

Mr. sc. **Mato Tudor**
Mr. sc. **Dragan Martinović**
Visoka pomorska škola u Rijeci
Studentska 2, Rijeka

Prethodno priopćenje
UDK: 519.85:629.5.083.4

O OPTIMIZACIJI ZALIHE PRIČUVNIH DIJELOVA BRODSKOGA POGONSKOG POSTROJENJA

U radu je prikazana optimizacija zalihe pričuvnih brodskih dijelova. Optimizacija predstavlja određivanje količine potrebnih dijelova, koja će rezultirati minimalnim troškovima uz zadovoljavanje propisa i preporuka klasifikacijskih zavoda. Optimizacija se provodi posebno za svaki brod, a usko je povezana s održavanjem broda i potrošnjom pričuvnih dijelova. Za određivanje optimalne količine pričuvnih dijelova, dan je matematički model. Na brodu je veoma česta pojava da se isti pričuvni dio koristi za više uređaja. Razlika je u optimizaciji takvih dijelova u odnosu prema pričuvnim dijelovima koji se ugrađuju u jedan uređaj pa je u radu dan i matematički model određivanja količine pričuvnih dijelova na zalihi koji se mogu ugraditi u više uređaja.

1. UVOD

Održavanje čini skup aktivnosti kojima se uz minimalne troškove nastoji postići zadovoljavajući stupanj sigurnosti broda kao plovnog objekta i raspoloživosti broda kao sredstvo za prijevoz robe i/ili putnika. Osnovni subjekti koji se javljaju u izvođenju poslova održavanja jesu posada broda, brodogradilište i specijalizirani servisi. Osnovna je dvojba vezana za način raspodjele poslova održavanja između posade broda i subjekata na kopnu (brodogradilište, specijalizirani servisi). Važniji čimbenici koji utječu na odluku o tome tko će izvoditi poslove održavanja jesu: pouzdanost brodskih uređaja, rezgranatost servisne mreže, standardiziranost i unificiranost opreme, dostupnost kvalificirane radne snage, troškovi za plaće, gubici zbog stajanja i cijena pričuvnih dijelova. Da bi se poslovi održavanja koje izvodi posada broda mogli obavljati, mora se, osim kvalificirane radne snage i odgovarajuće opreme, imati i zaliha pričuvnih dijelova. Ekonomska strana problema zalihe pričuvnih dijelova važan je čimbenik i ne smije se zanemariti. Prevelika količina pričuvnih dijelova veže obrtna sredstva brodarara i opterećuje poslovanje troškovima kamata. Premale zalihe mogu dovesti u pitanje

funkcionalnost brodskih sustava i pridonijeti gubicima zbog zastoja uzrokovanog nemogućnošću obavljanja poslova održavanja.

Pri određivanju zalihe pričuvnih dijelova potrebnih za održavanje brodskih sustava, najprije se mora udovoljiti zahtjevima klasifikacijskih zavoda. Oni propisuju količinu zaliha glavnih pričuvnih dijelova čiji bi nedostatak mogao uzrokovati teže posljedice. Za takve dijelove klasifikacijski zavodi propisuju minimalne zalihe, a uz to daju i preporuke o zalihama određenih vrsta i količina pričuvnih dijelova.

Pri određivanju količine potrebnih pričuvnih dijelova, treba odrediti čimbenike koji na nju utječu. Potražnja za pričuvnim dijelovima porast će zbog povećane učestalosti pojave kvarova, odnosno zbog povećane učestalosti obavljanja poslova održavanja. Neki od čimbenika koji utječu na povećanu potrošnju pričuvnih dijelova jesu:

- pogrešno rukovanje opremom
- greška u projektiranju ili u proizvodnji
- loše održavanje
- kratak vijek trajanja opreme.

