



Creative Commons Attribution –  
NonCommercial 4.0 International License

Stručni rad

<https://doi.org/10.31784/zvr.10.1.24>

Datum primitka rada: 12. 7. 2021.

Datum prihvaćanja rada: 14. 2. 2022.

# KREIRANJE SUSTAVA ODRŽAVANJA POGONSKIH MOTORA BRODA, PRIMJER IZ PRAKSE

**Tatjana Stanivuk**

Dr. sc., izvanredna profesorica, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, Boškovića 37, 21 000 Split, Hrvatska;  
e-mail: tstanivu@pfst.hr

**Frane Vidović**

Mag. ing. brodstrojarsva, predavač, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, Boškovića 37, 21 000 Split,  
Hrvatska; e-mail: fvidovic@pfst.hr

**Ladislav Stazić**

Mag. ing. brodstrojarsva, asistent, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, Boškovića 37, 21 000 Split,  
Hrvatska; e-mail: lstazic@pfst.hr

**Dinko Damjanić**

Ing. nautike, student, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, Boškovića 37, 21 000 Split, Hrvatska;  
e-mail: ddamjanic@pfst.hr

## SAŽETAK

*Nadzor održavanja brodova u floti provodi inspektor broda. To je složen posao koji zahtjeva osobu visoke stručnosti i raznovrsnih znanja koja u svakodnevnom poslu mora koristiti veći broj različitih tehničkih metoda i postupaka. Izrada plana održavanja flote brodova, odnosno primjer iz prakse koji je opisan u ovom radu spada u jedan takav slučaj kada inspektori broda moraju primijeniti veliki broj različitih metodologija kako bi uspješno kreirali, implementirali i nadzirali sustav održavanja flote brodova. Inspektori su započeli postupak izradom popisa zadataka, gdje su predvidjeli sve zadatke od početne zamisli, do krajnje, modifikacije sustava u radu nakon početnog perioda uhodavanja. Popis zadataka obuhvaća veći broj različitih metoda koje se u održavanju strojeva, od određivanja ciljeva održavanja, određivanja vrste održavanja, SWOT analize, FMA analize, jednostavnog izračuna pouzdanosti, izrade vjerojatnosti potpunog otkaza... Premda se navedene metode mogu opisati kao relativno jednostavne, poznavanje i upotreba većeg broja ovih metoda pokazuje da je izrada, implementacija, kontrola i modifikacija sustava održavanja zahtjevan posao namijenjen visoko stručnim osobama.*

**Ključne riječi:** održavanje, analiza održavanja, podešavanje održavanja, pouzdanost

## 1. UVOD

U vrlo konkurentnom poslovnom okruženju koje danas vlada u brodarstvu, organizacija uspješnog i učinkovitog održavanja jedna je od vrlo važnih stavki u poslovanju. Učinkovitije održavanje strojeva i/ili opreme smanjuje troškove te često maksimizira dobit (Wang *et al.*, 2009) ili pruža određenu prednost u poslovanju (Liao *et al.*, 2017). Organizacija i poboljšanje održavanja je tema o kojoj su napisani mnogobrojni radovi, koristeći razne modele i tehnike odlučivanja, sve sa svrhom kako bi se poboljšala učinkovitost postupka održavanja (Nowakowski *et al.*, 2018). Poboljšavanje održavanja, odnosno optimizacija održavanja koristi „matematički model u kojem se kvantificiraju i troškovi i pozitivni učinci i u kojem se postiže optimalna ravnoteža između oba“ (Dekker, 1996) koristeći ponekad složene metode izračuna poput MA-CAD metode (Vučinić, 1996), (Šegulja *et al.*, 2009) ili metode modeliranja priora (Dobrota, 2018), a ponekad jednostavne metode eksponencijalnog izračuna pouzdanosti. Kao ulazni podaci za analizu održavanja koriste se podaci o kvarovima tijekom proteklog razdoblja, tzv. povratne informacije (eng. *feedback*) koje su osnova za modificiranje i poboljšavanje postupka (Hattie, Timperley, 2007). Te informacije se danas najčešće preuzimaju iz računalnih sustava za planirano održavanje koji omogućavaju lagan nadzor i modifikaciju sustava održavanja (Stazić *et al.*, 2019).

