

Sveučilište u Splitu
POMORSKI FAKULTET
Dubrovnik

Josip Lovrić

OSNOVE BRODSKE TEROTEHNOLOGIJE



REPRINT

Dubrovnik, 1989. god.

University of Split

M A R I T I M E F A C U L T Y

Dubrovnik

J o s i p L o v r i ć

B A S I C S
O F S H I P ' S T E R O T E C H N O L O G Y

1989.

Sveučilište u Splitu

P O M O R S K I F A K U L T E T

Dubrovnik

J o s i p L o v r i ć

O S N O V E

B R O D S K E T E R O T E H N O L O G I J E

1989.

Recenzenti: dr. ANTE BOSNIĆ

dr. MARIJAN LJUBETIĆ

dr. MARIJAN VUKIČEVIĆ

Lektor: ANTUN ČESKO, prof.

Odobrenje Komisije za izdavačku djelatnost
Pomorskog fakulteta Dubrovnik, br. 102/89
od 09. ožujka 1989. godine

Tisak: Skriptarnica Pomorskog fakulteta Dubrovnik,
Dubrovnik, I.L. Ribara 4.

Naklada: 600 primjeraka

Table of contents:

P A R T O N E

PREFACE

1. MAINTENANCE COSTS

- 1.1 Preliminary consideration
- 1.2 Exploitation cost of merchant vessel
- 1.3 Maintenance cost of merchant vessel
- 1.4 Terotechnology – scope and extension

2. RELIABILITY OF SHIP'S SYSTEMS

- 2.1 Failures of technical systems
- 2.2 Concept of technical systems reliability
- 2.3 Reliability in relation to chance failures
- 2.4 Reliability in relation to wearout
- 2.5 Combined reliability
- 2.6 Reliability applied to ship's systems
- 2.7 Configuration of ship's systems and reliability with repairs

3. MAINTENANCE OF SHIP'S SYSTEMS

- 3.1. Classification of ship' s systems
- 3.2. Availability of ship's systems and ship's operativity
- 3.3. Maintainability of ship's systems
- 3.4. Terotechnology and automation
- 3.5. Maintenance power equation and operative time constraint
- 3.6. Monitoring
- 3.7. Maintenance technology and organization

4. APROACH TO THE MAINTENANCE OF SHIP'S SYSTEMS

- 4.1. Preliminary considerations
- 4.2. Maintnance methods
- 4.3. Approach to the drydocking
- 4.4. Influence of rules on ship's terotechnology
- 4.5. Organization of maintenance service in shipping

Sadržaj

PRVI DIO

PREDGOVOR

1. TROŠKOVI ODRŽAVANJA BRODA

- 1.1. Uvodna razmatranja
- 1.2. Troškovi iskorišćivanja trgovačkog broda
- 1.3. Troškovi održavanja trgovačkog broda
- 1.4. Terotehnologija – cilj i domet

2. POUZDANOST BRODASKIH SUSTAVA

- 2.1. Kvarovi tehničkih sustava
- 2.2. Pojam pouzdanosti tehničkih sustava
- 2.3. Pouzdanost s obzirom na slučajne kvarove
- 2.4. Pouzdanost s obzirom na dotrajalost
- 2.5. Složena pouzdanost
- 2.6. Pouzdanost primijenjena na brodske sustave
- 2.7. Konfiguracije brodskih sustava i pouzdanost uz zahvate

3. ODRŽAVANJE BRODSKIH SUSTAVA

- 3.1. Podjela broda na osnovne sustave
- 3.2. Raspoloživost brodskih sustava i uporabljivost broda
- 3.3. Sposobnost održavanja brodskih sustava
- 3.4. Terotehnologija i automatizacija
- 3.5. Jednadžba moći održavanja i granični kriterij uporabljivosti
- 3.6. Provjera stanja i performansi
- 3.7. Tehnologija i organizacija održavanja

4. PRISTUP ODRŽAVANJU BRODSKIH SUSTAVA

- 4.1. Uvodna razmatranja
- 4.2. Metode održavanja
- 4.3. Pristup dokovanju broda
- 4.4. Utjecaj propisa na brodsku teretehnologiju
- 4.5. Organizacija službe održavanja u brodarstvu

Table of contents:

PART TWO

5. TAKING OVER THE SHIP

- 5.1. Early failures and "burn-in" period
- 5.2. Tests and trials of ship's system and installations
- 5.3. Sea trials
- 5.4. Tests of propulsion plant
- 5.5. Other tests
- 5.6. Taking over the second - hand ship

6.. APPROACH TO THE MAINTENANCE PLANNING

- 6.1. Preliminary considerations
- 6.2. Planning of maintenance actions
- 6.3. Planning and managing of spare parts & stores
- 6.4. Maintenance action report

7. APPROACH TO THE MAINTENANCE OF SHIP'S UNDERWATER PART

- 7.1. Hull underwater fouling
- 7.2. Exploitation roughness of the hull and it's influence upon the resistance
- 7.3. Maintenance of hull underwater part
- 7.4. Exploitation roughness of the screw
- 7.5. Influence of blade roughness upon the hydrodynamic characteristics of screw
- 7.6. Influence of exploitation roughness upon the propulsion and effect of maintenance actions with ship afloat

8. LAYING - UP AND REACTIVATION OF SHIP

- 8.1. Preliminary considerations
- 8.2. Preparation and maintenance of laid-up ship
- 8.3. Reactivation of laid – up ship

9. TEROTECHNOLOGICAL APPROACH TO THE DEFINITION OF SHIP DESIGN

BIBLIOGRAPHY

Sadržaj

DRUGI DIO

5. PREUZIMANJE BRODA

- 5.1. Početni kvarovi i period uhodavanja
- 5.2. Pokusi i provjere brodskih sustava i uređaja
- 5.3. Pokusna plovidba
- 5.4. Provjera porivnog sustava
- 5.5. Ostale provjere
- 5.6. Preuzimanje rabljenog broda

6. PRISTUP PLANIRANJU ODRŽAVANJA

- 6.1. Uvodna razmatranja
- 6.2. Planiranje zahvata održavanja
- 6.3. Planiranje i upravljanje doknadnim dijelovima i materijalima za održavanje
- 6.4. Izvještaj o zahvatu

7. PRISTUP ODRŽAVANJU PODVODNOG DIJELA BRODA

- 7.1. Obrastanje trupa
- 7.2. Eksploatacijska hrapavost trupa i njezin utjecaj na otpor broda
- 7.3. Održavanje podvodnog dijela trupa
- 7.4. Eksploatacijska hrapavost broskog vijka
- 7.5. Utjecaj eksploatacijske hrapavosti krila na hidrodinamičke osobine broskog vijka
- 7.6. Utjecaj eksploatacijske hrapavosti na propulziju i učinak zahvata održavanja s brodom u moru

8. RASPREMA I PONOVDNA PRIPREMA BRODA

- 8.1. Uvodna razmatranja
Priprema i održavanje broda u raspremi
- 8.2. Ponovna priprema broda za službu

9. TEROTEHNOLOŠKI PRISTUP PROJEKTNOM ZAHTJEVU

LITERATURA

P R E F A C E

This book is based on the experience acquired by the author during his 35 year work on the problem of ship maintenance, first as a young naval architect in the repair shipyard "Viktor Lenac" in Rijeka, then as a Bureau Veritas surveyor of many years and finally as a longtime manager of the technical department of the Atlantska plovidba Shipping Co. in Dubrovnik. It is also the result of the author's experiences and needs in lecturing on this subject at postgraduate courses at the Faculty of Engineering and Naval architecture in Zagreb and on the maritime Faculty of Dubrovnik.

No wonder that it is the first book of this kind in this country because it was not until the early seventies that terotechnology matured as a special discipline in the world of science.

Although I have studied a fair amount of relevant world literature, which has been extensively used in this work, I have never come across a text – book written for the needs of shipping practice and shipbuilding. Being my first attempt, which has not had any precedent, this book must contain many omissions and methodical mistakes. Therefore, I should be very grateful to hear the reader's comments and suggestions of any kind.

The book is divided into two parts. The first part, which is meant for students of nautical studies, may be considered as a general approach to the problem with reference to theory. In my opinion, both the first and the second parts provide the material for students of marine engineering and naval architecture. It can also be used as a reference book.

I wish to thank the proof readers who have so kindly worked and commented on the text. Their suggestions have proved of the greatest value to me. I would also like to thank my students who have stimulated me to write this book.

Dubrovnik, May 1989.

the Author

P R E D G O V O R

Ova je knjiga nastala s jedne strane kao rezultat moga 35- godišnjeg bavljenja problemima održavanja broda, najprije kao mladog inženjera brodogradnje u remontnom brodogradilištu "Viktor Lenac" u Rijeci, zatim kao dugogodišnjeg vještaka međunarodnoga klasifikacijskog zavoda "Bureau Veritas" i konačno, dugogodišnjeg direktora tehničkog odjela brodarskog poduzeća "Atlantska plovidba" u Dubrovniku. Ona je, s druge strane, plod iskustva i potreba u vezi s mojim predavanjima iz ove problematike na postdiplomskom studiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i na dodiplomskom studiju Dubrovniku. To je prva što nije nimalo čudno ako se terotehnologije kao zasebne početkom 70-ih godina. svjetske literature, kojom sam uspio pronaći ništa što bi bilo oblikovano kao udžbenik za gradnje.



Pomorskog fakulteta u knjiga ove vrste u našoj zemlji, ima na umu da je pojam discipline sazio u svijetu tek Proučio sam podosta relevantne se obilato koristio, ali ni tu nisam u ovom smislu sjedinjeno i potrebe pomorstva i brodo-

Ova je knjiga, dakle, za mene prvenac, i to bez uzora. Kao svaki prvenac, sadrži ona zasigurno mnoge nedorečenosti, pa čak i praznine, te metodološke neprilagođenosti. Moja je vruća želja da posluži kao uzorak za prekrajanje i dopunjavanje. Podijeljena je u dva dijela.

Prvi se može smatrati općim pristupom problemu s osvrtom na teoriju, a namijenjen je studentima nautičkog usmjerenja. Prvi i drugi dio sjedinjuju gradivo koje je, po mom mišljenju, potrebno studentima brodstrojarskoga pomorskog usmjerenja i studentima brodogradnje, no nije naodmet ni onima nautičkog usmjerenja. Konačno, u nekim svojim dijelovima, knjiga može poslužiti i kao priručnik.

Na kraju, želim zahvaliti recenzentima na njihovim zapažanjima, savjetima i komentarima, koji su mi uvelike koristili, te svojim studentima, koji su me na ovaj rad poticali.

U Dubrovniku, svibnja 1989.

Autor

P R V I D I O

1. TROŠKOVI ODRŽAVANJA BRODA

1.1. UVODNA RAZMATRANJA

Kad bi izgradnja brodskog prostora slijedila potražnju, vozarinu bi valjalo formirati na osnovi prosječnih troškova broda. U tom bi slučaju brod s nižim troškovima iskorišćavanja ostvarivao veću dobit. No, budući da se tržište uglavnom ne ponaša tako, već njime vlada stanje koje bismo mogli nazvati čak "stihijnošću" (uz protekcionizam i ostale netržišne pristupe), to je ovu zakonitost teško ostvariti. Ipak, zakonitost ostaje zakonitošću i u ovakvim uvjetima, samo njezinu formulaciju, da bi bila realistična, valja prilagoditi tim uvjetima. Ona bi, zato, glasila: brod s nižim troškovima iskorišćavanja uvijek je rentabilniji (ili manje nerentabilan) od sličnog broda kojemu su ti troškovi viši. U tom svjetlu, dakle, korisno je i potrebno upoznati strukturu tih troškova i njihovu međuovisnost, kako bi se poslije moglo kompetentnije razglabati o onom njihovu dijelu koji nas ovdje posebno zanima.

1.2. TROŠKOVI ISKORIŠĆAVANJA TRGOVAČKOG BRODA

Shema koja se donosi u tekstu konvencionalna je i u svjetskom brodarstvu općenito je prihvaćena. Ona, međutim, ovako kako je prikazana, ne slijedi ni pravu tehnološku raščlambu niti u potpunosti naš društveni regulativ. To ipak nema bitna utjecaja na njezinu svrsishodnost u okviru pristupa materiji kojoj se želimo posvetiti.

Uobičajena raščlamba troškova iskorišćavanja broda izgledala bi, dakle:

- 1.2.1. Osobni dohoci i ostali troškovi posade:
(Wages, Victualling & Travelling)
pod ostalim troškovima podrazumijeva se prehrana i putni troškovi posade
- 1.2.2. Troškovi potrošnih materijala:
(Stores)
 - a) inventarski predmeti
 - b) boje, kemikalije, plinovi itd.
 - c) maziva
- 1.2.3. Troškovi održavanja:
(Maintenance)
popravci, dokovanja, doknadni dijelovi itd.
- 1.2.4. Troškovi osiguranja rizika:
(Insurance)
trup i stroj; osiguranje od odgovornosti članova posade; ratni rizik
- 1.2.5. Opći i zajednički troškovi:
(General expences & Management)
troškovi "zastave", PTT-troškovi itd., te osobni dohoci i troškovi kopnenih službi
- 1.2.6. Iznimni troškovi:
(Extraordinaries)
odbitne franšize u slučaju oštećenja (avarija)
- 1.2.7. Amortizacija
(Capital Recovery)
- 1.2.8. Troškovi goriva
(Fuelling)

1.2.9. Komercijalni troškovi:
(Comercial expences)

manipulacije i separacije tereta, provizije posrednicima i agentima te lučki i troškovi prolaza kanala uključivši peljarenje i tegljenje

Troškovi od 1.2.1. do 1.2.7. označavaju se f i k s n i m a, a oni pod 1.2.8. i 1.2.9. v a r i j a b i l n i m a .

Pojam i "fiksni" i "troškovi" zahtijeva komentar. Prvo, osobni se dohoci u našem socijalističkom društvenom poretku ne svrstavaju u troškove. Drugo, jedino se stavke pod 1.2.1, 1.2.4, 1.2.5. i 1.2.7. zaista ne mijenjaju ovisno o operacijama broda. Za ostale stavke "fiksni troškovi" nije svejedno plovi li brod i koliko plovi, ili je zaustavljen.

Posebno se to odnosi na mazivo, koje, zapravo, u potpunosti dijeli sudbinu goriva. Zato bi stavka 1.2.8. morala, zapravo, glasniti: troškovi goriva i maziva. Istini za volju valja reći da se troškovi maziva proračunavaju na osnovi prosječnih godišnjih pogonskih sati strojeva, što objektivizira sliku i, tako, troškove maziva stavlja ipak na neki način u ovisnost o operacijama broda. S druge strane, obično se ne vodi računa o razvijenoj snazi strojeva, koja varira od putovanja do putovanja, a o čemu također ovisi potrošak maziva. Troškovi se, dakle, maziva uzimaju kao neka uprosječena veličina, pa odatle i njihovo svrstavanje u fiksne troškove iskorišćavanja broda. Njihova neegzaktnost nije od tolikog utjecaja na cjelokupnu sliku da bi ih nužno trebalo prebaciti među troškove koji se označavaju varijabilnima.

1.2.1. Osobni dohoci i ostali troškovi posade

Na ove troškove bitno utječe broj brodskog osoblja. U površnom prisupu lako bi se zaključilo da je bolje što je taj broj manji. Ta zakonitost svakako vrijedi, ali samo donekle. Jer, ovaj je trošak u izvjesnoj mjeri obrnuto proporcionalan trošku održavanja. Ako, naime, na brodu nema stručnog osoblja u dovoljnom broju da može vršiti zahvate održavanja, nastupit će povećanje troškova održavanja, a osobito troškova zastoja. Zato, određivanje potrebnog broja brodskog osoblja zahtijeva posebno utemeljen pristup.

1.2.2. Troškovi potrošnih materijala

Za ove se troškove osim već razmatranog problema maziva može reći da su više ovisni o načinu nego o intenzitetu iskorišćavanja broda. U tom smislu valjalo bi posebno izdvojiti materijale za održavanje, a između njih prevlake za skladišta i podvodne prevlake trupa. Što su tereti koji se prevoze kemijski i mehanički agresivniji, to će i troškovi za prevlake skladišta biti veći. Njihov porast može biti takva reda veličina da potpuno poništi pozitivne efekte naoko dobro zaključenog ugovora o prijevozu, posebno ako je on tek jednokratni.

Što se tiče podvodnih prevlaka trupa, njihov trošak je unekoliko obrnuto proporcionalan potrošku goriva i troškovima održavanja. Naime, savršenije, što znači skuplje, podvodne prevlake usporavaju obrastanje i hrapavljenje trupa, pa time pridonose uštedama u potrošku goriva i produžuju period između dokovanja broda. Obrastanje se ubrzava što brod duže boravi u toplim morima, osobito u lukama, pa na taj trošak znatno utječe način iskorišćavanja broda.

Zbog svih ovih razloga mnogi preferiraju u shemi troškova iskorišćavanja broda prikazati posebnu kategoriju: **t r o š k o v i d o k o v a n j a**. S njom se povezuju svi troškovi održavanja koji se moraju izvoditi s brodom na suhom, dakle i s brodom u zastoju, pa se tu, logično, ubrajaju podvodne prevlake (na suhom!), a i zaštitne prevlake skladišta (u zastoju!). Tako se iz ukupnih troškova održavanja izdvajaju posebno oni koji se odnose na dokovanje, u što onda idu i potrošni materijali koji su tom prilikom upotrijebljeni. Takav način prikazivanja ima puno opravdanje u boljem pregledu i praćenju, kako tzv. troškova održavanja, tako i tzv. troškova potrošnih materijala.

1.2.3. Troškovi održavanja

Pod ovim troškovima često se misli na cijenu rada pri zahvatima održavanja i na trošak ugrađenih doknadnih dijelova.

Svaki zahvat održavanja može, međutim, izazvati zastoj broda. Ako toga nema, troškovi održavanja svode se zaista samo na trošak rada i trošak ugrađenih doknadnih dijelova. No, ako nastane zastoj, onda tim troškovima valja pribrojiti i trošak zastoja. Ti su troškovi u međusobnoj ovisnosti.

1.2.4. Troškovi osiguranja rizika

Osiguranje rizika je u brodarstvu uobičajeno, a negdje i propisano. S obzirom na visoke vrijednosti osnovnih sredstava, bilo bi neprimjereno načelu postupanja "pažnjom dobrog privrednika" to ne učiniti. Osim toga, brod može uzrokovati štete "trećima", pa je i osiguranje odgovornosti dio istog načela postupanja, a sve više postaje i nametnuta obveza.

Troškovi osiguranja rizika ne mogu se, dakle, izbjeći. Njihova visina ovisi o vrijednosti i tipu broda, o ugovorenoj odbitnoj franšizi i o povijesti nezgoda (avarija) u prethodnom razdoblju iskorišćavanja. Što je brod vredniji, to će više porasti premija osiguranja, a što je odbitna franšiza veća, premija će biti manja.

1.2.5. Opći i zajednički troškovi

Ovi bi se troškovi mogli nazvati i troškovima administracije, posebno onaj njihov dio koji se odnosi na kopnene službe (Management). Što je odnos broja osoblja u kopnenim službama prema brojnosti osoblja na brodovima manji, bit će i ti troškovi manji. Tu bi očito morale imati prednost one brodarske radne organizacije kojih je flota brojnija. No, iako je zaključak logičan, on ipak potiče na opreznost. Nakon određene granice glomaznost flote generira probleme u organizaciji i upravljanju, što onda dovodi i do hipertrofije kopnenog osoblja. Također, naponi za smanjenje brojnosti kopnenog osoblja, koji su u načelu pozitivni, moraju se podvrći kritičkoj ocjeni krajnjeg rezultata. Jer sam (mali) broj kopnenog osoblja ne govori dovoljno: valja utvrditi kojim se dijelom procesa, zapravo, upravlja, a koji se odvija spontano, tj. bez kontrole i bez mogućnosti utjecanja.

1.2.6. Iznimni troškovi

Mnoge brodarske radne organizacije taj trošak nemaju u svojim godišnjim planovima (budžetima). Riječ je obično o jednoj odbitnoj franšizi po brodu godišnje. Pretpostavlja se, dakle, da će svaki brod u floti pretrpjeti u godini jednu avariju, koju će se pokriti osiguranjem, a brodarska radna organizacija snosit će trošak jedne odbitne franšize.

Toj pretpostavci može se prigovoriti da je nerealna. Ona to i jest. No, ne predviđajući nikakve iznimne troškove takve naravi, upada se u iskušenje postupnog povećanja odbitne franšize kako bi se smanjili troškovi osiguranja rizika, što konačno dovodi do pogrešne

poslovne politike. Zato je ispravnije te iznimne troškove uvrstiti u troškove iskorišćavanja broda.

Svakako, nije pravilo da se iznimni troškovi moraju odmjeriti baš na taj način. Odgovarajućim statističkim metodama moguće je izračunati te iznose mnogo realističnije, no sve skupa ipak ostaje u domeni vjerojatnosti.

1.2.7. Amortizacija

"Brodovi su objekti vrlo velike vrijednosti, pa je stoga amortizacija krupna i veoma značajna stavka u strukturi njihovih troškova(...) Pod amortizacijom sredstava za rad općenito podrazumijeva se postupno smanjivanje njihove vrijednosti u procesu proizvodnje i postupno prelaženje tako izgubljene vrijednosti na proizvode, pri čemu se sredstva za proizvodnju kao tehnički kapaciteti praktički ne mijenjaju!"* Budući da je naš pristup poglavito tehnološki, nije mu svrha da troškove amortizacije obrađuje s pozicija ekonomske teorije.

S porastom vrijednosti broda povećava se premija osiguranja. Rastu, logično, i troškovi amortizacije. Ta su dva troška, dakle, proporcionalna: smanjenjem vrijednosti broda smanjuju se oba.

Smanjenje vrijednosti broda postiže se snižavanjem njegove investicijske cijene. To je uvijek pozitivno, ako se ono ne postiže na štetu njegove kvalitete u najširem smislu te riječi. No, to je u svakomu konkretnom slučaju teško izvedivo, zapravo je neizvedivo, ako nisu u pitanju spekulacije strane načelima struke.

Kod optimaliziranog projekta smanjenje troškova amortizacije može se ostvariti samo "siromašenjem" broda. Ili će se na brod ugraditi uređaji slabijih performansi i kraćeg intervala servisiranja ili će se "zalihost" sustava reducirati do donje granice koju još sigurnost dopušta. U prvom slučaju povećat će se troškovi posade i, zasigurno, troškovi održavanja, a u drugom troškovi zastoja. Ako se pak djeluje u oba pravca, ovi će troškovi porasti čak s potencijom. Konačan rezultat biva redovito krajnje nepovoljan: ušteda na troškovima amortizacije višestruko je premašena povećanjem troškova posade, troškova održavanja, pa čak i troškova osiguranja rizika.

* I. Rubinić: Ekonomika brodarstva, Ekonomski fakultet, Rijeka 1976.

Odnos između troškova amortizacije i ostalih troškova iskorišćavanja broda ili drugim riječima, između varijacije njegove investicijske cijene i stupnja njegove rentabilnosti, složen je odnos i nije ga jednostavno utvrditi. Jedini je pravi pristup temeljita optimalizacija projekta broda kroz aspekt njegova iskorišćavanja.

1.2.8. Troškovi goriva

Od vremena naftne krize troškovi goriva u središtu su zanimanja brodograditelja, proizvođača strojeva i brodara. Pokazalo se da se dotjerivanjem brodskog oblika i izvedbe brodskog vijka, redukcijom broja okretaja i ugradnjom sporokretnih porivnih motora uspjelo uštedjeti i do 25% tih troškova u usporedbi s brodom istog tipa i kapaciteta koji nije bio optimaiziran. Sve je to, dakle, postignuto cjelovitom doradom ukupnog projekta broda. Ovo razmatranje usmjereno je zato na iskorišćavanje takva broda i na mogućnost utjecanja na troškove goriva načinom njegova iskorišćavanja.

Troškovi goriva ovisni su prije svega o pristupu brodskog osoblja, a posredno i onoga kopnenog, u smislu odgovarajuće logističke podrške. Osjetljivost regulacije porivnog motora i pripreme goriva u redu je veličina do 2% potroška goriva. Gospodarenje električnom energijom i generatorima u pogonu pokazuje mnogo manju osjetljivost na ukupne troškove goriva, ali ni ono nije zanemarivo. Način grijanja goriva u tankovima, posebno kod tankera, vrlo osjetno se odražava na ukupni potrošak goriva; bez proračuna bilance energije za svako posebno stanje nije moguće optimalizirati potrošak.

Stanje hrapavosti brodskog trupa i vijka također znatno utječe na troškove goriva. Porast hrapavosti sprečava se povremenim čišćenjem (struganjem) u doku i obnovom podvodne prevlake. To, dakako, povećava troškove održavanja. Iskustva nekih brodarskih poduzeća upućuju na to da se tzv. samozagladivim bojama postiže apsolutna ušteda. One su, međutim, vrlo skupe i zahtijevaju temeljitu pripremu površine (pjeskarenje). No, upotrijebe i se one na novogradnju, utjecaj na troškove amortizacije je zanemariv, a omogućuju da se period između dva dokovanja produži na tri godine bez, praktički, porasta hrapavosti. To u konačnici rezultira uštedom i na troškovima održavanja uz istodobno izbjegavanje rasta troškova goriva. Jedino se može pokazati porast troškova materijala za održavanje (ako se podvodne prevlake vode u toj kategoriji troškova), što ne mijenja ukupnu sliku.

Troškovi goriva ovise i o pristupu hidrodinamičkim elementima u toku iskorišćavanja broda. Tako nije svejedno na kojem gazu on plovi u balastu i s kakvim trimom. No, da bi brodsko osoblje moglo optimalizirati stanje broda u danim uvjetima, ono mora imati odgovarajuće upute, a koje je moguće izraditi samo na temelju modelskih ispitivanja. Takva ispitivanja, ako su izvedena u toku procesa osnivanja broda, ne odražavaju se praktički na cijenu broda, pa ni na troškove amortizacije, a mogu unekoliko smanjiti troškove goriva. K tome, optimaliziranim ("inteligentnim") automatskim pilotom, redukcijom frekvencije i kuta zakretanja kormila te prigušivanjem krivudanja broda, uštedi se 1 do 2% goriva. U investicijskom pogledu, poskupljenje zbog ugradnje takva uređaja je zanemarivo.

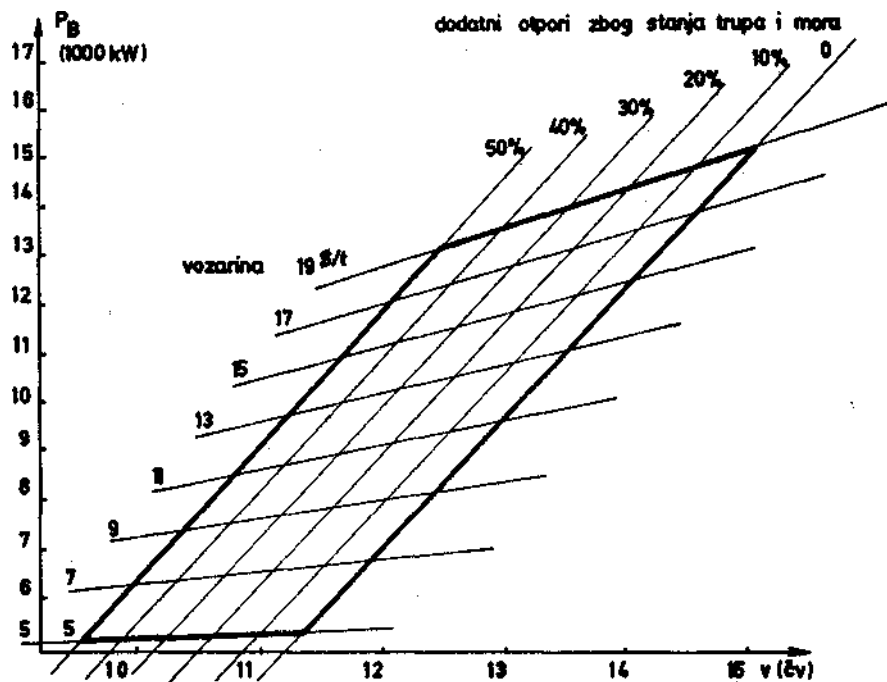
Troškovi goriva povezani su i s određivanjem rute plovidbe. U tom kontekstu plovidba po najkraćoj ruti nije uvijek i optimalan izbor. Praćenjem vremenskih prognoza i kontinuiranom prilagodbom rute boljim uvjetima pri prijelazu Atlantika uštedi se i do 12 sati vožnje, što nije baš zanemarivo za troškove goriva, i ne samo za njih.

Posebno veliku osjetljivost na troškove goriva pokazuje izbor brzine. Komercijalna brzina broda* ovisi prije svega o vozarinskoj rati, ali i o stanju trupa, vijka, vjetra i mora. Ona je, dakle, podložna promjenama i u toku jednog putovanja. Te zakonitosti tvore tzv. porivni četverokut (sl. 1), unutar kojega se za svako stanje može odrediti optimalna točka.

Komercijalna brzina broda (i razvijena snaga porivnog stroja) raste što je vozarinska rata veća, a pada što je vozarinska rata manja (linije velikog nagiba). To znači da pri susretu s takvim stanjem valja namjerno smanjiti razvijenu snagu porivnog stroja kako bi se postigao pad brzine, baš zato da bi ona ostala komercijalnom. S tog stajališta, jedino ekonomski opravdanoga, štetno je inzistirati na konstantnoj snazi porivnog stroja u toku jednoga plovidbenog zadatka, a još štetnije na konstantnoj brzini.

Okvir porivnog četverokuta čine krajnje mogućnosti porivnog stroja i maritimne sposobnosti broda. Ova materija spada pretežno u domenu otpora i propulzije broda te u ekonomiku iskorišćavanja broda.

* I. Rubinić: Ekonomika brodarstva, Ekonomski fakultet, Rijeka 1976.



Slika 1.

1.2.9. Komercijalni troškovi

Već prema definiciji ti troškovi mogu tek posredno ući u okvir ovog razmatranja, kojega je pristup poglavito tehnološki. Moglo bi se reći da bi brod s boljim manevarskim sposobnostima u mjestu (pramčani propulzor, vijak s prekretnim krilima, dva porivna stroja - dva vijka), mogao (ali ne i morao) imati manje lučke troškove (tegljači). No, sve to povisuje cijenu broda, odnosno troškove amortizacije, pa i troškove održavanja, što zapravo i ne treba stavljati u odnos. Brod se, naime, ne oprema tim uređajima radi uštede na komercijalnim troškovima, već prije svega da bi se zadovoljili uvjeti za ostvarivanje prihoda.

1.2.10. Zaključak

Iz ovog razmatranja proizlazi da su, zapravo, sve kategorije troškova iskorišćavanja broda u međusobnoj ovisnosti i da nije moguće utjecati na jednu od njih izdvojeno od ostalih. One koje su međusobno obrnuto proporcionalne zahtijevaju složen pristup njihovoj optimalizaciji, koji mora započeti već pri izradi projektnog zahtjeva. Pri osnivanju broda mora se poći od aspekta njegova iskorišćavanja u tijeku cijelog perioda predviđenog vijeka trajanja. Za optimalizaciju troškova u vrijeme iskorišćavanja prijeko je potreban također cjelovit pristup i brodskog i kopnenog osoblja, s računskom verifikacijom, ponekad i složenom, prije svake konačne odluke.

1.3. TROŠKOVI ODRŽAVANJA

U prikazu konvencionalne sheme troškova iskorišćavanja broda u prethodnom poglavlju rečeno je da ona ne odgovara raščlambi koju nameće tehnologija. Tako su tamo pod točku 1.2.3. - "Troškovi održavanja" - svrstani popravci, dokovanja, doknadni dijelovi, a inventarski predmeti, prevlake, kemikalije, plinovi i maziva odvojeni su u posebnu točku 1.2.2 - "Troškovi potrošnih materijala". Samo je po sebi razumljivo da prevlake, kemikalije, alat, razni plinovi, pa, konačno, i maziva, služe ili se troše isključivo za održavanje broda i njegovih uređaja. Čak i dio troškova pod točkom 1.2.1 - "Osobni dohoci i ostali troškovi posade", i dio pod točkom 1.2.5 - "Opći i zajednički troškovi", sastavni su elementi strukture troškova održavanja, jer bi i rad brodskog i kopnenog osoblja, utrošen na održavanju, valjalo u tom smislu valorizirati.

Neke brodarske radne organizacije sve ove nabrojene troškove dopunski izdvajaju i grupiraju pod nazivom "tehnički troškovi", što ima svoju logiku, jer su oni povezani (naređeni, odobreni, potvrđeni) s "Tehničkim odjelom", kako se najčešće naziva služba koja se brine o održavanju brodovlja.

Sve to ipak nije dovoljno da bi se dobila potpuna slika troškova održavanja. Kako god se precizno registrirali, raščlanjivali i komentirali, oni su samo dio ukupnih troškova održavanja - dio koje se označava kao direktni troškovi održavanja.

Naime, održavanje nekoga brodskog uređaja može izazvati zastoj broda. Može, ali ne mora. To posebno vrijedi baš za brod. Kod drugih prijevoznih sredstava, kao što su kamion, željeznica i zrakoplov, održavanje je najčešće povezano sa zastojem. Brod je zato specifično prijevozno sredstvo, drukčije od ostalih, i njegovu održavanju valja prilaziti na poseban način. No, bilo kako bilo, ako zbog održavanja uslijedi zastoj broda, onda će to uzrokovati ne male dodatne troškove. Takvi dodatni troškovi nemaju se čemu pripisati ako ne održavanju, kad im je ono isključivi uzrok. Ti se dodatni troškovi označavaju kao indirektni troškovi održavanja.

Ukupni troškovi održavanja sastoje se, dakle, od direktnih i indirektnih.

Direktne troškove održavanja čine cijena ljudskog rada utrošenoga za održavanje i trošak za upotrijebljene materijale, kao što su doknadni dijelovi, materijali za čišćenje, brušenje, konzerviranje, zatim dopuna raznih ispražnjenih ili zbog radova izgubljenih medija, te trošenje alata i sl. Sve ono, dakle, što je izravno povezano s fizičkim izvršenjem radova održavanja.

Indirektne troškove održavanja čine troškovi zastoja. Taj zastoj može uzrokovati ili neki kvar ili neka planirana akcija na održavanju. U svakom slučaju, da bi takav zastoj bio svrstan u indirektne troškove održavanja, bitno je da bude isključivo povezan s održavanjem.

Troškovi zastoja mogu se promatrati (i računati) na dva načina: ili kao izmakla dobit ili kao trošak broda u stajanju.

Izmakla dobit računa se na osnovi stvarnog zaključka o prijevozu, koji ovisi o trenutnom stanju vozarina na tržištu broskog prostora. Budući da je kretanje vozarina podložno velikim varijacijama, čak i trenutačnima, temeljenje indirektnih troškova održavanja na izmakloj dobiti nije s tehnološkog stajališta korektno. Događa se, naime, i ne baš tako rijetko, da brod na pojedinom putovanju (ili dijelu putovanja, ako ga tako shvatimo) prevozi teret s realnim gubitkom, tj. kad mu vozarina ne pokriva niti pogonske troškove (troškove iskorišćavanja bez amortizacije). U takvu bi slučaju, kad bi se indirektni troškovi računali na osnovi izmakle dobiti, ispalo da je brod u zastoju rentabilniji, što je očito ekonomski i tehnološki nonsens.

Indirektne troškove održavanja valja, zato, promatrati kao troškove broda u stajanju. To su zapravo fiksni troškovi, kako smo ih predstavili u prethodnom poglavlju, tj. troškovi iskorišćavanja broda od kojih smo odbili troškove goriva i komercijalne troškove. Oni se obično računaju na dan, pa se daju označiti i kao dnevna cijena (zaustavljenog) broda. Kako im i sam naziv kaže ("fiksni"), oni su konkretna i jasno definirana kategorija troškova, ovisna jedino o karakteristikama broda, što ih čini valjanim parametrom u okvirima tehnološkog pristupa problemu.

Da indirektni troškovi mogu biti ozbiljna, čak presudna stavka u ukupnim troškovima održavanja, najbolje je pokazati na primjeru. Neka je na jednom jednostavnom teretnom brodu osrednje veličine, recimo za prijevoz rasutih tereta, od 50000 tdw, prilikom odlaska

iz luke pregorio elektromotor sidrenog vitla. S takvim kvarom brod ne može, po pravilu, nastaviti putovanje. Valja, dakle, odlazak odgoditi dok se kvar ne otkloni. Demontaža, premotavanje i ponovna montaža takva elektromotora zna danas koštati oko 4000 \$, a rok za izvršenje opisanih radova popravaka kreće se u granicama od 3 do 4 dana. Dnevna cijena takva broda mogla bi (skromno) danas iznositi oko 5000 \$/dan. Trošak bi zastoja, međutim, iznosio između 15 i 20000 \$. Stavimo li taj iznos u odnos s troškovima popravka, proizlazi da su u ovom slučaju indirektni troškovi održavanja veći 3,5 do 5 puta od direktnih. Vrijednost će se valuta apsolutno i relativno u budućnosti mijenjati, pa i cijena rada, ali to na ovaj prikazani odnos neće bitno utjecati.

Jasno je da, što je brod skuplji, tj. što su njegovi fiksni troškovi veći i što je komponenta koje je kvar izazvao zastoj manje skupa ili zahtijeva više vremena za popravak, ovaj odnos biva sve nepovoljniji. Općenito uzevši, on je kod neplaniranih radova održavanja redovito veći od jedinice (1:1), a tek kod dobro pripremljenih, dobro planiranih i opsežnih radova biva manjim. Riječ je, naravno, o radovima koji neminovno uzrokuju ili zahtijevaju zastoj broda.

Danas još nije općenito uvriježena praksa u brogarskim radnim organizacijama da se direktni i indirektni troškovi održavanja tretiraju zajedno. Obično se direktni vode posebno, a i oni, kako smo vidjeli u prethodnom poglavlju, rascjepkano, pa se tek dio njih naziva troškovima održavanja (što onda ima za posljedicu shvaćanje tih djelomičnih troškova kao jedinih i ukupnih troškova održavanja), dok se zastoji vode skupno, ne vodeći računa o uzrocima njihova nastajanja, i to u danima po brodu (ili u tona-danima), a ne u troškovima.

Ovakva praksa nije primjerena tehnološkom pristupu, a nije ni pouzdan oslonac za analizu. Ona ne daje pravu sliku stanja i može dovesti do pogrešne poslovne politike (forsiranje "uštede" na direktnim troškovima održavanja, zanemarujući indirektne), a sigurno rezultira pristupom koji nije optimalan, već i zato jer ne operira pravim kriterijima. Kad koncepcija održavanja kakvu ćemo razviti u tijeku naših daljnjih razmatranja, bude uhvatila maha u svijesti ljudi koji se brodarstvom bave, a to se odnosi podjednako na osoblje na kopnu i na ono na brodu, i praksa će se promijeniti.

1.4. TEROTEHNOLOGIJA, CILJ I DOMET

Svaki uređaj namijenjen kontinuiranom ili opetovanom radu potrebno je održavati. U posljednje doba sazrela je spoznaja da mogućnost i način održavanja ne ovise samo o pristupu u tijeku iskorišćavanja već i o projektiranju. To drugim riječima znači da već prilikom projektiranja nekog uređaja valja voditi računa o njegovu kasnijem održavanju i ugraditi mu, u tom pogledu, što bolju mogućnost. Tako se već u projektu mora predvidjeti mogućnost demontaže svake komponente koja je podložna trošenju, radi pregleda ili popravka. Zatim valja omogućiti što izravni pristup do nje, dakle sa što manjom potrebom demontaže osatlih, njoj susjednih komponentata, i potom osigurati mogućnost provjere pojedinih komponentata bez rasklapanja, tamo gdje je to izvedivo ili nužno i sl.

Nakon što je uređaj tako projektiran i izveden, valja ga na odgovarajući način pripremiti za iskorišćavanje. Potrebno je, dakle, odrediti period uhodavanja, režime rada u tijeku uhodavanja pod odgovarajućim uvjetima, eventualni pokus preopterećenja (ponekad od takva pokusa ima više štete nego koristi), opseg rasklapanja nakon pokusa radi provjere stanja komponentata, te konačno preporučiti tehnologiju održavanja u tijeku iskorišćavanja za cijeli predviđeni vijek trajanja.

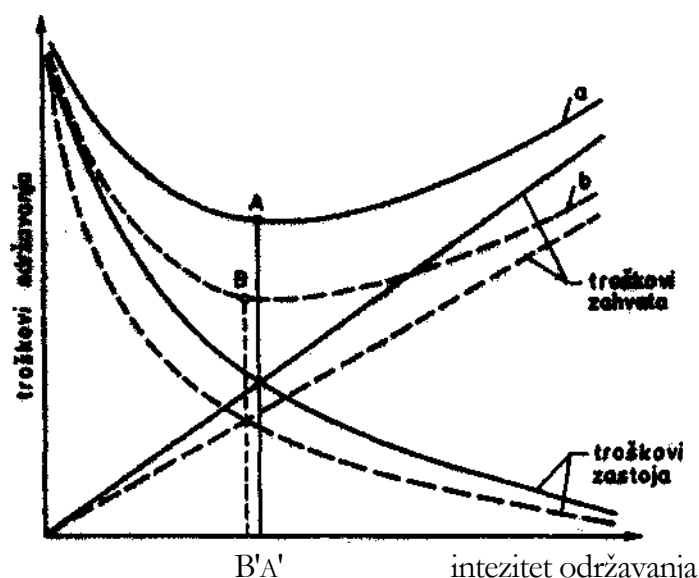
Kad je uređaj s uspjehom prošao period uhodavanja, spreman je za iskorišćavanje. Tad valja izraditi periodični plan i planiranje potrebnih doknadnih dijelova i ostalih materijala za održavanje, organiziranje njihove dobave, te planiranje i organiziranje odgovarajućeg osoblja za održavanje. I na kraju, valja u cijeli sistem ugraditi metode kojima se prati ponašanje pojedinih uređaja i komponentata u tijeku iskorišćavanja, kako bi se uočili nedostaci i primijenila potrebna unapređenja, i u pogledu tehnologije i organizacije održavanja, i u pogledu karakteristika pojedinih uređaja i komponentata.

Cijelo ovo široko područje sadržano je u pojmu „terotehnologija“. Izraz je nastao 1970. godine u Velikoj Britaniji, a prvi se njime poslužio dr. Jost. Sastavljen je od grčkoga glagola „terein“, što znači čuvati, brinuti se, nadzirati, i poznatog pojma „tehnologija“. Iako je ova kovanica dobro smišljena, upućuje ipak u prijevodu na „tehnologiju održavanja“. A to je nedopustivo svođenje pojma „terotehnologija“ na samo jednu od njezinih komponentata. Jer, osim tehnologijom ona se bavi i osmišljavanjem održavanja u projektu i, što je vrlo važno, organizacijom održavanja.

Obrazlažući domete terotehnologije spominjali smo uređaj kao predmet njezina bavljenja, ne precizirajući posebno njegova obilježja. Uređaj o kojem je riječ može biti jednostavna naprava kao prekidač ili ručna pumpa, pa sve dalje do vrlo složenih aparata kao što je radar, elektroničko računalo, pa sve do potpunog broda, zrakoplova ili svemirske letjelice. Te složene uređaje zovemo u terotehnoškom pristupu sustavima, a njihove sastavne dijelove komponentama. Te komponente mogu biti i podsustavi, koji opet imaju svoje komponente itd. Prema tome pojam sustav i komponenta samo su elementi pristupa u razmišljanju, a ne vezuju se ni za što posebno.

Govorili smo također o održavanju. To je općenit pojam i u sebi sadrži više aktivnosti. Svaku pojedinu akciju na sustavu, radi pregleda ili obnove komponente, koja zahtijeva izvjesno rasklapanje i ponovno sklapanje, nazivamo zahvat održavanja (maintenance action). Održavanje se, dakle, u svojoj konačnoj provedbi, sastoji od zahvata održavanja.

Svaki zahvat održavanja generira direktne troškove održavanja, a ponekad i one indirektne. Već je u poglavlju 1.2. spomenuto da su direktni i indirektni troškovi održavanja u međusobnoj ovisnosti. Iako se njihova međuovisnost ne da jednoznačno prikazati, može se reći da oni teže obrnutoj proporcionalnosti: što su jedni veći, to su drugi manji, i obrnuto. To je prikazano na dijagramu (sl.2).



Slika 2.

Na ordinati su naneseni troškovi održavanja, a na apscisi "intenzitet održavanja". Troškovi se mjere novčanim jedinicama. Mjerna jedinica za "intenzitet održavanja" nije pobliže definirana. Ona bi se mogla predočiti, recimo, brojem zahvata na mjesec, ili brojem mjesečno utrošenih radnih sati za održavanje. Očito je da je svrha ovog dijagrama da troškove kvalificira, a ne da ih kvantificira. Kao takav poslužit će dobro svojoj namjeni.

Troškovi zahvata, tj. direktni troškovi održavanja, počinju od ničice i povećanjem "intenziteta održavanja" rastu po pravcu. To je logično i razumljivo. Ako nema zahvata, nema ni direktnih troškova. Što je učestalost veća, to su i direktni troškovi veći.

Troškovi zastoja, tj. indirektni troškovi održavanja, počinju iz beskonačnosti kod nultog "intenziteta održavanja", i s njegovim porastom padaju po krivulji sličnoj paraboli. I to je logično i razumljivo. Kod nultog "intenziteta održavanja" održavanje se ne provodi i sustav će kad tad' stati i neće više proraditi. Troškovi se zastoja tada množe u beskonačnost. Kako intenzitet održavanja raste, troškovi zastoja, tj. indirektni troškovi održavanja, naglo opadaju.

Pune linije u dijagramu izražavaju ponašanje troškova održavanja kod prosječnog sustava (broda). Kad bi u projektiranju bili poštovani svi principi terotehnoigije, onda bi se postizivi rezultati na području održavanja mogli predočiti crtkanim linijama u dijagramu.

Osnovna je svrha terotehnoigije optimalizacija troškova održavanja. Optimalizacija održavanja znači postizanje takve tehnologije i organizacije održavanje kod koje je zbir direktnih (troškovi zahvata) i indirektnih troškova održavanja (troškovi zastoja) najmanji.

Zbir direktnih i indirektnih troškova održavanja (ukupni troškovi održavanja) za razne "intenzitete održavanja" prikazan je na dijagramu krivuljom "a" ("b" za optimalizirani sustav). Minimum te krivulje nalazi se u točki "A", tj. nad sjecištem pravca direktnih i krivulje indirektnih troškova, na intenzitetu održavanja "A" ("B" i "B'" za optimalizirani sustav). Tome "intenzitetu održavanja" valja, dakle, težiti.

Sad postaje još razumljivijom kritika iz poglavlja 1.2. prakse (ne) evidentiranja indirektnih troškova održavanja u brodarskim radnim organizacijama. Jer, kako u politici održavanja brodovlja težiti optimalnom "intenzitetu održavanja" ako je nepoznat tok krivulje

indirektnih troškova održavanja, pod kojim bi sjecištem s pravcem direktnih troškova trebalo da leži taj željeni optimum "intenziteta održavanja"?! Očito je da je ovakva praksa manjkava i s teorijske i s praktično-ekonomske točke gledišta.

2. POUZDANOST BRODSKIH SUSTAVA

2.1. KVAROVI TEHNIČKIH SUSTAVA

Kvarovi koji se zbivaju na tehničkim sustavima dijele se u dvije međusobno potpuno različite vrste: na one koji su tehničkim sustavima inherentni (svojstveni) i na one koji to nisu.

Kvarovi koji sustavu nisu inherentni uzrokovani su nekom akcijom koja je sasvim izvan sustava i njegova djelovanja. Oni mogu biti posljedica nepravilna rukovanja osoblja koje ga opslužuje, bilo u tijeku rada sustava bilo za vrijeme zahvata održavanja (oštećenje komponente zbog udara, pada, pogrešne montaže, obrade i si.), zatim posljedica sudara i udara broda (koji mogu biti izazvani vlastitom greškom ili greškom drugog broda) te, konačno, posljedica tzv. više sile, kao što su požar i naplavljivanje (zbog prodora mora ili gašenja požara).

Samo se po sebi razumije da se nikakva tehnologija ne može baviti kvarovima koji nemaju veze s tehnološkim procesom. Ni terotehnologija se, dakle, ne bavi kvarovima koji sustavu nisu inherentni. Ipak, budući da takve kvarove otklanja ili njihov popravak nadzire isto ono osoblje koje terotehnologiju provodi, oni se pomnijivo registriraju i analiziraju. Zadatak je terotehnološkog procesa da izvlači iz pojave takvih kvarova odgovarajuće zaključke i da upozori ostale sudionike brodarske djelatnosti na potrebne poteze i poboljšanja (izobrazba kadrova, njihova uvježbanost, ergonomijski problemi, disciplina i dr.). Dakako, ako pojavnost nekih od tih kvarova (osobito onih koji su posljedica nepravilna rukovanja) dobije oblik konstante u vremenu, tu će konstantu valjati uzeti u račun prilikom planiranja održavanja, bez obzira na to što takvi kvarovi sustavu nisu inherentni. Oni, naime, postaju inherentni osoblju koji sustavom rukuje.

Terotehnologija se, dakle, bavi (sad ipak valja reći pretežno) kvarovima koji su sustavu inherentni. Zapravo, ona jedino njih obrađuje, teorijski i praktično, u nastojanju da ih spriječi ili smanji njihov negativni učinak.

Kvarovi koji su sustavu inherentni dijele se u tri kategorije. Najbolje ih je prikazati po redoslijedu njihove pojavnosti u vremenu.

Prvi se pojavljuju početni kvarovi (early failures). Oni nastaju u samom početku vijeka

komponenata, odnosno odmah nakon puštanja sustava u rad. U najvećem broju oni su posljedica slabe izrade (tzv. supstandardne komponente) ili pogrešne montaže, odnosno rezultat su slabe organizacije i tehnike kontrole kvalitete u tijeku proizvodnog procesa.

Kod broda najčešći su početni kvarovi olabavljenje vijcima pritegnutih cijevnih spojeva, s posljedicama propuštanja medija. Zbog relativno kratkotrajne pokusne plovidbe, ti se spojevi zapravo ne mogu ni provjeriti na učinak vibracija koje su u plovidbi gotovo redovite. Radi eliminacije tih i sličnih početnih kvarova, garancijski period za novoizgrađen brod traje i do godinu dana.

Početni se kvarovi eliminiraju u tzv. periodu uhodavanja ("burn in" ili "debugging period"), tako da se svaka komponenta s greškom zamijeni novom čim iznevjeri, odnosno da se svaka greška u spajanju ispravi čim se ukaže. Postupa li se na taj način, broj početnih kvarova naglo opada do trenutka kad se oni više uopće ne pojavljuju. Tek tad je sustav zapravo spreman za službu. Kod nekih se uređaja to čini još u tvornici, dakle prije isporuke, simulirajući stvarne radne uvjete, a kod broda obavlja se to u pokusnom radu sustava i u pokusnoj plovidbi, a počesto i u prvim mjesecima iskorišćavanja, odnosno u tijeku garancijskog perioda.

Nakon početnih nastupaju slučajni kvarovi (chance failures). Oni su zapravo prisutni od samog početka rada sustava, dakle i u periodu uhodavanja, no tad su pomiješani s početnim kvarovima, pa ih je teško od njih lučiti. Uzrok slučajnim kvarovima ne može se sa sigurnošću odrediti. Zato su tako i nazvani (chance failures - slučajni kvarovi). Može se pretpostavljati da su oni posljedica nepredvidivih koncentracija naprezanja (mehaničkih, termičkih, električnih itd.) koja premašuju projektiranu izdržljivost komponente.

Slučajni se kvarovi ne mogu spriječiti ni najboljim uhodavanjem ni najintenzivnijim održavanjem. Jer, očito je nekorisno zamjenjivati nasumce komponente koje rade besprijekorno i bez ikakva znaka neispravnosti.

Slučajnih će kvarova, dakle, u određenom broju uvijek biti. Problem je terotehnologije da spriječi njihove negativne posljedice, tj. zastoje. Kako se to postiže, vidjet će se dalje u izlaganjima.

Posljednji se u vremenskom slijedu pojavljuju kvarovi zbog dotrajalosti (wearout failures). Oni nastaju samo onda ako se sustav ne održava ili ako se on ne održava po striktnomu

preventivnom principu, a posljedica su dotrajalosti komponente (istrošenost, zamor materijala i si.).

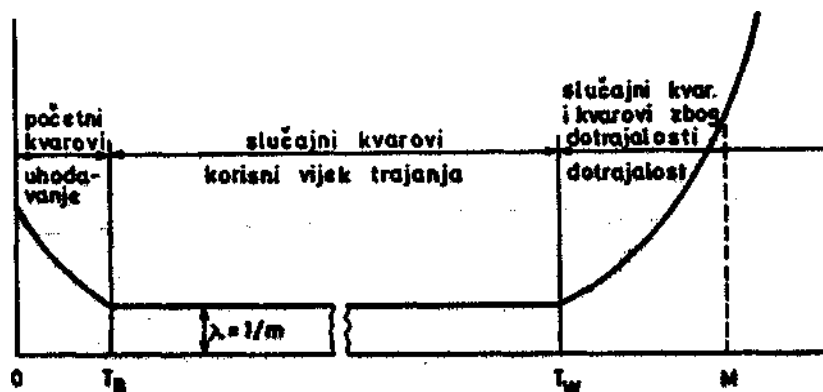
Svaka komponenta ima svoj tzv. korisni vijek trajanja (useful life), koji se označava sa " T_w ", i svoj prosječni vijek trajanja (mean wearout life), koji se označava sa " M ".

Korisni vijek trajanja je onaj vremenski period koji proteče od završetka uhodavanja do zakazivanja (zbog dotrajalosti) prve komponente u velikoj populaciji istovrsnih komponenata. Nazvan je korisnim jer se u tom vremenu komponentom može služiti bez ikakva rizika od kvara zbog dotrajalosti. Kad bi se u trenutku isteka tog perioda zamijenile sve komponente u populaciji novima, do kvara zbog dotrajalosti ne bi nikad došlo. To u praksi znači, ako je " T_w " turbinskog kola jednoga mlaznog avionskog motora recimo 10 000 sati rada, onda će se sva kola na svim zrakoplovima koji imaju ugrađen takav motor zamjenjivati novima tik što ne dostignu taj broj sati rada, bez obzira na njihovo stvarno stanje. Takav pristup je striktno preventivno održavanje i slično se na zrakoplovima po pravilu i provodi.

Na brodovima bi ovakav pristup održavanju bio ekonomski neopravdan, a i neprimjeren rizicima koji su u pomorskom prometu prisutni. Zato je za brodsku terotehnologiju mnogo zanimljiviji prosječni vijek trajanja komponente " M ". To je onaj period koji proteče od početka rada komponente pa do sredine vremena od zakazivanja (zbog dotrajalosti) prve i posljednje komponente u populaciji. Oko tog vremena učestalost kvarova zbog dotrajalosti je najveća. No, te pojave i njihove zakonitosti razmatrat ćemo u idućim poglavljima.

Prosječni vijek trajanja komponente " M " varira s njezinim tipom i vrstom, a zna iznositi od nekoliko sati do više tisuća sati. Korisni vijek trajanja komponente " T_w " uvijek je znatno manji od " M ".

Na slici 3. prikazana je pojavnost kvarova koji su sustavu inherentni ovisno o njegovoj radnoj dobi. Ta se krivulja, zbog svog izgleda, u indrustriji popularno naziva "krivulja kade" ("bath tub curve"), a u pomorskim krugovima "krivulja čamca" ("boat curve").



Slika 3.

Na apscisu je nanesena radna dob komponente ili sustava. To su kumulativni sati rada od samog početka, tj. od početka iskorišćavanja. Uvijek se označavaju sa "T" (veliko slovo!).

Na ordinatu je nanesen "indeks kvarova" (failure rate), koji označavamo grčkim slovom " λ " (lambda). Naime, učestalost kojom se kvarovi pojavljuju na određenom sustavu nazivamo indeksom kvarova na sat rada sustava, iako može i drukčije (u broju kvarova na određen broj operacija, npr.).

Recipročna vrijednost indeksa kvarova je prosječno vrijeme između kvarova (mean time between failures), a označava se sa "m" (malo slovo!) ili MTBF. Obično se izražava (mjeri) u satima (odnosno u broju operacija, prema prethodnom primjeru). Ovdje valja upozoriti da se "m" ne smije pobrkati sa "M" (prosječni vijek trajanja) jer su to dva sasvim različita pojma.

Kako se vidi iz toka krivulje, u početku se pojavljuju početni kvarovi, broj kojih naglo opada, pa oni na završetku perioda uhodavanja u točki " T_B " potpuno iščezavaju. Tad nastupa period tzv. korisnog vijeka trajanja, kad su samo slučajni kvarovi, kojima je indeks kvarova konstantan. U točki " T_W " nastupa period dotrajalosti i od tog trenutka slučajnim kvarovima pridružuju se i kvarovi zbog dotrajalosti.

Teorijski, pravilno održavan tehnički sustav nikad ne stari. To vrijedi i za brod. No, kad na red po dotrajatosti dođu i vrlo trajne i skupe komponente (struktura trupa ili koljenasta osovina porivnog stroja, npr.), onda ukupni troškovi održavanja, dakle direktni i indirektni, imaju tendenciju takva porasta da brod učine ekonomski nerentabilnim (ako ga već prije toga nije takvim učinila tehnološka zastarjelost).

Još riječ dvije, samo vrlo općenito i vrlo približno, o kvarovima s obzirom na osigurane rizike. Garancijom brodogradilišta biva obično osigurano pokriće direktnih troškova (barem u najvećem dijelu) izazvanih otklanjanjem početnih kvarova; indirektnih troškova nikad! Što se tiče slučajnih kvarova, oni bi se mogli podvesti pod tzv. skrivenu manu, koja obično figurira kao pokriveni rizik u polici osiguranja za trup i stroj (Huli & Machinery). U tom slučaju ne nadoknađuje se ona komponenta na kojoj je nastao slučajni kvar (ako se on uspije podvesti pod "skrivenu manu"), već ostale komponente kojih je kvar njezina posljedica, te ostali direktni troškovi popravka; indirektni su troškovi i ovdje isključeni.

Kvarovi zbog dotrajatosti isključeni su u cijelosti iz pokrivenih rizika.

Kvarovi koji sustavu nisu inherentni većinom su, na ovaj ili onaj način, pokriveni policom osiguranja, no samo u dijelu direktnih troškova, a indirektni su i ovdje uglavnom isključeni.

2.2. POJAM POUZDANOSTI TEHNIČKIH SUSTAVA

Pojednostavnjeno rečeno, pouzdanost (reliability) je sposobnost nekog sustava da ne iznevjeri u tijeku rada.

Pojam pouzdanosti se, međutim, vrlo često brka s pojmom sigurnosti i s kvalitetom. Često se čuje: to je dobar televizor; radi već pet godina bez ijednog kvara.

Dobar i loš su obilježja kvalitete. A spomenuti je televizor mogao raditi cijelo to vrijeme s lošom slikom ili zvukom, pa ga tih pet godina bez zastoja ne bi učinilo televizorom dobre kvalitete. On je, dakle, po iskustvu njegova korisnika, samo vrlo pouzdan televizor.

Uzmimo u razmatranje suprotni slučaj: neka taj televizor ima izvanrednu sliku i zvuk, no vrlo često mu pregara osigurač. Mnogi bi zasigurno rekli da je to loš televizor, jer se svaki čas kvari. No, u čemu je ta njegova loša kvaliteta? Slika mu je dobra, jednako i zvuk, a osigurač mu je vrlo osjetljiv, što znači valjan. On je, dakle, dobar ali nepouzdan televizor.

Vidjeli smo, eto, na osnovi ovih primjera razliku između pojma pouzdanosti i pojma kvalitete. Pokušajmo sad, opet na primjeru, razlučiti pojam pouzdanosti od pojma sigurnosti (safety).

Uzmimo obični električni bojler, kojemu se termostat svako malo kvari i tako iskapča grijanje. Taj je bojler očito nepouzdan, no nimalo ne ugrožava ničiju sigurnost. Suprotno tomu bojler radi besprijeckorno, ali mu je, recimo, kamencem blokiran sigurnosni ventil. Takav je bojler pouzdan, no opasno ugrožava sigurnost okoline.

Ovim zaključkom upada se, očito, u pojmovni paradoks: pouzdan, a opasan! Kako se može imati pouzdanja u opasnu stvar? I ne može. Zato pojam pouzdanosti o kojoj se ovdje govori nije onaj iz standardnog jezika. Iz njega je uzet samo oblik riječi, a značenje joj je drugo, novo, i odsad ta riječ uz novo značenje pripada stručnoj terminologiji.

Pojednostavnjenoj definiciji pouzdanosti, danoj na početku ovog poglavlja, valja uputiti jednu bitnu zamjerku: pouzdanost, naime, nije sposobnost, već vjerojatnost. Njezina najšire prihvaćena definicija glasi:

"Pouzdanost (reliability) je vjerojatnost da će određeni sustav adekvatno udovoljavati svojoj namjeni u namjeravanom periodu vremena pod određenim nametnutim uvjetima rada".

Tom definicijom podrazumijeva se pouzdanost kao vjerojatnost da određeni sustav neće iznevjeriti u obavljanju zahtijevanih operacija za određeno vrijeme. Takva se vjerojatnost još naziva i vjerojatnošću da izdrži (probability of survival).

Za zapitati se je, naravno, koliko je egzaktn taj račun vjerojatnosti kojim se teorija pouzdanosti služi i koliko on to može uopće biti? Jesu li njegovi rezultati dovoljno blizu stvarnosti da bi se teorija pouzdanosti mogla korisno primijeniti? Jednostavni primjer bacanja novčića dat će dovoljno jasan odgovor. Svima je poznato da je vjerojatnost da bude glava $1/2$, odnosno 50 posto. Jednako je tolika vjerojatnost da bude pismo, tj. i ona je $1/2$. Prema tome u jednom bacanju novčića vjerojatnost da bude pismo ili glava je $1/2 + 1/2 = 1$, ili 100 posto. Vjerojatnost od 100 % je izvjesnost. Slično tome vjerojatnost od 0 % je nemogućnost pojave, tj. takav događaj se ne može zbiti. Ako je, dakle, u jednom bacanju vjerojatnost da bude pismo ili glava jednaka jedinici, onda će vjerojatnost da ne bude ni pismo ni glava biti $1/2 - 1/2 = 0$. Tako je događaj da se u jednom bacanju ne dobiva ni pismo ni glava nemoguć, pa je i njegova vjerojatnost 0. Ovdje je zanemarena mogućnost da novčić ostane stojeći. Račun je time pojednostavnjen, dopuštajući samo dva rezultata - glavu ili pismo. To je, međutim, kako je poznato, sasvim dobra pretpostavka i zato dopustiva. U proračunima pouzdanosti vrlo se često rabi ova koncepcija dvaju događaja koji jedan drugoga isključuju - glava ili pismo - tj. koncepcija "u redu" ili "u kvaru", a zanemaruje se mogućnost nekoga trećeg ishoda.

Oslanjajući se i dalje na primjer novčića, pravilno je reći da je pri svakom njegovom bacanju vjerojatnost da bude glava ili pismo $1/2$, bez obzira na to koliko je već puta bilo bacanje. Očekivalo bi se zato da se u deset bacanja postigne pet puta glava, a pet puta pismo. Međutim, vrlo je malo izgleda da će to tako zaista biti. Pokus može vrlo lako rezultirati s tri puta glavom, a sedam puta pismom, ili bilo kakvim drugim rezultatom. Svejedno, bilo bi netočno zaključiti iz takvog rezultata da vjerojatnost za glavu pri jednom bacanju nije $1/2$. Jednako tako bilo bi pogrešno zaključiti iz deset bacanja da je vjerojatnost za glavu $3/10 = 0,3$ zato što se to dogodilo u deset bacanja.

S tim se stiže do vrlo važnog poglavlja koje se mora uvijek imati na umu kod primjene teorije pouzdanosti, osobito pri ispitivanju pouzdanosti. Kad bi se pokus s novčićem stalno ponavljao i kad bi se zbrajali ishodi svake serije od deset bacanja, otkrilo bi se da

što je veći broj bacanja, to je rezultat bliži $1/2$, tj. bliži onom rezultatu što smo ga kao vjerojatnost predskazali. Od stotinu bacanja, na primjer, bit će možda 42 puta glava, a 58 pismo. Na temelju tog rezultata moglo bi se izračunati da je vjerojatnost da ispadne glava $42/100 = 0,42$. To je svakako bliže $1/2$ nego prijašnji rezultat od 0,3. I kad bi se pokus ponovio više stotina puta, došlo bi se zaista blizu $1/2$. Ova se $1/2$ obično naziva pravom vjerojatnošću ili, skraćeno, vjerojatnošću, a rezultat izračunat na osnovi nekog broja pokusa, kao što je 0,3 i 0,42 u primjeru s novčićem, procjenom vjerojatnosti.

Iz pokusa s novčićem može se izvući nekoliko važnih zaključaka koji se odnose i na pouzdanost:

1. Kod bacanja novčića postoji prava vjerojatnost da će biti glava. Ako mu težište nije poremećeno, ta prava vjerojatnost je 0,5.
2. Procjena vjerojatnosti dobiva se na osnovi pokusa. U primjeru novčića ona je 0,3 iz deset pokusa i 0,42 iz stotinu pokusa.
3. Što je veći broj pokusa, to je veće i približenje pravoj vjerojatnosti.
4. Kad nije poznata prava vjerojatnost neke pojave, njezina procjena se dobiva eksperimentalnim putem - provedbom izvjesnog broja pokusa.
5. Kad je broj pokusa malen, procjena može biti daleko od prave vrijednosti. Ona je previše pesimistička ili previše optimistička, no jednako tako i vrlo blizu pravoj vrijednosti. Zato procjene dobivene na osnovi malog broja pokusa ipak su procjene, no u obzir ih valja uzimati vrlo obazrivo.

Pravo mjerilo vrijednosti jedne procjene vjerojatnosti je broj izvršenih pokusa.

Matematički odnos između prave vjerojatnosti jedne pojave i procjene vjerojatnosti dobivene iz "N" pokusa, je granična funkcija. Ako je iz "N" pokusa dobiveno "n" ishoda pojave vjerojatnosti koje želimo procijeniti, tad je procjena vjerojatnosti definirana izrazom:

$$P' = \frac{n}{N}$$

Prava vjerojatnost bit će odatle:

$$P = \lim_{\rightarrow} P' = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}$$

Iz toga proizlazi definicija:

Prava vjerojatnost je granična vrijednost omjera povoljnih ishoda kroz sveukupni broj pokusa kad se taj sveukupni broj pokusa bliži beskonačnosti.

Na osnovi te definicije jasno je da, ako prava vjerojatnost nije poznata **Error! Not a valid link.**a priori", njezina se egzaktna vrijednost nikad ne može izračunati, jer se beskonačni broj pokusa nikad neće završiti. Može se, dakle, postići bolja ili slabija procjena, ovisno o broju pokusa. Valja uvijek voditi računa o tome, ako je vjerojatnost izvedena iz malog broja pokusa, da je ona samo gruba procjena.

Ovo cijelo razmatranje pojma i značenja vjerojatnosti učinjeno je zato što su proračuni pouzdanosti zapravo proračuni vjerojatnosti primijenjeni na idealne modele. Ako je, na primjer, iz velikog broja pokusa poznato da je pouzdanost nekog sustava da vrši jednu točno definiranu operaciju 0,9, ili je vrlo blizu te vrijednosti, to nužno ne znači da će sustav u deset operacija njih devet izvršiti uspješno, a jednom će iznevjeriti. On može zatajiti dva ili tri puta u tih deset operacija jednako tako kao što može nijedanput ne iznevjeriti. No u velikom broju operacija on će ih 90% uspješno izvršiti, a u 10% neće. Tako možemo zamisliti idealni model takva sustava koji će raditi bez kvara točno devet puta na deset operacija. Služeći se takvim modelom opravdano je očekivati da će se na tisuću operacija njih devet stotina uspješno završiti, a stotinu s kvarom, odnosno neuspjehom. Ako je procijenjena vrijednost pouzdanosti od 0,9 bila dobra procjena, i kod realnog će sustava rezultat na 1000 operacija biti vrlo blizu idealnomu modelu. Možemo tad sa sigurnošću reći da je za takav realni sustav vjerojatnost da svaku pojedinu operaciju uspješno izvrši 0,9. Međutim, kao što je kod novčića nemoguće predskazati kad će se okrenuti glava, tako je i kod idealnog modela nemoguće reći koja će od 10 uzastopnih operacija iznevjeriti. Priroda vjerojatnosti je takva da omogućuje predskazati gotovo točan broj pojava pri velikom broju pokusa, ali ishod jednog pokusa nikad. Proračunom vjerojatnosti mogu se jedino dobro procijeniti izgledi za takvu pojavu pri jednom pokusu.

U većini slučajeva, vjerojatnost s kojom će neki uređaj obavljati svoje funkcije nije unaprijed poznata. To, dakle, nije identično s novčićem, gdje je vjerojatnost da bude glava ili pismo poznata i gdje se zaključku da je ona 1/2 može dati puno povjerenje. Pouzdanost se može usporediti s novčićem poremećena težišta s naglašenom tendencijom

da radije okreće glavu nego pismo. Takav će novčić imati određenu vjerojatnost da pokaže glavu, ali njezina stvarna vrijednost neće biti poznata. Nju je moguće procijeniti tijekom izvjesnog broja pokusa, vrednujući statističkim metodama opažene ishode. Što je veći broj pokusa, procjena će biti bliža pravoj vjerojatnosti, i s više će se povjerenja takva procjena moći upotrijebiti. S takvim se problemima pouzdanost najčešće susreće. Prava pouzdanost nije nikad poznata, ali se njezina procjena koja je vrlo blizu pravoj vrijednosti postiže statističkim metodama i računom vjerojatnosti. Koliko će se ona približiti pravoj vrijednosti, ovisi o broju pokusa, o potpunosti registriranja svih uspješnih operacija i svih kvarova, te o ostalim pogonskim podacima.

Već prije je rečeno: pouzdanost je vjerojatnost da će određeni uređaj adekvatno udovoljavati svojoj namjeni. To znači da će njegove performanse biti adekvatne. U kontekstu pouzdanosti koncepcija adekvatnih ili zadovoljavajućih performansi izravno je povezana s koncepcijom kvara ili zastoja. Odnos između njih je odnos međusobnog isključivanja: jedan uređaj ili radi zadovoljavajuće ili je iznevjerio. Obično je jednostavnije prvo utvrditi što to znači "kvar" jer onda sve ono drugo što nije kvar jesu zadovoljavajuće performanse. Ako se ne napravi takva crno-bijela podjela, već se uključi u razmatranje i neko treće stanje, ne može se više govoriti samo o jednoj pouzdanosti. Jer tad su tri vjerojatnosti: jedna je za ono što smo nazvali zadovoljavajućim performansama, druga je za kvar ili zastoj i treća za nastajanje trećeg stanja. Takav pristup valja izbjegavati jer komplicira procjenu.

U pravilu, da bi neki sustav valjano radio, sve njegove komponente u radu moraju funkcionirati u redu. Čak ni to nije uvijek tako. Ima primjera kad sve komponente funkcioniraju u predviđenim granicama, ali ipak nekoliko njih na samoj granici, pa se stvori takav kombinirani efekt koji dovede do kvara ili zastoja sustava. Takvi kvarovi najčešći su kod elektroničkih sustava. Suprotno tome, ima situacija kad pojedine komponente iznevjere, a sustav i dalje radi zadovoljavajuće. To je uobičajeno za sustave sa "zalihošću", o kojima će poslije biti riječi.

Budući da je pouzdanost mjerilo sposobnosti uređaja da radi zadovoljavajuće dok je u pogonu, ona, prirodno, zahtijeva uvođenje parametara kojima će se mjeriti vrijeme. U kontinuiranom radu uređaja to će biti bilo koja jedinica vremena. No ako uređaj radi povremeno, u pravilnim ili nepravilnim periodima, to može biti i broj operacija, ili

kombinacije i jednoga i drugog. Logično je govoriti o satima rada nekog stroja, generatora, zrakoplova itd. i računati vjerojatnost da do kvara neće doći u satima rada. Ali za sklopku ili relej logičnije je govoriti o broju operacija. U takvu slučaju vjerojatnost da se kvar neće dogoditi tijekom izvjesnog broja operacija ili ciklusa govori mnogo više nego za izvjestan broj sati. Često je, međutim, moguće postaviti odnos broja operacija ili ciklusa s brojem sati. Na primjer, kad je poznato da neka sklopka izvrši u prosjeku pet operacija u deset sati, onda njezina pouzdanost izražena na pet operacija ili na deset sati rezultira jednakom brojčanom vrijednošću. No ista sklopka, kad je ugrađena u neki drugi sustav gdje vrši stotinu operacija u deset sati pogona, imat će mnogo manju pouzdanost nego u prethodnom slučaju. Broj sati ostao je isti, ali se broj operacija promijenio. Zato je potrebno, kad god se traži odnos između vremena i drugih parametara (ciklusa, broja okretaja i si.), postaviti takav odnos za svaki režim posebno.

Teorija pouzdanosti teorijska je osnova terotehnologije, koja joj je omogućila da se ravnopravno svrsta u red ostalih tehnoloških disciplina kao posebna "nauka o održavanju". Time je dokazano da održavanje nije nikakav "šloseraj", kojim se smije baviti svatko tko se toga sjeti, već tu disciplinu, kao i svaku drugu, valja najprije naučiti.

U ovom poglavlju objašnjena je prava narav pouzdanosti. U idućim ćemo se upoznati s pouzdanošću s obzirom na slučajne kvarove i na kvarove zbog dotrajalosti. Preskočit ćemo, međutim, zasad obradu početnih kvarova jer se oni javljaju u kratkom početnom periodu i ubrzo iščezavaju, da se više tijekom cijelog vijeka trajanja broda ne pojave. Zbog toga oni nisu toliko zanimljivi za opći pristup terotehnologiji broda u iskorišćavanju, kojem je u ovom dijelu dan posebni naglasak.

2.3. POUZDANOST S OBZIROM NA SLUČAJNE KVAROVE

Kad se prije govorilo o pouzdanosti sustava, rečeno je da, ako je ta pouzdanost 0,9, to znači da će kod velikog broja operacija njih 90% završiti s uspjehom, a 10% s neuspjehom, odnosno na tisuću operacija može se očekivati da će njih 900 završiti uspješno, a 100 s kvarom, odnosno neuspješno. Zaključeno je, također da, u pravilu, ako sustav radi u redu, sve njegove komponente moraju funkcionirati u redu. Ako je taj sustav sastavljen od 1000 komponenata, to bi značilo da je pri obavljanju tih 1000 operacija 900 komponenata ostalo ispravnim, a 100 ih je zakazalo. I ako se još za tih 1000 operacija utvrdi potrebno vrijeme rada sustava, dobit će se očekivani odnos ispravnih komponenata na kraju unaprijed određenoga vremenskog perioda naprama sveukupnom broju komponenata, što nije ništa drugo nego pouzdanost promatrana iz drugog kuta. Definicija pouzdanosti može, dakle, glasiti i ovako:

Pouzdanost je pokazatelj koji označava vjerojatnost koliko će komponenata od ukupnog njihovog broja ostati ispravnim (uporabivim) za jedno određeno vrijeme rada.

