

IZRAČUN POUZDANOSTI BRODSKOGA PORIVNOG SUSTAVA KORISTEĆI SE PODATCIMA IZ PROGRAMSKOG PAKETA AMOS

Reliability Calculation of Marine Propulsion System Applying the Data from the Software Package “Amos”

dr. sc. Mate Jurjević

Pomorski odjel
Sveučilište u Dubrovniku
E-mail: mate.jurjevic@unidu.hr

prof. dr. sc. Boženko Bilić

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Sveučilište u Splitu
E-mail: bozenko.bilic@fez.hr

UDK 629.12:621.436

Sažetak

Brodski porivni sustavi imaju svoj radni vijek koji se proteže od početka eksploatacije pa do njihova rashodovanja. U tom vremenu, u svakome trenutku, oni moraju udovoljavati svim zahtjevima postavljenima pred njihov rad. Da bi to bilo moguće, brodovi se moraju sustavno održavati, što uključuje i ulaganje u nove informatičke tehnologije kako bi se time povećala pouzdanost i konkurentnost brodova. Da bi se omogućio nadzor brodovlasnika nad održavanjem, uvode se specijalizirani računalni programi za održavanje. U ovome radu prikazan je izračun pouzdanosti brodske porivnog sustava koji je temeljen na podacima dobivenima s pomoću programskog paketa AMOS tijekom eksploatacije brodske porivnog sustava. AMOS je namijenjen za planiranje i izvještavanje o zahvatima održavanja, te za obavljanje kontrole i nabavu doknadnih dijelova. Strukturiran je tako da omogući sve prednosti korektivnoga i preventivnog održavanja uz mogućnost trenutačnog pristupa podacima o stanju sustava. U radu je opisan postupak koji definira razdiobu mjernih podataka, a provedeno je i testiranje s pomoću K-S testa. Definirani su parametri pouzdanosti koji daju sliku brodske porivnog sustava u cjelini.

Ključne riječi: brodski porivni sustav, održavanje, programski paket AMOS, pouzdanost, K-S test.

Summary

Marine propulsion systems have their own operating life ranging from the beginning of exploitation to their discarding. In this period, at any moment, they must meet all the requirements for their work. To enable this, the vessels must be systematically maintained. Systematic maintenance includes investments in new computer technologies resulting in reliability increase and the vessels' competitiveness. To ensure the supervision of maintenance taken by the ship owner, specialized maintenance computer programmes are introduced. This paper presents the reliability calculation of marine propulsion system based on the data obtained by software package “Amos” during exploitation of marine propulsion system. “Amos” is aimed at planning and reporting on maintenance intervention and controlling and purchasing spare parts. It is composed so as to enable all the advantages of corrective and preventive maintenance with the possibility of momentary approach to data about the system condition. The paper describes the procedure defining the division of measuring data. Testing by means of K-S tests has been carried out. Reliability parameters representing the figure of marine propulsion system as a whole have been defined.

Key words: marine propulsion system, maintenance, software package “Amos”, reliability, K-S test