Odnos između teorije i prakse u raznim područjima brodarstva, slično kao i u mnogim drugim područjima nije u potpunosti ispitan. Teoretičari i praktičari tu rade u različitom okolišu i vode se različitim ciljevima, prioritetima i filozofijama (Patel, Kaufmann, 1998). Koje se metode upotrebljavaju prilikom rješavanja problema u praksi i koliko je složen postupak koji izvode osobe u praksi su pitanja koja su većim dijelom neodgovorena.

Istraživanje prikazano u ovom radu opisuje nastanak, nadzor i unapređenje procesa održavanja pogonskog sustava tri sestrinska broda, renomirane brodarske tvrtke. Za izradu početnog plana održavanja strojeva i uređaja na brodovima, shodno Međunarodnom kodeksu upravljanja sigurnošću, skraćeno ISM (eng. *The International Safety Management*; Međunarodno upravljanje sigurnošću) (IMO, 2013), polazište su preporuke proizvođača te iskustva brodarske tvrtke koja su određena u raznim pravilima kao što su SMS (eng. *Safety Management System*; Sustav upravljanja sigurnošću). Pored toga, dodatne zahtjeve postavljaju klasičarska društva, razna osiguravajuća društva, zastava pripadnosti, zatim razni drugi čimbenici kao ovisnost i povezanost sustava, posebni radni uvjeti, itd. (Waeyenbergh, Pintelon, 2004). Izrada sustava održavanja je složen postupak gdje treba voditi računa da održavanje značajno utječe na ukupni trošak poslovanja, iznosi utrošeni na održavanje mogu iznositi kao neto prihod tvrtke (McKone, Wiess, 1998). Uzimajući u obzir sve poteškoće i probleme koji su se pojavili tijekom prethodnih sličnih zadataka, inspektori flote su kreirali popis zadataka kako bi točno odredili redoslijed postupaka (Fusko *et al.*, 2018).

## 2. REDOSLIJED POSTUPAKA

Određivanjem redoslijeda postupaka stvoren je okvir unutar kojeg će se kreirati i implementirati sustav održavanja, te kako će se sustav dalje nadograđivati. Redoslijed je podijeljen u zadatke koji mogu biti odrađeni samostalno ili u kombinaciji s drugim zadacima:

- Zadatak 1: Upoznati se s pogonom i radnim uvjetima

- Zadatak 2: Upoznati se s održavanjem opreme prema preporukama proizvođača
- Zadatak 2: Upoznati se s održavanjem opreme prema preporukama proizvođača
- Zadatak 4: Odrediti vjerojatnost potpunog otkaza (crni scenarij)
- Zadatak 5: Predvidjeti kvarove i preventivne mjere
- Zadatak 6: Napraviti SWOT analizu (eng. *Strength, Weakness, Opportunity, Threat*; Snaga, Slabost, Prilika, Prijetnja) kako bi se ocijenili uvjeti u kojima se kreira plan održavanja
- Zadatak 7: Kreiranje sustava održavanja shodno utvrđenim parametrima
- Zadatak 8: Implementacija sustava održavanja, po potrebi obuka posade
- Zadatak 9: Osigurati redoviti nadzor nad radom uređaja, po potrebi modificirati parametre održavanja.

Redoslijed postupaka određen je početnim uvjetima odnosno željenim ishodima održavanja. Željeni ishodi održavanja su određeni na nivou kompanije, najbolje su opisani kao težnja ka postizanju tri nule (Crosby 1979):

- nula kvarova
- nula zastoja
- nula nesreća.

Ovi ciljevi se podudaraju s TPM (eng. *Total Productive Maintenance*; Potpuno produktivno održavanje) (Ahmed *et al.*, 2005) gdje se proaktivnim pristupom i preventivnim održavanjem stalno povećava operativna učinkovitost sustava. Navedeno je potpuno u skladu sa SMS-om tvrtke gdje je naglašeno da treba stremiti maksimalnoj sigurnosti putnika koja je osigurana punom funkcionalnošću svih uređaja na brodu.