Ukupni broj komponenata zapravo je broj (ispravnih) komponenata s kojima je započeo promatrani vremenski period rada; on se naziva početna populacija komponenata i označava se s " P_o ". Broj komponenata koje su na kraju promatranoga vremenskog razdoblja ostale ispravnima označava se s " P_s ", a broj komponenata koje su zatajile s " P_f ". Pouzdanost, koja je sad funkcija vremena, označava se s " $R(t)$ ".

Malo prije je rečeno da se pouzdanost prikazuje i kao odnos ispravnih komponenata na kraju promatranog perioda prema početnoj populaciji komponenata. Može se, dakle, pisati:

$$R(t) = \frac{P_s}{P_o} = \frac{P_o - P_f}{P_o} = 1 - \frac{P_f}{P_o} \quad (1)$$

Taj izraz prikazuje stanje na kraju promatranoga vremenskog perioda. Ako se želi dobiti izraz za bilo koji djelić promatranog vremena, jednadžbu valja derivirati, pa se dobiva:

$$\frac{d R(t)}{dt} = -\frac{1}{P_o} \cdot \frac{d P_f}{dt} \quad (2)$$

Ako se jedna i druga strana jednadžbe pomnoži s P_o/P_s , bit će :

$$\frac{P_o}{P_s} \frac{d R(t)}{dt} = - \frac{1}{P_s} \cdot \frac{d P_f}{dt} \quad (3)$$

Iz izraza (1) se vidi da je $\frac{P_o}{P_s} = \frac{1}{R(t)}$, tj. recipročna vrijednost pouzdanosti.

Razmotrimo malo izraz:

$$\frac{1}{P_s} \cdot \frac{d P_f}{dt}$$

On je zapravo omjer komponenata u kvaru prema ispravnim komponentama. Taj omjer nije ništa drugo nego indeks kvarova, koji označavamo s " λ ". Prema tome bit će:

$$\lambda = \frac{1}{P_s} \cdot \frac{d P_f}{dt} \quad (4)$$

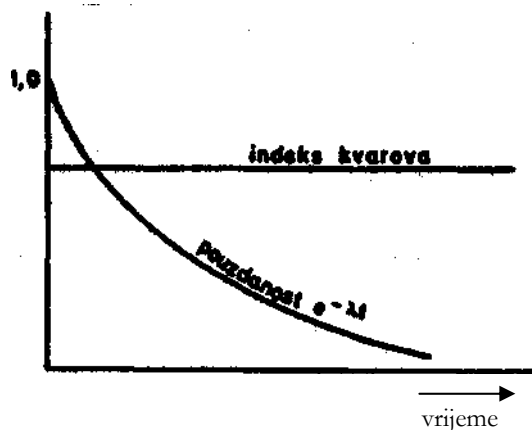
Ako se sad ta dva simbola uvrste umjesto izraza koje oni predstavljaju u jednadžbu (3), dobija se konačni izraz:

$$\frac{1}{R(t)} \frac{d R(t)}{dt} = -\lambda \quad (5)$$

Njegovim integriranjem izlazi:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

To je jednadžba koja je najviše u upotrebi pri praktičnoj primjeni teorije pouzdanosti. Ona izražava eksponencijalnu funkciju kojoj je tok prikazan na slici 4.



Slika 4.

To je, dakle, jednadžba pouzdanosti za uređaj s konstantnim indeksom kvarova. Vidjeli smo prije da takvo ponašanje pokazuje kategorija kvarova nazvanu slučajnim kvarovima - pa se takav konstantni indeks još naziva i indeks slučajnih kvarova (chance failures rate). Zato ova jednadžba vrijedi samo za uređaje koji su uspješno prošli period uhodavanja i još nisu zahvaćeni kvarovima zbog dotrajalosti. Period vijeka trajanja uređaja za koji se može primijeniti ova jednadžba zove se korisni vijek trajanja (useful life period). Važno je da vrijeme "t" u jednadžbi ne prekorači nikad korisni vijek trajanja komponente ili uređaja.

Neka sad korisni vijek trajanja komponente bude samo 1000 sati. Polazeći od jednadžbe (6) može se predvidjeti njezina pouzdanost za bilo koje odabrano vrijeme unutar tih 1000 sati. Ako se primijeni ista jednadžba na bilo koje vrijeme nakon tih 1000 sati, dobit će se pogrešni rezultat jer nakon korisnog vijeka trajanja komponente indeks će kvarova početi naglo rasti.

U tijeku korisnog vijeka trajanja pouzdanost je otprilike jednaka za svaki odsječak vremena jednake duljine. Tako za prvih 10 sati korisnog vijeka trajanja pouzdanost je jednaka kao i za posljednjih 10 sati, tj. pouzdanost je jednaka za 10 sati rada od 0 do 10 kao i od 990 do 1000, pod uvjetom da uređaj ili komponenta "doživi" svoj 990-i sat.

Da bi se to ilustriralo uzmimo da ovaj uređaj, kojem je korisni vijek trajanja 1000 sati, ima svoj (konstantni) indeks kvarova $\lambda = 0,0001$ na sat. Njegova pouzdanost za bilo kojih 10 sati rada unutar tih 1000 sati bit će:

$$R = e^{-0,0001 \cdot 10} = e^{-0,001} = 0,9990$$

tj. 99,9%.

Vjerojatnost da uređaj neće iznevjeriti za cijelo vrijeme korisnog vijeka trajanja od 1000 sati je:

$$R = e^{-0,0001 \cdot 1000} = e^{-0,1} = 0,9048$$

Tako uređaj ima 90% izgleda da će "doživjeti" 1000. sat, računajući od trenutka kad je pušten u rad. No ako "doživi" 990-i sat, onda su njegovi izgledi da prebrodi posljednjih 10 sati (od 990 do 1000) ponovo 99,9%, odnosno $R = 0,999$.

Sva ova razmatranja mogla bi se izraziti ovako: Pouzdanost nekog uređaja jednostavna je eksponencijalna funkcija intervala vremena, pod uvjetom da uređaj "doživi" početak tog intervala i da taj interval ne prekorači granicu korisnog vijeka trajanja uređaja. Važno je zato shvatiti da vrijeme "t" na apscisi nije mjera kalendarskog vijeka uređaja niti ukupno akumuliranoga radnog vijeka uređaja.

Upoznavši značenje i važnost indeksa kvarova za izražavanje funkcija pouzdanosti, trenutak je da se upozna još jedna jednako važna veličina.

Ako se izraz za pouzdanost integrira od 0 do ∞ , dobit će se prosječno vrijeme u kojemu će sustav raditi od kvara do kvara. To vrijeme se nazivlje prosječno vrijeme između kvarova, a označava se s "m" (u anglosaksonskoj literaturi još MTBF). Dakle, bit će:

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

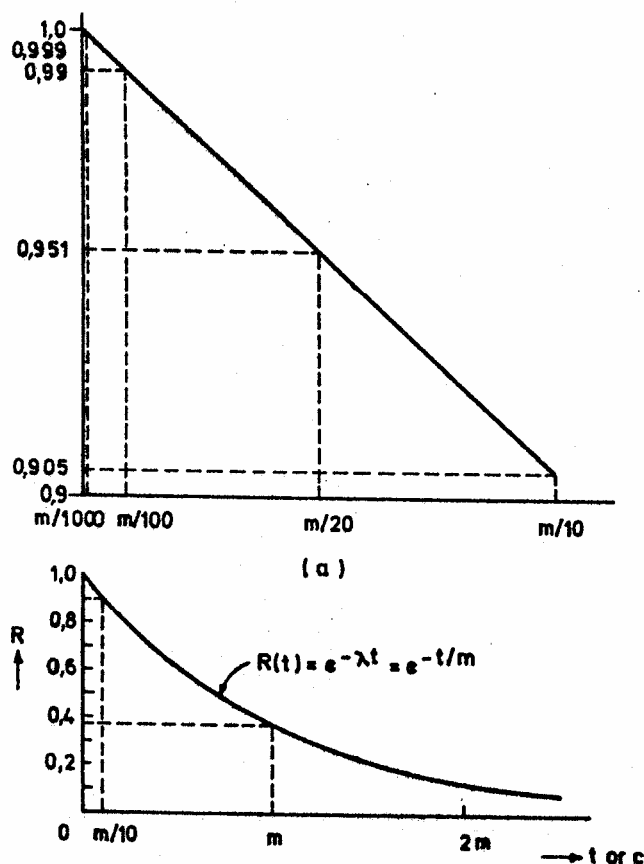
iz čega izlazi:

$$m = \frac{1}{\lambda} \quad (8)$$

Jednadžba pouzdanost može se onda pisati i na ovaj način:

$$R(t) = e^{-t/m} \quad (9)$$

Tako izražena jednadžba omogućuje da se nacrti standardizirana krivulja pouzdanosti, koja izgleda ovako:



Slika 4. a

Standardizirana krivulja pouzdanosti - (a) njezin gornji dio

Nekoliko karakterističnih točaka koje ćemo proučiti omogućit će lakše snalaženje na polju pouzdanosti. Ako je promatrano ili zamišljeno vrijeme rada sustava jednako prosječnom vremenu između kvarova $t = m$, onda je vjerojatnost da će sustav tome s uspjehom udovoljiti tek 36,8% (okruglo 37%). Njegova je pouzdanost, dakle, za predviđeno vrijeme rada $t = m$ jednaka 0,368. Ili, na drugi način rečeno: ako je sustav sastavljen od 100 istovrsnih komponenata, nakon vremena t koje je jednako m , svega njih 37 bit će još u radu, a 63 će ih zakazati prije isteka tog vremena.

Za $t = m/10$ krivulja pokazuje pouzdanost $R = 0,9$, ili 90%. Za $t = m/100$ pouzdanost je $R = 0,99$, za $t = m/1000$ $R = 0,999$, za $t = m/10000$ $R = 0,9999$, za $t = m/100000$ $R = 0,99999$ i za $t = m/1000000$ bit će $R = 0,999999$.

Te točke krivulje pouzdanosti primjenljive su na svaku komponentu i svaki sustav ako je krivulja pouzdanosti kojoj je $\underline{m}$ jedinica vremena standardizirana krivulja, što je u samom početku već rečeno. Kad je riječ o komponenti, $\underline{m}$ i $\underline{R}$ na krivulji znače prosječno vrijeme između kvarova, odnosno pouzdanost te komponente. Kad je riječ o sustavu, $\underline{m}$ i $\underline{R}$ označavaju prosječno vrijeme između kvarova i pouzdanost tog sustava.

Tako, ako se od jedne komponente zahtijeva da ima pouzdanost od 0,999999 za 1 sat rada, njezino prosječno vrijeme između kvarova mora biti 1 000 000 sati. Ako se od jednog sustava očekuje pouzdanost od 0,9999 za 1 sat rada, njegovo prosječno vrijeme između kvarova mora iznositi 10000 sati. Za deset sati rada takav bi sustav imao pouzdanost od 0,999, a za 100 sati rada samo 0,99.

Prosječno vrijeme između kvarova obično se izražava u jedinicama vremena, ali ne i uvijek. U izvjesnim okolnostima, kako je već rečeno, uputnije je zamijeniti jedinicu vremena nekim drugim parametrom koji bolje karakterizira funkciju uređaja ili sustava. Tako kod uklopnih uređaja (sklopke, releji i si.) broj radnih ciklusa prikladnija je mjera od sati rada. Zato će apscisa krivulje pouzdanosti biti izražena u skali ciklusa, a $\underline{m}$ će biti prosječni broj ciklusa između kvarova. Njegova recipročna vrijenost bit će tad indeks kvarova za jedan radni ciklus.

Ako se vjerojatnost da će neki sustav ispravno raditi tijekom određenoga vremenskog perioda izražava se pouzdanošću $\underline{R}$, onda se vjerojatnost da će on u istom tom periodu iznevjeriti može prikazati razlikom između 100%-tne pouzdanosti i one izračunate. Ta se razlika zove nepouzdanost (unreliability) i označava se s " $\underline{Q}$ ". Prema tome je:

$$Q(t) = 1 - R(t) \quad (10)$$

Za pouzdanost $R = 0,999$ nepouzdanost će biti $Q = 0,001$, za $R = 0,99$ $Q = 0,01$, za $R = 0,9$ $Q = 0,1$ itd.

Ovaj će izraz omogućiti u kasnijim razmatranjima da se pojednostavne neki složeniji izvodi i formule.

Vratimo se izrazu (4) koji je nazvan indeksom kvarova:

$$\lambda = \frac{1}{P_s} \frac{d P_f}{dt}$$

Valja se još podsjetiti na to da on zapravo čini omjer komponenata koje su u tijeku razmatranoga vremenskog razdoblja iznevjerile prema komponentama koje su u tomu istom razdoblju ostale ispravnima. U mjerenju indeksa kvarova valja, dakle, osim komponenata koje su iznevjerile uvijek još posebno točno naznačiti i sve one koje su ostale ispravnima. Taj pristup u praksi pričinja dosta teškoća. Razmotrimo sad ponovno izraz (2), koji glasi:

$$\frac{d R(t)}{dt} = \frac{1}{P_0} \frac{d P_f}{dt}$$

U jednadžbi $d P_f/dt$ predstavlja zapravo učestalost kvarova u bilo koje doba za promatrano vrijeme rada sustava. Kad se vrijednosti $d P_f/dt$ ucrtaju iznad apscise koja znači vrijeme, dobit će se vremenska raspodjela kvarova za sve komponente početne populacije " P_0 ". Ako se sad te vrijednosti podijele brojem komponenata početne populacije " P_0 " (što zapravo predodređuje izraz desne strane jednadžbe (2), samo pozitivna predznaka), dobit će se krivulja raspodjele kvarova za svako doba po jednoj komponenti, odnosno krivulju učestalosti kvarova po komponenti. To je, dakle, krivulja jedinične učestalosti, koja se naziva funkcija gustoće kvarova (failure density function) i označava se s " $f(t)$ ":

$$f(t) = \frac{1}{P_0} \frac{d P_f}{dt} = - \frac{d R(t)}{dt} \quad (11)$$

Ako se tad posegne za jednadžbom (5), može se pisati:

$$\lambda = - \frac{1}{R(t)} \frac{d R(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (12)$$

što znači da je indeks kvarova u svako vrijeme t jednak gustoći kvarova $f(t)$ podijeljenoj pouzdanošću $R(t)$, uz uvjet da su obje uzete u isto vrijeme t .

Vrlo je važno spomenuti da se izraz (12)* primjenjuje na sve moguće raspodjele kvarova i sve pouzdanosti, bile one ili ne eksponencijalnog karaktera.

Posluživši se opet izrazom (5), a zatim izrazom (6) za pouzdanost, može se dalje izvesti:

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\lambda R(t) = -\lambda e^{-\lambda t} \quad (13)$$

$$f(t) = -\lambda e^{-\lambda t} \quad (14)$$

Integrira li se izraz (14) od $t = t$ do $t = \infty$:

$$\int_t^{\infty} f(t) dt = -\int_R^0 dR(t) = R(t) \quad (15)$$

dobiva se rezultat koji pokazuje da je površina ispod krivulje gustoće kvarova od vremena "t" do beskonačnosti jednaka pouzdanosti u vremenu "t". Konzekventno tome izlazi:

$$\int_0^t f(t) dt = -\int_R^R dR(t) = 1 - R(t) \quad (16)$$

što znači da je površina ispod krivulje gustoće kvarova od početka razmatranoga vremenskog perioda pa do njegova kraja, tj. od vremena "0" pa do vremena "t", jednaka nepouzdanosti u vremenu "t".

Odnosi između λ , $R(t)$ i $f(t)$ najbolje se vide u grafičkom prikazu na slikama 5, 6 i 7.

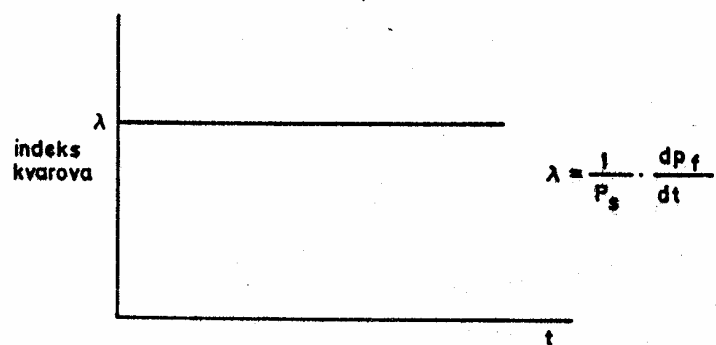
* Neki autori $\lambda(t)$ računaju pomoću slijedećeg izraza:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{N_2(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}}{\frac{N - N_2(t)}{N}} = \frac{N_2(\Delta t)}{[N(t) \cdot \Delta t]}$$

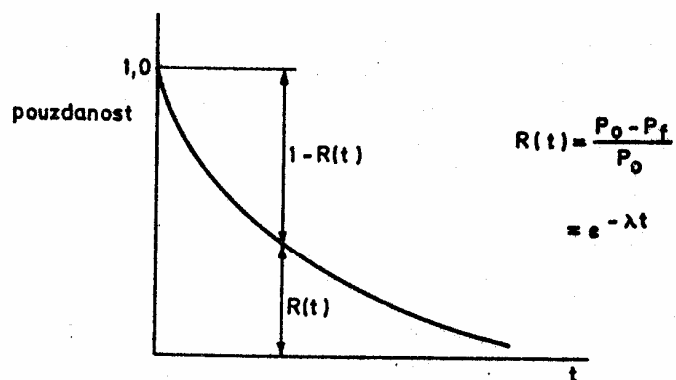
$N_2(t)$ – broj kvarova u trenutku t

N – ukupan broj sustava na kojima se ispituje određena radnja u trenutku $t = 0$ (ukupan broj promatranih komponenti u trenutku $t=0$)

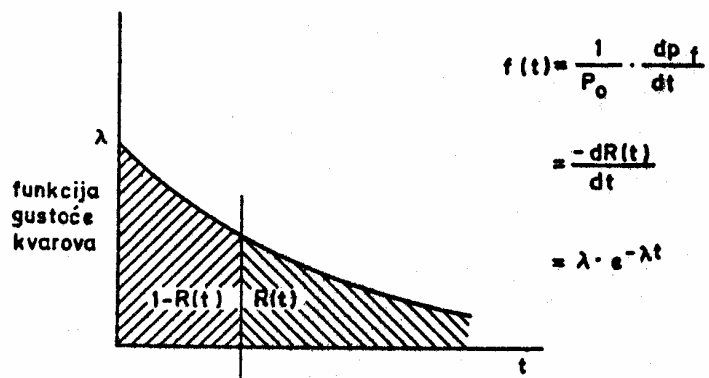
$N(\Delta t)$ - ukupan broj kvarova u intervalu Δt



Slika 5.



Slika 6.



Slika 7.

2.4. POUZDANOST S OBZIROM NA DOTRAJALOST

Osim slučajnih kvarova i dotrajalost utječe na pouzdanost, jasno ako nema pravovremene zamjene komponenata. U najvećoj većini slučajeva fenomeni dotrajalosti slijede normalnu (ili Gaussovu) distribuciju. Izraz za normalnu krivulju gustoće, kako je poznato, glasi:

$$f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(T-M)^2/2\sigma^2} \quad (17)$$

gdje je "M" prosječni vijek trajanja, "T" akumulirano vrijeme rada od početka i "σ" standardna devijacija vijeka trajanja od prosječnoga:

$$\sigma = \frac{\sum(T-M)^2}{N} \quad (18)$$

Veličina "N" u formuli za "σ" predodređuje broj zbivanja (kvarova ili, što dolazi na isto, vjekova trajanja "T") za koji je suma $(T-M)^2$ učinjena.

Razlika između eksponencijalne i normalne distribucije najbolje se vidi iz usporedbe standardiziranih funkcija gustoće kvarova.

Izraz (14) za funkciju gustoće kvarova eksponencijalne distribucije glasi:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

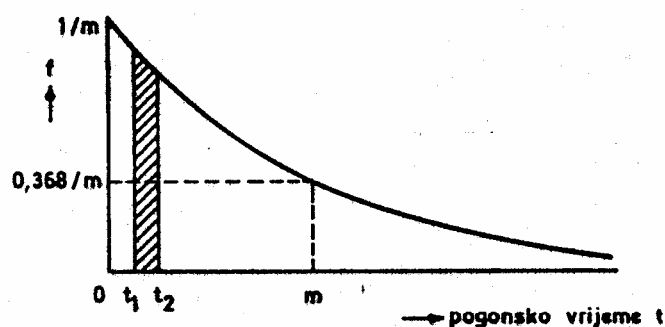
odnosno, ako se "λ" zamijeni s $1/m$:

$$f(t) = \frac{1}{m} e^{-t/m} \quad (19)$$

Izraz za funkciju gustoće kvarova, normalne distribucije bit će:

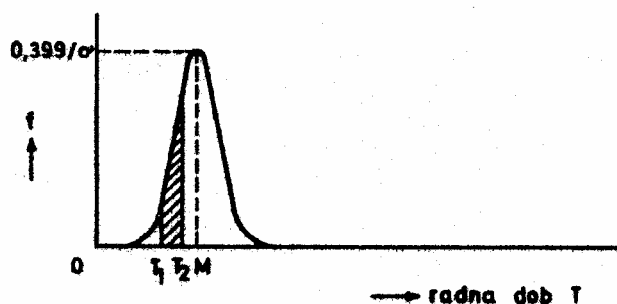
$$F(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}}$$

Obje te krivulje prikazane su na slikama 8. i 9.:



Slika 8.

Funkcija gustoće kvarova eksponencijalne distribucije



Slika 9.

Funkcija gustoće kvarova normalne distribucije

Krivulje izražavaju gustoću kojom se komponente početne populacije kvare u domeni vremena kad se one ne zamjenjuju, tj. kad je svim komponentama dopušteno da dotraju. U funkciji gustoće eksponencijalne distribucije vrijeme "t" se broji od bilo kojega odabranoga početnog vremena "t = 0" kod kojega je komponenta još uvijek ispravna. Zbog toga je eksponencijalna distribucija neovisna o starosti komponente, ali, naravno, samo dotle dok ne nastupi njezina dotrajnost, tj. dok je indeks kvarova konstantan. Vrijeme "T" kod funkcije gustoće normalne distribucije označuje starost komponente. Normalna distribucija ovisi, dakle, o starosti, a eksponencijalna ne.

Slike 8. i 9. prikazuju kako pri eksponencijalnoj distribuciji, tj. kod slučajnih kvarova, od početne populacije komponenata njih najviše iznevjeri u vremenskom periodu do "m", a kod normalne distribucije, tj. kod kvarova zbog dotrajalosti, najviše ih zakaže oko vremena "M", njihova prosječnog vijeka trajanja.

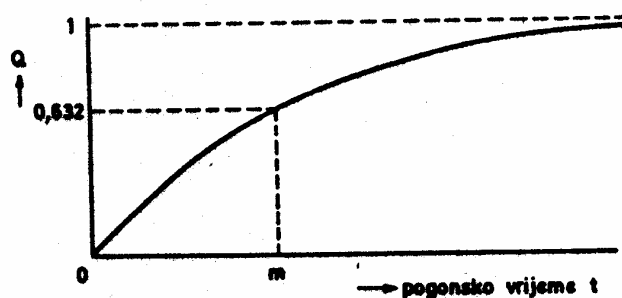
Znamo otprije da se integriranjem površine ispod krivulje gustoće kvarova od 0 do t dobiva nepouzdanost sustava "Q" ili kumulativna vjerojatnost kvara. Izraz za nepouzdanost (10) kod slučajnih kvarova glasi:

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

Izraz za nepouzdanost ili kumulativnu vjerojatnost kvara kod kvarova zbog dotrajalosti (normalne distribucije) bit će:

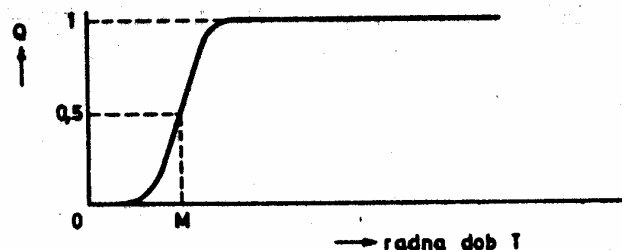
$$Q(T) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} \int_T^{\infty} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}} dT \quad (20)$$

Njihove krivulje prikazane su na slikama 10. i 11:



Slika 10.

Krivulja nepouzdanosti eksponencijalne distribucije



Slika 11.

Krivulja nepouzdanosti normalne distribucije

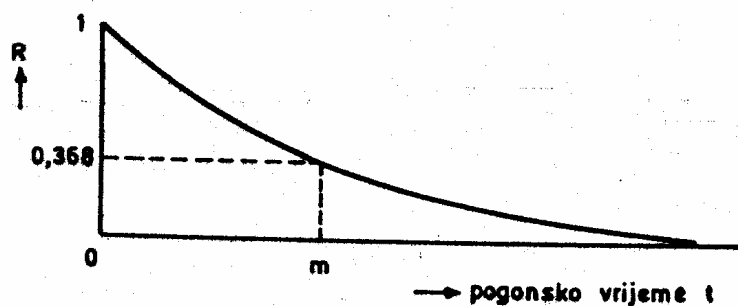
Integriranjem površine ispod krivulje gustoće kvarova od "t" do ∞ dobiva se izraz za pouzdanost R, koji će kod slučajnih kvarova (eksponencijalna distribucija) biti, prema izrazima (6) i (9):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{ili} \quad R(t) = e^{-t/m}$$

a kod kvarova zbog dotrajalosti (normalna distribucija) izlazi:

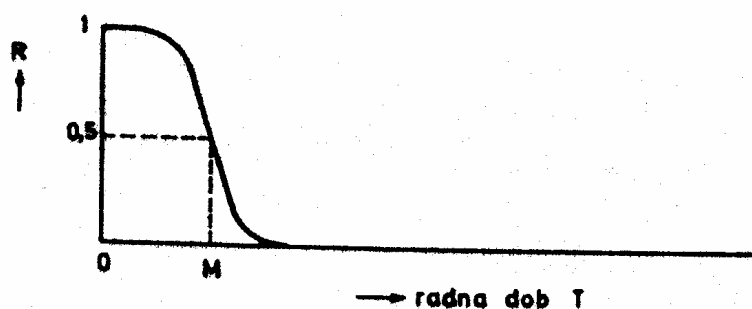
$$R_w(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_T^{\infty} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}} dT \quad (21)$$

Odgovarajuće krivulje pouzdanosti prikazane su na slikama 12. i 13:



Slika 12.

Krivulja pouzdanosti eksponencijalne distribucije

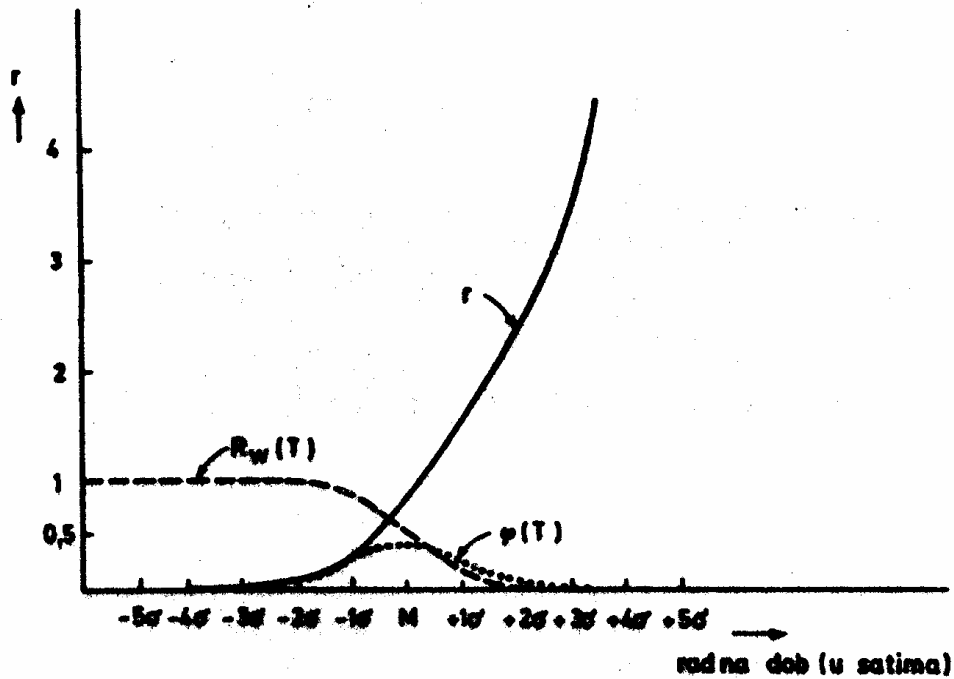


Slika 13.

Krivulja pouzdanosti normalne distribucije

Na slici 14. nalaze se standardizirane krivulje:

- $\Phi(T)$ funkcije gustoće kvarova zbog dotrajalosti;
- $R_w(T)$ pouzdanosti s obzirom na kvarove zbog dotrajalosti;
- $r(T)$ indeks kvarova zbog dotrajalosti.



Slika 14.

Indeks kvarova uzrokovan dotrajalošću izražen u broju kvarova na sat dobiva se polazeći od

$$\lambda_w = \frac{r}{\sigma}$$

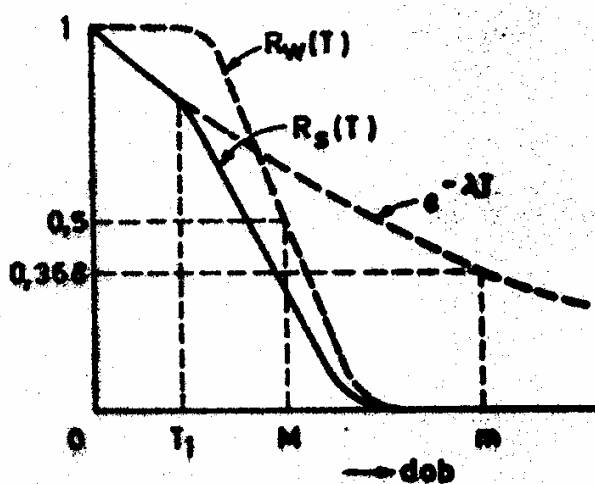
2.5. SLOŽENA POUZDANOST

Promatrajući zajedničke izgledе komponente da izdrži i slučajne kvarove i kvarove zbog dotrajalosti tijekom perioda radnog vijeka od $T = 0$, kad je ona bila nova, do neke dobi " T ", dobiva se zapravo njezina složena pouzdanost (combined reliability). Ona je umnožak pouzdanosti za slučajne kvarove i pouzdanosti za kvarove zbog dotrajalosti:

$$R_s(T) = e^{-\lambda T} \cdot R_w(T) \quad (21)$$

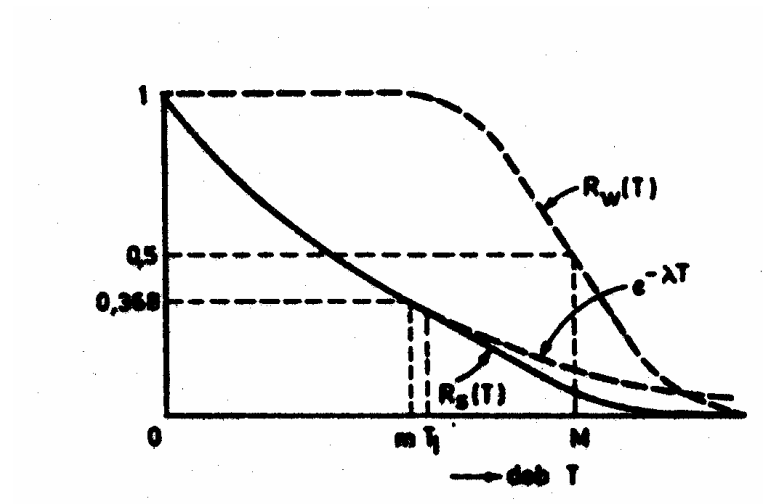
U tom izrazu $R(T)$ znači pouzdanost za kvarove zbog dotrajalosti, kako je dana u jednadžbi (21), " T " je radna dob komponente, a " M " njen prosječni vijek trajanja.

Na slikama 15. i 16. prikazane su krivulje složene pouzdanosti kad je $m > M$ i kad je $M > m$.



Slika 15.

Krivulja složene pouzdanosti za $m > M$



Slika 16.

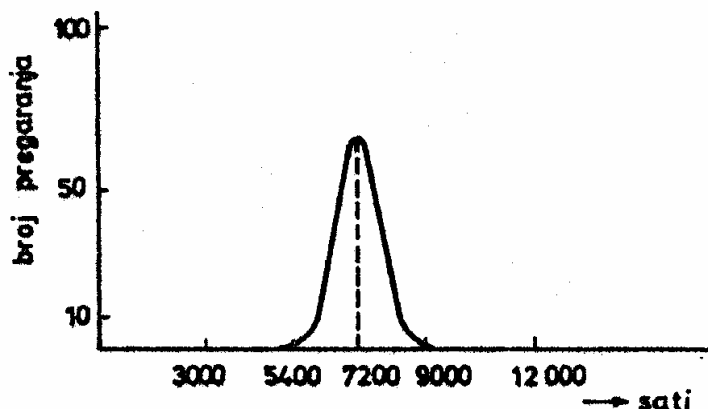
Krivulja složene pouzdanosti za $M > m$

2.6. POUZDANOST PRIMIJENJENA NA BRODSKE SUSTAVE

Kroz razmatranja u prethodnim poglavljima lako je uočiti kako je relativno jednostavan i lako rješiv izraz za pouzdanost kod slučajnih kvarova, a kako je relativno složen i kompliciran za rješavanje izraz za pouzdanost kod kvarova zbog dotrajalosti. Brodski sustavi, međutim, imaju jedno svoje obilježje koje im u tom pogledu nimalo ne ide "u prilog". Oni su pretežno podložni kvarovima uzrokovanim dotrajalošću, a slučajni se kvarovi kod njih mogu praktički zanemariti. Tomu je uzrok dijelom to što je brodogradnja i brodarstvo staro gotovo koliko i čovječanstvo, pa je u koncepciji i izvedbi brodskih sustava akumulirano golemo iskustvo. Uostalom, činjenica je da su mnoge postavke teorije pouzdanosti, te mlade teorije koja je nastala nakon sustava i kao njihova posljedica, bile na brodu zadovoljene i prije nego što je teorija nastala. S druge strane, pristup održavanju brodskih sustava nije striktno preventivni, pa je pojava kvarova zbog dotrajalosti u samoj prirodi takva pristupa. No, o tome potanje u idućim poglavljima.

Ova spoznaja nije baš mogla dati poticaja primjeni teorije pouzdanosti u brodarstvu i brodogradnji. Jer, što .sa zakonitošću i njezinim matematičkim postavkama koje se u praksi ne daju primijeniti? No, je li baš to tako, najbolje će se pokazati na primjeru.

Pogledajmo što će se zbivati u jednom sustavu od 10000 žarulja povezanih u seriju ako se one zamjenjuju tek onda kad pregore. Zanemarimo potpuno mogućnost slučajnih i početnih kvarova, tj. promatrat će se samo posljedice kvarova zbog dotrajalosti. Prosječni vijek svake žarulje neka bude 7200 sati (a standardna devijacija $\sigma = 600$ sati). Slijedeća slika prikazuje krivulju gustoće kvarova (zbog dotrajalosti) spomenute populacije od 10000 žarulja (sl. 17).



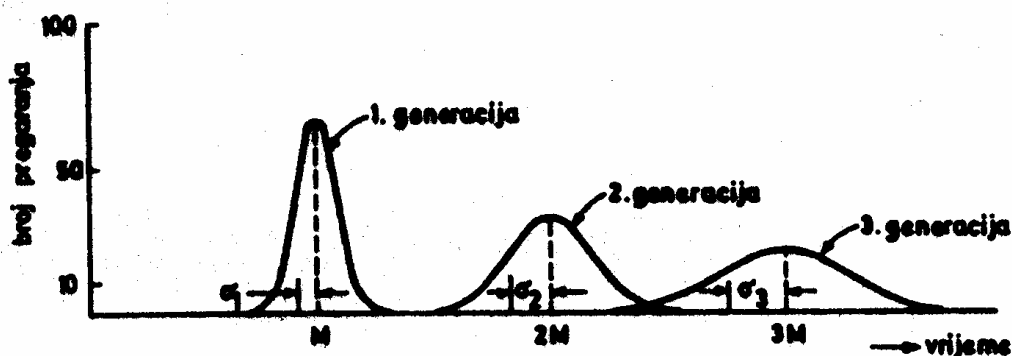
Slika 17.

Iz površine ispod krivulju zna se da će oko 9970 žarulja pregorjeti između 5400 i 9000 sati, a vršak perioda pregaranja bit će oko $M = 7200$ sati. Neka cijeli sustav od 10000 žarulja bude neprekidno u pogonu, a žarulje neka se mijenjaju (obnavljaju) kako koja pregori.

Kad prva generacija počne pregarati, druga počinje ulaziti u pogon; to se zbiva negdje oko 5000-og sata. Žarulje druge generacije ne uvode se u pogon istodobno, već postupno, onako kako pregaraju one prve generacije. Zbog toga će krivulja gustoće kvarova druge generacije biti osjetno spljoštena, kako se to i vidi na slici 18. Njezin će vršak perioda pregaranja biti u vremenu od $2M = 14400$ sati. Od oko 10000. sata pa dalje počinje ulaziti treća generacija žarulja. Ona će dostići vršak perioda pregaranja na $3M = 21600$ sati, no visina tog vrška, zbog raspodijeljenosti, bit će opet niža - oko jedne trećine vrška prve generacije. Kako se to vidi iz slike 18, da bi se dobio broj pregaranja žarulja u jedinici vremena, potrebno je od 14400. sat pa dalje zbrajati krivulje učestalosti pregaranja druge i treće generacije. Poslije, oko 19000. sata, valja početi zbrajati i pregaranja četvrte generacije, koja je počela ulaziti kad su započele pregarati žarulje treće generacije. Od tog vremena broj pregaranja žarulja u jedinici vremena poprima konstantan indeks kvarova $\lambda_r = 1/M = 0,000139$ na sat. Cijeli sustav od 10000 žarulja imat će tad konstantni indeks kvarova:

$$\lambda_s = N \cdot \lambda_r = 10000 \cdot 0,000139 = 1,39$$

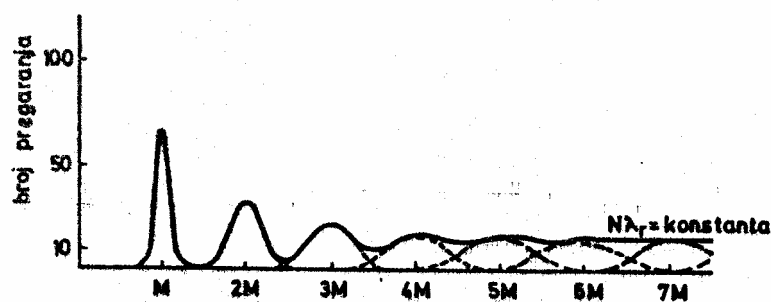
tj. 1,39 žarulje pregara na sat.



Slika 18.

Budući da ovaj konstantni indeks kvarova žarulja mješovite dobi proizlazi isključivo iz dotrajalosti i budući da on označava stupanj učestalosti zamjene žarulja, naziva se i indeks obnovâ (λ_r).

Proces zbrajanja i stabilizacije učestalosti kvarova predložen je punom linijom na slici 19:



Slika 19.

Kod komponenata mješovite dobi prosječni vijek "M" poistovjećuje se s prosječnim vremenom između kvarova "m". Zbog konstantnog indeksa kvarova, pregaranja će se zbivati nasumce i u nepravilnim intervalima, ali ona ipak nisu posljedica slučajnih kvarova, već samo dotrajalosti. Tako bi ovakav sustav s 10000 komponenata mješovite dobi "u seriji" imao prosječno vrijeme između kvarova:

$$m_s = \frac{m}{10000}$$

a njegova bi pouzdanost iznosila:

$$R_s = e^{-t/m_s} = e^{-10000 t/m}$$

Uz indeks obnova pojedine komponente od 0,000139, prosječno vrijeme između kvarova takva sustava bilo bi svega:

$$m_s = \frac{7200}{10000} = 0,72 \text{ sata}$$

To bi rezultiralo krajnje niskom pouzdanošću. No sustav je poprimio konstantan indeks kvarova i ponašat će se eksponencijalno usprkos tome što je podložan samo kvarovima zbog dotrajalosti.

Gornje razmišljanje primjenljivo je na svaku populaciju komponenata mješovite dobi, pa kakvoj god raspodjeli podlijeжала. A ako su komponente od samog početka mješovite po tipu, od kojih svaki ima drukčiji prosječni vijek M , ili različitu distribuciju, proces stabilizacije indeksa kvarova sustava teče brže nego u razmatranom primjeru žarulja. Mješovitost tipova stvarna je karakteristika svakog uređaja i sustava.

Sumirajući dosad izneseno, izlazi da kad se isključe slučajni kvarovi, tako da je sustav podložen samo kvarovima zbog dotrajalosti i ako se komponente zamjenjuju tek pošto se pokvare, ovakav serijski sustav poprima konstantni indeks kvarova nakon perioda stabilizacije.

Kad bi uz kvarove zbog dotrajalosti bili prisutni i slučajni kvarovi, indeks kvarova stabilizarnog sustava, ako se komponente zamjenjuju tek pošto iznevjere, bio bi konstanta koja obuhvaća i slučajne kvarove i one zbog dotrajalosti.

Ova se razmatranja mogu u potpunosti primijeniti na brodske sustave. Neka se tako želi ustanoviti kolika je učestalost kvarova pumpa za cirkulaciju mora u floti koja se sastoji od stotinu trgovačkih brodova. Tih, dakle, stotinu bit će neminovno različite dobi i različita tipa, a njihovi sastavni dijelovi negdje su još novi, negdje su u fazi istrošenja, a negdje upravo obnovljeni. Nema očito dvojbe da one čine tipičnu mješovitu populaciju, i to s mješovitošću tipova, prosječnog vijeka trajanja i dobi. Prema prijašnjoj konstataciji, proces stabilizacije indeksa kvarova takve mješovite populacije je ubrzan, pa se može smatrati da je indeks kvarova konstantan već od samog početka promatranja, bez obzira na to kad je to promatranje započelo.

Ovdje valja odmah istaknuti da tih stotinu pumpi, ugrađenih u jednako toliko različitih brodova, ne čini nikakav zajednički sustav.

Ovakav pristup omogućuje, međutim, da se dođe do jednoga vrlo praktičnog pokazatelja - "prosječnog indeksa kvarova", i primjenu zakonitosti eksponencijalne distribucije za izračunavanje pouzdanosti brodskih sustava, unatoč činjenici da se na brodu mahom pojavljuju kvarovi zbog dotrajalosti.

Najvažnija karakteristika "prosječnog indeksa kvarova" jest u tome što je on za određenu flotu konstantan. Kad se tako utvrdi taj prosječni indeks kvarova za svaki brodski uređaj u odabranoj floti, moći će se izračunati pouzdanost brodskih sustava služeći se izrazom (6),

koji je naprama onom normalne distribucije (21), relativno vrlo jednostavan i praktičan. "Prosječni indeks kvarova" ima svojih mana i prednosti. Sama njegova prosječnost upućuje na to da nije vezan za posebnost. On nije, dakle, karakteristika nekoga pojedinačnog uređaja, već neka vrsta "zajedničkog nazivnika", tj. pokazatelja za sve promatrane uređaje. To, drugim riječima, znači da indeks kvarova bilo kojega od promatranih uređaja ne mora i vjerojatno neće biti identičan "prosječnom". Tako će se i na osnovi njega proračunata pouzdanost nekoga broskog sustava razlikovati od njegove stvarne pouzdanosti. No, sve dok je ta "stvarna" pouzdanost nepoznata, razglabanja o ovoj različitosti teorijski su relevantna, no u praksi su zapravo irelevantna. Govoreći o pouzdanosti govori se uvijek o vjerojatnosti, i svaki onaj pokazatelj koji je prosjek u jednom dovoljno širokom uzorku, s gledišta vjerojatnosti je osnovan i upotrebljiv. Jednako kao što se ne bi moglo garantirati da će se neki uređaj ponašati baš prema izračunatoj njegovoj "stvarnoj" pouzdanosti, sve kad bi i bilo dovoljno pravih pokazatelja za upravo taj uređaj da se ona može proračunati. Jer, taj je proračun tek proračun vjerojatnosti, pa tako i pouzdanost proračunata na temelju "prosječnog indeksa kvarova" ne utvrđuje ponašanje, već vjerojatnost ponašanja takva jednog uređaja unutar cijele promatrane flote.

Prosječni indeks kvarova je, dakle, tijekom iskorišćavanja dobiveni pokazatelj koji omogućuje procjenu pouzdanosti pojedinih brodskih uređaja i sustava upravo na osnovi njihova stvarna ponašanja u jednoj konkretnoj floti sa svim njezinim specifičnostima, od investicijske i kadrovske politike, pa do politike održanja.

2.7. KONFIGURACIJE BRODSKIH SUSTAVA I POUZDANOST UZ ZAHVATE

Tehnički sustavi dijele se po konfiguraciji na sustave bez zalihosti i sustave sa zalihosti. Zalihost (redundancy) znači konfiguraciju koja sustavu osigurava sposobnost da izbjegne zastoje i onda kad neka od njegovih komponenata iznevjeri.

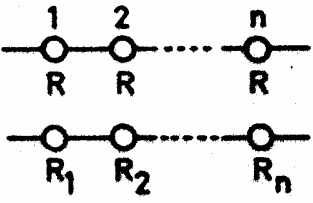
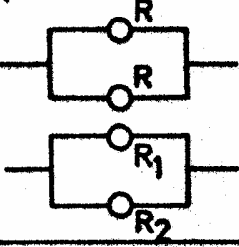
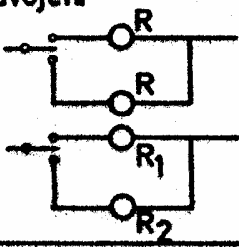
Sustav bez zalihosti je serijski sustav. On je ekvivalentan lancu, gdje prekid jedne karike znači prekid cijelog lanca. Tako je sa brodskim vijkom, osovinskim nizom, statvenim ležajevima i odzivnim ležajom, gdje kvar na bilo kojoj od spomenutih komponenata rezultira kvarom cijelog sustava.

Da bi se izbjeglo tako nepovoljno stanje pri kvaru jedne jedine komponente, pribjegava se, gdje je to moguće i potrebno, zalihosti u sustavima.

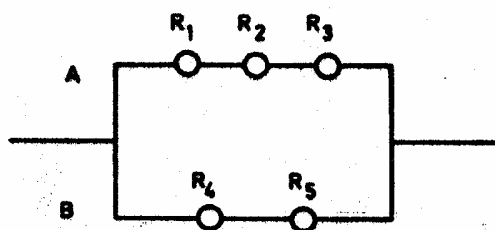
Sustavi sa zalihosti mogu biti usporadni (paralelni), udvojeni, utrostručeni itd., tj. mnogostruki. Izuzevši usporedni, takvi se sustavi još na zivaju zajedničkim imenom "stand-by" sustavi.

Usporedni su oni sustavi gdje su obje komponente u stalnom radu (npr, kao kod porivnih postrojenja s dva motora), a udvojenima je jedna komponenta u radu, a druga u pričuvi (npr. kad je od dvaju električnih generatora samo jedan dovoljan za sve brodske potrebe). U tablici I. dani su izrazi za pouzdanost serijskih, usporednih i udvojenih sustava, a u posebnom primjeru obrađena su dva različita serijska sustava sastavljena u jedan usporedni.

Tablica 1.

sustav	pouzdanost	prosječno vrijeme između kvarova
serijski 	R^n $R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n$	$\frac{1}{n\lambda}$ $\frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)}$
usporedni 	$2R - R^2$ $R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2$	$\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda}$ $\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2)}$
udvojeni 	$R(1 + \lambda t)$ $R_1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (R_1 - R_2)$	$\frac{2}{\lambda}$ $\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$

Primjer: dva različita serijska sustava rade usporedno



Slika 20.

Pouzdanost serije A:

$$R_A = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3$$

Pouzdanost serije B:

$$R_B = R_4 \cdot R_5$$

Pouzdanost usporednih A i B:

$$\begin{aligned} R_s &= R_A + R_B - R_A \cdot R_B \\ &= (R_1 \cdot R_2 \cdot R_3) + (R_4 \cdot R_5) - \\ &\quad - (R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5) \end{aligned}$$

Slučajne kvarove pojedinih komponenata nemoguće je izbjeći i velika je prednost broda u tome što oni mogu biti odmah i u relativni kratkom vremenu otklonjeni, svakako uz uvjet da je on opskrbljen potrebnim doknadnim dijelovima i da je u brodskom osoblju dovoljan broj ljudi stručnih za takve popravke. Kod serijskih sustava, međutim, postojanje spomenutih uvjeta neće biti od bitna utjecaja na veličinu pouzdanosti, a kod sustava sa zalihošću to će biti od presudne važnosti, jer će popravak na komponenti u kvaru moći biti izvršen, a da do totalnog kvara, odnosno zastoja sustava uopće ne dođe.

Posebno je, zbog toga, zanimljivo pozabaviti se analizom pouzdanosti sustava sa zalihošću.

Ako se komponenta sustava sa zalihošću na kojoj se kvar zbio obnavlja ili popravlja u redovnim vremenskim razmacima, onda će prosječno vrijeme između kvarova " m_{su} " ovisiti o učestalosti zahvata održavanja. Naime, jednadžba (7):

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

vrijedi samo kad se na sustavu ne bi obavljali nikakvi popravci sve dok ne dođe do njegova totalnog kvara, odnosno prekida rada.

Ako se, međutim, radovi održavanja na sustavu vrše svakih T sati, kad svaka komponenta u kvaru mora biti ili popravljen ili obnovljena, ta će jednadžba izgledati ovako:

- neka je "m" ovog sustava m_T
- neka je prosječni indeks
kvarova cijelog sustava λ_{su}
- neka je pouzdanost sustava
u vremenu t $R_{su}(t)$
- neka je nepouzdanost sustava
u vremenu t $Q_{su}(t)=1-R_{su}(t)$

$$m = \int_0^{\infty} R_{su}(t) dt \quad (23)$$

Upotrijebi li se zatim jednadžba (12), koja glasi:

$$\lambda = \frac{1}{m} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

onda će biti:

$$m = \frac{R(t)}{f(t)}$$

$$m_T = \frac{\int_0^T R_{su}(t) dt}{\int_0^T f_{su}(t) dt} \quad (24)$$

Iz jednadžbe (16) izlazi da je:

$$\int_0^T f_{su}(t) dt = 1 - R_{su}(T)$$

Pa se prema tome dobiva:

$$m_T = \frac{\int_0^T R_{su}(t) dt}{1 - R_{su}(T)} \quad (25)$$

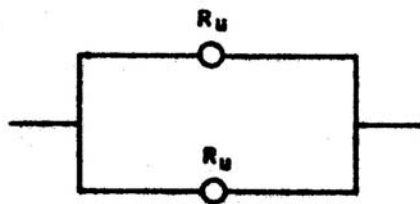
Ta jednačba daje pravu vrijednost „ m_{su} “ za redovno održavani sustav. Ako je, međutim, to sustav visoke pouzdanosti, što je kod sustava sa zalihom redovito tako, onda se " $R_s(t)$ " približuje jedinici, pa je:

$$R_s(t) \, dt \approx T \quad (26)$$

i cijeli izraz postaje mnogo jednostavniji, tj:

$$m_T \approx \frac{T}{1 - R_{su}(T)} \quad (27)$$

Razmatranjem idućega numeričkog primjera za jedan jednostavni dvostruki sustav koji se sastoji od dvije identične jedinice, najbolje će se pokazati razlika u pouzdanosti između istog sustava kad se on redovno održava i kad to se obavlja dosljedno.



Slika 21.

Neka indeks kvarova za obje jedinice bude jednak i neka iznosi $\lambda_u = 0,2$ kvara/1000 sati. Neka je uporabno vrijeme između zahvata održavanja $T = 1000$ sati.

Pouzdanost svake od jedinica za 1000-satni interval održavanja bit će:

$$R_u = e^{-\lambda T} = e^{-0,2} = 0,819$$

Pouzdanost sustava za ovaj period je:

$$\begin{aligned} R_{su} &= R_u (1 + \lambda T) \quad (\text{iz tablice I}) \\ &= 0,9828 \end{aligned}$$

Prema jednadžbi (27) " m_s " za ovakav redovno održavani sustav iznosi:

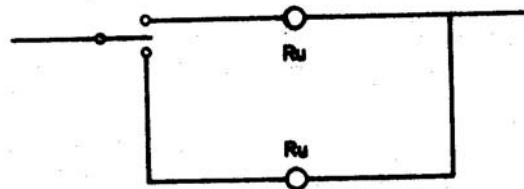
$$m_T = \frac{1000}{1 - 0,9828} = 56500 \text{ sati}$$

Ako se, međutim, sustav ne održava redovno, nego zahvat uslijedi tek kad nastupi prekid rada, tad za dobivanje " m " valja primijeniti jednadžbu (7) za udvojene sustave, čije je rješenje dano u tablici I:

$$m_s = \frac{2}{\lambda} = \frac{2}{0,0002} = 10000 \text{ sati}$$

Drugi, sada realistični primjer neka bude brod kojemu se elektroenergetski sustav sastoji od dva dizel-generatora, od kojih svaki zadovoljava sve brodske potrebe u plovidbi i manevriranju. (Brod je bez teretnog uređaja, pa su mu potrebe za elektroenergijom za vrijeme lučkih operacija najmanje). To je, dakle, udvojeni sustav, koji je kao minimum i propisan. Do njegova zastoja može doći tek ako su oba generatora u kvaru.

Shematski bi prikaz ovog sustava izgledao isto kao na slici 21a.



Slika 21a.

Pri tome se može uzeti da je indeks kvarova za današnje vrlo kvalitetne i pouzdane dizel-generatore negdje oko dva kvara na 10000 sati. Dakle je:

$$\lambda = 0,0002$$

Neka vrijeme između servisiranja (overhauling) takvih dizel-motora, prema preporukama proizvođača, iznosi 4000 sati rada. Prema tome je:

$$T = 4000 \text{ sati}$$

Pouzdanost svake jedinice za 4000-satni interval održavanja iznosila bi:

$$R_u = e^{-\lambda T} = e^{-0,0002 \cdot 4000} = e^{-0,8} = 0,4493$$

Pouzdanost cijeloga ovakvog udvojenog sustava za ovaj period bila bi (iz tablice I):

$$R_{su} = R_u (1 + \lambda T) = 0,4493 \cdot 1,8 = 0,8087$$

Prema jednadžbi (27) " m_{su} " za (ovakav) redovno održavani sustav bit će:

$$m_T \approx \frac{4000}{1 - 0,8087} = 20909 \approx 20000 \text{ sati}$$

Međutim, kad se ovaj udvojeni (stand-by) sustav ne bi periodički održavao u utvrđenim intervalima, njegovo prosječno vrijeme između kvarova iznosilo bi (prema tablici I):

$$m = \frac{2}{\lambda} = \frac{2}{0,0002} = 10000 \text{ sati}$$

Izneseni primjeri dovoljno su pokazali koliko je razina pouzdanosti sustava sa zalihosti baš tom zalihošću povećana, ali uz uvjet da se zahvati održavanja (overhauling) planiraju i obavljaju točno definiranim razmacima. Inače, čeka li se sa zahvatom da jedna od komponenata iznevjeri, pouzdanost sustava višestruko opada.

Ova je računica neprijeporna za sve sustave sa zalihosti, uključujući i brodske. Ipak, brod se u ovom pogledu bitno razlikuje od svih ostalih prijevoznih sredstava. Ona sva moraju, očito je, radi planiranog zahvata održavanja biti zaustavljena, makar to bili sustavi s punom zalihosti (stand-by). Naime, nema mogućnosti da se ni na takvim sustavima zahvat održavanja obavi u vožnji, jer za tako nešto nemaju ni potrebno osoblje, ni potrebni prostor, niti druge potrebne uvjete. Ona su, zbog svoje namjene, jednostavno drukčije koncipirana; za njih je, dakle, iznesena postavka i provedena računica jedina i najpovoljnija.

Što se tiče broda, situacija se tu bitno mijenja. Za takav zahvat ima na brodu uvijek

dovoljno stručno osposobljenog osoblja, dovoljno prostora i potrenih doknadnih dijelova, a tu je i posebna okolnost da on i zaustavljen može biti uporabljiv (npr. u luci, dok se obavljaju lučke operacije). Sve to navodi na mogućnost i jednoga drukčijeg pristupa.

Neka za primjer posluži ponovno onaj isti brodski elektroenergetski sustav otprije. Pretpostavimo da se na motoru jednog generatora dogodio krupan kvar, koji zahtijeva potpun remont motora. Takav zahvat s forsiranim radom u smjenama brodsko osoblje može obaviti za tri dana, što iznosi zaokruženo 70 sati. Označimo to vrijeme sa " τ " (tau).

Promotrimo tu situaciju sa stajališta pouzdanosti. Elektroenergetski sustav ostao je sad na samo jednoj komponenti i njezino zakazivanje prijeti zastojem sustava i broda. No, ta prijetnja, odnosno vjerojatnost, traje samo tijekom onih 70 sati, koliko je potrebno da se osposobi motor u kvaru. Vrijeme, dakle, u izrazu za pouzdanost nije više " t ", koje slobodno teče, niti " T " između dva planirana zahvata održavanja, već je ono ograničeno na vrijednost " τ ".

Sad izraz za pouzdanost takva udvojenog sustava glasi:

$$R_{(\tau)} = e^{-\lambda \tau} \quad (28)$$

Polazeći od tog izraza pristupimo proračunu pouzdanosti, služeći se podacima otprije. Ako je indeks kvarova ovakvih dizel-generatora $\lambda = 0,0002$, onda će pouzdanost ovakvog sustava iznositi:

$$R_{(\tau)} = e^{-0,0002 \cdot 70} = 0,9860$$

Inače se vrijeme " t " konvencionalno uzima u iznosu od tri tjedna, što je otprilike 500 sati. (Drugi je rigorozniji kriterij vrijeme potrebno brodu da otplovi svoj akcioni radius.) Kad bi se, dakle, pustilo da generator leži neispravan, pouzdanost ovog sustava pala bi na:

$$R_{(t)} = e^{-0,0002 \cdot 500} = 0,9048$$

A uzima se da ovakva "konvencionalna" pouzdanost nijednoga "bitnog" brodskog sustava ne smije biti manja od 0,96.

Usporedbe radi izračunajmo još koliko bi iznosila pouzdanost ovakvog sustava kad su obje komponente ispravne, a vrijeme " t " konvencionalno

teče 500 sati. Prema tablici I. dobiva se:

$$R_{su} = R_u (1 + \lambda T) = 0,9048(1 + 0,0002 \cdot 500) = 0,9953$$

Iz proračuna je očito da je pouzdanost ovakva udvojenog broskog sustava relativno velika, bilo da se ona računa na osnovi ograničenog vremena zahvata ($R_{(t)}$), bilo na temelju izraza za udvojene sustave za konvencionalno vrijeme $t = 500$ (R_{su}). Valja, međutim, imati na umu da " $R_{(t)}$ " nije konvencionalna, već je to stvarna veličina pouzdanosti, i da je takva pouzdanost konstantna u vremenu.

Iz svega iznesenoga proistječe zaključak da je pouzdanost brodskih sustava, konačno broda, drukčija od one u ostalih prijevoznih sredstava, jer se zahvati na sustavima sa zalihosti mogu obavljati bez zastoja broda, pa čak, u posebnim okolnostima, i na sustavima bez zalihosti (na porivnom stroju za vrijeme lučkih operacija). Pouzdanost brodskih sustava je pouzdanost uz zahvate (reliability with repairs).

Dobru pouzdanost (uz zahvate) broda čine:

zalihost u sustavima, brodska zaliha doknadnih dijelova i dobra posada.

3. ODRŽAVANJE BRODSKIH SUSTAVA

3.1. PODJELA BRODA NA OSNOVNE SUSTAVE

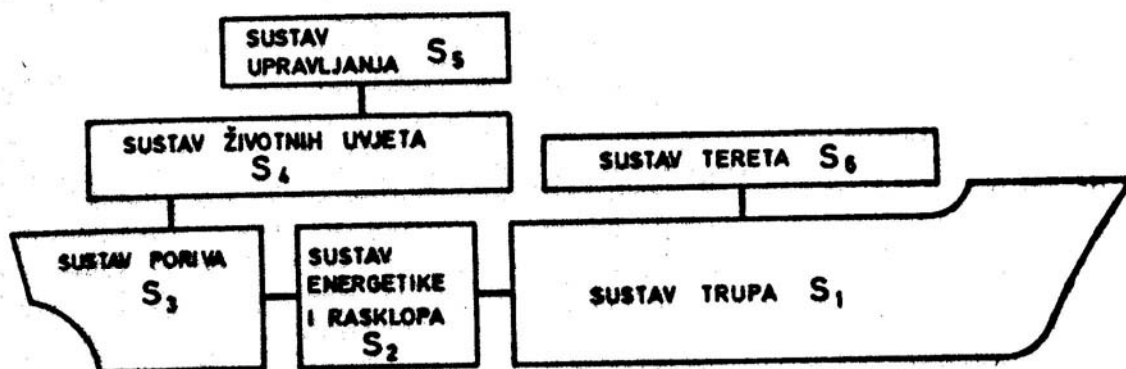
U pogledu sigurnosti (safety) brodski sustavi svrstavaju se redovno u one "bitne" i one "nebitne". Sa stajališta sigurnosti oni to i jesu, već prema svojoj funkciji na brodu. Tu podjelu izvršili su, dobro i u suglasju, i klasifikacijski zavodi, i razne administracije, i sami brodograditelji. Zbog toga su mnogi sustavi na brodu, ocijenjeni kao bitni, udvostručeni.

Sa stajališta pouzdanosti, odnosno iskorišćavanja broda, takva podjela ne može biti prihvaćena. To, dakako, ne znači da je treba ukinuti. Ne smije se samo dopustiti da nas ona zavede. Održavanje broda, naime, nije usmjereno samo na to da se održi sigurnost već i da se omogući nesmetano iskorišćavanje. U takvu pristupu uz "bitne" sustave ravnopravan položaj zauzimaju i svi oni "nebitni" koji svojim kvarom mogu uzrokovati zastoj broda. Tako kvar rashladnog uređaja za brodske namirnice, toga toliko "nebitnog" uređaja da danas ne podliježe ni propisima gradnje ni nadzoru klasifikacijskih zavoda, ako se dogodi pri odlasku iz luke, može biti povod za ozbiljni zastoj broda. Budući da je to jedan od bitnih uređaja za održavanje uvjeta života na brodu, osoblje mu posvećuje posebnu pažnju unatoč prethodnoj konstataciji. No, zar ne bi i ovaj uređaj morao biti udvostručen propisom kao i mnogi "bitni"? Istini za volju, sličnih je uređaja na brodu mnogo, i ne može se sa sigurnošću tvrditi da je najbolje rješenje, sa stajališta iskorišćavanja, odnosno s gledišta održavanja, da svi oni budu udvostručeni. I tu, dakle, valja izvršiti odgovarajuću optimalizaciju, što je jedan od zadataka brodske terotehnologije.

Ova su razmišljanja dovoljna da upozore na osnovnu razliku shvaćanju pojma "bitnog sustava" kod sigurnosnog i terotehnološkog pristupa. Svakako, svi su bitni sustavi sa stajališta sigurnosti uključeni i u bitne sustave s gledišta brodske terotehnologije, samo je ovih drugih mnogo više. K tome totalni kvar nekog sustava bitnoga za sigurnost, iako ugrožava sigurnost, ne mora nužno omesti iskorišćavanje broda (izazvati zastoj). Tako, iznevjeri li u plovidbi sustav za komunikaciju (radio-stanica) ili sustav za motrenje (radari), to neće izazvati zastoj broda iz jednostavnog razloga što se zaustavljanjem broda ništa ne

postizhe. Jednako se to odnosi i na prije spomenuti rashladni uređaj za brodske namirnice, koji je uzet kao primjer terotehnološkog pristupa. S druge strane, i sustav za komunikaciju i sustav za motrenje nisu u luci u funkciji, pa njihov eventualni kvar za vrijeme lučkih operacija ne pogađa ni sa stajališta sigurnosti ni gledišta iskorišćavanja broda. Ako se, međutim, neki od tih sustava pokvari u trenutku isptovljenja broda, morat će se odgoditi polazak radi popravaka, što će neminovno izazvati zastoje broda i prouzrokovati indirektno troškove održavanja, koji će zasigurno biti višestruko veći od direktnih.

Radi lakše orijentacije u procjeni ovakvih situacija, općenito je korisno brod raščlaniti u nekoliko osnovnih sustava. Kao putokaz poslužit će ova raščlamba:



Slika 22.

- Sustav trupa (S₁) zapravo je plovni statički nosač svih brodskih uređaja, lako statički, on ipak ima obilježja mehaničkog sustava. Jer se pod nametnutim porivom giba i "pruža" otpor tom gibanju koji se tijekom vremena povećava sve do zastoja. Osim toga podložen je dotrajalosti i, konačno, i njegovo održavanje treba prilagoditi njegovim karakteristikama i uvjetima iskorišćavanja. Sastavni mu dio čine uređaji kaljuže i balasta, te uređaj za vez i sidrenje.

- Sustav energetike i rasklopa (S_2) čine uređaji za proizvodnju i razvod energije, koja nije prije svega namijenjena porivu.
- Sustav poriva (S_3) sastoji se od porivnog stroja sa svim uređajima koji ga opslužuju, uključivši uređaje goriva, maziva i hlađenje.
- Sustav životnih uvjeta (S_4) čine svi oni uređaji koji omogućuju život i preživljavanje na brodu, kao što su uređaji za čuvanje i pripremanje namirnica, sanitarni uređaji i oni za klimatizaciju, protupožarni te uređaji za spašavanje i dr.
- Sustav upravljanja (S_5) sastoji se od uređaja za kormilarenje i komandu, te uređaja za orijentaciju, motrenje i komunikaciju (vanjsku i unutarnju).
- sustav tereta (S_6) čine svi uređaji koji služe za čuvanje i manipulaciju tereta, kao što je teretni uređaj, poklopci grotala, uređaj za rashlađivanje tereta, uređaj za odvlaživanje i provjetravanje skladišta i dr.

Provedena raščlamba podređena je iskorišćavanju broda kao osnovnom imperativu brodske terotehnologije. Ona je, dakle, uvjetna. Moguće su, znači, i drukčije raščlambe, već prema tome koja se svrha želi njima postići. Ni u ovoj, kao ni u bilo kojoj drugoj, raspoređivanje uređaja u pojedine sustave nije nikakav zakon koji se ne smije prekršiti. Ono ovisi o gledanju na pojedini uređaj i sustav te o praktičnosti u primjeni.

Već je rečeno da je izbor spomenutih osnovnih sustava u prikazanoj raščlambi usmjeren na iskorišćavanje broda. Može se, naime, reći da ovi sustavi čine osnovne komponente broda kao jedinstvenog sustava. Ako je njihova konfiguracija serijska, prekid rada na jednoj uzrokuje prekid rada cjelokupnog sustava, dakle zastoj broda. Ako ih, međutim, promatramo kao nezavisne sustave, zastoj bi nastupio tek onda kad svi oni zakažu.

Brod, promatran kao jedinstvena cjelina, specifični je sustav, različit od svih ostalih sustava, i on onih stabilnih i od onih pokretnih. On svakako pripada pokretnima, kao i ostali transportni sustavi, no od njih se ipak izdvaja svojim posebnim i jedinstvenim uvjetima iskorišćavanja. O tome je već prije bilo riječi. Zbog toga, konfiguracija njegovih

osnovnih komponenata koje smo raščlanili jednom biva serijska, a jednom nezavisna. K tome, i pojedine komponente između sebe, i to ne uvijek iste, ponašaju se, u određenim okolnostima, ponekad kao serijske, a nekad kao nezavisne.

Takva svojstva pojedinih brodskih uređaja imaju dominantan utjecaj na iskorišćavanje broda i na organizaciju održavanja. Zahvat održavanja na pojedinom uređaju valja planirati za onaj trenutak kad on ne čini serijsku komponentu jedinstvenoga brodskog sustava, tj. kad prekid rada tog uređaja ne utječe na iskorišćavanje broda. Zato organizacija održavanja mora rasporediti zahvate održavanja na uređajima prema vremensko-situacijskoj križaljci, vodeći računa uz vrijeme zahvata i o situaciji iskorišćavanja broda, npr: "u plovidbi", "u luci", "na sidrištu" itd. Suradnja svih kopnenih službi, a posebno svih službi na brodu, tu je od presudnog značenja.

3.2. RASPOLOŽIVOST BRODSKIH SUSTAVA I UPORABLJIVOST BRODA

Pri održavanju bilo kojega tehničkog sustava uz planirane zahvate održavanja pojavljuju se i oni neplanirani, kao posljedica nekog kvara. Koliko god bili uvjerni u djelotvornost vlastite primjenjene metode održavanja, bilo bi nerealno isključiti mogućnost pojave kvara. Stvarnost, naime, to stalno potvrđuje. Za slučajne kvarove to proizlazi iz njihove naravi, no nisu isključeni ni kvarovi zbog dotrajalosti. Ako se želi zaista potpuno osigurati od negativnih posljedica takve stvarnosti, a to su zastoji sustava (koji mogu uzrokovati povećane troškove, ali ponegdje i katastrofe), onda je jedini način da to ostvarimo povećanje zalihosti u sustavima (od trostrukoga naviše).

Kod svakog će se, dakle, sustava potrošiti neko vrijeme za planirane zahvate održavanja, koje ćemo vrijeme označiti s " T_p ", i neko vrijeme za zahvate na otklanjanju kvarova, što ćemo označiti s " T_k ". Ako se zbroje ta dva vremena, dobit će se cjelokupno vrijeme trajanja zahvata održavanja (označimo ga s " T_m ") koje je potrebno utrošiti za svakih " t " sati rada sustava:

$$T_m = T_p + T_k \quad (29)$$

Kad sate odgovarajućeg perioda rada sustava podijelimo tim istim satima više sati iz prethodnog izraza, dobivamo tzv. faktor iskorištenja sustava:

$$K = \frac{t}{T_p + T_k + t} \quad (30)$$

Faktor koji određuje maksimalno moguće iskorištenje sustava je, dakle, cjelokupno vrijeme trajanja zahvata održavanja, odnosno vrijeme trajanja zastoja " T_m " za " t " sati rada sustava. Zbog toga će najveći mogući faktor iskorištenja sustava biti:

$$K_m = \frac{t}{T_m + t} \quad (31)$$

za onaj sustav koji zahtijeva u prosjeku " T_m " (tekućih) sati održavanja

za "t" sati rada. Jednadžbom (31) određen je najveći mogući faktor iskorištenja sustava $K_m = t/(T_m + t)$. Ona izražava također i raspoloživost sustava, jer daje postotak vremena u kojem će sustav biti raspoloživ za rad. Vidjeli smo da je potrebno, kako bi sustav mogao biti u pogonu "t" sati od ukupnog fonda vremena " T_m+t " sati, potrošiti " T_m " sati na njegovo planirano i korektivno održavanje. Ako za pogonsko vrijeme sustava odaberemo njegovo prosječno vrijeme između kvarova "m" (koje može biti samo dio ili umnožak vremena "t" u izrazu za " K_m "), može se izvesti prosječno vrijeme održavanja " T'_m ", koje je potrebno utrošiti za svakih "m" sati rada sustava. Budući da je uobičajeno kod ocjene faktora iskorištenja brodskih sustava za " $T_m + t$ " uzeti godinu dana, tj. 8760 sati, tako da " T_m " izražava utrošene tekuće sate na održavanju sustava tijekom jedne godine, prosječno vrijeme održavanja " T'_m " za "m" sati rada sustava iznositi će:

$$T'_m = T_m \frac{m}{t} = \frac{mT_m}{8760 - T_m} \quad (32)$$

Ako tad zamijenimo "t" i " T_m " u izrazu za faktor iskorištenja s "m" i " T'_m ", dobivamo vrijednost koja je brojčano jednaka " K_m " i koja se definira kao intervalska raspoloživost sustava "A" (interval availability):

$$A = \frac{m}{m + T'_m} \quad (33)$$

Taj izraz daje jednak postotak prosječnog vremena tijekom kojega će sustav biti raspoloživ za rad kao i izraz " K_m ", koji smo definirali kao najveći mogući faktor iskorištenja sustava

Označimo li s "B" vjerojatnost koliko sustav neće biti raspoloživ, može se pisati:

$$A + B = 1$$

Iz toga i iz jednadžbe (33) se dobiva izraz:

$$B = \frac{T'_m}{m + T'_m} \quad (34)$$

koji se naziva "intervalskom neraspoloživostu sustava" (interval unavailability).

Oba izraza mogu se prikazati jednostavnije, i za uporabu mnogo prikladnije. Tako se godišnja raspoloživost sustava izražava kao:

$$A = 1 - \frac{T_m}{8760} \quad (35)$$

a godišnja neraspoloživost sustava sa:

$$B = \frac{T_m}{8760} \quad (36)$$

gdje " T_m " znači, kako je to već definirano, godišnje utrošene tekuće sate na održavanju sustava.

Ake se brod promatra kao jedinstven sustav, onda pitanje njegove raspoloživosti zahtijeva posebno razmatranje. Postoji prirodna sklonost, po refleksu, da se raspoloživost njegova porivnog sustava uzme kao mjerilo raspoloživosti cijelog broda. No, trgovački je brod takav sustav koji se kontinuirano iskorištava u vrlo specifičnim uvjetima. Tu valja razlikovati dvije potpuno odvojene i neovisne faze: prijevoz tereta i manipulacija tereta. To su zapravo tehnološki dva odvojena sustava, za koje je očito da u radu uglavnom jedan drugoga isključuju. Ipak, oni imaju nekako zajedničku sudbinu, povezani, kako jesu, jednim trupom, jednom posadom i jednim ugovorom o prijevozu. Zbog toga zakazivanje jednog od ta dva sustava može, ali ne mora, izazvati zastoje njih obaju, odnosno broda u cijelosti.

Idući primjer pokazat će na vrlo jednostavan način o čemu je riječ. Neka se za vrijeme lučkih operacija ukrcaja i/ili iskrcaja tereta vrši zahvat održavanja na porivnom stroju. Takav zahvat neće nimalo utjecati na iskorišćavanje broda. Jednaka stvar će biti i ako se obavljaju zahvati održavanja na sustavima koji nisu u ovim okolnostima izravno povezani ni sa sustavom poriva, ni sa sustavom tereta, kao što je to sustav za upravljanje, o kojemu je bilo spomena u prethodnom poglavlju. No, ako vrijeme zahvata održavanja na porivnom sustavu prekorači vrijeme

potrebno za ukrcaj i /ili iskrcaj tereta, to će neminovno uzrokovati zastoje broda i okrnjiti njegovu raspoloživost. Slično je i sa svim ostalim brodskim sustavima, osim (gledajući praktički, ali ne i teorijski) sa sustavom energetike (zato je redovno taj sustav utrostručen).

Izlazi, dakle, da raspoloživost ni jednoga brodskog sustava ne može biti mjerilo raspoloživosti broda kao jedinstvenog sustava. Potrebno je, zbog toga, za brod kao jedinstven sustav uvesti novi pojam; nazovimo ga uporabljivost (operativity)^(x). Ona se izražava slično kao i raspoloživost:

$$U = 1 - \frac{T_z}{8760} \quad (37)$$

gdje je "T_z" ukupno vrijeme (u satima) zastoja broda tijekom godine dana iskorišćavanja.

