sustava od n serijski povezanih uređaja je:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t) \tag{5}$$

Iz (5) slijedi da je pouzdanost osnovnog serijskog sustava:

$$R_s = R_1(t) * R_2(t) \tag{6}$$

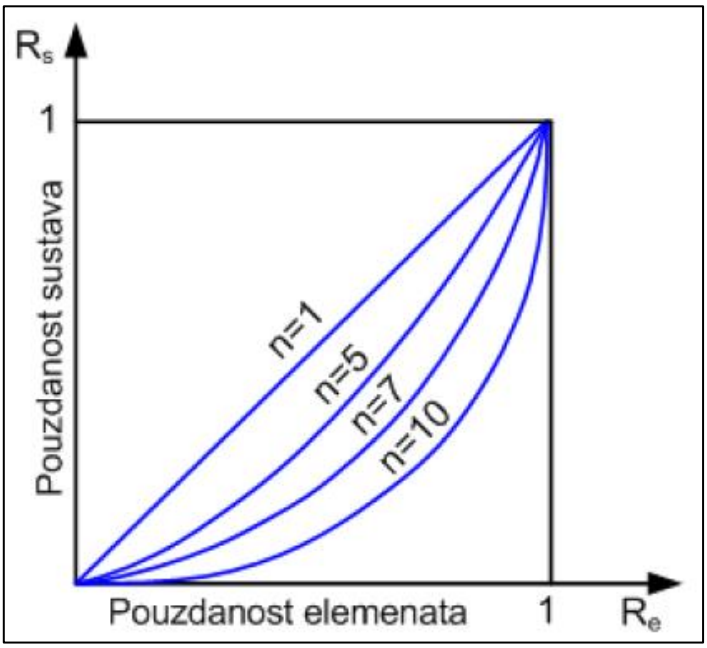
gdje je:

R_S – pouzdanost sustava,

R_1 – pouzdanost prvog uređaja,

R_2 – pouzdanost drugog uređaja.

Iz (5) i (6) slijedi da će ukupna pouzdanost serijskog sustava biti manja od pouzdanosti bilo koje komponente tog sustava, što je vidljivo na Slici 13.



Slika 13. Zalihost serijskog sustava

Paralelni sustavi (Slika 12.) su sustavi kod kojih postoji zalihost i za njih vrijedi da će funkcionirati ispravno ako je ispravna barem jedna komponenta sustava. Paralelni sustavi mogu biti projektirani kao aktivni (radni) i pasivni (pričuvni) paralelni sustavi. Aktivni paralelni sustav je sastavljen od dva ili više paralelnih uređaja koji su istovremeno u radu. Kvarom bilo kojeg uređaja u sustavu smanjuje se broj uređaja u radu, a sustav nastavlja raditi

s manji brojem uređaja, odnosno sa smanjenim učinkom. Pasivni paralelni sustav je sastavljen od dva ili više paralelnih uređaja, u radu se nalazi jedan, a ostatak uređaja je u pričuvi te će biti pokrenut u slučaju kvara uređaja u radu. Pokretanje pričuvnog uređaja može biti ručno ili automatski, a sustav nastavlja raditi s punim učinkom.

Pouzdanost sustava od n paralelno povezanih uređaja je:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n}[1 - R_i(t)] \tag{7}$$

Iz (7) slijedi da je pouzdanost osnovnog paralelnog sustava:

$$R_s = 1 - (1 - R_1) * (1 - R_2) \tag{8}$$

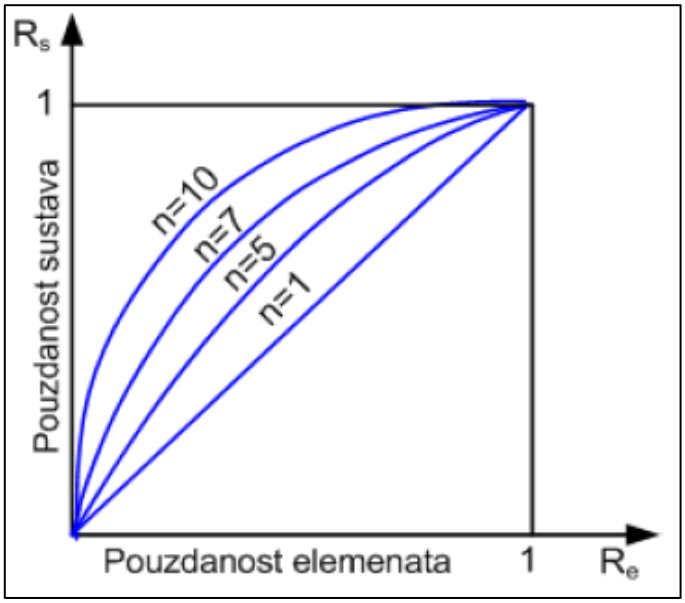
gdje je:

R_S – pouzdanost sustava,

R_1 – pouzdanost prvog uređaja,

R_2 – pouzdanost drugog uređaja.

Iz (7) i (8) slijedi da će ukupna pouzdanost paralelnog sustava biti veća od pouzdanosti bilo koje komponente tog sustava, što je vidljivo na Slici 14.



Slika 14. Pouzdanost paralelnog sustava

3. RAČUNALNI PROGRAM „BASSnet“

3.1. OPĆENITO O "BASSnet-u"

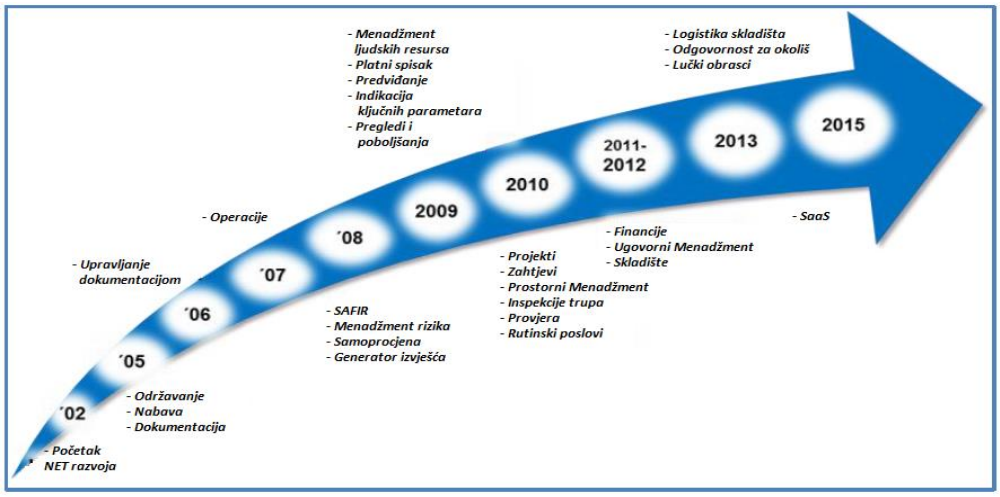
BASSnet je računalni program koji je proizvela tvrtka BASS, a koristi se za planiranje i održavanje u pomorstvu. Na tržištu je prisutan od 1997. godine i upotrebljava se na više od 2000 brodova i naftnih platformi. Tvrtka BASS ima više od 140 stalnih zaposlenika koji rade u 7 zemalja. Brojem zaposlenika i klijenata ova tvrtka spada u jednu od značajnijih tvrtki u ovom segmentu poslovanja.

Po podacima tvrtke, softverski paket BASSnet posjeduje sljedeće karakteristike [12]:

- obavlja zahtjeve upravljanja brodovima i pomorskog poslovanja,
- omogućuje izgradnju modularnog softverskog paketa u cilju cjelovitog rješenja,
- omogućuje transparentnost i praćenje performansi flote,
- pruža visoku razinu fleksibilnosti zbog različitosti potreba pojedinih firmi i radnih procesa.

3.2. POVIJEST "BASSnet-a"

Tvrtka BASS i program BASSnet je nastao kao dio norveške brodarske grupe Wilhelmsen ASA početkom 90-ih godina 20. stoljeća. Prve aplikacije temelje se na platformama Microsoft Visual Basic i SAFIR (Slika 15.). Od 2002. godine sustav radi na Microsoft.NET platformi, gdje je svaki modul zaseban.



Slika 15. Povijesni razvoj BASSnet-a [12]

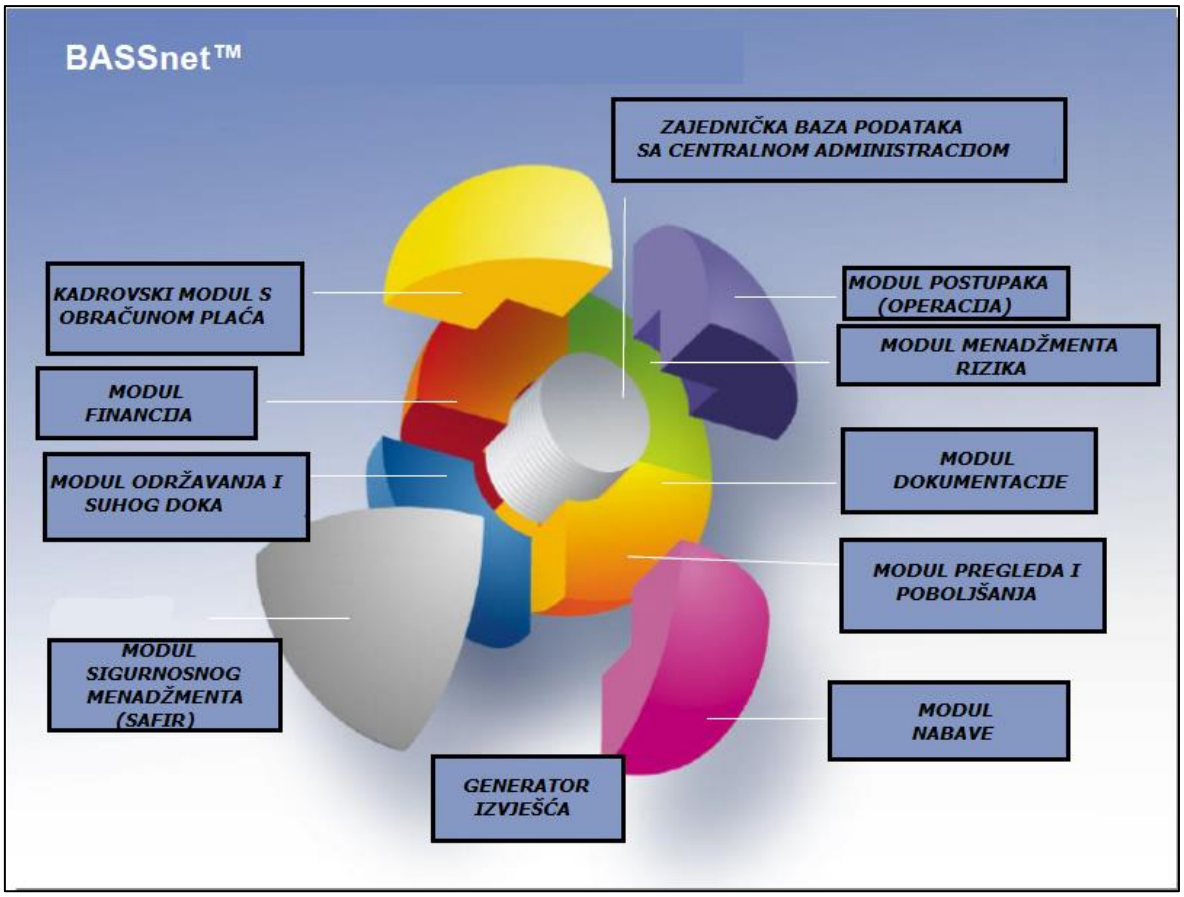
3.3. BASSnet MODULI

BASSnet Fleet Management Systems je računalni program koji omogućuje integrirano rješenje koje pokriva sva glavna područja pomorskog poslovanja. Program je napravljen u vidu središnje baze podataka u kojoj se nalaze svi podaci, a poslovni proces podijeljen je u više zasebnih modula (Slika 16.). Na taj način se osigurava učinkovitiji tijek rada u brodarskim tvrtkama, za sve relevantne odjele i jedinice.