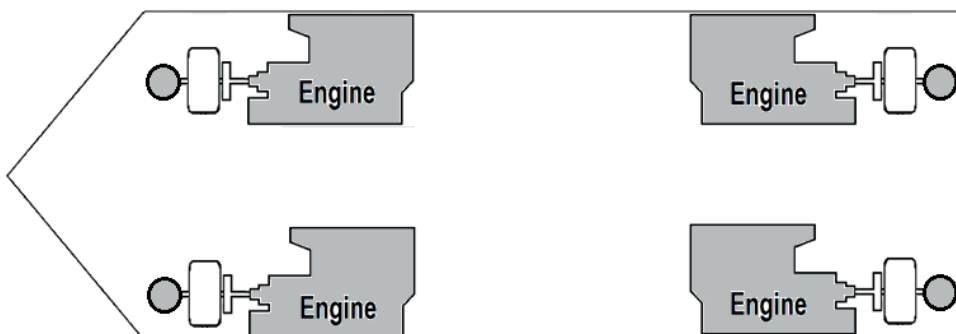
### 3. PRIPREMNE RADNJE

Zadaci 1 – 6 spadaju u pripremne kojima je cilj upoznati se sa svim čimbenicima koji utječu na izradu plana održavanja.

#### 3.1 Zadatak 1: Pogon i radni uvjeti

Pogon na analiziranim brodovima izveden je upotrebom četiri identična dizel motora Caterpillar C32, svaki snage 492 kW, gdje svaki preko reduktora pogoni svoje vratilo i propeler. U luci motori ne rade, pokreću se prilikom pripreme broda za isplovljavanje. Tijekom manevriranja i plovidbe sva četiri motora su u pogonu čime se postiže najbolja upravljivost, najveća brzina reakcije broda na zapovijedi i najveća brzina broda tijekom plovidbe. U slučaju kvara jednog motora, brod može ploviti i manevrirati koristeći preostala tri motora. Tada bi brod bio nešto sporiji u plovidbi (oko 10 %) i nešto sporiji u odgovoru tijekom manevriranja. Gubitkom čak 3 motora, brod bi i dalje mogao ploviti i manevrirati, ali znatno sporije i teže.

Slika 1. Pojednostavljen prikaz pogona broda



Izvor: autori

Unatoč manevarskim i navigacijskim sposobnostima broda s otkazima pogonskih motora, SMS pravila tvrtke nalažu da brod može ploviti s jednim motorom u kvaru samo u iznimnim okolnostima, a i tada samo na vrlo kratkim rutama, do najbliže luke u kojoj će kvar biti otklonjen.

### 3. 2 Zadatak 2: Održavanje opreme prema preporukama proizvođača

Iz instrukcijske knjige proizvođača preuzete su preporuke za održavanje glavnih pogonskih strojeva i prikazane su u Tablici 1 (Caterpillar, 2009).

Tablica 1. Preporuke proizvođača

Održavanje	Svakih				
	1/4 1000	1 4000	2 8000	4 16 000	godina sati rada
Zamjena ulja i filtra, čišćenje odušnika	x				
Čišćenje hladnjaka ulja		x			
Kontrola pumpe ulja			x		
Zamjena filtra goriva i zraka		x			
Kontrola turbopunjača		x			
Čišćenje hladnjaka vode		x			

Kontrola rotora i ležaja pumpe mora		x			
Provjera slobode rotora pumpi (okretanje)	x				
Kontrola zazora ventila		x			
Provjera rotatora klackalica		x			
Kontrola rasprskaća		x			
Kontrola alternatora		x			
Kontrola električnog pokretača		x			
Kontrola prigušivača vibracija		x			
Zamjena i pritezanje vijaka prigušivača vibracija		x			
Provjera zategnutosti temeljnih vijaka		x			
Kontrola ECM-om, zamjena prema potrebi		x			
Remont motora - generalni				x	

Izvor: Caterpillar (2009)

### 3.3 Zadatak 3: Indeks i vjerojatnost kvara

Za sve nove i nepoznate strojeve i uređaje odnosno za sve komponente bez podataka o održavanju i kvarovima, izračun pouzdanosti se može izvršiti samo koristeći dostupne podatke iz generičkih baza poput NPRD (Quanterion, 2016) ili OREDA (SINTEF, 2002) kataloga.