Uporabljivost će svakako ovisiti o raspoloživosti pojedinih brodskih sustava, ali i o načinu iskorišćavanja broda, o njegovim stajanjima u lukama i na sidrištima, o ugovorenom načinu manipulacije tereta (da li brodskim teretnim uređajima ili lučkim dizalicama itd.), o duljini putovanja i dr. Moglo bi se, dakle, reći da je raspoloživost onoliko egzaktna koliko su egzaktni i prikupljeni podaci o pouzdanosti i sposobnosti održavanja brodskih uređaja, a uporabljivost ovisi o raspoloživosti tih uređaja i o načinu iskorišćavanja broda.

(x)

Novoizvedeni termin u (stranoj) literaturi, dosad neupotrebljavan.

3.3. SPOSOBNOST ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

Uz pojam raspoloživosti (A) često je povezan i pojam "spособnosti održavanja" (maintainability). Taj pojam označit ćemo simbolom "S".

Ima više definicija ovog pojma, koje sve znače uglavnom isto, no to izražavaju na različit, a poneke i teže razumljiv način. Prihvatit ćemo, zbog toga, definiciju koja se čini najprikladnijom i najlakše razumljivom:

Sposobnost održavanja je vjerojatnost da će neki sustav na kojemu se obavlja zahvat održavanja biti za određeno vrijeme ponovno doveden u radno stanje.

Jednako kao pouzdanost tako je i sposobnost održavanja vjerojatnost osnovana na statistici. Razlika je, međutim, u tome što sposobnost održavanja izražava vjerojatnost povratka nekog sustava u puno radno stanje unutar određenog vremena otkad on zakaže ili se na njemu poduzme planirani zahvat održavanja, a pouzdanost izražava vjerojatnost da taj sustav neće u radu zakazati tijekom određenog vremena.

Evidentirajući svaki zastoј u radu sustava, ili njegove komponente, bez obzira na to je li on posljedica planiranog zahvata održavanja ili ga je uzrokovao kvar, mogu se lako izračunati dva za sposobnost održavanja važna pokazatelja: indeks zahvata " μ " (m_i) i prosječno vrijeme zahvata " Φ " (f_i - mean time of maintenance action).

Indeks zahvata " μ " je ukupni broj zahvata održavanja podijeljen ukupnim trajanjem zahvata u satima:

$$\mu = \frac{\text{ukupan broj zahvata održavanja}}{\text{ukupno trajanje zahvata održavanja}} \\ \text{(u tekućim satima)}$$

i iskazuje se u broju zahvata na sat.

Prosječno vrijeme zahvata " Φ " recipročna je vrijednost indeksa zahvata, odnosno ukupno vrijeme trajanja zahvata u satima podijeljeno ukupnim brojem zahvata: Može se, dakle, pisati:

$$\Phi = \frac{1}{\mu} \quad (38)$$

Taj pokazatelj iskazuje se u broju tekućih sati po jednom zahvatu.

Za razliku od pouzdanosti, koja je veća što je manji indeks kvarova " λ ", odnosno što je prosječno vrijeme između kvarova " m " veće, sposobnost je održavanja veća kad je indeks zahvata " μ " veći, a prosječno je vrijeme zahvata " Φ " manje.

Na sposobnost održavanja utječu mnogi činioci. Oni se svrstavaju u dvije skupine: u one koji proizlaze iz svojstva projekta i u one koji su povezani s opsluživanjem.

Faktore koji proizlaze iz svojstava projekta čine: pristupačnost, preglednost, odnosno vidljivost, te zamjenjivost i međuzamjenjivost komponenata .

Faktori povezani s opsluživanjem su: sposobnost , odnosno stručnost brodskog osoblja, zatim vještina i uvježbanost te, konačno, priviknutost osoblja na pojedine tipove sustava i njihovih uređaja.

Sposobnost održavanja ovisi još i o primijenjenim metodama održavanja, koje su različite. Za male uređaje (male pumpe, male elektromotore) mogle bi se npr. pokazati svrsishodnijim, u smislu vremena i troškova zahvata, zamijeniti cijeli uređaj umjesto ga popravljati. Pri tome je obnova (zamjena) umjesto popravka princip primijenjene metode održavanja. Takav princip polazi od pravodobne opskrbe novom jedinicom, što opet, sa svoje strane, zahtijeva, da bi cijeli postupak bio probitačan kako je zamišljen, dovoljno točno prognoziranje učestalosti kvarova.

No, vratimo se na prvu skupinu činilaca, onih koji proistječu iz svojstava projekta. Dobra pristupačnost pretpostavlja izravan pristup komponenti bez potrebe da se rasklapaju i uklanjaju one komponente koje su joj susjedne. Svi smo se, vjerojatno, imali prilike susresti s problemom zamjene svjećice na automobilskom motoru, koja je duboko, ukoso uvučena u poklopac cilindra, a manjka i prikladan alat. A za upravljačem takvih automobila, u najvećem broju, sjede vozači - neprofesionalci, i svjećica zna zakazati usredvožnje, možda i u nekoj pustari. To je primjer pogrešnoga terotehnološkog pristupa u projektiranju, koji upućuje na to da projektant nije vodio računa o sposobnosti održavanja uređaja.

Kod brodskih sustava dobra pristupačnost je upravo nužnost ako se želi smanjiti vrijeme potrebno za održavanje i povećati raspoloživost. Prilikom projektiranja sustava valja, dakle, imati pred očima cjelokupni slijed operacija koje zamjena neke komponente zahtijeva.

Pri tome ne valja svu pažnju usredotočiti samo na bitne i glomazne dijelove uređaja. Jer, vrlo često, zbog nezgodno postavljenog vijka jedna matica zna zadati više brige negoli i najteži dio.

Sama koncepcija uređaja ili sustava mora omogućiti dobru preglednost i vidljivost. Mnogo je puta pristupačnost komponente sasvim odgovarajuća, ali njezina je identifikacija moguća samo napipavanjem, a zahvat na njoj se mora obavljati "naslijepo", tj. bez pristupa pogledom. Takva situacija otežava održavanje i produljuje potrebno vrijeme zahvata.

Za održavanje svakog sustava s predviđenim radnim vijekom većim od korisnog vijeka trajanja komponenata zamjenjivost komponenata je "coditio sine qua non". To načelo u trenutku isporuke poštuju i projektanti i proizvođači. Problemi nastaju tek poslije, kad se na tržište izbacuje novi tip istog uređaja. Tad se počesto zanemari izrada doknadnih dijelova za stariji tip, iako on nije još ni izdaleka dostigao svoju tehnološku zastarjelost. Pri izboru uređaja treba, dakle, voditi računa o toj činjenici, i odlučiti se za onaj kojega proizvođač garantira raspoloživost doknadnih dijelova za željeni vremenski period.

Meduizmjernost komponenata zna uvelike ubrzati zahvat održavanja i time povećati sposobnost održavanja sustava. To praktički znači da, ako u sustavu ima više komponenata koje obavljaju istu funkciju, njihova izvedba mora biti identična, kako bi se svaka mogla ugraditi na svako mjesto. Na taj način se pojednostavnjuje evidencija uskladištenja doknadnih dijelova i smanjuje njihov potrebiti broj, dok se zamjena komponente izvodi uvijek istim operacijama, što poboljšava uvježbanost osoblja i ubrzava postupak.

Međuzamjenjivost komponenata ovisi zapravo o stupnju standardizacije u brodogradnji (koja nije na nekoj osobitoj razini) i o tome koliko je projektant familijaran s načelima terotehnologije.

Što se tiče broorskog osoblja, kao što o njegovoj umješnosti ovisi pouzdanost (uz zahvate) jednako vrijedi i za sposobnost održavanja. A ta se umješnost sastoji, ponovimo, od sposobnosti, odnosno stručnosti, od vještine i uvježbanosti te od priviknutosti na sustave. Sve su te osobine podjednako važne. Na primjer, sposobno i školovano osoblje, no nedovoljno vješto u provedbi zahvata i nedovoljno međusobno uvježbano, produžit će zasigurno potrebno vrijeme zahvata. K tome, ako je još na sustav nepriviknuto, može,

zbog nespretnosti pri montaži stare ili pri ugradnji nove komponente, povećati izgleda za kvar i time smanjiti razinu pouzdanosti koja je sustavu bila svojstvena.

Ako prihvatimo kao razumljiv i nuždan uvjet sposobnost i stručnost brodskog osoblja, te općenitu vještinu u provedbi zahvata, ostaje problem međusobne neuvježbanosti, zbog čestih izmjena posada i namjernog razbijanja "timova" radi uprosječivanja uvjeta tijekom radnog vijeka, te problem nepriviknutosti zbog najčešće velike raznolikosti tipova uređaja u jednoj te istoj floti.

Ta dva problema ostaju permanentnima i jedino se mogu ublažiti priručnicima (manuals) posebno pripremljenima za sustave svakoga pojedinog broda.

Većina je činilaca koji utječu na sposobnost održavanja nedovoljno opipljiva, pa ih je teško objektivizirati i kvantificirati. Jedini je zasad mogući put prikupljanje podataka tijekom iskorišćavanja i njihova obrada. Najbolje je to pokazati na primjeru jednoga izmišljenog sustava.

Tablica 2.

(1) Učestalost zbivanja (zahvati na raznim komponentama sustava)	(2) Trajanje svakog zahvata održavanja u satima	(3) Umnožak (2) x (1)
2	1	2
4	2	8
7	3	21
13	4	52
16	5	80
16	6	96
24	7	168
10	8	80
6	9	54
4	10	40
3	11	33
1	12	12
$\Sigma(1) = 106$	$\Sigma(2) = 78$	$\Sigma(3) = 646$

Prosječno vrijeme zahvata iznosi:

$$\Phi = \frac{\Sigma(3)}{\Sigma(1)} = \frac{646}{106} = 6,09 \text{ sati}$$

a indeks zahvata bit će:

$$\mu = \frac{1}{\Phi} = \frac{1}{6,09} = 0,162 \text{ zahvata na sat}$$

Ponekad je vrijeme trajanja zahvata održavanja unaprijed zadano, tj. ograničeno (zrakoplovstvo, ratna mornarica i dr.). To je onda zadani uvjet koji moraju poštovati proizvođači uređaja i oni koji će uređaj održavati. Takvo ograničeno vrijeme zahvata označava se s " τ ".

(Općenito svako se ograničeno vrijeme označava s " τ " - vidi jednadžbu (28) - za razliku od neograničenoga, koje se označava s "t" ili "T".)

Drugim riječima " τ " je maksimalno dopušteno vrijeme za koje se mora obaviti zahvat održavanja ili maksimalno dopušteno vrijeme popravka. Naziva se vremensko ograničenje zahvata (maintenance time constraint),.

Sposobnost održavanja označava se sa "S", a njezin izraz (koji nema ovdje smisla izvoditi jer za praktičnu upotrebu u trgovačkoj mornarici nije zanimljiv) glasi:

$$S = (1 - e^{-\mu\tau}) \quad (39)$$

Tu je " μ " indeks zahvata, a " τ " vremensko ograničenje zahvata. Ako " μ " zamijenimo s " $1/\Phi$ ", onda će biti:

$$S = (1 - e^{-\tau/\Phi}) \quad (40)$$

Drugi član desne strane jednadžbe izražava zapravo vjerojatnost neuspjeha, tj. da zahvat održavanja neće biti izveden unutar maksimalno dopuštenog vremena " τ "; zbog toga izraz $(1 - e^{-\mu\tau})$ znači vjerojatnost da će zahvat biti završen za to vrijeme.

Ako neki sustav ima indeks kvarova " λ ", onda će očekivani broj kvarova u vremenu "t" iznositi: " λt ". Kod zadanoga vremenskog ograničenja zahvata " τ ", broj kvarova za koje je opravdano očekivati da će za isto to vrijeme biti otklonjeni iznosio bi:

$$S_f = \lambda t (1 - e^{-\mu\tau}) \quad (41)$$

Što se više bude moglo otkloniti kvarova, odnosno što se više bude moglo obaviti zahvata održavanja u promatranom vremenu "t", to će veća biti sposobnost održavanja sustava. Također, sa smanjivanjem prosječnog vremena zahvata " Φ " raste sposobnost održavanja.

Da bi se ilustrirao tok funkcije sposobnosti održavanja, poslužimo se parametrom koji smo izračunali na primjeru izmišljenog sustava - indeksom zahvata " μ " = 0,162, a vrijeme zahvata " τ " neka je ograničeno na jedan, dva i deset sati. Utvrdimo sposobnost održavanja toga izmišljenog sustava za svaki od ta tri uvjeta:

$$S_{(1h)} = 1 - e^{-0,162} = 0,15, \text{ ili } 15\%$$

$$S_{(2h)} = 1 - e^{-2(0,162)} = 0,28, \text{ ili } 28\%$$

$$S_{(10h)} = 1 - e^{-10(0,162)} = 0,80, \text{ ili } 80\%$$

Iz toga se zaključuje da za vrijednost " μ " sposobnost održavanja raste eksponencijalno s povećanjem maksimalno dopuštenog vremena zahvata " τ ". To je sasvim logičan zaključak jer što je veće raspoloživo vrijeme za provedbu zahvata, to je veća vjerojatnost da će on biti uspješno završen. Dakle, uz dovoljno vremena svaki će se sustav ponovno dovesti u operativno stanje. Uz uvjet neograničenog vremena za popravke, odnosno za zahvate održavanja, ne bi trebalo ni raspravljati o sposobnosti održavanja sustava.

Ovako izveden izraz za sposobnost održavanja nije zanimljiv za trgovačku mornaricu. Ipak, on će vrlo korisno poslužiti za neke kvantifikacije, koje na drugi način nije moguće dobiti; to će se vidjeti u idućem poglavlju.

3.4. TEROTEHNOLOGIJA I AUTOMATIZACIJA

Svrha je terotehnologije, kako je to već definirano u poglavlju 1.4, optimalizacija održavanja. Prevedeno na jezik ekonomskog inženjerstva, to znači minimalizaciju direktnih i indirektnih troškova održavanja, odnosno ukupnih troškova održavanja. I na direktne i na indirektne troškove održavanja bitno utječe pojava kvarova. Što je njihova učestalost manja i ti će troškovi biti manji. Također, automati griješe manje nego čovjek. Slijedeći, dakle, tu logiku moramo zaključiti da će se, zamjenjujući ljude automatima, smanjiti broj kvarova tijekom promatranog vremena iskorišćavanja sustava, čime će se smanjiti i njegovi troškovi održavanja. Kad su u pitanju sustavi bez zalihosti, to će se osobito odnositi na indirektne troškove (troškove zastoja).

Nema sumnje da automatizacija pridonosi boljem postizanju ciljeva terotehnologije i povećava njezin domet. Kvantificirati, međutim, ovaj doprinos vrlo je teško. Nema, naime, publiciranih usporedbenih pokazatelja na osnovi kojih bi se ovakav račun dao provesti. K tome, puno je različitih činilaca u igri (uvjeti iskorišćavanja, uvjeti opsluživanja itd.) koji variraju od sustava do sustava, da bi se dobiveni rezultati mogli prihvatiti za općevažće, čak i kod istovrsnih sustava. No, neka prethodna razmatranja pomoći će nam da posredno dođemo do valjanih i konkretnih zaključaka. Posebno to vrijedi za brodske sustave, dakle brodsku terotehnologiju, koja i jest predmet našeg zanimanja.

Prisjetimo se primjera iz poglavlja 2.9; riječ je, dakle, o broskom elektroenergetskom sustavu s dva generatora od kojih svaki zadovoljava sve brodske potrebe u plovidbi i manevriranju. Polazeći od tog primjera izveden je izraz za pouzdanost uz zahvate (28) koji glasi:

$$R(\tau) = e^{-\lambda\tau} \quad (28)$$

Pri tome se nije vodilo računa o tome je li taj udvojeni sustav automatiziran ili ne. Sad je, međutim, prilika da se i ta okolnost uzme u obzir.

Ako jedan generator zakaže, drugi preuzima njegovu funkciju i sustav nastavlja rad. Ako je za popravak generatora potrebno vrijeme " τ ", onda izraz (28) postaje jednadžba pouzdanosti (uz zahvate) takva sustava.

No, u tom smo razmatranju zanemarili (namjerno) vrijeme potrebno da se drugi generator pripremi i ubaci u mrežu. A to vrijeme u konvencionalnim sustavima realno postoji. Zato izraz (28) nije za takve sustave egzaktn. Takav će sustav najprije nakratko zatajiti, a zatim će, ubacivanjem drugoga generatora u mrežu, ponovno preuzeti svoju funkciju. Zastoj elektroenergetskog sustava izazvat će (ovisno o konfiguraciji) i zastoj porivnog sustava, što u danim okolnostima zna ugroziti sigurnost broda, a nedvojbeno će rezultirati izvjesnim indirektnim troškovima (zastoj broda). Jednaka će situacija biti i kad je brodski elektroenergetski sustav utrostručen.

Ako je elektroenergetski sustav automatiziran, takvih neprilika neće biti. Zamjena komponente obaviti će se brzo i sustav neće ni za trenutak zatajiti. Tada izraz (28) postaje egzaktn i izražava pravu vrijednost pouzdanosti (uz zahvate) udvojenoga (automatiziranog) sustava.

Ovim razmatranjem pokazali smo posrednim putem utjecaj i doprinos automatizacije pouzdanosti (uz zahvate) brodskim sustavima sa zalihosti, iako nismo imali nekih posebnih usporedbenih pokazatelja. Slično ćemo postupati i dalje.

U prethodnom je poglavlju napomenuto da izraz za sposobnost održavanja (40), onako kako je tamo dan, nije baš zanimljiv za trgovačku mornaricu. U brodarstvu, naime, propisivanje vremenskog ograničenja zahvata " τ " nije primjereno njegovoj trgovačkoj namjeni. No ako taj pokazatelj pokušamo promatrati, ne kao maksimalno dopušteno trajanje zahvata, već kao minimalno potrebno vrijeme zahvata, onda cijeli izraz dobiva novu kvalitetu.

Pristupimo zbog toga utvrđivanju sposobnosti održavanja brodskih sustava na jedan drukčiji način. Znamo da indeks zahvata " μ " i prosječno vrijeme zahvata " Φ " ovise i o osoblju na brodu. Raspoloživost pak osoblja mijenja se od broda do broda i od situacije do situacije. Pokušajmo, dakle, na neki način objektivizirati te parametre koji utječu na sposobnost održavanja. To se postiže, ako prosječno vrijeme zahvata " Φ ", umjesto u tekućim, prikažemo u radnim satima.

Neka za remont (overhauling) svakoga pojedinog generatora udvojenoga elektroenergetskog sustava treba 300 radnih sati (rs); nazovimo taj pokazatelj prosječnim radom planiranog zahvata (mean work of planned maintenance action) i označimo ga s " Φ_p " (fi plansko). On bi iznosio:

$$\Phi_p = 300$$

Vrijeme " τ " umjesto kao vremensko ograničenje zahvata, postavimo kao dnevno ograničenje zahvata i označimo ga s " τ_d ." (tau dnevno). To je sad pokazatelj dnevnih radnih sati raspoloživih za zahvate održavanja.

Pokušajmo izračunati " τ_d " za brod s automatiziranim pogonom, i za brod s konvencionalnim pogonom, tj. sa stražom u strojarnici.

Osoblje strojarnice na brodu s automatiziranim pogonom sastoji se od tri časnika, jednog mehaničara i jednog električara. Osoblju pomaže i jedan član jedinstvene posade (general purpose crew). Svi su oni na raspolaganju za zahvat održavanja puno radno vrijeme.

Osoblje strojarnice na brodu s konvencionalnim pogonom sastoji se od tri časnika, jednog vođe stroja, jednog električara, jednog mehaničara i tri mazača. Vođa stroja, električar i mehaničar raspoloživi su za zahvat održavanja puno radno vrijeme, a časnici i mazači samo u prekovremenom radu po dva sata dnevno, izvan straže.

Prikazano tabelarno to bi izgledalo ovako:

Tablica 3.

Brod s automatiziranim pogonom (bez straže u strojarnici)		Brod s Konvencionalnim pogonom (sa stražom u strojarnici)	
3 časnika	x 8 = 24 rs	3 časnika (prekovr.) x 2 = 6 rs	
1 mehaničar	x 8 = 8	1 vođa stroja	x 8 = 8
1 električar	x 8 = 8	1 mehaničar	x 8 = 8
1 pomoćnik	x 8 = 8	1 električar	x 8 = 8
		3 mazača	x 2 = 6
Ukupno dnevno: 48 rs		36 rs	
$\tau_{da}=48$		$\tau_{dk}= 36$	

Sposobnost održavanja izvedena na osnovi ovakvih pokazatelja glasila bi:

$$S = 1 - e^{-\tau_d/\Phi_p} \quad (42)$$

a iznosila bi:

- za brod s automatiziranim pogonom:

$$S_a = 1 - e^{-48/300} = 1 - e^{-0,16} = 1 - 0,85 = 0,15$$

$$S_a = 0,15$$

- za brod s konvencionalnim pogonom:

$$S_k = 1 - e^{-36/300} = 1 - e^{-0,12} = 1 - 0,887 = 0,113$$

$$S_k = 0,113$$

Dobivene vrijednosti u svojim apsolutnim iznosima ne pokazuju nešto posebno vrijedno u pogledu sposobnosti održavanja sustava na trgovačkim brodovima. Ima, naime, kako ćemo vidjeti, jedan drugi izraz, sveobuhvatniji, koji pruža mogućnost za ocjenu povoljnosti broda kao jedinstvenog sustava. Ove vrijednosti, međutim, u međusobnom odnosu govore mnogo o utjecaju automatizacije na poboljšavanje sposobnosti održavanja brodskih sustava.

Uspoređujući rezultate dolazimo do zaključka da je sposobnost održavanja na brodu s automatiziranim pogonom veća od one na brodu s konvencionalnim pogonom punih 33 %. Automatizacija, dakle, daje veliki doprinos brodskoj terotehnologiji samim tim što oslobađa brodsko osoblje od dnevne osmosatne straže, omogućujući mu da to vrijeme namijeni kreativnijem i zanimljivijem radu. Osim toga, s više vremena koje osoblje može posvetiti zahvatima održavanja povećava se pouzdanost (uz zahvate) brodskih sustava i njihovu sposobnost održavanja. To opet, s druge strane, smanjuje potreban broj samog osoblja.

Što je primjena automatizacije na brodu sveobuhvatnija, to će i njezin utjecaj na brodsku terotehnologiju biti sve povoljniji.

Na kraju nije naodmet istaknuti da se do ovih zaključaka o utjecaju automatizacije na brodsku terotehnologiju došlo matematičkim metodama i na osnovi objektiviziranih parametara.

3.5. JEDNADŽBA MOĆI ODRŽAVANJA I GRANIČNI KRITERIJ UPORABLJIVOSTI

Moguće su dvije optike u gledanju na održavanje broda i njegovih sustava. Ako se pođe od ekstremnih točaka, one bi glasile:

- a) održavanje broda oslanjajući se na kopnene radionice uz minimalnu posadu;
- b) održavanje broda vlastitim snagama uz maksimalnu posadu.

Započnimo našu analizu razmatranjem prve od njih. U prošlosti su se veći zahvati održavanja često koncentrirali uz godišnji pregled broda na suhomu, koji je, zbog neizbježnog zastoja što ga je uvjetovalo dokovanje, pružao zaista pogodnu priliku da se rješavaju problemi održavanja uslugama kopnene radionice. Danas se, međutim, pregled broda na suhomu ne označava više godišnjim, već periodičnim, a interval između tih pregleda produžio se na dvije i pol godine. Stalnim poboljšavanjem podvodnih i općenito vanjskih zaštitnih prevlaka, te usavršavanjem tehnike podvodnih pregleda, uz ostala poboljšanja brodograđevne tehnike i brodske tehnologije, svi su izgledi da će se taj interval još povećati. Biva zbog toga očito da uz periodične preglede broda na suhomu nije više moguće grupirati zahvate održavanja, jer su intervali s terotehnološkog stajališta postali preveliki. Intervencije kopnenih radionica na zahvatima održavanja moraju se, dakle, zbivati u periodu iskorišćavanja broda, tj. za vrijeme dok on obavlja lučke operacije.

S druge pak strane, transportna tehnologija prati svoju logiku, po kojoj je brod samo dio složenoga transportnog sustava, koji osim njega uključuje luke, lučku opremu, sredstva dopreme i otpreme, te specifičnu amblažu (kontejneri, palete itd.). Isključivi je zadatak broda da teret preveze plovnim putem, a ne da ga skladišti. Drugim riječima, on se nastoji osloboditi svojih vlastitih skladišta. Krajnji je primjer takve koncepcije brod za prijevoz teglenica (LASH, BACAT i dr.). No, ako i nije moguće, iz raznih razloga, kojima ovdje nije mjesto za razglabanje, postići taj krajnji cilj, novim transportnim tehnologijama nastoji se skratiti boravak broda u luci. On tako postaje sve kraći, a luke niču posvuda, često bez konvencionalne infrastrukture. Za zahvate održavanja u lukama sve je manje vremena i sve su češće trgovački zanimljive luke u kojima nije moguće pronaći odgovarajuću kopnenu radionicu.

Iz svega dosad iznesenoga izlazi da oslanjanje na kopnene radionice za zahvate održavanja na brodu nosi u sebi veliki rizik učestalih zastoja. A statistike pokazuju da je prosječna veličina broda u porastu. S tim u vezi povećava se nabavna vrijednost broda i troškovi njegova iskorišćavanja. Posebno kod velikih brodova to rezultira velikim svotama amortizacije i vrlo visokim iznosima premije osiguranja. To su sve kategorije troškova koje se, kako je to pokazano u poglavlju 1.2, nimalo ne smanjuju ni kad je brod izvan eksploatacije.

Kad se raspravlja o održavanju brodskih sustava služeći se kopnenim radionicama, valja svakako uzeti u obzir još jedan krupan aspekt tog problema. Brod je za kopnenu radionicu objekt rada, dok je za brodara, a time i za brodsko osoblje, sredstvo rada. Kopnenoj je radionici u interesu da posao obavi na za nju najprobitačniji način, i ne brine je mnogo eventualni zastoj broda (kopnene radionice uglavnom ne rade subotom i nedjeljom). Za brodara je, suprotno tome, od presudne važnosti da se zahvat završi unutar vremena trajanja lučkih operacija, kako ne bi bilo zastoja broda. Ta je razlika u pristupu neizbježna jer proistječe iz različitosti ekonomskih zakonitosti koje vladaju svakom od ove dvije grane, i zato ne može biti nikad potupno prevladana.

Na kraju se valja prisjetiti razmatranja iz poglavlja 2.7, gdje je utvrđeno da je pouzdanost brodskih sustava pouzdanost uz zahvate. Smanjenje, dakle, broja brodskog osoblja ispod onoga potrebnog za odgovarajuće zahvate održavanja, snizilo bi i razinu pouzdanosti ispod one prihvatljive te zasigurno okrnjilo uporabljivost.

Što se tiče optike (b), njome se pretpostavlja toliko brojna posada da može obaviti sve zahvate održavanja, osim onih koji se odnose na brodski podvodni dio. U to svakako ide i antikorozijska zaštita trupa. Zbog atmosferskih uvjeta i drugih okolnosti (intenzivno iskorišćavanje broda u luci), dio te posade biva često nedovoljno uposlen. K tome, suvremene zaštitne prevlake zahtijevaju takvu pripremu površine kakvu je na brodu vrlo teško postići.

Osobni dohoci i ostali troškovi posade visoka su stavka u troškovima. Što je posada brojnija, i ta je stavka veća. Ako brodsko osoblje nije korisno zaposleno, u prosjeku barem osam sati dnevno, onda takva politika rezultira niskom produktivnosti i smanjenom konkurentnošću na tržištu. Uz (preko)brojnu posadu i okolnosti koje su pobrojene, vrlo je teško ostvariti punu i korisnu dnevnu zaposlenost svakog člana posade.

A nije humanizacija života i rada na brodu držati pomorca ukrcanoga i besposlenog dok mu ne istekne predviđeni period ukrcanja. Njega valja korisno i kreativno zaposliti puno radno vrijeme i uz iste godišnje prihode skratiti mu boravak na brodu i povećati onaj na kopnu.

Iz provedenih analiza opravdano je zaključiti da ni jedna ni druga politika ne vode k terotehnološkom optimumu. Valjalo bi formulirati treću, s terotehnološkog stajališta jedino prihvatljivu:

c) održavanje broda vlastitim snagama uz optimaliziranu posadu.

Razmotrimo što ta formulacija zapravo znači. Kao prvo, tu se pretpostavljaju zaštitne prevlake visoke kvalitete, koje se obnavljaju nakon duljeg perioda iskorišćavanja, i to obavlja kopnena radionica za vrijeme dokovanja broda. Posadi je prepušteno samo mjestimično korektivno održavanje (touch up). Kao drugo, pretpostavlja se cjelovita primjena automatizacije na brodu. Dokaz za to iznesen je u prethodnom poglavlju.

Ostaje, dakle, da se uz ispunjene spomenute pretpostavke optimalizira posada. U tu svrhu koristit će se već navedenim primjerima elektroenergetskog sustava, samo ovog puta (radi veće realističnosti) s većom zalihošću. Sustav će se sastojati od tri jedinice od kojih svaka zadovoljava potrebe u plovidbi.

Neka se za takav generator zahtijeva potpuna revizija (overhauling) nakon 4000 sati rada. Nazovimo taj pokazatelj prosječnim intervalom planiranog zahvata (mean planned action interval) i označimo sa s " m_p ".

Ravnomjernim iskorišćavanjem svaki bi od tih generatora trebao godišnje raditi trećinu vremena, tj. $8760 : 3 = 2920$ sati. To znači da će se za svaki generator morati u godini planirati $2920 : 4000 = 0,73$ zahvata (revizijskog) održavanja (overhauling). Nazovimo taj pokazatelj planiranim indeksom zahvata (planned action rate) i označimo ga s " λ_p " (lambda plansko).

Već je prije, u prethodnom poglavlju, broj potrebnih radnih sati za takav zahvat utvrđen kao prosječni rad planiranog zahvata i označen je s " Φ_p " (fi plansko).

Na svaki će se, dakle, generator za planirano održavanje morati utrošiti godišnje:

$$\lambda_p \cdot \Phi_p \quad \text{radnih sati} \quad (43)$$

pa će za sva tri generatora biti:

$$3 \cdot \lambda_p \Phi_p \quad \text{radnih sati}$$

Ako se za svaki uređaj na brodu zna njegov prosječni interval zahvata (" m_p "), njegov prosječan rad planiranog zahvata (" Φ_p "), a prema pretpostavljenom intenzitetu i načinu korištenja broda izračuna njegov planirani indeks zahvata (" λ_p "), onda se može prema izrazu (43), za ukupnost brodskih sustava postaviti izraz

$$\sum \lambda_{pi} \Phi_{pi} \quad (44)$$

pomoću kojeg se dobiva potreban godišnji fond radnih sati za planirano održavanje broda.

Planirano održavanje mora dakako obaviti brodsko osoblje. No, niti cjelokupno brodsko osoblje može sudjelovati u održavanju, niti je cijelo radno vrijeme osoblja koje obavlja održavanje raspoloživo za planirane zahvate. Zbog toga, proračun fonda radnih sati za planirano održavanje valja sustavno izvesti. Najbolje je to prikazati na jednom primjeru.

Uzmimo prosječni teretni brod za suhi teret bez straže u strojarnici, s danas već "klasičnom" posadom od 20 ljudi. Ona se sastoji od:

Tablica 4.

- 1 zapovjednika
- 1 upravitelja stroja
- 3 časnika palube
- 3 časnika stroja
- 1 radiotelegrafista
- 1 električara
- 1 mehaničara
- 1 vode palube
- 6 mornara / kormilara (jedinstvena posada)
- 1 kuhara

1 konobara / sobara

Ukupno: 20 ljudi

Tablica 5.

Za zahvate održavanja sa svojim punim (osmosatnim) radnim vremenom na raspolaganju su:

3 časnika stroja	3 x 8	24 radna	sata	dnevno
1 mehaničar	1 x 8	8	"	" "
1 električar	1 x 8	8	"	" "
1 voda palube	1 x 8	8	"	" "
3 mornara	3 x 8	24	"	" "

Ukupno: 72 radna sata dnevno

Prema tome bi godišnji fond radnih sati za održavanja teorijski iznosio:

$$\underline{365 \times 72 = 26280 \text{ radnih sati}}$$

Održavanja na brodu ne čine samo planirani zahvati već i oni neplanirani. Zato bi bilo pogrešno misliti, kad se od teorijskog fonda odbije sve ono što posebne okolnosti zahtijevaju, da se tim ostatkom može u potpunosti raspolagati za planiranje tehnologijom predviđenih zahvata održavanja. Pođimo postupno.

Teorijski godišnji fond za održavanje valja najprije smanjiti za sva stanja pozornosti, manevriranja i slično, kad se baš nikakvo održavanje ne može provoditi. Ona su u našem primjeru obuhvaćena s 12 % vremena u godini. Budući da se zbog specifičnosti iskorišćavanja broda neki zahvati održavanja, bez da rezultiraju zastojem, izvode u plovidbi, a neki u luci ili na sidrištu, važno je, radi konačnog planiranja, podijeliti preostali fond na onaj u plovidbi i onaj u lukama i na sidrištima. U odabranom primjeru boravak po lukama i sidrištima čini 45 % godišnjeg fonda vremena, a ostatak od 55 % brod provodi u plovidbi.

U daljnjoj raščlambi pretpostavili smo da su svi blagdani i nedjelje u plovidbi radni. To je uvjetna pretpostavka i ovisi o propisima ili o dogovoru. Svi takvi dani po lukama i sidrištima uzeti su kao dani odmora. I to je jednako tako uvjetna pretpostavka. Te smo dane odbili od fonda vremena u lukama i na sidrištima. Od ostatka valja zatim odbiti neko pretpostavljeno ili iskustveno vrijeme za neplanirano održavanje. U našem slučaju za takvo održavanje predviđeno je 20 % preostalog fonda sati, podjednako za vrijeme provedeno po

lukama i sidrištima te za vrijeme u plovidbi. Tako smo došli do "raspoloživog fonda za ukupno planirano održavanje".

Taj fond zajednički je fond za tzv. tekuće održavanje i za zahvate koji se žele planirati. U našem primjeru za tekuće održavanje određeno je 10 % od još preostalog fonda, podjednako za boravak u lukama i na sidrištu te za vrijeme u plovidbi.

Svako planiranje zahvata održavanja na brodu osuđeno je na neuspjeh ako nije dovoljno elastično. Da bi se tome doskočilo, valja predvidjeti i izvjestan broj radnih sati za rezervu nastupi li nepredviđeno opterećenje, koje se zna na brodu pojaviti iz mnogo razloga. U odabranom primjeru oni su uzeti u obzir s 20 % preostalog fonda, podjednako za luke i sidrišta te u plovidbi. Nakon tog odbitka ostali radni sati su raspoloživi fond za planiranje zahvata održavanja. Cijela ova raščlamba prikazana je na slici 23.

Poznavanje raspoloživog fonda radnih sati nije očito samo po sebi dovoljno da bi se organiziralo planirano održavanje na brodu. Ono ja samo preduvjet kako bi se s organizacijom započelo. Idući korak zahtijeva od planera temeljito poznavanje uređaja, njegovih komponenata, načina rasklapanja i ponovnog sklapanja, broja i stručnog profila izvršilaca koji u zahvatu moraju sudjelovati da bi on bio završen u optimalnom vremenu, kako sa stajališta raspoloživosti uređaja i uporabljivostl broda tako i radnog učinka izvršilaca. Drugim riječima, treba pravilno normirati prosječno potrebne radne sate za izvršenje zahvata, ukupne i po pojedinim strukama.

Sad već postaje jasno da raščlamba fonda radnih sati nije završena ondje gdje je na shemi prekinuta. Nju, dakle, treba nastaviti po stručnim profilima osoblja koje je u održavanje uključeno.

Ostaje još da se planirani zahvati rasporede na tzv. optimalna situacije. Optimalnom se smatra ona situacija kad sustav na kojemu će se obaviti zahvat održavanja nije, u konfiguraciji broda kao jedinstvenog sustava, serijska komponenta. Na taj način, iako je raspoloživost sustava na kojem se provodi zahvat jednaka nuli, tj. rad uređaja je u prekidu, uporabljivost broda neće biti okrnjena, odnosno neće biti njegova zastoja. Tako će se npr. zahvati na porivnom stroju obaviti u luci, na teretnim dizalicama i palubnim strojevima u plovidbi, a na svim udvostručenim sustavima u luci ili u plovidbi, već prema tome kakvo je

Teorijski godišnji fond za održavanje: 26280										Rs										
odbitak 12 % za stanje pozornosti, manevriranja 3154 radna sata	stvarni fond: 23126 radnih sati																			
	u	luci i na sidru 45 % 10407 rs					u plovidbi:			55 %										
	8.679 rs																			
	odbitak za 24 blagdana i nedjelje u luci i na sidru 1728 rs		20 % za neplanirano održavanje 1736 rs		raspoloživi fond za ukupno planirano održavanje								20 % za neplanirano održavanje 2544 rs							
					6913 rs				10175 rs											
					10 % za tekuće održavanje 691 rs		20 % lebdećih 1244 rs		4978 rs		7326 rs				raspoloživi fond za planiranje zahvata održavanja W		20 % lebdećih 1832 rs		10 % za tekuće održavanje 1017 rs	

Slika 23.

u pojedinim razdobljima opterećenje raspoloživog fonda radnih sati za održavanje.

Ovako dobiveni raspoloživi fond radnih sati za planirane zahvate održavanja označit ćemo s " W_p ". Ako je on veći od potrebnoga godišnjeg fonda radnih sati za planirano održavanje, koji smo izračunali prema izrazu (44), ili mu je jednak, onda se brod može održavati vlastitim snagama, tj. on ima moć održavanja (maintenance power). Jednadžba za moć održavanja glasila bi, dakle

$$W_p \geq \sum \lambda_{pi} \Phi_{pi} \quad (45)$$

Optimizacija posade postiže se tako da se lijeva strana jednadžbe nastoji izjednačiti s desnom, no nikad od nje ne smije biti manja.

Pristupajući optimizaciji (brojnosti) posade na ovaj način, tj. polazeći od jednadžbe moći održavanja, postaje uočljivo da brojnost posade može (treba) varirati od broda do broda. Nije, naime, svejedno je li za reviziju (overhauling) nekog uređaja potrebno 100 ili 300 radnih sati i treba li tu reviziju obaviti nakon 2000 ili 6000 sati rada uređaja. O tim pokazateljima ovisit će izravno i brojnost posade, a time i rentabilnost investicije. Time se

ujedno otvara mogućnost ocjene povoljnosti broda s obzirom na karakteristike ugrađenih uređaja, što se inače u praksi najčešće zanemaruje. Cijena investicije i potrošak goriva nisu, dakle, jedine veličine koje se dadu valorizirati.

No, vratimo se nakratko optimalizaciji posade. Izneseni pristup može imati i svoje varijacije, a da se valjanost kriterija nimalo ne naruši. Tako je moguće povremeno smanjivati ili povećavati posadu s obzirom na njezin izračunati optimum, prema tome kakva je periodična opterećenost fonda sati planiranog održavanja. Također se može varirati i struktura posade (s električarom ili bez njega, s jednim ili dva mehaničara i sl.), ovisno o karakteru planiranih zahvata. Dobro organizirane brodarske radne organizacije tako u praksi najčešće i postupaju.

Jednadžbom moći održavanja dobio se, dakle, kriterij na osnovi kojeg se optimalizira posada s obzirom na ukupnu (godišnju) količinu rada na održavanju. Svrha je te optimalizacije da se smanje troškovi iskorišćavanja broda u dvjema stavkama: osobnim dohocima i troškovima posade, te u troškovima održavanja. Kod troškova održavanja naglasak je osobito na onim indirektnima - na troškovima zastoja. Drugim riječima, nastojao se zadržati potpuni integritet uporabljivosti broda, koja bi trebala, isključivši dokovanja, iznositi 100 %, odnosno čistu jedinicu.

No, da bi se postigla takva uporabljivost, valja zadovoljiti još jedan kriterij: operativno ograničenje zahvata (operative time constraint), koje se može označiti s " τ_u ".

I ovaj problem najbolje je obrazložiti na primjeru. Za brod u plovidbi kojem se porivni sustav sastoji od samo jednoga porivnog stroja, raspoloživost porivnog sustava izjednačuje se u plovidbi s uporabljivošću. S druge strane, poznato je iz prethodnih razmatranja da zastoja neće biti ako se na takvu porivnom sustavu obavlja neki zahvat održavanja dok brod obavlja lučke operacije. Neka se, dakle, na porivnom stroju izvodi zahvat održavanja tijekom lučkih operacija i neka taj zahvat bude skidanje poklopca cilindra, vađenje i čišćenje stapala, obnova stapnih prstenova te ponovno sklapanje cijelog mehanizma. Neka je za takav zahvat potrebno utrošiti 60 radnih sati; " Φ_p " je, dakle, 60. Ako tad posegnemo za primjerom iz poglavlja 3.4. (brod s automatiziranim pogonom) i primijenimo tamo izračunato dnevno ograničenje zahvata " τ_{da} " = 48 ovaj će se zahvat moći izvršiti za $60 / 48 = 1,25$ dana, dakle za 30 tekućih sati.

Ako lučke operacije traju 30 sati ili više od toga, uporabljivost neće biti okrnjena. Ako je, međutim, trajanje lučkih operacija kraće, recimo da je 24 sata, onda će ovaj zahvat izazvati zastoje od $30 - 24 = 6$ sati, i uporabljivost će biti smanjena.

U ovom slučaju tih 24 sata su operativno ograničenje zahvata (τ_u), odnosno to je vrijeme u kojem zahvat mora biti završen ako se želi ostvariti stopostotna uporabljivost. Može se, dakle, postaviti zahtjev:

$$\tau_u = \frac{\Phi_p}{\tau_{da}} \cdot 24 \quad (46)$$

Operativno ograničenje zahvata zadano je trajanjem lučkih operacija. Pod pojmom trajanja lučkih operacija ovdje se isključivo misli na trajanje iskrcaja i ukrcaja tereta (i eventualno čekanje na teret na vezu uz obalu), dakle na vrijeme potrebno za manipulaciju tereta. Ostale lučke operacije, kao što su privez i odvez (manevriranje) i, u ovom primjeru, eventualno čekanje na sidrištu (nužna raspoloživost porivnog sustava radi sigurnosti) ne mogu biti uzete u obzir.

Lučke operacije, međutim, traju dulje ili kraće. Ako se želi operativno ograničenje zahvata upotrijebiti za dodatni kriterij optimalizacije posade, ono se mora na neki način objektivizirati i fiksirati. Mogu se utvrditi i dvije vrijednosti operativnog ograničenja zahvata, pa svakoj od njih prilagoditi odgovarajuće zahvate održavanja. Tako je najbolje i postupiti. Jedno će operativno ograničenje zahvata biti vrijeme potrebno za ukrcaj (punog) tereta, a drugo vrijeme za iskrcaj (punog) tereta; ta dva vremena obično nisu jednaka. Za određivanje tih vremena valja se poslužiti prosječnom lučkom normom prema lukama između kojih će brod pretežno posloovati. Kad se promijene luke, promijenit će se vjerojatno i vrijednost operativnog ograničenja zahvata, pa tim novim vrijednostima, ako bude potrebno, valja prilagoditi optimum posade, što nije nimalo strano elastičnom pristupu u planiranju.

S druge strane, svi zahvati, čak i na samomu porivnom sustavu, ne zahtijevaju jednak broj sati, tj. za sve te zahvate nije jednak prosječni rad planiranog zahvata (Φ_p). Osim toga, porivni sustav, iako je ponajčešće "osuđen" isključivo na zahvate u lukama, nije jedini uređaj (sustav) koji će u danim okolnostima zahtijevati zahvat održavanja tijekom lučkih operacija. Treba, dakle, "pročešljati" cijeli niz situacija, da bi se pronašao onaj zahvat koji je po vremenskom opsegu najveći, i koji valja "strpati" u okvir operativnog ograničenja zahvata (τ_u).

Utvrdimo potreban broj radnih sati za takav zahvat i označimo ga s " Φ_{pmax} ". Ako se tad " Φ_{pmax} " podijeli s dnevnom ograničenjem zahvata " τ_d " i pomnoži s 24, dobit će se vrijeme zahvata izraženo u tekućim satima. Može se onda postaviti zahtjev za kriterij:

$$T_{\mu} \geq \frac{\Phi_{pmax}}{\tau_d} \cdot 24 \quad (47)$$

odnosno:

$$\frac{\tau_u \tau_d}{24 \Phi_{pmax}} \geq 1 \quad (48)$$

To se naziva graničnim kriterijem uporabljivosti (operativity limit criterion), koji uz jednadžbu moći održavanja mora također biti zadovoljen ako se želi postići "održavanje broda vlastitim snagama uz optimaliziranu posadu". Naravno, pri tome ne treba računati dnevno ograničenje zahvata (τ_d) onako kako je to učinjeno u našem primjeru. Radno vrijeme odgovarajućeg osoblja može biti u ovakvim okolnostima (jer je njih tijekom godišnjeg iskorišćavanja broda dopustivo ipak smatrati povremenima, a po tome i iznimnima) dulje od osam sati, a i struktura i broj osoblja mogu biti drukčiji.

Ima takvih brodova gdje neće biti moguće zadovoljiti ni jednadžbu moći održavanja ni granični kriterij uporabljivosti. To se osobito odnosi na specijalne brodove. No, i njihovo je iskorišćavanje često sasvim posebno. U svakom slučaju, pa i u tomu, važno je postaviti jednadžbu moći održavanja i granični kriterij uporabljivosti, jer se tako dobivaju precizni elementi za planiranje održavanja i za procjenu zastoja, ako ih već mora biti.

3.6. PROVJERAVANJE STANJA I PERFORMANSI

Tehnologija održavanja brodskih sustava sve se više oslanja na provjere i svoj proces regulira prema rezultatima tih provjera. Takve provjere, svakako, moraju biti obavljane bez rasklapanja uređaja, jer bi u suprotnome sama provjera postala zahvat održavanja.

Provjeravaju se stanje (istrošenost) pojedinih komponenata nekog uređaja i njegove performanse. Provjera stanja i provjera performansi dva su odvojena područja i postupka, ali koji se međusobno dopunjuju.

Pozabavimo se prvo provjeravanjem stanja (condition monitoring). To se obavlja najobičnijim dodirima prstiju, osluškivanjem, zatim raznim prijenosnim ili ugrađenim instrumentima, kao što su mehanička sonda, brojilo okretaja, termometar, pirometar, manometar i dr., te, konačno, raznovrsno koncipiranim automatskim ili neautomatskim osjetilima (senzorima), koja su povezana i sa sustavom uzbune. Provjeravanja su povremena ili kontinuirana. Najveću korist za tehnologiju održavanja svakako ima automatsko kontinuirano provjeravanje stanja (komпоненata).

Automatsko (kontinuirano) provjeravanje stanja je postupak kojim se mjeri (utvrđuje) fizikalno stanje pojedinih komponenata uređaja, a time i samog uređaja, bez njegova rasklapanja, kako bi se donijela odluka o korektivnom zahvatu održavanja radi sprečavanja kvara.

Automatsko (kontinuirano) provjeravanje stanja je sredstvo kojim se tehnologija održavanja (brodskih sustava) koristi, ali ono samo po sebi ne znači tehnologiju. To je važno istaknuti da se ne upadne u zabludu. Jer, što provjeravati, kako provjeravati i koje parametre, te kako se njima koristiti, valja da bude određeno tehnologijom održavanja.

Prilikom definiranja sustava automatskoga kontinuiranog provjeravanja stanja najvažnije je točno odrediti komponente uređaja koje treba provjeravati. To moraju biti upravo one koje od svih komponenata uređaja prve pokazuju znakove istrošenosti, odnosno dotrajalosti. One su dakle najslabije točke uređaja i zato diktiraju stanje cjelokupnog uređaja.

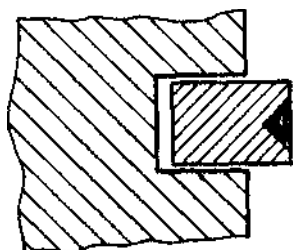
Bilo bi za očekivati da će proizvođač upozoriti na najslabije točke svog uređaja. U praksi, međutim, to ne biva tako. Nešto zbog bojazni od slabe reklame i nelojalne konkurencije, a nešto zato što ih ni sam ne zna (pokus pouzdanosti brodskih uređaja u tvornici redovito se ne obavljaju, već samo provjera kvalitete), proizvođač rijetko daje takve podatke. Ostaje, dakle, da se prikupljanjem podataka o kvarovima i zahvatima tijekom iskorišćavanja broda

takva slaba mjesta otkriju i tako uđu u terotehnološka znanja. No, valja reći da sve veći broj proizvođača nudi razrađen sustav provjeravanja stanja za svoje strojeve, koji, svakako, ne definira najslabije točke, ali vrlo racionalno nadzire stanje istrošenosti pojedinih važnih komponenata.

Sustavi za provjeravanje stanja rade na raznim principima, već prema tome kako se dotrajalost komponente koja se provjerava najprije, odnosno najočitije manifestira.

Spektrometrijska ili ferografska analiza jedna je od koncepcija provjerestanja. Ona se s uspjehom primjenjuje za kontrolu istrošenja kliznih ležajeva kod strojeva konstantno podmazivanih uljem. Mazivo ulje podvrgava se automatskoj provjeri sadržaja metalnih čestica u njemu. Ako njihova količina prekorači izvjesnu granicu, onda je to znak da strošenjem ležajeva nešto nije u redu i da treba poduzeti zahvat održavanja. Za kontrolu stanja kliznih ležajeva porivnog dizel-motora danas se najčešće upotrebljava fotoelektrični princip, tako da se uljne pare sišu cjevčicama iznad svakog ležaja, ili u njegovu predjelu, pa se podaci automatski uspoređuju s prosjekom. Ako je kod jednog ležaja koncentracija uljnih para veća od prosjeka za odgovarajuću veličinu, sustav automatski alarmira i sam zaustavlja motor. Obično je pri tome ležajna kovina već uništena, ali je površina osnaca koljenaste osovine (vratila) redovno spašena.

Stapni prstenovi najčešće se provjeravaju na osnovi elektromagnetskog efekta. Stapni prsten ima po cijelom obodu utisnutu grafitnu prizmu, baza koje je dio klizne površine prstena (vidi sl.24). Kako se prsten troši, smanjuje se i baza prizme, što se registrira elektromagnetski i automatski se preračunava u mjeru istrošenosti prstena.



Slika 24.

Teško je nabrojiti sve principe na kojima funkcioniraju sustavi za provjeru stanja. Uostalom, oni se stalno usavršavaju. No, valja reći da se provjera stanja obavlja i vrlo modernim sredstvima, koja ne moraju nužno biti obuhvaćena u jedan stalni sustav. Tako se prijenosnim ručnim instrumentom mjere vibracije uređaja, što je vrlo pouzdan način provjere stanja svih rotirajućih mehanizama. Takva provjera ne mora biti neprekidna. Dovoljno je da bude povremena, nakon određenog broja sati ili kalendarskih dana, pa se stanje uspoređuje s onim iz prethodne provjere ili sa stanjem drugoga, identičnog uređaja ako je sustav sa zalihosti. Promjena frekvencije i povećanje amplituda upozoravaju na pogoršanje stanja uređaja (mehanizma).

Posebnim prijenosnim instrumentom također se mjeri frekvencija i jačina udarca (Shock Pulse Measurement - SPM). Takva provjera osobito je pogodna za kuglične i valjkaste ležajeve, koji, trošeći se, proizvode sve učestalije i jače udarce. Ni ovakva provjera ne zahtijeva neprekidnost, već je dovoljna samo povremeno uz uspoređivanje rezultata s onim iz prethodnog postupka, jednako kao i kad se mjere vibracije.

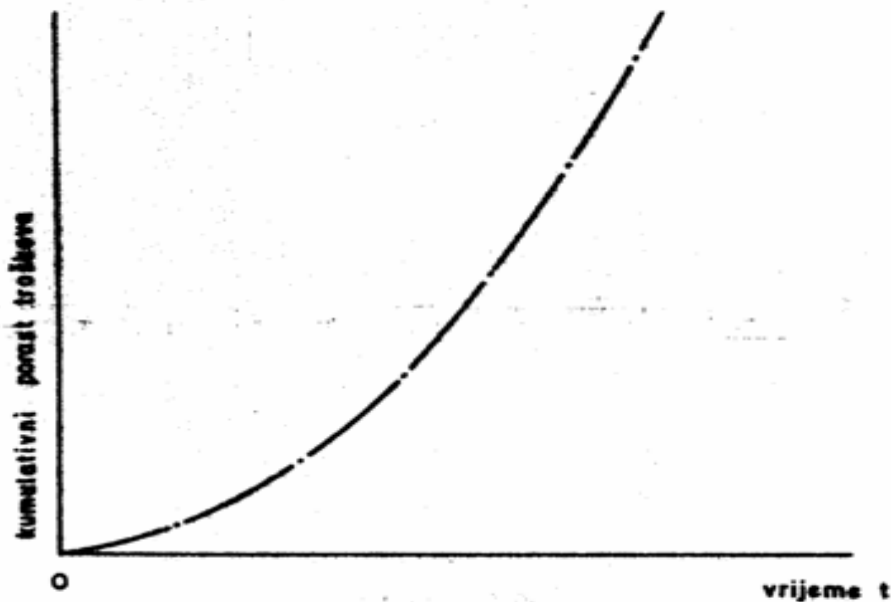
Ako je riječ o prijenosnim instrumentima za provjeravanje stanja komponenata, ne bi trebalo zaboraviti ni one manje sofisticirane, ali jednako tako vrlo korisne. To je strojarski stetoskop, koji, budući da mu je princip poznat iz zdravstva, ne treba posebno opisivati, i instrument koji se naziva "intraskop". To je zapravo optička cijev stanovite duljine kojom se pregledaju duboko smještene komponente kroz posebne relativno male otvore u kućištu, za ovakav pregled i provrtane, a koji su pri radu uređaja zatvoreni. I princip ovog instrumenta poznat je iz zdravstva. Primjenom optičkih vlakana efikasnost intraskopa uvelike se povećava i on postaje vrlo koristan instrument za provjeru komponenata teško pristupačnih bez rasklapanja uređaja. Trebalo bi, međutim, da se ovaj terotehnološki princip usvoji kao pristup već u projektiranju uređaja i mehanizama.

Zahvat održavanja ne mora uvijek biti motiviran dotrajalošću, ili sprečavanjem mehaničkog kvara. On će se vrlo često poduzimati zbog smanjenja djelotvornosti uređaja, dakle poradi onoga trećeg stanja, koje je bilo ispušteno. Za otkrivanje i definiranje takva stanja teorija pouzdanosti u praksi ne može pomoći. Ali tu će dobro doći proračuni iz drugih područja, bilo da ih radimo sami na osnovi svojih zapažanja, bilo da ih prepustimo sustavu za automatsko kontinuirano provjeravanje performansi, o

kojem je bilo riječi u početku ovog poglavlja. Takav sustav automatski otčitava odgovarajuće parametre tijekom rada, obrađuje ih elektroničkim mikroračunalom i prezentira ih kao pokazatelje djelotvornosti promatranog stroja ili uređaja. Ako djelotvornost opada, može dati i informaciju o vjerojatnom uzroku, što ovisi o stupnju njegove sofisticiranosti.

Obilježje je svakoga mehaničkog sustava da mu se djelotvornost postupno smanjuje od prvog trenutka puštanja u pogon. Time se neminovno povećavaju troškovi iskorišćavanja sustava. Tako je to i s brodskim motorima i drugim strojevima. Kad je to porivni stroj, nastupa povećana potrošnja goriva. Ako se tome pridoda obrastanje trupa, rezultat će biti i pad brzine, a sve skupa gubici u prihodu. Sve to zajedno može se s terotehnološkog stajališta nazvati porastom troškova, identificirajući povećanje potroška goriva kao direktan trošak, a gubitak brzine kao indirektan.

Tijekom vremena, ako izostane korektivni zahvat, djelotvornost će sve više opadati i porast će troškova bivati sve veći. Na slici 25. grafički je prikazan kumulativni porast troškova s obzirom na vrijeme.



Slika 25.

Ako s "K" označimo kumulativni porast troškova, a s "p" porast troškova u jedinici vremena (jedinični porast), onda vrijedi izraz:

$$K = \int_0^T p t dt = \frac{p t^2}{2} \quad (49)$$

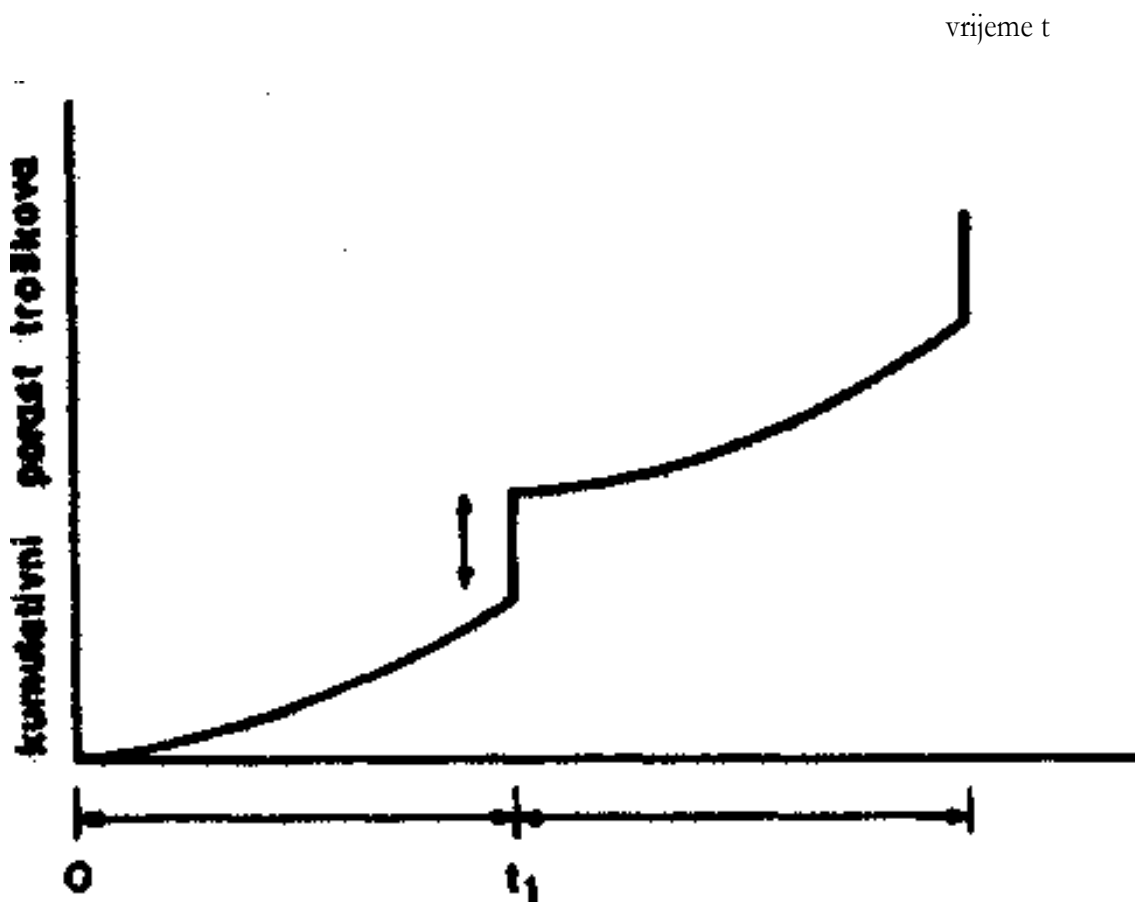
Pretpostavimo tad da smo se, kako bi se spriječio daljnji porast troškova, odlučili za korektivni zahvat održavanja u nekom vremenu " t_1 ". Neposredno prije zahvata kumulativni porast troškova iznosio bi, dakle:

$$K_1 = \frac{p t_1^2}{2} \quad (50)$$

Svaki zahvat održavanja, međutim, povlači za sobom stanovite troškove, direktne i indirektne. Označimo ih sa "Z". Neposredno nakon zahvata kumulativni porast troškova iznosio bi:

$$K_1 = \frac{p t_1^2}{2} + z \quad (51)$$

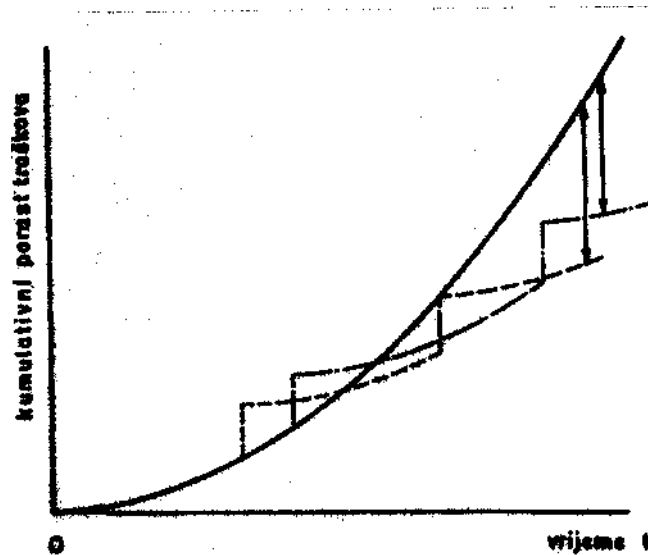
To je grafički predloženo na slici 26:



Slika 26.

Korektivni zahvat održavanja uzrokuje, dakle, skokovit porast troškova, od kojeg parabola porasta ponovno počinje teći ispočetka.

Na slici 27. su tri supeponirane krivulje kumulativnog rasta troškova.



Slika 27.

- a) Kontinuirana parabola predodčava rast troškova iskorišćavanja u funkciji vremena ako se ne poduzima nikakav korektivni zahvat.
- b) Izlomljena krivulja (crt-točka) prati porast troškova u funkciji vremena kad su poduzeti korektivni zahvati u vremenu " t_1 " i " t_2 ".
- c) Crtkana izlomljena krivulja označava rast troškova u funkciji vremena kad su korektivni zahvati učestaliji.

Iz prikazanih se krivulja vidi da je porast troškova tijekom vremena manji kad se obavijaju korektivni zahvati. Crtkana krivulja, kad su korektivni zahvati češći, upućuje na još bolje rezultate. Međutim, njihova prevelika učestalost proizvela bi suprotan učinak.

Kad bi onda trebalo poduzeti korektivni zahvat održavanja? Zadaća je tehnologije

održavanja da dade odgovor na to pitanje. Pokušajmo ga, dakle, dati.

Ako je nakon prvoga korektivnog zahvata kumulativni porast troškova iznosio:

$$K_1 = \frac{pt_1^2}{2} + Z \quad (51)$$

i ako se vrijeme " t_1 " uzme kao redovni interval između zahvata, onda će kumulativni porast troškova nakon drugog zahvata biti:

$$K_2 = \frac{2pt_1^2}{2} + 2Z$$

Označi li se s " n " broj korektivnih zahvata tijekom iskorišćavanja, tad za kumulativni porast troškova uz korektivne zahvate odgovara izraz:

$$K_z = \frac{npt_1^2}{2} + nZ \quad (52)$$

Ako korektivnih zahvata nema, neće biti ni vremenskog intervala između zahvata, tj. vremena " t_1 ", već samo " T ", koje neprekinuto teče. Prema tome, za takve okolnosti izraz za kumulativan porast troškova bio bi:

$$K_0 = \frac{pT^2}{2} \quad (53)$$

Ali, vrijeme " T " može se shvatiti i kao niz vremenskih intervala " t_1 " neizvršenih korektivnih zahvata, pa se ono, u tom smislu, piše:

$$T = nt_1 \quad (54)$$

i, uvrsti li se u izraz za kumulativni porast troškova kad nema zahvata, bit će:

$$K_0 = \frac{p(nt_1)^2}{2} \quad (55)$$

Razlika između kumulativnog porasta troškova uz korektivne zahvate i bez njih, iznosila bi, dakle:

$$\Delta K = K_0 - K_z = \frac{p}{2}(nt_1)^2 - \left(\frac{npt_1^2}{2} + nZ\right) \quad (56)$$

$$\Delta K = \frac{pt^2}{2} - \frac{pt^2}{2n} - nZ \quad (57)$$

Da bi se odredio optimalni broj korektivnih zahvata održavanja u nekom vremenu "T", prethodni izraz valja derivirati po broju zahvata "n" i potom ga izjednačiti s nulom, pa izlazi:

$$\frac{d\Delta k}{dn} = -\frac{pT^2}{2n^2} - Z \quad (58)$$

Kad se taj izraz izjednači s nulom, dobiva se:

$$\frac{pT^2}{2n^2} = -Z \quad (59)$$

Negativni predznak troškova zahvata nema nikakva značenja jer nas trošak zanima samo kao iznos. Ako tad, prema jednadžbi (54), za "T", uvrstimo "nt₁," bit će:

$$\frac{pn^2t_1^2}{2n^2} = Z$$

Ili:

$$\frac{pt_1^2}{2} = Z \quad (60)$$

Lijeva strana jednadžbe je izraz (50), tj. kumulativni porast troškova neposredno prije korektivnog zahvata održavanja, a desna trošak zahvata. Iz toga proizlazi da korektivni zahvat održavanja valja poduzeti kad kumulativni porast troškova iskorišćevinja dosegne veličinu troškova (predstojećeg) zahvata.

Kombinirajući u obradi podatke što ih daje sustav za provjeru stanja s onima koje daje sustav za provjeru performansi, dolazi se do sredstva koje uvelike unapređuje brodsku terotehnologiju. U nekim slučajevima (vrsta uređaja, okolnosti iskorišćavanja) provjera stanja (dotrajalosti) pokazat će potrebu korektivnog zahvata održavanja (da bi se spriječio kvar), u drugim će to biti provjera performansi (radi povratka pune djelotvornosti uređaja), a u nekima će, opet, jedno upućivati na drugo. Bilo kako bilo, s obzirom da su po svojoj prirodi ipak korektivni, teško je te zahvate svrstati u planirane. Naime, kako ih planirati kad se sustavi za provjeru stanja i performansi zato i ugrađuju da bi ispravili (poboljšali) plan održavanja koji se zasniva na statistici i vjerojatnosti. A zahvate održavanja treba planirati da bi se ustanovila brojnost osoblja i ravnomjerno rasporedilo njegovo (svako)-dnevno opterećenje.

Za rješavanje tog zadatka već danas ima sofisticiranih sustava i obrada koje daju dugoročne prognoze na osnovi analize trendova, pa i kratkoročne temeljene na analizi predznaka kvarova.

Očito je da nema smisla nabrajati sve tipove takvih sustava i njihove komercijalne nazive, jer će ih biti sve više i sve potpunijih. Jedno je jasno: takvim sustavima i obradama brodska terotehnologija poboljšava svoj domet i sve bolje urašljava svoj cilj, a organizacija održavanja postaje vještina koju je sve teže zadovoljiti.

3.7. TEHNOLOGIJA I ORGANIZACIJA ODRŽAVANJA

U prethodnim se razmatranjima, ako se ona pomnije analiziraju, slijedom zaključaka sama od sebe nametnula podjela pojma održavanja na tehnologiju održavanja i na organizaciju održavanja, kao na dva međusobno povezana, ali ipak posebna područja. Pokušat će se obrazložiti što to zapravo znači.

Prema definiciji tehnologija je skup znanja o postupcima u nekom procesu. Ona je, dakle, znanost koja nas uči kako da ovladamo tim procesom. U održavanju ona regulira osnovna načela održavanja, definirajući slijed i svrhu procesa održavanja. Drugim riječima, tehnologija održavanja je znanje održavanja, tj. kako i zašto neki sustav treba održavati.

Organizacija se održavanja, međutim, bavi provedbom u djelo onog procesa koji je tehnologija održavanja definirala. Drugim riječima, ona prikuplja ljude i sredstva i raspoređuje njih i vrijeme tako da se taj proces na najbolji način provede.

Oba ta područja povezana su u pojmu održavanja. Ono će jedino onda biti dobro ako mu je dobra tehnologija i organizacija. Uz dobru tehnologiju, a slabu organizaciju održavanje se neće uspješno provesti. U obratnom, ako je organizacija dobra, a tehnologija loša, rezultat će biti uzoran privid – puno uložena truda, a malo koristi.

Izdvojivši, međutim, iz općenitog pojma održavanja tehnologiju i organizaciju kao posebne i odvojene discipline, ne bi bilo ni objektivno ni dosljedno kad bi se prešutjele suprotnosti koje se tim dvojstvom otkrivaju i zaoštravaju.

Za ona gledišta, naime, koja ta dva pojma ne odvajaju i ne razlikuju, ispravna su i logična pojednostavnjenja koja su u ovakvom pristupu neprihvatljiva. Tako, planirano održavanje na bilo kojoj osnovi, recimo kalendarskoj, tj. da zahvati na uređajima budu jedanput u godini ili samo jednom u dvije, tri ili više godina, činilo bi s toga, nazovimo ga, uopćenog gledišta i tehnologiju i organizaciju, odnosno, da upotrebimo razumljiv i uobičajeni rječnik - bilo bi to organizirano održavanje. U našem pristupu, osnivajući sud na stečenim spoznajama i savladanoj teoriji, to bi mogla biti dobra organizacija, ali loša tehnologija održavanja ili, da se izrazimo istim razumljivim i uobičajenim rječnikom - dobro organizirano loše održavanje.

Valja ovdje odmah reći da uzeti primjer nije sasvim izmišljen. Vjerojatno većina današnje trgovačke flote primjenjuje u praksi nekakvo slično "organizirano održavanje", bilo da ga naziva planiranim ili ne, uzimajući za kriterij pogonske sate prema preporukama proizvođača ili kalendarsko vrijeme prema (nečijem) iskustvu. Treba priznati da to manje--više dobro funkcionira. Ali, koliko je to daleko od terotehnološkog optimuma, teško je reći.

Obveza je, naime, svakog profesionalca da u pristupu bude realističan i kritičan i prema samoj teoriji. Prema teoriji, svaki zahvat održavanja koji nije otkrio potrebe za nekom ozbiljnijom intervencijom (temeljitim čišćenjem, rektifikacijom ili obnovom komponente) uzaludan je, ako ne i štetan, zahvat. Takvim se postupkom rasipa uludo ljudski rad i smanjuje pouzdanost, zbog mogućnosti da se pri ponovnom sklapanju uređaja (mekhanizma) potkrade neka greška koje prije nije bilo. Ima, međutim, još uvijek profesionalaca koji će takav ishod zahvata smatrati onim pravim i poželjnim i pohvaliti se svojom savjesnošću i marom. S takvim mentalitetom ne treba polemizirati, njega valja shvatiti, ali ne i prihvatiti. No, što ako pri redovnom (planiranom) pregledu cilindra porivnog motora utvrdimo da su stapni prstenovi istrošeni tek toliko da neće moći izdržati cijeli vremenski interval do planiranog zahvata, već, recimo, samo polovicu tog vremena? Držeći se teorijskih načela, prstenove bi valjalo obnoviti (zamijeniti) jer se jedino tako pouzdanost i raspoloživost mehanizma vraća na prvobitnu razinu. Ali cijena je novih prstenova mnogostruko veća od cijene rada koji valja utrošiti za takav zahvat!? Realističan i profesionalan bi pristup bio da se prstenovi ostave na mjestu, a da se zahvat planira sa skraćenim intervalom, organizirajući ga tako da ne uzrokuje zastoje, a sve to uz punu svijest da je takvim postupkom unekoliko smanjena razina pouzdanosti i raspoloživosti stroja.

Vratimo se sad drugom području - organizaciji održavanja. Da bi organizacija održavanja uopće imala smisla, mora se početi od neke već utvrđene i razrađene tehnologije održavanja. No, saznanja o ponašanju brodskih uređaja u pogledu kvarova, i onih slučajnih i onih uzrokovanih dotrajalošću, nisu ni izdaleka potpuna ni dovoljna. Na temelju dugogodišnjeg iskustva može se po osjećaju reći da su osnovni brodski uređaji razmjerno vrlo pouzdani, ali ne i puno više. Za razradu tehnologije održavanja to nije dovoljno. Za takvu razradu potrebno je te općenite ocjene kvantificirati. Ispitivanja pouzdanosti

brodskih uređaja (za trgovačku mornaricu) nisu uvedena u tvorničku praksu (već samo provjera kvalitete), a neće vjerojatno nikad ni biti, zbog skupoće i relativno dugog vremena potrebnoga za takve pokuse. Ni podaci s brodova u iskorišćavanju nisu dovoljno sustavno prikupljeni ni statistički obrađivani, barem ne u tolikoj mjeri i na takav način da bi poslužili za opći kriterij ili makar dobar pokazatelj. Put do dobre tehnologije održavanja očito nije brz ni jednostavan.

Ali, nije ipak sve tako crno kako je to namjerno ovdje prikazano. Ima nekih kriterija na koje se tehnologija, pa i organizacija održavanja, može s relativnim pouzdanjem osloniti. To su u prvom redu preporuke proizvođača u pogledu intervala zahvata (pregleda) servisiranja i obnove pojedinih komponenata. To su nesumnjivo preporuke kojima je prije svega cilj da štite interes ili ugled samih proizvođača (pa će renomirane tvrtke te intervale za svaku sigurnost skraćivati, a "skorojevići", radi reklamiranja, produživati), ali koje ne moraju biti baš u nekom osobitom sukobu s interesima korisnika. Tu je, zatim, najmodernije i najefikasnije oruđe o kojem je bilo riječi u prethodnom poglavlju - automatska provjera stanja i performansi. Ona tehnologiji održavanja daje maksimalan domet i dovodi je do samog cilja (ali organizaciju održavanja stavlja u nezahvalan položaj trkača preko (pomičnih) prepona). I tu je, konačno, ono za obje discipline najvažnije - organizacija održavanja biva i tehnologijom sve dok tu tehnologiju sama ne otkrije i tako se od nje ne odvoji.

Zatvorivši tako ovaj krug, dolazimo do zaključaka da ono "organizirano održavanje", koje smo zbog našeg pristupa morali prije odbaciti, valja na kraju prihvatiti kao dio tog istog pristupa. Ili, točnije rečeno, kao početak takva pristupa.

Da ovo nije nikakav sofizam, lako je dokazati. Svi brodovi trgovačke mornarice nemaju ugrađene sustave za automatsku provjeru stanja i performansi, a neće ih vjerojatno nikad svi ni imati. Osim toga, neće ni svi važniji uređaji (strojevi) na brodu biti njima opremljeni. I za takve brodove i uređaje treba osmisliti tehnologiju održavanja. Ili, još opipljiviji primjer. Kad se preuzme rabljeni brod, brodovlasnik prodavalac najčešće pokupi s njega cjelokupnu dokumentaciju. To je sasvim razumljivo, jer je bio i ostaje kupcu takmac, pa ga nema razloga favorizirati. Što da se u tom slučaju poduzme u pogledu održavanja? Organizirat će se, jer to je jedino što se može, ubrzano otvaranje

(rasklapanje) jednoga po jednog uređaja, utvrditi stanje i obaviti potrebni zahvat, pazeći pri tome da se ne prouzrokuje zastoј broda, te planirati interval idućeg zahvata, rukovodeći se nađenim stanjem, opsegom izvršenih obnova komponenata, preporukama proizvođača i vlastitim otprije stečenim iskustvom. Ne znači li, dakle, u ovom primjeru organizacija održavanja i tehnologiju, sve dok tu tehnologiju ne osmisli i ne fiksira, pa se od nje kasnije odvoji?!