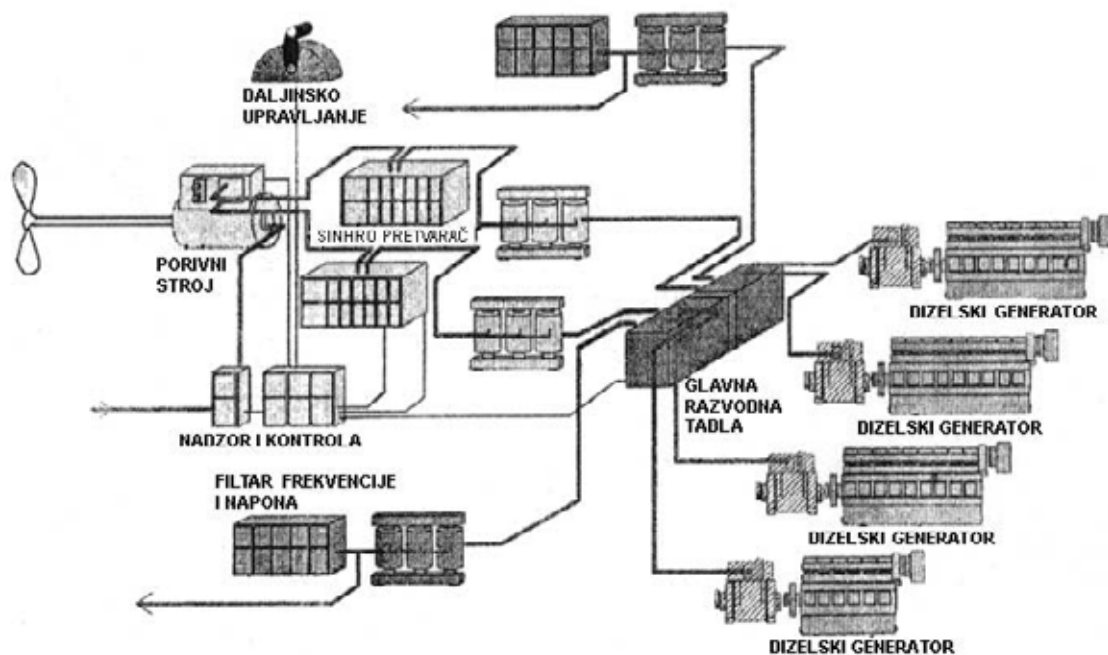
UVOD / Introduction

Kako bi brodski porivni sustav udovoljavao svim zahtjevima postavljenima na njegov rad u bilo kojemu trenutku, od brodske posade očekuje se sve veća stručnost, ali je prijeko potrebna i što bolja povezanost između broda i brodovlasnika. Jedan od mogućih načina kako se brodovlasnik može povezati s brodom i izravno utjecati na sve djelatnosti u svezi sa sustavima na brodu uporaba je programskog paketa AMOS (*Administration for Maintenance, Operations and Spares*). Rezultati toga povezivanja su: smanjeni troškovi održavanja broda, povećana pouzdanost i olakšan rad posadi. Zahvat je održavanja svaki postupak poradi pregleda, popravka ili obnove komponente u sustavu. Programski paket AMOS, koji se rabi na brodovima R-serije, ima za svrhu brodovlasniku i posadi pomoći pri planiranju i održavanju brodskih sustava [1][2]. U ovome radu prikazan je jedan primjer koji se odnosi na upravljanje održavanjem dizelskog motora za pogon generatora na M/B R5. Brodski porivni sustav sastoji se od više međusobno povezanih sustava i podsustava. U radu će se obraditi samo bazni sustav, i to s pomoću empirijskih podataka dobivenih tijekom određenog vremena. Ti podatci uzeti su iz baze podataka programskog paketa AMOS. Dobiveni rezultati služe kao pokazatelji pouzdanosti brodske porivnog sustava i kao osnova za predviđanje ponašanja sličnih sustava.

PRIMJER DIZELSKJE ELEKTRIČNE PROPULZIJE NA M/B R5 / An example of diesel electric propulsion on m/v R5

Dizelski električni pogon najčešće se sastoji od većeg broja manjih dizelskih generatora s brzoekretnim dizelskim motorima. Broj agregata koji se uključuje u mrežu ovisi o zahtijevanoj snazi. Time se postiže da je pogon uvijek ekonomičan i da se prilagođava svim promjenama opterećenja propelera, a kvar na jednome od dizelskih motora ne sprječava normalnu plovidbu. Na slici 1. prikazana je tipična izvedba dizelske električne propulzije slična onoj kakva je na M/B R5. (Na M/B R5 je izvedba s dva propulzijska elektromotora i dva propelera.)

Za proizvodnju električne energije služe četiri sinkrona dizelska generatora. Istosmjerni elektromotori pogone propelere. Napajanje istosmjernoga propulzijskog motora izvodi se preko tiristorskih pretvornika (engl. *synchroconverter*). Brzina vrtnje motora mijenja se s promjenom napona u napajanju. Promjena smjera vrtnje motora izvodi se beskontaktno u uzbudnom krugu motora. Prednost ove izvedbe je u tome što generatori u svim pogonskim stanjima mogu raditi uz konstantan napon, pa se istim generatorima koristi i za napajanje brodske mreže, što se izvodi preko harmoničnih filtara.



Slika 1. Dizelska električna propulzija, [3][4][5]

Fig. 1. Diesel electric propulsion (3,4,5)

UPRAVLJANJE BRODSKIM PORIVNIM SUSTAVOM NA M/B R5 S POMOĆU PROGRAMSKOGA PAKETA AMOS / Control of marine propulsion system on m/v R5 applying the software package AMOS

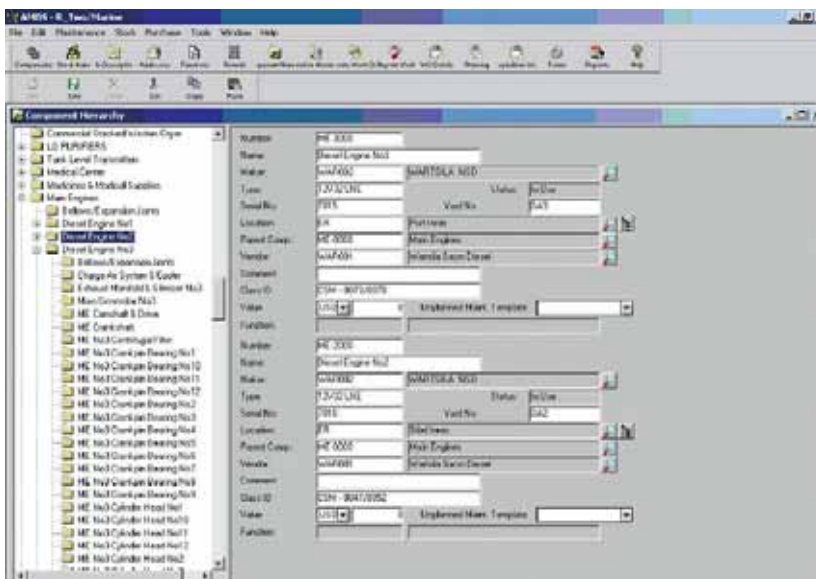
Dizelski motor koji pogoni generator izmjenične struje na M/B R5 je Wartsila VASA 12V32 LNE. Tehnički podatci o motoru i plan njegova održavanja pohranjeni su u programskom paketu AMOS. U nastavku je prikazana uporaba programskog paketa AMOS na M/B R5 pri upravljanju zahvatima održavanja spomenutoga dizelskog motora (slike ekrana ostale su u izvornom obliku, dakle nisu prevedene, radi autentičnosti).

Navedeni primjer odnosi se na poslove koji su povezani s brodskim porivnim sustavom, i dijele se na:

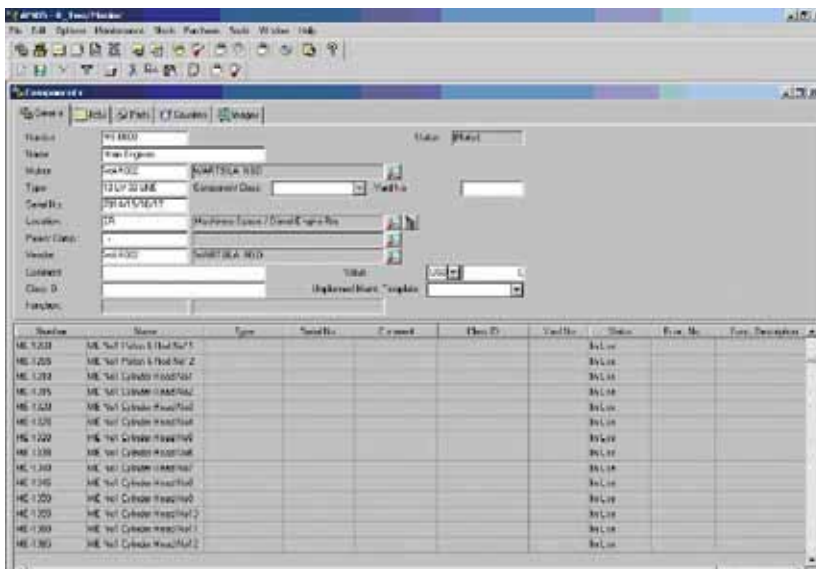
1. obavljene zahvate održavanja,
2. upravljanje doknadnim dijelovima i
3. organizaciju dnevnih poslova.