U tvrtki i u ovom radu korišten je OREDA katalog (SINTEF, 2002) iz kojeg su izvučeni slijedeći podaci:

- Indeks kvara  $\lambda=28,05 \cdot 10^{-6} [\text{h}^{-1}]$
- Srednje vrijeme popravka motora  $t_s=66,7 [\text{h}]$ .

Nepouzdanost ili vjerojatnost kvara mogu se izračunati pomoću jednadžbe 1 (Rausand, Hoyland, 2003) uporabom gore navedenih vrijednosti:

$$Q = 1 - R = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

gdje je

$t$  – vrijeme rada

Prema uputama proizvođača (Tablica 1.), inspekcija ili manje održavanje vrši se svakih 4000 radnih sati ili svake godine, a generalni remont svake 4 godine ili 16000 radnih sati. Uvrštavanjem brojke generalnog remonta u jednadžbu 1, dobije se vrijednost vjerojatnosti kvara svakog motora od 36,16 %. Kako postoje 4 motora, kumulativna vjerojatnost kvara iznosi:

$$Q_{tot} = Q^4 = 83,39 \% \quad (2)$$

Shodno pokazanom izračunu, postoji 83,39% vjerojatnosti da će se dogoditi kvar na pogonskim motorima tijekom remontnog perioda od 16000 radnih sati.

### 3. 4 Zadatak 4: Vjerojatnost potpunog otkaza

Vjerojatnost da će svi motori doživjeti kvar (tzv. vjerojatnost katastrofalnog događaja), odnosno da brod ostane bez pogona se može izračunati po formuli (Nowakowski et al., 2018), (Vučinić, 1996), (Rausand, Hoyland, 2003):

$$Q_{cat} = [1 - F_s]^4 = [1 - 0,9981]^3 = 0,0000006859 \% \quad (3)$$

gdje je:

$F_s$  – vjerojatnost da će drugi motor otkazati prilikom popravka prvog (eksponent 3 = 3 “rezervna” motora)

$F_s = \text{MTBF}$  (eng. **Mean Time Between Failures**; Srednje vrijeme između kvarova) podijeljen sa zbrojem (MTBF+ srednje vrijeme popravka) (Rausand, Hoyland, 2003)

$$\text{MTBF} = 1/\lambda$$

Iz gornjeg izračuna je vidljivo da vjerojatnost katastrofalnog događaja gotovo ne postoji zbog vrlo velike redundancije sustava, a također i zbog internog zahtjeva za hitnim popravkom prvog kvara.

### 3. 5 Zadatak 5: Mogući kvarovi i preventivne mjere

Prilikom određivanja mogućih kvarova i uspostave preventivnih mjera korišteni su rezultati analiza napravljenih FMETA metodom (Arcidiacono, Campatelli, 2004), rezultata dobivenih FTA metodom (Laskowski, 2015) i rezultata dobivenih FMA analizom (Jardine, 1989). Navedene analize su identificirale sljedeće dijelove kao glavne uzroke kvarova na motorima:

- rasprskalice goriva
- usisne i ispušne ventile
- pumpe i njihove mehaničke brtvenice
- rashladnike na motoru i njihove anodne zaštite.

Prema zahtjevu MA-CAD metode (Vučinić, 1996), rezervni dijelovi se trebaju isporučiti svim plovilima, što omogućuje brzo i pravodobno održavanje u slučaju kvara. Kako se rezervni dijelovi mogu koristiti na svakom blizancu (mogu se prenositi s broda na brod), nije potrebno držati dodatne zalihe dijelova u skladištu na kopnu. Količinu rezervnih dijelova na brodu treba prilagoditi potrebama broda, vodeći računa da u svakom trenutku na brodu bude najmanje jedan komplet dijelova potreban za remont motora (prema pravilima SMS-a tvrtke).