Iz ovog razmatranja nameće se zaključak da je organizacija održavanja važna disciplina i valjano sredstvo istraživanja, koje mora biti tako koncipirano da otkriva i unapređuje tehnologiju, a ne da je samo slijedi. Ona ne smije nikad postati samoj sebi svrhom, već mora u svom "genu" imati ugrađen program za proces vlastitog usavršavanja, i kao metode istraživanja tehnologije i kao faktora optimalizacije (minimalizacije) utrošenog rada. To, drugim riječima, znači da ni organizacija ni tehnologija održavanja neće nikad postati dovoljno dobre da ih ne bi trebalo i dalje usavršavati.

4. PRISTUP ODRŽAVANJU BRODSKIH SUSTAVA

4.1. UVODNA RAZMATRANJA

Iako je teorija pouzdanosti podloga na kojoj terotehnologija razvija svoju vlastitu teoriju, ipak se pristup održavanju brodskih sustava s terotehnološkog stajališta bitno razlikuje od onoga s gledišta pouzdanosti. Svrha je, naime, pristupa sa stajališta pouzdanosti da se u potpunosti spriječe kvarovi i njihove posljedice, a cilj je terotehnološkom pristupu da se minimaliziraju troškovi održavanja. Terotehnologija to najstoji postići optimalizacijom odnosa direktnih i indirektnih troškova održavanja.

Dobro je tu razliku između dva spomenuta pristupa potanje obrazložiti. Pristup sa stajališta pouzdanosti teži sprečavanju kvarova i zastoja sustava bez obzira na visinu troškova koje će takav pristup izazvati. Terotehnologija pak stavlja naglasak samo na minimalizaciju troškova, bez obzira na to hoće li takav pristup rezultirati izvjesnim brojem kvarova i zastoja. Iz toga jasno proizlazi da pristup sa strane pouzdanosti ne može ili, točnije rečeno, ne mora biti optimalan s obzirom na terotehnologiju i, obratno, terotehnološki pristup ne može (ne mora) biti optimalan sa stajališta pouzdanosti. Nakon ovog razjašnjenja moguće je, dakle, prijeći na daljnji korak u razmatranju općenitog pristupa održavanju tehničkih sustava, koji se nadovezuje i uklapa u okvir ovih razmišljanja.

Općenito gledajući, dva su osnovna pristupa održavanju, međusobno dijametralno suprotna: preventivno održavanje i korektivno održavanje. Preventivno nastoji da se spriječi kvar pravodobnom zamjenom (obnovom) komponenata. Ono to postiže tako da se svaka komponenta u sustavu zamijeni novom neposredno prije vremena T_w , tj. pri kraju korisnog vijeka komponente, dakle prije nego nastupi period dotrajalosti (vidi "krivulju čamca", sl.3. u poglavlju 1.4.) Korisni vijek kreće se u redu veličina od oko 60 % prosječnog vijeka trajanja komponente (M). Uz takav preventivni pristup održavanja ne bi do kvara zbog dotrajalosti nikad trebalo doći, no učestalost zahvata održavanja i količina obnovljenih komponenata bili bi relativno veliki.

Suprotno takvu pristupu, korektivno održavanje ne poduzima nikakva zahvata sve dok komponenta ne zakaže. Na taj bi način 50 % komponenata bilo obnovljeno u razdoblju od završetka korisnog vijeka trajanja (T_w) do prosječnog vijeka trajanja komponente (M), a 50 % njih u istom vremenskom razdoblju poslije toga. Takvim pristupom učestalost zahvata i količina obnovljenih komponenata bili bi manji, ali bi zastoji bili izvan kontrole i, zato, dulji i štetniji.

Sva se ova razmatranja, dakako, odnose na sustave predviđene za kontinuirani i/ili opetovani rad dulji od korisnog vijeka trajanja komponente, kakvi zapravo i jesu brodski uređaji u velikoj većini.

Brodsko terotehnologija ne poštuje striktno ni jedan od ova dva pristupa. Ona se zapravo obama služi, ali na specifičan način, koji ipak preteže na stranu korektivnoga. Ova konstatacija zahtijeva potanje obrazloženje.

Striktna primjena preventivnog održavanja na brodu bila bi u skladu s jednako tako striktnim poštovanjem načela maksimalne pouzdanosti s obzirom na dotrajalnost. Korektivno održavanje u tom kontekstu odnosilo bi se samo na slučajne kvarove, posljedice kojih se izbjegavaju dovoljnom zalihošću u sustavima. To bi zanimalo da za svaku komponentu u mnogobrojnim brodskim sustavima valja utvrditi ne prosječni (M), već

korisni vijek trajanja (T_w) i sve ih obnavljati (zamjenjivati) prije isteka tog vijeka, bez obzira na to u kakvu su stvarnom stanju u tom trenutku. A korisni vijek trajanja definira prva od istih komponenata koja je zakazala ili čak pokazala znakove mogućeg kvara. Takav pristup na trgovačkom brodu očito ne može imati ni ekonomskoga ni tehnološkog opravdanja. Naime, rizik od eventualne katastrofe zbog nekog kvara, za razliku od zrakoplova, na brodu je minimalan.

Još je jedna razlika između ta dva prijevozna sredstva, pa i svih ostalih pokretnih transportnih sredstava, koja je za pristup održavanju brodskih sustava čak i bitnija. Brod ima stalnu posadu koja može obavljati zahvate održavanja i tijekom njegova iskorišćavanja. Uz dostatnu zalihnost u sustavima i opskrbljenost doknadnim dijelovima moguće je, dakle, otkloniti svaki kvar, a da do zastoja nikad ne dođe. A to znači da je pouzdanost brodskih sustava pouzdanost uz zahvate, kako je to konstatirano već u poglavlju 2.7.

Pouzdanost uz zahvate je, dakle, onaj osnovni katalizator u procesu koji pomiruje i sjedinjuje teoriju i praksu terotehnološkog pristupa održavanju brodskih sustava.

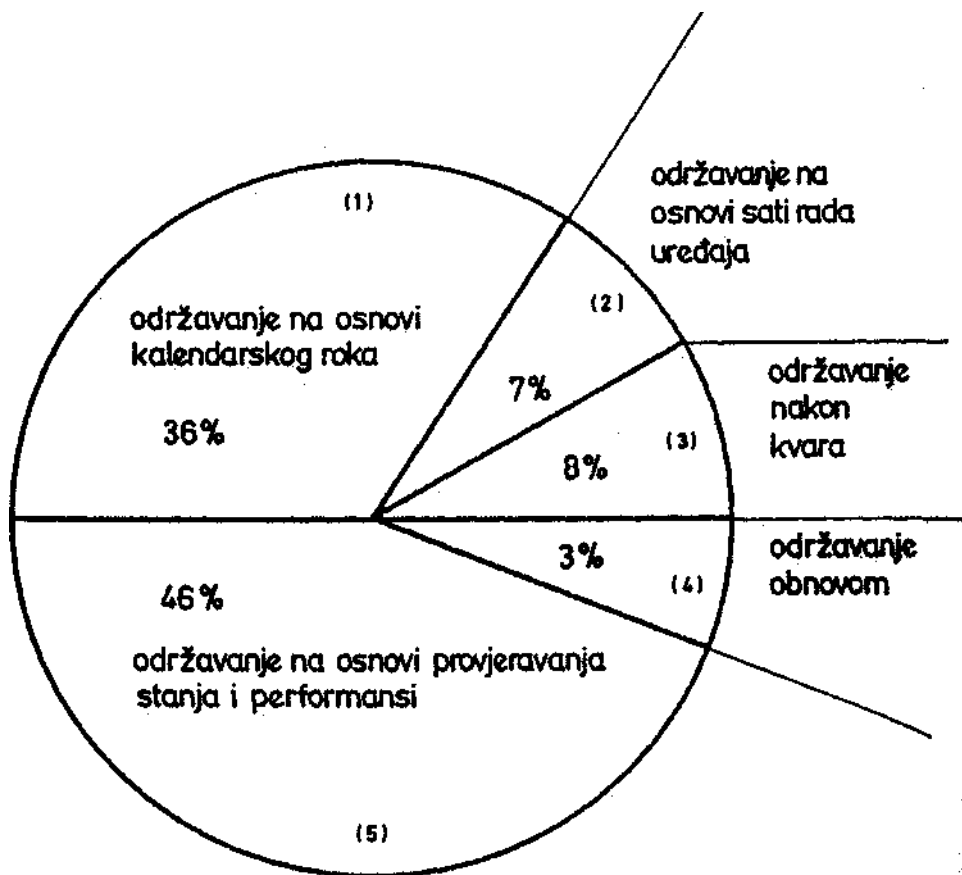
4.2. METODE ODRŽAVANJA

Sad, kada je obrazložen općeniti pristup održavanju brodskih sustava sa svih njegovih aspekata, moguće se pozabaviti i samom njegovom realizacijom u praksi. Neka za primjer posluži zaista suvremeni trgovački brod, opremljen sustavima za provjeravanje stanja i performansi.

Za održavanje brodskih sustava primjenjuje se nekoliko metoda. Približni udio svake pojedine od njih u ukupnom održavanju prikazan je grafički na slici 28. Njihove karakteristike i područje primjene su:

Održavanje na osnovi kalendarskog roka (1)

Ovom metodom pretpostavlja se plansko održavanje na osnovi proteklog vremena, bez obzira na sate rada uređaja; npr. jedanput ili dvaput u godini ili jednom u dvije godine i sl. Ona se primjenjuje na uređaje koji se podjednako "troše" radili ili ne, ili čak više kad ne rade. To su uglavnom svi palubni uređaji, električni i hidraulički, zatim protupožarni uređaji, uređaji za spašavanje i sl.



Slika 28..

Održavanje na osnovi sati rada uređaja (2)

Ovom metodom također se pretpostavlja plansko održavanje, ali za razliku od prve, na temelju sati rada uređaja. Primjenjuje se obično na električne generatore, veće ili važnije elektromotore, kompresore, važnije pumpe i općenito na sve važnije pomoćne strojeve i uređaje.

Održavanje nakon kvara (3)

Ovom metodom ide se na zahvat održavanja tek nakon što se kvar dogodi. Ona se susreće kod manje važnih i općenito manjih uređaja kao što su pumpe hidrofora i sl., koji nisu od presudne važnosti za uporabljivost broda. Održavanje se obavlja tako da se uređaj u kvaru zamijeni novim iz brodske zalihe, a pokvareni se uređaj potom popravlja u brodskoj ili kopnenoj radionici. To svakako zahtijeva da takav uređaj bude uvijek na zalihu. Kad bi u punoj mjeri bila provedena standardizacija i sustavi projektirani primjenom principa maksimalne međuzamjenjivosti, udio ove metode u ukupnom održavanju bio bi veći, uz relativno minimalnu zalihu.

Održavanje obnovom (4)

Po ovoj metodi također se zahvat održavanja obavlja tek kad se kvar dogodi, ali s tom razlikom što se pokvareni uređaj uopće ne popravlja, već se zamjenjuje novim (obnavlja). I ona se primjenjuje na uređaje koji nisu od presudne važnosti za uporabljivost broda, a osim toga se ne isplate popravljati. To su općenito uređaji široke kućanske primjene kao što su kabinski hladnjaci, strojevi za pranje rublja i sl.

Održavanje na osnovi provjeravanja stanja i performansi (5)

O ovoj metodi sam naziv dovoljno govori. Zahvat se održavanja poduzimlje kad sustavi za provjeravanja stanja i/ili performansi upute na takvu potrebu. Ova se metoda primjenjuje na porivni stroj i, općenito, na svaki uređaj na koji se isplati ugraditi sustav za provjeru stanja i/ili performansi.

Što se tiče tzv. tekućeg ili rutinskog održavanja, ono se ne može povezati s nekom od metoda. Sa svojom osnovnom intencijom prevencije, ono i nije neko održavanje u pravom smislu riječi. Povremena podmazivanja, pritezanja, provjere pa i čišćenja (separatori!) pripadaju zapravo mehanici pogona kao i dotok goriva, vode za rashlađivanje i automatsko

podmazivanje. Zbog toga se tekuće održavanje u cjelokupnoj problematici tretira samo radi planiranja periodiciteta i potrebnog fonda radnih sati.

Kako se vidi iz grafičkog prikaza, udio pojedinih metoda u ukupnom održavanju vrlo je različit. Valja još jednom istaknuti da se prikazani primjer odnosi na vrlo modernu plovnu jedinicu, opremljenu svim onim što se danas u provjeri stanja i performansi može primijeniti.

Najviše je zastupljena metoda održavanja na osnovi provjeravanja stanja i performansi (46 %). To očito stavlja organizaciju održavanja pred zadatak koji nije baš lako riješiti zadovoljavajuće. Druga je po opsegu metoda održavanja na osnovi kalendarskog roka (36 %).

Metoda održavanja na osnovi sati rada uređaja (2) obuhvaća tek 7 % ukupnog održavanja, čak manje nego metoda održavanja nakon kvara (3). A još je donedavno ta metoda (2) obuhvaćala više od 50 % ukupnog održavanja, čak i na brodovima s cjelovitom automatizacijom. Valja reći i to da je ona danas ipak prisutna u tom opsegu (više od 50 %) na velikoj većini brodova svjetske trgovačke mornarice. No, trend se očito mijenja u korist metode održavanja na osnovi provjeravanja stanja i preformansi (5). To je i logično jer to sredstvo omogućuje zahvat održavanja u najpovoljnijem trenutku sa stajališta brodske terotehnologije.

Udio metode održavanja obnovom (4) ovisi o tipu broda, pa će zasigurno on biti veći npr. kod putničkoga nego kod teretnog broda.

Nakon što su sve metode održavanja koje se u praksi na brodu primjenjuju popisane i opisane i na jednom je primjeru prikazan njihov (danas mogući) udio u ukupnom održavanju brodskih sustava, valja se konačno vratiti pitanju kakav je zapravo pristup održavanja na brodu.

Nema nikakve sumnje da metoda održavanja nakon kvara (3) i metoda održavanja obnovom (4) pripadaju korektivnom održavanju. Metodom se održavanja na osnovi promatranja stanja i performansi (5) postiže da se zahvat održavanja poduzme s terotehnološkog stajališta u najpovoljnijem trenutku, ali je to ipak korektivni zahvat radi sprečavanja većeg ili totalnog kvara. Jedino metoda održavanja na osnovi kalendarskog roka (1) i metoda održavanja na osnovi sati rada uređaja (2) nemaju izričiti karakter korektivnog pristupa održavanju. Zahvati se održavanja planiraju kako bi se otkrio kvar neke od komponenata ili mogućnost kvara. Zato takav pristup neki nazivaju plansko-

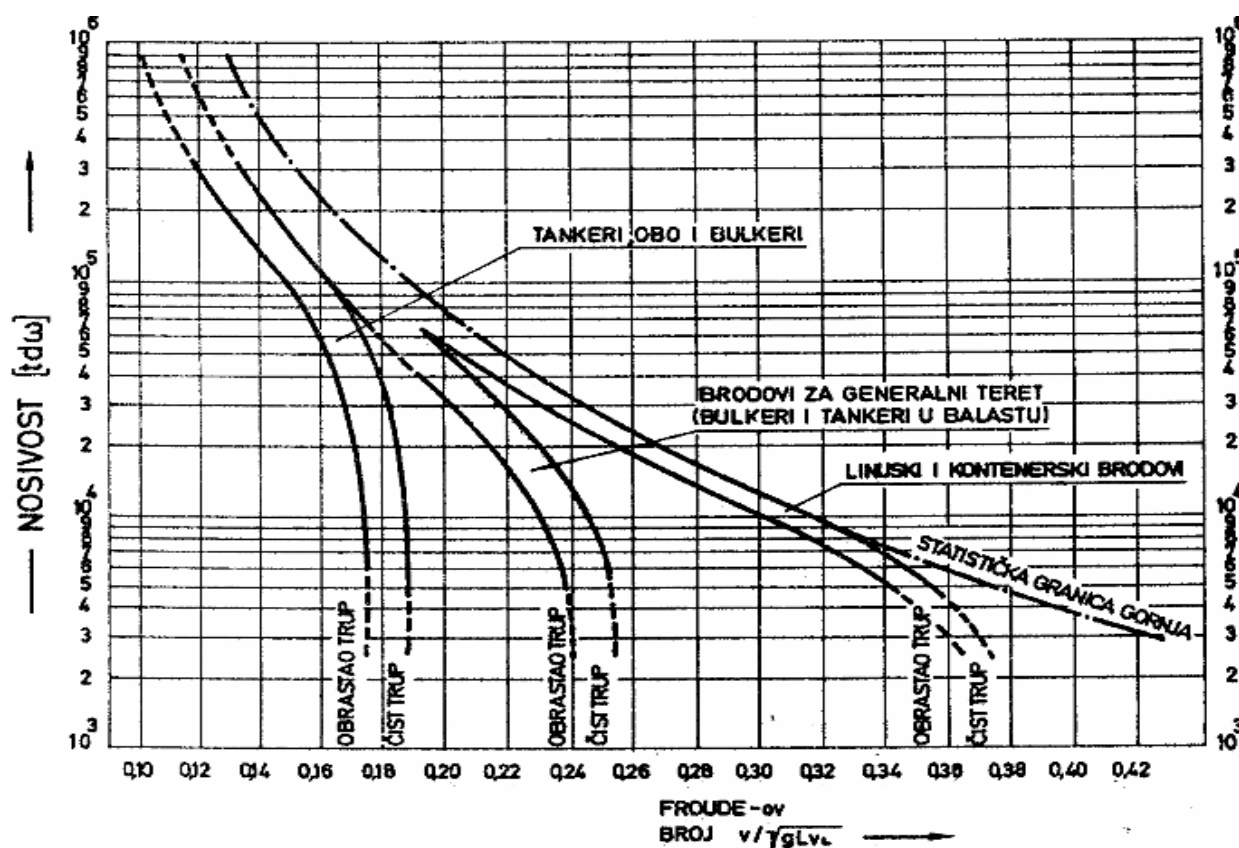
-preventivnim održavanjem. Ipak, u takvu pristupu zamijenit (obnovit) će se samo ona komponenta koja je dotrajala, a druge identične, koje ne pokazuju takvo stanje, ostat će na svom mjestu u uređaju do idućega planiranog zahvata. A to onda nije preventivno održavanje u pravom smislu. Uz elemente preventivnoga ono ima intencije korektivnog: obnoviti (zamijeniti) samo ono što je dotrajalo i ništa više.

Što, dakle, da se iz svega ovoga zaključi? Ono što se već u početku izlaganja ocrtao. Pristup održavanju na brodu više je korektivan, što znači da teži obnovi komponente negdje oko njezina prosječnog vijeka trajanja (M). A to još znači da će se na brodu pojavljivati kvarovi zbog dotrajalosti, i to ne zbog neznanja, već zbog intencije u pristupu. Za održavanje na brodu može se jedino i ispravno reći da je ono plansko ili planirano. Dapače, iako je po udjelu većine primjenjivih metoda (3), (4) i (5), ukupno 56 % njih pretežno ili potpuno korektivnog karaktera, održavanje broda i njegovih sustava mora biti planirano (plansko), i to na osnovi istih (statističkih) metoda kojima se služi i teorija pouzdanosti, bez obzira na to što je pristup unekoliko drukčiji i što je za pripomoć na raspolaganju tako valjan alat kao što su uređaji za (automatsko) provjeravanje stanja i performansi. Jer, bez dobrog i metodološki utemeljenog planiranja održavanja nemoguće je provesti dobru (produktivnu) organizaciju održavanja. A održavanje će jedino biti dobro (optimalno) ako su mu podjednako dobre i njegova tehnologija i njegova organizacija.

4.3. PRISTUP DOKOVANJU BRODA

Već je u poglavlju 3.1. zaključeno da se i brodski trup, iako je on zapravo statički nosač, ponaša kao tehnički (mehanički) sustav, jer se pod nametnutim porivom giba i jer "pruža" otpor tom gibanju. Taj se otpor tijekom vremena povećava, što onda smanjuje djelotvornost brodu kao jedinstvenom sustavu i rastu njegovi troškovi iskorišćavanja. Samo ta konstatacija, zanemarujući podložnost istrošenju (dotrajalosti), dovoljna je, dakle, da ga svrste u sustave koje valja održavati. To znači da i brodski trup ima svoju vlastitu tehnologiju održavanja koju treba definirati.

Pretežan je uzrok smanjenju djelotvornosti broda kao jedinstvenog sustava obrastanje njegova podvodnog dijela morskim organizmima. Iako je svaki brod izložen obrastanju, taj utjecaj na rast otpora nije za svaki brod jednak. On će varirati prema tipu i veličini broda i može se prikazati kao odnos između Froudova broja i nosivosti (deadweight) za različita stanja obraslosti podvodnog dijela broda (sl. 29).



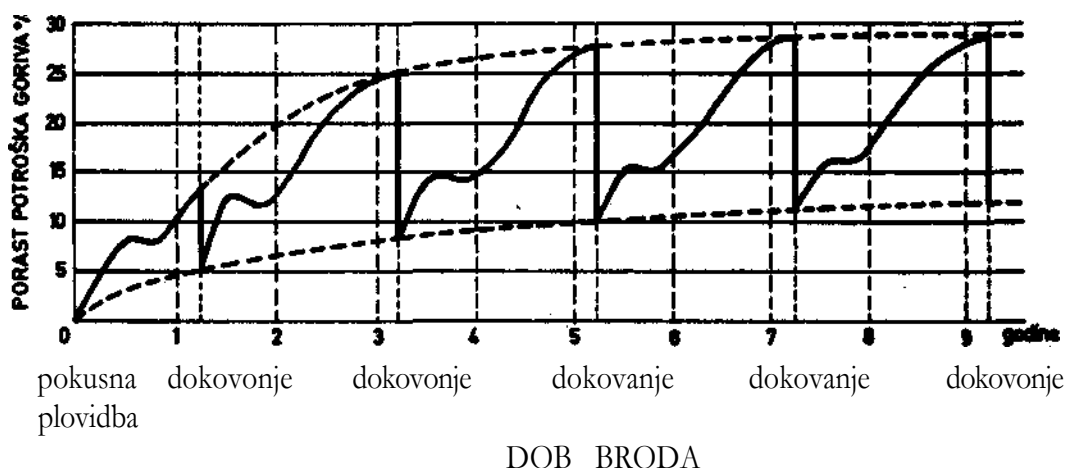
Slika 29.
Statistički pristup odnosu između Froudova broja
i nosivosti za različita stanja obraslosti podvodnog dijela broda

Taj i iduća dva dijagrama izvedeni su na osnovi obrade podataka o performansama 43

različita broda, zaštićena konvencionalnim podvodnim prevlakama, koji su sustavno prikupljeni u deset godina njihova iskorišćavanja.

Obrastanje brodskog podvodnog dijela rezultira povećanim otporom kretanju, dakle usporavanjem broda. Da bi se kompenzirao pad brzine, valja povećavati snagu porivnog stroja, što ima za posljedicu povećanu potrošnju goriva. Kad ne bi uslijedio korektivni zahvat, taj bi se trend nastavio kroz cijeli period vijeka trajanja broda. Budući da nije nikad napravljen takav pokus, konačnim ishodom takva postupanja nije se moguće ni kvalitativno i kvantitativno pozabaviti. Jedino se s dovoljnom sigurnošću može utvrditi da originalno ugrađeni porivni stroj ne bi takav rast otpora mogao svladati, pa bi, zato, negdje tijekom iskorišćavanja došlo do zastoja broda, zapravo do njegove paralize.

Ono što nam je, međutim, dostupno to su rezultati istraživanja spomenute populacije brodova. Oni su predloženi u dva dijagrama (sl. 30. i 31 *).

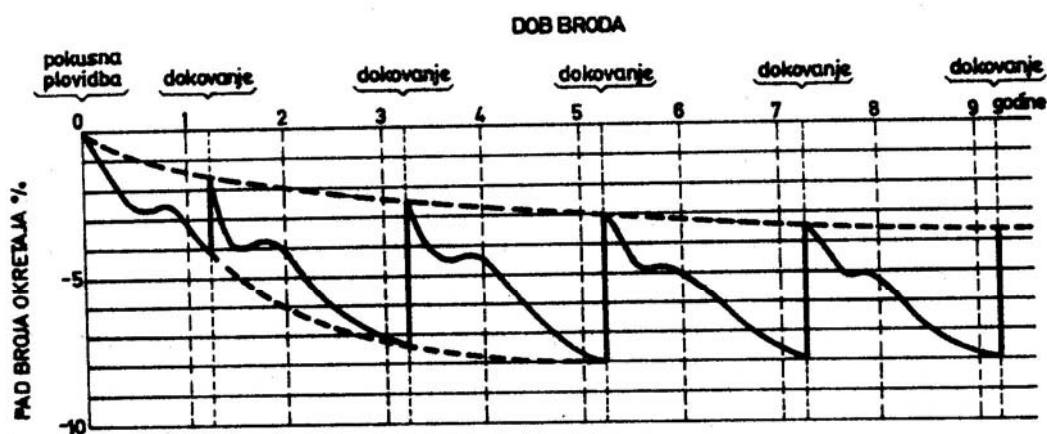


Slika 30.

Tok performansa porivnog stroja i broda nakon pokusne plovidbe za Froudove brojeve između 0,14 i 0,27

Porast potroška goriva (u %) s obzirom na vrijeme i period dokovanja

* FELIX PROCHASKA, Sulzer Brothers Ltd, Wintearthur, Svitzerland: TIMING OF DRY-DOCKING INTERVALS TO MOST ECONOMICAL EFFECTS, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York 1982.



Slika 31.

Tok performansa porivnog stroja i broda nakon pokusne plovidbe
za Froudove brojeve između 0,14 i 0,27

Pad broja okretaja vijka (u %) s obzirom na vrijeme i period dokovanja

Iz dijagrama je očito da je prvo dokovanje (zahvat održavanja) promatrane populacije brodova uslijedilo 15 mjeseci (uprosječno!) nakon pokusne plovidbe, a sva ostala u međusobnim intervalima od 24 mjeseca. Dijagram na slici prati kretanje povećanog potroška goriva uz ovakav periodicitet dokovanja (čišćenja) i obnove zaštitne prevlake brodskog podvodnog dijela tijekom deset godina iskorišćavanja, uz uvjet da se za cijelo to razdoblje zadrži ona brzina postignuta na pokusnoj plovidbi. Uočljiv je pad potrošnje goriva nakon svakog dokovanja, koji je to veći što je brod stariji, ali samo do nešto nakon pete godine, da bi poslije on postao više-manje konstantnim. Uočava se, također, da je unatoč zahvatima (dokovanjima) porast potrošnje goriva u prvih deset godina iskorišćavanja neizbježan, i to u pogledu njegovih maksimalnih vrijednosti, neposredno prije zahvata (dokovanja), i u pogledu minimalnih, neposredno nakon što je zahvat izvršen.

Dijagram na slici 31. predložuje pad broja okretaja porivnog stroja pri istom periodicitetu dokovanja, uz pretpostavku konstantne razvijene snage kako je to rezultiralo u pokusnoj plovidbi, za razdoblje od prvih deset godina iskorišćavanja. I tu se vidi nagli porast broja okretaja nakon svakog dokovanja, koji se jednako tako povećava do nakon pete godine, a poslije postaje konstantnim.

Posebno je zanimljiv tok krivulje minimalnih vrijednosti u oba razmatrana dijagrama. To su vrijednosti postignute nakon dokovanja, tj. nakon zahvata održavanja kojem je bio cilj da vrati brodu izgubljenu djelotvornost. Budući da one stalno rastu, odnosno padaju, to znači da su poduzeti zahvati održavanja (dokovanja) vratili brodu djelotvornost samo djelomično. A to jasno pokazuje da se performanse postignute u pokusnoj plovidbi nikad više neće ponoviti tijekom cijelog njegova vijeka trajanja, već će one bivati postupno sve lošije, stabilizirajući se negdje poslije desete godine iskorišćavanja. To još znači da se nikakvim terotehničkim pristupom, pa ni onim koji bi se mogao označiti optimalnim, taj proces ne može spriječiti.

Za odgovor zbog čega je to tako neka posluže ova razmatranja.

Porast zahtijevane snage porivnog stroja pri konstantnoj brzini posljedica je većeg broja pojava:

- a) povećanje otpora broda;
- b) pad srednje brzine pritjecanja vode brodskom vijku zbog povećanog sustrujanja, čemu je uzrok povećana hrapavost podvodnog dijela trupa i promjene u graničnom sloju;
- c) povećanje hrapavosti površine krila vijka, što stvara veće trenje i zahtijeva od porivnog stroja veći moment. Posljedica također može biti i pad poriva zbog pogoršanja uzgonskih osobina profila krila.

U korijenu svega leži, dakle, povećanje hrapavosti tzv. eksploatacijska hrapavost. Ali, tu nije uzročnik samo obrastanje. Hrapavost dijelom generira i korozija i erozija te mehanička oštećenja (deformacije) tijekom iskorišćavanja broda. A na taj će se dio povećanja hrapavosti relativno malo utjecati zahvatima održavanja, osobito što se tiče trupa. Zbog toga je izvjestan pad djelotvornosti broda tijekom iskorišćavanja, koji su pokazala istraživanja na promatranoj populaciji brodova, u stvarnosti neizbježan.

Sva su dosadašnja razmatranja izvedena tako da je konstantna brzina broda postavljena kao uvjet koji se želi zadovoljiti, bez obzira na to odgovara li zadovoljavanje tog uvjeta i ekonomskoj optimalizaciji brzine u danim okolnostima. Taj je problem već dotaknut u poglavlju 1.2. pri osvrtu na komercijalnu brzinu broda. Ne ulazeći dublje u tu problematiku treba ipak pokušati realno uvidjeti stanje koje je u praksi dominantno. A ono nešto drukčije

od onog na kojem su se osnivala prethodna razmatranja. Zapravo, ona su proizišla iz istraživanja performansi velike populacije brodova u iskorišćavanju, dakle iz prakse, pa su, prema tome, i korektna i realistična, samo što je njihove rezultate, ovako kako su prikazani, teško izravno korisno upotrijebiti za terotehnološki pristup dokovanju broda. O čemu je riječ, vidjet će se iz daljnjeg izlaganja.

Postignute performanse u pokusnoj plovidbi odnose se, naime, na uvjete čistog trupa i mirnog mora (snage 2-3 po WMO skali). Brod pak tijekom iskorišćavanja plovi pretežno u lošijim uvjetima. Neka je dakle, taj brod osnovan (projektiran) tako da s 90 % snage porivnog stroja (dopuštene za kontinuiranu vožnju), i uz 15 % rezerve za stanje trupa i mora, postiže odgovarajuće performanse u uvjetima pokusne plovidbe. On će tu rezervu od 25 % potrošiti zbog samog povećanja eksploatacijske hrapavosti mjesecima prije dokovanja već nakon prvih pet godina, na što upućuju dijagrami na slici 30. i 31. Za svladavanje povećanog otpora zbog stanja mora i vjetra njegov porivni stroj neće više imati snage. Sva je prilika, dakle, da će takav brod od jednoga do drugog dokovanja gubiti na brzini. To je realističniji prilaz problemu i on je sa stajališta brodske terotehnologije prihvatljiviji.

Svrha je terotehnologije da optimalizira troškove održavanja, u koje se ubraja i smanjenje djelotvornosti sustava, odnosno povećanje troškova njegova iskorišćavanja. Brodskoj terotehnologiji zadatak je, prema tome, utvrditi optimalni trenutak dokovanja broda kako bi troškovi iskorišćavanja ostali na razini minimalno mogućih. U tu svrhu valja posegnuti za istim onim obrascima koji su razvijeni u poglavlju 3.6.

Izvedeći izraz:

$$\frac{pt_1^2}{2} = Z \quad (60)$$

dokazano je da je da korektivni zahvat treba poduzeti kad kumulativni porast troškova iskorišćavanja dosegne veličinu predstojećeg zahvata. Iz toga izlazi da je optimalni interval između zahvata:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2Z}{p}} \quad (61)$$

Primijenimo zatim taj izraz za utvrđivanje pravog trenutka dokovanja broda i provjerimo njegovu svrsishodnost na primjeru.

Pretpostavimo da je riječ o već spominjanom brodu za rasuti teret od 50000 tdw (vidi str. 12). Neka njegovi fiksni troškovi (dnevna cijena zaustavljenog broda) budu 5000 \$/dan i neka u godini provede polovicu vremena u plovidbi, a polovicu u stajanju. Brzina u službi neka mu bude 13 čvorova, što postiže nakon dokovanja uz snagu porivnog stroja koja odgovara utvrđenom režimu ovisno o starosti (dobi) broda.

Pretpostavka je da mu je u jednom trenutku brzina u predviđenom režimu vožnje pala za 0,1 čvor, odnosno da ona nije više 13, već 12,9 čvorova. To znači da je prije dnevno prevaljivao $24 \times 13 = 312$ Nm, a sad će za tu istu udaljenost trebati $312 : 12,9 = 24,186$ sati. Njegovo će, dakle, ugovoreno putovanje tako biti produženo za 0,186 sati po danu, odnosno za 0,7 % na dan. Promatrajući rezultat na drugi način, možemo zaključiti da njegovi fiksni troškovi neće više iznositi 5000 \$/dan, već 0,7 % više, dakle 5035 \$/dan, ako se računa na osnovi dana putovanja onako kako su oni ušli u kalkulaciju pri ugovaranju prijevoza. Iz toga proistječe da će jedinični porast troškova iskorišćavanja biti u ovom slučaju 35 \$/dan, odnosno $p = 35$.

Neka se trošak dokovanja, uključujući direktne i indirektne troškove (devijacija, zastoje, lučki troškovi i troškovi tegljača), za ovu veličinu broda procjenjuje na 200000 \$. Dobivaju se, dakle, ovi parametri:

$$p = 35$$

$$Z = 200000$$

Uvrste li se te veličine u izraz (61), bit će:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2Z}{p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200000}{35}} = 107 \text{ dana}$$

Iz toga proizlazi da bi dokovanje broda valjalo planirati nakon 107 dana plovidbe, odnosno, s obzirom na to da se očekuje kako će brod u plovidbi provesti samo polovicu vremena, dokovanje bi u ovakvim okolnostima trebalo planirati poslije 214 dana, ili otprilike nakon sedam mjeseci.

Poslije ovih razmatranja može se zaključiti da je optimalni trenutak dokovanja izračunan na temelju pada brzine broda uz konstantnu snagu mnogo jednostavniji od onoga dobivenog na osnovi povećanog potroška goriva zbog porasta snage porivnog stroja radi održavanja konstante brzine. Naime, cijena goriva je veličina koja se stalno mijenja, često i skokovito, a njegova kvaliteta, također promjenljiva pri svakoj opskrbi, uglavnom je za korisnike nepoznanica. U prikazanom pristupu, međutim, operira se s (dnevnim) fiksnim troškovima broda, koji su uvijek poznati (izračunati), i s padom brzine, koji je mjerljiv.

Preporučujući, dakle, ovaj obrazac kao jednostavan i prikladan za terotehnološku obradu problema optimalnog trenutka dokovanja broda, mora se, međutim, posebno istaknuti da se u njemu operira s padom brzine koji je isključiva posljedica povećanog otpora broda. Svaku eventualnu primjesu valja brižljivo identificirati i izlučiti. A to nije uvijek jednostavan i lak zadatak. Tako pri analizama treba eliminirati utjecaj struje, mora i vjetra, te utjecaj smanjenja djelotvornosti samoga porivnog sustava, kojemu je i ovaj sustav jednako tako podložan. Naime, pad djelotvornosti porivnog sustava ispravlja se u terotehnološkom pristupu korektivnim zahvatom na sustavu bez zastoja broda, a svakako bez dokovanja, pa bi pribrajanje utjecaja porivnog sustava vrijednostima u izrazu za proračun optimalnog trenutka dokovanja bila velika pogreška. Ona bi dovela do sasvim pogrešnog rezultata. Zato se provjera brzine broda u službi uvijek kombinira s provjerom performansi ostalih brodskih sustava, posebno porivnoga.

4.4. UTJECAJ PROPISA NA BRODSKU TEROTEHNOLOGIJU

Jasno je da brod, već po tome što kao prijevozno sredstvo zalazi u teritorije različitih zemalja, u svojoj izvedbi i ponašanju nužno podliježe propisima koji su u tim državama na snazi. Da bi mogao uopće obavljati svoju međunarodnu prometnu funkciju, trebalo je da se ti propisi od zemlje do zemlje previše ne razlikuju. U suprotnomu on bi bio ograničen na promet samo između luka svoje zemlje. Da se ta situacija prevlada na prihvatljiv i zadovoljavajući način, nastale su međunarodne konvencije zemalja potpisnica. Ta se dogovaranja danas pretežno obavljaju u okviru Organizacije ujedinjenih naroda, i to u Međudržavnoj pomorskoj organizaciji (IMO - Intergovernmental Maritime Organization). Ali, ima dogovora koji nisu zaključeni u okviru IMO-a, a jednako se u jednom svom dijelu tiču broda, odnosno brodskih uređaja.

Nije svrha ovih razmatranja da se popišu sve važeće konvencije i dogovori niti da se razglabaju njihova brojna pravila, već samo da se usput spomenu one najvažnije i da se temeljitije pozabavi utjecajem njihovih i drugih propisa na području brodske terotehnologije.

U tom kontekstu najvažnije konvencije donesene u okviru IMO-a, su ove:

- Konvencija o teretnim crtama (ili kako se još naziva Konvencija o nadvođu – (Load Line Convention);
- Konvencija o sigurnosti života na moru, tzv. SOLAS - konvencija (Safety of Life at Sea);
- Konvencija za sprečavanja onečišćenja mora uljima, tzv. MARPOL - konvencija (Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil);
- Konvencija o standardima obuke i stražama, tzv. STWC -- konvencija (Standard of Training and Watchkeeping Convention).

Najvažniji međunarodni dogovori doneseni izvan IMO-a, koji se u jednom svom dijelu odnose i na brod, su ovi:

- Radio propisi (Radio Regulations) koji su utvrđeni u okviru Međunarodne unije za telekomunikaciju (ITU - International Telecommunications Union);
- Pomorski propisi i preporuke Međunarodne organizacije za rad, tzv. ILO-propisi (International Labour Organization).

Osim ovih dogovorenih ima još propisa koji se samo primjenjuju na brod,

a opravdano ih je na neki način smatrati međunarodnim, iako nisu donošeni na osnovi suglasnosti međunarodne zajednice. To su pravila i propisi klasifikacijskih zavoda, međunarodnih i nacionalnih, na koje se i konvencije oslanjaju.

Razloge nastanka međunarodnih konvencija, iako ukratko i pojednostavnjeno, opisali smo na početku ovog poglavlja. Geneza klasifikacijskih zavoda nešto je drukčija. Oni su nastali početkom prošlog stoljeća kao institucionalizirani oblik već postojeće prakse. Naime, svaka plovdba broda morem naziva se i danas plovidbenim pothvatom, što znači da u sebi krije stanovitu pogibelj. U prošlim stoljećima glavna opasnost bile su vremenske nepogode i gusarski ili ratni prepadi. Danas je opasnost od vremenskih nepogoda, kao rezultat napretka brodograđevne tehnike i brodske tehnologije, uvelike smanjena, ali su zato mnogostruko porasle prometne nezgode (sudari, udari) i opasnosti od samih tereta koji se prevoze, posebno onih iz kategorije s oznakom "opasni", a kojih se broj neprestano povećava. U prošlosti kao i danas vlasnici tereta i vlasnici brodova željeli su se osigurati protiv rizika plovidbenog pothvata. To su im pružali pojedinci ili, češće, skupina pojedinaca, uz naplatu svote novca, računajući da će, dakako, iz takve transakcije izvući profit. Da bi smanjili vlastiti rizik, osiguratelji bi dali da brod pregledaju stručnjaci, koji bi nakon pregleda dali pismenu potvrdu o nađenom stanju i karakteristikama broda. Iz tih grupa pojedinaca-osiguratelja razvila su se današnja osiguravajuća društva, a od pomorskih stručnjaka ili vještaka današnji klasifikacijski zavodi. Klasifikacijski su zavodi, dakle, po svojoj prvotnoj namjeni bili (i ostali) servis osiguravajućih društava.

Institucionaliziranjem, klasifikacijski su zavodi počeli unaprijed propisivati pravila koja brod mora zadovoljiti da bi mogao dobiti njihovu potvrdu o valjanosti. Tako su se razvila pravila za gradnju brodova i njihovu kontrolu tijekom iskorišćavanja. Klasifikacijskih zavoda ima više. Neki se nazivaju međunarodnim, a neki nacionalnim. Kriterij za postizanje naslova "međunarodni" je tonaža koja je registrirana u jednom zavodu (otuda naziv "registar brodova"), postotak te tonaže pod raznim zastavama, te broj i razmještenost vlastitih vještaka po svijetu.

Iako svaki klasifikacijski zavod izdaje svoja pravila za gradnju brodova i njihovu kontrolu, ona se međusobno bitno ne razlikuju ili, bolje rečeno, sva zadovoljavaju, prema dostignutim saznanjima, osnovne kriterije sigurnosti. Zato se i međunarodne konvencije oslanjaju na klasifikacijske svjedodžbe (svjedodžbe o klasi) kao na valjane dokumente.

Ove konstatacije upućuju na samu bit postavljenog problema. Naime, i međunarodne konvencije i dogovori, kao i klasifikacijski zavodi, propisuju pravila kojima je svrha postizanje i održavanje izvjesnog (dogovorenog) stupnja sigurnosti. Vidjeli smo već da sigurnost (safety) i pouzdanost (reliability) nisu isti pojmovi. Brodska terotehnologija oslanja se pak na pouzdanost uz zahvate. Iz toga se može zaključiti da se propisi koji dolaze sa strane sigurnosti ne moraju poklapati s principima brodske terotehnologije. Jer, imajući na umu jedino sigurnost, oni ne mogu voditi računa o aspektima bitnima za terotehnologiju, kao što je minimalizacija troškova održavanja.

Za pravilnu prosudbu valja, međutim, ove općenite zaključke podvrgnuti ipak potanjoj raščlambi. Treba zapravo propise dijeliti na one koji se odnose na gradnju broda i na one druge koji su u vezi s kontrolom broda i njegovih uređaja tijekom njegova iskorišćavanja, odnosno cijelog vijeka trajanja (vijeka iskorišćavanja).

Pravilima za gradnju broda propisuju se norme, kriteriji i metode kojih se mora pridržavati u osnivanju i gradnji da bi brod kao gotov proizvod (i teret u njemu) imao dovoljan stupanj sigurnosti u plovidbi kojoj je namijenjen. Ti su propisi uglavnom izvan samog područja terotehnologije, ali njihova razborita strogost ide joj u prilog jer joj zadaću najčešće poslije čini lakšom.

Drugi dio propisa klasifikacijskih zavoda, pa i konvencija, koji se odnosi na kontrolu tijekom iskorišćavanja broda, zadire poprilično u područje terotehnologije. On normira opseg i periodicitet rasklapanja pojedinih brodskih uređaja radi provjere stanja, što nije ništa drugo doli normiranje zahvata održavanja. Svrha, međutim, tog zahvata (održavanja) nije (tero)tehnološka, već sigurnosna. Sigurnost je, pak, jedan pojam, pouzdanost drugi, a terotehnologija treći. Među njima vlada neka veza, ali ona nije izravna, već izvedena. Naime, nijedna od tih disciplina nema u svom pristupu namjeru negacije (remećenja) ostalih. No njihovi zadaci i utemeljenost su drukčiji. Pouzdanost ima za svoje polazište matematičku (statističku) egzaktnost, terotehnologija logiku ekonomskog inženjerstva, a sigurnost konvenciju, dakle dogovor o uočenim opasnostima i razboritom stupnju njihove prevencije. Iako to možda zvuči paradoksalno, sigurnost, kojoj je osnovna zadaća da štiti ljudska bića i materijalna dobra od propasti, budući da je rezultat dogovora korisnika, najmanje je znanstveno utemeljena.

A ona jedina propisuje pravila (norme, zakone) koje se moraju bezuvjetno poštovati, kojima se valja potčiniti. Ostale dvije discipline imaju matematičke obrasce koje treba zadovoljiti, ali koji u samom nastanku prihvaćaju svoju relativnu egzaktnost, i redovito imaju ugrađenu metodu vlastite (automatske) mijene. Sigurnost, iako prihvaća i slijedi isti taj razvojni put, obvezna je na međunarodni dogovor korisnika kao jedini svoj obrazac, što je čini tromom, neprilagođenom i, ponegdje, sukobljenom s procesom brodske terotehnologije.

Općenito bi se, dakle, dalo reći da propisi, oni koji se tiču perioda iskorišćavanja broda, "najahuju" na brodsku terotehnologiju "svojim" zahvatima, u biti identičnima terotehnološkim, ali koji se odvijaju u "pogrešnim" (neprilagođenim) terminima. To zapravo znači da je sigurnost broda tijekom iskorišćavanja koncipirana na principu "štihproba", pa makar se te provjere provodile u propisanim i točno definiranim vremenskim (kalendarskim) intervalima, jer ti intervali ne slijede stvarni terotehnološki proces. To upućuje na zaključak da se brodska terotehnologija u svojim razmatranjima ne bi morala za (nametnute) propise ni zanimati, kao što je ne zanimaju ni kvarovi koji sustavima nisu inherentni.

Ovaj je zaključak, međutim, samo djelimično točan. Jer, dok se kvarovi koji sustavima nisu inherentni (a to su, prisjetimo se, oni što nastaju zbog vanjskih činilaca, kao što su sudar, požar, pogrešno rukovanje itd.) mogu, ali i ne moraju dogoditi, dotle se zahvati propisani radi provjere sigurnosti moraju izvršiti, i to u više-manje preciznim intervalima. Na taj način oni postaju zahvati koje također valja planirati, što ih onda svrstava, makar su nametnuti, i u sam proces održavanja. Zadaća je, dakle, organizacije održavanja da takve zahvate što bolje "uklopi" u one predviđene terotehnološkim procesom, i tako ih na najbolji mogući način "iskoristiti".

Utjecaj propisa na brodsku terotehnologiju treba razmotriti s još jednog važnog aspekta. Troškovi održavanja dijele se na direktne i indirektne. Za indirektne je rečeno da su posljedica zastoja izazvanoga kvarom i /ili zahvatom za njegovo otklanjanje. Trenutak je sad da se zapitamo što bi se dogodilo kad brod ne bi udovoljio nekom od propisa? U prvoj luci uslijedila bi zabrana isplavljenja sve dok se propisu ne udovolji. Tako je u

uzroke zastoja osim kvarova neizbježno uvrstiti i administrativne zabrane zbog neudovoljavanja propisima u vezi sa sigurnošću. Propisi, dakle, ako im se ne udovolji, mogu postati generator indirektnih troškova održavanja. Iz prakse je poznato da takvi primjeri nisu rijetkost. Budući da sigurnost nije u svojoj nakani suprotstavljena terotehnologiji, već naprotiv, obje teže istomu krajnjem cilju - ispravnom iskorišćavanju broda, samo svaka sa svojim posebnim pristupom (i zato jedna bez druge ne mogu), to se onda svaka administrativna mjera zbog neudovoljavanja propisima u vezi s brodskim sustavima koja uzrokuje zastoje, mora pripisati propustima u organizaciji održavanja. Time takav trošak postaje indirektni trošak održavanja.

Ova razmatranja dovoljna su za konačni zaključak o utjecaju propisa (u vezi sa sigurnošću) na brodsku terotehnologiju. Iako takvi propisi, odnosno zahvati koje oni uzrokuju, nisu u skladu s terotehnološkim procesom i često s njime interferiraju, stvarajući probleme u organizaciji održavanja, pa i u samoj tehnologiji, ponekad duplirajući zahvate, oni se moraju prihvatiti kao nametnuti dio brodske terotehnologije radi postizanja zadovoljavajućeg stupnja sigurnosti broda kao objekta na kojemu se odvija terotehnološki proces. Klasifikacijski zavodi počinju shvaćati posljedice interferencije svojih propisa (o sigurnosti) s brodskim terotehnološkim procesom, pa dijelom već u pravilima (postupna reklasifikacija), a dijelom u praksi, nastoje prilagoditi svoje zahtjeve za provjeru sigurnosti terotehnološkom toku. Tako oni već prihvaćaju plan održavanja sačinjen na dobro razrađenom terotehnološkom pristupu (uz dokaze o dobroj organizaciji i sigurnom toku informacija o zahvatima koje treba da i njima redovno pristižu), kao valjanu osnovu za ocjenu stupnja sigurnosti broda, reducirajući propisima zahtijevane provjere. Za očekivati je da će se taj proces nastaviti i da će se nesklad između terotehnološkog pristupa i pristupa sa stajališta sigurnosti svesti samo na ono što je zaista neizbježno.

4.5.. ORGANIZACIJA SLUŽBE ODRŽAVANJA U BRODARSTVU

Rukovođenje i obavljanje procesa održavanja brodovlja povjereno je najčešće posebnoj službi u brodarskoj radnoj organizaciji. Bez obzira na to kako je uklopljena u ukupnu organizacijsku shemu, ta služba ima svoje osoblje na kopnu i na brodovima.

Ovoj tvrdnji valja posvetiti nešto više pažnje. Vrlo se često, naime, pod pojmom službe održavanja (brodovlja) razumijeva samo osoblje na kopnu, a ono na brodovima, od kojega se u terotehnološkom pristupu očekuje i zahtijeva da obavlja većinu zahvata održavanja, biva nekako maglovito svrstano u pomorce. A to ima konotaciju izdvojenosti i odvojenosti od procesa, s negativnim odrazom i na osjećaj dostojanstva i na osjećaj odgovornosti. To bi bilo jednako kao da se neki proces proizvodnje za koji su potrebni radnici, zamisli bez radnika. I kao što bi to bilo besmisleno, tako je besmisleno zamišljati službu održavanja (brodovlja) bez brodske osoblje. Zbog toga, budući da je glavni nosilac održavanja broda i njegovih uređaja, brodske osoblje sastavni dio službe održavanja i njezin je najširi stručni i radni potencijal.

Ova postavka, dakako, ne nosi u sebi nikakvu isključivost. Iako je glavni nosilac procesa održavanja na brodu, brodske osoblje to nije jedini zadatak. Zato je ono sastavni dio i drugih službi brodarske radne organizacije, već prema tome koliko se pojedina problematika na brodu manifestira. U tome i jest jedna od specifičnosti i jasan pokazatelj složenosti pomorskog poziva.

Razmatrajući ulogu i zadatke brodske osoblje u kontekstu službe održavanja (brodovlja) u brodarskoj radnoj organizaciji, potrebno se posebno osvrnuti na njegovo značenje u unapređivanju terotehnološke prakse, pa i teorije. Naime, nesumnjivo je da se cjelokupno održavanje broda i njegovih uređaja gotovo isključivo događa na brodu, bez obzira na to obavlja li ga brodske osoblje ili kopnena radionica. Brodske osoblje, svakako, uvijek ili u njemu izravno sudjeluje ili ga izravno nadzire. Ono je, prema tome, u položaju da izravno prikuplja podatke (o nađenom općem stanju uređaja, o opsegu zahvata, o stanju pojedinih komponenata i razlogu njihove zamjene), da ih preradi u terotehnološke informacije i time svjesno i znalački utječe na spoznaje vrlo bitne za daljnji razvoj brodske terotehnologije.

Općenito govoreći, fiksna služba održavanja uvelike ovisi o efikasnoj razmjeni informacija na relaciji kopno-brod i obratno. Pri tome se mora istaknuti da nije riječ o razmjeni podataka, već informacija, tj. obrađenih podataka. Na razini broda to znači da

nije dovoljno npr. obavijestiti da je neka komponenta obnovljena (zamijenjena), već se taj podatak dopunjuje (obrađuje) analizom nađenog stanja komponente u kvaru i zaključkom o uzroku kvara. Takve se informacije slijevaju sa svih brodova u floti u jednu jezgru, a to je kopneno osoblje službe održavanja. U toj jezgri informacije se dalje obrađuju na razini flote kao jedinstvenog sustava i postaju elementi za stvaranje odluke, koja se onda pretvara u upute osoblju na brodovima i pojedinim drugim segmentima službe, radi provedbe u djelo. U toj su, dakle, odluci utemeljena sva zapažanja i svi zaključci svih onih koji su u održavanju sudjelovali i koji ga obavljaju. Autoritet takva rukovođenja osniva se na zajedničkom znanju i uviđanju. Ovakav pristup vodi zrakasto svakoga u središte, a samo središte čini najmanje ovisnim o imenima i ličnostima.

Pod razmjenom informacija razumijeva se da su one brze i precizne. Ali, kad se govori o brzini i točnosti informacija u kontekstu brodske terotehnologije i službe održavanja, onda to valja shvatiti donekle uvjetno. Brod je, naime, amotalna i od sjedišta svoje radne organizacije odalečena jedinica. Prijenos se informacija tu susreće s teškoćama koje radne organizacije s pogonima lociranim u jednom krugu ne poznaju. Pojavom satelitske komunikacije i taj je problem (tehnički) već prevladan. Ali, treba upitati je li problem brzine informacija od toliko presudne važnosti za efikasnost službe održavanja u brodarstvu.

Brod je samotalna jedinica i njime upravlja osoblje koje, po stručnom profilu i po organizaciji, replicira gotovo u potpunosti organizacijsku shemu svakoga većeg samotalnog pogona. To znači da je ono sasvim sposobno samo rješavati tekuću problematiku i samotalno donositi konačne i važne odluke na razini svakidašnjice. I zaista, vrlo su rijetke prilike kad je brodom osoblju u terotehnološkom procesu na brodu prijeko potrebna trenutačna povezanost s kopnenim osobljem službe održavanja. S druge strane, kopnenom osoblju službe održavanja za planiranje održavanja i obavljanje svog dijela zadatka u terotehnološkom procesu (ako je organizacija održavanja dobro postavljena) hitnost informacija ne može biti neophodna. Jer, da bi informacija o nekom kvaru ili obavljenom zahvatu održavanja dobila svoju vrijednost na onoj višoj razini, ona mora biti uklopljena u ostale informacije koje s brodova pristižu. Može, dakle, svaka takva informacija, promatrana pojedinačno, zaista pričekati petnaestak i više dana, a da se ništa ne izgubi niti poremeti.

Veći kvarovi koji brodskim sustavima nisu inherentni, kao što su slučajevi više sile, ili općenito događaji toliko krupni i iznenadni da se, na neki način, mogu svrstati u tu kategoriju, izuzetak su prethodnog pravila. Tu je hitna komunikacija s kopnenim osobljem u službi održavanja potrebna, a često i neophodna. Ali, iako je služba održavanja pozvana da se s njima nosi, takvi slučajevi imaju rijetko kad veze s brodskom terotehnologijom u pravom smislu, pa te informacije ne moraju biti uklopljene u informacijski sustav. To su redovno obične govorne (telefonske, telegrafske) komunikacije, a slučajevi se rješavaju pojedinačno, izvan terotehnološke domene. Ako imaju veze s terotehnološkim procesom, informacije se o takvim okolnostima naknadno unose u informacijski sustav.

Mora se, dakle, zaključiti da se pod brzinom informacija na polju terotehnologije podrazumijeva zapravo njihovo redovno periodičko pritjecanje u dogovorenim vremenskim intervalima, duljina kojih ovisi o prirodi poslovanja i o načinu iskorišćavanja broda.

Što se tiče točnosti informacija, i nju ne treba shvatiti kao apsolutnu, barem ne u svim njezinim aspektima. O svakom zahvatu održavanja, naime, mora se točno i cjelovito izvijestiti. Netočna informacija jednako je tako štetna kao i nikakva. Nije, međutim, uvijek lako kad se neki kvar otkrije, i nakon potanje analize, razlučiti je li to slučajni kvar, onaj zbog dotrajalosti ili kvar uzrokovan nepravilnim opsluživanjem i rukovanjem. Tu je procjena često subjektivna, i kao takva podložna je grešci. Savjesnost tu, dakle, ima najvažniju ulogu. Namjerno i svjesno prešućivanje ili izvrtanje uzroka kvara neodgovoran je čin, koji će ponekad dovesti do pogrešnih zaključaka i zabluda s dalekosežnim štetnim posljedicama za cjelokupnu brodsku terotehnologiju. Savjesna procjena, međutim, pa bila ona i netočna, nije toliko kobna. Najprije zato što se onome koji je pozvan da takvu procjenu redovno daje neće uvijek potkrasti greška i neće se uvijek u sličnim okolnostima istovrsna greška ponoviti. A zatim, jer se u metodama analize prikupljenih informacija pretpostavlja mogućnost takvih slučajnih grešaka i one se nastoje posebnim postupkom otkriti i ispraviti. Informacija, dakle, koja s broda pristiže mora biti onoliko točna koliko je to moguće. Ona, pak, koja nakon obrade brodu pristiže s kopna mora biti jasna određena i brodskom osoblju potrebna i korisna

Kopneno je osoblje jezgra službe održavanja u brodarskoj radnoj organizaciji. Ona se sastoji od više segmenata koji tek sjedinjeni čine cjelinu.

Jedan od segmenata su tzv. inspektori (superintendents). Svaki od njih ima na brizi nekoliko brodova iz flote brodarske radne organizacije (oko 5 do 6) i odgovoran je za pravilno odvijanje terotehnološkog procesa na njima. Ako je plan održavanja dobro sačinjen, a brodsko je osoblje stručno, uvježvano, dovoljno brojno i dobro organizirano, za dio terotehnološkog procesa koji se odvija na brodu inspektor nema puno brige. Njegova je zadaća da prati performanse broda i njegovih sustava, odvijanje terotehnološkog procesa na brodu i da intervenira ako dođe do odstupanja, najprije traženjem dodatnih informacija, a potom, ako ustreba, i osobnom prisutnošću na brodu. Povremeno, u pravilnim intervalima (od 3 do 6 mjeseci), on osobno provjerava stanje i performanse sustava na brodu te kvalitetu izvršenih zahvata i postignutu produktivnost rada.

Koliko god bila zadovoljena jednadžba moći održavanja, cjelokupni terotehnološki proces ne može se obaviti samo vlastitim snagama brodskog osoblja. Tu su dokovanja, radovi na brodskom podvodnom dijelu, te obnove dijelova strukture, cjevovoda i si. za koje se mora angažirati osoblje i oprema kopnene radionice ili brodogradilišta. Funkcija inspektora u tom dijelu procesa održavanja dolazi posebno do izražaja. On prikuplja specifikacije potrebnih radova s povjerenih mu brodova, analizira ih, dotjeruje i usklađuje prema globalnim informacijama u sustavu i prema zacrtanoj poslovnoj politici radne organizacije. Potom taj dovršeni materijal uobličuje u zahtjev za ponudu, koji šalje najmanje na tri adrese (barem za veće zahvate kao što su dokovanja i radovi za reklasifikaciju) u geografskom području gdje se brod u tom trenutku očekuje. Po primitku ponuda odabire najpovoljniju (obično zajedno s rukovodiocem), obavještava brod (s konačnom specifikacijom radova u prilogu) i brodogradilište (radionicu) o odluci i neposredno prije dolaska broda "seli se" u brodogradilište kojemu su povjereni radovi. Tu, zajedno s brodskim osobljem, nadzire radove i brine se o njihovoj kvaliteti i odvijanju kako ne bi nastupilo prekoračenje roka i cijene. Kad su radovi završeni, on ostaje još kratko nakon isplovljenja broda da bi kontrolirao zaračunati opseg i cijenu obavljenih radova, i (nakon često potrebnog

usklađivanja) potvrdio račun brodogradilišta.

Iz ovog opisa zadataka očito je da funkcija inspektora zahtijeva stručnjaka širokog dijapazona. On mora poznavati brodske uređaje, njihovo funkcioniranje, terotehnološke principe i proces, zatim mogućnosti, kvalitetu i ozbiljnost brodogradilišta (radionice; tu se oslanja na informacijski sustav), kretanje cijena i mora, konačno, imati pregovaračku spretnost i znanje, uz sposobnost lake komunikacije na stranom jeziku (jezicima).

Iako i opisani segment ima neke od karakteristika, ostali segmenti jezgre službe održavanja čine njezin pravi logistički dio. To su u prvom redu tehnolozi. Oni razrađuju plan održavanja za svaki pojedini brod u floti, planiraju potrebne doknadne dijelove i materijale za održavanje po vrsti i količini. Pri tome vode računa o potrebnoj razini pouzdanosti, sigurnosti i uporabljivosti broda, prate i analiziraju ostvarenje plana i njegovu efikasnost. Za tu funkciju potrebni stručnjaci moraju do u tančine poznavati brodske uređaje, njihovu konstrukciju i djelovanje, njihove komponente, te brodsku terotehnologiju u svim njezinim detaljima u vezi s teorijom i primjenom.

Idući važan segment je osoblje zaduženo za opskrbu brodovlja. Njegova je zadaća da, prema planu i posebnim zahtjevima, nabavlja (naručuje) doknadne dijelove i ostale materijale, te da organizira i navrijeme osigura njihovu dostavu na brod. I taj posao zahtijeva stručnjake s dobrim poznavanjem brodskih uređaja i njihovih komponenata, zatim tržišta, proizvođača, cijena, rokova isporuke i putova dostave.

Jezgra službe održavanja zatvara se grupom specijalista za podršku. To su redovito specijalisti različitih profila: brodograđevnog, (brodo) strojarskog, elektrostrojarskog, elektroničkog i nautičkog. Zadaća im je da pružaju specijalističku podršku brodskom osoblju i osoblju ostalih segmenata službe održavanja, da prate literaturu i razvoj brodograđevne tehnike te brodske i ostale tehnologije, da slijede i interpretiraju pravila i propise te da se brinu o njihovoj operacionalizaciji u sistemu i u terotehnološkom procesu. Oni surađuju u izradi (kompjutorskih) programa za službu održavanja, rješavaju posebne probleme iz užeg područja svoje specijalnosti kad se oni pojave, bilo u uredu ili na brodu, te rukovode izradom projektnih zahtjeva, surađuju s brodogradilištem u izradi projekta

naručene novogradnje, odobravaju projektnu dokumentaciju i sudjeluju, zajedno s inspektorom, u nadzoru gradnje i isporuke novog broda.

Na čelu je službe održavanja njezin rukovodilac. Kako se može uvidjeti iz opisa zadataka grupe specijalista za podršku, najčešće je ova služba zadužena i za novogradnje, što dijelom ide i u razvoj. Tad se ona obično naziva "tehničkom službom"..

Smještaj ove službe u shemi radne organizacije danas je još vrlo šarolik. Naime, brodarstvo kao privredna grana ubraja se u one tradicionalističke, što znači konzervativne, ili, bolje rečeno, u one koje sporo prihvaćaju novine, posebno u organizacijskom smislu. No, što vrijedi za cjelinu, ne vrijedi podjednako i za sve njezine dijelove. Zato brodarstvo nije nikad samo na jednoj razvojnoj razini. Ima brodarskih poduzeća koja su još, tako reći, u prošlom stoljeću, a ima ih i vrlo naprednih. Odatle tolika šarolikost u organizacijskim shemama (a situacija se neće tako uskoro promijeniti), pa je negdje ova služba bez nekih segmenata koji su nabrojeni, ponegdje je samo zadužena za održavanje i odvojena od novogradnji i razvoja, negdje je na razini odsjeka, a ponegdje na razini odjela (sektora).

Moderna se organizacija brodarskog poduzeća sve više orijentira prema "operativnom odjelu" (sektoru). Taj odjel rukovodi (upravlja) cjelokupnim "prijevoznim" procesom brodova u floti i zadužen je za njihovo održavanje i performanse, za njihovu opskrbu doknadnim dijelovima, materijalima, gorivom, mazivom, vodom i hranom. On se brine za popunu brodskim osobljem, za osiguranje rizika, za izbor najpogodnijih ruta u pojedinom putovanju, te za optimalizaciju lučkih troškova, a sve to oslanjajući se na integralni informacijski sustav, povezan najčešće s vanjskim (međunarodnim) vrelima informacija. U tom kontekstu služba o kojoj je riječ bila bi na razini odsjeka, jednim svojim dijelom integrirana u "operativni odjel" (sektor), a drugim u "razvojni" ili "odjel za planiranje". Prigovor da bi ona tako bila "razuđena", ne stoji jer već danas sve važnije odluke teže k interdisciplinarnom suglasju, gdje je svaki element (podjednako) važan, a kohezija (i efikasnost) postiže se uvjetovanom funkcionalnom suradnjom i ravnomjernom raspodjelom suodgovornosti na svakoga pojedinog subjekta u procesu. On je onda odgovoran "zaduženom" rukovodiocu bez obzira na odjelno "pozicioniranje". Nalazimo se

u vremenu tzv. informatičke revolucije, dakle u skokovitom preobražaju društva, pa se teško za zaključak koristiti iskustvom. Ali, iz ove perspektive, ovakva koncepcija "operativnog odjela" (sektora) najmanja je, čini se, organizacijska adaptacija brodarskog poduzeća koja se može očekivati.

D R U G I D I O

5. PREUZIMANJE BRODA

5.1. POČETNI KVAROVI I PERIOD UHODAVANJA

U poglavlju 2.1. obrađeni su razlozi početnih kvarova. Oni nisu osobito zanimljivi za terotehnologiju broda u iskorišćavanju. Ali, da bi se brod iskorišćavao, valja ga jednom od brodogradilišta preuzeti. U tom preuzimanju mora aktivno sudjelovati brodograđevno i brodsko osoblje. Proces preuzimanja novog broda je početak perioda uhodavanja, i to njegov najintenzivniji dio. Zapravo, pokusi i provjere koje se obavljaju tijekom procesa preuzimanja novog broda, osim što imaju za svrhu provjeru kvalitete imaju i namjeru provjere pouzdanosti svih njegovih sustava. Budući da je trajanje provjera i pokusa prekratko, sve ono što ostane nakon tih "namjera" ulazi u tzv. garancijski period i pada u pogledu zahvata održavanja na leđa broskog osoblja. Zbog toga je dobro upoznati se detaljnije s početnim kvarovima i periodom uhodavanja.

Kako je već rečeno, početni su kvarovi posljedica slabe izrade, odnosno slabe kvalitete ili slabe montaže pojedinih komponenata. Kad su već ugrađene u sustav, one se sve mogu svrstati pod zajednički pojam "supstandardnih komponenata".

Supstandardne komponente imaju svoj vlastiti indeks kvarova, koji je, prema indeksu kvarova ostale populacije, vrlo visok. One, međutim, zakazuju nasumce, bez ikakva reda, pa manifestacija početnih kvarova pripada također stohastičkim procesima. Zato je njihova raspodjela eksponencijalna, ali s prosječnim vremenom između kvarova (m_e) u redu veličina mnogo manjem nego što je prosječno vrijeme između kvarova (m) ostale populacije. Supstandardne komponente u pravilu čine mali (manji) dio velike populacije "zdravih" komponenata; ako se svaka zamijeni (obnovi) čim iznevjeri, populacija supstandardnih komponenata gasi se eksponencijalno i relativno brzo. No, budući da je

broj upstandarnih komponenata u početnoj populaciji uvijek nepoznat, njihova prisutnost utječe na pouzdanost cijele populacije. To je potpuno u skladu s definicijom pouzdanosti velike populacije:

$$R(t) = \frac{P_s}{P_0} \quad (1)$$

pri čemu je P_0 početna populacija komponenata, a P_s je broj onih koje su na kraju promatranoga vremenskog razdoblja ostale ispravne. Pa neka je broj supstandardnih komponenata u početnoj populaciji vrlo malen, tek nekoliko njih ili čak samo jedna, pouzdanost sustava bit će ipak vrlo mala, jer ona samo ovisi u velikoj vjerojatnosti kvara tih nekoliko supstandardnih komponenata. Sustav će tako ostati nepouzdan sve dok se i posljednja supstandardna komponenta ne eliminira, tj, dok ne prođe cijeli period uhodavanja.

Da bi se ispitao utjecaj supstandardnih komponenata na pouzdanost nekog sustava, pretpostavit će se da takav sustav unutar " P_0 " komponenata početne populacije ima " P_e " supstandardnih komponenata. Pretpostavit će se također da je broj tih supstandardnih komponenata mnogo manji od broja komponenata početne populacije, tj.:

$$P_e \ll P_0$$

Uzet će se još i to da su sve "dobre" komponente sa 100% pouzdanošću ($R(t) = 1$), tj. da uopće ne mogu iznevjeriti dok je prosječno vrijeme između kvarova supstandardnih komponenata (m_e) vrlo kratko. Vjerojatnost kvara (nepouzdanost) pojedine supstandardne komponente iznosila bi tad:

$$Q = 1 - e^{-t/m_e} \quad (62)$$

a za vjerojatnost kvara (nepouzdanost) cijele populacije supstandardnih komponenata " P " dobiva se:

$$Q = 1 - e^{-P_e t/m_e} \quad (63)$$

Budući da se pretpostavilo da su "dobre" komponente sa 100% pouzdanosti, pouzdanost cijelog sustava od " P_o " populacije komponenata, od kojih je " P_e " supstandardnih, iznosila bi:

$$R_{su} = e^{-P_e t / m_e} \quad (64)$$

Iz ovih izvoda očito je da pouzdanost svakog sustava koji se pušta u pogon, u samom početku ovisi potpuno o nepouzdanosti populacije " P_e " supstandardnih komponenata. Budući da supstandardne komponente iznevjeruju, njihova populacija " P_e " eksponencijalno iščezava, dok početna populacija " P_o " ostaje konstantnom, jer se supstandardne komponente, čim one iznevjere, zamjenjuju (obnavljaju) "dobrim". Tako se pouzdanost sustava poboljšava svakom pojedinom obnovom (zamjenom), pa će nakon prve biti:

$$R_{su} = e^{-(P_e - 1)t / m_e}$$

nakon druge:

$$R_{su} = e^{-(P_e - 2)t / m_e}$$

itd.

Pa će na kraju perioda uhodavanja dostignuti onu projektiranu:

$$R(t)_{su} = e^{-t / m} \quad (9)$$

Međutim, sve dok je i jedna od supstandardnih komponenata u populaciji, pouzdanost sustava ne može biti bolja od pouzdanosti te posljednje supstandardne komponente, a ona iznosi:

$$R = e^{-t / m_e} \quad (65)$$

Za (brodsku) terotehnologiju bilo bi najbolje da supstandardnih komponenata u sustavima nema. To je, dakako, sasvim nerealno pretpostaviti. Ali, kad ih već ima, poželjno bi bilo da njihovo prosječno vrijeme između kvarova " m_e " bude što kraće. Tako bi se period uhodavanja mogao "konzumirati" još tijekom pokusnog rada uređaja i pokusne plovidbe.

Ako je, dakle, u početnoj populaciji " P_o " bilo " P_e " supstandardnih komponenata, koliko će onda trajati period uhodavanja. To je statistički problem koji je funkcija broja supstandardnih komponenata i njihova prosječnog vremena između kvarova " m_e ". Ako je očekivano vrijeme da jedna supstandardna komponenta iznevjeri " m_e " i ako ih u početku ima " P_e ", onda će period uhodavanja iznositi:

$$E(t) = m_e \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{P_e} \right) \quad (66)$$

Pokušajmo primijeniti taj obrazac na jedan donekle realistični primjer. Neka svaki sustav na (novom) brodu ima po deset supstandardnih komponenata, neka je njihovo " m_e " = 10 sati i neka su svi sustavi odjednom u pokusnom radu. Period uhodavanja trajao bi tada oko:

$$E(t) = 3 m_e = 30 \text{ sati}$$

Za brodske sustave broj od deset supstandardnih komponenata je popriličan, ali prosječno vrijeme između kvarova " m_e " od 10 sati je prekratko. Realnije bi bilo pretpostaviti negdje oko dvije supstandardne komponente po sustavu, a prosječno vrijeme između kvarova oko " m_e " = 100 sati. Pri tome bi period uhodavanja bio:

$$E(t) = 1,5 m_e = 150 \text{ sati} \quad \text{ili} \quad 6,25 \text{ dana}$$

To nije daleko od primopredajnog procesa u praksi.

Ovdje je, međutim, važno istaknuti da vrijeme " $E(t)$ " znači prosječno trajanje perioda uhodavanja, izračunato na osnovi eksponencijalne raspodjele prosječnog vremena između kvarova " m_e ". Znači, valja očekivati da će se samo 63% početnih kvarova dogoditi u razdoblju od vremena $t = 0$ do vremena $t = E(t)$, a 37% njih nekad kasnije. Zbog toga, da bi se otklonili svi početni kvarovi i postigla projektirana pouzdanost, period uhodavanja morao bi biti barem pet puta dulji, tj. $5 \times E(t)$. A to se u praksi ne radi, pa dio zahvata na otklanjanju početnih kvarova nužno otpada na brodsko osoblje.

5.2. POKUSI I PROVJERE BRODSKIH UREĐAJA I SUSTAVA

5.2.1. Uvodno razmatranje

Pri podjeli broda u osnovne sustave (vidi poglavlje 3.1) trup je definiran kao statički nosač s obilježjima mehaničkog sustava, jer se on pod nametnutim porivom giba i jer "pruža" otpor tom gibanju, koji se tijekom vremena povećava sve do mogućeg zastoja. Iz toga proizlazi da se njegove mehaničke karakteristike manifestiraju tek u periodu iskorišćavanja. U trenutku primopredaje, sve do pokusne plovidbe, on je zapravo statički nosač brodskih uređaja, koji podliježe provjerama izvedbe, ali ne i provjerama "funkcioniranja". Provjera izvedbe (elemenata konstrukcije, varova, prevlaka itd.) obavlja se za cijelo vrijeme gradnje broda i u načelu ne idu u područje terotehnologije. Osim toga, njih redovito obavlja kopneno osoblje brodarske radne organizacije (inspektori), i osoblje službe kontrole brodogradilišta, pa je prema tome to područje izvan zaduženja brodskog osoblja. Zato će provjere trupa u ovom razmatranju biti izostavljene, osim provjere u doku prije pokusne plovidbe.

Što se tiče ostalih brodskih uređaja, ovo će se razmatranje koncentrirati na one tipične na brodovima za suhi, tekući i hlađeni teret.

5.2.2. Uređaj za sidrenje

- 5.2.2.1. Vizualni pregled sidrenog uređaja radi provjere općeg stanja (izloženost agresivnom okolišu tijekom duljeg vremenskog razdoblja!)
- 5.2.2.2. Mjerenje otpora/izolacije elektromotora sidrenog vitla na hladno
- 5.2.2.3. Obaranje sidra i njegovo zaustavljanje kočnicom
- 5.2.2.4. Podizanje i pritezanje u sidreno oko i provjera nalijeganja sidra
- 5.2.2.5. Spuštanje sidra i tri uze lanca, tako da sidro i jedna uza lanca leže na dnu, a dvije vise; istezanje sidra i mjerenje brzine i potrebne snage; mjerenje snage potrebne za čupanje sidra iz mulja. Ako su oba sidra na jednom sidrenom vitlu, onda uz navedeni pokus valja dodati i ovo:
Spuštanje obaju sidara, jednoga s četiri uze lanca, tako da dvije uze leže na dnu, i drugoga s tri uze, tako da samo jedna leži na dnu; istezanje oba lanca istovremeno i mjerenje brzine i potrebne snage; mjerenje snage potrebne za čupanje prvoga, pa onda i drugog sidra

5.2.2.6. Provjera ispiranja lanaca

5.2.2.7. Provjera pozicije i učvršćenje rezervnog sidra

5.2.3. Uređaj za vez

5.2.3.1. Vizualni pregled priteznih vitala radi provjere općeg stanja (izloženost agresivnom okolišu tijekom duljega vremenskog razdoblja!)