Pri određivanju količine pričuvnih dijelova, treba uzeti u obzir sljedeće čimbenike:

- potražnja - uvjetovana je učestalošću održavanja
- mogućnost nabave - uvjetovana je vremenom između narudžbe kod proizvođača i isporuke pričuvnog dijela (gdje i kada će se nabaviti)
- očekivani životni vijek - ako je životni vijek ugrađenog dijela kraći, njegova količina na skladištu mora biti veća nego ako je vijek trajanja dulji
- očekivani životni vijek broda - ako brodovlasnik namjerava u bližoj budućnosti prodati brod ili ga poslati u rezalište, količina na zalihama treba biti dovoljna da dotad podmiri potrebe održavanja.

2. OPTIMIZACIJA ZALIHA

Optimizacija zaliha pričuvnih dijelova znači određivanje količine potrebnih dijelova na zalihama, koja će rezultirati minimalnim troškovima.

Ako se optimizacija pričuvnih dijelova na brodom skladištu ne provodi, zalihe se uglavnom određuju na temelju iskustva odgovornih ljudi na brodu, što znači da se promjenom posade mijenjaju i kriteriji popune. Određivanje optimalne količine pričuvnih dijelova usko je povezano s održavanjem broda i njihovom potrošnjom. Ako se ne vodi računa o učestalosti kvarova i ukupnim troškovima za pričuvne dijelove, često se događa da se popravljaju dotrajali uređaji, a jeftinije bi npr. rješenje bilo zamjena dotrajalog uređaja novim.

U troškove za pričuvne dijelove ubrajaju se troškovi njihove nabave. Ako određenoga pričuvnog dijela nema na zalihama, a ukaže se potreba za njim, u troškove se ubrajaju troškovi njegove hitne nabave i troškovi koji nastaju radi zastoja broda.

Svaka nabava pričuvnog dijela uz cijenu, uzrokuje još i neke dodatne troškove kao što je npr. cijena prijevoza ili razni administrativni troškovi. Povećanjem količine naručenih dijelova može se postići manja nabavna cijena, čime se smanjuju i ti dodatni troškovi za pojedini pričuvni dio (manji su jedinični troškovi).

Nasuprot tome, neutrošeni pričuvni dijelovi na zalihama trošak su koji se iskazuje kroz cijenu utrošenih sredstava za njihovu nabavu.

Kada se pojavi potreba za pričuvnim dijelom, a njega nema na zalihi, mora se hitno naručiti, što rezultira povećanim troškovima nabave, odnosno većim jediničnim troškovima. Često nedostatak pričuvnog dijela može prouzročiti troškove neusporedivo veće od njegove vrijednosti. U slučaju da zbog nedostatka pričuvnog dijela brod ne može obavljati svoju prijevozničku funkciju, povećavaju se troškovi zbog zastoja broda. Isto tako, ako zbog nedostatka pričuvnog dijela neki brodski sustav ne može normalno funkcionirati, to može prouzročiti dodatne troškove (npr. zbog nemogućnosti popravka brodske dizalice moraju se angažirati kopnene lučke dizalice, a to povećava troškove prekrcaja tereta).

S gledišta optimizacije, pričuvni se dijelovi mogu podijeliti:

- pričuvni dijelovi koji se ne drže na skladištu, već se naručuju prema potrebi
- obvezatni pričuvni dijelovi, zakonski propisani, potrebni za sigurnost broda
- pričuvni dijelovi koji se drže na zalihi radi obavljanja poslova održavanja.

Za pričuvne dijelove koji se ne drže na zalihi, već se naručuju prema potrebi, ne može se ostvariti ušteda pa nema ni optimizacije tih dijelova. Za obvezatne pričuvne dijelove može se, prema potrebi, optimizirati zaliha na razini iznad propisane. Optimizacija se ponajprije odnosi na dijelove čiju količinu na zalihi određuje brodar i koji se troše pri održavanju broda.

3. MATEMATIČKI MODEL OPTIMIZACIJE PRIČUVNIH DIJELOVA

Za određivanje optimalne količine pričuvnih dijelova koriste se matematički modeli. Potražnja za pričuvnim dijelovima slučajna je veličina. Na temelju iskustvenih podataka o potrošnji pričuvnih dijelova, određuje se funkcija vjerojatnosti potrošnje. U sljedećem primjeru prikazana je optimizacija pričuvnih dijelova uz pretpostavku:

- kontinuirane i jednolike potrošnje
- održavanja zaliha iznad unaprijed određene minimalne vrijednosti.