Moduli unutar računalnog programa BASSnet su [12]:

- **Kadrovski modul s obračunom plaća** –modul služi za planiranje posada na brodu i njihovu rotaciju te služi za vođenje njihovih primanja.
- **Modul financija** – služi za računovodstvene svrhe, omogućuje nadzor nad financijama te ažuriranje i integriranje financijskih podataka.
- **Modul održavanja i suhog doka** – sastoji se od dva dijela, održavanja i suhog doka. Održavanje prati sve aktivnosti vezane uz održavanje strojeva i uređaja na brodovima te čuva zapise o obavljenom poslu. Sustav pomaže u planiranju i praćenju zaliha rezervnih dijelova na nivou tvrtke te omogućuje uvid u stanje uređaja i opreme. Dio koji se bavi suhim dokom omogućava planiranje, pripremu i praćenje procesa dokovanja broda, uključujući i proračunsku stranu dokovanja.
- **Modul sigurnosnog menadžmenta (SAFIR)** – služi za izvješćivanje i analizu događaja vezanih uz nesreće i nezgode, kao i incidente koji utječu na sigurnost kako flote, tako i na kopnu.
- **Modul postupaka (operacija)** – služi za nadzor nad svim postupcima i operacijama unutar flote, vezanima uz poslovanje broda. Omogućava provjeru iskorištenosti broda i brodskih sustava.
- **Modul menadžmenta rizika** – preko ovog modula se definira, procjenjuje i upravlja rizicima u svakodnevnom radu.
- **Modul dokumentacije** – služi za upravljanje dokumentima unutar tvrtke te između ureda i flote.
- **Modul pregleda i poboljšanja** – pomaže u organizaciji i praćenju sastanaka. Vodi i pohranjuje izvješća i poboljšanja na nivou tvrtke, odnosno flote.
- **Modul nabave** – dizajniran da upravlja nabavom te da olakša nadzor nad procesom. Modul uključuje i financijski dio procesa nabave.

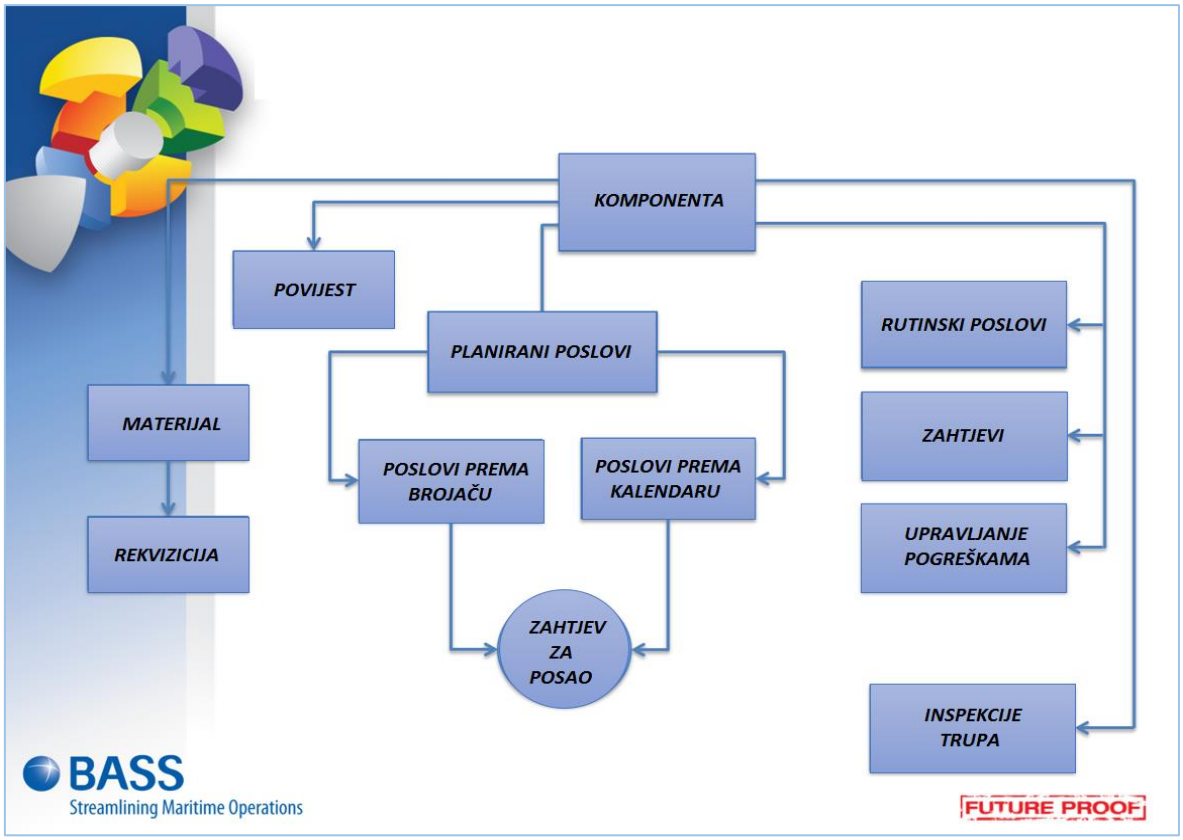
- **Generator izvješća** – služi za sastavljanje i izradu vlastitih izvješća, odnosno za izdvajanje podataka iz računalnog programa BASSnet.



Slika 16. BASSnet sučelje s modulima [12]

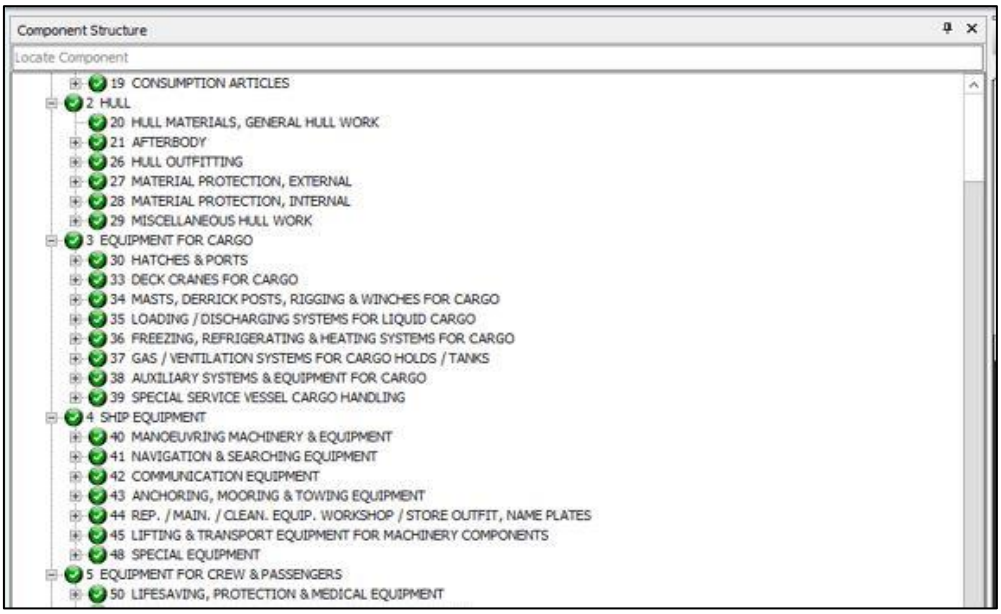
3.4. PRIKAZ BASSnet-a NA ANALIZIRANOM BRODU

Svaki računalni program pa tako i BASSnet sadrži svoja jedinstvena pravila korištenja i strukturu po kojoj se komponente određenog objekta slažu po zadanom rasporedu. Na Slici 17. prikazana je struktura toka procesa održavanja kroz računalni program BASSnet.



Slika 17. Tijek procesa održavanja kroz BASSnet [24]

Slaganjem objekata unutar BASSnet-a stvoreno je tzv. hijerarhijsko stablo unutar programa. Ono omogućava lakše korištenje i kretanje kroz program. Prikaz hijerarhijskog stabla, kao i prikaz objekata unutar BASSnet-a, je vidljiv na Slici 18.

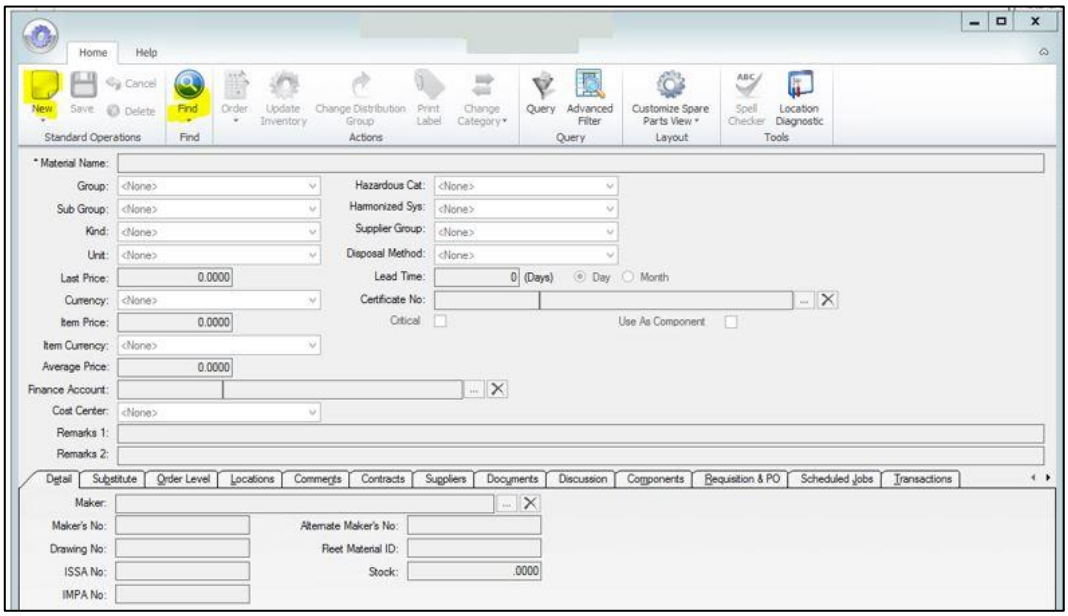


Slika 18. Hijerarhijsko stablo unutar BASSnet-a

Svaka stavka hijerarhijskog stabla ima pridruženu komponentu, sa svojim tipom, opisom, detaljima, poslovima, rezervnim dijelovima i brojačem radnih sati.