5.2.3.2. Višekratno upućivanje elektromotora s promjenom smjera

5.2.3.3. Mjerenje brzine pritezanja neopterećenog vitla

5.2.3.4. Mjerenje sile i potrebne snage pritezanja i provjera regulacije spojke (samopritezno vitlo!)

5.2.3.5. Provjera stanja i funkcioniranja zjevača, skretnih valjaka, bitvi i bubnjeva za namatanje čelik-čela

5.2.4. Teretni uređaj

5.2.4.1. Vizualni pregled kompletnog uređaja radi provjere općeg stanja (ista napomena kao pod 5.2.3.1.)

5.2.4.2. Pokusni rad neopterećenog vitla (cca 15 min) s promjenom smjera

5.2.4.3. Pokusno opterećenje samarica (dizalica) po propisima, a prema planu teretnog uređaja

5.2.4.4. Pokus jednog para samarica u zajedničkom radu

5.2.5. Poklopci grotla, grotlašca i nepropusna vrata

5.2.5.1. Vizualni pregled svakoga pojedinog elementa i pomnom provjerom brtava

5.2.5.2. Pokusno tlačenje hidrauličkih cjevovoda i provjera spojeva i učvršćenja cjevovoda

5.2.5.3. Pokus pokretanja poklopaca i vrata s predviđenih mjesta daljinskog upravljanja

5.2.5.4. Pokusno otvaranje i zatvaranje poklopaca s ravnim brodom i s dopuštenim desnim i lijevim nagibom

5.2.5.5. Pokus nepropusnosti poklopaca i vrata vodenim mlazom; pokus nepropusnosti vidnika strojarnice zalijevanjem

5.2.6. Uređaj i oprema za spašavanje

- 5.2.6.1. Pokusno opterećenje soha teretom prije postavljanja čamaca
- 5.2.6.2. Pokus spuštanja čamaca pod punim opterećenjem i pokus kočenja, odnosno pokus lansiranja čamca pod punim opterećenjem
- 5.2.6.3. Pokusna vožnja s potpuno opterećenim čamcem od jednog sata uz mjerenje brzine, provjera rada i prekreta motora, te ručne sisaljke i čepova dna
- 5.2.6.4. Pokus dizanja čamca i provjera rada vitla, hoda soha i funkcioniranja krajnjih sklopki; ručno podizanje soha u krajnji položaj i provjera morskog veza
- 5.2.6.5. Provjera opreme čamaca za spašavanje
- 5.2.6.6. Provjera splavi, prsluka i koluta
- 5.2.6.7. Provjera daljinskog isključivanja svih pumpi koje imaju izljeve u području putanje čamaca za spašavanje

5.2.7. Ostala palubna oprema

- 5.2.7.1. Pokus preopterećenja siza prema propisima i provjera strukture nakon toga
- 5.2.7.2. Skidanje opterećenja i pokus kompletnog manevra sizom: otklon siza, dizanje, spuštanje i postavljanje u morski vez
- 5.2.7.3. Pokus spuštanja i dizanja ostalih čamaca i provjera njihova morskog veza

5.2.8. Uređaj za kormilarenje

- 5.2.8.1. Vizualni pregled kormilarskog stroja: postolja, pumpa, cjevovoda, mazalica, tanka ulja i dr.
- 5.2.8.2. Provjera maksimalnog odklona kormila i rada indikatora s brodom u mirovanju
- 5.2.8.3. Pokus rada kormilarskog uređaja s brodom u mirovanju: višekratno otklanjanje kormila desno i lijevo za 35° sa svih upravljačkih mjesta i mjerenje trajanja odklona, i to sa svakom pumpom odvojeno i zajednički
- 5.2.8.4. Provjera tlakova na pumpama, amperaže i rada uputnika

5.2.9. Uređaj za tekući teret

- 5.2.9.1. Pokusno tlačanje teretnog cjevovoda, te provjeravanje spojeva i učvršćenja cjevovoda
- 5.2.9.2. Pokusno tlačanje serpentina za zagrijavanje goriva i provjera spojeva i učvršćenja
- 5.2.9.3. Pokusno upućivanje pumpi radi provjere smjera okretanja
- 5.2.9.4. Provjera daljinskog upravljanja i naglog zatvaranja ventila
- 5.2.9.5. Provjera daljinskih otčitavanja temperatura
- 5.2.9.6. Prilikom prvog tereta pomna provjera cijelog sustava grijanja i prebacivanja

5.2.10. Uređaj za hlađeni teret

- 5.2.10.1.** Pregled hlađenih prostorija: stanje izolacije stijena, stropa i poda; čistoća i miris u prostorijama
- 5.2.10.2.** Provjera kanala za izmjenu zraka tlačenjem zrakom na 50 mm SV
- 5.2.10.3.** Provjera cjevovoda rashladnog medija tlačenjem dušikom prema propisima klasifikacijskog zavoda
- 5.2.10.4.** Pokusno punjenje cjevovoda smjesom dušika i freona i provjera nepropusnosti detektorskom lampom
- 5.2.10.5.** Pregled izljeva i punjenje rasolinom
- 5.2.10.6.** Pregled opreme za teret
- 5.2.10.7.** Propuhivanje cjevovoda rashladnog medija
- 5.2.10.8.** Vakuumiranje sustava 24 sata; održavanje vakuuma 12 sati, i provjeravanje tlaka
- 5.2.10.9.** Provjera upućivanja kompresora
- 5.2.10.10.** Provjera dobave i rasporeda zraka u komorama, te provjera broja okretaja ventilatora
- 5.2.10.11.** Provjera pozicije termometara prema nacrtu te pokus ledom od 0⁰ C radi provjere baždarenja
- 5.2.10.12.** Pregled natpisnih pločica
- 5.2.10.13.** Preliminarni pokusni rad uređaja radi konačnih provjera
- 5.2.10.14.** Pokusni rad uređaja na ovakav način i u ovakvu trajanju kako to propisuju pravila klasifikacijskog zavoda (pothlađivanje, stabilizacija, uravnoteženje temperature)
- 5.2.10.15.** Pokus odledivanja sustava
- 5.2.10.16.** Provjera doknadnih dijelova

5.2.11. Uređaj kaljuže i balasta

- 5.2.11.1.** Provjera cjevovoda prema shemama; provjera spojeva i učvršćenja cjevovoda, pokus vodenim tlakom i provjera nepropusnosti
- 5.2.11.2.** Provjera daljinskog upravljanja ventilima
- 5.2.11.3.** Preliminarni pokusni rad pumpi s brodom u vezu u neprekidnom trajanju od najmanje dva sata, uz provjeru prekotlačnih ventila i uputnog uređaja
- 5.2.11.4.** Pokus punjenja svih tankova balasta i usisavanja iz njih
- 5.2.11.5.** Pokus usisavanja iz svih kaljužnih usisa
- 5.2.11.6.** Pokus rada separatora kaljuže i provjera alarma prema propisima

5.2.12. Poklopci tankova, sonde i odušnici

5.2.12.1. Provjera čistoće tankova i zatvaranje poklopaca

5.2.12.2. Tlačenje tankova vodenim stupcem do vrha odušnika; provjera nepropusnosti poklopaca, odušnika i sonde

5.2.12.3. Provjera natpisnih pločica na odušnim i sondažnim cjevovodima

5.2.12.4. Provjera kapa odušnika

5.2.12.5. Provjera spuštanja sonde

5.2.12.6. Pregled uređaja u tankovima i provjera rada daljinskih nivokaza

5.2.13. Protupožarni uređaj i oprema

5.2.13.1. Pokus tlačenjem protupožarnih cjevovoda na nepropusnost, provjera sukladnosti sa shemama, te provjera spojeva i učvršćenja

5.2.13.2. Pokusni rad svih protupožarnih pumpi pojedinačno i pokus gašenja vodenim mlazom s pomoću vatrogasnih crijeva i mlaznica, s provjerom dometa dviju najudaljenijih mlaznica istodobno

5.2.13.3. Isti pokus s drugim sustavima koji su spojeni na protupožarni cjevovod kao pomoćni

5.2.13.4. Provjera funkcioniranja uputnika

5.2.13.5. Provjera pozicije protupožarnih ormarića prema shemama, te provjera pripadajuće opreme

- 5.2.13.6. Provjera instalacije uređaja za otkrivanje požara i pokus njegova funkcioniranja (alarmi ili /i automatsko aktiviranje gašenja)
- 5.2.13.7. Provjera funkcioniranja sigurnosnih ventila i čepova za pražnjenje protupožarnog cjevovoda
- 5.2.13.8. Provjera broja, pozicije i sadržaja boca inertnog plina i provjera uređaja za aktiviranje (pozicija upravljačkih mjesta, funkcioniranje, alarmi)
- 5.2.13.9. Pokus rada generatora inertnog plina ili pjene, i uređaja za aktiviranje (pozicija upravljačkih mjesta, funkcioniranje, alarmi)
- 5.2.13.10. Provjera ostale protupožarne opreme prema propisima (sanduci s pijeskom, lopate, sjekira, ručni vatrogasni aparati itd.)

5.2.14. Uređaj sanitarne i pitke vode

- 5.2.14.1. Pokus tlačenjem cjevovoda na nepropusnost, provjera sukladnosti sa shemama, te provjera spojeva i učvršćenja
- 5.2.14.2. Pokusni rad zagrijača i provjera cirkulacije tople vode
- 5.2.14.3. Pokusni rad pumpi pojedinačno i provjera funkcioniranja termostata i presostata
- 5.2.14.4. Provjera efikasnosti ventila i pipaca
- 5.2.14.5. Provjera pozicije i rada napajališta pitkom vodom i rashladnih fontana

5.2.15. Uređaj za ventilaciju i klimatizaciju

- 5.2.15.1. Provjera sukladnosti ventilacijskih kanala i ogranaka sa njihovim shemama
- 5.2.15.2. Pokusni rad ventilatora s provjerom efikasnosti (količina zraka za svaku prostoriju, brzina strujanja, uz registriranje podataka)
- 5.2.15.3. Provjera pozicija .daljinskog isključivanja i pokus isključivanja sa svakog mjesta
- 5.2.15.4. Provjera pozicija protupožarnih zaklopki i pokus zatvaranja
- 5.2.15.5. Pokus cjevovoda za hlađenje tlakom dušika i provjera nepropusnosti detektorskom lampom
- 5.2.15.6. Vakuumiranje cjevovoda za hlađenje i njegovo držanje pod vakuumom osam sati

- 5.2.15.7. Pokusni rad uređaja za hlađenje: provjera rada kompresora, pumpi za hlađenje, ekspanzijskog ventila, odjeljivača ulja, te presostata i termostata; regulacija presostata i termostata
- 5.2.15.8. Pokusni rad uređaja za grijanje i provjera regulacije termostatskog ventila
- 5.2.15.9. Pokusni rad uređaja za navlaživanje i provjera načina regulacije

5.2.16. Uređaj brodske ledenice

- 5.2.16.1. Pregled komora: stanje izolacije stijena stropa i poda, čistoća i miris u komorama
- 5.2.16.2. Provjera nepropusnosti ulaznih vrata, njihova funkcioniranja i načina otvaranja iznutra
- 5.2.16.3. Provjera funkcioniranja unutrašnjih vrata i provjera natpisnih pločica
- 5.2.16.4. Provjera cjevovoda rashladnog medija (freon) tlačenjem dušikom
- 5.2.16.5. Pokusno punjenje cjevovoda smjesom dušika i freona te provjera nepropusnosti detektorskom lampom
- 5.2.16.6. Pregled izljeva i punjenje rasolinom
- 5.2.16.7. Pregled opreme
- 5.2.16.8. Propuhivanje cjevovoda rashladnog medija
- 5.2.16.9. Vakuumiranje sustava 12 sati; održavanje vakuumu osam sati i provjera tlaka
- 5.2.16.10. Provjera upućivanja kompresora
- 5.2.16.11. Pokusni rad kompresora do pothlađenja prema ugovorenoj temperaturi, te provjera automatskog rada kompresora u trajanju od najmanje dva sata
- 5.2.16.12. Provjera rada termostata, presostata i alarma

5.2.17. Uređaji izljeva

- 5.2.17.1. Pokus hidrostatskim tlakom svih fekalijских odvoda i izljeva, provjera spojeva i učvršćenja te provjera sukladnosti sa shemama
- 5.2.17.2. Pokus protočnosti odvoda i izljeva
- 5.2.17.3. Pokusni rad uređaja za tretiranje fekalija; za bakterijski uređaj pokusni rad mora trajati dovoljno dugo da se postigne puni učinak tretiranja

5.2.17.4. Provjera uređaja za signalizaciju

5.2.18. Nastambe

5.2.18.1. Provjera nepropusnosti okana i prozora vodenim mlazom

5.2.18.2. Pokus rada i funkcioniranja okna jasne vidljivosti (ili brisača) uz polijevanje (i štrcanje tekućine protiv zamrzavanja)

5.2.18.3. Pregled razdjelnih protupožarnih pregrada

5.2.18.4. Preliminarni pregled sanitarnih, stambenih i domaćinskih prostorija

5.2.18.5. Konačni pregled kompletiranih prostorija s namještajem i inventarskim predmetima (sanitarnih, domaćinskih, stambenih i društvenih)

5.2.18.6. Provjera cjelokupnog inventara prema ugovornoj specifikaciji

5.2.18.7. Pojedinačna provjera funkcioniranja svih sanitarnih uređaja

5.2.18.8. Pojedinačna provjera funkcioniranja svih domaćinskih uređaja (kuhinja, smočnice i praonica) uključivši i kabinske hladnjake

5.2.19. Sustav goriva

5.2.19.1. Pokusno tlačenje cjevovoda goriva (teškog i lakog) i provjera spojeva i učvršćenja cjevovoda

5.2.19.2. Pokusno tlačenje serpentina za grijanje goriva i provjera spojeva i učvršćenja cjevovoda

5.2.19.3. Provjera funkcioniranja brzozatvarajućih ventila goriva s pokusom zaustavljanja strojeva

5.2.19.4. Pokus zagrijavanja goriva u tankovima

5.2.19.5. Pokusni rad zagrijača goriva i vode za separiranje

5.2.19.6. Pokusni rad separatora goriva

5.2.19.7. Pokusni rad uređaja za prebacivanje goriva

5.2.19.8. Pokusni rad buster-pumpi

5.2.19.9. Priprema viskozatora za ispitivanja u pokusnoj plovidbi

5.2.19.10. Provjera funkcioniranja razinomjera goriva

5.2.19.11. Provjera prebacivanja ventila i pipaca s lakoga na teško gorivo

5.2.19.12. Pokusni rad uređaja za miješanja goriva

5.2.20. Sustav pare i napojne vode

5.2.20.1 Pokus tlačenjem cjevovoda napojne vode te svježe i povratne pare; provjera sukladnosti sa shemom, nepropusnosti spojeva i njihova učvršćenja

5.2.20.2. Provjera opreme pomoćnih kotlova prema tehničkom opisu

5.2.20.3. Pokusni rad pomoćnog kotla na naftu dok se ne postigne odgovarajuća temperatura goriva u tankovima i u zagrijačima

5.2.20.4. Regulacija sigurnosnih ventila i automatike napajanja vodom i gorivom

5.2.20.5. Za vrijeme pokusnog rada pomoćnog kotla na naftu provjera funkcioniranja radijatora, zagrijača i cirkulacijskih pumpi

5.2.21. Sustav za rashlađivanje

5.2.21.1. Pokus tlačenjem cjevovoda slatke i morske vode s pokusnim radom pumpi; provjera sukladnosti sa shemom, nepropusnosti spojeva i učvršćenja cjevovoda

5.2.21.2. Provjera opreme tankova

5.2.21.3. Pokus tlačenjem cjevovoda za hlađenje ubrizgača porivnog stroja; provjera nepropusnosti

5.2.21.4. Provjera funkcioniranja rashladnog sustava za vrijeme pokusnog rada strojeva

5.2.21.5. Provjera sustava za predgrijavanja porivnog stroja

5.2.21.6. Provjera rada rashladnika

5.2.21.7. Provjera rada rezervnih (stand-by) pumpi za hlađenje

5.2.21.8. Provjera rada termostatskih ventila

5.2.22. Sustav podmazivanja

5.2.22.1. Pokus tlačenjem cjevovoda za podmazivanje; provjera sukladnosti sa shemama, nepropusnosti spojeva i učvršćenja

5.2.22.2. Provjera rada zagrijača, pumpi, separatora i rashladnika

5.2.22.3. Provjera automatskog ukapčanja rezervnih (stand-by) pumpi.

5.2.23. Sustav komprimiranog zraka

- 5.2.23.1. Unutrašnji pregled velikih spremnika zraka; provjera čistoće i zaštitne prevlake
- 5.2.23.2. Pokus tlačenjem zrakom cjevovoda; provjera sukladnosti sa shemama, nepropusnosti spojeva i učvršćenja
- 5.2.23.3. Pokusni rad kompresora zraka i punjenje spremnika; mirovanje sustava 12 sati, a zatim provjera pada tlaka
- 5.2.23.4. Provjera rada sigurnosnih ventila
- 5.2.23.5. Provjera funkcioniranja uređaja za automatsko upućivanje kompresora
- 5.2.23.6. Pokusni rad sustava tijekom pokusnog rada strojeva

5.2.24. Elektroenergetski sustav

- 5.2.24.1. Provjera progiba na svakom pomoćnom motoru
- 5.2.24.2. Provjera čistoće kartera svakoga pomoćnog motora prije nego se nalije ulje za podmazivanje
- 5.2.24.3. Pregled regulatora
- 5.2.24.4. Pokusni rad svakoga generatora od praznog hoda do punog opterećenja
- 5.2.24.5. Provjera sustava rashladne vode, ulja za podmazivanje i komprimiranog zraka
- 5.2.24.6. Pregled ispušnih cjevovoda pomoćnih motora, provjera sukladnosti s nacrtom i provjera učvršćenja
- 5.2.24.7. Pokus paralelenog rada generatora
- 5.2.24.8. Pokus naglog opterećenja i rasterećenja generatora; naglo opterećenje postiže se naglim ukopčavanjem potrošača na generator; naglo rasterećenje ostvaruje se iskopčavanjem generatora s mreže kod nominalnog opterećenja
- 5.2.24.9. Provjera zaštite generatora (preopterećenje, povratna snaga i nestanak napona)
- 5.2.24.10. Provjera rada ručnog regulatora broja okretaja pomoćnih motora
- 5.2.24.11. Provjera blokiranja generatora i priključka s kopna
- 5.2.24.12. Pokus napajanja preko priključaka s kopna
- 5.2.24.13. Provjera na priključnoj kutiji pokazivača redoslijeda faza
- 5.2.24.14. Provjera funkcioniranja signalizacije tijekom pokusnog rada generatora; provjera sukladnosti signalizacijskih mjesta sa shemom, zvučnih i svjetlosnih, provjera funkcioniranja svakoga pojedinačno

- 5.2.24.15. Višekratni pokus automatskog upuštanja "stand-by" generatora (ako je sustav za to predviđen)
- 5.2.24.16. Provjera izolacije svih generatora u hladnom i toplom stanju
- 5.2.24.17. Trokratni pokus ručnog upućivanja generatora u nuždi i trokratni pokus automatskog upuštanja pri nestanku napona na GRP (ako je sustav automatski); provjera automatske i ručne regulacije napona i provjera signalizacije
- 5.2.24.18. Nakon tih pokusa provjera stanja akumulatora (specifična gustoća i napon), te provjera rada uređaja za punjenje i funkcioniranje ventilacije prostorije
- 5.2.24.19. Provjera (vizualna) razdjelnika i motornih zaštitnih sklopki
- 5.2.24.20. Provjera smještaja, uzemljenja, mehaničke zaštite i izolacije električnih kabela i vodova
- 5.2.24.21. Provjera (vizualna) vodonepropusnih prolaza kabela kroz palube i pregrade
- 5.2.24.22. Provjera otpora izolacije svih strujnih krugova generatora, glavne razvodne ploče (GRP), te razdjelnika snage i rasvjete
- 5.2.24.23. Provjera pada napona kod dva najudaljenija strujna kruga pod maksimalnim opterećenjem
- 5.2.24.24. Provjera otpora izolacije nekoliko motora u strojarnici i izvan nje
- 5.2.24.25. Provjera rada pojedinih transformatora
- 5.2.25. Rasvjeta
 - 5.2.25.1. Pokus vanjske rasvjete i provjera njezine sukladnosti sa shemama
 - 5.2.25.2. Pokus unutrašnje rasvjete i provjera njezine sukladnosti sa shemama
 - 5.2.25.3. Pokus rasvjete u nuždi i provjera sukladnosti sa shemama
- 5.2.26. Uređaj za navigaciju, signalizaciju i komunikaciju
 - 5.2.26.1. Provjera alarmnog uređaja za uzbunu prema propisima
 - 5.2.26.2. Pokusni rad zvrčnog kompasa i provjera položaja matice i ponavljača

- 5.2.26.3. Provjera zviždaljki
- 5.2.26.4. Provjera telegrafa stroja davanjem znakova komandi
- 5.2.26.5. Provjera alarma pogrešnog odgovora na komandu
- 5.2.26.6. Provjera manevra i funkcioniranja Suez-reflektora
- 5.2.26.7. Provjera manevra i funkcioniranja reflektora na krovu zapovjedničkog mosta
- 5.2.26.8. Provjera svih navigacijskih svjetala i razdjelnika navigacijskih svjetala na mostu
- 5.2.26.9. Provjera položaja bočnih pozicijskih svjetala
- 5.2.26.10. Provjera signalnih svjetala na jarbolima, Morse-svjetla i Aldis-lampe
- 5.2.26.11. Provjera brodskog zvona
- 5.2.26.12. Provjera pozivnog uređaja bolnice, kabina, ledenice i rashladnih prostorija sa svih predviđenih mjesta
- 5.2.26.13. Provjera bezbaterijskog telefona na svim predviđenim mjestima
- 5.2.26.14. Provjera ostalih telefonskih veza
- 5.2.26.15. Provjera komandnog razglasa
- 5.2.26.16. Provjera antena svih vrsta s pripadajućom opremom
- 5.2.26.17. Ispitivanje radiostanice prema posebnom protokolu
- 5.2.26.18. Ispitivanje radara i ARPA-uređaja prema posebnom protokolu
- 5.2.26.19. Ispitivanje ostalih elektroničkih uređaja na mostu prema posebnom protokolu

- 5.2.27. Porivni uređaj
- 5.2.27.1. Provjera zračnosti temelja, podloški i temeljnih vijaka porivnog stroja (motora)
- 5.2.27.2. Provjera defleksija koljenastog vratila porivnog stroja
- 5.2.27.3. Provjera zračnosti odzivnog ležaja
- 5.2.27.4. Provjera bočnog veza porivnog stroja
- 5.2.27.5. Pokus cirkulacije vode za hlađenje prije punjenja ulja za podmazivanje i provjera nepropusnosti u karteru i ostalim priključcima
- 5.2.27.6. Provjera sustava ulja za podmazivanje porivnog stroja bez prolaska kroz ležajeve.
- 5.2.27.7. Provjera čistoće filtera ulja i zatim pokus cirkulacije ulja kroz ležajeve; provjera protoka ulja kroz sva mjesta podmazivanja

- 5.2.27.8. Provjera rada uređaja za podmazivanje ležajeva u statvenoj cijevi
- 5.2.27.9. Provjera ugradnje svih potrebnih mjernih instrumenata
- 5.2.27.10. Provjera ispušnog cjevovoda porivnog stroja, dilatacijskih umetaka, spojeva i učvršćenja
- 5.2.27.11. Provjera rada klapne u ispušnom vodu porivnog stroja
- 5.2.27.12. Pokusni rad porivnog stroja s brodom u vezu od najmanje 12 sati (s reduciranim opterećenjem prema mogućnostima veza, s prekidima ako je potrebno). Za to vrijeme:
- 5.2.27.13. Višekratni pokus upućivanja
- 5.2.27.14. Vožnja krmom od najmanje 30 minuta
- 5.2.27.15. Provjera rada svih uređaja za službu porivnog stroja
- 5.2.27.16. Provjera alarma i automata porivnog stroja
- 5.2.27.17. Provjera sustava hlađenja ležajeva osovinskog niza
- 5.2.27.18. Provjera sustava morske vode za rashlađivanje porivnog stroja
- 5.2.27.19. Provjera sustava slatke vode za rashlađivanje porivnog stroja
- 5.2.27.20. Provjera sustava za rashlađivanje ubrizgača porivnog stroja
- 5.2.27.21. Provjera sustava za rashlađivanje stapala porivnog stroja
- 5.2.27.22. Provjera sustava za podmazivanje porivnog stroja
- 5.2.27.23. Provjera sustava goriva porivnog stroja
- 5.2.27.24. Provjera funkcioniranja ispušnog cjevovoda porivnog stroja

5.2.28. Ostala oprema strojarnice

- 5.2.28.1. Pokusno (pre) opterećenje dizalice u strojarnici s pomoću dinamometra
- 5.2.28.2. Provjera pokretanja dizalice i njezina manevriranja
- 5.2.28.3. Provjera alatnih strojeva u radu i provjera ručnog alata prema specifikaciji
- 5.2.28.4. Pokus nepropusnosti nepropusnih vrata strojarnice vodenim mlazom i pokus njihova otvaranja i zatvaranja sa svih predviđenih mjesta
- 5.2.28.5. Provjera pozicije izlaza u nuždi prema nacrtu i pokus napuštanja strojarnice kroz izlaze u nuždi

5.2.29. Provjere u doku prije pokusne plovidbe

- 5.2.29.1.** Vizualni pregled podvodnog dijela brodske oplata s konstatacijom eventualnih oštećenja
- 5.2.29.2.** Provjera čepova dna
- 5.2.29.3.** Provjera zračnosti osovine vijka i osovine kormila
- 5.2.29.4.** Provjera ugradnje i stanja dubinomjera i brzinomjera
- 5.2.29.5.** Provjera ventila usisa mora, rešetki i njihovo propuhivanje
- 5.2.29.6.** Provjera katodne zaštite
- 5.2.29.7.** Provjera stanja krila broskog vijka (površine i bridova)
- 5.2.29.8.** Provjera premazivanja podvodnog dijela trupa prema odgovarajućoj tehnologiji i provjera debljine prevlake (osušene)
- 5.2.29.9.** Reguliranje inklinometra
- 5.2.29.10.** Provjera zagaznica

5.3. POKUSNA PLOVIDBA

5.3.1. Provjera propulzijskih svojstava broda

5.3.1.1. Opći uvjeti

- (1) Provjere se obavljaju na gazovima predviđenima ugovorom.
- (2) Pod vremenskim prilikama u kojima se još mogu provoditi provjere na moru podrazumijeva se:

- vjetar 4,0 do 10,9 čv (2 do 3 Bf), more 1 do 2 stupnja stanja mora po WMO skali, za brodove manje od 50 m duljine;
- vjetar 7,0 do 16,0 čv (3 do 4 Bf), more 2 do 3 stupnja stanja mora po WMO skali, za brodove od 50 do 120 m duljine;
- vjetar 11,0 do 21 čv (4 do 5 Bf), more 3 do 4 stupnja stanja mora po WMO skali, za brodove dulje od 120 m.

Donje granice odnose se na brodove u balastu, a gornje na one pod punim teretom.

- (3) Uz svako provjeravanje valja registrirati broj dana od posljednjeg dokovanja broda, temperaturu mora, barometarski tlak i temperaturu zraka na mjestu mjerenja.
- (4) Prije početka provjere definirat će se mjerne veličine, metode, instrumentarij i opseg mjerenja kojim se propulzijska svojstva broda mogu pouzdano utvrditi.
- (5) Svrha provjera je da se odredi:
 - jesu li ispunjeni uvjeti ugovora o gradnji broda;
 - osnovne veličine za navigaciju broda;
 - dovoljno podataka o propulziji za utvrđivanje korelacije model-brod.

5.3.1.2. Veličine na osnovi kojih se određuju propulzijska svojstva broda:

- (1) Istisnina
- (2) Brzina
- (3) Broj okretaja vijka (motora)
- (4) Zakretni moment osovine (vratila)
- (5) Poriv vijka

Brzina i smjer vjetra

- (6) Stanje mora
- (7) Gibanje broda
- (8) Vučna-tlačna sila
- (10) Dubina mora (vode)
- (11) Otklon kormila
- (12) Geometrijske karakteristike vijka

Sve te veličine odredit će se metodama koje su opisane u nastavku. Utjecaj struje, vjetra i valova na brzinu broda pri njegovu gibanju kroz vodu izračunavaju se na temelju unaprijed dogovorenih metoda.

5.3.1.3. Metode, instrumenti i točnost mjerenja

- 5.3.1.3.1.** Istisninu broda na pokusnoj plovidbi valja što točnije odrediti na osnovi gazova otčitanih sa zagaznica na pramcu, sredini i krmi s obje strane broda. Istodobno s otčitavanjem gazova mjeri se temperatura i specifična težina vode (mora) u kojoj brod pluta. Tijekom provjere ne smije se mijenjati gaz ni trim broda.
- 5.3.1.3.2.** Brzina broda prema kopnu ustanovit će se mjerenjem na mjernoj milji duljine u Nm ne manje od 1 /25 maksimalne brzine broda. Vrijeme prolaska preko mjerne milje mjere najmanje tri neovisna mjerioca stop-satovima. Kao točno vrijeme uzima se srednja vrijednost izmjerenih vremena. Ako se jedno od izmjerenih vremena razlikuje od ostalih više od 0,5 sekunda, to se vrijeme ne uzima u obzir.
- 5.3.1.3.3.** Brzina broda kroz vodu određuje se brzinomjerom. On mora biti baždaren zajedno s brodom, pričvršćen na mjestu na kojem će se nalaziti za vrijeme mjerenja. Brzinomjer se baždari na raspon brzina u okviru kojih će se obavljati pokusi. Točnost mjerenja brzine broda kroz vodu mora biti unutar granica od $\pm 1\%$.
- 5.3.1.3.4.** Utjecaj dubine vode (na mjernoj milji) na brzinu broda izračunava se po metodi koja mora biti unaprijed dogovorena ili prema važećim propisima zemlje u kojoj se vrši primopredaja broda.
- 5.3.1.3.5.** Udaljenost potrebna za ubrzanje broda nakon promjene kursa za 180^0 - pretpostavljajući da se on zaokreće s otklonom kormila ne većim od 15^0 - određuje se također prema unaprijed dogovorenoj metodi.

- 5.3.1.3.6.** Broj okretaja vijka(motora) u minuti ustanovit će se:
- na osnovi brojila okretaja i stop-sata, registrirajući broj okretaja u intervalima od približno jedne minute;
 - uređajem za kontinuirano mjerenje i registriranje.
- 5.3.1.3.7.** Broj okretaja vijka mjeri se na dva odvojena mjesta istodobno, od kojih je barem jedno na osovini (vratilu) čvrsto spojenoj s vijkom.
- 5.3.1.3.8.** Tijekom ispitivanja viševijčanih brodova, okretaji svakoga pojedinog vijka mogu se razlikovati za najviše $\pm 2\%$
- 5.3.1.3.9.** Prosječni broj okretaja određuje se mjerenjima ne kraćima od pet minuta.
- 5.3.1.3.10.** Zakretni moment osovine (vrtila) izračunava se mjerenjem uvijanja dijela osovine s točnošću unutar granica $\pm 1,5\%$.
- 5.3.1.3.11.** Korekcijski faktor torziometra, odnosno modul smika osovine (vrtila) na kojoj se mjeri zakretni moment, može se naći baždarenjem. Ako nema baždarenja, za osovine od nelegiranih čelika mogu se upotrijebiti ove prosječne vrijednosti modula smika:

Prosječna vrijednost modula smika čeličnih brodskih osovina (vrtila)

izrađena u raznim zemljama

(srednja vrijednost odstupanja $\pm 1\%$)

Tablica 6.

zemlja izrade	modul smika N/cm ²
Engleska	$8,16 \times 10^6$
Francuska	$8,19 \times 10^6$
Jugoslavija	$8,14 \times 10^6$

Prosječno u Evropi	8,16 x 10 ⁶
Japan	8,15 x 10 ⁶

Osovinama izrađenim od specijalnih materijala modul smika valja odrediti tako da se baždari uzorak osovine.

5.3.1.3.12. Za mjerenje zakretnog momenta osovine (vratila) moraju se osigurati ovi uvjeti:

- neposredno prije i odmah nakon završetka mjerenja momenta treba odrediti nul-točku torziometra (ako mjerenje traje preko 24 sata, nul-točku torziometra valja ustanoviti približno u sredini intervala mjerenja);
- neposredno prije određivanja prve nul-točke brod mora barem pola sata ploviti s ne manje od 50%-tne snage porivnog stroja;
- manevar zaustavljanja broda za prvu nul-točku valja završiti vožnjom naprijed;
- za vrijeme određivanja nul-točke brod miruje s obzirom na vodu u kojoj pluta;
- za cijelo vrijeme pokusne plovidbe, koja se odvije između prvog i posljednjeg uzimanja nul-točke, treba izbjegavati svaku naglu promjenu opterećenja vijka.

5.3.1.3.13. Poriv vijka mjeri se na brodu koji ima ugrađen poriv-metar. Za mjerenje poriva valja ostvariti uvjete koji su prethodno opisani (5.3.1.3.12). Točnost mjerenja poriva treba da bude unutar granica od $\pm 3\%$.

5.3.1.3.14. Brzina i smjer vjetra mjere se anemometrom i pokazivačem smjera. Uputno je te instrumente opremiti uređajem za kontinuirano mjerenje i registriranje. Pravilnim smještajem anemometra i pokazivača smjera valja izbjeći utjecaj nadgrađa i brodske opreme.

5.3.1.3.15. Stanje mora treba opisati što je moguće potanje, procjenjujući visinu, duljinu i dominantni smjer svakog sustava valova uzburkanog mora. U prilogu na kraju poglavlja prikazan je lako primjenljiv i relativno pouzdan način opisivanja uzburkanog mora.

- 5.3.1.3.16.** Gibanje broda uzrokovano valovima, vjetrom te manevriranjem valja opisati što je moguće detaljnije.
- 5.3.1.3.17.** Vučna-tlačna sila tegljača, gurača, ribarskih brodova, brodova posebne namjene i sl. mjeri se dinamometrom. Preporučljiva je upotreba dinamometara opremljenih uređajem za kontinuirano registriranje. Točnost mjerenja vučne-tlačne sile mora biti u granicama od $\pm 2\%$.
- 5.3.1.3.18.** Dubina vode mjeri se cijelo vrijeme ispitivanja, ako nije na mjestu ispitivanja pouzdano poznata. Točnost mjerenja dubine treba da bude unutar granica od $\pm 5\%$.
- 5.3.1.3.19.** Otklon kormila mjeri se ugrađenim indikatorom odklona kormila.
- 5.3.1.3.20.** Geometrijske karakteristike vijka određuju se ili mjerenjem ili se uzimaju iz svjedodžbe proizvođača ili klasifikacijskog zavoda.
- 5.3.1.4.** Mjerenja na mjernoj milji
- 5.3.1.4.1.** Svrha mjerenja na mjernoj milji je određivanje brzine kroz vodu, okretaja vijka i snage (zakretnog momenta) na osovinskom vodu u odabranim uvjetima plovidbe.
Na brodovima opremljenima poriv-metrom određuje se još i poriv, a na specijalnim brodovima još i vučna-tlačna sila.
- 5.3.1.4.2.** Minimalni broj prolazaka između mjernih oznaka je njih šest: po dva prolaska za odabrani broj okretaja u rasponu od 80% nominalnih okretaja do najvećeg dopuštenog broja okretaja porivnog stroja.
- 5.3.1.4.3.** Ručka goriva na brodovima s motornim porivom - odnosno ekvivalentni uređaj na brodovima s drugim vrstama poriva - ne smije se pomicati dok se ne završe oba prolaska (u jednom i drugom smjeru) pojedinog režima rada porivnog stroja. Prelazak u idući režim obavlja se neposredno nakon završetka propisanih mjerenja.
- 5.3.1.4.4.** Svi prolasci između mjernih oznaka moraju se izvesti kroz isti pojas vode.
- 5.3.1.4.5.** U prolasku između mjernih oznaka ne smije se u načelu kormilariti s otklonima kormila većima od $2-3^\circ$. Ako to nije moguće, svaki veći kut odklona valja registrirati.

- 5.3.1.4.6.** Pri ispitivanju ponovljenih gradnji može se ispustiti mjerenje snage (zakretnog momenta) na osovinskom vodu, a mogu se prihvatiti četiri prolaska kao minimalni broj prolazaka između mjernih oznaka.
- 5.3.1.5.** Mjerenje vučne-tlačne sile
- 5.3.1.5.1.** Istovremeno s mjerenjem vučne-tlačne sile treba osim brzine prema kopnu mjeriti i sve veličine opisane pod 5.3.1.2. na način i s instrumentarijem opisanim pod 5.3.1.3.
- 5.3.1.5.2.** Sve veličine mjere se na najmanje šest različitih režima pora vnaog stroja.
- 5.3.1.5.3.** Duljina zaleta prije mjerenja mora biti tolika da omogući plovidbu sastava jednolikom brzinom tijekom mjerenja.
- 5.3.1.5.4.** Duljina vučnika treba da bude tolika da se izbjegne znatniji utjecaj vijčanog mlaza teglećeg broda na tegljeni objekt.
- 5.3.1.5.5.** Ako se vučna-tlačna sila mjeri u ograničenim vodama, osim dubine vode utvrđuje se i približna širina plovnog puta.
- 5.3.1.5.6.** Mjerenje vučne-tlačne sile u mjestu valja provoditi u bazenu dovoljno velika volumena kako bi se izbjeglo kružno strujanje vode.
- 5.3.1.5.7.** Tijekom mjerenja vučne-tlačne sile treba nastojati da se što manje kormilari. Održavanje željenog kursa postiže se s najmanje mogućim odklonom kormila.
- 5.3.1.5.8.** Pri ispitivanju ponovljenih gradnji vučna-tlačna sila i broj okretaja vijka mogu se mjeriti samo u mjestu.

5.3.2. Provjera manevarskih svojstava broda

5.3.2.1. Svrha provjere

Provjera manevarskih odlika broda omogućuje da se pouzdano utvrdi:

- zadovoljava li brod uvjete ugovora i zahtjeve klasifikacijskih zavoda i drugih propisa;
- osnova za manevriranje brodom tijekom iskorišćavanja;
- stupanj korelacije rezultata modelskih ispitivanja s ponašanjem broda u prirodi.

5.3.2.2. Veličine na osnovi kojih se određuju manevarske odlike broda:

5.3.2.2.1. Istisnina

5.3.2.2.2. Raspored tereta (balasta)

5.3.2.2.3. Brzina

5.3.2.2.4. Broj okretaja vijka

5.3.2.2.5. Brzina i smjer vjetra

5.3.2.2.6. Geometrijske i hodrodinamičke karakteristike broda

5.3.2.2.7. Otklon kormila

5.3.2.2.8. Kurs broda

5.3.2.2.9. Bočni nagib broda

5.3.2.2.10. Vrijeme trajanja pojedinih faza manevarskih pokusa

5.3.2.3. Instrumenti i metode mjerenja

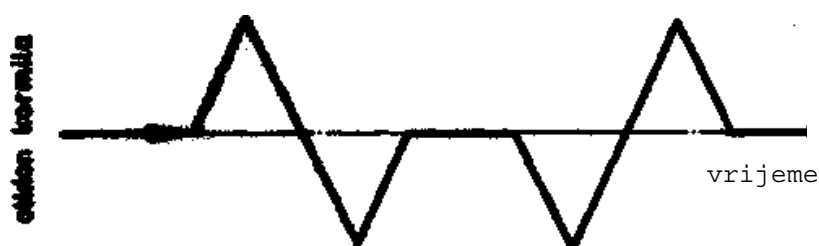
5.3.2.3.1. Veličine nabrojene pod 5.3.2.2.1, 3, 1, i 5, i metode i instrumenti za njihovo mjerenje opisani su u dijelu o ispitivanju propulzijskih svojstava broda (5.3.1.2. i 5.3.1.3).

5.3.2.3.2. Raspored tereta (balasta) mora biti točno utvrđen i ne smije se mijenjati tijekom pokusa.

5.3.2.3.3. Izmjerama lista kormila definira se površina uzdužnog presjeka i time se omogućuje proračun statičkog momenta te površine s obzirom na os rotacije kormila.

5.3.2.3.4. Otkon kormila mjeri se brodskim indikatorima otklona kormila, koji su unutar cijelog mjernog područja provjereni uspoređivanjem s mehaničkim pokazivačem otklona na kormilarском stroju.

- 5.3.2.3.5. Kurs broda mjeri se žiro-kompasom, kompenziranim magnetskim kompasom ili posebnim instrumentom na principu zvrka, koji registrira promjenu brodskog kursa tijekom vremena.
- 5.3.2.3.6. Bočni nagib broda mjeri se brodskim inklinometrom.
- 5.3.2.3.7. Vrijeme tijekom pojedinih pokusa mjeri se štopericama.
- 5.3.2.4. Provjera kormilarskog uređaja
- 5.3.2.4.1. Svrha provjere
Ova ispitivanja imaju za cilj da se ispita rad i pouzdanost kormilarskog uređaja.
- 5.3.2.4.2. Tijekom ispitivanja valja provjeriti sve sustave upravljanja.
- 5.3.2.4.3. Kormilarski uređaj se ispituje u plovidbi pri nazivnom broju okretaja vijka.
- 5.3.2.4.4. Tok ispitivanja:
- postizavanje ustaljene brzine u postavljenom kursu;
 - ručka goriva, odnosno ekvivalentni uređaj ne smije se pomicati za vrijeme ispitivanja;
 - kormilo se redom otklanja sasvim lijevo, sasvim desno i u sredinu, ili obratno prema priloženoj shemi. U svakom krajnjem položaju kormilo se drži po deset sekundi.



Slika 32.

- 5.3.2.4.5. Tijekom pokusa mjeri se vrijeme potrebno za prebacivanje kormila od krajnjeg otklona na jednu stranu do otklona od 30^0 na drugu stranu, odnosno od sredine (simetrane) do 30 i od krajnjeg otklona do sredine, zatim tlakovi ulja u cilindrima kormilarskog stroja i struja (amperaža) koju

troše elektromotori hidrauličkih pumpi kormilarskog stroja.

- 5.3.2.4.6.** Ispitivanje pomoćnoga kormilarskog uređaja provodi se s 50% smanjenom brzinom broda, a mjeri se vrijeme potrebno za prebacivanje kormila od otklona 20° na jednu stranu do istog otklona na drugu stranu, i obratno.

5.3.2.5. Provjera kormilarenja

5.3.2.5.1. Svrha provjere

Ispitivanjem kormilarenja utvrđuje se stabilnost broda u kursu i stupanj njegove upravljivosti (okretljivosti).

5.3.2.5.2. Spiralni test

Spiralnim testom određuje se stabilnost broda u kursu. U svom punom opsegu zahtijeva se on obično samo za brodove kojima kormilo nije u brazdi vijka ili za brodove za koje se ima razloga posumnjati da bi im stabilnost u kursu mogla biti nezadovoljavajuća.

- 5.3.2.5.3.** Za brodove za koje se pretpostavlja da dobro drže kurs spiralni test se provodi samo u plovidbi maksimalnom brzinom broda u službi.

- 5.3.2.5.4.** Za brodove za koje se sumnja da će pokazati nezadovoljavajuću stabilnost na kursu, spiralni se test obavlja s više početnih brzina i, ako je potrebno, u plovidbi krmom.

5.3.2.5.5. Tok pokusa:

- okretaje vijka valja uskladiti s odabranom brzinom, a nakon toga oni se ne smiju mijenjati upravljačkim uređajem stroja za cijelo vrijeme trajanja pokusa;
- kurs broda treba ustaliti i držati ga tijekom jedne minute;
- kormilo se potom otklanja za 25° u jednu stranu i drži tako dok brzina promjene kursa ne postane konstantnom; otklon kormila se tad smanjuje za 5° i drži u novom položaju sve dok se brzina promjene kursa ne ustali. Postupak se ponavlja dok kormilo ne zauzme sve otklone unutar područja od 25° na jednu stranu do 25° na drugu stranu, i natrag do 25° otklona kormila na suprotnu stranu; u području od 5° otklona na obje strane od središnjeg položaja (0° , simetrala) pokus se izvodi povećanjem (smanjenjem) otklona od po 1° .

5.3.2.5.6. Tijekom pokusa mjere se otkloni kormila, brzina promjene broskog kursa, okretaji vijka, brzina broda kroz vodu, nagib broda, brzina i smjer vjetra i procjenjuje se stanje mora.

5.3.2.5.7. Z-test

Z-testom se utvrđuje stupanj upravljivosti teško upravljivih brodova.

5.3.2.5.8. Tok pokusa:

- okretaji vijka usklađuju se s odabranom brzinom; potom, za cijelo vrijeme trajanja pokusa ne smiju se okretaji vijka mijenjati upravljačkim uređajem stroja;
- brodski kurs treba ustaliti u pravcu vjetra i valova, registrirati ga i držati tijekom jedne minute;
- kormilo se zatim otkloni za 20^0 i drži u tom položaju dok se brodski kurs ne promijeni za 20^0 , pa se kormilo otkloni za 20^0 od početnog kursa na suprotnu stranu i drži se u tom položaju sve dok i brod ne skrene za 20^0 od početnog kursa na tu stranu; kormilo se onda prebaci i postupak se ponavlja dok se ne obavi ukupno pet promjena i otklona kormila.

5.3.2.5.9. Tijekom pokusa mjeri se otklon kormila, maksimalno skretanje broda od početnog kursa, vremena pojedinih promjena otklona kormila, vremena maksimalnih i više manjih (među) kutova skretanja broda, brojevi okretaja vijka, promjena brzine broda (pomoću broskog brzinomjera), brzina i smjer vjetra, a stanje mora se procjenjuje.

5.3.2.5.10. Krug okretanja

Ovim ispitivanjem određuje se veličina prostora, radius i vrijeme potrebno da se brod okrene za jednu polovicu okreta, odnosno za puni okret od početnog kursa; krug okretanja provjerava se s brodom u plovidbi, i to s brzinom koja odgovara nazivnom broju okretaja vijka, uz najveći otklon kormila ulijevo i udesno; vrijeme i kut mjere se od trenutka izdavanja zapovijedi do promjene kursa za 180^0 , odnosno do zatvaranja punog kruga.

5.3.2.6. Provjera zaustavljanja broda i vožnje krmom

Naglo zaustavljanje broda provjerava se s brodom u plovidbi, i to s brzinom koja odgovara nazivnom broju okretaja vijka.

5.3.2.6.2. Tok pokusa:

- brod treba da postigne ustaljenu brzinu u postavljenom kursu;
- minutu nakon toga brod se naglo " koči " promjenom smjera poriva vijka;
- po završenim mjerenjima nastavlja se vožnja krmom u trajanju od 15 min.

5.3.2.6.3. Tijekom pokusa valja izmjeriti:

- brzinu broda neposredno prije početka pokusa;
- duljinu otplova broda nakon naredbe za zaustavljanje;
- vrijeme koje je proteklo do zaustavljanja broda;
- vrijeme potrebno za preket stroja (vijka).

5.4. PROVJERA PORIVNOG SUSTAVA

5.4.1. Provjera motornoga porivnog sustava

5.4.1.1. Svrha ispitivanja je:

- da se provjeri odgovara li cjelokupni porivni uređaj uvjetima ugovora;
- da se ispita ispravnost montaže i ispravnost funkcioniranja;
- da se utvrde odnosi između broja okretaja, snage motora, potroška goriva i ostalih pogonskih karakteristika motora;
- da se na temelju registriranih vrijednosti dobiju podaci o radu sustava, snazi, koeficijentu djelovanja i operativnim karakteristikama radi praćenja i uspoređivanja rada sustava u iskorišćavanju s izvornim podacima.

5.4.1.2. Ispitivanje motornog postrojenja

Motorno postrojenje valja ispitati upotrijebivši gorivo koje je definirano ugovorom (dizel-gorivo ili teško gorivo); ako su definirane dvije vrste goriva ispitivanje se obavlja s obje, s tim što s teškim gorivom ono ne smije trajati manje od jednog sata.

Podaci se otčitavaju svaka dva sata, a tijekom ispitivanja na mjernoj milji kod

svakog prolaska. U ispitivanju motornog postrojenja valja i pomoćne motore izmjenjivati u radu.

5.4.1.3. Broj upućivanja porivnog motora

Ovo ispitivanje mora biti izvedeno u skladu sa zahtjevima klasifikacijskih zavoda (minimalni broj upućivanja!).

5.4.1.4. Minimalni broj okretaja porivnog motora

Ovo ispitivanje također se izvodi u skladu sa zahtjevima klasifikacijskih zavoda.

5.4.1.5. Vožnja izdržljivosti

Minimalno trajanje vožnje izdržljivosti mora biti u skladu sa zahtjevima klasifikacijskih zavoda. Preporučuje se, međutim, da trajanje vožnje izdržljivosti ne bude manje od osam sati. Pri tome bi vožnju izdržljivosti valjalo provoditi s nazivnim brojem okretaja.

Ispitivanja na mjernoj milji moguće je uključiti u vožnju izdržljivosti, kao i ispitivanja manevarskih svojstava broda, uz uvjet da se obavljaju pri istom broju okretaja vijka.

Za vrijeme vožnje izdržljivosti utvrđuje se:

- snaga na osovini, koja se izračunava iz zakretnog momenta dobivenoga iz očitavanja torziometra i broja okretaja vijka, a vrijednosti momenta i broja okretaja srednje su vrijednosti svakog mjerenja, kako je to opisano pod 5.3.1.

3.7. -12; (Ako se ne primijeni torziometar, što je svakako preporučljivo, snaga

na osovini (vratilu) može se naći iz ostalih podataka mjerenih za vrijeme ispitivanja i podataka što ih daje proizvođač porivnog motora. Mjerenje snage

torziometrom mora se u svakom slučaju izvršiti barem za prvi brod iz serije.)

- potrošak goriva s pomoću baždarenih mjerača protoka goriva (osim ugrađenih mjerača na brodu) ili posebnim kalibriranim spremnikom; potrošak se goriva određuje na temelju prosjeka očitavanja za određeni vremenski period.

Radi proračuna specifičnog potroška goriva valja očitavati temperaturu goriva i utvrditi prosječnu snagu na osovini (vratilu) za mjerni period; uz te podatke

treba poznavati koeficijent korekcije mjerača protoka te specifičnu težinu i kaloričnu vrijednost goriva.

5.4.1.6. Vožnja preopterećenja

Trajanje vožnje preopterećenja ne mora biti dulje od jednog sata, a provodi se s povećanim brojem okretaja uvijek u granicama koje dopušta proizvođač porivnog motora.

5.4.1.7. Ispitivanje kotla na ispušne plinove

Tijekom vožnje izdržljivosti ispituje se kotao na ispušne plinove s pripadnim uređajima:

- provjerava se temperatura goriva u tankovima i u zagrijačima;
- reguliraju se sigurnosni ventili i automatika napajanja vodom;
- ispituje se funkcioniranje radijatora i ostalih potrošača topline.

5.4.2. Provjera parnoturbinskoga porivnog sustava

5.4.2.1. Parnoturbinski porivni sustav ispituje se kod:

- normalne trajne ugovorene snage porivne turbine pri propisanim stanjima pare i vakuuma, s oduzimanjem pare samo za zagrijavanje napojne vode do propisanih temperatura; u pogonu smiju biti samo oni pomoćni uređaji potrebni za pogon porivne turbine i oni smiju biti opterećeni samo onoliko koliko to zahtijeva ta svrha;
- normalne trajne ugovorene snage porivne turbine pri propisanim stanjima pare i vakuuma, a bez oduzimanja pare; u tom slučaju mjeri se samo potrošak pare porivne turbine;
- maksimalne trajne ugovorene snage porivne turbine pri propisanim stanjima pare i vakuuma, s oduzimanjem pare za zagrijavanje napojne vode na propisane temperature za rad evaporatora; u pogonu treba da budu svi pomoćni uređaji potrebni za rad porivne turbine i za normalne zahtjeve u plovidbi.

5.4.2.2. Ispitivanje kotl(ov)a

Ovo ispitivanje obavlja se u skladu s propisima i zahtjevima klasifikacijskih zavoda i nadležnih inspekcijskih službi.

5.4.2.3. Minimalni broj okretaja

I ovo ispitivanje provodi se u skladu sa zahtjevima klasifikacijskih zavoda.

5.4.2.4. Vožnja izdržljivosti

Trajanje vožnje izdržljivosti mora biti u skladu sa zahtjevima klasifikacijskih zavoda. Preporučuje se da ono ne bude kraće od osam sati. Ukupno trajanje vožnje izdržljivosti dijeli se na režime iz točke 5.4.2.1. Preporuka je da se vožnja izdržljivosti provodi s nazivnim brojem okretaja. Ispitivanje na mjernoj milji može se uključiti u vožnju izdržljivosti, pa i ispitivanje manevarskih odlika broda, sve uz uvjet da se održava isti broj okretaja, usvojen za pokuse izdržljivosti. Za vrijeme vožnje izdržljivosti utvrđuje se:

- snaga na osovini (vratilu), koja se proračunava iz zakretnog momenta dobivenoga očitavanjem na torziometru i broja okretaja;

- potrošak goriva s pomoću baždarenih mjerača (osim onih ugrađenih na brodu) iii posebno kalibriranim spremnicima; potrošak goriva se ustanovljuje na osnovi prosjeka očitavanja za određeni vremenski period.

Za proračun specifičnog potroška goriva valja očitati temperature goriva i utvrditi prosječnu snagu na osovini (vrtilu) za mjerni period.

Uz te podatke treba poznavati koeficijent korekcije mjerača protoka, specifičnu težinu i kaloričnu vrijednost goriva.

5.4.2.5. Sigurnosni uređaji

Tijekom vožnje izdržljivosti provjerava se funkcioniranje i ispravnost svih sigurnosnih uređaja i regulatora, osim uređaja za izbacivanje kod prekomjernog broja okretaja.

5.4.3. Mjerenje opterećenja na glavnoj razvodnoj ploči

Za vrijeme vožnje izdržljivosti treba da u izvjesnom vremenskom periodu budu u radu samo uređaji potrebni za normalnu plovidbu; tijekom tog perioda valja registrirati podatke na glavnoj razvodnoj ploči; ti će podaci biti orijentacija za utrošak električne energije u uvjetima normalne plovidbe.

5.4.4. Ispitivanje torzionih vibracija

5.4.4.1. Ovim su standardom definirane mjerne veličine, metode, opseg mjerenja i instrumenti kojima se utvrđuje veličina amplitude torzionih vibracija i dodatna naprezanja u koljenastoj osovini (vrtilu) porivnog motora, osovinama (vrtilima) turbina i reduktora, u međuosovinama i osovini (vrtilu) vijka.

5.4.4.2. Uvjeti ispitivanja

Za mjerenje i analizu torzionih vibracija prije je potrebno prethodno provesti proračun torzionih vibracija za prvi i drugi način vibriranja (eventualno još i za više načina vibriranja kod specijalnih pogona). Proračun mora sadržavati i podatke o vlastitim frekvencijama, relativnim amplitudama

na pojedinim zamašnim masama, relativnom torzionom opterećenju na pojedinim sekcijama osovinskog niza (vratila), te podatke o glavnim dimenzijama osovina (vratila) u cjelokupnom vibracijskom sustavu.

5.4.4.3. Normalna ispitivanja obavljaju se u vodi dubine najmanje četiri puta veće od broskog gaza. Ako su ispitivanja u plićoj vodi, treba približnu dubinu vode unijeti u izvještaj o mjerenju.

5.4.4.4. Ispitivanja se provode po mogućnosti uz takav gaz na krmi kojim će se osigurati da vijak bude potpuno uronjen u mirnoj vodi. Ako on nije bio potpuno uronjen, mora se u izvještaju o mjerenju točno naznačiti postotak njegove uronjenosti. Ispitivati se može i u uvjetima većega gaza.

5.4.4.5. Za vrijeme ispitivanja promjena kuta otklona kormila mora biti ograničena na $\pm 3^{\circ}$.

5.4.4.6. Mjerenje se obavlja na ovim mjestima:

- na čelu porivnog stroja preko remenice izravno spojene na osovinu (vratilo) stroja ili preko elastične spojke ili preko posebnih adaptera (elektromehanički davači);
- na određenom mjestu međuosovine (vratila) ako priključak na čelu nije moguće izvesti.

5.4.4.7. Veličine koje se utvrđuju:

- amplituda torzionih vibracija za niz određenih stanja porivnog stroja i, po potrebi, za prijelazna stanja pri promjeni broja okretaja porivnog stroja naviše ili naniže;
- vrijeme i okretaji porivnog stroja (ili međuosovine) mjere se baždarenom štopericom i registiraju se u torziogramu.

5.4.4.8. Tok ispitivanja:

Torzione vibracije porivnog stroja ispituju se u plovidbi u kursu, snimanjem vibracija uz održavanje konstantnog broja okretaja (oko 1 min) porivnog stroja, i to u koracima veličine od 5 do 10% nazivnog broja okretaja, počevši od minimalnoga pa do maksimalnog broja okretaja stroja, a posebno detaljno u područjima rezonancije. Za područje rezonancije za koje se već u proračunu pretpostavlja da će biti zabranjeno za rad, što sporijim

prijelazima tog područja snimanje se mora obaviti višekratnim s nižega na viši broj okretaja, i obratno. Nakon takva ispitivanja snima se torziogram uz sporu kontinuiranu promjenu broja okretaja porivnog stroja.

5.4.4.9. Instrumenti za mjerenje torzionih vibracija:

Torzione vibracije snimaju se mehaničkim ili električnim torziografom sa zamašnom masom, elektrootporničkim torziometrom i sl..

5.4.4.10. Frekvencije mjerenih vibracija moraju biti barem dva puta više od vlastite frekvencije instrumenta. Na početku i na kraju svakog mjerenja valja na torziogramu snimiti posebno vlastitu frekvenciju instrumenta.

5.5. OSTALE PROVJERE

5.5.1. Ispitivanje linearnih vibracija broda

- 5.5.1.1.** Ovim su standardom definirane mjerne veličine, metode, opseg mjerenja i instrumentarij s pomoću kojih se utvrđuje intenzitet vibracija kako bi se ocijenio njihov utjecaj na psiho-fiziološke osobine čovjeka, ali i na strukturu broda, njezine pojedine elemente, brodske instrumente itd.
- 5.5.1.2.** Uvjeti ispitivanja
- Normalno ispitivanje obavlja se u vodi dubine najmanje četiri puta veće od broskog gaza. Ako se ispituje u plićoj vodi, onda se približna dubina vode unosi u izvještaj o mjerenju.
- 5.5.1.3.** Ispitivanje se provodi po mogućnosti uz takav gaz na krmi kojim će se osigurati da vijak bude potpuno uronjen u mirnoj vodi. Ako on nije bio potpuno uronjen, u izvještaju o mjerenju točno se naznačuje postotak njegove uronjenosti. Ispituje se i s većim brodskim gazom.
- 5.5.1.4.** Za vrijeme ispitivanja promjena kuta otklona kormila treba da bude ograničena na $\pm 3^\circ$.
- 5.5.1.5.** Obavljaju se mjerenja:
- vertikalnih i poprečnih vibracija na krajnjem dijelu brodske krme (po mogućnosti što bliže njegovoj središnjici), na nosaču koji je čvrsto vezan za brodsku strukturu; zatim uzduž broda iznad nepropusnih pregrada ili nosača čvrsto povezanih s brodskom strukturom (ta mjerenja uzduž broda valja obaviti radi utvrđivanja oblika vibracija pri rezonanciji trupa, osobito za one koje se manifestiraju u blizini područja nazivnog broja okretaja porivnog stroja);
 - lokalnih vibracija na mjestima gdje se osjeti da su one izrazite.
- 5.5.1.6.** Veličine koje valja utvrditi:
- amplitude pomaka ili brzine ili ubrzanja i frekvencije linearnih vibracija za niz određenih stanja rada porivnog stroja, te po potrebi za prijelazna stanja s promjenom

broja okretaja porivnog stroja navise i naniže; - vrijeme i okretaji porivnog stroja (ili meduosovine) mjere se baždarenom štopericom i registriraju u vibrogram.

5.5.1.7. Tok ispitivanja

Vertikalne, poprečne i uzdužne vibracije snimaju se u plovidbi u kursu uz održavanje konstantnog broja okretaja porivnog stroja (oko 1 min), i to u koracima od 5 do 10% nazivnog broja okretaja, s posebnom pažnjom u područjima rezonancija.

5.5.1.8. Instrumenti

Vibracije trupa mjere se i snimaju mehaničkim vibrografom sa seizmičkom masom, električnim vibrometrom sa seizmičkom masom, električnim akcelerometrom itd.

5.5.1.9. Lokalne vibracije snimaju se mehaničkim instrumentom s oprugom (tastografom), električnim akcelerometrom itd.

Frekvencije mjerenih vibracija moraju biti barem dva puta više od vlastite frekvencije instrumenta. Na početku i na kraju svakog mjerenja na vibrogramu se snima vlastita frekvencija instrumenta.

5.5.2. Ispitivanje brodske buke

5.5.2.1. Buka se ispituje i mjeri prema preporukama ili propisima nadležnih organa ili prema nekim drugim ugovorenim pravilima i standardima.

5.5.2.2. Uvjeti mjerenja

Strojarnica

U strojarnici buka se mjeri tijekom nominalnog režima rada porivnog stroja uz normalni rad ostalih motora i uređaja.

5.5.2.3. Ostale prostorije

Pri mjerenju buke prostorije moraju biti potpuno opremljene.

Buka se mjeri pri uključenoj ventilaciji ili klimatizaciji, uz zatvorena vrata i prozore.

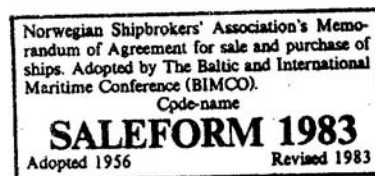
5.6. PREUZIMANJE RABLJENOG BRODA

Bitna je razlika između preuzimanja rabljenoga i novog broda (novogradnje). U prvom redu, kad se preuzima rabljeni brod, ne može biti riječi o pokusima i provjerama koje bi imale veze s periodom uhodavanja, jer je taj period obično odavno prošao. Može se, dakle, govoriti o pokusima i provjerama kojima se želi utvrditi trenutačno stanje i performanse broda i njegovih sustava. Osim što je to utvrđivanje važno za ocjenu valjanosti i povoljnosti broda s obzirom na njegovu kupoprodajnu cijenu, ono je bitno i za oblikovanje terotehnološkog procesa tijekom njegova budućeg iskorišćavanja. Opseg, međutim, pokusa i provjera koje se dadu obaviti tijekom preuzimanja rabljenog broda obično je dosta skučen.

Kupoprodaja rabljenih brodova temelji se najčešće na ugovoru koji se skraćeno nazivlje "SALEFORM 1983", a puni mu je naziv i izgled prikazan na slici 33

MEMORANDUM OF AGREEMENT

Dated:



Slika 33.

S terotehnološkog aspekta najvažnije su točke ovog ugovora četvrta, šesta, sedma i osma. Njihovi bi najznačajniji dijelovi, u slobodnom prijevodu s engleskoga, bili:

- | | |
|--|---|
| " 4. <u>Pregledi</u> | 1 |
| " Kupac ima pravo pregledati arhivsku građu u vezi s klasifikacijskim | 2 |
| " pregledima broda i izjasniti se je li mu ona prihvatljiva ili ne. | 3 |
| " Prodavalac će osigurati pregled broda. | 4 |
| " Kupac će pregledati brod u plutajućem stanju bez otvaranja (rasklapanja) | 5 |
| " i bez troškova za prodavaoca. Za vrijeme pregleda kupcu će biti na | 6 |
| " raspolaganju brodski dnevnik i dnevnik stroja radi uvida. | 7 |

"	Ako brod bude prihvaćen nakon ovakvog pregleda u plutajućem	8
" stanju,	kupoprodaja postaje konačnom.	9
" 6.	<u>Dokovanje</u>	10
" U vezi s isporukom	prodavalac će postaviti brod u dok u luci isporuke	11
" da bi vještak	klasifikacijskog zavoda pregledao dno i druge	12
" podvodne dijelove	ispod linije ljetnog nadvođa. Ako se ustanovi da	13
" je kormilo,	propulzor, dno ili neki drugi podvodni dio ispod linije	14
" ljetnog nadvođa	slomljen, oštećen ili defektan u tolikoj mjeri da to	15
" može utjecati	na valjanost svjedodžbe o klasi broda, takav će se defekt	16
" popraviti	na trošak prodavaoca.	17
" Dok je brod u doku,	i ako to bude zahtijevao kupac ili predstavnik	18
" klasifikacijskog zavoda,	prodavalac će urediti da se osovina (vratilo)	19
" vijka izvuče	radi pregleda. Bude li ona škartirana ili pronađena de-	20
" fektnom u tolikoj mjeri	da to može utjecati na valjanost svjedodžbe o	21
" klasi broda,	bit će zamijenjena (obnovljena) ili popravljena na trošak	22
" prodavaoca,	a na zadovoljstvo vještaka klasifikacijskog zavoda.	23
" Troškovi izvlačenja	i ponovnog stavljanja na mjesto osovine (vratila)	24
" vijka snosit će kupac,	osim ako zahtjev za izvlačenje i ponovno stav-	25
" ljanje na mjesto osovine vijka	(bez obzira na to je li ona oštećena ili	26
" nije) ili njezinu zamjenu	(obnovu) ili popravak nije postavio vještak	27
" klasifikacijskog zavoda,	u kojem će slučaju sve te troškove snositi	28
" prodavalac.		29
" Troškove dokovanja	i izdokovanja broda, uključujući najam doka i	30
" troškove klasifikacijskog zavoda,	snosit će prodavalac samo ako kor-	31
" milo, propulzor,	dno ili neki drugi podvodni dio ispod linije ljetnog	32
" nadvođa bude nađen	oštećen ili osovina vijka bude slomljena, ošteće-	33
" na ili defektna,	ili ako je vještak zahtijevao da se osovina vijka izvuče	34
" (bez obzira na to je li oštećena ili nije).	U svakom drugom slučaju	35
" sve spomenute troškove	snosit će kupac.	36
" Za vrijeme prije	spomenutih pregleda vještaka klasifikacijskog zavoda	37
" predstavnik kupca	ima pravo da bude nazočan u doku, ali se ne srni-	38
" je uplitati u odlučivanje	vještaka.	39
" Prodavalac će o svom trošku	dovesti brod do doka i od doka do mje-	40
" sta isporuke.		41
" 7.	<u>Doknadni dijelovi/gorivo itd.</u>	42
" Prodavalac će kupcu	isporučiti brod sa svim onim što brodu pripada,	43

8

" bilo da se nalazi na njemu ili je na kopnu. Svi doknadni dijelovi i	44
rezervni uređaji, uključujući rezervnu osovinu (vratilo) vijka i/ili	45
" rezervni propuizor, ako postoje, koji su pripadali brodu u trenutku	46
" pregleda, rabljeni ili novi, bili na brodu ili ne, postaju vlasništvo	47
kupca; dijelovi kojih je narudžba u toku iz toga su isključeni. Troš-	48
" kovi isporuke, ako ih bude, bit će na teret kupca. Prodavalac nije	49
" obavezan nadomjestiti one doknadne dijelove, uključujući i rezervnu	50
" osovinu vijka i rezervni propuizor, koji su bili uzeti iz pričuve i u-	51
" potrijebljeni kao zamjena prije isporuke broda, ali ti rabljeni zamije-	52
" njeni dijelovi postaju vlasništvo kupca. Radio-uređaj i navigacijska	53
" oprema, ako su vlasništvo prodavaoca, uključeni su u prodaju bez	54
" nadoplate.	55
" Prodavalac ima pravo s broda iskrcati posude, tanjure, jedaći pribor,	56
" posteljinu i ostale predmete koji imaju otisnute oznake ili zastavu pro-	57
" davaoca, pod uvjetom da ih nadomjesti sličnim neobilježenim. Knjižni-	58
" ca, obrasci itd., koji su u isključivoj upotrebi na brodovima prodavaoca,	59
" isključeni su iz prodaje, i to bez kompenzacije.	60
" Kupac će preuzeti preostalo gorivo, netrošeno mazivo i netrošene za-	61
" lihe materijala i namirnica i za to će platiti trenutnu tržišnu cijenu	62
" u luci isporuke na dan isporuke broda.	63
" 8. <u>Dokumentacija</u>	64
" U trenutku isporuke prodavalac će kupcu uručiti sve klasifikacijske	65
" svjedodžbe i sve nacрте i sl. koji su na brodu.	66
" Ostalu dokumentaciju, ako je ima, prodavalac će odmah uputiti kup-	67
" cu, čim od njega primi instrukcije. Prodavalac može zadržati brodske	68
" dnevnike, ali kupac ima pravo napraviti fotokopije.	69

Preuzima li se, dakle, brod na temelju ovakvog ugovora, što je najčešće tako, male su mogućnosti za bilo kakvu provjeru ili pokus koji bi bio relevantan s terotehnološkog aspekta. To jasno proizlazi iz točke 4. ugovora redak 5, i 6. Prihvaćanjem broda nakon ovakvog pregleda u plutajućem stanju, kupoprodaja je zaključena (redak 8. i 9). To zapravo znači da svi defekti koji se poslije otkriju pregledom u doku, moraju doduše biti otklonjeni o trošku prodavaoca, ali se brod više ne može odbiti, pa makar to bila i najteža oštećenja ili defekti. Zbog toga je u ovakvim okolnostima od bitne važnosti pomna analiza arhivske građe u vezi s klasifikacijskim pregledima prethodnog perioda iskorišćavanja broda.

Posebno se mora usredotočiti na otkrivanje eventualnih identičnih ili sličnih kvarova koji se ponavljaju na jednom te istom ili njemu identičnom uređaju. To upućuje na konstrukcijsku manu uređaja, što znači da će takvih kvarova i ubuduće biti. Općenito, temeljitom analizom arhivske građe u vezi s klasifikacijskim pregledima prethodnog perioda iskorišćavanja broda može se dobiti dosta indikativnih podataka o ponašanju i pouzdanosti brodskih sustava i pojedinih uređaja, iz čega je moguće stvoriti izvjesnu predodžbu o valjanosti rabljenog broda koji se namjerava preuzeti.

Poseban je problem upravljanje terotehničkim procesom novonabavljenoga rabljenog broda. U tom kontekstu treba obratiti pažnju na točku 7. ugovora, redak 59. i 60: "... obrasci itd. koji su u isključivoj upotrebi na brodovima prodavaoca, isključeni su iz prodaje". Plan održavanja brodskih uređaja rađen je očito po metodi koju prodavalac primjenjuje i na ostale svoje brodove. Polazeći od te postavke, i plan održavanja može se svrstati pod "... obrasce itd. koji su u isključivoj upotrebi na brodovima prodavaoca". Vrlo je vjerojatno da će prodavalac tako i postupiti i, koristeći se pravom koje mu daje ova točka ugovora, uskratiti kupcu plan održavanja. Naime, brod koji prodavalac prodaje ne odlazi u staro željezo, već u flotu njegova izravna konkurenta. Njegov je interes, dakle, da smanji konkurentnu sposobnost svog suparnika na tržištu, što bi se uskraćivanjem plana održavanja moglo podabrano postići.

U istom svjetlu valja promatrati i točku 8. ugovora, redak 66. i 67: "... sve nacрте itd. koji su na brodu. Ostalu dokumentaciju, ako je posjeduje ...". Iz toga proizlazi da ništa ne obvezuje prodavaoca da brod isporuči s potrebnom dokumentacijom. To je važna činjenica koju valja također imati na umu prilikom preuzimanja rabljenog broda. Iskustvo pokazuje da ta dokumentacija nije gotovo nikad potpuna, a često je vrlo manjkava.

Kod preuzimanja rabljenog broda mora se, dakle, računati sa specifičnim problemima. Kao prvo, neće biti moguće provesti odgovarajuće pokuse i provjere, kojima bi se odredilo (početno) stanje i performanse pri ulasku broda u eksploataciju. Kao drugo, ali ne zato i manje važno, neće najvjerojatnije biti moguće započeti proces održavanja sa suvislim terotehničkim utemeljenim planom zahvata. Uzrok je tome što nema potrebne podloge, možda čak ni knjige uputa proizvođača, niti informacija o dotad

izvršenim zahvatima i vremenu koje je proteklo od zadnjeg zahvata. Jasno je, ako je brod opremljen ispravnim sustavom za praćenje stanja i performansi, da će problem, iako zapravo isti, biti ipak manje akutan.

Sve to dovodi do stanja koje je već opisano u poglavlju 3.7. pod naslovom "Tehnologija i organizacija održavanja", i to baš za preuzimanje rabljenog broda. Trebat će pri tome u početku iskorišćavanja organizirati ubrzano rasklapanje jednoga po jednog uređaja, utvrditi stanje i izvršiti potreban zahvat. Za svaki će se uređaj planirati interval idućeg zahvata, rukovodeći se nađenim stanjem, opsegom izvršenih obnova komponenata i otprije stečenim iskustvom na sličnim ili istim uređajima. Zato, u početku iskorišćavanja rabljenog broda organizacija održavanja biva i tehnologijom, odnosno metodom istraživanja odgovarajuće tehnologije, sve dok je konačno ne otkrije i tako joj se ne potčini.

6. PRISTUP PLANIRANJU ODRŽAVANJA

6.1. UVODNA RAZMATRANJA

Nema nikakve sumnje da se primjenom automatskih sustava za praćenje stanja i performansi, potpomognutih umjetnom inteligencijom, unapređuje brodska terotehnologija, i u praksi i u teoriji. Njihov konstantni razvoj potiče na vrlo smjele vizije u skoroj budućnosti, pa čak i na zaključak da će terotehnologija tako postići svoj krajnji cilj i domet - zahvat u pravom trenutku. A to znači da takav zahvat neće u doslovnom smislu biti ni preventivni, ni planski, ni korektivni, već jednostavno p r a v i , kad će se komponenta mijenjati (obnavljati) na kraju svoga s t v a r n o g vijeka trajanja, a prije kvara.

Recentna dostignuća na polju "monitoringa" idu u prilog ovakvim gledanjima. Jer, dok se konvencionalni terotehnološki proces na brodu oslanja u svakom trenutku na znanje i iskustvo broorskog i kopnenog terotehnološkog osoblja (koje procjenjuje relevantne parametre i zaključuje o stanju), dotle današnji sustavi za automatsko praćenje stanja i performansi već to rade sami i daju kontinuirano zaključke, upozorenja i upute za zahvat. Jasno je da se njihova umjetna inteligencija sva oslanja samo na znanje i iskustvo čovjekovo, od broorskog i kopnenog terotehnološkog osoblja do graditelja broda i brodskih uređaja, te matematičara, statističara i informatičara. Ipak, napravljen je krupan korak baš u "arhitekturi" te umjetne inteligencije. Naime, da bi se dobio pouzdan i jednoznačan zaključak, valjalo je napustiti sekvencijalnu logiku AKO.. ONDA... (IF.. THEN...), koja sama bez posredovanja čovjeka ne može artikulirati odgovor, i ugraditi u umjetnu inteligenciju tzv. meta-znanje, tako da ona sama može provjerati i uvjeriti se da je u odgovoru isključena svaka mogućnost kontradikcije između pojedinih dijelova pohranjenog znanja.