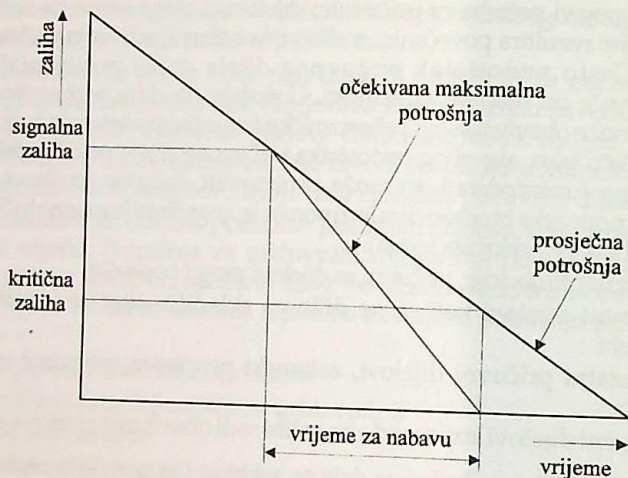
Model optimizacije zasniva se na veličinama:

- signalna nabava
- količina za zabavu
- kritična (minimalna) nabava.

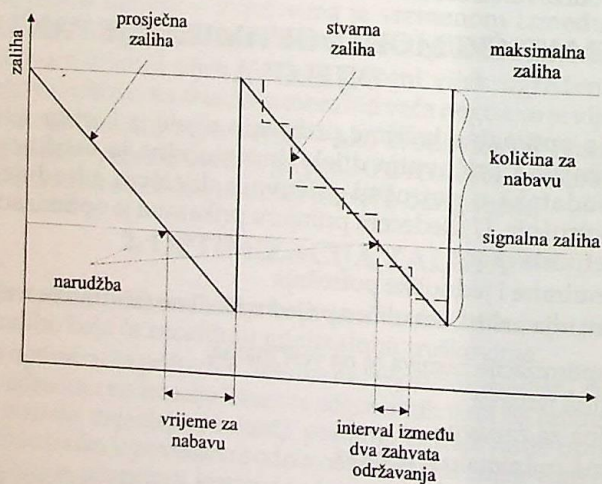
Za određivanje osnovnih veličina potrebno je za svaki pričuvni dio odrediti:

- prosječnu potrošnju (npr. godišnju)
- vrijeme za nabavu (vrijeme od nabave do dospijeca)
- očekivanu maksimalnu potrošnju.

Grafički prikaz modela s kontinuiranom potrošnjom dan je na slikama 1. i 2.



Slika 1. Grafički prikaz kretanja zaliha



Slika 2. Grafički prikaz vremena narudžbe

Na slici 2. prikazano je kontinuirano kretanje potrošne pričuvnih dijelova, pri kojoj se zaliha mijenja od maksimalne do kritične količine.

Signalna zaliha prikazana na slikama 1. i 2. ona je zaliha koja je dovoljna da se podmiri maksimalna potražnja, a u slučaju da se odmah naruči nova količina pričuvnih dijelova.

Signalna zaliha izračunava se prema izrazu:

$$Z_s = P_m T_n$$

gdje je:

- Z_s – signalna zaliha
- P_m – očekivana maksimalna potrošnja
- T_n – vrijeme za nabavu.

Kritičnom zalihom podmiruje se za vrijeme trajanja nabave ona potražnja za pričuvnim dijelovima koja je veća od prosječne.

Kritična zaliha izračunava se prema izrazu:

$$Z_k = Z_s - T_n P_p$$

gdje je:

- Z_k – kritična zaliha
- P_p – prosječna potrošnja.

Količina za nabavu određuje se prema izrazu:

$$K_n = \sqrt{\frac{2xP_f}{P_j}}$$

gdje je:

- K_n – količina za nabavu
- X – potrebna godišnja količina pričuvnih dijelova
- P_f – fiksni troškovi za jednu nabavu
- P_j – jedinični troškovi zaliha.