Na Slici 19. prikazana je stranica s pregledom rezervnih dijelova za birani uređaj. Svaki rezervni dio (engl. Spare part) određenog objekta sadrži niz detalja koji ga opisuju kao što su:

- ime rezervnog dijela,
- ime proizvođača,
- kodni broj proizvođača,
- vrijednost po jedinici količine,
- količina rezervnog dijela,
- mjesto skladištenja (npr. broj kutije, ormara, police,...).

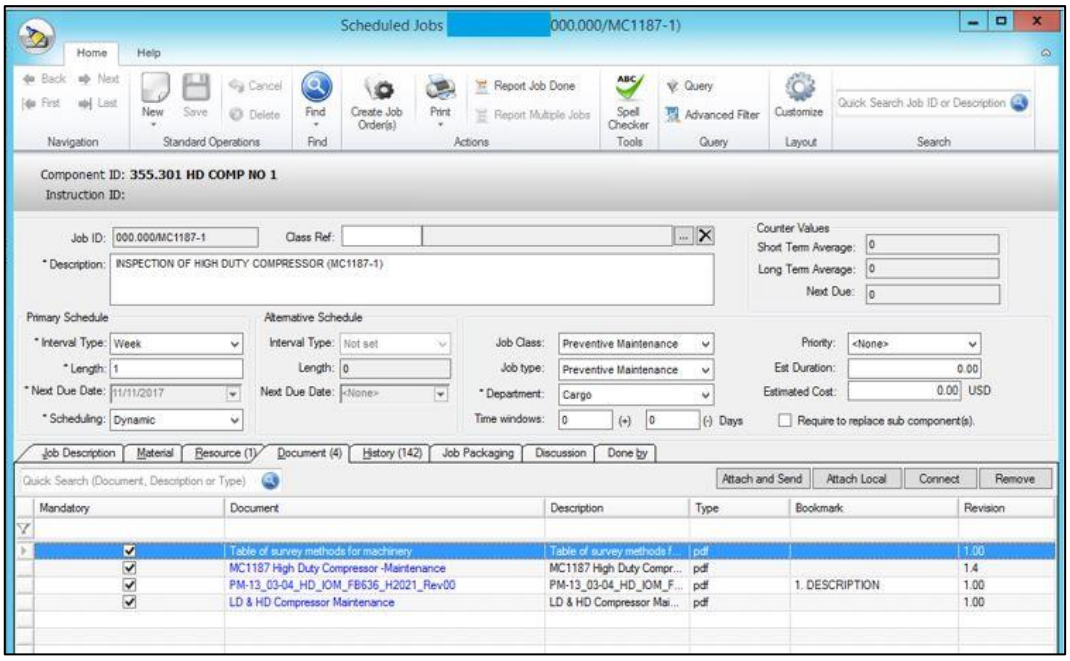


Slika 19. Rezervni dio unutar BASSnet-a

Unutar BASSnet-a se vodi evidencija o dvije vrste poslova:

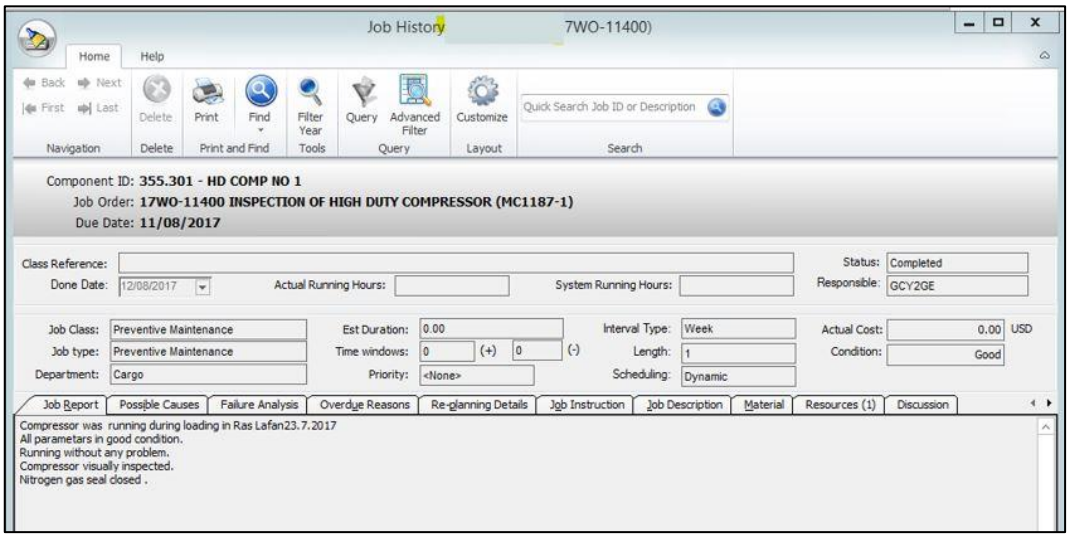
- planiranih poslova u sustavu (u BASSnet-u se zovu engl. Scheduled jobs),
- neplaniranih, odnosno korektivnih poslova (u BASSnet-u se zovu engl. Job orders).

Svaki obavljeni posao, na bilo kojem brodu, mora biti zapisan u obliku izvješća koji se čuvaju unutar sustava te su dostupni za čitanje i analizu u bilo kojem trenutku radnog vijeka broda.



Slika 20. Prikaz planiranih poslovi u sustavu BASSnet

Na Slici 20. prikazana je jedna slučajno odabrana komponenta u sustavu BASSnet i njeni planirani poslovi. Unutar svakog planiranog posla vidljiv je vremenski period između dva ista planirana posla. Poslovi se najčešće planiraju u određenom vremenskom intervalu, odnosno protekom dana, tjedana i mjeseci. Svaki planirani posao bi trebalo obaviti u zadanom vremenskom periodu te bi po završetku posla u računalni sustav trebalo upisati izvješće o svim obavljenim mjerenjima i zamijećenim nedostatcima.



Slika 21. Podstranica povijesti poslova u sustavu BASSnet

Na Slici 21. prikazano je izvješće obavljenog posla u sustavu BASSnet, s detaljnim opisom radova koji su napravljeni.

4. PREDMET ISTRAŽIVANJA

4.1. SUSTAV VENTILATORA STROJARNICE

Promatrani sustav sastoji se od četiri aksijalna ventilatora s detaljima koji su prikazani na Slikama 22. i 23.

SUPPLY SCOPE & WEIGHT LIST

for MACHINERY OUTFITTING SPACE — SHEET 1/2

SYS. No.	USE	SUPPLY ITEM		WEIGHT (kg/SET)	Q'ty / SHIP	TOTAL WEIGHT (kg)
S-21	No.1 ENGINE ROOM SUP. (RV, NON-REV.)	VENT. FAN with MOTOR	(AQ-1250)	820	1	820
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x60L)	-	40	-
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x65L)	-	20	-
		RUBBER PACKINGS	(5t, ø1250)	-	3	-
		ANTI-VIB. PACKING	(AVP-1250)	-	20	-
BLOCK No. : M310A ⚠		FAN SEAT	(FSV-1250)	69	1	69
		INLET CONE	(ICW-1250)	135	1	135
		MULTI-BLADE ROUND CLOSING DAMPER	(CDRB-1250)	350	1	350
S-22	No.2 ENGINE ROOM SUP. (LV, REVERSIBLE)	VENT. FAN with MOTOR	(AQ-1250)	820	1	820
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x60L)	-	40	-
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x65L)	-	20	-
		RUBBER PACKINGS	(5t, ø1250)	-	3	-
		ANTI-VIB. PACKING	(AVP-1250)	-	20	-
BLOCK No. : M310A ⚠		FAN SEAT	(FSV-1250)	69	1	69
		INLET CONE	(ICW-1250)	135	1	135
		MULTI-BLADE ROUND CLOSING DAMPER	(CDRB-1250)	350	1	350
S-23	No.3 ENGINE ROOM SUP. (LV, NON-REV.)	VENT. FAN with MOTOR	(AQ-1250)	820	1	820
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x60L)	-	40	-
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x65L)	-	20	-
		RUBBER PACKINGS	(5t, ø1250)	-	3	-
		ANTI-VIB. PACKING	(AVP-1250)	-	20	-
BLOCK No. : M310A ⚠		FAN SEAT	(FSV-1250)	69	1	69
		INLET CONE	(ICW-1250)	135	1	135
		MULTI-BLADE ROUND CLOSING DAMPER	(CDRB-1250)	350	1	350
S-24	No.4 ENGINE ROOM SUP. (RV, REVERSIBLE)	VENT. FAN with MOTOR	(AQ-1250)	820	1	820
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x60L)	-	40	-
		HEX. BOLTS & NUTS	(SUS304,M20x65L)	-	20	-
		RUBBER PACKINGS	(5t, ø1250)	-	3	-
		ANTI-VIB. PACKING	(AVP-1250)	-	20	-
BLOCK No. : M310A ⚠		FAN SEAT	(FSV-1250)	69	1	69
		INLET CONE	(ICW-1250)	135	1	135
		MULTI-BLADE ROUND CLOSING DAMPER	(CDRB-1250)	350	1	350

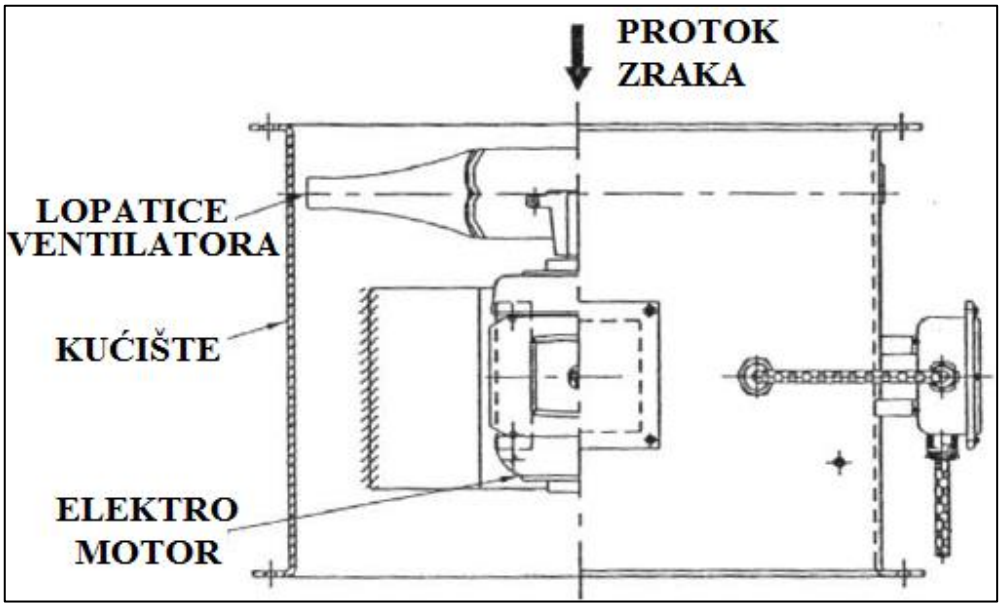
Slika 22. Podaci o ventilatorima [16]

Sva četiri ventilatora su identična, jedina razlika je u tome što su ventilatori broj 2 i 4 prekretni, tako da mogu raditi kao usisni i kao dobavni ventilatori.