### 3. 6 Zadatak 6: SWOT analiza

Specifičnosti tvrtke, uvjeti poslovanja, okolnosti u kojima će brodovi raditi su ocijenjeni prije izrade početnog plana održavanja. To je napravljeno koristeći SWOT analizu. Ime analize je kombinacija prvih slova (eng. **Strength**, **Weakness**, **Opportunity**, **Threat**; Snaga, Slabost, Prilika, Prijetnja) značajki koje se utvrđuju. „Empirijski početak SWOT-a je 1952. godine u Odjelu za planiranje korporativnog

razvoja tvrtke Lockheed's" (Puyt et al., 2020). Danas je SWOT analiza raširena u upotrebi kao alat za procjenu (Al-Turki, 2011). Modificirani elementi ocjenjivanja (Jasiulewicz-Kaczmarek, 2016) su:

Snaga:

- dobro organizirani sustav planiranog održavanja unutar tvrtke
- dobro organizirani servisni tim, dostupan u matičnoj luci
- relativno kratke linije plovidbe na nekoliko sati od matične luke
- rezervni dijelovi u matičnoj luci
- dobro obučena posada, sposobna za održavanje pogona.

Slabost:

- svi motori trebaju raditi tijekom plovidbe i u manevriranju
- samo jedan servisni tim je dostupan u matičnoj luci.

Prilika:

- dodatni servisni timovi bi se mogli angažirati korištenjem osoblja lokalnih brodogradilišta i/ili remontnih tvrtki
- po potrebi se mogu angažirati tegljači koji su dostupni u matičnoj luci.
- prijetnja:
- zbog intenzivnog prometa na području plovidbe, otkazivanje svih motora može imati veće ili katastrofalne posljedice.

#### 4. IZRADA PLANA ODRŽAVANJA

Gornjom analizom utvrđeni su sljedeći polazni parametri za izradu plana održavanja:

- prema pretpostavljenom indeksu kvara i izračunu postoji vrlo velika vjerojatnost da će se dogoditi kvar na pogonskim motorima tijekom remontnog perioda od 16 000 radnih sati (83,39 %);
- prema izračunu, vjerojatnost dešavanja katastrofalnog događaja je zanemariva, odnosno, gotovo ne postoji;
- na brodovima treba osigurati dovoljnu količina rezervnih dijelova za uređaje koji su identificirani da se najčešće kvare;
- servisni tim (tzv. leteći tim) dostupan je na poziv za sva plovila, vrijeme dolaska tima je unutar 6 sati;
- okolnosti detektirane SWOT analizom su vrlo povoljne.

Shodno navedenim zaključcima i utvrđenim okolnostima utvrđeno je da održavanje koje preporučuje proizvođač (Tablica 1) u potpunosti odgovara za implementaciju na floti, bez ikakvih izmjena. Potrebno je voditi računa da posada na brodovima bude upoznata s potrebom pravodobnog naručivanja rezervnih dijelova kao i kvalitetne evidencije svih radova i popravaka.

## 5. ANALIZA NAKON PUNOG CIKLUSA ODRŽAVANJA

Od primopredaje brodova svi pogonski motori su odradili jedan puni ciklus održavanja (Tablica 2).

Tablica 2. Radni sati pogonskih motora

Brod 1		Brod 2		Brod 3	
Motor #	Radni sati	Motor #	Radni sati	Motor #	Radni sati
No. 1	19 032	No. 1	17 921	No. 1	17 529
No. 2	18 942	No. 2	17 953	No. 2	17 551
No. 3	18 892	No. 3	17 828	No. 3	17 551
No. 4	19 008	No. 4	17 798	No. 4	17 537
Ukupno	75 874	Ukupno	71 500	Ukupno	70 168
<b>UKUPNO Brod 1 + Brod 2 + Brod 3</b>					217 542

Izvor: autori

Tijekom razdoblja pojavilo se nekoliko kvarova, ukupno deset, prikazanih u tablici 3. Većina kvarova (50 %) pojavila se na brodu br. 1, dok druga dva broda imaju manji broj kvarova.