Na veličinu K_n utječe godišnja količina pričuvnih dijelova, trošak nabave raste i trošak zalihe. K_n je optimalna količina za nabavu budući da minimizira ukupne godišnje troškove nabave i troškove zaliha za određeni pričuvni dio. Porastom troškova nabave raste i optimalna količina za nabavu, dok porastom troškova zaliha ona pada.

4. MATEMATIČKI MODEL OPTIMIZACIJE PRIČUVNIH DIJELOVA KOJI SE MOGU UGRADITI U VIŠE UREĐAJA

Na brodu je česta pojava da se isti dio koristi za više uređaja. Tada je za isti stupanj pouzdanosti rada pojedinog uređaja potrebna manja količina pričuvnih dijelova, nego kada se radi o različitim pričuvnim dijelovima.

Zbog toga je potrebno provesti razvrstavanje na pričuvne dijelove koji se mogu ugraditi u više uređaja, i one koji se mogu ugraditi samo u određeni uređaj. Dijelovi se, isto tako, razlučuju prema trajnosti u iskorištavanju. U jednu grupu mogu se svrstati dijelovi s duljim vijekom trajanja, na primjer dužim od šest mjeseci, u drugu grupu dijelovi koji se brzo troše.

Količina pričuvnih dijelova koji se mogu ugraditi u više uređaja, određuje se na temelju njihova broja u svim uređajima i jedinicama prema izrazu:

$$N_r = \frac{a b c K_a K_b}{T}$$

gdje je:

- N_r – količina pričuvnih dijelova
- a – broj uređaja istog tipa
- b – količina istotipnih dijelova na jednom uređaju
- c – procijenjeni rok u mjesecima za koji se želi osigurati pričuvne dijelove, neovisno o vijeku trajanja
- T – vijek trajanja pričuvnih dijelova u mjesecima
- K_a – koeficijent smanjenja količine pričuvnih dijelova u ovisnosti o broju jednakih uređaja
- K_b – koeficijent smanjenja količine pričuvnih dijelova u ovisnosti o broju jednakih dijelova na jednom uređaju.

Koeficijenti K_a i K_b mogu se odrediti prema tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Koeficijent K_a

| Količina uređaja istog tipa | K_a |
|-----------------------------|-------|
| 1 - 2 | 1 |
| 3 - 4 | 0,9 |
| 5 - 6 | 0,8 |

Tablica 2. Koeficijent K_b

| Količina istih dijelova u jednom uređaju | K_b |
|--|-------|
| 1 | 1 |
| 2 | 0,8 |
| 3 - 4 | 0,7 |
| 5 - 6 | 0,6 |
| 7 - 8 | 0,5 |
| 9 - 10 | 0,4 |

Za pričuvne dijelove čiji rok trajanja ne prelazi šest mjeseci, količina se izračunava prema izrazu:

$$N_r = \frac{a b c}{T}$$

gdje oznake imaju isto značenje kao i u već objašnjenim izrazima.

Za svaki uređaj utvrđuju se veličine a i b . Veličina c određuje se prema mogućnostima nabave pričuvnih dijelova.

Pri određivanju vijeka trajanja pričuvnih dijelova T , najbolje je poslužiti se uputama proizvođača, ako su ti podaci dostupni.

Ako podaci proizvođača nisu dostupni, treba uzeti u obzir primjere iz prakse, odnosno prethodno iskustvo u korištenju tih pričuvnih dijelova. Za brod je karakteristično da se procjena provodi na temelju uzorka s malim brojem elemenata, jer je vrlo mali broj elemenata koji se troše u velikim količinama.

Na temelju uzorka određuje se ponašanje cijeloga skupa određenog tipa pričuvnih dijelova. Uzorak ne može potpuno nadomjestiti cijeli skup, zato procjena ponašanja cijeloga skupa pomoću uzorka sadrži određenu razinu nepouzdanosti.