SYS. No.	USE	FAN							ELEC. MOTOR					
		Q'ty /SHIP	TYPE	AIR VOLUME m^3/min	TOTAL PRESS. mmAq	STATIC PRESS. mmAq	FAN SPEED R.P.M	POWER CONSUMP. kW	TYPE	POLE	kW	R.P.M	RATING CURRENT A	STARTING CURRENT A
S-21	No.1 ENGINE ROOM SUP. (NON-REVERSIBLE) ⚠	1	AQ-1250/500	1,200	54.2	38	1,175	17.2	180L	6	22	1,175	42.4	339.0
S-22	No.2 ENGINE ROOM SUP. (REVERSIBLE) ⚠	1	AQ-1250/500	1,200	54.2	38	1,175	17.2	180L	6	22	1,175	42.4	339.0
S-23	No.3 ENGINE ROOM SUP. (NON-REVERSIBLE) ⚠	1	AQ-1250/500	1,200	54.2	38	1,175	17.2	180L	6	22	1,175	42.4	339.0
S-24	No.4 ENGINE ROOM SUP. (REVERSIBLE) ⚠	1	AQ-1250/500	1,200	54.2	38	1,175	17.2	180L	6	22	1,175	42.4	339.0

Slika 23. Detalji ventilatora [16]

Na istoj osovini s propelerom ventilatora smješten je i pogonski uređaj, asinkroni kavezni motor (Slika 24.) s karakteristikama prikazanima na Slici 23.



Slika 24. Promatrani ventilator s motorom [16]

4.1.1. Ventilatori

Brodski ventilatori ne razlikuju se puno po konstrukciji od ventilatora koji se koriste u drugim tehničkim sustavima. Razlika je najznačajnija kod zahtjeva da ventilatori za brodske izvedbe moraju biti otporni na vlagu.

Konstrukcija ventilatora vrlo je slična konstrukciji centrifugalnih i propelerskih pumpi koji imaju pokretni rotor s lopaticama. Teorija ventilatora je ista kao i teorija centrifugalnih pumpi gdje se za osnovu uzima Bernoulijeva jednadžba:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \tag{9}$$

gdje je:

p_1/p_2 – tlak,

$\rho v_1^2/ \rho v_2^2$ – kinetička energija,

$\rho g h_1/ \rho g h_2$ – potencijalna energija.

Primarno, ventilatori se na brodovima koriste za ventilaciju stambenih i radnih prostorija, dobavu zraka za rad brodskih uređaja, snižavanje temperature u strojnim prostorima te otklanjanje štetnih i opasnih plinova.

Ventilatore se može podijeliti:

- S obzirom na princip rada odnosno na smjer strujanja plinova na lopatice ventilatora, ventilatori se dijele na:
  - centrifugalne (radijalne), čiji je rotor u spiralnom kućištu,
  - propelerske (aksijalne) (Slika 24.), čiji je rotor u cijevi određenog oblika.

- Prema primjeni, ventilatori se dijele na:
  - dobavne ili potisne koji služe za dobavu zraka u neki prostor. Ovi ventilatori se ponekad nazivaju i tlačni ventilatori,
  - usisne koji služe za usis zraka iz nekog prostora,
  - prekretne koji mogu raditi i kao usisni i kao dobavni,
  - cirkulacijske koji cirkuliraju zrak u određenom prostoru.

- Prema pritisku koji daju, ventilatori se dijele na:
  - ventilatore niskog tlaka (do 0,01 bar),
  - ventilatore srednjeg tlaka (od 0,01 do 0,025 bar),
  - ventilatore visokog tlaka (više od 0,025 bar).

Brodski ventilatori su najčešće pogonjeni elektromotorima. Pri izboru ventilatora, njegov kapacitet proračunava se prema potrebama zraka za određeni brodski prostor, odnosno prema potrebnom broju izmjena zraka u prostoru na sat. Karakteristike pogonskog elektromotora ovise o karakteristikama odabranog ventilatora.

4.1.2. Aksijalni ventilator

Promatrani ventilator spada u propelerske ili aksijalne ventilatore. Propelerski ili aksijalni ventilator (Slika 24.) je dobio ime po izgledu rotora ili po smjeru strujanja zraka, koji struji paralelno s pogonskom osovinom rotora. Ventilator i pogonski stroj se nalaze unutar kućišta koji je istovremeno i cijev kojom struji zrak. Ovaj tip ventilatora se primjenjuje kada je potrebna veća količina zraka (veći kapacitet) pri relativno niskim pritiscima. Izvedba aksijalnog ventilatora je nešto skuplja i kompliciranija za održavanje od centrifugalnog ventilatora, pogotovo kod izvedbi s pogonskim strojem unutar cijevi ventilacije.

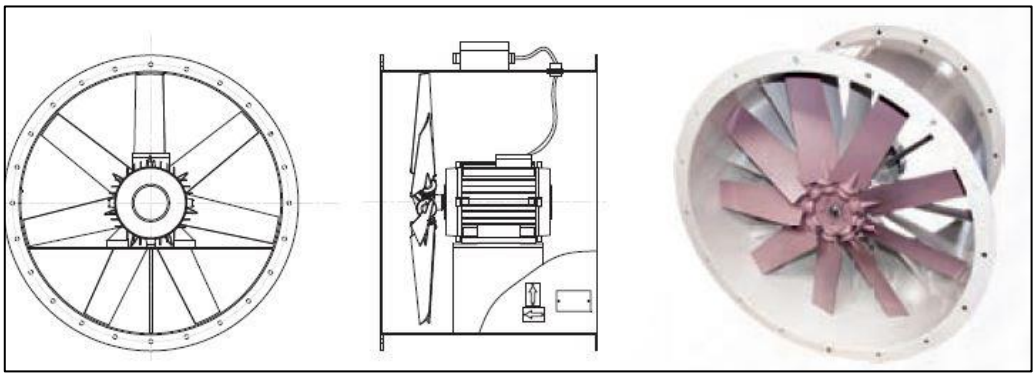
Izbor aksijalnog ventilatora i njegova izvedba je određena dužinom i promjerom kućišta (unutarnje dimenzija), debljinom lima kućišta, konstrukcijom motora i dodatnom opremom (npr. prigušivač ventilacije).

Aksijalni ventilator ima vrlo raširenu primjenu kako na brodu, tako i na kopnu. Ventilatori za primjenu na brodu su principom rada i izvedbom identični kopnenim uređajima, jedino što su materijali izvedbe brodskih ventilatora otporniji na vlagu i nagrizanje slanom atmosferom.

S obzirom na izvedbu kućišta i smještaj ventilatora razlikuju se:

- ventilatori s motorom u kućištu (dugo kućište),
- ventilatori s motorom djelomično u kućištu (kratko kućište),
- ventilatori s vanjskim motorom.

Kod konstrukcija s dugim kućištem (izvedba promatranog ventilatora) motor i ventilator se nalaze u potpunosti u kućištu, a izvana je samo priključna kutija (Slike 24 i 25). Konstrukcija s dugačkim kućištem najčešće ima servisni otvor koji dozvoljava pristup pri servisiranju, ponekad u obliku vrata sa šarkama radi bržeg pristupa.



Slika 25. Dugačko kućište propelerskog ventilatora [21]

4.1.3. Pogonski stroj promatranog ventilatora

Elektromotor (električni motor) je stroj koji pretvara električnu energiju u mehanički rad. Dvije su glavne vrste električnih motora:

- motor za istosmjernu struju (istosmjerni motor),
- motor za izmjenične struje (izmjenični motor).

Na temelju spoznaja o djelovanju magnetskih polja silom na vodič kojim teče struja, prvi elektromotor je poznat od 1833. godine, a napajao se istosmjernom strujom iz baterije galvanskih ćelija.

Izum motora za izmjeničnu struju povezan je s primjenom sustava višefaznih struja i napona te okretnih magnetskih polja, a u uporabi su od 1888. godine.

Postoje četiri vrste motora [35]:

- istosmjerni kolektorski motori,
- asinkroni kavezni,
- sinkroni motori s uzbudnim namotima,
- sinkroni motori s permanentnim magnetima.

Asinkroni kavezni motori (izvedba promatranog pogonskog stroja ventilatora) su najrašireniji motori u brodskim i kopnenim elektromotornim pogonima. U sustavima električne propulzije asinkroni motori se koriste od samih početaka pa je tako i prvi brod s električnim prijenosom snage na brodski vijak „Jupiter“ izgrađen 1913. imao dva propulzijska asinkrona motora napajana iz turbogeneratora koji su direktno pogonili brodske vijke.