Na osnovi tako koncipiranih "superinteligentnih" sustava za praćenje stanja i performansi, razvili su se već i "novi" pristupi održavanju brodskih uređaja. Najznačajnije performanse, koje ovakvi sustavi postižu su:

1. dugoročna predviđanja na osnovi analize trendova;
2. kratkoročna predviđanja na osnovi analize predznaka kvarova;

3. otkrivanje i lociranje kvarova

Osim tih, nazovimo ih uvjetno, spektakularnih dostignuća, ovakvi sustavi pružaju još i dodatnu podršku, koja može uvelike olakšati svakodnevne brige brodskom osoblju, a posebno osobi koja rukovodi terotehnološkim procesom na brodu. Između ostaloga imaju oni "ugrađenu" sposobnost balansiranja opterećenja brodskog osoblja na održavanju ovisno o njihovom broju i vremenu te odstupanju od planom određenih zahvata.

Upravo posljednja pohvala, reklo bi se spontano, upućuje na granice koje ovi zaista korisni sustavi sami sebi postavljaju na području brodske terotehnologije. Oni će nesumnjivo pripomoći u optimalizaciji intervala između dva sukcesivna zahvata, tj korigirat će preveliku ili premalu učestalost zahvata, pa time pridonijeti minimalizaciji direktnih i indirektnih troškova održavanja. Osim toga, ako budu primijenjeni na brojem relevantnoj populaciji brodova, i ako se sve te informacije budu slijevale u jedinstveno središte u kojemu će se interpretirati i obrađivati, pridonijet će to općenito napretku brodske terotehnologije u teoriji i praksi. No, plan održavanja, onaj osnovni (ili početni) ostat će zadatkom osoblja koje je za terotehnološki proces zaduženo. Najbolje je (a možda i s jednim pravim izgledom za uspjeh) da osnovni plan održavanja bude i početni, tj. da novi brod s takvim planom održavanja već isplovi iz brodogradilišta.

6.2. PLANIRANJE ZAHVATA ODRŽAVANJA

Ako je svrha iskorišćavanja broda privređivanje, onda je planiranje zahvata održavanja broda i njegovih sustava bitni uvjet za njegovo iskorišćavanje. Privređivanje brodom ne mora značiti samo prijevoz robe i putnika već i sve ostale aktivnosti kojim se privređuje, kao što je lučko tegljenje, spašavanje, iskorišćavanje mora i podmorja itd. Planiranje zahvata održavanja je, dakle, nužnost trgovačke mornarice. (To, međutim, ne znači da nije i nužnost ratne mornarice. Dapače! Samo su kriteriji ponešto drukčiji i nisu prije svega ekonomske naravi, što oni kod trgovačke mornarice jesu.)

Da bi se mogla planirati aktivnost u vezi sa zahvatima održavanja, valja prvo točno utvrditi predmet te aktivnosti: brodske sustave i njima pripadajuće uređaje. Drugim riječima, valja prvo napraviti detaljni i točni popis te opis svih brodskih uređaja i mehanizama koji zahtijevaju održavanje.

To se na prvi pogled čini suvišnim i spominjati, jer je ono samo od sebe napravljeno. Naime, svaka se novogradnja danas s takvim popisom i opisom već isporučuje. Pa ipak, dogodi se i događa se da se poneki uređaj, pumpa npr., tijekom pokusa zbog kvara zamijeni drugim, koji je ponekad i drukčijih karakteristika i od drugog proizvođača, a da se u popisu i opisu brodskih uređaja, koji je već otprije bio pripremljen, to ne zabilježi. Osim toga, takav popis i opis, ako nije posebno ugovoreno, ne sadrži sve elemente potrebne za izradu plana održavanja. Zbog toga, izradi popisa i opisa brodskih uređaja valja posvetiti dužan trud i pažnju jer je on osnovica od koje započinje odgovorni i složeni rad na planiranju zahvata održavanja.

Kad je jednom već izrađen vjerodostojan popis i opis brodskih uređaja, onda njegovu vjerodostojnost valja održavati tijekom cijelog vijeka iskorišćavanja broda. To znači da treba zabilježiti svaku promjenu koja se u pogledu karakteristika brodskih uređaja (uređaj zamijenjen novim istog tipa i proizvođača, drugim tipom i sl.) zbije tijekom iskorišćavanja broda, i to odmah i na svim relevantnim pozicijama u mreži podataka potrebnih za upravljanje terotehničkim procesom na brodu.

Planiranje zahvata održavanja započinje konzultacijom knjige uputa proizvođača za svaki pojedini uređaj, da bi se utvrdio prosječni interval planiranog zahvata " m_p " (vidi poglavlje 3.5).

Ako je uređaj sa zalihosti (takva je većina brodskih uređaja), valja procijeniti njegov indeks kvarova " λ ", i prema izrazu (27) izračunati prosječno vrijeme između kvarova " m_T " za preporučeni interval " m_p ". Ako je " m_T " realistično i prihvatljivo, onda je " m_p " iz uputa proizvođača podatak na koji se pri planiranju ne smije zaboraviti. Ako " m_T " odudara od realnoga ili prihvatljivog, onda se mora od proizvođača preporučeno " m_p " skratiti ili produljiti. (Zadatak planiranja zahvata održavanja pretpostavlja, očito, vrsnog terotehnologa!)

Daljnji je važan korak u planiranju zahvata održavanja da se utvrde uvjeti iskorišćavanja broda. To u prvom redu znači da valja u suradnji sa službom koja se bavi zapošljavanjem brodova ocijeniti (godišnje) vrijeme broda u plovidbi i u mirovanju. (Dakako, samo taj podatak nije dovoljan za efikasno upravljanje terotehnološkim procesom; trebalo bi još utvrditi i zone plovidbe, te boravak u lukama i na sidrištima i dr.). Kad su, dakle, ustanovljeni (realistički procijenjeni!) uvjeti iskorišćavanja broda, planer će izračunati planirani indeks zahvata " λ_p " (lambda plansko) i početi oblikovati prvi obris plana održavanja.

Za uređaje za koje su pogonski sati u godini krajnje neizvjesni, a zasigurno ne premašuju " m_p ", ali i za sve uređaje koji su jednako podložni kvarovima radili ili ne radili, ili čak više ako nisu u pogonu (za većinu palubnih uređaja može se primijeniti i prva i druga opaska), " λ_p " se neće određivati prema pogonskim satima, već prema kalendarskom roku. Tako će za uređaj na kojemu se zahvat održavanja obavlja jednom u godini, lambda plansko iznositi $\lambda_p = 1,0$, a ako se zahvat planira jednom u dvije godine iskorišćavanja broda, bit će $\lambda_p = 0,5$.

Ima uređaja gdje se zahvat održavanja odvija postupno po dijelovima. To se osobito odnosi na porivni motor. Tako će osnovni sklop za planiranje zahvata kod porivnog motora biti cilindar, a zahvat će se izvršiti na poklopcu, košuljici, stapalu itd., već prema tome koliko je terotehnološki logično u jednomu mahu obuhvatiti.

Kad je utvrđeno λ_p za svaki uređaj koji treba održavati, mora se za svaki zahvat odrediti prosječni rad planiranog zahvata " Φ_p " (fi plansko), bilo iz uputa proizvođača uređaja bilo iz vlastitog iskustva, kako bi se na osnovi jednadžbe moći održavanja (45) izvršila optimalizacija posade. Nakon toga se pristupa planiranju zahvata održavanja.

Za brod koji je polovicu vremena u plovidbi, a polovicu miruje, izgledalo bi to ovako:

- neka porivni motor ima četiri cilindra;
- neka " m_p " cilindra iznosi 6000 sati;
- prema vremenu u plovidbi λ_p plansko za svaki cilindar iznosilo bi $\lambda_p = 4380 \cdot 6000 = 0,73$ zahvata /godina.

Radi zadovoljenja graničnog kriterija uporabljivosti (48) i ujednačenja opterećenja brodskog osoblja, valja izvršiti vremenski pomak zahvata po cilindrima, jer bi inače svi pali u isto vrijeme. Jedan se cilindar obično otvara na isteku garancijskog perioda, dakle otprilike nakon 4380 sati rada. U prvom ciklusu za ostala tri cilindra neka se " m_p " postupno povećava za 540 sati, tako da na cilindru na kojem će se zahvat obaviti posljednji, dosegne on 6000 sati (540 sati rada porivnog stroja znače u ovom slučaju kalendarsko vrijeme od oko 45 dana).

Neka godine planiranja započinju danom isporuke broda i neka budu označene arapskim, a mjeseci u godini rimskim brojkama.

PORIVNI STROJ

Tablica 7.

Uređaj	1.	2.	3.	4.	5.
Cilindar br. 1	XII; Φ_p		V; Φ_p	X; Φ_p	
Cilindar br. 2		II; Φ_p	VII; Φ_p	XII; Φ_p	
Cilindar br. 3		IV; Φ_p	IX; Φ_p		II; Φ_p
Cilindar br. 4		VI; Φ_p	XI; Φ_p		IV; Φ_p

SUSTAV DIZEL-GENERATORA

Primjer iz poglavlja 3.5:

3 dizel-generatora jednake snage; $m_p = 4000$ sati; $\lambda_p = 0,73$

Tablica 8.

Uređaj	1.	2.	3.	4.	5.
Agregat br. 1	V; Φ_p	XII; Φ_p		IV; Φ_p	VIII; Φ_p
Agregat br. 2	XI; Φ_p		II; Φ_p	VI; Φ_p	X; Φ_p
Agregat br. 3		IV; Φ_p	X; Φ_p		II; Φ_p

SUSTAV GRIJANJA

Tablica 9.

Uređaj	1.	2.	3.	4.	5.
Kotao na ispušne plinove	VI; Φ_p	VI; Φ_p	VI; Φ_p	VI; Φ_p	VI; Φ_p
Kotao na naftu	XII; Φ_p	XII; Φ_p	XII; Φ_p	XII; Φ_p	XII; Φ_p

I tako dalje, od sustava do sustava, dok zahvati održavanja na svim uređajima ne budu na ovaj način raspoređeni, zajedno s odgovarajućim prosječnim radom Φ_p .

Ovdje treba istaknuti da prosječni rad planiranog zahvata " Φ_p " za pojedini uređaj ne mora biti jednak za cijeli vijek iskorišćavanja broda. Mogu se alternativno planirati zahvati većeg ili manjeg opsega, ako to terotehnoški proces omogućuje ili zahtijeva, a i sa "starenjem" uređaja za očekivati je da će se " Φ_p " povećavati.

Na osnovi ovoga prvog približenja petogodišnjem (reklasifikacijski ciklus!) planu zahvata održavanja, izrađuje se obično plan za prve dvije godine, od kojih je samo plan za prvu važeći, a plan za slijedeću čeka korekcije iz prethodne godine iskorišćavanja, da bi tek onda bio lansiran.

Proces izrade plana zahvata i održavanja za prvu (i drugu) godinu iskorišćavanja broda tekao bi dalje ovako: ono što je prethodno bilo raspoređeno po uređajima, sad se raspoređuje po mjesecima u godini.

GODINA 1.

Tablica 10.

Mjesec	uređaj,	opis zahvata,	Φ_p	$\Sigma \Phi'_p$
I.	uređaj A;	zahvat a, Φ_p ; B, a, Φ_p ;	itd.	$\Sigma \Phi'_p$
II.	E, b, Φ_p ;	F, a, Φ_p ; G, a, Φ_p	itd.	$\Sigma \Phi'_p$
XII.	itd.			$\Sigma \Phi'_p$
				$\Sigma \Phi'_{pi}$

Suvišno je i napominjati da je svaka vrsta zahvata označena posebnim simbolom. Kontrola uspješnosti raspoređivanja zahvata iskazuje se sa $\Sigma \Phi'_p$ i $\Sigma \Phi'_{pi}$. Druga vrijednost mora zadovoljiti ukupnu jednadžbu moći održavanja (45), a prva po istom principu mjesečnu. Tu je obično potrebno pristupiti korekcijama, odnosno ujednačavanju opterećenja brodskog osoblja na održavanju.

Najjednostavnije je premještati zahvate koji se planiraju prema kalendarskom roku. Oni se, naime, obavljaju jednom u godini ili jednom u pola godine i si., što znači da su u pogledu trenutka zahvata vrlo elastični. Ako se to pokaže nedovoljnim, onda valja pristupiti pomicanju zahvata utvrđenih na osnovi sati rada uređaja, tako da se "m_p" negdje malo skрати, a negdje malo produlji.

Tek kad je tako izbalansiran, godišnji plan zahvata održavanja može postati operativan. Takav se onda naziva "okvirnim planom" ("Master Plan").

Okvirni plan održavanja zapravo je, dakle, godišnji (i višegodišnji) raspored zahvata održavanja kojim se planski i organizacijski regulira terotehnološki proces na brodu.

Nakon što je ovaj posao obavljen, razrađuje se mjesečni plan zahvata. Naime, mjesečni opseg zahvata raspoređuje se na tjedne i dnevne zahvate, pri čemu se teži dnevnom ujednačenju opterećenja brodskog osoblja, koje neće biti uvijek moguće svesti na dogovoreno radno vrijeme.

Posebno se to odnosi na zahvate koji se moraju obaviti u luci, kad je uvijek u pitanju i granični kriterij uporabivosti. Zbog toga je za zahvate u lukama razumno planirati produženo radno vrijeme i/ili rad u smjenama. Uostalom, u poglavlju 3.5 (sl. 23), pri raščlanjivanju fonda radnih sati za održavanje, uzima se izvjesni postotak "lebdećih" radnih sati, ukalkuliran u godišnju količinu (i cijenu) rada brodskog osoblja. Svakako, usklađivanje opsega zahvata održavanja i dnevnog fonda raspoloživih radnih sati brodskog osoblja zahtijeva solidno terotehnoško znanje i organizacijsko iskustvo i vještinu.

S tim bi, zapravo, planiranje zahvata održavanja bilo završeno. Postoji, međutim, više komplementarnih programa kojima se provedba terotehnoškog procesa na brodu olakšava i unapređuje. Tako svaki pojedini zahvat na uređaju može biti detaljno opisan, sa shemom uređaja, s redoslijedom rasklapanja i ponovnog sklapanja, s popisom potrebnog alata i zaštitnih sredstava, s naznačenim optimalnim brojem izvršilaca i prosječnim potrebnim radom na zahvatu (Φ_p), s popisom i količinama tvari nužnim za čišćenje i podmazivanje te s pretpostavljenim doknadnim dijelovima potrebnima za uspješno dovršenje zahvata.

Sve to je otisnuto na posebnom kartonu, obično plastificiranomu, koji rukovodilac zajedno sa svojim timom proučava prije početka zahvata. To je "karton uputa za zahvat" (Job Information Card ili Job Sheet).

Osim planiranja zahvata održavanja valja isplanirati i tekuće održavanje. Ono obuhvaća razna periodička podmazivanja, čišćenja, mjerenja, pritezanja, provjere itd., sve bez rasklapanja uređaja. Te aktivnosti raspoređuju se dnevno, tjedno i mjesečno, i za njih treba predvidjeti poseban fond sati (vidi si. 23). Iako samo po sebi ne predstavlja posebni problem znanja i vještine, važno je da se ovo planiranje savjesno obavi, i još je važnije da se organizira pouzdana kontrola izvršenja, jer zaborav neke od ovih jednostavnih i vremenski malo zahtjevnih aktivnosti može izazvati vrlo velik kvar, posljedice kojega znaju biti znatni direktni i indirektni troškovi održavanja.

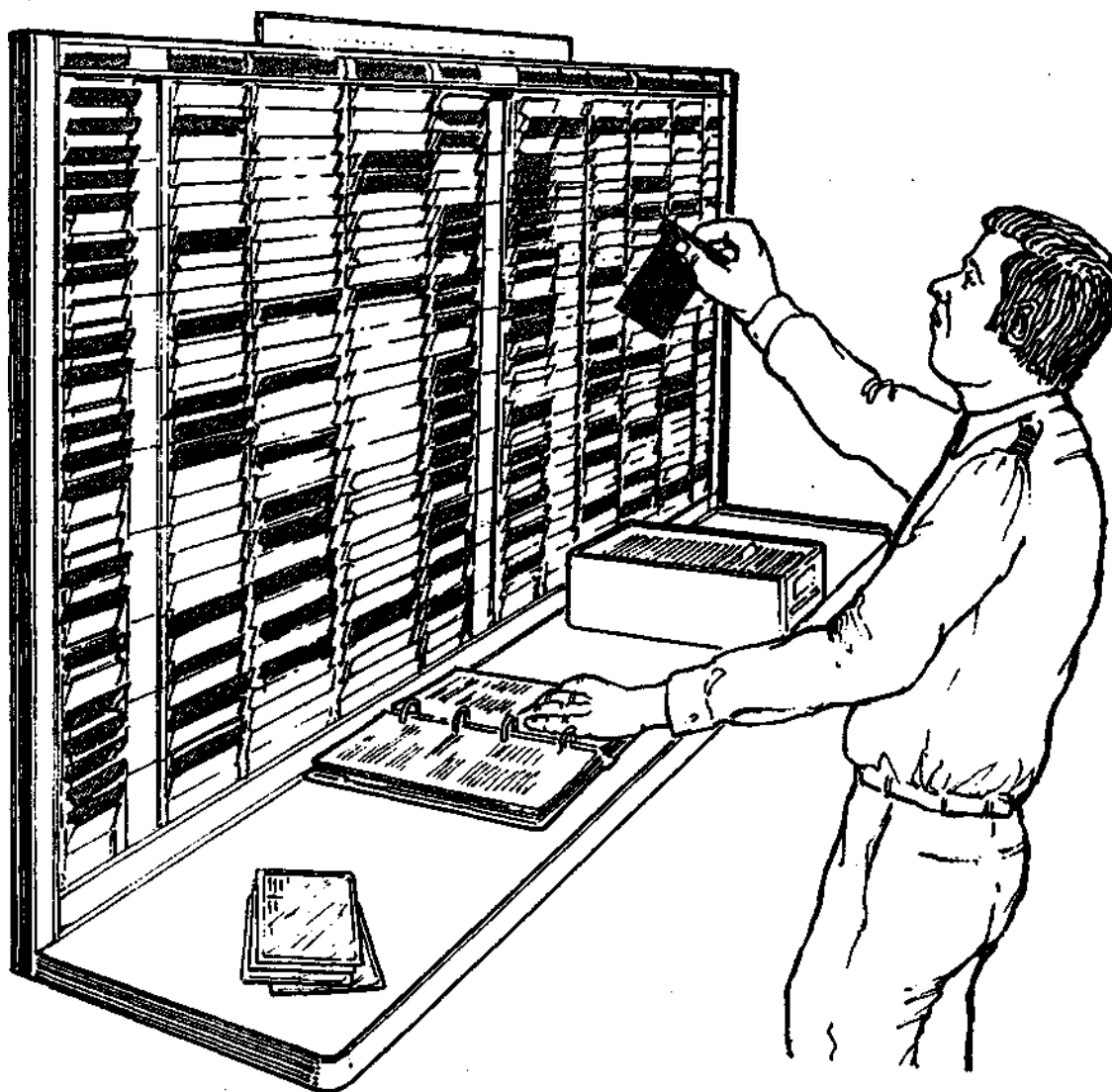
Cijeli postupak planiranja održavanja moguće je provesti bez posebnih pomagala. Pri tome "Popis i opis brodskih uređaja" čini posebnu knjigu (sa slobodnim listovima), koja, osim osnovnih podataka o uređaju, (uključujući i upute o tekućem održavanju), sadrži još i prosječni interval planiranog zahvata (m_p) za sve uređaje koji zahvat održavanja zasni-vaju na pogonskim satima, te planirani indeks zahvata (λ_p) za one uređaje koji se

održavaju na osnovi kalendarskog roka.

Druga knjiga je (dvo)godišnji "Okvirni plan održavanja" (Master Plan). Zapravo, iako je jedino važeći okvirni plan onaj za tekuću (brodsku) godinu (godišnji plan održavanja se ne mora poklapati s kalendarskom godinom), uputno je da brod uvijek ima i plan za slijedeću, radi pokrivanja praznine koja može nastati pri dostavi nove (ažurirane) knjige.

Mjesečni i dnevni planovi zahvata, kao i planovi tekućeg održavanja, obično se dostavljaju brodu kao snop pojedinačnih slobodnih kartonskih listova, kako bi se oni raspoređivali na ploču.

Naime, ovom "ručnom" načinu upravljanja terotehnološkim procesom središnje je mjesto na brodu tzv. planska ploča (Planning Board slika 34).



Slika 34.

Brodska planska ploča (Planning Board)

Ima ih različitih koncepcija, uglavnom više ili manje detaljiziranih. Obično je na njoj izložen mjesečni plan zahvata i tekućeg održavanja, zatim tjedni za sve sedmice u mjesecu i dnevni za sve dane u mjesecu. One detaljnije sadrže i posebnu karticu za svaki pojedini zahvat. Kad je zahvat obavljen, kartice se pohranjuju i služe za izvještaj o zahvatu i za evidenciju.

Malo je vjerojatno da će se mjesečni plan zahvata, pa i okvirni, u potpunosti ostvariti onako kako je zapisan. Za to ima više razloga. Od znatnog utjecaja na poremećaje u planu zahvata održavanja bit će promjena pretpostavljenih uvjeta iskorišćavanja broda. Kretanje broda ovisi o tržištu, pa kad je ono i najstabilnije, ipak ima svoje trenutačne potrebe koje su promjenljive i koje valja zadovoljiti. Zbog toga je element promjene uvjeta iskorišćavanja broda stalno prisutan.

Drugi "napad" na planiranu shemu zahvata dolazi od provjeravanja stanja i performansi uređaja, bez obzira na to obavlja li se ono automatskim uređajima ili iza njega stoji znanje i terotehnoško iskustvo brodskog osoblja. Taj "udarac" planu svakako je dobrodošao. Njime se provode korekcije pri planiranju neizbježnih prosjeka i regulira "pravi" trenutak zahvata.

Treći razlog za perturbacije u planu održavanja leži u korektivnim zahvatima. Iako se za neplanirano održavanje pri globalnom planiranju daje stanoviti fond sati (vidi sliku 23), takav korektivni zahvat često zahtijeva reviziju cjelokupnog uređaja, dakle planirani zahvat održavanja u neplanirano vrijeme. Korektivni zahvati nisu nikad poželjni, ali su u brodskoj terotehnologiji prisutni, bilo kao posljedica slučajnih kvarova (rijetko), bilo onih zbog dotrajalosti (češće), jer pristup održavanju brodskih sustava nije svjesno preventivan, već je planski.

Sve do ovih razmišljanja, prije iznesena postavka da za upravljanje terotehničkim procesom na brodu nije potrebno nikakvo posebno pomagalo, bila je u potpunosti prihvatljiva. Sada, pak, kad su u obzir došla česta kolebanja utvrđenog plana održavanja, mjesečnoga i godišnjeg, takva pomagala, ako i nisu prijeko potrebna, svakako su više nego korisna. Naime, samo je po sebi shvatljivo, koliko to mora biti dug i mukotrpan posao za odgovornu osobu na brodu, a i one na kopnu, "ručno" ispravljati dnevne, tjedne i mjesečne planove zahvata, a i komunikacija s kopnom na konvencionalan način zna biti dodatna teškoća. Očito je da je ovaj postupak mnogo brži, lakši, djelotvorniji i pouzdaniji ako se u pomoć prizove elektroničko računalo.

Elektroničko računalo u službi brodske terotehnologije (a ne služi samo njoj, već ono isto i drugim domenama upravljanja brodom) nije neko "veliko" računalo, već standardni "mali" personalni kompjutor. Vrlo je korisno da on bude povezan s kopnom službom satelitskom komunikacijom, ali to nije bitan uvjet za uvođenje kompjutorizacije u upravljanje terotehnološkim procesom na brodu. Komunikacija s kopnom, ako nije satelitska, može se obavljati dostavom kopije disketa iz prve luke, što je prihvatljivo i mnogo jednostavnije i pouzdanije od slanja rukom ispisanih izvještaja, koje onda u kopnenim službama treba ponovno negdje upisivati. Naime, svako prepisivanje podataka nosi uvijek u sebi vjerojatnosti umnažanja nehotične greške.

Uvođenjem kompjutorizacije u upravljanje terotehnološkim procesom na brodu, otpadaju praktički sve tiskane knjige i obrasci. Brodska planska ploča (Planning Board) postaje također suvišna i danas je se već može smatrati potpuno zastarjelim rekvizitom. Općenito, pristup planiranju zahvata održavanja i pristup ostalim upravljačkim elementima terotehnološkog procesa bez kompjutorizacije i kompjutora na brodu bio bi danas nerazuman i nerentabilan.

Svi planovi zahvata održavanja (pa i tekućeg održavanja) godišnji, mjesečni i dnevni, pohranjeni su u memoriji kompjutora i na poziv se izlistavaju na ekranu. Karton uputa za zahvat (Job Information Card), ako je takav program izrađen, izlistava se na printeru, i odbacuje nakon upotrebe. Rebalansiranje plana zahvata, kad se ukaže potreba, obavlja se na kompjutoru pomoću posebnog programa, koji ga usklađuje s dnevnim, mjesečnim i godišnjim opterećenjem broskog osoblja na osnovi jednadžbe moći održavanja (45), te zadanih tolerancija prosječnog intervala planiranog zahvata (m_p) i planiranog indeksa zahvata (λ_p).

Po završetku zahvata rukovodilac radnog tima ispunja izvještaj o zahvatu, u koji su uneseni svi relevantni podaci i upotrijebljeni doknadni dijelovi. Ali, o tome u idućim poglavljima (6.3 i 6.4).

6.3. PLANIRANJE I UPRAVLJANJE DOKNADNIM DIJELOVIMA I MATERIJALIMA ZA ODRŽAVANJE

6.3.1. Osnovni pojmovi i definicije

Nijedan zahvat održavanja, planski ili korektivni, neće biti uspješno izveden ako uzmanjka potrebni doknadni dio. Zbog toga je odgovarajuća opskrbljenost doknadnim dijelovima preduvjet uspješnosti terotehnološkog procesa na brodu.

Brod je pokretni sustav, dani odvojen od kopna, isključen, dakle, iz svih putova (redovne) dostave bilo kakvih stvari. Osim toga, pouzdanost brodskih sustava pouzdanost je uz zahvate (vidi poglavlje 2.7). To, dakle, znači da pouzdanost, uporabljivost i sigurnost broda ovise isključivo o doknadnim dijelovima u brodskoj zalihi. Ta okolnost daje problemu opskrbe broda doknadnim dijelovima posebnu težinu.

Bez stremljenja optimalizaciji, ovaj je problem lako rješiv. Dovoljno je u brodskoj zalihi imati uvijek sve dijelove svih brodskih uređaja od kojih su sastavljeni, pa da doknadni dio nikad ne uzmanjka. Takav bi pristup, očito, rezultirao popriličnim gubitkom korisnoga broskog prostora radi skladištenja doknadnih dijelova. Ipak, osnovna mana takva pristupa leži u činjenici da on nije terotehnološki. Jer, svrha je terotehnologije optimalizacija, tj. minimalizacija ukupnih troškova održavanja, a držanje na zalihi svih dijelova svih brodskih uređaja to nesumnjivo nije.

Da bi se moglo razmišljati o optimalizaciji zalihe doknadnih dijelova, valja najprije izvršiti njihovu klasifikaciju po terotehnološkim principima. Doknadni su dijelovi uvijek sastavni dijelovi tehničkih sustava, a oni se dijele na:

1. netrošive dijelove, koji se ne troše, ne stare i teško se mogu onesposobiti za vršenje svoje funkcije (stalci, postolja, kućišta motora i sl.);
2. sporotrošive dijelove, kojih je prosječni vijek trajanja dulji od predviđenog vijeka trajanja sustava (koljenaste osovine (vratila), osovine, lančanici i si.);
3. istrošive dijelove, kojih je prosječni vijek trajanja kraći od predviđenog vijeka trajanja sustava.

U terotehnološkom pristupu netrošivi i sporotrošivi dijelovi tehničkih sustava ne drže se u pravilu na zalihi; oni, dakle, i ne spadaju pod pojam doknadnih dijelova. Neki, međutim, od brodskih dijelova iz te kategorije mogu biti podložni velikoj vjerojatnosti oštećenja, kao što je to brodski vijak. U tom slučaju i oni mogu biti svrstani u doknadne i držani u zalihi. Osim tih u doknadne dijelove valja svrstati i one sporotrošive ili netrošive koji u iskorišćavanju manifestiraju kvarove i koje je potrebno imati u zalihi i radi sigurnosti (safety) broda. Većina takvih dijelova većinom je propisana pravilima klasifikacijskih zavoda i/ili zahtjevima upravne vlasti.

Pod doslovni pojam doknadnih dijelova spadaju, dakle, samo istrošivi dijelovi, a oni se dijele na:

- 3.1. namjenske, koji su posebno oblikovani i izrađeni za određenu namjenu na određenom tehničkom sustavu;
- 3.2. standardne, koji se proizvode za širu namjenu, a ugrađeni su u konkretne sustave koji se održavaju (kuglični ležajevi, sklopke i sl.).

I namjenski i standardni doknadni dijelovi jednako su važni za pravilno odvijanje terotehnološkog procesa na brodu. Dobava, međutim, namjenskih mnogo je složenija i vremenski mnogo duža od standardnih, o čemu treba voditi računa kad se utvrđuju vremenske komponente pri signalizaciji minimalne zalihe.

Pod materijalima za održavanja podrazumijevaju se oni materijali koji još nemaju oblik za ugradnju (limovi, profili, ploče brtvenog materijala i si.) i materijali koji služe za čišćenje, podmazivanje, impregnaciju, površinsku zaštitu, lijepljenje, zavarivanje i si. Iako su oni potrebni za izvršenje zahvata održavanja, ovisnost terotehnološkog procesa o njihovoj zalihi, što se tiče i količine i asortimana, neusporedivo je manja nego kod doknadnih dijelova. Zato je i proces upravljanja njihovim zalihama manje složen nego što je to za doknadne dijelove. Oni se nabavljaju relativno lako u svakoj osrednje opskrbljenoj luci, samo što im cijena od luke do luke varira.

6.3.2. Optimalizacija zaliha

Optimalizacija zaliha znači minimalizaciju troškova za doknadne dijelove i materijale za održavanje, uz očuvanje potpunog integriteta pouzdanosti (uz zahvate) brodskih sustava

i uporabljivosti broda. Takav pristup neizbježno je konfliktna situacija, kojoj je jedini mogući ishod - kompromis. A kompromis u sebi uvijek nosi rizik svjesne nedosljednosti.

Troškove zalihe doknadnih dijelova i materijala za održavanje ne čine samo nabavni troškovi i troškovi transporta. Troškovi zalihe generiraju godišnje oko 25% drugih troškova. Oni bi se mogli označiti kao permanentni troškovi stvorenih zaliha, a čine ih:

- | | |
|--|------|
| - zastarjevanje doknadnih dijelova i materijala | 10%; |
| - kamate za vezana sredstva (u svjetskim uvjetima) | 8%; |
| - oštećenja, deterioracija i si. | 5%; |
| - troškovi skladištenja | 2%. |

Osim troškova skladištenja, ostali troškovi ne zahtijevaju objašnjenja. Brod (brodarsko poduzeće) očito ne plaća najam za skladištenje zaliha u vlastitim prostorima. Ali skladišni prostori za zalihe na brodu nesumnjivo su gubitak korisnog prostora. S druge strane, te prostore valja adekvatno opremiti funkcionalnim policama, kovčezima, vezovima i ostalim priručnim potrepštinama, što sve konačno rezultira u (malom) povećanju investicije (pa time i amortizacije) i u troškovima održavanja te specifične brodske "infrastrukture".

Inače, prostorima za skladištenje zaliha još se uvijek ne daje dovoljno pažnje. Vjerojatno je razlog tome nedovoljno izgrađena terotehnoška svijest naručitelja broda i projektanta, odnosno brodograđilišta. A bez dovoljno prostranih i adekvatno opremljenih prostorija za skladištenje zaliha na brodu suvišno je raspravljati o optimalizaciji zaliha. Jer će se, inače, uz nabrojene permanentne troškove stvorenih zaliha, morati dopisati i trošak "nepronađenih" doknadnih dijelova i materijala, pa pogrešno upotrijebljenih, i još kvarove i zastoje koji su svemu tome česta posljedica.

Praksa je pokazala da pri svakom prvom pristupu optimalizaciji zaliha na brodu troškovi doknadnih dijelova skokovito porastu. Razlog tom porastu vrlo je jasan. Naime, uz prekobrojne, koje prva analiza otkrije, ustavnovi se obično da je zaliha nekih doknadnih dijelova nedopustivo mala ili da ih uopće nema. Ti se moraju odmah nabaviti, a oni prekobrojni ostaju i dalje na brodu, opterećujući troškove održavanja. Prvi je, dakle, korak u optimalizaciji zaliha na brodu popuna minimalne zalihe za svaki pojedini doknadni dio.

Iz ovoga se već daje zaključiti da s obzirom na količinu brodske zalihe mogu imati više razina. Obično se one razvrstavaju u tri stupnja: minimalna, maksimalna i upozoravajuća.

Minimalna zaliha je ona količina svakoga pojedinog doknadnog dijela koja garantira zadovoljavajuću pouzdanost (uz zahvate) brodskih sustava, a time i integritet uporabljivosti broda. To je ujedno i razina zalihe koju je najteže uskladiti i najčešće je svedena na više ili manje uspješan kompromis.

Maksimalna zaliha je ona količina svakoga pojedinog doknadnog dijela koja premašuje minimalnu do izvjesne željene razine. Ona omogućuje brodu veću autonomiju, pouzdanost (uz zahvate) brodskih sustava i u nepredviđenim okolnostima, te veći integritet uporabljivosti. Opterećuje dodatno direktne troškove održavanja, ali smanjuje rizik od indirektnih. Zato se ona uvijek stavlja u odnos s fiksnim brodskim troškovima. Što su fiksni troškovi viši, redovno je i maksimalna zaliha veća.

Upozoravajuća zaliha je međustanje koje se manifestira tijekom odvijanja terotehnološkog procesa na brodu. To je trenutak kad valja izvršiti narudžbu doknadnog dijela zbog njegove skore ili već obavljene ugradnje u sustav. Razlika je u osnovici za upozorenje. Ako je osnovica maksimalna zaliha, onda obično ugradnjom dijela nastupa trenutak za narudžbu novoga, radi popune zalihe. Kad je osnovica za upozorenje minimalna zaliha, onda signal za narudžbu novoga mora biti dan unaprijed, i to onoliko vremena prije namjeravanog zahvata koliko je potrebno da se narudžba realizira i dio dostavi na brod.

Osnovni je terotehnološki problem utvrđivanje minimalne zalihe. Sve se druge razine iz nje izvode. Kod novogradnje, kad još nema podataka o ponašanju brodskih sustava u konkretnim okolnostima, redovno se posliže za preporukama proizvođača uređaja. Oni obično nude potrebnu zalihu doknadnih dijelova za jednu do pet godina iskorišćavanja. Zaliha za dvije godine može se uzeti kao minimalna. Ali, to se ne može ocijeniti kao terotehnološki optimum. Za ovakav stav ima dosta razloga. Naime, većina proizvođača ne prate dovoljno sustavno i terotehnološki relevantno ponašanje vlastitog proizvoda u tijeku korištenja, pa su i njihove procjene o nužnim zalihama doknadnih dijelova nedovoljno pouzdane. A zatim, uza svu stručnost i profesionalnost svjetski renomiranih tvrtki,

komercijalna komponenta u svakoj takvoj ponudi ima svoju težinu, koja stoji na strani vage suprotnoj od one kojoj teži brodska terotehnologija.

Problem optimalizacije zalihe doknadnih dijelova i materijala za održavanje rješiv je jedino ako se sustavno i kontinuirano prati ponašanje brodskih sustava tijekom iskorišćavanja. Pri tome prosjeci flote imaju temeljno značenje. Ali, budući da je za brod relevantna samo zaliha na njemu samomu, ponašanje konkretnih sustava na svakom pojedinom brodu znatno utječe na optimalizaciju konkretne brodske zalihe.

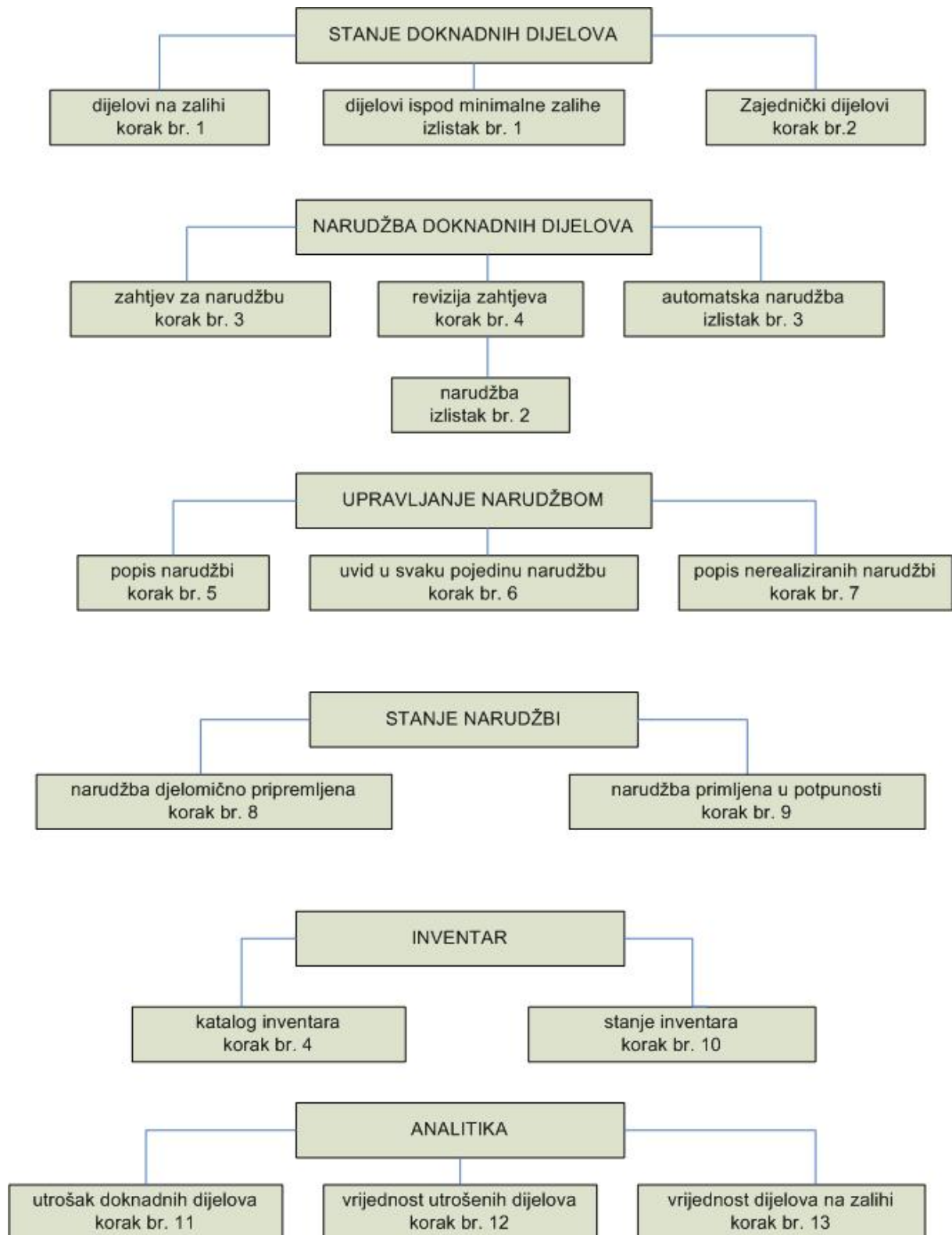
6.3.3. Praćenje i upravljanje doknadnim dijelovima i materijalima za održavanje

Praćenje doknadnih dijelova važan je element upravljanja terotehnološkim procesom na brodu. Pod tim pojmom ne misli se samo na stalni uvid u stanje zaliha na brodu već i u stanje narudžbi, njihovu realizaciju, ali i na kontrolu doknadnih dijelova u transportu.

Suvremeni pristup ovom poslu očituje se u oslanjanju na elektroničko računalo, na brodu i na kopnu. Ako se još i komunikacija između broda i kopna odvija preko satelita, onda ovakav sustav omogućuje potpunu sinhronizaciju akcija između svih sudionika i osigurava njihovu punu upravljačku funkciju. Pri tome svaki brod ima na svom kompjutoru neposredan uvid u kretanje doknadnih dijelova koji se njega tiču, kako u zalihi na brodu tako i u narudžbi i u transportu, a kopneno osoblje zaduženo za opskrbu brodova, na svom kompjutoru prati i upravlja procesom za sve brodove u floti.

Priprema za takav sustav upravljanja prilično je opsežna. Valja šifrom označiti svaki uređaj iz popisa brodskih uređaja, zatim mjesto (prostoriju) pohrane i, konačno, izraditi katalog svih doknadnih dijelova u procesu te ih sve šifrirati. Shematski prikaz funkcioniranja takva sustava upravljanja sadrži slika 35.

Na svakom brodu ima i međuismjerenjivih i standardnih doknadnih dijelova, tj. onih koji mogu poslužiti za različite uređaje. ako bude napredovala standardizacija i terotehnološka svijest, takvih će doknadnih dijelova biti sve više. Zbog toga je važno da takvi dijelovi budu identificirani i posebno registrirani (korak br.2 na shemi), jer čine zasebnu kategoriju sa svojom vlastitom minimalnom i maksimalnom zalihom.



Slika 35.

Čim je doknadni dio ugrađen, treba odmah to registrirati u brodskom kompjutoru, kako bi se ažurirala brodska zaliha (korak br.1) i inventar (korak br.10).

Ako je komunikacija između broda i kopna satelitska, sve se promjene dnevno prenose s broorskoga u kompjutor kopnene službe i, obratno, sve aktivnosti kopnene službe prenose se dnevno u kompjutor određenog broda. Zato se i brodski zahtjev za narudžbu doknadnog dijela upisuje u brodski kompjutor (korak br.3).Kad je zahtjev primljen na kompjutoru, kopnene službe, može se on ili revidirati (korak br.4), i tako revidiran lansirati kao narudžba (izlistak br.2), ili se izravno prepusti automatskom izlistavanju u narudžbu (izlistak br.3).

Upravljanje narudžbama posao je kopnene službe zadužene za opskrbu brodova. Sve lansirane narudžbe zabilježene su u njezinu kompjutoru po rednom broju (korak br.5),od kojih se svaka može posebno dozvati po svom rednom broju ili datumu lansiranja, ili po brodu (korak br. 6). Sve još nerealizirane narudžbe posebno su zabilježene (kprak br.7), od kojih sd svaka može posebno pozvati po istom već opisanom ključu.

Često narudžba ne bude isporučena brodu u cijelosti , već djelomično. Brod će takvu isporuku posebno unijeti u kompjutor, sto će se onda prenijeti i na kompjutor kopnene službe (korak br.8). Isti postupak biva i s cjelovito isporučenom narudžbom (korak br.9).

Inventarizacija doknadnih dijelova sastoji se od kataloga dijelova u procesu na brodu (izlistak br.4) i stanja inventar (korak br. 10).

Za upravljanje terotehnološkim procesom na brodu od posebne je važnosti analiza ponašanja sustava tijekom iskorišćavanja. Jedan od bitnih elemenata ponašanja je i utrošak doknadnih dijelova po uređajima. Sustav mora, zbog toga, sadržavati i poseban program za analizu. Takav program treba da omogući u svakom trenutku uvid u utrošak doknadnih dijelova po uređaju/brodu (korak br.11), u vrijednost utrošenih dijelova po uređaju/brodu (korak br.12) i u vrijednost dijelova na zalihi po uređaju/brodu (korak br.13).

Što se tiče upravljanja materijalima za održavanja, isti sustav ima za tu svrhu jedan manji program što se sastoji od kataloga materijala za održavanje koji su u procesu na brodu, od stanja zaliha (s upozorenjem kad je ona ispod minimalne), od programa za trebovanje, reviziju trebovnika i izlistavanja narudžbe, te od analize utroška po artiklu/brodu, u količini i vrijednosti, i ukupne vrijednosti zaliha.

6.3.4. Planiranje doknadnih dijelova i materijala za održavanje

Planiranje doknadnih dijelova i materijala za održavanje tijesno je povezano s planom zahvata održavanja. Cilj mu je da osigura pravovremenu narudžbu i dostavu potrebnih doknadnih dijelova i materijala kako bi se terotehnološki proces na brodu mogao nesmetano odvijati. Drugim riječima, planiranje doknadnih dijelova i materijala za održavanje obuhvaća sve aktivnosti u vezi s utvrđivanjem, formiranjem i kontinuiranim održavanjem potrebnih zaliha na brodu.

Osnovna bit planiranja doknadnih dijelova sastoji se u tome da se povezu planirani zahvati održavanja s prosječnim vijekom trajanja komponenata (M). Ako je npr. prosječni vijek trajanja neke komponente $M = 20000$ sati rada, a prosječni interval planiranog zahvata uređaja kojemu pripada $m_p = 5000$ sati, onda takva komponenta mora biti pohranjena na brodu prije nego što uslijedi četvrti po redu zahvat održavanja. U kojem će se vremenu zbiti taj (četvrti po redu) zahvat, ovisit će, dakako, o planiranom indeksu zahvata λ_p , u čemu i jest vještina dobrog planiranja. Budući da su rokovi od narudžbe do isporuke brodskih doknadnih dijelova relativno dugi (i do 6 mjeseci), to je utvrđivanje (realistička procjena) datuma takva zahvata vrlo važan podatak.

U dobro razrađenom planu zahvata održavanja, koji uključuje i karton uputa za zahvat (Job Information Card), već su ubilježeni potrebni (predviđeni) doknadni dijelovi, pa je to zapravo i početak i osnovica planiranja zaliha na brodu. Svakako, planiranje doknadnih dijelova zamršen je posao, koji od osoblja zahtijeva strpljivost, preciznost, dobro terotehnološko znanje i iskustvo, te vještinu i odlučnost u nalaženju najprihvatljivijeg kompromisa. Bez prave programske podrške na elektroničkom računalu, planiranje doknadnih dijelova ne bi bilo izvedivo u smislu njegova doprinosa optimalizaciji zaliha i cjelokupnoga terotehnološkog procesa na brodu.

Dosad opisani postupak planiranja doknadnih dijelova osniva se na elementima koji su na ovaj ili onaj način unaprijed utvrđeni [prosječni vijek trajanja komponente (M), prosječni interval planiranog zahvata (m_p) i planirani indeks zahvata (λ_p)]. Problem se, međutim, komplicira ako se u obzir uzme i nepredvidivost. Najbolje je to ilustrirati primjerom.

Neka prosječni vijek trajanja košuljice brodskog motora bude 20000 sati rada. To znači da će se tijekom tog perioda košuljica toliko istrošiti u promjeru da neće više biti za upotrebu. Budući da je riječ o p r o s j e č n o m vijeku trajanja, neka će se košuljica istrošiti nešto prije, a neka nešto kasnije. No, to neće biti posebni problem planiranju jer će se pri prethodnim zahvatima održavanja utvrditi sklonost bržem ili sporijem trošenju, pa će se, prema takvom ponašanju komponente, navrijeme prilagoditi i trenutak njezine zamjene (obnove). Iskustvo, međutim, pokazuje da osim što se predvidivo troše, košuljice brodskih motora još i nepredvidivo pucaju.

Neka u floti ima 10 istih motora, svaki sa po 6 cilindara. Ustanovljeno je da se nakon 10000 sati rada manifestiralo puknuće košuljice s ovakvom rasprostranjenošću:

Tablica 11.

<u>Redni broj motora</u>	<u>Broj napuklih košuljica</u>
1	1
2	0
3	2
4	3
5	1
6	2
7	1
8	0
9	0
10	0
10	10
ukupno	

Nema, dakle, sumnje da, bez obzira na to što je prosječni vijek trajanja (istrošenja) košuljice 20000 sati, treba na brodu u zalihi imati košuljicu kao doknadni dio već nešto prije 10000 sata rada svakog motora, kako bi se pouzdanost (uz zahvate) zadržala na projektiranoj razini. Pitanje je, međutim, koliko bi komada trebalo imati u zalihi da bi se postigao željeni cilj. Kao odgovor se nameće: najmanje tri, jer je to najveći broj puknuća ustanovljen na jednom motoru! Takvim bi se rješenjem vjerojatno postigao željeni cilj očuvanja integriteta pouzdanosti (uz zahvate), ali je pitanje je li to i terotehnološki optimum. Naime, košuljica brodskog motora relativno je skupi doknadni dio, a imajući u vidu godišnje permanentne troškove stvorene zalihe, njezina će vrijednost za izvjestan broj godina biti prokockana ako toliko ostane neugrađena.

Za rješenje ove dileme terotehnoška teorija u pomoć prizivlje tzv. Poissonovu distribuciju. Njezina je bit u tome što 100%-tnu vjerojatnost raščlanjuje u elemente veće ili manje vjerojatnosti pojave zbivanja. Poissonova distribucija u svom matematičkom obliku glasi:

$$1 = e^{-a} + ae^{-a} + \frac{a^2 e^{-a}}{2!} + \frac{a^3 e^{-a}}{3!} + \dots + \frac{a^c e^{-a}}{c!} \quad (67)$$

6. e^{-a} - vjerojatnost od 0 kvarova (puknuća košuljice po jedinici (motoru)

7. $a e^{-a}$ - vjerojatnost od 1 kvara po jedinici

8. $\frac{a^2 e^{-a}}{2!}$ - vjerojatnost od 2 kvara po jedinici

9. $\frac{a^3 e^{-a}}{3!}$ - vjerojatnost od 3 kvara po jedinici

10. $\frac{a^c e^{-a}}{c!}$ - vjerojatnost od "c " kvarova po jedinici

11. Kako se vidi iz izraza(67), zbroj svih tih vjerojatnosti jednak je jedinici, odnosno 100%-tnoj vjerojatnosti.

12. Simboli u izrazu znače

12.4. e – baza prirodnog logaritma (2,7183);

12.5. a – prosječan broj kvarova po jedinici.

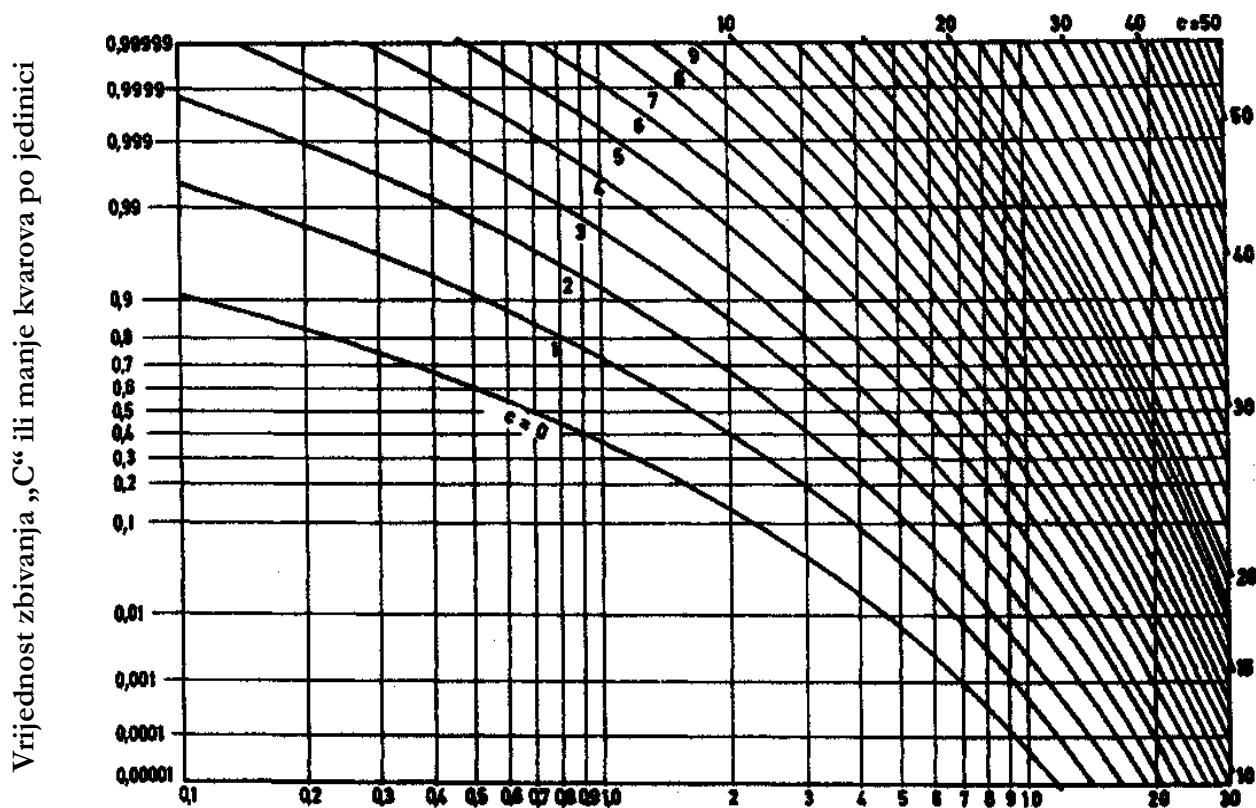
U odobranom primjeru 10 puknutih košuljica na 10 motora čini da je $a = 10/10 = 1$. Proračun vjerojatnosti za odabrani primjer prikazan je u tablici 12.

Tablica 12.

Broj puknutih košuljica po motoru	Proračun	Vjerojatnost pojave
0	$e^{-a} = e^{-1} = \frac{1}{e} = \frac{1}{2,718} = 0,37$	37,00
1	$ae^{-a} = 1e^{-1} = \frac{1}{e} = \frac{1}{2,718} = 0,37$	37,00
2	$\frac{a^2 e^{-a}}{2!} = \frac{1e^{-1}}{2!} = \frac{1}{2e} = \frac{1}{2(2,718)} = 0,185$	18,50
3	$\frac{a^3 e^{-a}}{3!} = \frac{1e^{-1}}{3!} = \frac{1}{6e} = \frac{1}{6(2,718)} = 0,60$	6,00
4	$\frac{a^4 e^{-a}}{4!} = \frac{1e^{-1}}{4!} = \frac{1}{24e} = \frac{1}{24(2,718)} = 0,015$	1,50
		100,00

Iz proračuna izlazi da je s jednom košuljicom u zalih po motoru sačuvano 74% integriteta pouzdanosti (uz zahvate), s dvije 92,5%, a s tri 98,5%, a s četiri 100%. Budući da je pucanje košuljica motora stohastički proces, vjerojatnost da dvije košuljice na motoru puknu u istom trenutku, ili u vrlo kratkom vremenu jedna poslije druge, veoma je mala. Zbog toga se može smatrati da je s dvije košuljice u zalih integritet pouzdanosti (uz zahvate) u potpunosti očuvan, a ne s tri, kako se to u prvi mah bilo zaključilo. A to je sa stajališta troškova za doknadne dijelove, odnosno troškova održavanja, osjetna razlika.

U odabranom primjeru prosječni broj kvarova po jedinici "a" ispao je (namjerno) jednak jedinici, što je uvelike pojednostavnilo proračun. Kad bi se za "a" dobio neki drugi broj, npr. dio jedinice, što je u prirodi najčešće, proračun bi bio dug i mukotrpan. Da bi se olakšali proračuni vjerojatnosti na osnovi Poissonove distribucije, izrađene su Poissonove krivulje vjerojatnosti, prikazane na slici 36. koje povezuju vjerojatnost zbivanja s prosječnim (a) i apsolutnim (c) brojem kvarova po jedinici.



„a“ Prosječan broj kvarova po jedinici

Slika 36.

Kad bi se u odabranom primjeru ustanovilo da se umjesto na 10 košuljica puknuće manifestiralo na samo 3 (što bi bilo mnogo realnije), i to na jednom motoru na dvije, na drugomu na jednoj, a ostalih je osam motora radilo 10000 sati bez ijednog puknuća košuljice, tad bi prosječni broj napuklih košuljica po motoru iznosio $a = 3/10 = 0,3$. Iz Poissonovih krivulja vjerojatnosti lako je otčitati da se s jednom košuljicom u zalihi po motoru osigurava oko 97% integriteta pouzdanosti (uz zahvate), što je sasvim zadovoljavajuće.

Ako bi se, međutim, puknuće košuljica manifestiralo u većem broju na samo jednom od deset istih motora, onda se to ne bi smjelo smatrati posljedicom stohastičkog procesa, već nekoga konkretnog uzroka, koji treba istražiti. Zakoni vjerojatnosti tad ne vrijede, i ne valja se njima ni služiti. No, zato za sve dijelove koji se ne troše ili im je prosječni vijek trajanja jednak predviđenom vijeku trajanja sustava (uređaja) ili je od njega dulji, a u iskorišćavanju manifestiraju kvarove, za planiranje (optimaliziranih) zaliha i nema drugog pristupa osim Poissonovih krivulja vjerojatnosti.

Što se tiče planiranja materijala za održavanje, ono ne zahtijeva ni izdaleka tako složen postupak kao što je planiranje doknadnih dijelova. Oslanja se pri tome na plan zahvata održavanja i na više ili manje razrađene normative utroška po pojedinom zahvatu. Manjak nekoga od tih materijala teško da može ugroziti pouzdanost (uz zahvate) ili uporabljivost broda, jer se većinom mjesto jednoga može upotrijebiti drugi. Ipak, i kod tih materijala valja paziti da zalihe ne padnu ispod minimalnih, a posebno se planira i opskrba broda većim zalihama kad su planom održavanja predviđeni opsežniji zahvati. Analiza potroška i zaliha, uspoređena s opsegom izvršenih zahvata održavanja, dobra je osnovica za dotjerivanje normativa i dinamike tekuće opskrbe.

6.4. IZVJEŠTAJ O ZAHVATU

Već je u prethodnim izlaganjima konstatirano da je praćenje ponašanja brodskih uređaja tijekom iskorišćavanja osnovna pretpostavka za optimalizaciju terotehnološkog procesa na brodu. Da bi bilo terotehnološki relevantno, to praćenje mora biti sustavno i tako osmišljeno da omogućuje postizanje željenog cilja. A da bi se taj cilj polučio, valja ga prvo definirati.

Svrha praćenja ponašanja brodskih uređaja u iskorišćavanju može biti na većem ili manjem dometu. Što je cilj na većem dometu, to je zadatak složeniji, ali su rezultati, dobiveni obradom prikupljenih podataka i informacija, upotrebljivi za optimalizaciju terotehnološkog procesa na brodu u svakom njegovu segmentu. Od manjega k većem dometu može se ići i postupno.

Prvi korak u praćenju je registriranje s v a k o g zahvata održavanja na uređajima (osim tekućeg održavanja), bio on korektivni ili planski, i bio on po opsegu velik ili malen. Bez registriranja svakog zahvata ne može se govoriti s terotehnološkog stajališta o serioznom i stručno relevantnom pristupu.

Bilježenje broskog osoblja, po broju i profilu, koje je u zahvatu sudjelovalo, uz broj utrošenih radnih i tekućih sati, daljnji je korak u mozaiku stvaranja slike o ponašanju uređaja. Idući je bilježenje doknadnih dijelova koji su pri zahvatu ugrađeni, uz opis stanja odbačenih komponenata.

Zastoj je broda najteža moguća posljedica zahvata održavanja. Zato, ako do zastoja broda dođe zbog zahvata, onda to mora u izvještaju o zahvatu biti zabilježeno u tekućim satima.

Konačno, ako je zahvat bio korektivan, onda je sažeti komentar o uzroku kvara i o okolnostima nastanka vrlo korisan i terotehnološki relevantan.

Svi ti podaci i informacije trebalo bi da budu sadržani u izvještaju o zahvatu, kao što je to prikazano na slici 37.

Izgled obrasca na slici 37, ako to i treba da bude obrazac, irelevantan je. Njime je samo pokazano kako se na relativno jednostavan način bilježe podaci i informacije relevantne za praćenje i unapređenje terotehnološkog procesa na brodu.

ime (naziv)		šifra		IZVJEŠTAJ O ZAHVATU ODRŽAVANJA NA UREĐAJU			
BROD :							
UREĐAJ :							
nastanka prekida		početka zahvata		svršetka zahvata			
DATUM :							
od posljednjeg zahvata		pogonski sati	kalendarski dani	komponente (dijelovi)			
od ugradnje				oznake stanja :			
				1-slomljena 2-sasvim dotrajala 3-dijelom dotrajala			
izvršeno				oznake postupka :			
brodskim osobljem ☐		kopnenom radionicom ☐	zajednički ☐	4-obnovljena 5-popravljena			
u plovidbi ☐	u luci ☐	na sidrištu ☐	planirani korektivni ☐	zbog uočene smetnje ☐ radi servisiranja po uputama ☐ uspjio ☐ neuspjio ☐	broj komada	opis komponente (dijela)	stanje
							postupak
utrošeni radni sati brodskog osoblja							
ukupni :		po strukama :					
trajanje zahvata u (tekućim) satima :							
zastoj broda							
bez zastoja ☐		zastoj u satima :					
potanji opis zahvata s eventualnim primjedbama o uzroku kvara :							

Datum sastavljanja izvještaja :

Obradom tih podataka i informacija izražavaju se ove terotehnološke veličine:

1. pouzdanost pojedinog uređaja, odnosno sustava;
2. pouzdanost pojedinog uređaja u odnosu prema prosječnom intervalu planiranog zahvata (m_p) i prosječnom radu planiranog zahvata (Φ_p);
3. Pouzdanost uz zahvate pojedinog uređaja s obzirom na znanje, vještinu i broj brodskog osoblja;
4. pouzdanost uz zahvate pojedinog uređaja ili sustava s obzirom na zalihu doknadnih dijelova;
5. sposobnost održavanja pojedinog uređaja;
6. raspoloživost pojedinog uređaja ili sustava;
7. klasifikacija zahvata prema kriteriju granične uporabivosti;
8. pouzdanost pojedinog uređaja s obzirom na proizvođača;
9. pouzdanost pojedinog uređaja s obzirom na tip uređaja;
10. pouzdanost i pouzdanost uz zahvate pojedinog uređaja u vezi s nametnutim uvjetima i okolnostima iskorišćavanja;
11. uporabljivost broda s obzirom na pouzdanost uz zahvate i uvjete iskorišćavanja;
12. utjecaj (primjene) propisa na odvijanje terotehnološkog procesa na brodu.

Ova obrada spada u zadatke kopnenog osoblja. Obavlja se na razini flote uz utvrđivanje odstupanja za svaki pojedini brod. Što je broj brodova u floti veći, to su dobiveni rezultati, kao terotehnološki parametri, vredniji. Zato je razborito da se u izvjesnom svom dijelu provodi u jednom središnjem mjestu za više brodarskih poduzeća zajedno, a po mogućnosti za cjelokupnu trgovačku mornaricu jedne zemlje. U tom (povoljnom) slučaju, uzimajući u obzir prisutnost konkurentskih uvjeta i mentaliteta, kopnene bi službe morale prenijeti u centar samo one podatke i informacije koje će omogućiti da se izračunaju terotehnološki parametri prije opisani pod 1, 5, 6, 8. i 9. To se postiže ako se iz izvještaja o zahvatu izdvoje i dostave podaci i informacije koje se odnose na pogonske sate i kalendarske dane

protekle od prethodnog planiranog zahvata, zatim je li zahvat bio planiran ili korektivni, podaci koji se odnose na trajanje zahvata u tekućim satima i na eventualni zastoј broda u (tekućim) satima.

Brodsko osoblje u ovoj obradi, iako je ne obavlja, ima ključnu ulogu. Podaci koje ono ubilježi čine bazu za proračune i izvode, rezultati kojih postaju općeprihvaćeni terotehnoški parametri. Radi toga je vrlo važno da brodsko osoblje bude temeljito upoznato s terotehnoškim mjerilima i postavkama, te o važnosti prikupljanja (pravih) podataka i informacija.

Prikazani primjer obrasca ne mora ni biti neki tiskani ili uopće papirnati obrazac. Ako brod ima kompjutor kao pomagalo za upravljanje terotehnoškim i drugim procesima, onda se slični obrazac kreira na ekranu kompjutora i u njega se izravno upisuju podaci. Bilo satelitskom komunikacijom, bilo kopijom diskete, prenosi se on u kompjutor kopnene službe, gdje se podaci obrađuju. Logično je da se u takvu sustavu elektroničke obrade podataka mora održavati izravna veza između programa za ovu obradu i programa za planiranje zahvata održavanja te praćenja i planiranja doknadnih dijelova. Tako cijeli postupak upravljanja i optimalizacije terotehnoškog procesa na brodu biva sjedinjen na razini svakog pojedinog broda i na razini flote.

Izvještaj o zahvatu o kojemu je bilo riječi univerzalni je obrazac za svaki zahvat održavanja na brodu, bez obzira na vrstu uređaja i na mjesto gdje se on na brodu nalazi. Pogodan je, zato, za primjenu na brodu, jer se osoblje lako privikne na njegovu jednostavnost i jedinstvenost, a omogućuje da se prikupi većina podataka i informacija relevantnih za praćenje ponašanja uređaja i njihovu obradu radi unapređenja terotehnoškog procesa na brodu.

Ovaj izvještaj o zahvatu održavanja ne isključuje, dakako, upotrebu izvještaja neke druge vrste, a koji su potrebni u praćenju i rukovođenju terotehnoškim procesom. U takve svakako idu obrasci za prikazivanje rezultata premjeravanja košuljica motora, defleksija koljenaste osovine (vratila) itd. Svi su ti dodatni izvještaji potrebni radi temeljitog upoznavanja s pojedinostima o kojima ovisi usmjeravanje terotehnoškog procesa na pojedinom brodu. Ni oni, očito, ne moraju ostati papirnatim obrascima koji se dostavljaju poštom, već se mogu s kompjutorskog ekrana prenositi satelitskim putem ili disketom.

Uopće, izvještaji i izvještavanje u brodarstvu doživljava svoju brzu transformaciju u skladu s razvojem "informatičke ere" u društvu u cjelini.

7. PRISTUP ODRŽAVANJU PODVODNOG DIJELA BRODA

7.1. OBRAŠTANJE TRUPA

Smanjena djelotvornost broda posljedica je povećane hrapavosti njegova podvodnog dijela (vidi 4.3 - Pristup dokovanju broda). Iako rast hrapavosti nije uzrokovan samo obrastanjem, ipak udio obrastanja u toj pojavi prevladava. Osim toga, u pristupu održavanju podvodnog dijela trupa na obrastanje se može najviše utjecati. Zato je potrebno taj fenomen temeljitije proučiti.

U biološkom pristupu koločinska se ocjena obrastanja brodske oplata obavlja na osnovi biomase, tj. mase obrastanja na 1 m² površine. Takva ocjena ne daje osnove za proučavanje hidrodinamičkog aspekta problema i neće biti valjan kriterij utjecaja hrapavosti na pad brzine i na druge parametre pri iskorišćavanju broda. Za takvo proučavanje potrebno je uz koločinsku ocjenu imati i onu kvalitativnu. Jedino se tako dolazi do kriterija koji dopuštaju usporedbu nastanka i utjecaja obrastanja između različitih brodova i različitih situacija, pa preko te usporedbe do stjecanja indikacija koje će se korisno upotrijebiti za pristup održavanju podvodnog dijela broda.

Što se tiče ove problematike, trenutno su najzanimljiviji autori iz Sovjetskog Saveza i Japana. Naime, budući da je sovjetska trgovačka mornarica organizacijski centralizirana, informacije u vezi s raznim aspektima iskorišćavanja brodova usredotočuju se na jedno mjesto, što je u ovom konkretnom segmentu pogodnost koja omogućuje istraživanje pojave obrastanja na vrlo velikom uzorku. U Japanu su, pak, trgovačka mornarica i brodograđevna industrija samoinicijativno čvrto povezane u zajedničke istraživačke programe. Tako je dio istraživanja posvećen eksploatacijskim značajkama broda, u što se ubraja i proučavanje povećanja hrapavosti i pojave obrastanja.

Pristupi u procjeni obraslosti broda danas su još uvijek različiti. Tako sovjetski autori Domski i Dehtjarev procjenjuju obraslost brodova (po podacima pregleda u doku) na slijedeći način: mala obraslost - živi organizmi prekrivaju do 20% oplakane površine, uz debljinu (visinu sloja) do 2 mm; srednja obraslost - između 20 i 70% oplakane površine, uz debljinu veću od 2 mm; velika obraslost - živi organizmi prekrivaju više od 70% površine, a debljina istovrsnog ili mješovitog obrasta premašuje 10 mm.

Drugi, pak, sovjetski autori (Baljakin i Revin) stupanj obraslosti broda dijele u tri kategorije: I - obraslost u obliku bakterijske sluzave opne i vodenog raslinja duljine do 100 mm; II - obraslost školjkama visine do 10 mm i vodenim raslinjem duljine do 200 mm; III - obraslost školjkama visine od 10 do 30 mm i vodenim raslinjem dugim više od 200 mm.

Japanac Miadzima Tokidzo dao je možda najbolju diferenciranu metodu vizualne ocjene stupnja obraslosti broda. On sve organizme dijeli u tri skupine prema tablici 13:

Podjela organizama kojim obrasta brodski trup na grupe
prema Tokidzu

Tablica 13.

Broj grupe	Karakteristike organizama	Predstavnici grupe
1	imaju kućicu (školjku) i priliječljene su uz trup	morski žir, morska patkica
2	dobro se njišu u struji vode	alge, morske trave, mahovinaste i druge
3	stvaraju primarnu sluz	bakterije dijatomeje (vrsta sitnih algi)

Ovisno o prisutnosti tih skupina na brodom trupu i povezano s njihovom gustoćom, Miadzima Tokidzo klasificira obraslost broda u šest stupnjeva prema tablici 14.

Klasifikacija obraslosti trupa prema Tokidzu

Tablica 14.

Karakter obraslosti površine			
Stupanj	1. grupa	2. grupa	3. grupa
1	naznatno obrastanje		
2	1/4	1/4	djelomično, tankim slojem

Stupanj	Karakter obraslosti površine		
	1. grupa	2. grupa	3. grupa
3	1/2	1/2	po cijeloj površini, tankim slojem
4	3/4	3/4	po cijeloj površini, gustim slojem (prevlaka se ne vidi)
5	gotovo po cijeloj površini	gotovo po cijeloj površini	jednako kao gore
6	po cijeloj površini	po cijeloj površini	debljina sloja služi veća je od 3 mm

Napomena: Razlomcima je prikazana gustoća obraslosti površine

Očito je da s terotehnološkog stajališta puko stupnjevanje obraslosti nije dovoljno. U tom pogledu valja razlikovati razmještaj po oplati i vrste organizama po njihovu utjecaju na otpor broda, odnosno na pad brzine. Tako Repin smatra da sloj sluzi, koji se sastoji od vodenih bakterija, detritusa i mulja, neznatno utječe na povećanje otpora pa se takva obraslost može u terotehnološkom smislu zanemariti. Zato se treba koncentrirati na razmatranje karakteristika rasprostranjenosti po trupu samo makroorganizama, tj. organizama kojih su dimenzije približno jednake 1 mm ili su veće od toga.

Pojava obrastanja pokazuje raznolikost po visini trupa: od algi na plovnoj vodnoj liniji i na pojasu gaza do životinjskih organizama na podvodnom dijelu boka i po brodskom dnu. Tu promjenu pretežno uzrokuje osvjetljenost oplata, što se smanjuje zbog povećanja dubine.

Pojas algi nije ravnomjeran po cijeloj duljini broda. Širina pojasa algi varira od 0,5 do nekoliko metara ovisno o nagibu rebara i prozirnosti vode, i veća je u srednjem dijelu broda, a smanjuje se prema krajevima. Alge još rastu na osvjetljenim površinama ljuljnih kobilica, na pramčanom i krmenom bulbu, na listu kormila i na glavini i krilima brodskog vijka.

Po rubu plovne vodne linije rastu plavozelene alge u obliku nekoliko centimetara širokoga glatkog i tankog pojasa. Ispod njega stvara se pojas pretežno zelenih algi. U udubljenjima oplata povećava se broj mrkih i crvenih algi.

Raspored organizama u biomasi obrasta po duljini broda u velikom stupnju ovisi o svojstvima biocidnih brodskih prevlaka i životnih uvjeta za "naseljavanje" organizama. Ti, pak, uvjeti određeni su zonama i režimima plovidbe te hidrodinamičkim karakteristikama graničnog sloja.

Više autora potvrđuje opću zakonitost pretežnog smještanja biomase obrasta prema brodskoj krmi. Takav raspored može biti posljedica bržeg izlučivanja toksina iz vanjskog sloja neobrasle (čiste) prevlake krmenog dijela broda zbog visokog stupnja turbulentnosti vodenog strujanja u plovidbi. Pojava se očituje to jače što je brzina broda veća i što je manji faktor vremena broda u mirovanju.

Kad se poveća stupanj obraslosti, ujednačava se rasprostranjenost biomase obrasta po duljini broda. Takav karakter raspodjele obrastanja često se sreće na brodovima koji pretežno plove u ekološkim uvjetima pogodnima za organizme biomase obrasta.

U zonama hladnog mora, pri čestim zalascima broda u slatkovodna područja i pri promjenama temperaturnih zona u oceanima, nastupa otpadanje osnovne biomase obraste ili uginuće organizama.

Znatnu neravnomjernost obrastanja znaju izazvati nepravilnosti u tehnološkom procesu nanošenja podvodnih brodskih prevlaka.

Obrastanjem trupa nastaju različiti tipovi hrapavosti. Tip hrapavosti obraslih površina ovisi o karakteru obrastanja i kombinaciji grupiranja organizama na brodskom trupu. Pod pojmom "tip hrapavosti" misli se na karakteristike sastava obrasta, gustoću naseljavanja i raspored organizama po dijelovima brodskog trupa. Pod "karakterom obrastanja" razumijevaju se osobitosti međusobnog rasporeda organizama na podlozi.

Sovjetski autor Revin dijeli karakter obrastanja (na trupu trgovačkih brodova) u šest različitih kategorija:

1. pojedinačno obrastanje - prisutnost pojedinačnih primjeraka, pretežno životinjskih, s određenom ravnomjernošću i korakom raspodjele koji znatno premašuje poprečne dimenzije primjerka
2. rubno obrastanje - sloj alga u području plovne vodne linije, pojasa gaza i bokova; osobitost je ovakva obrastanja njegovo širenje uzduž brodskog trupa, u obliku neprekinute mase organizama, gdje duljina pojasa znatno prevladava nad širinom;

3. fragmentarno obrastanje - pojava po trupu obraslih i neobraslih zona različite konfiguracije i dimenzija;
4. mozaično obrastanje - životinjski organizmi i alge u raznoobraznim naseobinama, i po cijelom podvodnom dijelu brodskog trupa ili po pojedinim njegovim dijelovima;
5. kontinuirano obrastanje - prisutnost životinjskih organizama i alga, poprečne dimenzije kojih su istog reda veličina kao i razmak između susjednih organizama;
6. višeslojno obrastanje - organizmi rastu jedan na drugom i potpuno prekrivaju podlogu; ponekad izvanjski sloj stvara kontinuirano "runo" midija.

Spoznaje u vezi s hrapavošću nastalom zbog obrastanja i njezinom tipologijom upućuju na to da ona kao konačna pojava ide u slučajne (stohastičke) procese. I to vrlo složene. Oblik neravnina, njihova duljina i međusobni razmak potpuno su neovisni. Osim toga, raspored neravnina podliježe zakonitostima normalne (Gaussove) funkcije. A vjerojatnost raspodjele neravnina na površini brodskog trupa odgovara Poissonovu procesu. Očito je, dakle, da je obrada problema obrastanja podvodnoga brodskog dijela vrlo složena i da u sadašnjoj fazi još nije dosegla potrebnu jednostavnost za praktična predviđanja, i time postala koristan oslonac u terotehnološkom pristupu.