Registar hijerarhije komponenata sadržava kompletan prikaz tehničkog sustava (npr. dizelskog motora) i njegovih komponenata koje se prate programskim paketom AMOS (slika 2.).

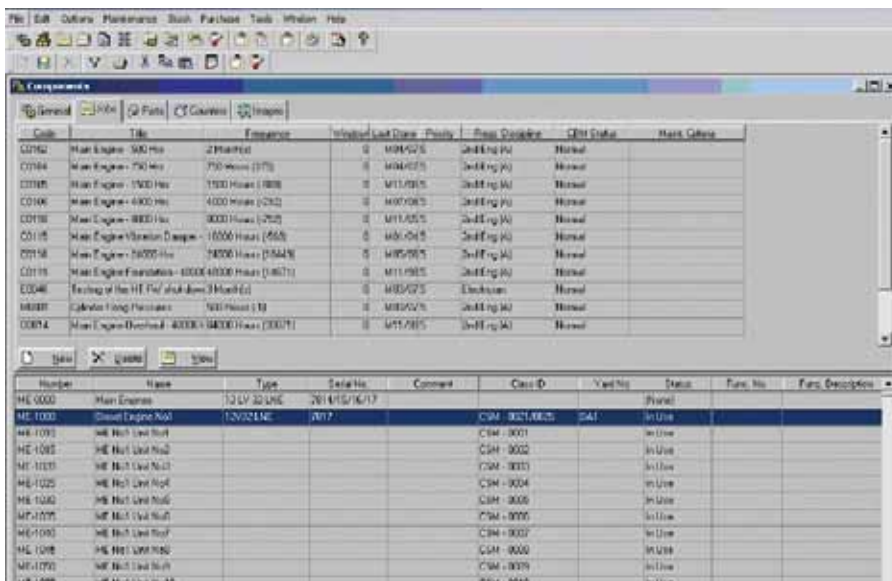
Kako bi se olakšalo planiranje zahvata održavanja za svaku pojedinu komponentu i da bi održavanje dizelskoga motora bilo što kvalitetnije obavljeno, u programskom paketu AMOS dizelski motor podijeljen je na više komponenata (slika 3. i 4.).



Slika 2. Hijerarhija komponenata, [1][2][4]
Fig. 2. Components hierarchy



Slika 3. Komponente motora Wartsila VASA 12V32, [1][2][4]
Fig. 3. Components of Wartsila engine VASA 12V32, (1, 2, 4)



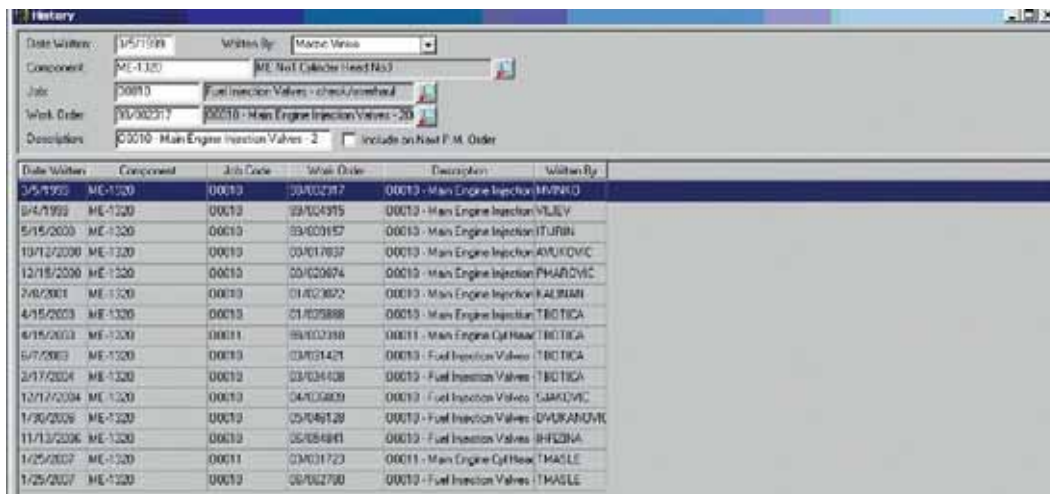
Slika 4. Zahvati održavanja po vremenskim intervalima za dizelski motor br. 1, [1][2][4]
 Fig. 4. Maintenance intervention in time interval on diesel engine No 1(1, 2, 4)

Povijest obavljanja zahvata održavanja / History of maintenance intervention done

Obavljeni zahvati za koje je napisan izvještaj pohranjuju se u memoriju programskog paketa AMOS. Tako se za svaku komponentu u svakome trenutku mogu izlistati svi zahvati održavanja koji su bilo kada obavljani na njoj, uz detaljan opis zahvata održavanja. Tu mogućnost u