Statorski namot (Slika 26.) sastoji se od tri fazna namota koji su izvedeni tako da su njihove geometrijske osi prostorno pomaknute za 120°. Na trofazni statorski namot narinu se simetrični sinusni fazni naponi (u_{as}, u_{bs}, u_{cs}) koji su vremenski fazno pomaknuti za 120°. Zbog prostornog pomaka faznih namota od 120° i vremenski fazno pomaknutih struja od 120°, sve tri struje stvaraju jedinstveno okretno magnetsko polje koje se vrti sinkronom brzinom [36]:

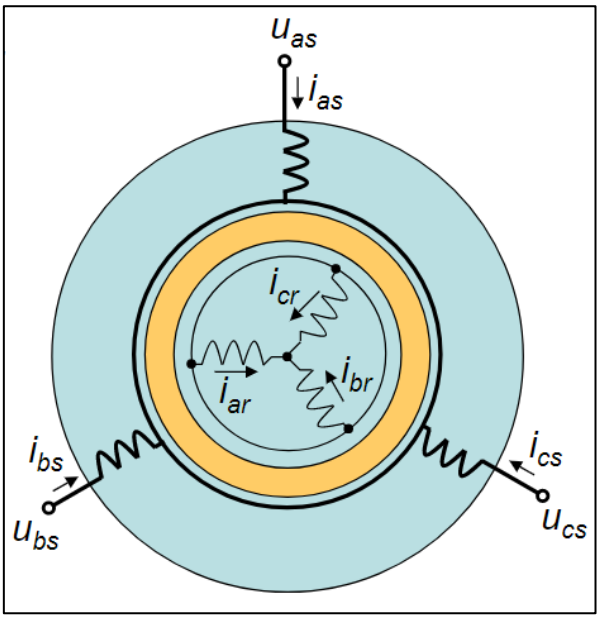
$$n_s = \frac{60\, f_s}{p}\ [min^{-1}] \tag{10}$$

gdje je:

n_s – brzina vrtnje magnetskog polja,

f_s – frekvencija,

p – broj pari polova.



Slika 26. Presjek namota asinkronog motora [32]

Prednosti asinkronih kaveznih motora proizlaze iz jednostavne i robusne konstrukcije rotora. To su: [32]

- jednostavno održavanje,
- niska cijena,
- dobra mogućnost preopterećenja,
- robusnost i pouzdanost,
- male dimenzije i težina,
- jednostavno upravljanje.

Asinkroni se motor razlikuje od istosmjernih i sinkronih po tome što nema klasične uzbude pa je jako izražen problem gubitka magnetskog protjecanja u zračnom rasporu, što je i osnovni uzrok njegovim nedostacima:

- manji zračni raspor,
- niži stupanj korisnosti,
- niži faktor snage.

5. ANALIZA ODRŽAVANJA SUSTAVA VENTILACIJE

5.1. ODRŽAVANJE VENTILATORA STROJARNICE

Plan održavanja sustava ventilatora strojarnice, koji se nalazi unutar sustava planiranog odražavanja broda, kreiran je iz tri glavna izvora:

- preporuka proizvođača [16],
- raznih pravila, npr. klasifikacijskih društava [1],
- iskustvu brodovlasnika ugrađenom u tvrtkin SMS [18].

5.1.1. Preporučeno održavanje proizvođača

Prilikom nabavke uređaja koji će biti ugrađen na brod, kupac dobiva instrukcijsku knjigu s karakteristikama uređaja i uputama za njegovo održavanje. Tablica 1. prikazuje prijevod instrukcija za održavanje preuzet iz instrukcijske knjige proizvođača promatranog ventilatora.

Tablica 1. Preporučeno održavanje od strane proizvođača

Interval	Način provjere	Korektivne mjere
Dnevno	Provjera zvukova, vibracija i temperatura metodom slušaj, osjeti, opipaj.	U slučaju zamijećenih nedostataka zaustaviti pogon i ukloniti uzrok (popraviti kvar).
Tjedno	Provjera rotacije motora okretanjem rukom.	U slučaju zamijećenih nedostataka zaustaviti pogon i ukloniti uzrok (popraviti kvar).
	Mjerenje otpora izolacije. Provjera uzemljenja.	U slučaju zamijećenih nedostataka zaustaviti pogon i ukloniti uzrok (popraviti kvar).
Mjesečno	Mjerenje otpora izolacije.	U slučaju zamijećenih nedostataka zaustaviti pogon i ukloniti uzrok (popraviti kvar).
	Provjera statora.	Očistiti zahvaćeno područje.
	Provjera rasklimanosti spojeva terminala.	Učvrstiti rasklimani spoj.
	Provjera dijela za podmazivanje.	Dodati mast i obnovi ležaje.
Tromjesečno	Mjerenje otpora izolacije.	Ako mjerenje pokazuje vrijednosti manje od minimuma, (1 Mohm ili više) popraviti kvar.
Šestomjesečno	Provjera rada pokretača i ostalih uređaja.	U slučaju zamijećenih nedostataka zaustaviti pogon i ukloniti uzrok (popraviti kvar).
	Zamijeniti neispravni ili izgoreni dio.	Ako je potrebno, zamijeniti. Učvrstiti rasklimani spoj.
	Provjera rasklimanosti vijaka i matica.	Učvrstiti rasklimani vijak ili maticu. Zamijeniti istrošeni vijak ili maticu s novim.
Godišnje	Mjerenje zračnosti između statora i rotora. Provjera poteškoća kod ležajeva.	Zamijeniti istrošeni ležaj rezervnim dijelom. Očistiti vratilo i ležajeve.
	Provjera broja dijelova Mjerenje otpora izolacije (rezervnih motora).	Usporediti s inventurnom listom Ako je izolacija oštećena, istražiti uzrok i popraviti kvar.

Planiranje poslova održavanja po preporuci proizvođača je vezano isključivo uz vremenski interval (Tablica 1.), ne uzimajući u obzir broj radnih sati uređaja.

5.1.2. Zahtjevi i pravila klasifikacijskog društava

Klasifikacijska društva propisuju brodovlasnicima kriterije održavanja i vremenski period u kojem se određeni posao održavanja pojedine komponente mora izvršiti.

Slika 27. prikazuje kriterije održavanja komponente koja se analizira u radu prema ABS klasifikacijskom društvu [1].

ABS Survey Manager Survey Status

Name :
Status : **In Operation, Active, Classed**
Class Number :
IMO Number :

Machinery Item(s)	Status	Due Date	Extended Date	Next Due Date	ABS Approved Program
Steering Gear System		2019			
Steering Gear Unit - Press. Test [1]		2019			
Steering Gear Unit - Ops. Test [1]		2019			
Steering Gear Unit [1]		2019			
Steering Gear Hydraulic Piping [1]		2019			
Steering Gear Hydraulic Pumps		2019			
Steering Gear Relief Valve		2019			
Steering Gear Relief Valve - Ops. Test [1]		2019			
Stern Tube Lubricating Oil System		2019			
Stern Tube Lubricating Oil System Piping [1]		2019			
Tank Vents And Overflow System		2019			
Ventilation System		2019			
Engine Room Fans		2019			

Slika 27. Lista poslova klasifikacijskog društva [1]

Prema podacima klasifikacijskog društva [1], remont (engl. overhaul) ventilatora strojarnice se mora obaviti kroz period od 60 mjeseci.

5.1.3. Nedostatak u Planu održavanja

Unutar pregledane baze podataka nisu pronađeni planirani poslovi za remont ventilatora strojarnice koji bi zadovoljili ovaj zahtjev, odnosno pretraživanjem baze podataka otkriven je nedostatak unutar baze.

5.1.4. Održavanje po pravilima SMS-a

SMS tvrtke za održavanje ventilatora propisuje:

- provjera ventilatora u radu, kontrola zvuka i mjerenje vibracija treba biti obavljena svaka tri mjeseca,
- mjerenje otpora namotaja (*Megger test*) i vizualni pregled elektromotora treba biti obavljen svaka tri mjeseca,

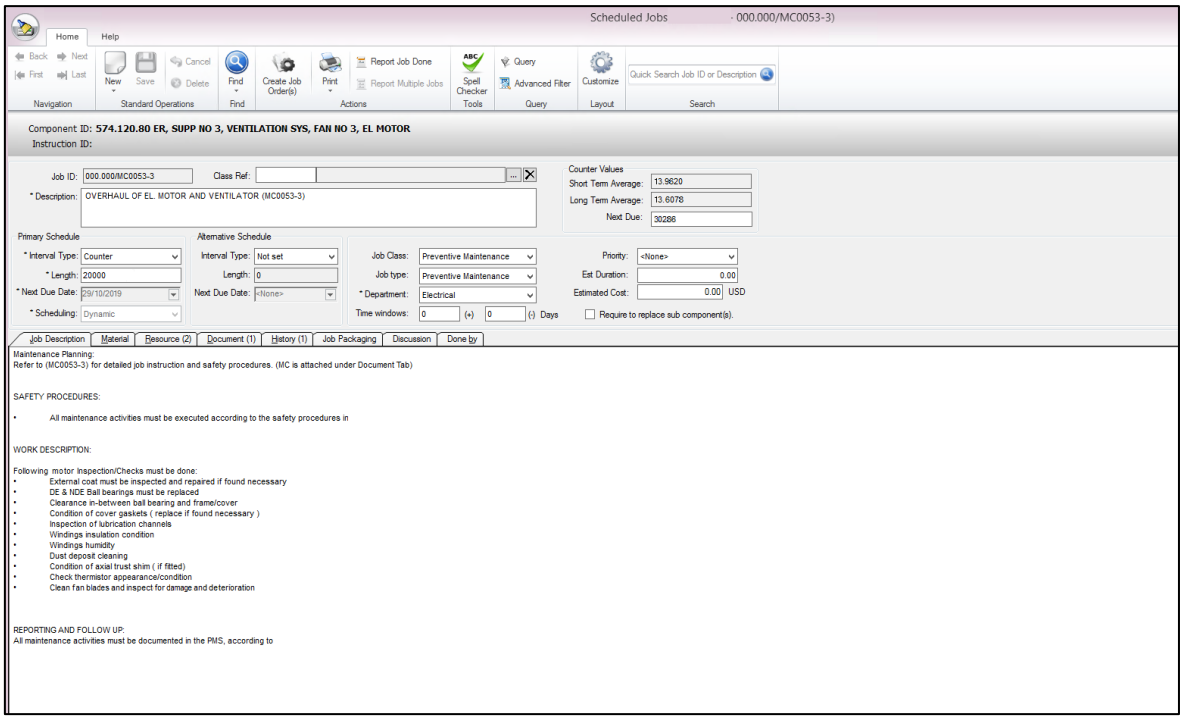
- test elektromotora u radu uz kontrolu parametara (jakosti struje i temperature) treba obaviti svaka tri mjeseca,
- remont elektromotora i ventilatora treba obaviti svakih 20000 radnih sati bez obzira na stanje uređaja.

5.1.5. Održavanje sustava ventilatora

Plan održavanja sustava ventilatora strojarnice kombinacija je preporuke proizvođača [17] i SMS pravila. Dnevni i tjedni poslovi koji su preporučeni od proizvođača, brodovlasnik ne uključuje u sustav za planirano održavanje već preporuča da oni budu dio rutinskih poslova. Primjer su poslovi kao što su svakodnevna provjera temperature, vibracija i slično koji spadaju u rutinske poslove kao i provjera uzemljenja koja se obavlja pritiskom na dugme.