Ipak, neki rezultati ovih istraživanja mogu se preporučiti, s potrebnim oprezom, kao valjani parametri u terotehnološkom pristupu održavanju podvodnog dijela (trgovačkog) broda. Tako Revin ističe da za pad brzine ovisno o obrastanju broda mogu, kao razumna indikacija, poslužiti ove veličine:

za malo obrastanje-----	0,00014 - 0,0009	čvor/dan
za srednje obrastanje-----	0,001 - 0,0017	"
za veliko obrastanje-----	0,0019 - 0,0023	"

7.2. EKSPLOATACIJSKA HRAPAVOST TRUPA I NJEZIN UTJECAJ NA OTPOR BRODA

Svako povećanje hrapavosti oplata podvodnog dijela trupa povećava otpor broda. Ta se pojava tijekom iskorišćavanja broda ne može zasad izbjeći, već samo smanjivati. To povećavanje hrapavosti naziva se i "eksploatacijskom hrapavosti".

Eksploatacijska hrapavost se po podrijetlu dijeli na onu koja je posljedica degradacije podvodne prevlake, korozije oplata i mehaničkih oštećenja oplata, i na onu koja nastaje zbog obrastanja oplata. Na prvu je teško utjecati, pa ona u vremenu progredira i ostaje kao nepovratni proces (vidi poglavlje 4.3). Što se tiče druge, obrastanja dakle, ona se nastoji usporiti biocidnim prevlakama koje ispuštaju otrov i drugim načinima. Ali, učinak se svake takve prevlake vremenom istroši, a svi drugi načini imaju ograničeni domet, pa brod valja staviti u dok i podvodni mu dio mehanički očistiti (ostrugati).

Eksploatacijska hrapavost slučajni je i posebno neregularni proces. Zbog toga se na nju ne mogu primijeniti hidrodinamičke analogije što vrijede za pjeskovitu, valovitu ili zrnastu hrapavost. Taj problem zato nema teorijskog rješenja u području hidrodinamike. Ono se traži u statistici, proučavanjem i obradom velikog uzorka brodova tijekom njihova iskorišćavanja, što očito nije lak i jednostavan zadatak, ni metodološki ni organizacijski.

Neki su se autori u taj pothvat upustili, koncentrirajući se pretežno na obrastanje, kao proces koji u pogledu hrapavosti najviše povećava otpor broda u razdoblju između dva dokovanja. Rezultati koje su dobili mogu korisno poslužiti u terotehničkom pristupu ovom problemu. Već spominjani sovjetski autor Ditjatev bavio se istraživanjem eksploatacijske hrapavosti na velikom uzorku brodova u iskorišćavanju, raznih tipova i u raznim geografskim zonama plovidbe. On je došao do zaključka da je porast koeficijenta otpora trenja ζ_{fr0} , ovisno o danima iskorišćavanja, blizak paraboličnoj funkciji. Ditjatev je tu funkciju, za vremenski period između dokovanja (od 8 do 24 mjeseca), aproksimirao ovim izrazom:

$$10^3 \Delta \zeta_{fr0} = \ln(1 + b \cdot t_{pl}) + c \cdot t_{st} + A_{\varepsilon} \quad (68)$$

" t_{pl} " i " t_{st} " - vrijeme u plovidbi i vrijeme u stajanju (mirovanju) za odabrani vremenski interval (mjeseci)

"b" i "c" - koeficijenti koji se određuju prema tablici 15.

Koeficijent "A_č" primjenjuje se kad brod, nakon plovidbe u zoni pogodnoj za obrastanje, uđe u zone u kojima organizmi obrasta otpadaju ili ugibaju, kao što je to zona leda, hladnog mora, slatke vode i slično. Ovaj se koeficijent također primjenjuje i kad je brod zaštićen protiv obrastanja posebnim uređajima (npr. ultrazvučnom zaštitom) ili posebnim podvodnim prevlakama (SPC - samozagladive prevlake). U takvim okolnostima opravdano je uzeti da "A_č" iznosi - 0,09.

Analiza zaista velikoga statističkog materijala s brodova u iskorišćavanju omogućila je ovom autoru da identificira zone plovidbe karakteristične po geografsko - klimatskim uvjetima više ili manje pogodnima za obrastanje. Te su zone: "TROPI" (T), "LJETO" (L) i "ZIMA" (Z). U kategoriju "TROPI" ubraja se plovidba u tropskim zonama. U kategoriju "LJETO" ide plovidba u tijeku ljetne sezone na umjerenim širinama. U kategoriju "ZIMA" može se svrstati plovidba u zimskoj sezoni na umjerenim širinama, te na visokim širinama tijekom cijele godine.

Ako brod na svom putovanju prolazi kroz različite zone, proračun se iskazuje kao zbroj porasta koeficijenta otpora trenja po zonama, ovisno o vremenu "t_{pl}" i "t_{st}" provedenome u svakoj pojedinoj zoni.

Ako je brod u stajanju (mirovanju) u tropskim zonama ukupno više od 2 mjeseca, treći član u izrazu (68) treba povećati. Tako bi za stajanje u tropima od 3 do 4 mjeseca treći član bio: 1,5 t_{st}.

Veličina koeficijenata "b" i "c" u izrazu (68)

Tablica 15.

Pokazatelji	Zona plovidbe		
	Z (Zima)	L (Ljeto)	T (Tropi)
b	0,021	0,050	0,080
c	0,005	0,075	0,180

I drugi su se autori bavili istraživanjem eksploatacijske hrapavosti. Tako je J.A. Šved problem podijelio u dva dijela. On je dao poseban izraz za izračunavanje relativnog porasta koeficijenta otpora trenja za vrijeme provedeno u plovidbi, a poseban za vrijeme u mirovanju. Za vrijeme u plovidbi izraz glasi:

$$\frac{\zeta_{fr0+\Delta\zeta_{fr0}}}{\zeta_{fr0}} = 1,7(1 - 0,411^{-0,0012t_{pl}}) \quad (69)$$

a za ono provedeno u stajanju (mirovanju)

$$\frac{\zeta_{fr0} + \Delta\zeta_{fr0}}{\zeta_{fr0}} = 1,7(1 - 0,411^{-0,0022t_{st}}) \quad (70)$$

Pri tome su " t_{pl} " i " t_{st} " vremenski periodi broda u plovidbi i u mirovanju.

Škotski autor E.V. Telfer dao je izraz koji ne polazi od vremena provedenoga u plovidbi i mirovanju, već od opažanja neravnina na oplati. On predlaže izraz za izračunavanje koeficijenta otpora trenja:

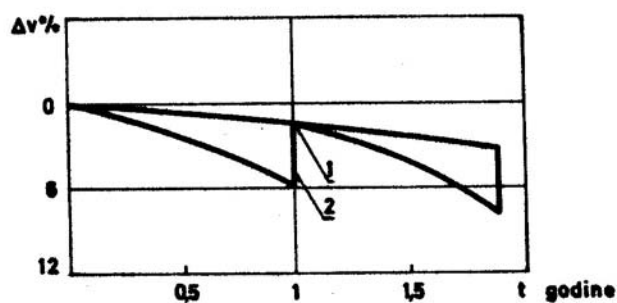
$$10\zeta_{fr0} = 1,2 + 75(h/L)^{1/3} \quad (71)$$

ζ_{fr0} - koeficijent otpora trenja hrapave ploče

h - visina neravnina hrapavosti (u mikronima)

L - duljina ekvivalentne ploče (u metrima)

Izraz je primjenljiv zapravo na onaj dio eksploatacijske hrapavosti koji je posljedica korozije, degradacije prevlake i mehaničkih oštećenja oplata; ta hrapavost postaje vidljiva i mjerljiva nakon čišćenja podvodnog dijela trupa u doku. Na osnovi ovog izraza mogu se, dakle, dobiti elementi koji omogućuju da se približno izračuna krivulja "1", odnosno kut "β" u dijagramima na slikama 38 i 39.



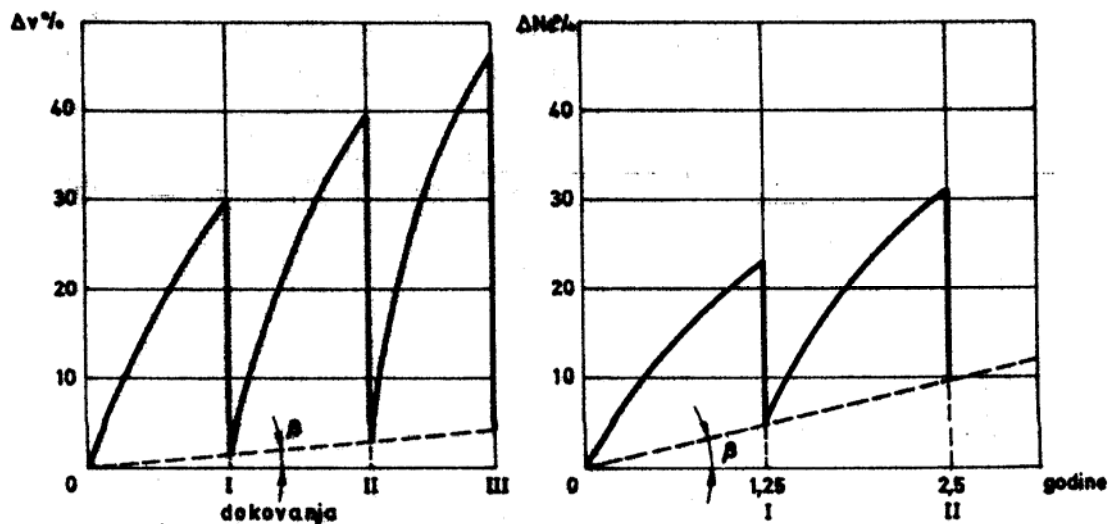
Slika 38.

Pad brzine broda $\Delta v(\%)$ tijekom dvaju prvih intervala dokovanja " t_d " zbog korozije i obrastanja:

krivulja "1" - pad brzine zbog učinka korozije itd.

krivulja "2" - pad brzine nastao obrastanjem

Vrlo je proširena teorija po kojoj propulzijska svojstva broda opadaju s povećanjem njegove starosti. Po toj teoriji kut " β " ostaje konstantan tijekom cijelog vijeka iskorišćavanja broda, bez obzira na to koliko taj vijek iznosio. Na toj postavci osnovani su dijagrami na



Slika 39.

Promjena propulzijskih svojstava ovisno o starosti broda:

I, II, III – prvo, drugo i treće dokovanje

Istraživanja F. Prochaske (vidi 4.3) ne slažu se u potpunosti s iznesenom postavkom. Prema rezultatima njegovih istraživanja kut " β " se s povećanjem starosti broda smanjuje pa se negdje oko desete godine starosti približava vrijednosti 0° .

U svakom slučaju, polazeći od izraza koji je ponudio Telfer (71) moguće je, nakon svakog čišćenja broda u doku, barem približno provjeriti povećava li se i koliko "donji" koeficijent otpora trenja broda, što onda daje elemente za praćenje ponašanja kuta " β ".

Zaključujući sva ova razmatranja u vezi s problemom eksploatacijske hrapavosti, može se općenito reći da su spomenuti istraživači ponudili izraze koji, doduše, daju približne procjene, ali, ako se oni znalački primijene, tako dobivene procjene valjano su sredstvo za reguliranje brodskog terotehnološkog procesa.

7.3. ODRŽAVANJE PODVODNOG DIJELA TRUPA

Podvodni se dio trupa održava redovito na suhom, tj. s brodom u doku. Tad se podvodni brodski dio iskazuje više ili manje obrastao i/ili je njegova prevlaka većim ili manjim dijelom oštećena (oguljena), pa se na tim mjestima pojavila korozija. Valja ga, dakle, najprije od svih tih naslaga očistiti.

Čisti se ili mehaničkim struganjem, ili vodenim mlazom vrlo visoka tlaka, ili pjeskarenjem. Ovisno o nađenom stanju, često se ti postupci kombiniraju, pa se npr. oplata najprije ostruže, a potom se djelomično ili u cijelosti pjeskari; ili se ona očisti vodenim mlazom, a mjesta s kojih mlaz nije uspio skinuti organizme obrasta naknadno se ostružu.

Pjeskarenje je svakako najbolji, ali i najskuplji način čišćenja podvodnog dijela trupa. Najskuplji je i kao direktni trošak održavanja, a budući da zahtijeva mnogostruko više vremena, uzrokuje i izvanredno velike indirektno troškove. Ono što, međutim, treba posebno istaknuti jest činjenica da se pjeskarenjem podvodnog dijela trupa tijekom iskoriscavanja broda smanjuje kut " β ", o kojemu je bilo riječi u prethodnom razmatranju (vidi 7.2), odnosno smanjuje se porast "donjeg" koeficijenta otpora trenja broda.

Čišćenje podvodnog dijela trupa izvodi se i u plutajućem stanju broda, (s brodom u moru) posebnim napravama za podvodno čišćenje (rotacione četke) i sudjelovanjem ljudi žaba. O pristupu i postupku u vezi s ovakvim čišćenjem bit će riječi u posebnom poglavlju (7.6 - UTJECAJ EKSPLOATACIJSKE HRAPAVOSTI NA PROPULZIJU TE UČINAK ZAHVATA ODRŽAVANJA S BRODOM U MORU).

Kad je podvodni dio trupa u doku očišćen od organizama obrasta, od naslaga dotrajale i oštećene prevlake te naslaga rđe, mora se on ponovno zaštititi. Najprije se nanosi antikorozijska prevlaka, a zatim biocidna (u upotrebi je prošireniji naziv "antivegetativna", premda nije sasvim točan).

Budući da je zaštita od korozije broda i njegovih uređaja predmet posebnog kolegija, ovo će se razmatranje ograničiti na zaštitu od obrastanja podvodnog dijela trupa.

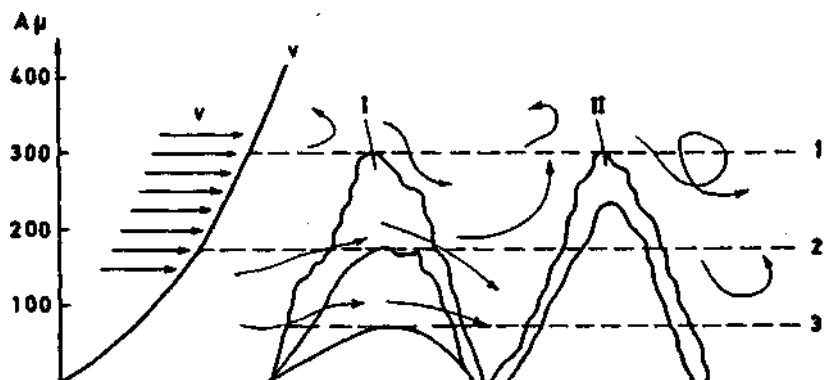
Zaštita od obrastanja podvodnog dijela trupa postiže se na više načina, koji mogu biti i međusobno kombinirani.

Osnovna su zaštita biocidne prevlake. One u sebi sadrže toksične tvari koje se u dodiru s vodom postupno ispuštaju. Tako nastaje podloga koja je "neprijateljska" za sve vodene (morske) organizme. U ekološkom smislu te su prevlake polutanti, iako vrlo ograničenog djelovanja, pa valja očekivati sve oštriju međunarodnu regulativu u vezi s njihovom upotrebom.

Mnogobrojne tvrtke u svijetu proizvode mnogobrojne tipove biocidnih masa koje nanese postaju biocidne prevlake. One se dijele na konvencionalne i moderne (a valjda su se tako uvijek dijelile i tako će se uvijek i dijeliti). Nema ni prostora ni potrebe da se svaku od njih ovdje opisuje, posebno ne one konvencionalne. Za to služe prospekti sa svim potrebnim obrazloženjima i uputama za njihovu primjenu. Ni one tzv. moderne nije moguće sve opisati. Zato će se ovo razmatranje ograničiti na tip modernih biocidnih prevlaka koje su najviše pridonijele usporavanju progresije eksploatacijske hrapavosti podvodnog dijela trupa. One se nazivaju općim imenom "samozagladive prevlake" ili, u skraćenici, "SPC" (Self Polishing Coatings).

Samozagladive prevlake pojavile su se 1974. godine. Za razliku od svih ostalih, one su fizički i kemijski spoj antikorozijske i biocidne prevlake. Pri prvom nanošenju površina mora biti prethodno opjeskarena. U daljnjem terotehnološkom procesu nova prevlaka nanosi se na staru n e o š t e ć e n u prevlaku. Tamo gdje je stari sloj oštećen, površina se mora prije opjeskariti. Debljina suhe prevlake mora biti najmanje 300 mikrona.

Djelotvornost samozagladivih prevlaka osniva se na mehaničkom i kemijskom efektu. Naime, turbulentno strujanje u graničnom sloju izaziva kemijske i fizičke promjene na površini prevlake do dubine od nekoliko mikrona. Kemijske promjene nastaju ispuštanjem organskih akrilnih kopolimera, koji se zbog djelovanja morske vode polagano rastapaju i oblikuju toksični biocidni sloj. S druge strane, na vrhovima površinskih neravnina prevlake stvaraju se vrtlozi, uzrokujući intenzivno habanje samih neravnina, kojemu se prevlaka lako podaje, što konačno rezutira procesom samozagladivosti. Taj proces prikazan je na slici 40.



Presjek na plohi uzduž strujnica

Slika 40.

A - debljina (suhe) prevlake u mikronima

v - raspodjela brzine strujanja u graničnom sloju po visini (normali) površinskih neravnina

I - samozagladive prevlake

II - konvencionalne prevlake

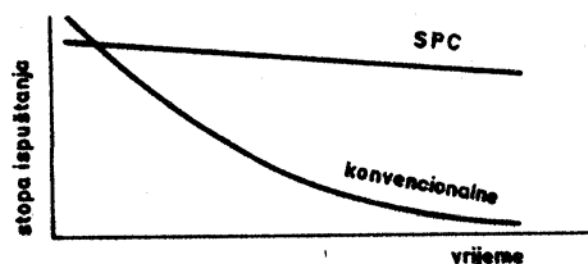
1 - u samom početku eksploatacije

2 - nakon 6 mjeseci

3 - poslije 12 mjeseci

Iskustva pokazuju da se uz debljinu samozagladive (suhe) prevlake od 300 mikrona može računati na potpunu zaštitu od obrastanja za puna 24 mjeseca.

Apliciranjem debljeg ili dodatnog sloja postiže se zaštita od obrastanja tijekom pune 4 godine iskorišćavanja broda, što znači da bi interval između dokovanja s terotehnološkog stajališta mogao biti jednako velik. Tako dobri rezultati posljedica su svojstva samozagladivih prevlaka da ispuštaju biocide sporo, postupno i s obzirom na protok vremena gotovo sasvim ravnomjerno. Odnos ispuštanja biocida između konvencionalnih i samozagladivih prevlaka prikazan je grafički na slici 41.



Slika 41.

Ispuštanje biocida s obzirom na vrijeme

Kod nekih brodova koji su bili zaštićeni samozagladivim prevlakama ispitivanja su pokazala da nije bilo nikakva pada brzine u prvih 12 mjeseci iskorišćavanja. To znači da se u tom periodu nije povećala eksploatacijska hrapavost (i da je prema tome uz odsutnost obrastanja i kut "β" bio jednak 0).

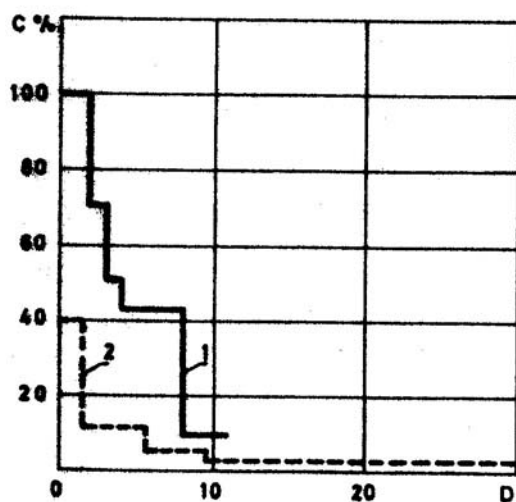
Nakon ovoga ne bi se smjelo zaključiti da se primjenom samozagladivih prevlaka riješio problem zaštite od obrastanja, barem do krajnjih granica današnjih tehnoloških mogućnosti na tom polju. Prvo, te su prevlake vrlo skupe po jedinici mjere (litra ili kilogram), a pri nanošenju u debelim ili dvostrukom slojevima trošak po 1 m² mnogo je veći. Drugo,

one zahtijevaju izvanredno dobru pripremu površine prije nanošenja. To pri novogradnji nije posebni problem, ali kod prijelaza s konvencionalnih prevlaka, zahtijeva velike direktne i indirektne troškove (održavanja). Treće, za tehnološki proces aplikacije potrebne su idealne atmosferske prilike, a on se u potpunosti odvija u doku ili na navozu, dakle na otvorenome. I četvrto, samozagladive prevlake vrlo su osjetljive na mehanička oštećenja. Pa kako onda njima zaštititi brodove koji prolaze kroz ustave, pa bokovima stružu o obalu pri svakom spuštanju i izdizanju, ili brodove koji do luke odredišta moraju prevaliti milje i milje plicaka (morski podvodni sprudovi, estuariji velikih rijeka), kad je oplata dna doslovno izložena kontinuiranom "pjeskarenju"? Problem zaštite od obrastanja (i općenito porasta eksploatacijske hrapavosti) pojavom samozagladivih prevlaka nije, očito, toliko ublažen koliko to kvaliteta samih prevlaka sugerira. Samozagladivim prevlakama može

se osjetno ublažiti problem zaštite od obrastanja (i od povećanja eksploatacijske hrapavosti) u nekim primjerima, kod kojih su okolnosti iskorišćavanja broda takve da kvalitete takvih prevlaka mogu doći do izražaja, a da se slabosti ne manifestiraju. U drugim slučajevima, tj. kad okolnosti iskorišćavanja broda nisu tako povoljne, rješenje bi valjalo potražiti u kompromisu na taj način što će se samozagladive prevlake primijeniti djelomično, i to u onim područjima podvodne oplata koja su relativno "zaštićena" od struganja.

Usporedo s biocidnim prevlakama za suzbijanje obrastanja podvodnog dijela broskog trupa upotrebljavaju se i posebni uređaji koji se zasnivaju na principu ultrazvučnih vibracija. Takvi se uređaji sastoje od oscilatora relativno male snage (oko 200 vata) koji napaja ultrazvučnom frekvencijom stanoviti broj magnetostrikcioni vibratora. Magnetostrikcioni vibratori sastoje se od paketa nikalnih pločica, međusobno zalemljenih u čvrstu prizmu. Ti vibratori privareni su na unutrašnju stranu brodske oplata u visini dvodna.

Sovjetski autor J.E. Zobačev objavio je rezultate svojih istraživanja u vezi s djelotvornošću ultrazvučnih uređaja na suzbijanju obrastanja. On je to pratio na floti brodova istog tipa, od kojih je dio bio zaštićen konvencionalnim biocidnim prevlakama, a dio istim takvim prevlakama i još ultrazvučnim uređajem. Rezultati su prikazani u dijagramu na slici 42.



Slika 42.

Obrastanje podvodnog dijela trupa u periodu između dokovanja

C - stupanj obraslosti u %

D - broj brodova na kojima su provedena istraživanja

1 - obrastanje brodova bez ultrazvučne zaštite

2 - obrastanje brodova s ultrazvučnom zaštitom

Iako se s povećanjem broja brodova stupanj obraslosti uzorka znatno smanjuje, rezultati idu nedvojbeno u prilog primjene ultrazvučne zaštite. Naime, stupanj obraslosti uzorka brodova s ultrazvučnom zaštitom uvijek je barem za polovicu manji od uzorka bez takve zaštite. Osim toga, ultrazvučna zaštita od obrastanja ne zahtijeva veliki utrošak energije, a s ekološkog stajališta nije opasna ni za brodsko osoblje ni za okoliš.

7.4. EKSPLOATACIJSKA HRAPAVOST BRODSKOG VIJKA

Tijekom iskorišćavanja broda povećava se i hrapavost na površini krila brodskog vijka. Kao i brodski trup tako je i vijak, dakle, podložan pojavi eksploatacijske hrapavosti.

Eksploatacijska hrapavost na krilima brodskog vijka posljedica je, s jedne strane erozije i korozije, a, s druge, obrastanja morskim organizmima.

Eroziji pogoduju velike obodne brzine u turbulentnom strujanju, pad tlaka uzduž krila i prisutnost abrazivnih čestica u vodi. Osim toga, svaki odljevak, pa tako i brodski vijak, ima u sebi i sićušnih nemetelnih čestica koje strujanjem vode bivaju isplahnute, stvarajući tako na površini krila sitnu poroznost.

Ipak, eksploatacijskoj hrapavosti brodskog vijka ove vrste najviše pridonosi elektrokemijska korozija i kavitacijska erozija.

Sve legure od kojih se izrađuju brodski vijci imaju u sebi cinka. Ako zaštita protektorima nije provedena dovoljno efikasno, čestice će se cinka izlučivati iz legure, osobito uz rubove krila. Na tim mjestima materijal dobiva spužvasti izgled i gubi na čvrstoći,

Eksploatacijska hrapavost brodskog vijka povećava se i taloženjem katodnih soli na površini krila. Ta je pojava posljedica osobitosti u tijeku katodnog procesa na metalima u morskoj vodi koja ima visoki sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli. Talog katodnih soli može biti postojan i nepostojan. Postojanost taloga ovisi o njegovoj adheziji, granulometrijskom sastavu, stupnju hrapavosti površine na koju se taloži i o samoj njegovoj debljini.

Svi dosad opisani procesi uzrok su postupnom povećavanju eksploatacijske hrapavosti brodskih vijaka. Relativno naglo, pak, povećanje eksploatacijske hrapavosti brodskih vijaka isključivo je posljedica obrastanja. Za razliku od prve vrste eksploatacijske hrapavosti, ovoj drugoj (obrastanju) mnogo je teže utvrditi zakonitost.

F.M. Kacman proveo je istraživanja na 250 brodskih vijaka u eksploataciji i izvršio više od 3000 mjerenja, slijedeći uvijek istu unaprijed utvrđenu metodologiju. Visina neravnina mjerena je optičkim mikroskopom. Polazeći od srednjih izmjerenih vrijednosti i vremena provedenoga u eksploataciji Kacman je utvrdio približnu ovisnost parametra hrapavosti " R_{ex} " o intervalu između dokovanja i o leguri od koje je vijak izrađen. Ta bi zakonitost izgledala

Manganskaa bronca

$$R_{ex} = 30 + 30x + 8,5x(x-1) + 0,167x(x-1)(x-2) + 0,0416x$$

$$(x-1)(x-2)(x-3) \quad (72)$$

Ostale bronce (nikal-aluminijska i mangan-aluminijska)

$$R_{ex} = 30 + 20x + 3,5x(x-1) + 0,667x(x-1)(x-2) + 0,25x(x-1)$$

$$(x-2)(x-3) \quad (73)$$

Ugljični čelici

$$R_{ex} = 90 + 160x + 95x(x-1) + 26,7x(x-1)(x-2) - 4,85x$$

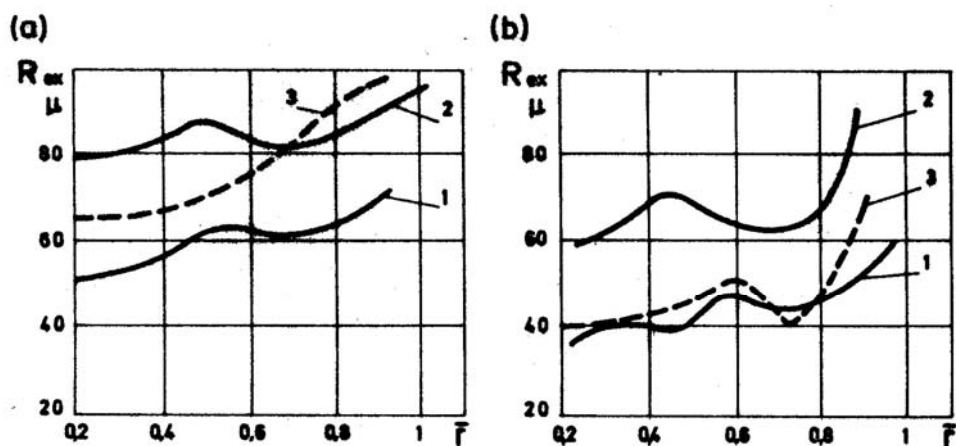
$$(x-1)(x-2)(x-3) \quad (74)$$

Nerđajući čelici

$$R_{ex} = 2,5x + 35$$

U navedenim izrazima $x = \frac{t}{6}$, a "t" je vrijeme iskorišćavanja broda u mjesecima.

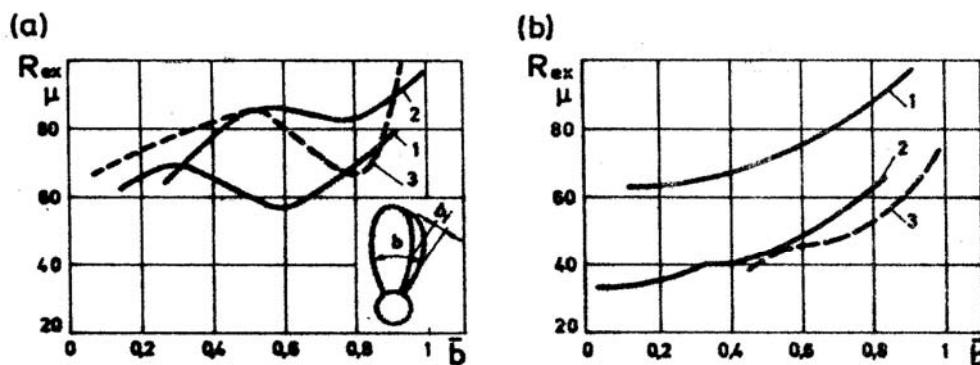
Analizom obrađenih rezultata mjerenja utvrđene su i posebne zakonitosti koje se odnose općenito na vijke bez obzira na materijal od kojega su napravljeni i na karakteristike materijala. Tendencije tih zakonitosti prikazane su na slikama 43. i 44.



Slika 43.

Raspodjela hrapavosti brodskih vijaka po radiusu

R_{ex} - hrapavost, $\bar{r} = \frac{r}{R}$ bezdimenzionalni radius vijaka, (a) – potlačna strana krila, (b) – tlačna strana krila, 1 – nikal-aluminijska bronca (Natal), 2 – mangan-aluminijska bronca (Novoston), 3 – nerđajući čelik.



Slika 44.

Raspodjela hrapavosti brodskih vijaka po širini krila

R_{ex} - hrapavost, $\bar{b}$ - odnos hrapave širine krila " b_i " prema ukupnoj širini " b " ($\bar{b} = b_i/b$), (a) - potlačna strana krila, (b) - tlačna strana krila, 1 - nikal-aluminijska bronca, 2 - mangan-aluminijska bronca, 3 - nerđajući čelik

Iz obrađenih rezultata, koji su dijelom prikazani na ovim dijagramima, može se izvući nekoliko korisnih zaključaka:

- hrapavost (po parametru R_{ex}) biva veća na potlačnoj strani krila nego na tlačnoj;
- na ulaznom bridu često se susreće veća hrapavost nego na ostalom dijelu profila;
- kod brončanih brodskih vijaka hrapavost se na tlačnoj strani krila ravnomjerno povećava od ulaznoga prema izlaznom bridu i od korijena krila prema vrhu; zona najveće hrapavosti je na potlačnoj strani na otprilike 0,30 - 0,90 R (vidi sliku 43); u središnjoj zoni potlačne strane krila parametar hrapavosti R_{ex} najmanje je izražen; parametar R_{ex} najviše ovisi o karakteristikama materijala; kod nekih vijaka u posebnim okolnostima manifestiraju se mjesta vrlo povišene hrapavosti i mjesta jako nagrizena erozijom;

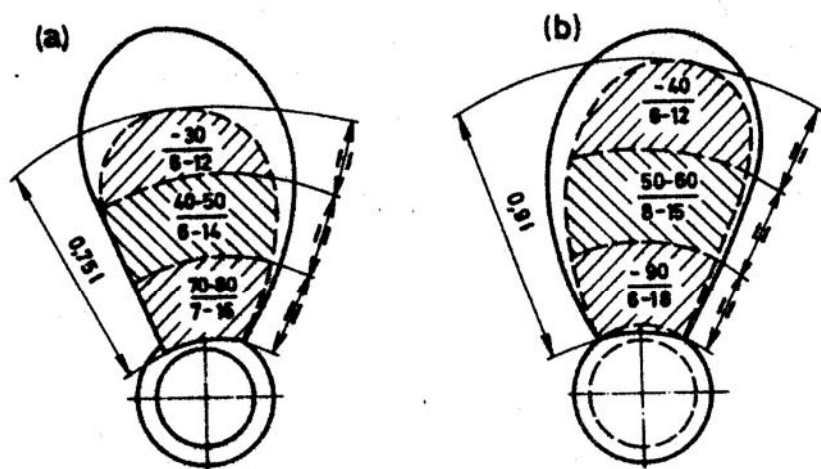
- kod brodskih vijaka od nerđajućeg čelika bitni rast hrapavosti manifestira se na perifernim dijelovima krila i na ulaznom bridu uz relativno ravnomjernu raspodjelu hrapavosti u središnjem dijelu krila
- općenito, najveća se hrapavost pojavljuje u zoni ulaznog brida i u predjelu većih radiusa na potlačnoj strani; zatim, po veličini R_{ex} dolazi zona ulaznog brida na tlačnoj strani krila; u nekim posebnim slučajevima, i nakon mnogo godina eksploatacije, vijak uspijeva zadržati sasvim zadovoljavajuću hrapavost.

Krila brodskih vijaka od ugljičnih čelika bivaju za 12-24 mjeseca eksploatacije ravnomjerno izgrizena korozijom s kavernama dubine od 15 do 25 mm. To očito pokazuje da ugljični čelici nisu podobni za izradu brodskih vijaka. U sadašnjem trenutku čini se da su za to najpogodniji materijali nikal-aluminijeva i mangan-željezna bronca. U literaturi se mogu naći podaci o visokim eksploatacijskim kvalitetama tih materijala, svojstva kojih su mala sklonost korozijskom i erozijskom učinku i visoka čvrstoća.

Srednja hrapavost površine krila brodskih vijaka izrađenih od tih materijala povećava se tijekom perioda eksploatacije od 3 do 6 godina znatno manje nego kod ostalih bronca. Iz toga jasno izlazi da je izbor materijala broskog vijka i bitan terotehnološki problem, pa mu valja pri izradi projektnog zahtjeva posvetiti dužnu pažnju i s terotehnološkog aspekta.

Pojavom obrastanja brodskih vijaka bavio se V.Revin. Kao i za trup, obrastanje broskog vijka ovisi o zonama plovidbe, o odnosu plovidbe i mirovanja itd. Ipak, u usporedbi s odgovarajućim dijelovima trupa, u zonama eksploatacije gdje je obrastanje vrlo intenzivno, taj je proces kod broskog vijka sporiji. Međutim, kao i kod trupa, pri dugom mirovanju u lukama gdje je visok stupanj obrastanja, i brodski vijak može biti podložan gustom mnogoslojnom mozaičnom obrastanju.

Revinova istraživanja pokazuju da je obrastanje veće na potlačnoj strani krila nego na tlačnoj (vidi sliku 45).



Slika 45.

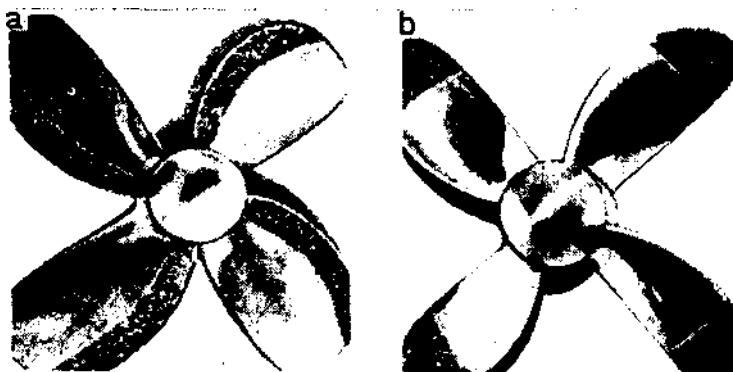
Shema obrastanja na tlačnoj (a) i potlačnoj strani krila brodskog vijka (b) (u brojniku je gustoća u %, a u nazivniku promjer školjki)

Osim toga, obrastaj je redovno smješten više prema izlaznom bridu, i nije ravnomjerno raspoređen po radiusu. Na krajevima krila susreću se pojedinačni organizmi, a pri korijenu je obrastaj gust i mozaičan. U istom se smislu gustoća obraštaja povećava od periferije prema sredini krila.

Većina organizama koji čine obrastaj brodskog vijka ne može, ipak, dugo živjeti pri vrtnji tijekom plovidbe, pa ugibaju. Njihove kućice bivaju velikim dijelom uništene i odnesene strujom mora. Na površini krila ostaju, međutim, ostaci tih kućica, koji dodatno povećavaju hrapavost.

7.5. UTJECAJ EKSPLOATACIJSKE HRAPAVOSTI KRILA NA HIDRODINAMIČKE OSOBINE BRODSKOG VIJKA

Da bi se mogao utvrditi utjecaj eksploatacijske hrapavosti krila na hidrodinamičke osobine vijka, trebalo je pristupiti posebno pripremljenim modelskim pokusima u kavitacionim tunelima. Takve su pokuse vršili S.Kan, F.Gutshe, F.M.Kacman i drugi. Površina krila modelskih vijaka je na odgovarajućim mjestima ohrapavljena sitnozrnatim kalibriranim korundovim pijeskom, kako je to prikazano na slici 46.



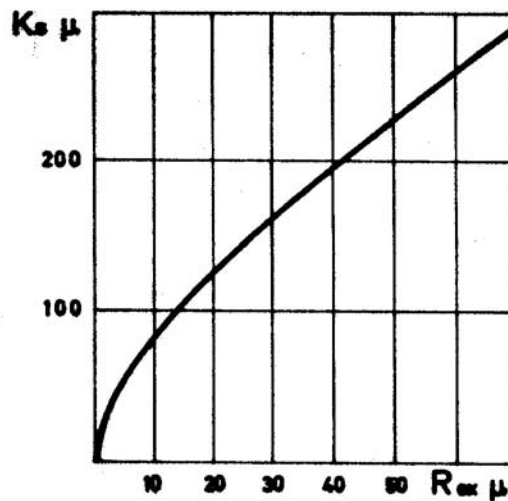
Slika 46.

Osnovni modeli:

a - hrapavost ulaznih bridova; b - hrapavost vrškova krila

Napravljeno je nekoliko modela vijaka, svaki s različitom veličinom neravnina, tako da je obuhvaćen cijeli dijapazon stvarnih pojava eksploatacijske hrapavosti.

Korelacije između zrnaste (modelske) hrapavosti i eksploatacijske hrapavosti vijka dobivaju se na osnovi krivulje F.Uellmena, prikazanoj na slici 47.



Slika 47.

Korelacijska zavisnost parametra eksploatacijske hrapavosti

profila " R_{ex} " i srednje veličine zrnaste hrapavosti " K_s " (prema Uellmenu).

Rezultati ispitivanja nesumnjivo su pokazali da zbog povećavanja hrapavosti površine krila opada koeficijent iskoristivosti brodskog vijka " η_o ".

Pri tome se potrebno prisjetiti izraza za koeficijent iskoristivosti brodskog vijka u slobodnoj vožnji, koji glasi:

$$\eta_o = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J_o}{2\pi}$$

(76)

K_T – koeficijent poriva

K_Q - koeficijent momenta

J_o - koeficijent napredovanja

$$J_o = \frac{v_e}{nD}$$

(77)

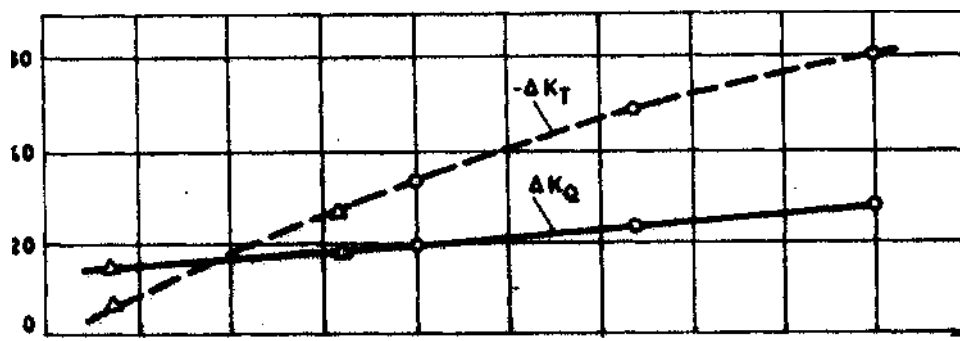
v_e - brzina napredovanja vijka (m/s)

n - broj okretaja vijka (s^{-1})

D – promjer vijka (m)

Na slici 48. prikazane su promjene koeficijenta poriva i koeficijenta momenta ovisno o relativnoj hrapavosti površine krila brodskog vijka.

$(-\Delta K_T)100\%; \Delta K_Q 100\%$



Slika 48.

Utjecaj relativne hrapavosti " K_s " / b (po cijeloj površini krila) na

$(-\Delta K_T)$ i ΔK_Q

Relativna hrapavost je odnos znaste hrapavosti " K_s " i debljine profila krila " b ".

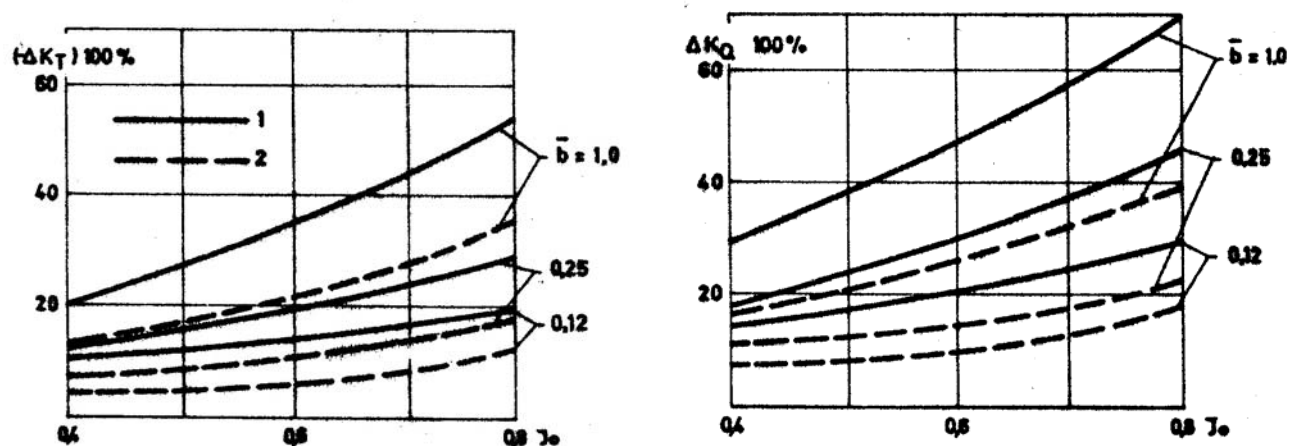
Iz krivulja na slici 48. vidi se da s povećavanjem relativne hrapavosti opada koeficijent poriva " K_T ", a raste koeficijent momenta " K_Q ", što neminovno rezultira smanjenjem koeficijenta iskoristivosti brodskog vijka, η_0 . Istraživanjem se utvrdilo više zakonitosti koje su za iskorišćavanje vrlo zanimljive. Tako je ustanovljeno da je u području tehnološke hrapavosti i hrapavosti izazvane korozijom i erozijom, odnosno u području relativne hrapavosti $10^3 (K_s/b) = 6,0$, u uvjetima eksploatacijskih karakteristika $J_0 = 0,4 - 0,7$ i odnosa $P/D = 0,9 - 1,1$, promjena $(-\Delta K_T)$ i ΔK_Q ravnomjerna. Kod hrapavosti koja je posljedica obrastanja, tj kod odnosa $10^3 (K_s/b) > 10$, zapaža se kako povećanje K_s/b osjetno utječe na porast ΔK_Q .

Koeficijent poriva " K_T " i koeficijent momenta " K_Q " mijenjaju se neproporcijalno s promjenom veličine neravnina hrapavosti. Razmatranjem utjecaja hrapavosti površine krila na osobine vijka pokazalo se da omjer površine diska " A_o " i razvijene površine svih krila " A_E ", dakle " A_E/A_o " kao i omjer " P/D ", te opterećenje krila imaju znatnu ulogu pri promjeni koeficijenta momenta " K_Q ". To se tumači promjenom debljine graničnog sloja na obje strane krila i kod hrapavosti samo jedne strane.

Kod vijaka trgovačkih brodova ($A_E/A_0 = 0,4 + 0,55$) na promjenu ΔK_Q najviše utjecaja pokazuje hrapavost potlačne strane krila, a na promjenu $(-\Delta K_T)$ hrapavost i jedne i druge strane utječe podjednako. Kod vijaka s većim omjerom površina ($A_E/A_0 = 0,8$; $P/D = 2$) raste uloga hrapavosti na tlačnoj strani. Što je veći omjer uspona P/D , povećava se utjecaj hrapavosti tlačne strane na porast $(-\Delta K_T)$.

U eksploataciji posebnu pažnju valja obratiti na hrapavost vrhova krila i na odvojene zone hrapavosti uzduž radiusa. Ako se promatra potpuno hrapav vijak, onda, pri relativnoj hrapavosti $10^3 (K_s/b) = 12,5$, hrapavost vrhova krila ($r = 0,75 - 1,0$) uzrokuje 30% promjene koeficijenta " K_T " i 70% koeficijenta " K_Q " od cjelokupne promjene $(-\Delta K_T)$ i ΔK_Q koja iznosi 100% u odnosu prema glatkom vijku.

Pri porastu hrapavosti bridova krila povećava se koeficijent " K_Q ", a opada koeficijent koeficijent " K_T ", i to, uz relativnu hrapavost $10^3 (K_s/b) = 23$, negativni prirast $(-\Delta K_T)$ iznosi 30%, a pozitivni ΔK_Q je 70%. Osnovni utjecaj na prirast $(-\Delta K_T)$ ima hrapavost rubnih zona tlačne strane krila (58%), a na prirast ΔK_Q hrapavost rubnih zona potlačne strane. Na slici 49. predložena je promjena $(-\Delta K_T)$ i ΔK_Q ovisno o širini zone hrapavosti (naprama širini krila), počevši od ulaznog brida, i o koeficijentu napredovanja J_0 .



Slika 49.

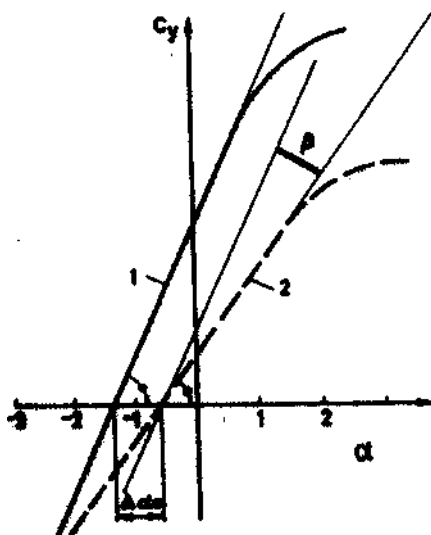
Utjecaj hrapavosti ulaznog brida na $(-\Delta K_T)$ i ΔK_Q :

1 - obje strane, 2 - potlačna strana

Sigurno je da hrapavost površine profila krila brodskog vijka izaziva smanjenje tangensa kuta nagiba prema koeficijentu uzgona (poriva) $C_y(\alpha)$ i smanjuje vrijednosti nultoga upadnog kuta profila α_0 , a povećava značaj koeficijenta otpora profila (slika 50). Porast koeficijenta otpora profila proizlazi kako zbog promjene otpora trenja tako i zbog promjene otpora tlaka, odnosno:

$$C_x = C_f\left(\frac{K_s}{b(r)}; Re; \alpha\right) + C_{pr}\left(\frac{K_s}{b(r)}; Re; \alpha\right) \quad (78)$$

Pri tome je $\frac{K_s}{b(r)}$ stupanj relativne hrapavosti presjeka profila vijka na odgovarajućem radiusu "r".



Slika 50.

Utjecaj hrapavosti površine krila na hidrodinačke osobine
profila brodskog vijka:

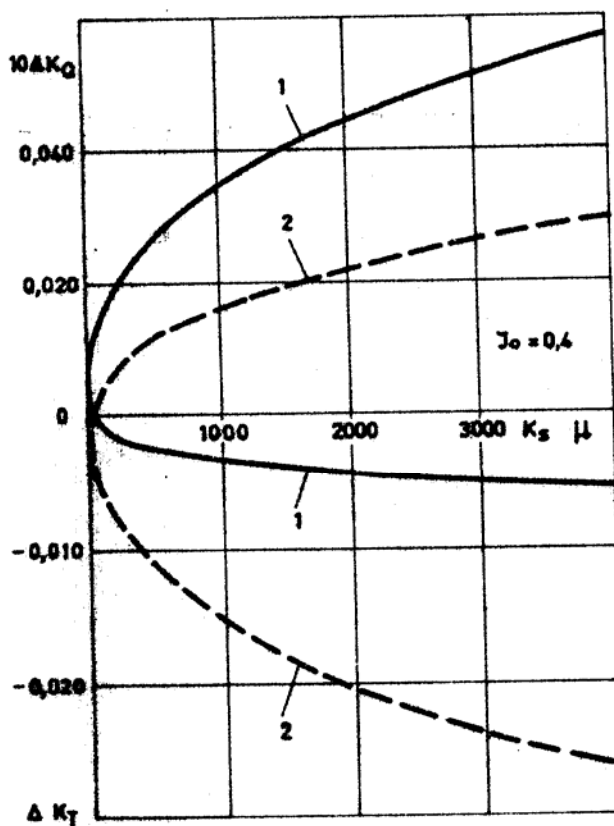
1 - glatki profil, 2 - hrapavi profil

Promjena otpora tlaka " C_{pr} " i sile uzgona profila posljedica je razlike u stupnju utjecaja graničnog sloja pri optjecanju profila s hidrodinamski glatkom i hrapavom površinom. Hrapavost površine snažno se odražava na otpor profila, a promjena sile uzgona profila na koeficijente poriva i momenta vijka. To zahtijeva rješavanje dvaju problema:

- valja utvrditi ovisnost koeficijenta sile uzgona i koeficijenta

- otpora vijčanog profila različitih presjeka o stupnju hrapavosti površine;
- treba ustanoviti vezu između promjene tih koeficijenata i promjene poriva i momenta vijka sa zadanim geometrijskim osobinama.

Na tim osnovama F.M.Kacman razradio je analitičku metodu proračuna utjecaja hrapavosti na hidrodinamičke karakteristike brodskog vijka u slobodnoj vožnji koristeći se pristupom H.Lerbsa. Rezultati se unekoliko razlikuju od onih dobivenih po Lerbsovoj metodi, što se vidi iz slike 51.



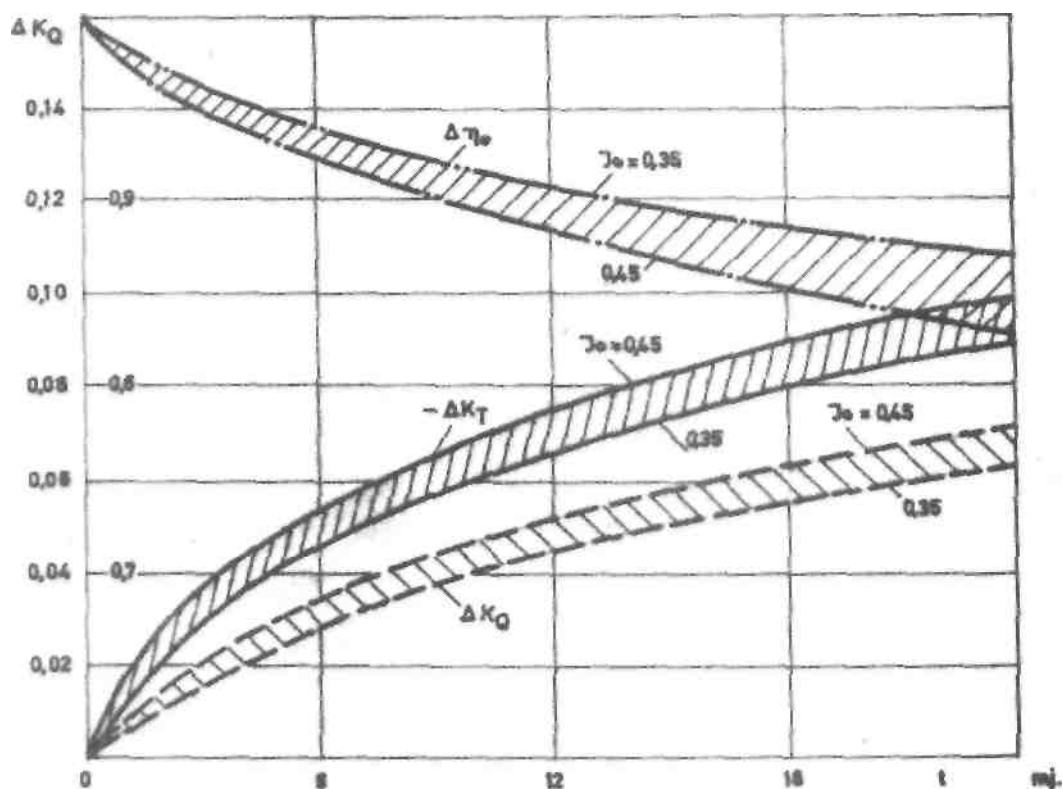
Slika 51.

Tok krivulja $\Delta K_T(K_s)$ i $\Delta K_Q(K_s)$ po Kacmanovoj metodi (1) i po Lerbsovoj metodi (2).

Sve metode proračuna utjecaja eksploatacijske hrapavosti na hidrodinamičke osobine brodskog vijka ipak su približne metode, iako su analitički egzaktne. Naime, nemoguće je proniknuti u totalitet pojava koje se zbivaju u vodi oko brodskog vijka u slobodnoj vožnji,

pa ni oslonivši se na modelske pokuse. Ali sve one daju više ili manje dobre, uglavnom zadovoljavajuće, rezultate za terotehnoške i eksploatacijske potrebe broda. Da bi one bile korisno primijenjene, zahtijevaju, međutim, da se njima bave pravi specijalisti. Zato ih nema svrhe ovdje iznositi i razvijati. Dovoljno će biti rezimirati prosječne rezultate koji su služeći se njima polučeni. Tako je na slikama 52. i 53. prikazana ovisnost koeficijenta poriva " K_T ", koeficijenta otpora " K_Q " i koeficijenta iskoristivosti bprodskog vijka " η_0 " o vremenu eksploatacije za vijke od bronce i ugljičnog čelika po Kecmanovoj metodi.

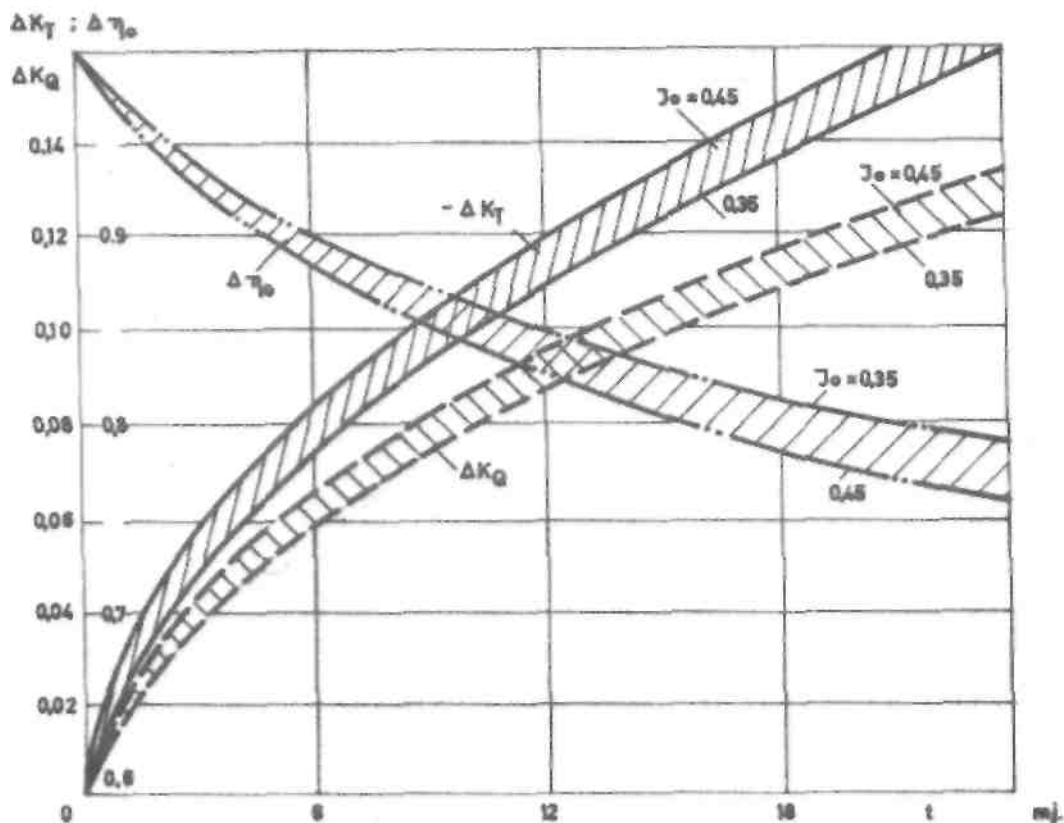
ΔK_T ; $\Delta \eta_0$



Slika 52.

Ovisnost ($-\Delta K_T$), ΔK_Q i η_0 za brodske vijke od manganske bronce o vremenu eksploatacije u području napredovanja vijka

$$J_0 = 0,35 \pm 0,45$$



Slika 53.

Ovisnost $(-\Delta K_T)$, ΔK_Q i η_o za brodske vijke od ugljičnog čelika o vremenu eksploatacije ($J_o = 0,35 + 0,45$)

Krivulje predočuju prosječne rezultate proračuna, prihvatljivost kojih je provjerena u stvarnosti, i mogu se praktično primijeniti na većinu trgovačkih brodova.

Kombinirajući, dakle, znalački sve ono što je izneseno u 7. glavi, može se doći do upotrebljivih zaključaka u pristupu rješavanju terotehnoških problema broda. Ako se posluži izrazom (72) za proračunavanje eksploatacijske hrapavosti vijka " R_{ex} " (bez obrastanja), dobiva se za dvogodišnji interval između dokovanja vrijednost $R_{ex} = 260 \mu$. Prema Uellmanovoj korelaciji po krivulji na slici 47, odnosno prema matematičkoj aproksimaciji te krivulje koja glasi:

$$R_{ex} = 0,0491 K_s^{1,272} \quad (79)$$

vrijednost " K_s " iznosi oko 850μ . Uđe li se s tom vrijednošću u krivulje na slici 51, dobiva se po Kacmanu $\Delta K_Q \cong 0,035$ i $K_T \cong 0,003$ iz čega, prema izrazu (76), izlazi $\eta_o = 0,963$, ili pad koeficijenta iskoristivosti vijka za 3,7%, a po Lerbsu $4 K_Q s = 0,016$, $\Delta K_y s = 0,014$, iz čega $\eta_o \cong 0,970$, ili smanjenje iskoristivosti vijka za 3,0%.

Ako se, međutim, računa i s početkom procesa obrastanja vijka, onda je bolje izravno ući u krivulje na slici 52. Za interval eksploatacije od dvije godine ($J_o = 0,35$) dobivaju se ove vrijednosti: $\Delta K_Q \cong 0,064$, $\Delta K_T \cong -0,09$, $\eta_o \cong 0,865$ ili pad koeficijenta iskoristivosti vijka od 13,5%.

Sve to jasno pokazuje koliko štetno utječe obrastanje krila brodskog vijka na djelotvornost brodskog poriva

7.6. UTJECAJ EKSPLOATACIJSKE HRAPAVOSTI NA PROPULZIJU I UČINAK ZAHVATA ODRŽAVANJA S BRODOM U MORU

Iz dosadašnjih izlaganja nesumnjivo je da brodski vijak valja očistiti, dakle obrusiti i ispolirati prigodom svakog dokovanja. Što se tiče podvodnog dijela trupa, brod se prije svega i stavlja na suho radi njegova čišćenja i obnove podvodne prevlake. Ali, budući da svako dokovanje rezultira relativno visokim direktnim i indirektnim troškovima održavanja, nastoji se interval između dokovanja povećati. Danas je interval od 24 mjeseca najčešći kod većine brodarskih poduzeća i operatora, svakako ovisno o zonama plovidbe i o mirovanjima broda u lukama i na sidrištima. A to je u pogledu eksploatacijske hrapavosti vrlo dug vremenski period.

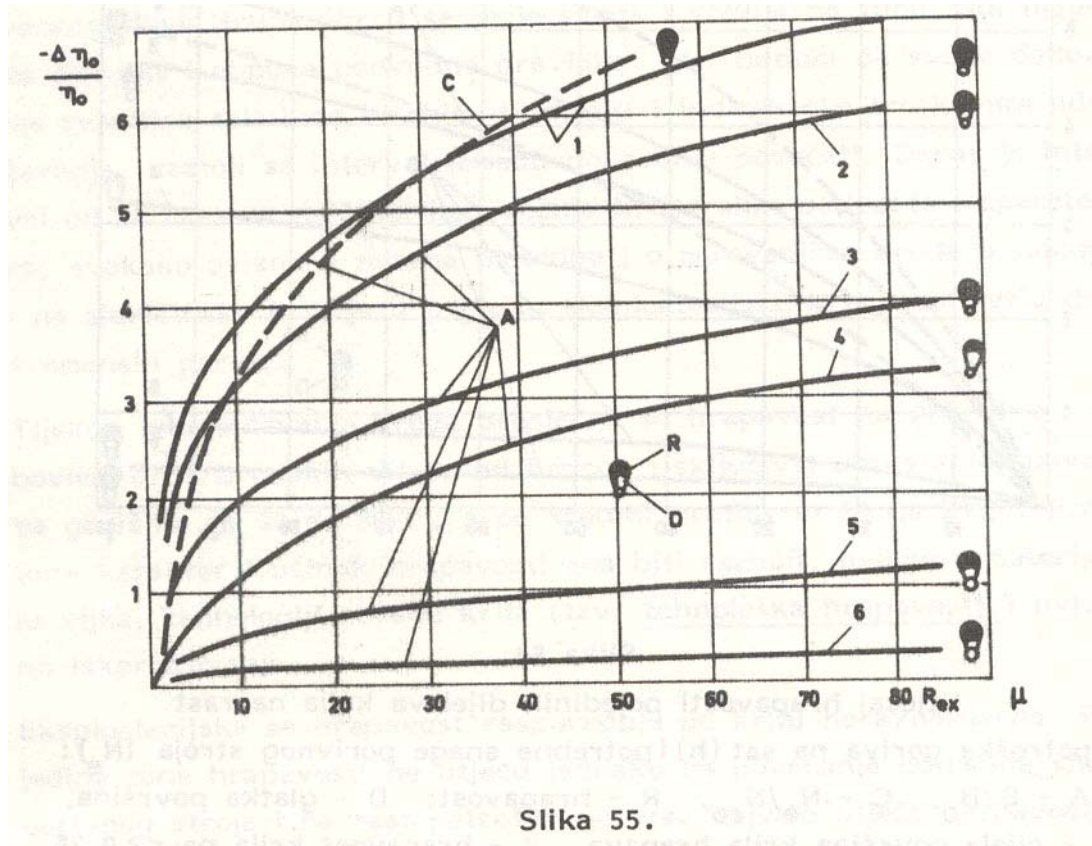
Tijekom iskorišćavanja broda prosječna se hrapavost na vrhovima i rubovima krila brodskih vijaka od bronce (isključivši obrastanje) povećava godišnje od 30 do 80 μ , a po sredini profila od 15 do 30 μ . Pri tome karakter i učinak hrapavosti zna biti različit, ovisno o materijalu vijka, tehnologiji obrade krila (tzv. tehnološka hrapavost) i uvjetima iskorišćavanja.

Eksploatacijska se hrapavost raspoređuje po krilu neravnomjerno. Pojedine zone hrapavosti ne utječu jednako na povećanje potrebne snage porivnog stroja i na rast potroška goriva. Najviše utječe hrapavost na periferiji profila u zoni radiusa od $r = 0,7$ do $r = 1,0$. Pri tome periferna hrapavost na potlačnoj strani snažnije djeluje od one na tlačnoj. Drugi znatni činilac povećanog potroška goriva je hrapavost ulaznog brida, zapravo neznatno manji od hrapavosti na periferiji profila u spomenutoj zoni radiusa.

Modelska ispitivanja pokazuju da eksploatacijska hrapavost reda veličina $E_{ex} = 20 - 30 \mu$ izaziva povećanje potrebne snage od oko 10%. Ali, taj je rezultat očito preuveličan zbog efekta mjerila modelske hrapavosti.

Na slici 54. predložena su teorijska istraživanja Ph.D.Patiencea. Rezultati su dobiveni računskim putem (na osnovi teorije vrtloga za velike vijke).

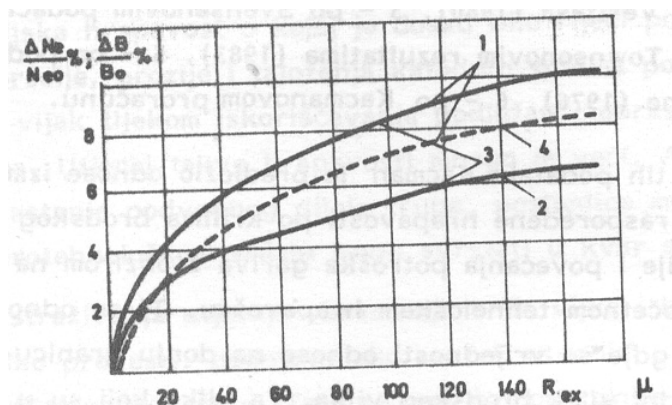
Rezultati su prikazani na slikama 55. i 56. uz usporedbu s podacima tvrtke Lips i Ph.D.Patiencea.



Utjecaj po radiusu neravnomjerno raspoređene hrapavosti krila na koeficijent iskoristivosti brodskog vijka:

A - po Kacmanovu i Ditjatevljevu matematičkom modelu,

C - po podacima tvrtke Lips, R - hrapavost, D - glatka površina (pozicije od 1 do 6 imaju isto značenje kao i na slici 54)



Slika 56.

Utjecaj ravnomjerno po krilu raspoređene hrapavosti na promjenu potroška goriva na sat i potrebne snage porivnog stroja:

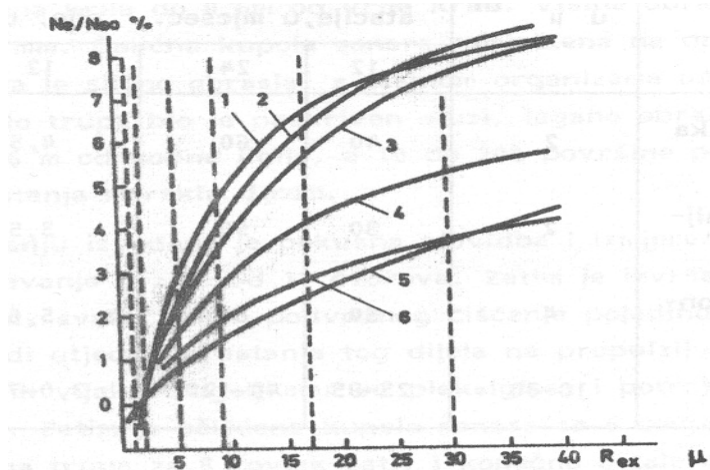
1- B_h/B_o

2- N_e/N_{eo}

3 - Patienceovi rezultati,

4 - po Kacemanovu i Ditjatevljevu modelu

Slika 57. sadrži usporedbu utjecaja eksploatacijske hrapavosti krila vijka na iskoristivost porivnog stroja prema nekoliko izvora različitih datuma.



Slika 57.

Utjecaj stupnja hrapavosti krila vijka na promjenu potrebne snage porivnog stroja:

1 – po podacima tvrtke Stone (1968), 2 – prema rezultatima Norske Veritasa (1980),

3 - po Svensenovim podacima (1982), 4 - po Townsonovim rezultatima (1983), 5 - po podacima tvrtke Stone (1976), 6 - po Kacmanovom proračunu.

Na temelju svih tih podataka Kacman je predložio odnose između uvjetno ravnomjerno raspoređene hrapavosti po krilima brodskog vijka, vremena eksploatacije i povećanja potroška goriva s obzirom na brodski vijak sa samo početnom tehnološkom hrapavošću. Ti su odnosi prikazani u tablici 16, gdje se vrijednosti odnose na donju granicu i ne uzimaju u obzir radni vijek brodskog vijka. Za vijke koji su u upotrebi više od 10 godina bez periodičkog brušenja i poliranja, eksploatacijsku je hrapavost bolje računati prema izrazima (72), (73), (74) i (75).

Tablica 16.

Utjecaj promjene hrapavosti krila brodskog vijka na potrošak goriva
u procesu iskorišćavanja broda

Materijal brodskog vijka	Tehnološka (početna) hrapavost u R_{th} u μ	Eksploatacijska hrapavost R_{ex} u μ		Očekivano povećanje potroška goriva, u %	
		vrijeme eksploatacije, u mjesecima		vrijeme eksploatacije, u mjesecima	
		12	24	12	24
Nikal-aluminijska bronca	2	40	60	4.5	6.0
Mangan-aluminijska bronca	2	30	50	3.5	4.5
Manganska bronca	4	50	80	5.6	7.0
Nehrđajući čelik	10 - 80	25 - 95	40 - 120	3.0 – 7.0	4.5 – 8.0

Sve izneseno potvrđuje da eksploatacijska hrapavost krila vijka znatno povećava potrošak goriva. Prema nekim izvorima povećanje R_{ex} od 2 na 4 μ uzrokuje rast potroška goriva do 1%, a povećanjem hrapavosti do 32 μ potrošak raste do 4%.

Eksploatacijska hrapavost o kojoj je dosad bilo riječi posljedica je samo procesa korozije, erozije i taloženja katodnih soli na površini krila. Ali, brodski je vijak tijekom iskorišćavanja podložen i obrastanju morskim organizmima. Utjecaj takve hrapavosti mnogo je veći. A kad se tome doda i obrastanje podvodnog dijela trupa, posljedice mogu biti takve da se u terotehničkom smislu mogu svrstati u kvar sustava trupa.

Modelska istraživanja utjecaja obrastanja krila vijka i broskog trupa vrlo je teško provesti, pogotovo ako se želi utvrditi utjecaj obrastanja pojedinih dijelova površina. Zato se ona najpouzdanije provode u stvarnosti, po metodologiji koja je prilagođena ciljevima istraživanja.

Tako je u SAD od 1976. do 1979. godine provedeno istraživanje utjecaja obrastanja na propulziju ratnih površinskih brodova u tropskim i suptropskim morima. Slijedi prikaz tih pokusa.

Brod "A"

Brod je podvodno pregledan 167 dana nakon potpunog zahvata održavanja podvodnog dijela u doku i iskorišćavanja u tropskom moru. Utvrđeno je da je tlačna strana krila vijka obrasla od korijena do vrha morskim žirom i algama. Slično stanje utvrđeno je i na potlačnoj strani od korijena krila do 0,6m od vrha krila. Visina obrasta varirala je od 6 do 10 mm. Čelična kupola sonara, smještena na dnu na samom pramcu, bila je slično obrasla, s visinom organizama od 10 mm. Ostali podvodni dio trupa bio je prekriven sluzi, lagano obrastao "travom" u predjelu 0,6 m od vodne linije, a 10 do 20% površine pokazivalo je početak obrastanja morskim žirom.

U takvu stanju izvedena je pokusna plovidba i izmjerena potrebna snaga za održavanje brzine od 17 čvorova. Zatim je izvršena serija pokusnih plovidbi, svaka nakon podvodnog čišćenja pojedinog dijela broda, da se utvrdi utjecaj obrastanja tog dijela na propulziju. Prvo su ljudi--žabe očistili vijak strugaljkama od pleksiglasa i potrošili na to 5,5 čovjek-sati. Zatim je očišćena kupola sonara za 6 čovjek-sati, potom prva trećina trupa za 8 čovjek-sati, i konačno ostale dvije trećine trupa za 20 čovjek-sati. Učinak tih postupnih parcijalnih podvodnih čišćenja prikazan je na slici 58. s obzirom na početnu pokusnu plovidbu s obraslim trupom i vijkom i konačnu pokusnu plovidbu s podvodno potpuno očišćenim trupom i vijkom.

Rezultati izraženi u postotku ukupnog smanjenja potrebne snage postignutoga čišćenjem cjelokupnog trupa i vijka, izgledali bi ovako: čišćenje prve trećine trupa - 13%; čišćenje kupole sonara - 25%; čišćenje preostale 2/3 trupa - 30%; čišćenje brodskog vijka (bez brušenja i poliranja!) - 32%.

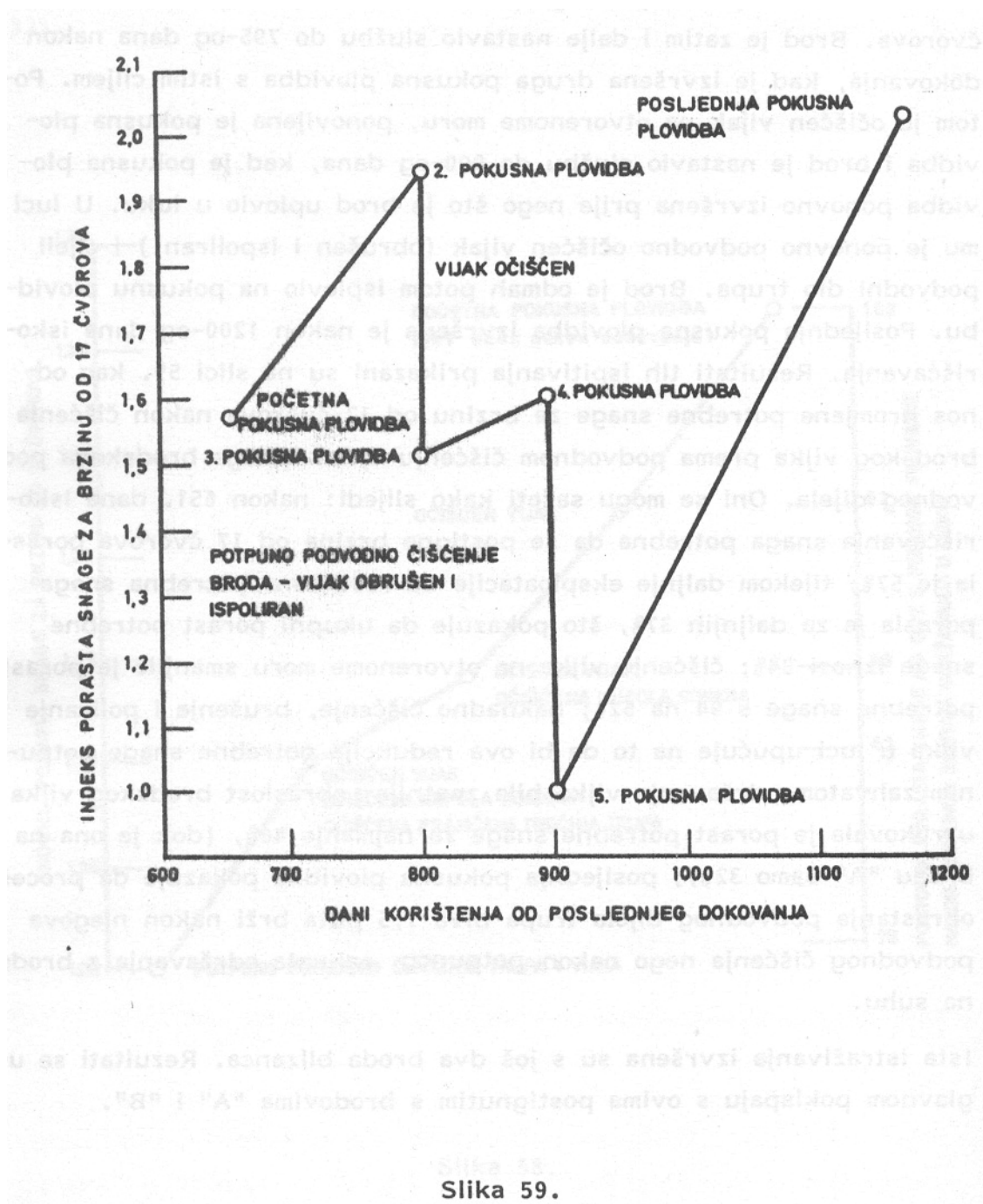


Slika 58.