Baza podataka programskog paketa AMOS / Data base of software package AMOS

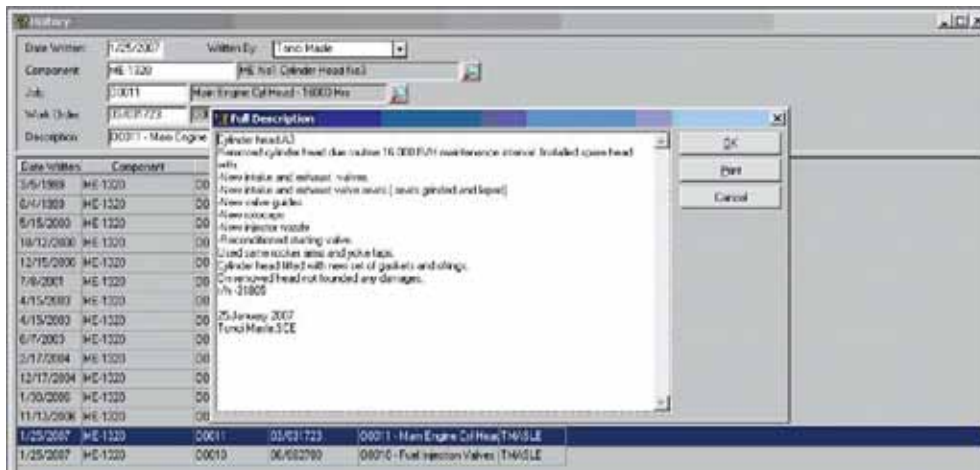
U bazu podataka svrstavaju se: podatci koji opisuju opremu za koju se izvodi održavanje, vrsta planiranih radnja, podatci o doknadnim dijelovima, kao što su dostupnost doknadnih dijelova, adrese dobavljača, trenutna cijena itd.



Slika 5. Ispis povijesti zahvata održavanja na glavi cilindra br. 3 za motor br. 1, [1][2][4]
 Fig. 5. Computer print – out of history of maintenance intervention on No 1, 2, 4 engine No 3 cylinder head

programskom paketu AMOS pruža opcija "History". Slika 5. prikazuje ispis svih zahvata održavanja na glavi cilindra dizelskog motora. Detaljan opis izvršenog zahvata održavanja nad komponentom prikazan je na slici 6. Naravno, tijekom radnoga vijeka broda, za pojedine komponente zahvata održavanja može biti i više.

Središnji dio baze podataka je registar komponentata koji opisuje opremu za koju se izvodi održavanje, opremljenost doknadnim dijelovima, nabavke i dopuštena sredstva za troškove održavanja. To znači da je prvi korak pri kreiranju baze podataka utvrđivanje koje se komponente i sustavi održavaju (engl. maintenance



Slika 6. Detaljan opis izvršenog zahvata održavanja nad komponentom (glava cilindra motora Wartsila VASA 12V32), [1][2][4]

Fig. 6. A detailed description of maintenance intervention done on the component (Wartsila engine cylinder head)

objects). Pronalaskom komponente u već sastavljenoj bazi podataka, dobivaju se svi relevantni podaci o njoj.

Iako AMOS pruža cjelokupan pregled svih sustava, podaci se zapravo pohranjenju u odvojenim registrima i moraju se unositi ili mijenjati zasebno.

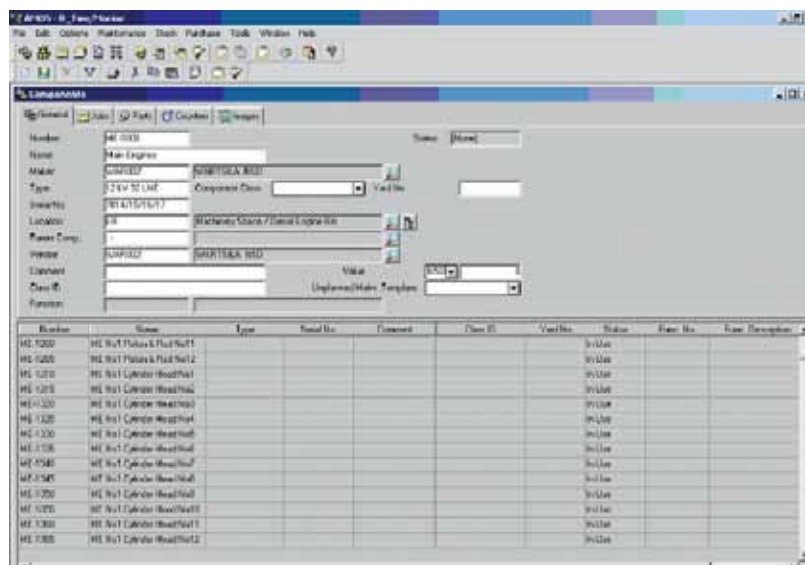
Komponente / Components

Da bi se mogla planirati aktivnost u svezi sa zahvatima održavanja, potrebno je točno utvrditi predmet te aktivnosti – brodske sustave i njima pripadajuće uređaje. Drugim riječima, potrebno je prvo napraviti detaljan popis i opis svih brodskih uređaja i mehanizama koji zahtijevaju održavanje. S takvim popisom i opisom danas se svaki brod isporučuje iz brodogradilišta.

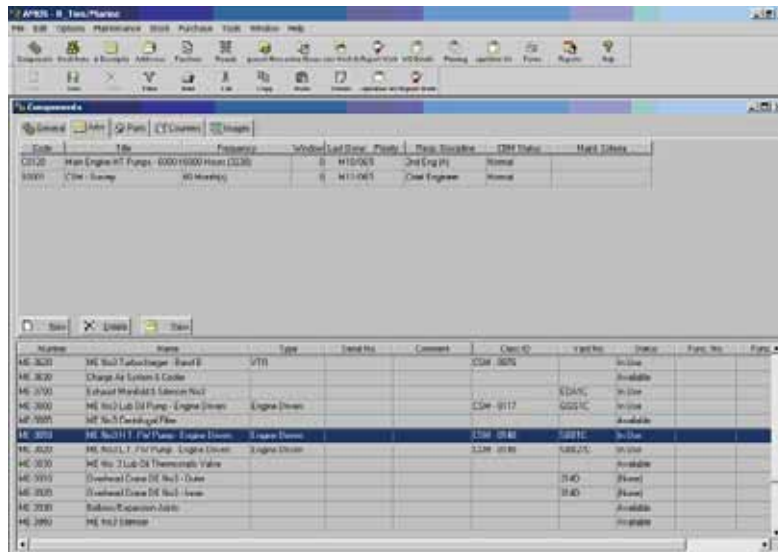
U programskom paketu AMOS brodsko se postrojenje opisuje u komponentama. Komponenta je

bilo koja fizička jedinica kojoj je potrebno održavanje, npr. pumpa, kompresor, glava motora itd. Svaka se komponenta može identificirati svojim osobnim, jedinstvenim brojem komponente (engl. *component number*) koji opisuje odnose u hijerarhiji opreme prema sustavu i potkomponentama. Uz registriranje ukupnih dijelova opreme (npr. brtvenice ili dizelski motor) moguće je odabrati komponente za sustave kojima pripadaju, te odrediti potkomponente od kojih su sastavljene.