Plan održavanja ventilatora se sastoji od četiri posla koja se obavljaju periodički:

- **Mjerenje otpora izolacije elektromotora** se vrši svaka tri mjeseca, izvještaj u bazi podataka planiranog održavanja uključuje rezultat mjerenja otpora i izvještaj o vizualnom pregledu elektromotora.
- **Kontrola vibracija ventilatora i elektromotora** se vrši svaka tri mjeseca, provjerom zvuka i vibracija dok je ventilator u radu. Izvještaj u bazi podataka planiranog održavanja uključuje rezultat mjerenja vibracija koji može biti naznaka mogućeg kvara.
- **Pregled ventilatora i elektromotora** se vrši svakih 5000 sati i uključuje pregled ventilatora bez demontaže, provjeru vijaka i kućišta te ukupnog stanja elektromotora. U slučaju zamijećenih nedostataka potrebno je odraditi remont ventilatora i elektromotora.
- **Remont ventilatora i elektromotora** (Slika 28.) se obavlja svakih 20000 sati. Prilikom remonta se može, ali i ne mora, obnavljati izolacija namotaja, ovisno o stanju iste.



Slika 28. Snimka zaslona BASSnet-a s opisom poslova remonta

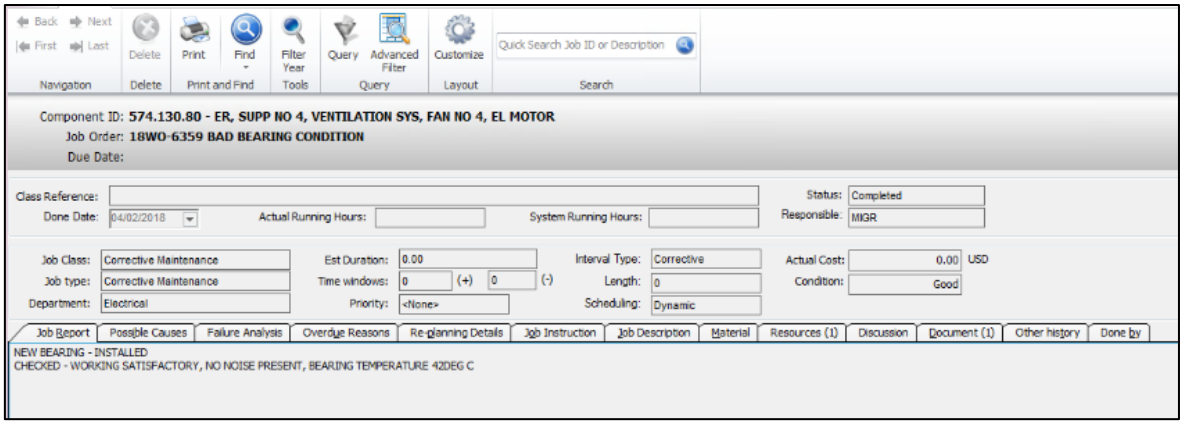
5.2. POVIJEST ODRŽAVANJA

Iz računalnog sustava za planirano održavanje izvučeni su podaci o pregledu i remontu ventilatora i motora (Tablica 2.), poslovi provjere i mjerenja kao rutinski, a manji poslovi nisu navedeni.

Tablica 2. Povijest održavanja ventilatora i motora

Ventilator	Datum	Ukupni radni sati	Radni sati od remonta	Vrsta posla
Br.1	12.4.2014	5135	5135	Pregled
Br.1	7.3.2015	10389	10389	Pregled
Br.1	19.6.2016	15203	15203	Pregled
Br.1	4.8.2017	20366	20366	Remont
Br.2	3.6.2014	5262	5262	Remont
Br.2	8.8.2015	10509	5247	Pregled
Br.2	29.7.2016	15290	10028	Pregled
Br.2	17.9.2017	20434	15172	Pregled
Br.3	15.9.2014	5464	5464	Pregled
Br.3	6.12.2015	10263	10263	Pregled
Br.3	26.10.2016	15387	15387	Remont
Br.3	13.9.2017	20638	5251	Pregled
Br.4	8.7.2014	5175	5175	Pregled
Br.4	1.9.2015	10286	10286	Remont
Br.4	9.10.2016	15264	4978	Pregled
Br.4	27.7.2017	20633	10347	Pregled
Br.4	4.2.2018	23826	13540	Remont – korektivni

Iz zapisa o održavanju (Job history) može se iščitati da je 4. veljače 2018. došlo do promjene zvuka ventilatora u radu. To je bila indikacija da se pristupi popravku na način da se obave svi radovi predviđeni poslom remonta MC0053-3 (Slika 28.).

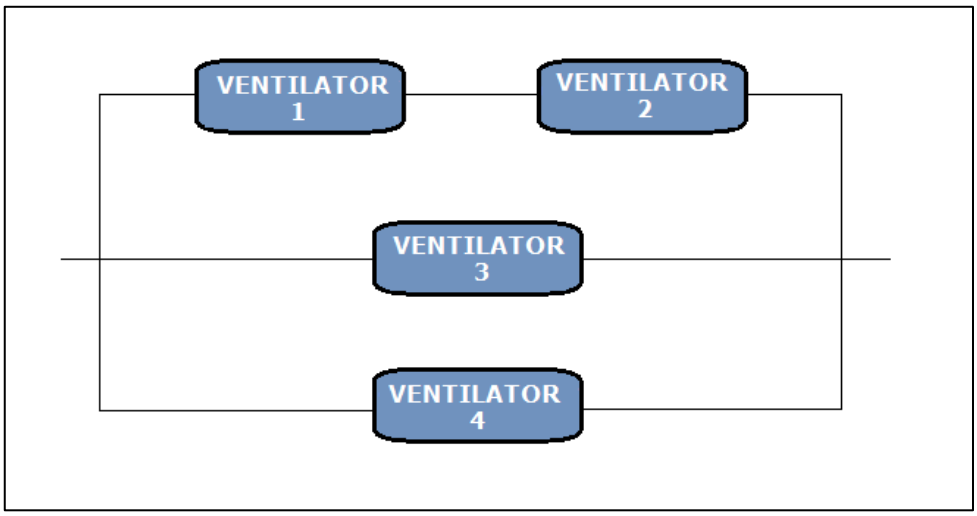


Slika 29. Snimka zaslona BASSnet-a s izvještajem korektivnog posla

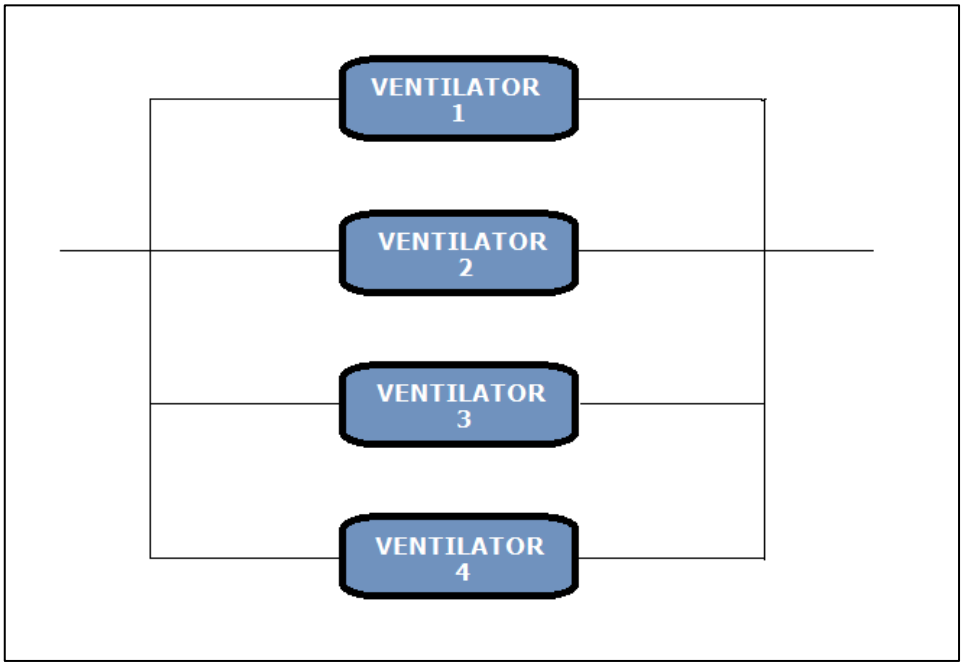
U izvještaju o obavljenom poslu navedeno je da su ležajevi promijenjeni, da motor radi ispravno, više nema buke te da je temperatura normalna (Slika 29.).

5.3. RAD VENTILATORA STROJARNICE

Iz podataka o sustavu vidljivo je da su potrebna dva ventilatora u dobavnom načinu rada za normalnu opskrbu zrakom (Slika 30.), dok je jedan ventilator u dobavnom načinu rada nužan za minimalnu količinu zraka u strojarnici tijekom navigacije (Slika 31.).



Slika 30. Preporučena radna konfiguracija ventilatora (konf. A)



Slika 31. Konfiguracija ventilatora za rad u nuždi (konf. B)

Podaci o radnim satima ventilatora strojarnice na dan 1. ožujka 2018. su preuzeti iz računalnog programa za planirano održavanje. Iz podataka o radu ventilatora, prikazanima u Tablici 3., je vidljivo da je stvarna upotreba ventilatora nešto veća od preporučene konfiguracije (Slika 30.). Radi daljnje analize izračunati su ukupni radni sati sustava, kao i prosječan dnevni broj radnih sati. Za izračun prosječnih radnih sati korišten je datum primopredaje broda: 3. svibnja 2013.

Tablica 3. Vrijeme rada ventilatora strojarnice (na dan 01.03.2018)

Ventilator #	Br. 1	Br. 2	Br. 3	Br. 4	Ukupno
Broj radnih sati (ukupno)	23163	22986	22732	23977	92858
Broj radnih sati (dnevno)	13,1	13,0	12,9	13,6	13,2
Broj radnih sati (godišnje)	4798,2	4745,4	4709,0	4950,0	4808,9

5.4. IZRAČUN POUZDANOSTI SLUČAJNIH KVAROVA

Kao najjednostavniji način izračuna pouzdanosti nekog sustava koristi se metoda slučajnih kvarova koja je određena izrazom 1.

Tablica 4. Indeks kvarova i srednje vrijeme između kvarova

Ukupan broj radnih sati	t = 92858 [h]
Broj kvarova	n = 1
Indeks kvara	$\lambda = \frac{n}{t} = 10{,}76913 * 10^{-6}\ [h^{-1}]$
Srednje vrijeme između kvarova	$m = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{10{,}76913 * 10^{-6}}[h]$

Izračun pouzdanosti napravljen je po izrazu 4 koji je zbog zalihosti modificiran u izraze 11 i 12.