Tablica 3. Kvarovi na motorima tijekom promatranog perioda

Broj	Kvar	Radni sati	Brod	Motor
1	Kvar Elektroničkog modula upravljanja (ECM)	5937	1	3
2	Istrošenje kvrge bregaste osovine na cilindru 12	6952	1	2
3	Kvar Elektroničkog modula upravljanja (ECM)	11 670	1	1
4	Kvar Elektroničkog modula upravljanja (ECM)	14 480	1	2
5	Zamjena rashladnika goriva radi kvara	16 415	1	3
6	Istrošenje kvrge bregaste osovine na cilindru 12	9990	2	4
7	Kvar Elektroničkog modula upravljanja (ECM)	10 201	2	4
8	Kvar pumpe ulja pogonskog motora	7098	3	4
9	Kvar Elektroničkog modula upravljanja (ECM)	7464	3	3
10	Kvar startera	17 470	3	2

Izvor: autori

Izračun indeksa kvara pomoću podataka iz tablica 2 i 3:

$$\lambda = \frac{n}{t} = 45,9681 * 10^{-6} [h] \quad (4)$$

Iz broja kvarova i indeksa kvara vidljivo je da nije postignut željeni cilj o nula kvarova niti drugi dio zastoja. Indeks kvara je veći od početnog indeksa, preuzetog iz generičke baze što govori da je pouzdanost pogona i održavanja bila ispod prosječne. Također, usporedba kvarova u radu s rezultatima FTA i FMA analize prikazanim u Poglavlju 3.5 pokazuje znatno odstupanje od



predviđenih zbivanja, odnosno da se većina kvarova događala na uređajima koji nisu bili navedeni u analizi kao glavni uzročnici kvara.

## **6. MODIFIKACIJA**

Iz analize nakon ciklusa održavanja i njenih zaključaka vidljivo je da je potrebna daljnja modifikacija sustava održavanja kako bi se ispravili uočeni nedostaci. Analiza kvarova pokazala je da je polovica kvarova povezana s elektroničkim modulom upravljanja (ECM), a slijedeća dva kvara povezana su s trošenjem bregastog vratila na bregastoj osovine. Kako ti dijelovi nisu identificirani tijekom početne analize, nakon prvih kvarova nije bilo raspoloživih rezervnih dijelova za popravak. U ovakvim slučajevima je potrebno poboljšanje odnosno modifikacija održavanja kako bi se spriječilo ponavljanje istih kvarova (Nowlan, Heap, 1978).

Poučeni iskustvom, uvedene su nove mjere kako bi se vrijeme održavanja svelo na minimum i povećala kvaliteta održavanja:

- svaki brod u floti mora imati najmanje jedan rezervni elektronički modul upravljanja na brodu, novi treba naručiti čim se rezervni utroši;
- dodatnu količinu rezervnih elektroničkih modula upravljanja treba imati u skladištu;
- svako plovilo flote mora imati barem jednu rezervnu kvrgu;
- analizu ulja za podmazivanje treba raditi češće;
- u PMS-u bi trebalo unijeti češći vizualni pregled kvrga bregaste osovine.

Postoje prijedlozi za uvođenje preventivne zamjene ECM-a radi smanjenja broja kvarova, kao i potreba za pronalaženjem alternativnih, pouzdanijih rezervnih dijelova. Ti se prijedlozi još uvijek razmatraju, možda će biti usvojeni u budućnosti. Kao posljednju mjeru koja bi se koristila u slučajevima većeg kvara (kakav se još nije dogodio) ili nekog hitnog popravka, tvrtka je kupila rezervni (zamjenski) motor koji se čuva u skladištu.

## **7. ZAKLJUČAK**

Prikazani primjer izrade, implementacije i modifikacije održavanja izveden na floti istovjetnih brodova pokazao je svu složenost posla inspektora broda i stručnost koja je potrebna prilikom ovog zadatka. Pored upotrebe više različitih analiza i metoda kao što su izračun vjerojatnosti kvara, izračun vjerojatnosti potpunog otkaza, SWOT analiza te korištenja većeg broja iskustava drugih autora pri određivanju mogućih kvarova, primijenjen sustav održavanja nije ispunio željene ciljeve i očekivanja. Tijekom jednog ciklusa održavanja dogodilo se deset kvarova na brodovima, što je porast od gotovo 60 % od početnog indeksa, preuzetog iz generičke baze, povećavajući  $\lambda$  na  $45,97 \cdot 10^{-6} [h^{-1}]$ . Broj kvarova, daleko veći od željenog, ukazao je na potrebu da se uvedu dodatne stavke u sustav održavanja kako bi se smanjio broj kvarova u budućnosti i povećala kvaliteta održavanja. Učinak dodavanja gore navedenih promjena u sustav održavanja analizirat će se nakon završetka sljedećeg razdoblja održavanja (16 000 radnih sati), očekivane koristi su manji broj kvarova motora i značajno smanjenje vremena zastoja brodova što će povećati dobit analizirane tvrtke. Opisani,