Slika 7. prikazuje zaslon na koji se unose i traže podaci o opremi te za unos podataka o vrsti komponenata, serijskom broju i različitim zahvatima održavanja. Odabirom jedne od komponenata omogućuje se prikaz doknadnih dijelova, tehnički opis, zahvati održavanja koji se trebaju obavljati itd.



Slika 7. Primjer prikaza komponenata [1][2][4]
Fig. 7. An example of illustrated components



Slika 8. Radovi održavanja za komponentu, [1][2][4]
 Fig. 8. Maintenance actions for component (1, 2, 4)

**METODA DEFINIRANJA MODELA RAZDIOBE
 POUZDANOSTI BRODSKOGA PORIVNOG
 SUSTAVA / Defining method of reliability
 division model of marine propulsion system**
 Model eksponencijalne razdiobe / Exponential
 division model

Rezultati ispitivanja definirani su preko brojčanih vrijednosti funkcije slučajne varijable. U inženjerskoj praksi najveću primjenu za opisivanje kontinuiranih stohastičnih događaja imaju normalna, eksponencijalna i Weibullova razdioba. Određenoj funkciji pouzdanosti odgovara određena pouzdanost i učestalost kvara. Eksponencijalna razdioba primjenjuje se kad dobiveni podatci nisu jednoliko raspoređeni oko prosjeka koji veže točku podjele napola, [6][7][8]. Tako se eksponencijalnom razdiobom može prikladno prikazati razdioba vremena između kvarova u tehničkim sustavima.

Funkcije pouzdanosti $R(t)$ (slika 9.a) i nepouzdanosti $F(t)$ kod eksponencijalne razdiobe mogu se opisati izrazima:

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

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

gdje je:
 $\lambda > 0$ – parametar učestalosti kvara,
 $t \geq 0$ – vrijeme kvara.

S obzirom na to da je zbroj vjerojatnosti pojava *ispravan* i *neispravan* uvijek jednak jedinici, vrijedi:

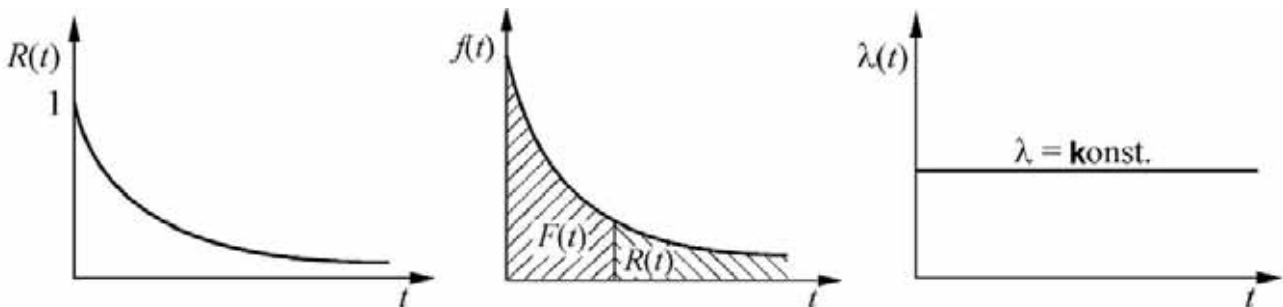
$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3)$$

Funkcija gustoće kvarova $f(t)$ kod eksponencijalne razdiobe može se opisati izrazom (4), a prikazana je na slici 9.b:

$$f(t) = \frac{dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Prema [6][7] učestalost je kvarova $\lambda(t)$, kod eksponencijalne razdiobe pouzdanosti tehničkog sustava, konstantna (slika 9. c):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (5)$$



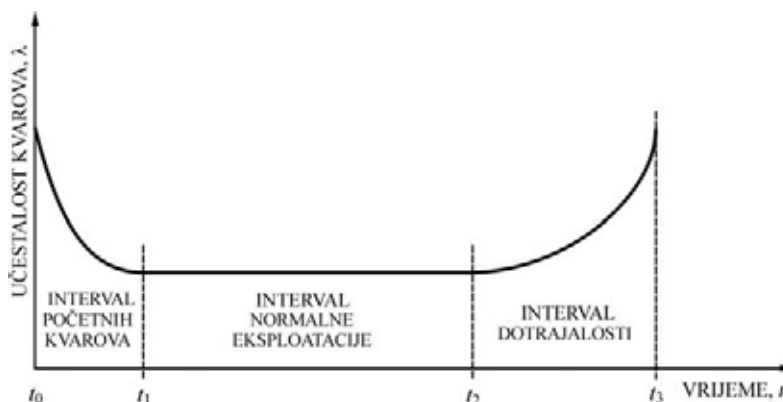
Slika 9. Funkcije eksponencijalne razdiobe: a) funkcija pouzdanosti, b) funkcija gustoće kvarova, c) funkcija učestalosti kvarova

Fig. 9. Exponential division functions: a) Reliability function b) Density failures function c) Frequency failures function

Definiranje modela razdiobe pouzdanosti za M/B R5 / Defining of reliability division model for m/v R5

Za analizu brodskoga porivnog sustava poslužili su podatci s M/B R5 koji su prikupljeni s pomoću softverskog paketa AMOS. Uzete su vrijednosti u razdoblju od početka eksploatacije do 17.000 sati rada, koje se može podijeliti u tri vremenska intervala (slika 10.):

1. vrijeme uhadavanja (vrijeme početnih kvarova), koje obuhvaća prvih 1.000 sati rada - (t_0, t_1) na krivulji mortaliteta (krivulja čamca),
2. vrijeme normalne eksploatacije, koje obuhvaća 14.000 sati rada, a počinje nakon uhadavanja - (t_1, t_2) na krivulji mortaliteta,
3. vrijeme dotrajalosti komponenata, koje obuhvaća posljednjih 2.000 sati rada sustava - (t_2, t_3) na krivulji mortaliteta.