Radna konfiguracija (Konfiguracija A) ima ukupnu pouzdanost koja je iskazana je izrazom 11:

$$R_{sys\,rec} = 1 - [(1 - R_1 * R_2) * (1 - R_3) * (1 - R_4) \tag{11}$$

Izraz koja predstavlja pouzdanost za četiri ventilatora strojarnice spojena u paralelu, tj. konfiguraciju B (Slika 31.), se može napisati putem sljedećeg izraza:

$$R_{sys\,min} = 1 - [(1 - R_1) * (1 - R_2) * (1 - R_3) * (1 - R_4)] \tag{12}$$

gdje je:

R_1 – pouzdanost ventilatora 1,

R_2 – pouzdanost ventilatora 2,

R_3 – pouzdanost ventilatora 3,

R_4 – pouzdanost ventilatora 4.

Kako se radi o identičnim komponentama, izraz 12 se može zapisati i u sljedećem obliku:

$$R_{sys\,min} = 1 - (1 - R_1)^4 \tag{13}$$

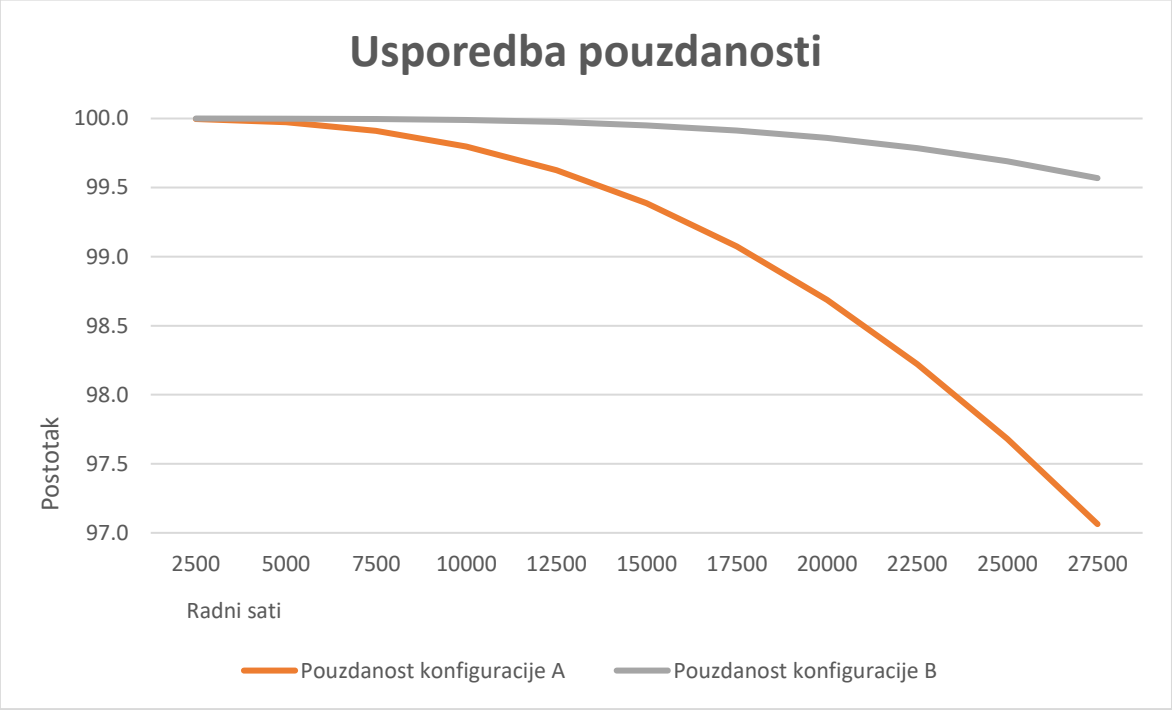
Vidljivo je da pouzdanost sustava raste porastom zalihosti sustava, tj. povećanjem broja komponenti iste vrste, sveukupna pouzdanost sustava će rasti.

Izračun pouzdanosti ventilatora metodom slučajnih kvarova napravljen je prema izrazu 4 po podacima iz Tablice 4. Rezultati pouzdanosti sustava prikazani su u donjem redu Tablice 5.

Tablica 5. Izračun pouzdanosti analiziranog sustava

Sati rada	2500	5000	7500	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500
Pouzdanost uređaja[%]	97,344	94,758	92,241	89,790	87,405	85,084	82,823	80,623	78,482	76,397	74,368
Konfiguracija A [%]	99,996	99,972	99,910	99,798	99,626	99,386	99,074	98,686	98,222	97,680	97,063
Konfiguracija B [%]	100,000	99,999	99,996	99,989	99,975	99,950	99,913	99,859	99,786	99,690	99,568

Prema podacima iz Tablice 5., moguće je predstaviti grafički prikaz (Slika 32.) koji u obliku krivulje prikazuje pouzdanost analiziranog sustava tijekom određenog perioda odrađenih radnih sati.



Slika 32. Grafički prikaz pouzdanosti analiziranog sustava

Krivulje na Slici 32. imaju vrlo veliku pouzdanost, zbog ograničene veličine analiziranog uzorka dobivene vrijednosti mogu odstupati od rezultata sličnih sustava [33], [13].

5.4.1. Analiza rada ventilatora

Iz Tablice 3. dobiveni su slijedeći podaci:

- prosječan broj radnih sati varira od 12,9 sati kod ventilatora broj 3 do 13,6 sati kod ventilatora broj 4,
- na godišnjoj razini, broj radnih sati varira od 4709,0 do 4950,0 sati.

Ako je prosječan godišnji broj radnih sati 4808,9 (Izračun prikazan u Tablici 3.) i remont ventilatora treba napraviti na 20000 radnih sati, remont sva četiri ventilatora će biti napravljen svakih 4,16 godina ili 4 godine i 58 dana.

Prema podacima klasifikacijskog društva [1], remont ventilatora strojarnice se mora obaviti kroz period od 60 mjeseci. Po podacima iz Tablice 3. najveći broj radnih sati ima ventilator br. 4 u iznosu od 4950 godišnje. U pet godina taj ventilator bi imao ukupno 24750,0 radnih sati. Shodno ovom izračunu, preporučeno održavanje prema zahtjevima klase odvijalo bi se svakih 60 mjeseci ili zaokruženo, svakih 25000 radnih sati.

5.4.2. Rezultat analize i prijedlog promjene

Analiza radne konfiguracije sustava ventilatora (Konfiguracija A) pokazala je iznimno veliku pouzdanost pri slučajnim kvarovima u analiziranom periodu koja je veća od 98%. Ukoliko se ta pouzdanost izračuna za konfiguraciju B (Konfiguracija ventilatora za rad u nuždi) tada je pouzdanost pri slučajnim kvarovima u analiziranom periodu 99%.

Oba rezultata upućuju da se period izvođenja remonta može (treba) povećati. Samo povećanje je ograničeno zahtjevima klasifikacijskih društava na 60 mjeseci, odnosno prema izračunu (Poglavlje 5.4.1.), na 25000 radnih sati. Predviđeno povećanje perioda održavanja neće bitnije utjecati na smanjenje pouzdanosti sustava (Slika 32.), ukupno najveće smanjenje će biti oko 1%.

Shodno rezultatima analize, može se predložiti promjena plana održavanja ventilatora strojarnice na slijedeći način:

- period održavanja povećati s 20000 na 25000 radnih sati,
- unijeti dodatni kriterij remonta ventilatora svakih 60 mjeseci, čime bi se zadovoljili uvjeti Klasifikacijskih društava te otklonio nedostatak u bazi podataka.

5.4.3. Potencijalna ušteda

Potencijalni ekonomski učinak modifikacije može se podijeliti u nekoliko dijelova:

- smanjenje troškova osoblja,
- smanjenje troškova rezervnih dijelova,
- smanjenje troškova potrošnog materijala,
- smanjenje troškova naručivanja, isporuke i skladištenja dijelova.

Smanjenje troškova osoblja mora se postići bez utjecaja na plaću koja za kvalificiranog električara u prosjeku iznosi 4000 - 5500 $ [11], odnosno njegova satnica iznosi 18,75 $ uzimajući kao referencu prosječnu plaću od 4500 $. Iz podataka generičke baze [25] preuzet je podatak da se za glavno održavanje elektromotora ventilatora u koje je uključena obnova (lakiranje) izolacije namotaja statora mora izdvojiti u prosjeku 55,6 sati rada.

$$T * HS * n = OhC \tag{14}$$

gdje je:

T – vrijeme potrebno za remont (u satima rada),

HS – satnica,

n – broj jedinica (ventilatora),

OhC – troškovi remonta.

Za potrebe remonta jednog ventilatora i pripadajućeg elektromotora potrebno je da brodar izdvoji 1042,50 $ samo na satnice pomoraca koji obavljaju poslove održavanja. Za remont sva četiri ventilatora strojarnice s pripadajućim elektromotorom, potrebno je izdvojiti 4170 $.

Troškovi rezervnih dijelova, tj. para kotrljajućih ležajeva 6318C3 i 6316C3, kupljenih direktno od proizvođača iznosi oko 340 $ (po podacima iz odjela nabave brodarske tvrtke). Troškovi dijelova za sva četiri ventilatora iznose 1360 $.

Troškovi potrošnog materijala, troškovi naručivanja, nabave i skladištenja rezervnih dijelova su različiti za svaki pojedini slučaj i nisu prikazani u ovom izračunu.

Prihvaćanjem prijedloga promjene plana održavanja remont svih ventilatora bi se umjesto svake 4 godine i 58 dana obavljao svakih 5 godina, čime bi se troškovi održavanja podijelili na duži period (Tablica 6.).

Tablica 6. Troškovi remonta

	Ukupni troškovi	**Godišnji troškovi** Remont po sadašnjem planu održavanja	**Godišnji troškovi** Remont po izmijenjenom planu održavanja	**Ušteda**
Troškovi rada	4170 $	1002,40 $	834 $	168,40 $
Troškovi dijelova	1360 $	326,92 $	272 $	54,92 $
Ukupno	5530 $	1329,33 $	1106 $	223,33 $

Ukupna ušteda predložene promjene plana održavanja godišnje iznosi 223,33 $, ne računajući troškove potrošnog materijala, naručivanja, nabave i skladištenja rezervnih dijelova. Ako bi se u proračun uvrstili prethodno spomenuti troškovi, ukupna ušteda bi iznosila znatno više.

6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano kako se podaci računalnog sustava za planirano održavanje mogu, odnosno kako se trebaju, koristiti za izmjenu plana održavanja. Zapisi o održavanju sustava ventilatora strojarnice, nakon perioda od 5 godina, pružili su dovoljno informacija da bi se mogla izvršiti analiza održavanja, odnosno izračun pouzdanosti sustava pri slučajnim kvarovima sustava. Rezultati analize dviju radnih konfiguracija sustava pokazali su potrebu povećanja perioda održavanja sustava ventilacije strojarnice. Predloženo povećanje perioda ne bi imalo veći utjecaj na pouzdanost pri slučajnim kvarovima sustava, a polučio bi se određen financijski učinak. Smanjenje troškova održavanja koje bi se ostvarilo povećanjem vremenskog perioda održavanja iznosi više od 200 dolara godišnje. Daljnje povećanje perioda održavanja na ovom sustavu ne bi bilo moguće zbog ograničenja koje propisuju Klasifikacijska društva (Poglavlje 5.1.2. i Poglavlje 5.4.1.).