Pouzdanost procjene vremena trajanja pričuvnih dijelova na temelju malog uzorka $P(|t| \geq T)$, tj uzorka koji sadrži do trideset elemenata, određuje se na temelju Studentove t-razdiobe $S(t)$ s n stupnjeva slobode.

$$P(|t| \geq T) = 2(1 - S(T))$$

Broj stupnjeva slobode izračuna se prema izrazu:

$$n = m - 1 - r$$

gdje je:

n – broj stupnjeva slobode

m – broj elemenata u uzroku

r – broj nepoznatih parametara u razdiobi koji se ocjenjuju na osnovi uzorka (npr. standardna devijacija i slično).

Funkcija razdioba $S(T)$ slučajne varijable t koja ima n stupnjeva slobode, dana je izrazom:

$$S(T) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{n\pi}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \int_{-\infty}^T \left(1 + \frac{u^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}} du$$

gdje je:

Γ – gama funkcija.

Broj stupnjeva slobode u slučajnim varijablama jednak je broju elemenata uzorka manje jedan.

Za praktičnu primjenu na temelju vrijednosti funkcije $S(T)$, koja ovisi o broju elemenata uzorka i vremenu trajanja pričuvnih dijelova, određuje se pouzdanost procjene. Vrijednosti funkcije $S(T)$ mogu se naći i u tablicama udžbenika i priručnika iz statističke matematike.

5. ZAKLJUČAK

Da bi se poslovi održavanja na brodu mogli izvoditi, osim kvalificirane posade i odgovarajućeg alata, potrebno je imati i pričuvne dijelove. Stoga na brodu mora postojati odgovarajuća zaliha pričuvnih dijelova. Prevelika količina pričuvnih dijelova na zalihi veže veća obrtna sredstva, a to rezultira većim troškovima poslovanja, a premala količina dovodi u pitanje mogućnost izvođenja potrebnih poslova održavanja, a time i sposobnost broda da obavlja svoju osnovnu funkciju i donosi profit. Svaki nepotreban zastoj suvremenog broda, samo u jednom danu stvara troškove koji se mjere tisućama dolara. Zadatak je optimizacije odrediti

količinu pričuvnih dijelova na brodskoj zalihi koja će pomiriti ta dva suprotstavljena interesa. U radu je dan matematički model za određivanje optimalne količine pričuvnih dijelova, koja će rezultirati minimalnim troškovima. Česta je pojava na brodu da se isti pričuvni dio može ugraditi u više istih ili različitih uređaja. Optimalan broj takvih pričuvnih dijelova na zalihi manji je nego kada se radi o različitim pričuvnim dijelovima. On se ne može dobiti tako da se odredi optimalna količina za jedan uređaj i dobiveni broj pomnoži s brojem uređaja u koje se taj pričuvni dio može ugraditi. Stoga je dan i matematički model za određivanje optimalne količine pričuvnih dijelova koji se mogu ugraditi u više uređaja.

LITERATURA

- [1] B. Bonefačić, Zalihe rezervnih dijelova u održavanju pogonskih postrojenja, Pomorstvo, broj 4-5, str. 194.-195., Rijeka, 1969.
- [2] M. Tudor, Računalni model održavanja broda, Magistarski rad, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 1997.
- [3] Z. A. Ivković, Matematička statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [4] M. R. Spiegel, Probability and Statistics, Schaum's outline series, McGraw-Hill company, Singapore, 1980.
- [5] E. Rejac, Terotehnologija, Informator, Zagreb, 1974.

Summary

A CONTRIBUTION TO THE OPTIMIZATION OF THE SPARE PARTS SUPPLIES REQUIRED FOR MAINTENANCE

The paper deals with the optimization of the spare parts supplies. Optimization means a supply of a certain quantity of necessary spare parts at a minimum cost and complying with all rules and recommendations of the classification societies. Optimization is carried out for each ship separately and is closely connected with the ship's maintenance and the used up spare parts. A mathematical model is presented in order to determine the optimum quantity of spare parts. It is very often the case on board a ship to have to use the same spare part for several equipments. The difference is in the optimization of such parts as regards the spare parts to be built in on a single equipment. Therefore, the paper aims at presenting a mathematical model in order to determine the quality of spare parts supplies that can be built in on a number of different equipments.