Slika 10. Krivulja mortaliteta (krivulja čamca)
Fig. 10. Mortality curve (bath tub curve)

U analizi pouzdanosti tehničkih sustava, pri crtanju krivulje učestalosti kvarova (krivulja mortaliteta) početni kvarovi i kvarovi zbog dotrajalosti komponenata se zanemaruju jer se promatra samo vrijeme normalne eksploatacije. Vrijeme normalne eksploatacije tehničkog sustava karakterizira niska i konstantna vrijednost učestalosti kvarova. Tada se pojavljuju neovisni uzroci kvarova (slučajni kvarovi).

U tablici 1. (stupac 3.) prikazani su podatci za neispravno stanje sustava bez obzira na to je li on u pripremi ili u pogonu. U stupcima 4. – 9. iste tablice prikazane su vrijednosti izračunatih funkcija koje opisuju ponašanje sustava, podsustava i komponenata tehničkog sustava u vremenu do kvara.

Tablica 1. Izračun podataka dobivenih koristeći se bazom podataka programskog paketa AMOS
Table 1. Calculation of data obtained by application data base of software package AMOS

Vrijeme promatranja t (h)	Interval Δ(t)	Broj stanja ili kvarova u intervalu N(t)	Empirijska funkcija pouzdanosti $R_e(t)$	Teorijska funkcija pouzdanosti $R_i(t)$	Empirijska funkcija nepouzdanosti $F_e(t)$	Teorijska funkcija nepouzdanosti $F_i(t)$	Funkcija gustoće kvarova f(t)	Učestalost kvarova komponenti λ(t)	Razlika empirijske i teorijske pouzdanosti D	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.000	1.000	68	0,757143	0,859852	0,242857	0,140148	0,0002429	0,000032	0,102709	
2.000	1.000	25	0,667857	0,739345	0,332143	0,260655	0,0000893	0,00013	0,071488	
3.000	1.000	23	0,585714	0,635727	0,414286	0,364273	0,0000821	0,00014	0,050013	
4.000	1.000	21	0,510714	0,546631	0,489286	0,453369	0,0000750	0,00015	0,035916	
5.000	1.000	18	0,446429	0,470021	0,553571	0,529979	0,0000643	0,00014	0,023593	
6.000	1.000	16	0,389286	0,404149	0,610714	0,595851	0,0000571	0,00015	0,014863	
7.000	1.000	15	0,335714	0,347508	0,664286	0,652492	0,0000536	0,00016	0,011794	
8.000	1.000	13	0,289286	0,298805	0,710714	0,701195	0,0000464	0,00016	0,009519	
9.000	1.000	11	0,25	0,256928	0,75	0,743072	0,0000393	0,00016	0,006928	
10.000	1.000	9	0,217857	0,22092	0,782143	0,77908	0,0000321	0,00015	0,003063	
11.000	1.000	7	0,192857	0,189958	0,807143	0,810042	0,0000250	0,00013	0,002899	
12.000	1.000	6	0,171429	0,163336	0,828571	0,836664	0,0000214	0,00013	0,008093	
13.000	1.000	5	0,153571	0,140445	0,846429	0,859555	0,0000179	0,00012	0,013127	
14.000	1.000	4	0,139286	0,120762	0,860714	0,879238	0,0000143	0,00010	0,018524	
15.000	1.000	10	0,103571	0,103837	0,896429	0,896163	0,0000357	0,00034	0,000266	
16.000	1.000	16	0,046429	0,089285	0,953571	0,910715	0,0000571	0,00123	0,42856	
17.000	1.000	13	0	0,076771	1	0,923229	0,0000464		0,076771	
		n = 280								

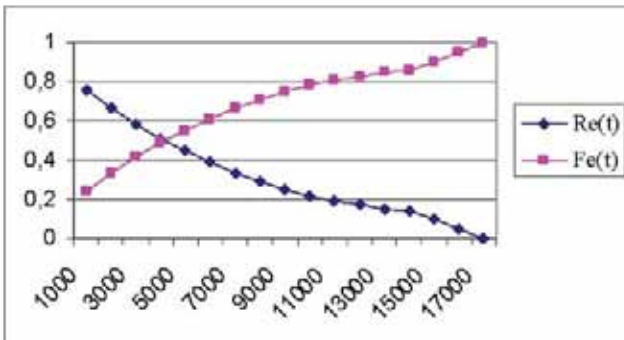
S pomoću podataka iz tablice 1. prikazane su na slikama 11. i 12. sljedeće funkcije:

$R_e(t)$ – empirijska funkcija pouzdanosti tehničkog sustava,

$F_e(t)$ – empirijska funkcija nepouzdanosti sustava,

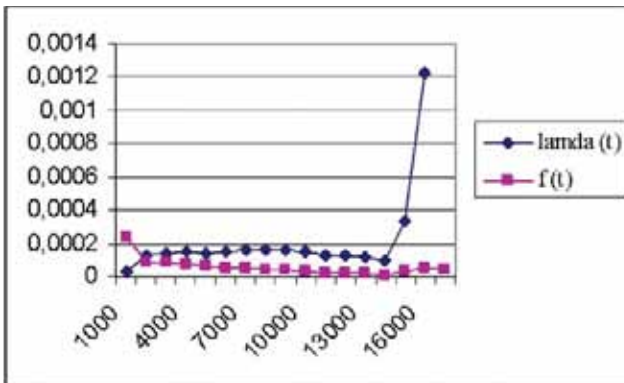
$f(t)$ – gustoća razdiobe vremena do kvara komponente,

$\lambda(t)$ – učestalost kvara komponente.