Izračun pouzdanosti pri slučajnim kvarovima, koristeći podatke preuzete iz sustava za planirano održavanje, dobra je osnova za promjenu plana održavanja. Tim postupkom planirano održavanje bi se približilo postavkama održavanja koje se temelji na pouzdanosti. Sustavna analiza podataka planiranog održavanja trebala bi biti nastavljena i nakon izvršenog podešavanja, kako bi se pratilo stanje nakon podešavanja. Protokom vremena i povećanjem broja sustava koji se analiziraju, preciznost analize će se povećati.

Sustav ventilacije strojarnice predstavlja jedan od pomoćnih sustava brodskog pogona. Predložena promjena plana održavanja ovog podsustava, provedena bez većeg utjecaja na pouzdanost, donijela bi uštedu na održavanju veću od 200 dolara godišnje. Kada bi se ovaj pristup analize i izmjene plana održavanja primijenio na cijeli brod, ušteda u procesu održavanja bila bi znatna.

Dodatni zaključak ovog rada jest da se sustavnim pregledavanjem i analizom podataka mogu pronaći nedostaci unutar sustava održavanja (Poglavlje 5.1.3.) te da dodatni rad na sustavu može voditi ka poboljšanju plana održavanja (Poglavlje 5.4.2.).

POPIS LITERATURE

[1] ABS.: URL: https://ww2.eagle.org/en.html, (pristupljeno 18.05.2018).

[2] Ahmad, R.; Kamaruddin, S.: *An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application*, School of Mechanical Engineering, Penang, 2012.

[3] Baban, Lj.: *Primjena metodologije znanstvenog istraživanja*, Ekonomski fakultet Sveučilišta Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 1993.

[4] Babicz, J.: *Wärtsilä Encyclopedia of Ship Technology*, Second Edition, Helsinki 2015, ISBN 978-952-93-5536-5.

[5] Bajestani, M.: *Integrating maintenance planning and production scheduling: Making operational decisions with a strategic perspective*, Toronto, 2014. dostupno na: URL: http://tidel.mie.utoronto.ca/pubs/Theses/Aramon_Bajestani_Maliheh_201406_PhD_thesis.pdf, (pristupljeno 10.05.2018.).

[6] Barle, J.: *Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sustava*, Autorizirana predavanja, Split, 2008.

[7] Besnard, F; Fischer, K; Bertling, L.: *Reliability-centered asset maintenance – A step towards enhanced reliability, availability, and profitability of wind power plants*, URL: http://ai2-s2-pdfs.s3.amazonaws.com/27c7/2aad598984cdd58090ae27df4640905a2302.pdf (pristupljeno 8.11.2017.)

[8] Conachey, R; Montgomery, R.: *Application of reliability-centered maintenance techniques to the marine industry*, 2003. URL: https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/Technical%20Papers/2003/ApplicationReliabilityCenteredMaintenance (pristupljeno 8.11.2017.).

[9] Couzens, S; Hiroshige, S.: *Preventive maintenance principles*, MIT-ESD course 2006.

[10] Crespo Marquez, A.: *The Maintenance Management Framework*, Journal of Quality in Maintenance Engineering 15(2): str. 167-178 · May 2009. DOI: 10.1108/13552510910961110.

[11] Cruise Ship Jobs, URL: http://www.cruiseshipjob.com/electrician-jobs.html (pristupljeno 02.06.2018).

[12] Dalan, H.: *About BASS and the BASSnet – Fleet management systems*, presentation, London, 2017.

[13] Dobrota, D.: *Modeliranje distribucije priora u analizi kvarova brodskih hidrauličkih uređaja*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2017.

[14] Dummer, G; Tooley, M; Winton, R.: *An elementary guide to reliability*, Butterworth-Heinemann, 1997.

[15] Hattie, J.; Timperley, H.: *The power of feedback, Review of Educational Research*, 2007., str. 77, 81-112, URL: https://www.bvekennis.nl/Bibliotheek/16-0955.pdf (pristupljeno 23.05.2018).

[16] HHI.: *Ventilation fans for machinery outfitting space*, Hyundai Heavy Industries Co. Ltd., 2007.

[17] HHI.: *Instruction manual for three phase low voltage induction motor*, Hyundai Heavy Industries Co. Ltd.

[18] International Maritime Organization.: *Revised ISM code*, London, 2015.

[19] Komar, I.: *Autorizirana predavanja*, Pomorski fakultet, Split, 2014.

[20] Komar, I.: *Menadžment održavanja*, Pomorski fakultet, Split, 2014., str. 7.

[21] Končar – MES: Ventilatori – Katalog.

[22] Kulenović, Z.:*Metodologija istraživačkog rada,* Pomorski fakultet, Split, 2005.

[23] Labib, A.: *A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS*, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 10 Issue: 3, str.191-202, 2004., URL: https://doi.org/10.1108/13552510410553244.

[24] Mesina, O.: *BASSnet Maintenance*, Instruction manual 2013.

[25] Oreda Participants: *Offshore Reliability Data Handbook*, Fourth Edition, Det Norske Veritas, 2002.

[26] Ozretić, V.: *Brodski pomoćni strojevi i uređaji,* Split, 1996., ISBN 953-96917-0-2.

[27] Raheja, D.; Llinas, J.; Nagi, R.; Romanowski, C.: *Data fusion/data mining-ased architecture for condition-based maintenance*, International Journal of Production Research, 2006.

[28] Rausand, M.; Høyland, A.: *System Reliability Theory Models, Statistical Methods, and Applications*, Wiley Interscience, 2014., str. 174-183.

[29] Stojanović, R.: *Teorija pouzdanosti i održavanje brodskih sistema*, 2009. URL: http://www.apeg.ac.me/docs/TPIOBS_1.pdf (pristupljeno 5.11.2017.).

[30] Szwedo, J.: *Preventive, predictive and corrective maintenance*, Baxter & Woodman, WWOA Annual Conference WWOA Annual Conference October 2012.

[31] Šegulja, I; Bukša, A.: *Održavanje brodskog pogona*, Pomorstvo, 2006., str. 105-107.

[32] Terzić, B.: *Autorizirana predavanja*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split.

[33] Tversky, A.; Kahneman, D.: *Belief in teh law of small numbers. Psychological bulletin*, 1971., Vol 76 No 2: str. 105-110.

[34] Ungureanu, N; Ungureanu, M; Cotetiu, A; Barišić, B; Grozav, S.: *Principles of the maintenance management*, Scientific Bulletin, Serie C, Volume XXIV, 2010., str. 69-72.

[35] Vučetić, D.: *Brodski elektroenergetski sustavi*, Rijeka, 2011.

[36] Vučetić, D.: *Brodski električni strojevi i sustavi*, Pomorski fakultet, Rijeka, 2011.

[37] Vučinić, B.: *Maintenance concept adjustment and design*, Tehnički fakultet, Rijeka, 1994.

POPIS SLIKA

Slika 1. Sustav brodskog održavanja [31] 7
Slika 2. Održavanje kroz povijest [20] 8
Slika 3. Pristupi održavanja sustava [31] 9
Slika 4. Korektivno održavanje [19] 10
Slika 5. Podjela preventivnog održavanja 11
Slika 6. Troškovi planiranog održavanje [19] 12
Slika 7. RCM metodologija 14
Slika 8. Troškovi s obzirom na pristup održavanja [19] 15
Slika 9. Krivulja učestalosti kvara [2], [14] 17
Slika 10. Tok funkcije pouzdanosti pri slučajnim kvarovima [19] 20
Slika 11. Osnovni serijski sustav 21
Slika 12. Osnovni paralelni sustav 21
Slika 13. Zalihost serijskog sustava 22
Slika 14. Pouzdanost paralelnog sustava 23
Slika 15. Povijesni razvoj BASSnet-a [12] 24
Slika 16. BASSnet sučelje s modulima [12] 26
Slika 17. Tijek procesa održavanja kroz BASSnet [24] 27
Slika 18. Hijerarhijsko stablo unutar BASSnet-a 27
Slika 19. Rezervni dio unutar BASSnet-a 28
Slika 20. Prikaz planiranih poslovi u sustavu BASSnet 29
Slika 21. Podstranica povijesti poslova u sustavu BASSnet 29
Slika 22. Podaci o ventilatorima [16] 30
Slika 23. Detalji ventilatora [16] 31
Slika 24. Promatrani ventilator s motorom [16] 31
Slika 25. Dugačko kućište propelerskog ventilatora [21] 33
Slika 26. Presjek namota asinkronog motora [32] 35
Slika 27. Lista poslova klasifikacijskog društva [1] 37
Slika 28. Snimka zaslona BASSnet-a s opisom poslova remonta 39
Slika 29. Snimka zaslona BASSnet-a s izvještajem korektivnog posla 40
Slika 30. Preporučena radna konfiguracija ventilatora (konf. A) 40
Slika 31. Konfiguracija ventilatora za rad u nuždi (konf. B) 41

Slika 32. Grafički prikaz pouzdanosti analiziranog sustava..... 43

POPIS TABLICA

Tablica 1. Preporučeno održavanje od strane proizvođača 36
Tablica 2. Povijest održavanja ventilatora i motora 39
Tablica 3. Vrijeme rada ventilatora strojarnice (na dan 01.03.2018) 41
Tablica 4. Indeks kvarova i srednje vrijeme između kvarova 42
Tablica 5. Izračun pouzdanosti analiziranog sustava 43
Tablica 6. Troškovi remonta..... 46

POPIS KRATICA

ABS – engl. American Bureau of Shipping	Američko klasifikacijsko društvo
CBM – engl. Condition Based Maintenance	Održavanje po stanju
CM – engl. Corrective Maintenance	Korektivno održavanje
MTBF – engl. Mean Time Between Failure	Prosječno vrijeme između kvarova
OEM – engl. Original Equipment Manufacturer	Proizvođač originalne opreme
OREDA – engl. Offshore & Onshore REliability DAta	Baza podataka pouzdanosti uređaja na kopnu i na moru
PM – engl. Preventive Maintenance	Preventivno održavanje
PMS – engl. Planned Maintenance System	Sustav za planirano održavanje
PPM – engl. Planned Preventive Maintenance	Planirano održavanje
RCM – engl. Reliability Centered Maintenance	Održavanje usmjereno na pouzdanost
SMS – engl. Safety Management System	Sustav upravljanja sigurnošću
TBM – engl. Time Based Maintenance	Održavanje po vremenu