visoko stručni posao inspektora broda i korištenje većeg broja metoda i iskustava će poslužiti sigurnijem prijevozu i financijskom dobitku.

## REFERENCES

- Ahmed, S., Hj. Hassan, M., Taha, Z., (2005), "TPM can go beyond maintenance: excerpt from a case implementation", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 11 No. 1, 19-42. <https://doi.org/10.1108/13552510510589352>
- Al-Turki, U., (2011), „A framework for strategic planning in maintenance“, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17-2, 150-162, <https://doi.org/10.1108/13552511111134583>
- Arcidiacono, G., Campatelli, G., (2004). „Reliability improvement of a diesel engine using the FMETA approach“, *Quality and Reliability Engineering International*, 20(2), 143-154. <https://doi.org/10.1002/qre.627>
- Caterpillar, (2009), „C32 Operation & Maintenance Manual“, Caterpillar, USA
- Crosby, P. B., (1979), „Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain: How to Manage Quality - So That It Becomes A Source of Profit for Your Business“, McGraw-Hill Companies, 1979. ISBN 978-0070145122
- Dekker, R., (1996), „Applications of maintenance optimization models: a review and analysis“, *Reliability engineering & system safety*, 51(3), 229-240. [https://doi.org/10.1016/0951-8320\(95\)00076-3](https://doi.org/10.1016/0951-8320(95)00076-3)
- Dobrota, Đ., (2018), Modeliranje distribucije priora u analizi kvarova brodskih hidrauličkih uređaja, doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
- Fusko, M., Rakyta, M., Krajcovic, M.; Dulina, L., Gaso, M., Grznar, P., (2018), „Basics of designing maintenance processes in industry 4.0.“, *MM Sci. J.*, 3, 2252–2259, <https://doi.org/10.17973/MMSJ.2018032017104>
- Hattie, J., & Timperley, H., (2007), „The power of feedback“. *Review of educational research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- International Maritime Organization (IMO), (2013), „The International Safety Management (ISM) Code, Resolution MSC.353(92)“, <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/ISMCode.aspx>, (20. travnja 2021)
- Jardine, A. K. S., Ralston, P., Reid, N., Stafford, J., (1989), „Proportional hazards analysis of diesel engine failure dana“, *Quality and Reliability Engineering International*, 5(3), 207-216. <https://doi.org/10.1002/qre.4680050305>
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., (2016), „SWOT analysis for Planned Maintenance strategy-a case study“, *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 674-679, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.788>
- Laskowski, R., (2015). Fault Tree Analysis as a tool for modelling the marine main engine reliability structure. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 4-113, pp.71-77. ISSN 2392-0378
- Liao, W., Zhang, X., Jiang, M., (2017), „Multi-objective group scheduling optimization integrated with preventive maintenance“, *Engineering Optimization*, 49(11), 1890-1904. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2017.1280258>
- McKone, K., Wiess, E., (1998), „TPM:Planned and autonomous maintenance: Bridging the gap between practice and research“, *Production and Operations Management* 7 (4), 335–351, <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.1998.tb00128.x>
- Nowakowski T., Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S., (2018), „Evolution of Technical Systems Maintenance Approaches – Review and a Case Study“. In: Burduk A., Chlebus E., Nowakowski T., Tubis A. (eds) *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*. ISPEM 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 835. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_16)
- Nowlan, F. S., Heap, H. F., (1978), „Reliability-centered maintenance“, United Air Lines Inc. San Francisco, California.