Slika 11. Funkcija pouzdanosti $R_e(t)$ i funkcija nepouzdanosti $F_e(t)$ izračunate s pomoću podataka iz AMOS-ove baze podataka u intervalu (t_0, t_3)

Fig. 11. Reliability function $R_e(t)$ and unreliability function $F_e(t)$ calculated using the data from AMOS data base in the period (t_0, t_3)

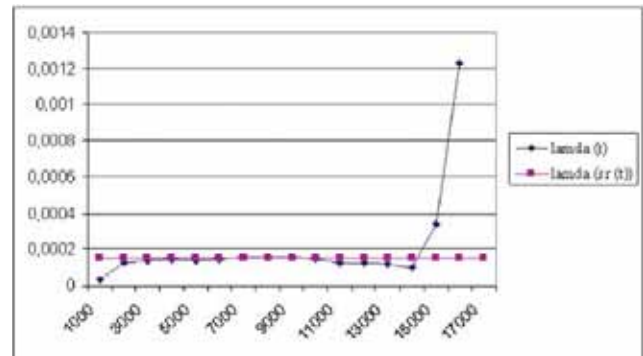


Slika 12. Funkcija gustoće kvarova $f(t)$ i učestalost kvarova $\lambda(t)$ izračunate s pomoću podataka iz AMOS-ove baze podataka u vremenu (t_0, t_3)

Fig. 12. Density failure function $f(t)$ and frequency failures $\lambda(t)$ calculated using the data from AMOS data base in the period (t_0, t_3)

S pomoću podataka iz tablice 1. izračunava se srednja vrijednost učestalosti kvara sustava, podsustava i komponenata u vremenu (t_1, t_2) :

Na slici 13. funkcije su učestalosti kvarova $\lambda(t)$ i $\lambda_{SR}(t)$ u vremenu (t_0, t_3) .



Slika 13. Funkcije učestalosti kvarova $\lambda(t)$ i $\lambda_{SR}(t)$ u vremenu (t_0, t_3)

Fig. 13. Frequency failures functions $\lambda(t)$ and $\lambda_{SR}(t)$ in the period (t_0, t_3)

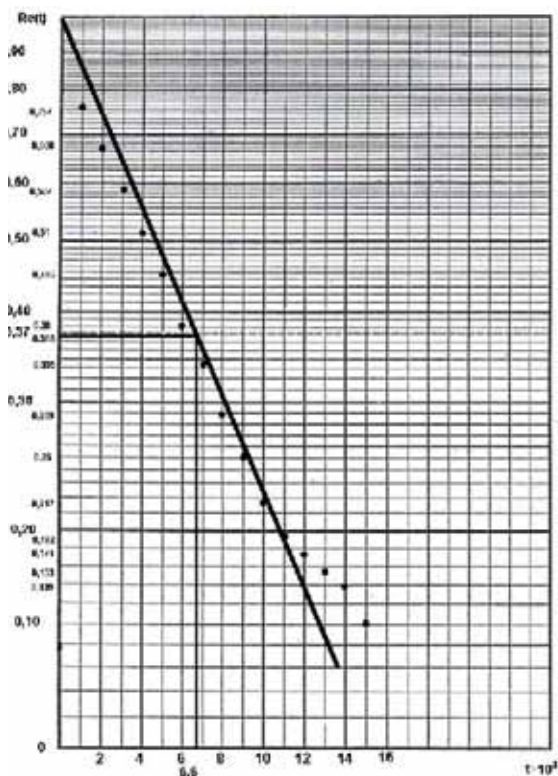
Srednje vrijeme u ispravnom stanju \bar{T}_{ur} može se izračunati s pomoću izraza:

$$\bar{T}_{ur} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_i + t_{i+1}}{2} N(t) \right] \cdot 10^3 = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

S pomoću grafičkog prikaza vjerojatnosti prikazanoga na slici 14., očitava se srednje vrijeme u ispravnom stanju \bar{T}_{ur} (vrijeme do pojave kvara). Na temelju srednjeg vremena u radu, s pomoću izraza (8), može se naći učestalost kvarova λ , koja je za eksponencijalni zakon razdiobe konstantna:

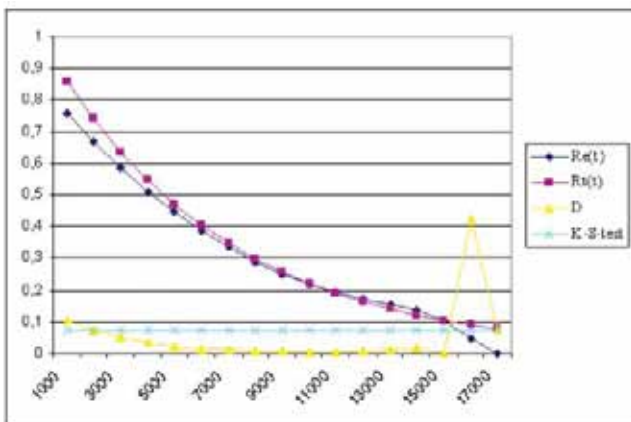
$$\lambda(t) = \frac{1}{\bar{T}_{ur}} = \frac{1}{6600} = 0,000151 \approx 0,00015 \quad (8)$$

Raspored točaka empirijske pouzdanosti na grafičkom prikazu vjerojatnosti eksponencijalne razdiobe može se aproksimirati pravcem, što bi trebalo potvrditi hipotezu da se radi o eksponencijalnoj razdiobi. Isto potvrđuju i dijagrami na slikama 12. i 13., iz kojih se može uočiti da je izračunata empirijska učestalost kvarova $\lambda(t)$ približno konstantna u vrijeme normalne eksploatacije (t_1, t_2) , a to odgovara značajkama eksponencijalne razdiobe.