- Patel, V. L., Kaufman, D. R., (1998), „Science and Practice: A Case for Medical Informatics as a Local Science of Design“, *Journal of the American Medical Informatics Association*, 5(6), 489–492, <https://doi.org/10.1136/jamia.1998.0050489>
- Puyt, R., Lie, F. B., De Graaf, F. J., Wilderom, C. P., (2020), „Origins of SWOT Analysis. In: *Academy of Management Proceedings*“ (17416). New York: Academy of Management. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2020.132>
- Rausand, M., Hoyland, A., (2003), „System reliability theory: models, statistical methods, and applications“ (Vol. 396). John Wiley & Sons
- Quanterion Solutions Incorporated, (2016), „Nonelectronic Parts Reliability Dana“, New York, USA, Quanterion Solutions Incorporated, ISBN 1-933904-76-3
- SINTEF Industrial Management, (2002), „OREDA Offshore Reliability Dana“, 4th Edition, Trondheim, Norway, ISBN 82-14-02705-5
- Stazić L, Bratić K., Mihanović V., Matjašić J., (2019), „Maintenance process adjustment based on Computerized PMS data“, *1st International Conference of Maritime Science & Technology Naše More 2019* (Dubrovnik: University of Dubrovnik, Maritime Department, 2019). 547-553
- Šegulja, I., Bukša, A., Tomas, V., (2009), „Maintenance Interval Adjustment of Significant Ship Propulsion Components“, *Promet-Traffic&Transportation*, 21(3), 175-182, <https://doi.org/10.7307/ptt.v21i3.223>
- Vučinić, B., (1996), *MA-CAD: Maintenance concept adjustment and design* (PhD Thesis), Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology, Delft, Netherlands
- Waeyenbergh, G., Pintelon, L., (2004). „Maintenance concept development: a case study“, *International journal of production economics*, 89(3), 395-405, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.09.008>
- Wang, L., Zheng, E., Li, Y., Wang, B., Wu, J., (2009), „Maintenance optimization of generating equipment based on a condition-based maintenance policy for multi-unit systems“, *Chinese Control and Decision Conference*, 2440-2445. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2009.5192537>



Creative Commons Attribution –  
NonCommercial 4.0 International License

Professional paper

<https://doi.org/10.31784/zvr.10.1.24>

Received: 12. 7. 2021.

Accepted: 14. 2. 2022.

## MARINE PROPULSION ENGINES MAINTENANCE SYSTEM CREATION, CASE STUDY

**Tatjana Stanivuk**

PhD, Assistant Professor, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Boškovića 37, 21000 Split, Croatia;  
e-mail: tstanivu@pfst.hr

**Frane Vidović**

Mag. ing. nav. mech, Lecturer, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Boškovića 37, 21000 Split,  
Croatia; e-mail: fvidovic@pfst.hr

**Ladislav Stazić**

Mag. ing. nav. mech, Assistant, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Boškovića 37, 21000 Split,  
Croatia; e-mail: lstazic@pfst.hr

**Dinko Damjanić**

Univ. bacc. ing. naut., Student, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Boškovića 37, 21000 Split,  
Croatia; e-mail: ddamjanic@pfst.hr

### ABSTRACT

*Supervision of ship maintenance in the fleet is carried out by the ship superintendent. That is a demanding job that requires a person of high expertise and diverse knowledge, a person who must use a number of different technical methods and procedures in everyday work. The development of a fleet maintenance plan, i.e. the case study described in this paper, is one such case when ship inspectors must apply a large number of different methodologies in order to successfully create, implement and monitor a fleet maintenance system. The inspectors began the process by making a list of tasks where they anticipated all the tasks from the initial idea to the final action of modifying the system in operation after the initial run-in period. The to-do list includes a number of different theoretical methods used in maintenance, from maintenance goals determination, maintenance type determination, SWOT analysis, FMA analysis, simple reliability calculation, failure probability calculation, etc. Although these methods can be described as relatively simple, knowledge and the use of a large number of these methods shows that the design, implementation, control and modification of maintenance systems is a demanding job intended for highly skilled personnel.*

**Key words:** maintenance, maintenance analysis, maintenance adjustment, reliability

# **BIOTEHNIČKE ZNANOSTI**