Slika 14. Grafički prikaz vjerojatnosti eksponencijalne razdiobe za empirijsku funkciju pouzdanosti $R_e(t)$
 Fig. 14. Probability sheet of exponential division for empirical reliability function $R_e(t)$

Kolmogorov–Smirnovljev test / Kolmogorov–Smirnov test
 Kolmogorov–Smirnovljev test (K-S test) se upotrebljava za testiranje hipoteze da dobivena razdioba odgovara teorijskoj - u ovom slučaju eksponencijalnoj razdiobi, [7]. Na slici 15. prikazani su: K-S test, empirijska $R_e(t)$ i teorijska $R_t(t)$ funkcija pouzdanosti u vremenu eksploatacije, te razlika tih dviju funkcija D .



Slika 15. K-S test, empirijska funkcija pouzdanosti $R_e(t)$, teorijska funkcija pouzdanosti $R_t(t)$, D razlika empirijska i teorijska funkcija pouzdanosti
 Fig. 15. K-S test, empirical reliability function $R_e(t)$, theoretical reliability function $R_t(t)$, difference between empirical and theoretical reliability function D

K-S test se provodi tako da se odredi najveće odstupanje D_{max} kao apsolutna vrijednost razlike između empirijske $R_e(t)$ i teorijske $R_t(t)$ funkcije pouzdanosti. Izvodi se s razinom rizika α , odnosno uz vjerojatnost $p=1-\alpha$. Prema K-S testu teorijski model razdiobe slučajne varijable može se prihvatiti ako je zadovoljen izraz:

$$D_{max} < \frac{d_\alpha}{\sqrt{n}} \tag{9}$$

gdje je:

d_α – parametar za odabranu razinu rizika povjerenja; očitava se iz tablice 2.,

n – ukupan broj pojava u neispravnom stanja ili ukupan broj promatranih komponentata u trenutku $t=0$.

Tablica 2. Kolmogorov-Smirnovljev test
 Table 2. Kolmogorov-Smirnov test

α	0,1	0,05	0,01
$\frac{d_\alpha}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

U konkretnom slučaju, uzet će se razina rizika $\alpha=0,1$. Promatrat će se vrijeme normalne eksploatacije sustava u trajanju od 15.000 sati rada. Iz tablice 1. za promatrano razdoblje očitava se da je $n=183$, pa se izračuna:

$$\frac{d_\alpha}{\sqrt{n}} = \frac{1,22}{\sqrt{183}} = 0,0901$$

U vremenu normalne eksploatacije broskoga porivnog sustava, iz tablice 1. očitava se $D_{max}=0,0715$. S obzirom na to da je u konkretnom slučaju ispunjen uvjet iz izraza (9), tj.:

$$0,0715 < 0,0901 \tag{10}$$

empirijski podatci pouzdanosti broskoga porivnog sustava podvrgavaju se zakonu eksponencijalne razdiobe.

ZAKLJUČAK / Conclusion

U radu je prikazan jedan od načina upravljanja i eksploatacije broskoga porivnog sustava koji se primjenjuje na M/B R5 kako bi se smanjili troškovi, poboljšala učinkovitost održavanja i povećala pouzdanost.

S pravilnim održavanjem (preventivnim i planskim) tehničkog sustava rastuća funkcija učestalosti kvara svodi se na konstantnu vrijednost, to jest povećava se pouzdanost tehničkog sustava.

Iz slika 12. i 13. vidi se da je učestalost kvara sustava $\lambda(t)$ približno konstantna u intervalu od 1.000

do 15.000 sati. Izostavljanjem vrijednosti kvarova u početku i pri kraju radnog vijeka, dobiva se vrijeme normalne eksploatacije od 2.000 do 15.000 radnih sati, gdje je vrijednost učestalosti kvarova $\lambda(t)$ od 0,00012 do 0,00017, ili srednja vrijednost $\lambda_{SR}(t) = 0,00015$, pa se zaključuje da se učestalost kvarova ponaša po eksponencijalnoj razdiobi. To potvrđuje hipoteza o eksponencijalnoj razdiobi, koja je prihvaćena jer je zadovoljen uvjet iz izraza (9) uz vjerojatnost $p=0,9$.

Prihvaćanjem hipoteze može se zaključiti da se odabrana razdioba zadovoljavajuće prilagođava empirijskim podacima.

U radu se nastojalo prikazati što više informacija iz prakse kako bi se mogao dobiti uvid u prednosti koje pruža programski paket AMOS, a jednako tako učiniti i razumljivim prikazani primjer.

LITERATURA / Reference

- [1] AMOS, Priručnik za rukovanje programskim paketom
- [2] M. Jurjević, B. Bilić, I. Milić-Beran, H. Zekić, *Application of the software package „AMOS“ in maintenance of the marine propulsion system*; 2nd International maritime scientific conference – IMSC, June 17-21, 2008, Lumbarda, Croatia
- [3] Wärtsilä VASA 12V32, ELDOC elektronički priručnik za održavanje motora
- [4] Tehnička dokumentacija s putničkog broda M/B Regatta
- [5] Internet:
 - <http://www.ship-technology.com>
 - <http://www.powergeneration.com>
 - <http://www.marineengineering.org.uk>
 - <http://www.hightechfinland.com>
 - <http://www.marinelog.com>
- [6] J. Lovrić, *Osnove brodske terotehnologije*, Pomorski fakultet u Dubrovniku, Dubrovnik (1989.)
- [7] M. Jurjević, B. Bilić, I. Veža, *Method of technical system reliability analysis by application of exploitation experience*; 11th International scientific conference on production engineering – CIM2007, June 13-17, 2007, Biograd, Croatia
- [8] J. Barle, *Autorizirana predavanja (udžbenik u izradi)*, FESB, Split, 2008.

Rukopis primljen: 14. 5. 2009.