Brod "B" (blizanac brodu "A")

Prva pokusna plovidba izvršena je s obraslim trupom i vijkom 651 dan nakon potpunog zahvata održavanja u doku i iskorišćavanja u suptropskim morima. Izmjerena je snaga potrebna da se postigne brzina od 17 čvorova. Brod je zatim i dalje nastavio službu do 795-og dana nakon dokovanja, kad je izvršena druga pokusna plovidba s istim ciljem. Potom je očišćen vijak na otvorenome moru, ponovljena je pokusna plovidba i brod je nastavio službu do 900-og dana, kad je pokusna plovidba ponovno izvršena prije nego što je brod uplovio u luku. U luci mu je ponovno podvodno očišćen vijak (obrušen i ispoliran!) i cijeli podvodni dio trupa. Brod je odmah potom isplovio na pokusnu plovidbu. Posljednja pokusna plovidba izvršena je nakon 1200-og dana iskorišćavanja. Rezultati tih ispitivanja prikazani su na slici 59. kao odnos promjene potrebne snage za brzinu od 17 čvorova nakon čišćenja brodskog vijka prema podvodnom čišćenju cjelokupnoga brodskoga podvodnog dijela. Oni se mogu sažeti kako slijedi: nakon 651. dana iskorišćavanja snaga potrebna da se postigne brzina od 17 čvorova porasla je 57%; tijekom daljnje eksploatacije do 795. dana potrebna snaga porasla je za daljnjih 37%, što pokazuje da ukupni porast potrebne snage iznosi 94%; čišćenje vijka na otvorenome moru smanjilo je porast potrebne snage s 94 na 52%; naknadno čišćenje, brušenje i poliranje vijka u luci upućuje na to da bi ova redukcija potrebne snage potpunim zahvatom održavanja vijka bila znatnija; obraslost brodskog vijka uzrokovala je porast potrebne snage za najmanje 46%, (dok je ona na brodu "A" samo 32%); posljednja pokusna plovidba pokazuje da proces obrastanja podvodnog dijela trupa biva 1,5 puta brži nakon njegova podvodnog čišćenja nego nakon potpunog zahvata održavanja s brodom na suhu.

Ista istraživanja izvršena su s još dva broda blizanca. Rezultati se uglavnom poklapaju s ovima postignutim s brodovima "A" i "B".



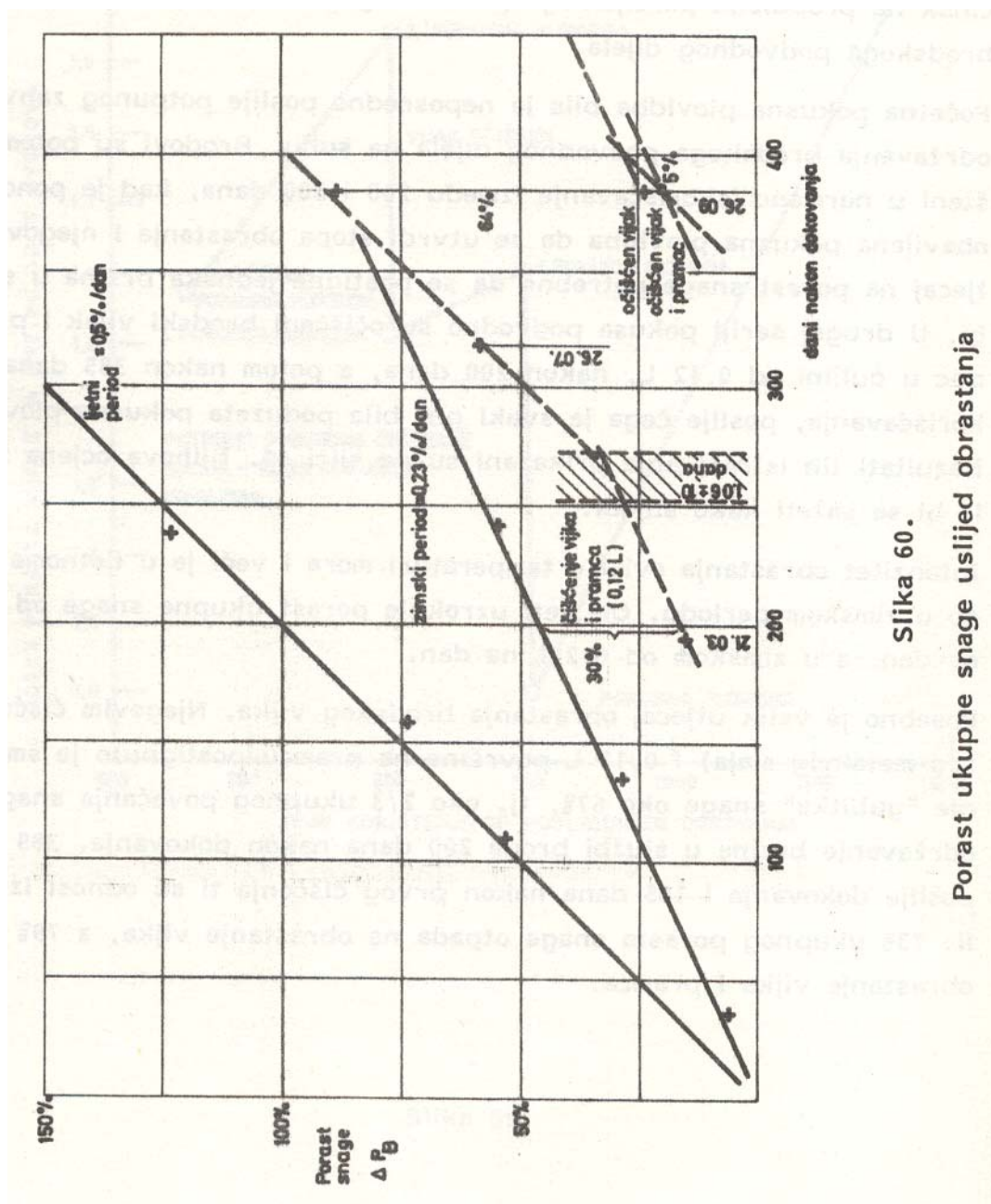
Slika 59.

I Brodarski institut iz Zagreba obavio je slična ispitivanja za Jadransko more s četiri manja broda približno jednake istisnine. Na svim tim brodovima antikorozivna i biocidna zaštita provedena je na jednak način, s istim katran-epoksidnim i klor-kaučuk-prevlakama. Cilj je istraživanju bio da se utvrdi intenzitet procesa obrastanja u Jadranskom moru, napose u zimskom (temperatura mora manja od 15 C) i napose u ljetnom periodu (temperatura mora viša od 20°C), te da se ustanovi učinak na propulziju parcijalnoga podvodnog čišćenja pojedinih površina brodskoga podvodnog dijela.

Početna pokusna plovidba bila je neposredno poslije potpunog zahvata održavanja brodskoga podvodnog dijela na suhu. Brodovi su potom pušteni u normano iskorišćavanje između 200 i 300 dana, kad je ponovno obavljena pokusna plovidba da se utvrdi stopa obrastanja i njegov utjecaj na porast snage potrebne da se postigne jednaka brzina u službi. U drugoj seriji pokusa podvodno su očišćeni brodski vijak i pramac u duljini od 0,12 L, nakon 200 dana, a potom nakon 385 dana iskorišćavanja, poslije čega je svaki put bila poduzeta pokusna plovidba. Rezultati tih istraživanja prikazani su na slici 60. Njihova ocjena mogla bi se sažeti kako slijedi:

Intenzitet obrastanja ovisi o temperaturi mora i veći je u ljetnome nego u zimskom periodu. On ljeti uzrokuje porast ukupne snage od 0,5% na dan, a u zimskom od 0,23% na dan.

Posebno je velik utjecaj obrastanja brodskog vijka. Njegovim čišćenjem (do metalnog sjaja) i 0,12 L površine na pramcu postignuto je smanjenje "gubitka" snage oko 67%, tj. oko 2/3 ukupnog povećanja snage za održavanje brzine u službi broda 200 dana nakon dokovanja. 385 dana poslije dokovanja i 185 dana nakon prvog čišćenja ti su odnosi iznosili: 73% ukupnog porasta snage otpada na obrastanje vijka, a 79% na obrastanje vijka i pramca.



Slika 60.

Porast ukupne snage uslijed obrastanja

Rezultati ovih i drugih istraživanja nesumnjivo potvrđuju da su s terotehnološkog gledišta potrebni podvodni zahvati održavanja na trupu i vijku tijekom iskorišćavanja broda između dokovanja.

Zahvat na trupu razumno je ograničiti na čišćenje pramčane trećine, pa čak i na samo 0,12 L. U tom je dijelu, naime, u uvjetima čiste oplave, granični sloj pretežno laminaran, a iza tog dijela postupno prelazi u turbulentan. Pojavom eksploatacijske hrapavosti zbog obrastanja on i u tome pramčanom dijelu postaje turbulentnim, što znatno povećava otpor trenja.

Zahvat podvodnog čišćenja pramčanog dijela trupa morao bi biti najmanje nakon 12 mjeseci iskorišćavanja broda, a ako je on pretežno u tropskim i suptropskim morima, i uz duža mirovanja, bit će to još i češće. Poslije prvoga podvodnog čišćenja oplave proces obrastanja ubrzava se za oko 1,5 puta, pa u skladu s tim valja skratiti i rok do idućeg zahvata.

Zahvat podvodnog čišćenja pramčanog dijela trupa mogu obaviti u luci specijalizirani ljudi-žabe sa specijalnim alatom za 2 do 3 tekuća sata. Zato on ne bi trebao nikad izazvati indirektnih troškova održavanja, a i oni direktni, u usporedbi s uštedom goriva ili s porastom brzine, veoma su mali, zapravo zanemarivi.

Zahvat održavanja brodskog vijka s brodom u moru treba s terotehnološkog stajališta raščlaniti. Obrastanje krila vijka uzrokuje toliku štetu da nema mjesta utvrđivanju bilo kakva periodiciteta u zahvatima održavanja. Teorijske analize rezultata istraživanja utjecaja obrastanja brodskog vijka dovele su do ovih zaključaka:

- potpunim obrastanjem krila smanjuje se koeficijent iskoristivosti vijka do 60%;
- povećava se koeficijent momenta do 10% i smanjuje koeficijent poriva do 20%;
- može se povećati potrebna snaga za održavanje konstantnog broja okretaja do 50%, ili uzrokovati pad brzine (pri konstantnoj snazi) do 15%.

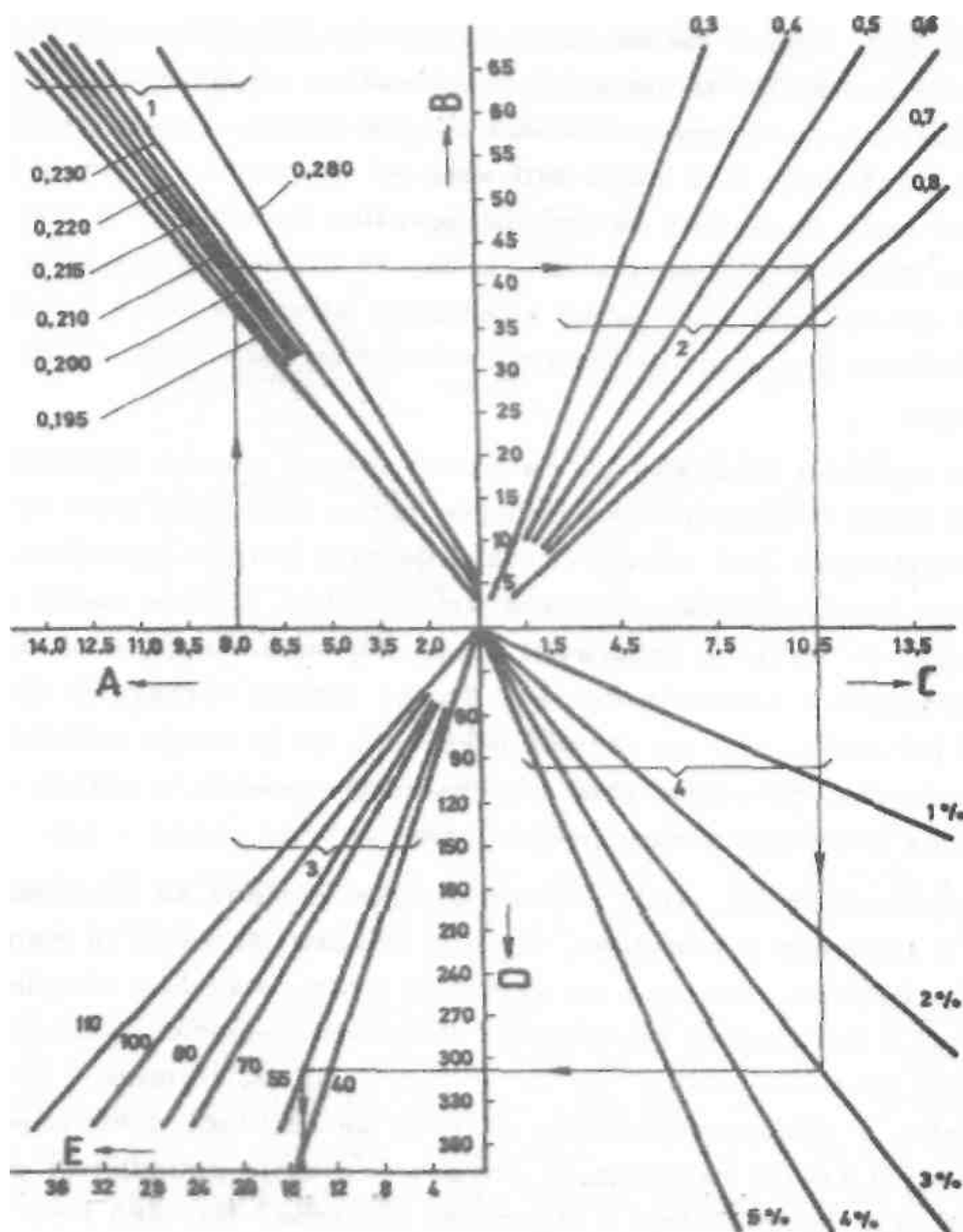
Zbog toga, svakim olakšanjem broda, kad krila vijka izrone, brodsko osoblje mora okretanjem vijka izvršiti pregled svih površina svih krila. Ako se utvrdi da je proces obrastanja započeo, valja odmah izvršiti zahvat čišćenja. Pri tome se mora istaknuti da kod trgovačkih brodova zahvat održavanja na vijku ne mora nikad biti izvršen podvodno.

Balastiranjem praznog broda može se postići takva pretega da krilo vijka izroni u cijeloj duljini. Struganje organizama s površina krila tad može obaviti i brodsko osoblje iz radnog čamca, vodeći računa o tome da se ne radi s previše oštrim strugaljkama.

Što se tiče eksploatacijske hrapavosti površina krila vijka, koja je posljedica korozije, erozije i taloženja katodnih soli, zahvat održavanja mora biti umnogome drukčiji. Hrapavost tog porijekla ne može se golim okom ocijeniti, već posebnim instrumentom. Riječ je zapravo o komparatoru s garniturom etalon-pločica, kalibriranih od $R_{ex} = 0,65$ do 30μ . Takvim instrumentom džepne izvedbe mora biti opremljen svaki brod. Preporučuje se da kvalificirano brodsko osoblje (upravitelj stroja, zapovjednik) provjeri eksploatacijsku hrapavost površine krila vijka svaka tri mjeseca. Provjera se može ograničiti na površinu u zoni $r = 0,7 - 1,0$ na tlačnoj i potlačnoj strani, te na zonu ulaznog brida u širini $b' \approx 0,15b$, a u duljini koliko dopušta gaz broda. Ako izmjerena hrapavost doseže $15 - 20 \mu$ valja odmah izvršiti zahvat brušenja i poliranja površine krila vijka.

Brušenje i poliranje krila obavlja specijalizirano osoblje. Danas još, osim u izuzetnim slučajevima, u brodskom osoblju nema za takav zahvat obučenih i izvježbanih članova. Njega obično izvode kopnene ekipe povezane redovno s proizvođačima vijaka. Zahvat na trgovačkom brodu ne radi se u pravilu podvodno, već s brodom u pretegi, tako da je cijelo krilo iznad morske razine.

Zahvat održavanja brodskog vijka (nakon što su strugaljkama odstranjeni organizmi obrasta, ako ih je bilo) obavlja se čeličnim rotacionim četkama, abrazivnim i kožnim diskovima, i to prema međunarodnim ISO-standardima. Nakon brušenja i poliranja hrapavost površine krila ne smije biti veća od tehnološke hrapavosti (vidi tablicu 16). Terotehnološki učinak zahvata održavanja prikazan je nomogramom na slici 61.



Slika 61.

Nomogram za određivanje stupnja efikasnosti zahvata na krilima broskog vijka u eksploataciji:

- 1 - specifični efektivni potrošak goriva, kg/kw sat,
- 2 - koeficijent vremena u plovidbi, 3 - cijena goriva, \$/t,
- 4 - postotak uštede goriva nakon zahvata, A - snaga porivnog sustava N_e u tisućama kw,
- B - dnevni potrošak goriva, t/dan, C - godišnji potrošak goriva, u tisućama tona, D - ušteda goriva, u tonama, E - ekonomski učinak zahvata, u tisućama \$.

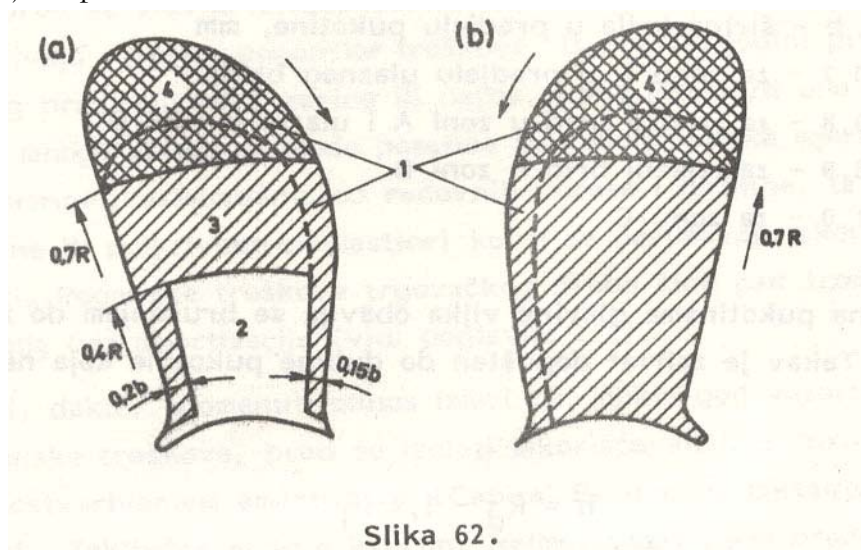
Potpuni zahvat održavanja brodskog vijka zahtijeva uglavnom od 24 do 48 čovjek-sati. Cijena mu se danas kreće oko 170 US\$ po četvornome metru površine krila. U stanovitim okolnostima on može utjecati na uporabljivost broda, odnosno izazvati njegov zastoj, a time i indirektne troškove održavanja koji mogu biti veći od direktnih. U tom slučaju zahvat se može ograničiti na obradu površine između $r = 0,7 R$ i $r = R$ na tlačnoj i potlačnoj strani krila, te ulaznog brida krila u pojasu 15% širine krila, na tlačnoj i potlačnoj strani, od $r = 0,5 R$ do $r = R$. Učinak ovakvog djelomičnog zahvata iznositi će otprilike 70% potpunoga.

Iskustva upućuju na zaključak da nakon 6 do 9 mjeseci eksploatacije površina krila brodskog vijka dosegne takvu eksploatacijsku hrapavost (bez obrastanja!) kad zahvat održavanja biva prijeko potreban. Pri planiranju terotehnološkog procesa valja, dakle, o tome voditi računa. Osim toga, ne smije se zaboraviti da je sloj metala koji se skida zahvatom brušenja i poliranja to manji što se zahvat održavanja češće izvodi. I još nešto: što su zahvati učestaliji, to je manje potrebnog rada po zahvatu, pa prema tome i potrebnog vremena, a učinak se brodskog vijka približuje onome projektiranom.

Tijekom eksploatacije, krila brodskog vijka izložena su povremenim sudarima s lebdećim predmetima, što zna dovesti do većih ili manjih deformacija bridova, posebno na vrhovima krila, a tijekom eksploatacije može doći i do lokalnih napuknuća. Prigodom periodičkih pregleda koje obavlja brodsko osoblje, te su pojave uočljive. Uglavnom se one samo bilježe, a njihovo otklanjanje ostavlja se za iduće dokovanje, svakako nisu li takvih razmjera da dovode u pitanje pouzdanost porivnog sustava, a u ovom slučaju i sigurnost plovidbe. No, ako i ne ugrožavaju pouzdanost i sigurnost, one, jednako kao i eksploatacijska hrapavost, utječu na koeficijent iskoristivosti vijka, smanjujući ga. Zato one ne smiju biti zanemarene prilikom periodičnih zahvata održavanja na vijku s brodom u moru.

Ako su deformacije bridova takve prirode da se mogu izravnati s brodom u moru, onda se to radi grijanjem plamenikom i bez udaranja. Ako to nije moguće, zahvat valja odložiti do idućeg dokovanja. Kad će to dokovanje nastupiti ovisi o utjecaju samih deformacija na koeficijent iskoristivosti vijka, odnosno o padu brzine koji će time biti izazvan (vidi poglavlje 4.3).

Što se tiče lokalnih pukotina, ta pojava za različite zone krila ima različitu težinu i zahtijeva raznovrstan pristup u otklanjanju. Zato je Kacman predložio podjelu krila vijka u nekoliko zona, kako je to prikazano na slici 62.



Zone zahvata popravka brodskog vijka: (a) - tlačna strana, (b) - potlačna strana, 1 - zona na kojoj se preporučuje zahvat brušenjem u eksploataciji, 2 - zona A, 3 - zona B, 4 - zona C

U zoni A dopušteni su zahvati na manjim defektima mehaničkim putem. U zonama B i C dopustivo je otklanjanje defekata zavarivanjem. U zoni B cjelokupna defektna površina ne smije premašiti 20% površine iste zone na jednoj strani krila, a maksimalni jedinični defekt ne smije biti veći od 10% površine zone jedne strane krila. Za zonu C nema ograničenja.

Svakoj pukotini valja istražiti duljinu propagacije i dubinu. Pukotine dubina kojih ne premašuje 2% debljine krila, u potpunosti se uklanjaju brušenjem. Ako su one dublje, treba na svakom kraju izbušiti rupu (crack-arrestor) 5 mm dublju od same pukotine. Ako pukotina prolazi kroz cijelu debljinu krila, i granične se rupe buše kroz cijelu debljinu, potom se u rupu umetne zatik i zaklepa se s obje strane.

Do izvlačenja broda na suho i konačnog zahvata, broj okretaja vijka valja smanjiti prema izrazu:

$$n_1 = nK(1 - \frac{I}{b}) \quad (80)$$

n - nominalni broj okretaja vijka, o/min

I - duljina pukotine, mm

b - širina krila u predjelu pukotine, mm

$K = 0,7$ - za zonu A u predjelu ulaznog brida

$K = 0,8$ - za izlazni brid u zoni A i ulazni u zoni B

$K = 0,9$ - za izlazni brid u zoni B

$K = 1,0$ - za zonu C

Zahvat na pukotinama glavine vijka obavlja se brušenjem do zdravog metala. Takav je zahvat dopušten do dubine pukotine koja ne premašuje:

$$h = R_d - 1,7 R_i \quad (81)$$

R_d - vanjski promjer glavine, mm

R_i - unutrašnji promjer glavine, mm

Općenito, svi defekti na vijku koji se otklanjaju brušenjem moraju se izvesti stručno, po mogućnosti brusilicama visokog broja okretaja, a prijelazi treba da budu postupni i blago zaobljeni.

Svi ostali (veći) defekti otkriveni na brodskom vijku moraju biti predmet procjene kompetentnih stručnjaka, a odluka o zahvatu ili odgodi donosi se ovisno o specifičnostima svakoga pojedinog slučaja.

8. RASPREMA I PONOVDNA PRIPREMA BRODA

8.1. UVODNA RAZMATRANJA

Načelno, brod se stavlja u raspremu kad prihodi od njegove djelatnosti ne pokrivaju njegove pogonske troškove. U pravilu jedini prihodi trgovačkog broda su od vozarine ili najma. Valja istaknuti ono "u pravilu", jer mnoge zemlje provode posebne protekcionističke mjere (subvencije, primovi, oslobađanje od redovnih poreza i dažbine, te razne druge javne ili prikrivene povlastice) kojim se narušavaju ekonomske zakonitosti. Pogonske troškove trgovačkog broda čine pak troškovi iskorišćavanja bez amortizacije (vidi poglavlje 1.2).

Postavivši, dakle, spomenuti odnos izlazi da, dokle god vozarina pokriva pogonske troškove, brod se isplati iskorišćavati bez obzira na to što se neostvarivanjem amortizacije (Capital Recovery) iskazuje zapravo gubitak. Zaključak je vrlo logičan. Naime, vezivanjem broda u takvim okolnostima ne postiže se ništa. Neaktivnošću broda amortizacija se očito nema na čemu ostvariti, tj. taj se gubitak tijekom vremena i dalje nastavlja. Iskorišćavajući, međutim, brod i u takvim okolnostima, ako ništa drugo ostaje se prisutan na tržištu, spreman za bolja vremena, a i brodsko i kopneno osoblje ostvaruje svoj osobni dohodak (koji je vozarinom pokriven).

Ova problematika, ovdje iznesena vrlo pojednostavnjeno, ne ide zapravo u područje brodske terotehnologije. Ali, valjalo ju je dotaknuti zbog terotehnologije, tj. da se ne bi u terotehnološkom pristupu problemu raspreme broda podleglo izvjesnim zabudama, što bi moglo rezultirati baš terotehnološkom pogreškom.

Svrha je terotehnologije da minimalizira ukupne troškove održavanja, koji se sastoje od direktnih i indirektnih. Pri stavljanju broda u raspremu indirektnih troškova nema, jer se zastoje zbiva namjerno, po donesenoj odluci, koja je uvjetovana ekonomskim razlozima. Direktnih troškova, međutim, ima. Brod valja pripremiti za raspremu, odžavati mu trup i sve uređaje da ne deterioriraju za cijelo vrijeme dok on leži u raspremi, (i da se ne ugrozi okoliš), te ga konačno ponovno pripremiti za iskorišćavanje. Moglo bi se zbiti da samo ti troškovi, a to nisu svi troškovi u vezi s rasprenom broda, s obzirom na vrijeme provedeno

u raspremi, ispadnu veći nego gubitak što bi ga ostvario brod da je cijelo to vrijeme ostao u eksploataciji.

Ovdje se svakako mora razlikovati "vezivanje" broda od njegove "raspreme". Vezivanje znači privremeni namjerni zastoј broda u pogonu (može i s reduciranom posadom), gdje opet indirektnih troškova nema, a oni direktni se uklapaju u normalni terotehnoški proces broda u iskorišćavanju. Rasprema, međutim, jest ostavljanje "mrtvog" broda bez pogona i praktički bez brodskog osoblja (osim stručno osposobljene nadzorne službe, što može biti i kopneno osoblje zaduženo za više brodova u raspremi). Direktni troškovi održavanja za tako ostavljen brod su veliki.

Nakon ovih obrazloženja potrebno se osvrnuti na sam početak, gdje je istaknuto da je opisani pristup raspremi broda načelan pristup. Imajući, naime, u vidu što slijedi nakon odluke o stavljanju broda u raspremu, valja se zapitati koji je taj perspektivni vremenski period preniskih vozarina za koji bi takva odluka bila valjana, tj. ekonomski opravdana? To očito nije terotehnoški problem, ali budući da je terotehnoški element jedan od članova te ekonomske jednadže, to je uviđanje cjelokupnog problema bitno potrebno i za pravilan terotehnoški pristup. Osim toga, uz troškove pripreme i održavanja broda za vrijeme raspreme, te ponovne pripreme za iskorišćavanje, valja računati i na troškove dovođenja broda na mjesto pogodno za raspremu, troškove najma raspremnog mjesta, troškove dodatne opreme za vez i sidrenje, troškove repatrijacije i ponovnog ukrcavanja posade, te na tehnološko zastarijevanje broda za trajanja raspreme. Donošenje odluke o stavljanju broda u raspremu složen je račun s neizvjesnim ishodom, i o tome terotehnoški pristup mora osobito voditi računa da ne bi upao u zamku i postao svoja vlastita suprotnost.

8.2. PRIPREMA I ODRŽAVANJE BRODA U RASPREMI

Brod u raspremi drukčiji je "organizam" od onoga u službi. Moglo bi se slikovito reći da je rasprega broda njegovo namjerno dovođenje u "latentno stanje". Poznato je da latentno stanje mogu dobro podnijeti samo sasvim zdravi organizmi. To je osnovno pravilo terotehnološkog pristupa raspremi broda. Dobro je to pravilo, međutim, prokomentirati i s praktične strane.

Brod u službi sasvim dobro funkcionira, i s izvjesnim manjim "boljkama". Tako se posljedice ponekih malih curenja medija (ulja, morske i slatke vode i si.) lako eliminiraju podloženim posudicama, ili ako dospiju u kaljuže, ispumpaju se kaljužnim pumpama preko kaljužnog pročistača. Ili, recimo, malo propuštanje balastnog tanka u prazni suhi skladišni prostor za vrijeme plovidbe u balastu neće biti akutni problem za normalno iskorišćavanje broda. Pri stavljanju u raspregu, međutim, sve su to neprihvatljivi nedostaci, koji se moraju prije otkloniti. Neki se cjevovodi, naime, mogu (moraju) isprazniti, a neki će biti pod tlakom odgovarajućeg medija, ali svi moraju biti potpuno ispravni za brzu reaktivizaciju. Brod se u raspremi redovno balastira kako bi se smanjila površina izložena vjetru i iz drugih razloga (niveliranje razine paluba ako je više brodova vezano jedan uz drugoga), pa nikakvo propuštanje balastnih tankova nije dopustivo. Sve je to, dakako, zato što brod u raspremi nema posade ni pogona. Pouzdanost njegova se svodi, dakle, na njegovu vlastitu sposobnost (vjerojatnost) da izdrži (u mirovanju), pri čemu mu ni zalihost u sustavima ničemu ne služi.

Ovo nekoliko primjera dano je (a moglo bi ih se uzeti još mnogo) da se ne upadne u zabludu kako je stavljanje broda u raspregu olakšanje za njegov terotehnološki tretman. To posebno vrijedi za tzv. teške brodove, tj. za one na kojima su češći kvarovi i zastoji. Tu perspektiva rasprega izgleda najprivlačnija. Zapravo, situacija je baš suprotna. Za takav će brod trebati izvršiti veliki (i skupi) terotehnološki napor da se on pripremi za raspregu. Ako je još i zastarjele tehnologije (što je dosta često), valja dobro promisliti nije li umjesto rasprega bolje rješenje prodaja u staro željezo. Iz toga proizlazi da se, pri produbljenoj i produljenoj depresiji (krizi) na svjetskom tržištu broskog prostora, mora razmišljati o raspremi uglavnom suvremenih brodova, jer jedino oni mogu izdržati provjeru takva postupka i s terotehnološkog i sasvim ekonomskog stajališta.

Iako nema pravila ni izričitih propisa za pripremu i održavanje broda u raspremi, ima za tu svrhu više ili manje razrađenih preporuka klasifikacijskih zavoda, koje pružaju dovoljno elemenata za terotehnoška (i ekološka i maritimna) rješenja tog problema. Zbog toga ih ovdje nije potrebno elaborirati. Ipak, dobro će biti opisati njihove osnovne obrise.

Prvo što valja poduzeti kad brod stigne na mjesto gdje će ležati u raspremi, jesu mjere sigurnosti, i to s obzirom na sam brod koji ulazi u raspremu, ali i na druge, susjedne brodove u raspremi, na okoliš i na sigurnost navigacije u tom predjelu. To znači da brod mora biti prikladno vezan (usidren), da mora imati propisna svjetla, stalnu radio-komunikaciju s kopnom, potrebnu protupožarnu opremu (sve protupožarne klapne moraju biti ispravne i podmazivane) i, ako je opremljen alarmnim sustavom za razinu vode u kaljužama i za otkrivanja požara, mora se signal prenositi na određeno mjesto na brodu (ako ima nadzornu službu na brodu) ili na kopnu.

Posebna pažnja posvećuje se antikorozijskoj zaštiti trupa, i izvana i iznutra. To najprije znači da treba antikorozijsku prevlaku cijelog trupa dovesti u ispravno stanje, a zatim ugraditi dodatnu katodnu ili anodnu zaštitu podvodnog dijela oplata.

Ako su balastni tankovi puni, oni moraju biti napunjeni do preljeva i takva se razina stalno održava. Voda u tankovima mora biti kemijski tretirana radi sprečavanja korozije ili se u nju uranja potrebna količina anoda.

Skladišta i ostali prazni prostori, uključujući balastne tankove, pumpne stanice, lokere i ostalo, moraju biti vodonepropusno zatvoreni (osim ventilacijskih vodova) i stalno prikladnim postupkom odvlaživani. Teretni tankovi tankera i sličnih brodova moraju biti potpuno očišćeni od taloga i degazirani, sa stalnom kontrolom količine plinova, ili napunjeni balastom. Tankovi goriva bit će tretirani na jednak način ili napunjeni do vrha gorivom, sa stalnom kontrolom razine u sondama.

Lančanic se mora najprije očistiti, a zatim zaštititi antikorozivnom prevlakom.

Sva palubna i općenito izložena oprema konzervira se ili nepropusno zaštićuje.

Brodovi za prijevoz plina, kemikalija i ostali slični brodovi moraju biti degazirani te stalno kontrolirani i odvlaživani.

Nastambe i ostale prostorije u kojima ima električne opreme nepropusno se zatvaraju i stalno na odgovarajući način odvlaživaju, a sanitarne će se instalacije isprazniti.

Temperatura u strojarnici mora uvijek biti viša od 0 C. Svi otvori strojarnice, osim oni za izlaz u nuždi, bit će nepropusno zatvoreni. Mora se instalirati stalni izvor snage radi kontinuiranog rada posebnog ovom prilikom ugrađenoga uređaja za odvlaživanje te za okretanje mehanizama porivnog stroja. Kontrola vlažnosti obavlja se dnevno (vlažnost se mora održavati u granicama između 30 i 45%). Opločenje dvodna i kaljuže u strojarnici mora se isprati mlazom vode, zatim isušiti i uvjeriti se da nigdje nema nikakvih propuštanja.

Svi usisni i ispušni ventili koji nisu u upotrebi za vrijeme ležanja broda u raspremi treba da budu pregledani, podmazani, zatvoreni i mehanizam za rukovanje demontiran ili zakočen. Jednako vrijedi i za ventile tankova goriva koji nisu u funkciji.

Tankovi goriva kojima se napaja izvor snage za vrijeme trajanja raspreme, a služe i za ponovnu pripremu broda za službu pune se pročišćenim (centrifugiranim) gorivom.

Ulje za podmazivanje u sustavima i skladišnim tankovima ukloni se, a oni se ponovno napune novim uljem, stabilnim i mikrobiološki nekontaminiranim.

Svi spremnici zraka, kondenzatori, zagrijači, parni, ispušni i drugi cjevovodi (osim onog što mora biti u funkciji) moraju se isprazniti, isušiti i ostaviti otvorenima. Ako u strojarnici nije instaliran posebni dodatni uređaj za odvlaživanje, onda svi spomenuti uređaji moraju biti napunjeni kemijski tretiranom slatkom vodom, s tjednom kontrolom nepropusnosti.

Kormilarski se uređaj jednom tjedno uputi i kormilo prebaci sa strane na stranu, pa potom ukoči u središnjem položaju.

Kotlovi se isperu, isuše te ili zatvore uz primjenu vrećica s desikantom ili se napune (zajedno sa zagrijačima i pregrijačima) kemijski tretiranom destiliranom vodom uz redovitu provjeru kvalitete vode.

Parno turbinsko postrojenje mora se isprazniti, isušiti, u unutrašnjost se postave električni grijači, pa se svi otvori i ventili zatvore.

Reduktor se napuni čistim uljem. Turbina i mehanizam s osovinskim nizom jednom se u tjednu pokrene za 1,25 okretaja, uz cirkulaciju ulja.

Na dizel-motornom postrojenju treba ispustiti rashladnu vodu, prostori se isperu slatkom vodom i ostave otvorenima. Uputni ventili moraju se rastaviti i konzervirati, a na ventilima goriva valja izvršiti kompletni zahvat održavanja (overhauling). Sve gole površine zaštićuju se uljem ili mašću. Porivni stroj s osovinskim nizom valja jednom tjedno pokrenuti za 1,25 okretaja, uz cirkulaciju ulja. S dizel-generatorima postupa se na slični način. Brodski vijak treba za ovu priliku zaštititi posebnom prevlakom, osobito ako je brod u tropskim vodama.

Što se tiče električnih uređaja, njih valja ili temeljito odvlaživati ili zagrijavati. To se odnosi na sve generatore, razvodne ploče, elektromotore, i uputnike, te električne uređaje za motrenje, orijentaciju i komunikaciju.

Olovni akumulatori ili moraju biti iskrcani s broda ili se stalno dopunjuju. Alkalične akumulateure valja napuniti i iskopčati.

Radari i dubinomjer moraju se uputiti jednom u mjesecu, a brodske sirene s vremena na vrijeme.

Svi doknadni dijelovi na brodu čiste se i konzerviraju.

Konačno, treba napraviti plan tekućeg održavanja i inspekcija, plan operacija s uređajima koji ostaju u pogonu, plan periodičkog pokretanja porivnog i ostalih strojeva i o svemu voditi brodski dnevnik.

Ako se želi da brod zadrži uredan klasifikacijski status, onda se mora s klasifikacijskim zavodom dogovoriti o periodičnim pregledima i provjerama koje treba da obave njegovi vještaci. Takvi pregledi i provjere u pravilu su svakih šest mjeseci, kojom prilikom vještak provjerava stanje trupa i uređaja, osobito onih u vezi sa sigurnosti, protupožarnom zaštitom, te uređaja za nuždu i uređaja za vez i sidrenje. Provjerava se također odvija li se terotehnološki proces prema utvrđenom planu.

Nakon svake takve provjere vještak izdaje izvještaj o pregledu i ističe eventualne nedostatke koje valja u preporučenom roku otkloniti. Kad su nedostaci uklonjeni, treba pozvati vještaka da se on u to uvjeri i izda dodatni izvještaj.

8.3. PONOVDNA PRIPREMA BRODA ZA SLUŽBU

Da bi se brod ponovno pripremio za službu, potreban je također poprilični terotehnološki napor, koji se zna ponekad potcijeniti. Ta priprema često se nazivlje i "dekonzervacijom" broda, što možda sugerira neki relativno lagani i jednostavni postupak. Taj se posao, međutim, zna pokazati vrlo složenim, dugotrajnim i ponekad čak skupljim od same "konzervacije".

Osnovno pravilo glasi: što je bolja priprema za raspremu broda i njegovo održavanje tijekom raspreme, to je "lakša" ponovna priprema broda za službu, odnosno manja su iznenađenja koja se mogu pojaviti. Ali, i u pretpostavci da je izvedena "savršena" priprema i da je brod tijekom raspreme "besprijekorno" održavan, ponovna će priprema broda za službu zahtijevati znatan angažman ljudi, sredstava i vremena. Zato valja ono osnovno pravilo dopuniti komentarom: ali što je bolja "konzervacija", to će biti opsežnija "dekonzervacija". To drugim riječima znači da sve ono što je radi "konzervacije" na brod ugrađeno (dodatna oprema za vez i sidrenje, za odvlaživanje, za zaštitu od korozije, za zagrijavanje, dodatni izvori energije, aplicirane posebne prevlake po površinama itd.) valja radi ponovne pripreme broda za službu s njega ukloniti, a ono sve što je bilo s broda skinuto, na njega vratiti i ponovno ugraditi.

Jednako kao i za raspremu tako i za ponovnu pripremu broda nema izričitih pravila ni propisa. Ali, brod mora biti doveden u ispravno stanje za plovidbu, za što postoje i pravila i propisi. Da bi se cijeli postupak ubrzao i izbjegla lutanja i zaboravnosti, klasifikacijski su zavodi izradili i za to korisne preporuke, koje bi bilo pravilnije nazvati uputama. Nema, dakle, potrebe da se one ovdje navode, osim u osnovnim karakterističnim crtama.

Opseg zahvata u ponovnoj pripremi broda za službu ovisi i o vremenskom trajanju raspreme. Tako će, ako je brod bio u raspremi više od godinu dana, trebati obaviti podvodni pregled uz pomoć kvalificiranoga iskusnog ronioca, da bi se utvrdilo opće stanje podvodnog dijela trupa i stanje njegove obraslosti, ali jednako tako i usisa i izljeva te brodskog vijka i šupernice osovine (vratila) vijka. Može se dogoditi da se zahvat održavanja u najbližem doku pokaže odmah neizbježnim, a ponekad se brod mora do doka čak i dotegnuti.

Sva kemijski tretirana voda u tankovima mora se ispumpati, ali ne u okolišno more, jer bi ga mogla ekološki ugroziti, već u ocean ili u tank-teglenice, ovisno o vrsti i tipu inhibitora. Svi tankovi goriva koji su ostali prazni moraju se dobro provjetriti, a zatim se uvjeriti da su bez eksplozivnih plinova. Sve serpentine za zagrijavanje goriva moraju se propuhati i zatim ispitati pod radnim tlakom. Strukturu svih prostora koji su za vrijeme raspreme ostali prazni ili napunjeni kemijski tretiranom vodom valja provjeriti zbog mogućeg oštećenja korozijom, ostrugati eventualne naslage rde i odstraniti ih.

Protupožarne instalacije inertnog plina i pjene moraju se provjeriti pokusom, a sadržaj boca s CO₂ vaganjem ili na drugi prikladni način.

Iako teretni uređaj nije potrebno testirati, on mora biti pregledan prije ponovne montaže, i zatim ispitan u radu. Otvaranje i zatvaranje poklopaca grotala također se provjerava u radu.

Prije pokretanja porivnog stroja treba preko uzorka provjeriti stanje ulja za podmazivanje u stroju, reduktoru, skladišnom tanku i statvenoj cijevi.

Destilirana i pitka voda također se provjeravaju.

Posebnu pažnju posvećuje se filtrima na sustavima koji su bili pod vodom za vrijeme raspreme, zbog mogućeg začepijivanja otpalom rđom koja može cirkulirati zajedno s medijem.

Ako su kotlovi za vrijeme raspreme održavani praznima, onda će se izvršiti vizualni pregled vodenog prostora. U svakom slučaju pregledat će se s vatrene strane, uključujući zagrijače i pregrijaje. Tlak se pare podiže postupno, provjeravajući stalno nepropusnost provlaka i prirubnica.

Reaktiviranje parnoturbinskog porivnog postrojenja zahtijeva svakako vizualni pregled lopatica, provjeru šupernica i ventila, te pregled jednoga radijalnog i jednog odzivnog ležaja.

Što se tiče reduktora, nakon rigorozne provjere stanja ulja za podmazivanje, vizualno se pregledava površina svih zuba velikog i pogonjenog zupčanika, te se otvaraju dva ležaja radi provjere stanje radnih površina. Također, valja provjeriti i obje odzivne površine (za naprijed i natrag).

Kod porivnog dizel-motora najviše se pažnje posvećuje sustavu hlađenja stapala i košuljica

zbog moguće deterioracije brtava. Pri tome treba cjelovito pregledati jedan cilindar i njegov kompletni mehanizam radi provjere stanja radnih površina. Prije upućivanja valja također obaviti potpuni zahvat održavanja na svim rasprskacima i procirkulirati cijeli sustav ubrizgavanja goriva kako bi se otklonila moguća propuštanja.

Ako pomoćni motori nisu bili povremeno u radu za vrijeme raspreme, onda na svakom treba otvoriti dva temeljna i jedan leteći ležaj radi provjere stanja radnih površina. Prije isplovljenja broda, svaki pomoćni motor mora provesti u radu barem jedan sat pod nominalnim opterećenjem.

Prije upućivanja pomoćnih parnoturbinskih strojeva provjerava se stanje ležajeva i stanje ulja za podmazivanje.

Što se tiče električne instalacije, prije stavljanja pod napon provjerava se otpor izolacije svih električnih krugova na glavnoj i pomoćnim razvodnim pločama. Ako su rezultati lošiji od onih izmjerenih prilikom pripreme broda za raspremu, mora se potražiti uzrok i otkloniti ga. Valja također provjeriti funkcioniranje svih zaštita.

Kad su sve provjere u vezu (na sidru) za ponovnu pripremu broda za službu završene, preporučuje se izvršiti kraću pokusnu plovidbu sa svim relevantnim brodskim sustavima u pogonu. Ona mora u potpunosti zadovoljiti razinu pouzdanosti (uz zahvate) za brod u službi. Ako se u to nije uspjelo osvjedočiti, neprihvatljivo je s terotehnološkog stajališta pustiti brod u eksploataciju. Drugim riječima, terotehnološki se pristup u takvu slučaju mora ograditi od eventualnih indirektnih troškova, ali mora (moći) uzeti odgovornost za direktne troškove i za pitanje sigurnosti.

Samo je po sebi jasno da pri većini ovih provjera i pokusa moraju biti prisutni vještaci klasifikacijskog zavoda i pomorskih vlasti, radi potvrde klasifikacijskog i plovidbenog statusa broda.

9. TEROTEHNOLOŠKI PRISTUP PROJEKTNOM ZAHTJEVU

Projektni zahtjev je začetak broda. Kao što su već začetkom nepromjenljivo određene sve odlike budućeg organizma, tako su i projektnim zahtjevom predodređena sva bitna obilježja budućeg broda. Po njemu on biva "bolji" ili "lošiji".

Kod trgovačkog broda bolji znači da može bolje privređivati od onoga koji to može lošije. Drugih distinkcija nema. Sve drugo, kao što je bolja ili lošija pomorstvenost, upravljivost, veća ili manja pouzdanost, uporabljivost, veći ili manji skladišni prostori i si., svodi se na isto. Sve se to odražava na bolju ili lošiju sposobnost privređivanja.

Imajući to u vidu, svaka parcijalna optimalizacija projekta koja ne vodi računa o cjelini, može dovesti čak i do "lošijeg" broda. Takve pogreške poznate su pod nazivom "podoptimalizacija" (suboptimalization).

Pri izradi projektnog zahtjeva terotehnološki pristup mora imati ravnopravan položaj s ostalima. On je, međutim, često nedovoljno izražen, a ponekad i potpuno zanemaren. To apsolutno sigurno ne pridonosi optimalizaciji projekta u njezinu punom smislu, kako je to prije označeno. Zato tom pitanju valja posvetiti punu pažnju.

Terotehnološki pristup projektnom zahtjevu mora započeti od definiranja uvjeta iskorišćavanja broda, a oni opet ovise o izboru tržišta brodskog prostora, koji onda određuju veličinu (kapacitet) broda, snagu i elastičnost porivnog stroja i dr. Inače, terotehnološki pristup često izravno zadire i u ostala područja optimalizacije projekta i o njima ovisi. Zato ga je teško i promatrati izolirano.

U terotehnološkom pristupu projektnom zahtjevu mora biti obuhvaćeno cjelokupno znanje i iskustvo o terotehnološkom procesu na brodu. To znači da se ono mora primijeniti na mnoge elemente s pomoću kojih se osniva (projektira) brod. Tako je pri razmatranjima o utjecaju eksploatacijske hrapavosti brodskog trupa i krila brodskog vijka na propulziju, ustanovljeno da izbor materijala vijka spada i u domenu terotehnologije, jednako kao i izbor antikorozijskih i biocidnih prevlaka trupa. Takvih bi se primjera moglo nanizati mnogo. Zapravo i nema područja u osnivanju broda koje ne zadire, manje ili više, u sferu brodске terotehnologije. Očito je, dakle, da se svi ti primjeri ne dadu u ovakvu općenitom izlaganju elaborirati. To je, međutim, zadatak osoblja koje sudjeluje

u oblikovanju projektnog zahtjeva, a koje mora imati potrebno terotehnoško znanje i iskustvo.

Razglabajući načelno o terotehnoškom pristupu projektnom zahtjevu, mogu se izdvojiti tri osnovne varijable, koje su uvijek u međusobnoj ovisnosti: pouzdanost uređaja, zalihost u sustavima i brojnost brodskog osoblja. Da bi se valjano ocijenili ti međusobni utjecaji, valja za ovu svrhu i same pojmove posebno elaborirati.

Pod pouzdanošću se razumijeva "čista" pouzdanost (dakle, ne pouzdanost uz zahvate), i to svakoga pojedinog uređaja, bilo da je sam ili čini komponentu u zalihosti sustava. Pouzdanost uređaja je to veća što je manji indeks kvarova (λ). i. što je veći prosječni interval planiranog zahvata (m_p). Proizvođači za svoje proizvode rijetko indiciraju indeks kvarova odnosno prosječno vrijeme između kvarova (m ili MTBF). Zato u tom pogledu treba posegnuti za (vlastitim) iskustvom. (Npr. za sporokretne brodske motore $\lambda = 0,0001$, a za srednjokretne $\lambda \cong 0,0005$, uz deklarirani prosječni interval između servisiranja, tj. m_p). Redovno se, međutim, naznačuje prosječni interval između servisiranja koji obično biva prihvaćen u terotehnoškom procesu kao prosječni interval planiranog zahvata (m_p).

Zalihost u sustavima izravno utječe na pouzdanost uz zahvate. Za određeni sustav kojeg komponente imaju određeni indeks kvarova (λ) i prosječni interval planiranog zahvata (m_p), pouzdanost uz zahvate je veća što je veća i zalihost.

Brojnost brodskog osoblja ovisi o prosječnom intervalu planiranog zahvata (m_p) i o prosječnom radu planiranog zahvata (Φ_p). Što je " m_p " veće, a " Φ_p " manje, to je potrebno manje osoblja na brodu. U tretiranju ovog problema ne smije se, međutim, pristupiti kao i kod proračuna jednadžbe moći održavanja (45). Jednadžba moći održavanja služi, naime, za optimalizaciju broja brodskog osoblja postojećeg broda i za eventualnu usporedbu povoljnosti toga konkretnog broda s ostalima. U pristupu projektnom zahtjevu ne mogu se, zato, uzeti u račun svi uređaji, već samo po jedna komponenta u sustavima sa zalihosti. Njezine, naime, karakteristike (m_p i Φ_p) jedino utječu na brojnost osoblja, jer se dodavanjem ostalih u sustav zahvati razmjerno prorjeđuju.

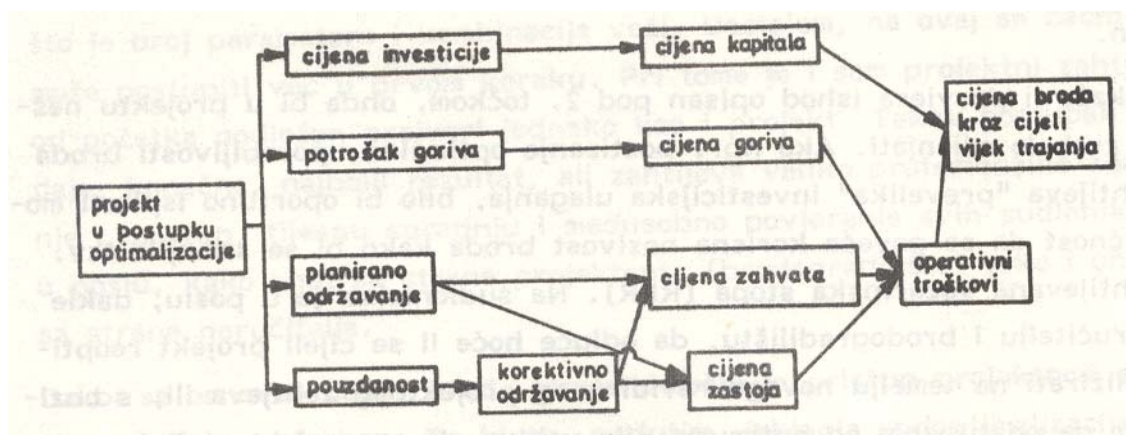
Pouzdanost, zalihost i brojnost brodskog osoblja tvore, konačno, elemente od kojih ovisi uporabljivost broda. Kombinacijom tih elemenata trebalo bi postići da uporabljivost bude

maksimalna. A ona uvijek teži jedinici, odnosno 100%-tnosti. Variranjem intenziteta pojedinih elemenata varira i cijena koja se plaća da bi se ostvario željeni cilj. Minimalna cijena za maksimalnu uporabljivost to je ono što u terotehnološkom pristupu projektnom zahtjevu treba nastojati postići.

Intenzitet pojedinih elemenata uporabljivosti u procesu optimalizacije mora se opet izraziti cijenom kao konačnim parametrom koji takvu optimalizaciju čini mogućom. Zato valja najprije utvrditi kako variranje intenziteta utječe na cijenu.

Veća pouzdanost uređaja redovito znači i veću njegovu cijenu. Što je veća pouzdanost (znači i cijena) pojedinog uređaja, to je za postizanje odgovarajuće pouzdanosti uz zahvate potrebna manja zalihost u sustavima. Manja zalihost u sustavima znači manju vrijednost investicije i manju amortizaciju. Manji prosječni interval planiranog zahvata (m_p) znači veću potrebnu brojnost brodskog osoblja. Veći prosječni rad planiranog zahvata (Φ_p) znači to isto. Uređaj koji ima relativno veliki prosječni interval planiranog zahvata (m_p) redovito je skuplji; ako, osim toga, ima i relativno mali prosječni rad planiranog zahvata (Φ_p), on će biti još skuplji. Jeftiniji uređaji smanjuju vrijednost investicije (i amortizaciju), ali redovito zahtijevaju veći broj brodskog osoblja i podižu troškove doknadnih dijelova. Veći broj brodskog osoblja zahtijeva veće nastambe i sredstva za spašavanje i preživljavanje, što sve povećava vrijednost investicije. Veća brojnost brodskog osoblja povećava sama po sebi troškove iskorišćavanja broda.

Kako god ovakva razrada projektnog zahtjeva bila temeljita i po parametrima sveobuhvatna, ona je ipak, u krajnjoj liniji, parcijalna optimalizacija projekta na terotehnološkom planu. Kao i kod svake parcijalne optimalizacije tako i kod ovakve, postoji mogućnost da ona rezultira podoptimalizacijom. Da bi se takva mogućnost eliminirala, potrebna je provjera. Postupak provjere shematski je prikazan na slici 63.



Slika 63.

Postupak provjere terotehnološke optimalizacije projektnog zahtjeva

Provjera se obavlja na projektu broda koji je izrađen na osnovi projektnog zahtjeva, variranjem pojedinih parametara, dok se ne postigne (dokaže) optimum. Budući da je riječ o novom brodu (novogradnji) koji će se prodavati, odnosno kupovati uz određenu cijenu, svi se parametri nastoje izraziti u cijeni, izbjegavajući, koliko je to moguće, kategoriju troškova.

Provjera može pokazati tri moguća ishoda:

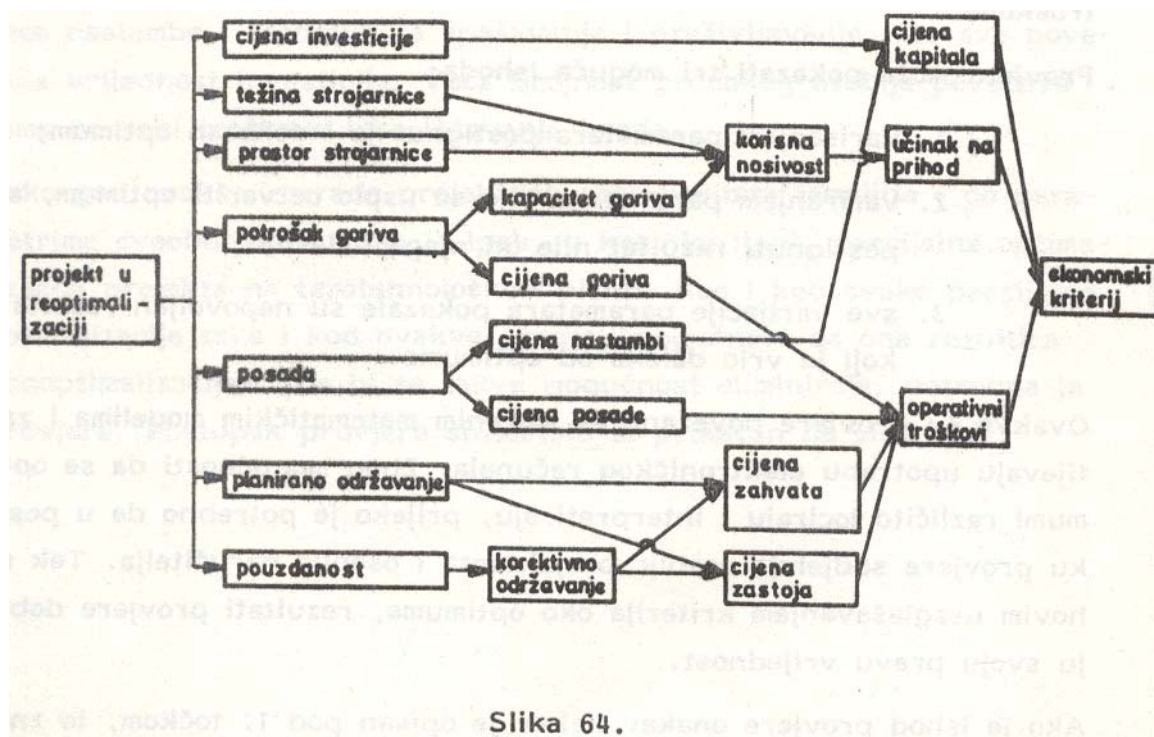
1. variranjem parametara postignut je i dokazan optimum;
2. variranjem parametara nije se uspio ostvariti optimum, ali postignuti rezultat nije od njega daleko;
3. sve varijacije parametara pokazale su nepovoljan rezultat, koji je vrlo daleko od optimuma.

Ovakve su provjere povezane sa složenim matematičkim modelima i zahtijevaju upotrebu elektroničkog računala. Zbog mogućnosti da se optimumi različito lociraju i interpretiraju, prijeko je potrebno da u postupku provjere sudjeluje osoblje projektanta i osoblje naručitelja. Tek njihovim usaglašavanjem kriterija oko optimuma, rezultati provjere dobivaju svoju pravu vrijednost.

Ako je ishod provjere onakav kakav je opisan pod 1. točkom, to znači da je terotehnološki pristup u projektnom zahtjevu bio dobro koncipiran i da je projekt broda dobro izveden. Time je ujedno i ovaj posao završen.

Pokaže li provjera ishod opisan pod 2. točkom, onda bi u projektu nešto trebalo mijenjati. Ako npr. postizanje optimalne uporabljivosti broda zahtijeva "prevelika" investicijska ulaganja, bilo bi oportuno ispitati mogućnost da se poveća korisna nosivost broda kako bi se smanjila tzv. zahtijevana vozarinska stopa (RFR). Na sudionicima je u poslu, dakle naručitelju i brodogradilištu, da odluče hoće li se cijeli projekt reoptimalizirati na temelju novoga revidiranog projektnog zahtjeva ili, s obzirom da odstupanje od optimuma nije veliko, da se projekt realizira ovakav kakav jest. Naime, imajući na umu tržišne uvjete privređivanja, izrada novog projekta može izazvati zakašnjenje, a ono cijeli pothvat može učiniti promašenim.

Dade li provjera rezultat opisan pod 3. točkom, tad je osnovna koncepcija projekta pogrešna, i takav brod nema razloga izgraditi. Projekt se, dakle, mora ili odbaciti ili, na osnovi pomno revidiranoga projektnog zahtjeva, pristupiti cjelovitoj reoptimalizaciji projekta. Postupak reoptimalizacije shematski je prikazan na slici 64.



Postupak reoptimalizacije projekta na osnovi revidiranoga projektnog zahtjeva

Provjera se izvodi na jednak način kao i u prethodnom slučaju, samo što je broj parametara i kombinacija veći. Uostalom, na ovaj se način može postupiti već u prvom koraku. Pri tome je i sam projektni zahtjev od početka podložen projveri jednako kao i projekt. Takav postupak daje, konačno, najbolji rezultat, ali zahtijeva veliko profesionalno znanje i pristup, tijesnu suradnju i međusobno povjerenje svih sudionika u poslu, kako onih sa strane projektanta (brodogradilišta) tako i onih sa strane naručitelja.

Da bi se osnovao dobar brod, terotehnološki je pristup projektnom zahtjevu prijeko potreban. Da bi se, međutim, izbjegla podoptimalizacija, on mora biti podvrgnut opisanim provjerama. Ali, nije rijetkost da terotehnološki pristup otkrije mane drugih pristupa projektnom zahtjevu, kao i nedostatke projekta koji s terotehnologijom i nemaju izravne veze.

LITERATURA - BIBLIOGRAPHY

1. Rubinić, I., EKONOMIKA BRODARSTVA,
Ekonomski fakultet. Rijeka 1976.
2. Rejec, E., TEROTEHNOLOGIJA,
"Informator", Zagreb 1974.
3. Bazovski, 1., RELIABILITY THEORY AND PRACTICE,
Prentice Hall Space Technology Series,
. New Jersey 1961
4. Calabro, S.R., RELIABILITY PRINCIPLES AND PRACTICES,
Mc Graw-hill Book Company, N.Y. 1962.
5. Vujanović, N., TEORIJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH SISTEMA,
. Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd 1987
6. Petročenko, A.F., SISTEMA OBESPEČENIJA KAČESTVA SUDOVIH
Promislov, L.A., MEHANIZMOV,
Sudostrojenje, Leningrad 1977.
7. RELIABILITY AND MAINTAINABILITY
ENGINEERING IN THE MARINE
INDUSTRY,
Technical and Research Bulletin No 32, prepared
By Panel M – 22 (Reliability and Maintainability)
of the Ship's Machinery Committee; The Society
of Naval Architects and Marine Engineers, N.Y. 1971.
8. Haueter, R.L., REPORT ON EQUIPMENT AVAILABILITY FOR
THE THIRTEEN-YEAR PERIOD, 1960 - 1972,
Edison Electric Institute
9. Kilborn, D.F., AN INTRODUCTION TO THE USE OF RELIA-
BILITY ANALYSIS IN SHIP'S
ENGINEERING SYSTEMS,
I.Mar. E. Conference, June 1971.

10. Wilkinson, H.C.,
Kilborn, D.F. THE DESIGN OF SHIP'S MACHINERY IN
STALLATION, WITH PARTICULAR
REFERENCE TO RELIABILITY,
MAINTENANCE AND COST
I.Mar. E. Conference, June 1971
11. Seriot, S., SOME THOUGHTS ABOUT MARINE AUXI-
LIARIES IN RELIABILITY AND COST, I.Mar. E.
Conference, June 1971.
12. Syassen, O., SHORE TESTING OF MARINE PLANT
WITH PARTICULAR REFERENCE TO
RELIABILITY MAINTENANCE AND COST
I.Mar. E. Conference, June 1971.
13. Bridges, D.C., THE APPLICATION OF RELIABILITY TO
THE DESIGN OF SHIP'S MACHINERY,
Trans. I. Mar. E. 1974, Vol. 86
14. U. Okada, S., FOR GENERAL PLANNING OF RELIABLE
SHIP MACHINERY PLANT,
Bulletin of the M.E.S.J., Vol. 2, No 3
15. Furuya, M., LIFE AND MAINTAINABILITY OF SYSTEMS.
Bulletin of the M.E.S.J., Vol.7, No 2, June 1979.
16. Lovrić, J., O POUZDANOSTI, RASPOLOŽIVOSTI I U-
PORABIVOSTI BRODA,
Zbornik III Simpozija "Teorija i praksa brodogradnje",
Zagreb 1978.
"Pomorski zbornik", knj. 16, Rijeka 1978.
17. Lovrić, J., SPOSOBNOST ODRŽAVANJA BRODSKIH
SUSTAVA,
Zbornik IV Simpozija "Teorija i praksa brodogradnje",
Opatija 1980.
"Pomorski zbornik", knj. 18, Rijeka 1980.

18. Lovrić, J.,
PREVENTIVA U POMORSTVU,
Zbornik "Simpozija o pomorskom osiguranju",
Dubrovnik 1981.
Časopis "Suvremeni promet", 3/1981.
Časopis "Osiguranje i privreda", 10/1981

19. McGovern, P.,
FAILURE ANALYSIS,
"Nautical Review", May 1978.

20. Batten, B.K.,
A NEW APPROACH TO SHIP'S MAINTENANCE
Trans. I. Mar. E. 1976, Vol. 88

21. Yonchara, N.,
OPERATION AND MAINTENANCE OF SHIPS
IN THE FUTURE AS PROSPECTED BY DOME-
STIC SHIPOVVERS,
Bulletin of the M.E.S.J., Vol. 1, No. 2

22. Knowles, E.C.,
PUTTING THE SHIP BACK IN CHARGE,
„Marine Week“ August, 18/25, 1978.

23. Adamović, Ž.Ž.,
Jevtić, M.S.,
PREVENTIVNO ODRŽAVANJE U MAŠINSTVU,
"Građevinska knjiga", Beograd 1988.

24. Kacman, F.M.,
EKSPLOATACIJA PROPULZIVNOGO KOM-
PLEKSA MORSKOGA SUDNA,
"Transport", Moskva 1987.

25. Tokidzo, M.,
VLI ANIE OBRASTANIJA NA SKOROST SUDNA
Per. s japansk., CNIIMF, Dalnevostočnii filial,
Vladivostok 1975. 18 s. VLI

26. Ditjatev, S.G.,
ISSLEDOVANIE IZMENENIA VINTOVOJ
HARAKTERISTIKI SUDOVOGO
MALOOBOROTNOGO DIZELJA V
EKSPLOATACIJI,
Diss. Kand. Tehn. Nauk. L.: LVIMU, 1984
S. 2-160

27. Telfer, E.v.,
ON TAKING THE ROUGH WITH THE
SMOOTH, Trans. Institute Engrs and
Shipbuilding, Scotland 1968-69 Vol. 112,
No 5,p. 1960-184.
28. Uellmen, F.,
ANALIZ ZAMEROV ŠEROHOVATOSTI
OBŠIVKI KORPUSA I GREBNIH VINTOV,
Per. s angl.Sudostroitel i sudovoi mašinostroitel,
1963, No 7, c. 5-17.
29. Gutshe, F.,
EINWIRKUNG DER RAUHIGKEIT AN
SCHIFFSSCHRAUBEN AUF
ELEISTUNGS-AUFNAHM UND
WIRKUNGS-GRAD/Schiffbauforschung,
1968, Heft 3. p. 52.
30. Lerbs, H.,
ON THE EFFECTS OF SCALE AND
ROUGHNESS ON FREE RUNNING PROPELLERS/
/Journ. Of the American Society of Naval
Engineers, vol. 63, No1 1951, p.32.
31. Patience, Ph.D.,
THE CONTRIBUTION OF THE PROPELLER
TO ENERGY CONSERVATION IN SHIP
OPERATION,
Trans. I. Mar E (C) 1982, VOL. 94, P. 29-35.
32. Hundley, L.L.,
THE EFFECTS ON THE POWERING
CHARACTERISTICS OF U.S. NAVY SURFACE
COMBATANTS.
University of Michigan
Department of Naval Architecture and Marine
Engineering, 1980.
33. Antunović, I.,
PRIKAZ UTJECAJA OBRASTANJA TRUPA I
VIJKA NA POVEĆANJE SNAGE NEOPHODNO
ZA ODRŽAVANJE STALNE BRZINE,
Brodarski institut, Zagreb 1980.
34. Lloyd's register of
shipping
RECOMMENDATION FOR THE LAYING-UP
OF SHIPS, August 1986.

- 35. Idem RECOMMENDATION FOR THE
REACTIVATION OF LAID-UP SHIPS
- 36. Bureau Veritas RECOMMENDATION FOR THE LAYING-UP
OF SHIPS, September 1985.
- 37. Lennon, J.R., RELIABILITY ANALYSIS OF SHIP SYSTEMS
DURING CONTRACT DEFINITION,
Consultec Inc., Washington 1968.

-Povezani članci-

SPOSOBNOST ODRŽAVANJA BRODSKIH SUSTAVA

Jozo Lovrić, Dipl. Ing.
"Atlantska plovidba" – Dubrovnik

Sažetak

Polazeći od osnovnih, teorijskih načela pouzdanosti referat se koncentrira na pojam sposobnosti održavanja brodskih sustava. Nakon što je iznesena njegova definicija, pojam se teorijski obrazlaže i razvija kako bi se shvatila njegova bit i pravo značenje. Utvrdivši zatim sve čimbenike koji na sposobnost održavanja utječu, od projektiranja do opsluživanja uređaja, ta se sposobnost stavlja u odnos s pouzdanošću i korištenjem broda, uz poseban osvrt na održavanje i njegovo planiranje. Na kraju ukazuje se na potrebu kvaritificiranja pokazatelja sposobnosti održavanja od strane proizvođača i brodograditelja, kao karakteristika koja su ravnopravne ostalim odredbenim karakteristikama uređaja.

MAINTAINABILITY OF SHIP'S SYSTEMS

Summary

Starting from fundamental theoretical principles of reliability, the paper concentrates on the concept of maintainability of ship's systems. After expounding its definition, the concept is theoretically explained and elaborated so that its essence and actual significance can be grasped. Spotlighting all factors affecting the maintainability, from the phase of design through to the servicing of the appliances, such maintainability is placed into relationship with the reliability and operational efficiency of the ship with special regard to maintenance and its planning. Finally, there is demonstrated the need of quantifying the indices of maintainability by manufacturers and shipbuilders as features on an equal footing in significance with the other determining data of the appliances.

* Zbornik IV. Simpozija "Teorija i praksa brodogradnje", Opatija

Uz pojam pouzdanosti (R) i raspoloživosti (A) usko je povezen i pojam "sposobnosti održavanja sustava". Ovaj (novi) pojam označit ćemo simbolom "O".

Ima više definicija ovog pojma koje sve znače uglavnom isto, no to govore na različit, poneke i teže razumljiv način. Prihvatit ćemo, stoga, definiciju koja se čini najprikladnijom i najlakše razumljivom i koja glasi:

Sposobnost održavanja je vjerojatnost da će neki sustav na kojem se vrši zahvat održavanja biti kroz određeno vrijeme ponovo uspostavljen u radno stanje.

Ovdje je važno naglasiti da se ova definicija odnosi na svaki zahvat održavanja a ne samo na popravke.

Isto kao što je to pouzdanost tako je i sposobnost održavanja vjerojatnost osnovana na statistici. Razlika je, međutim, u tome što sposobnost održavanja, izražava vjerojatnost povratka nekog sustava u puno radno stanje unutar određenog vremena kad ovaj zakaže ili se na njemu poduzme preventivni zahvat održavanja, dok pouzdanost izražava vjerojatnost da taj sustav neće u radu zakazati kroz određeno vrijeme.

Korisno je ovdje prisjetiti se eksponencijalnog izraza
za pouzdanost :

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

i za nepouzdanost :

$$Q = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

gdje je " λ " indeks kvarova, a njegova recipročna vrijednost $1/\lambda = "$ m "prosječno vrijeme između kvarova, dok vrijeme " t " teče od početka vremenskog intervala, za koji se želi pouzdanost izračunati.

Sposobnost održavanja može se općenito podijeliti u dvije kategorije, jednu koja se odnosi na preventivno održavanje, i drugu koja se odnosi na korektivno održavanje.

Znamo da je svrha preventivnog održavanja da preduhitri pojavu kvarova; takvo je održavanje u najvećem dijelu unaprijed planirano. S druge pak strane zahvati korektivnog održavanja poduzimaju se samo kad se pokažu neophodnim, tj. zbog nastalog kvara.

Obje ove kategorije održavanja rezultiraju, međutim, istom posljedicom: zastojem sustava. U slučaju planiranog, tj. preventivnog održavanja taj se zastoj zove planirani prekid rada, dok se u slučaju korektivnog, tj. neplaniranog održavanja naziva neplaniranim ili neočekivanim prekidom rada.

Evidentirajući svaki zastoj u radu sustava, bez obzira da li je on posljedica zahvata preventivnog ili korektivnog održavanja, možemo lako izračunati dva za sposobnost održavanja važna pokazatelja: indeks zahvata " μ " i prosječno vrijeme zahvata " φ ".

Indeks zahvata " μ " predstavlja ukupan broj zahvata održavanja podijeljen s ukupnim trajanjem zahvata u satima

$$\mu = \frac{\text{ukupan broj zahvata održavanja}}{\text{ukupno trajanje zahvata održavanja (u satima)}} \quad (3)$$

Prosječno vrijeme zahvata " μ " je recipročna vrijednost indeksa zahvata odnosno ukupno vrijeme trajanja zahvata u satima podijeljeno s ukupnim brojem zahvata. Možemo dakle pisati:

$$\mu = \frac{1}{\varphi} \quad (4)$$

Za razliku od pouzdanosti koja je veća što je manji indeks kvarova " λ ", odnosno što je prosječno vrijeme između kvarova " m " veće, sposobnost održavanja je veća kad je indeks zahvata " μ " veći, a prosječno vrijeme zahvata " φ " manje.

Sposobnost održavanja ovisi o mnogim čimbenicima. Oni se mogu svrstati u dvije glavne skupine: u one koji proizlaze iz svojstava projekta i u one koji su povezani s opsluživanjem. Projektom su određene složenost, preglednost i razmještenost, te zamjenjivost i kompatibilnost njegovih komponenata.

Što se tiče čimbenika vezanih uz opsluživanje oni se općenito odnose na ljude koji se sustavom u pogonu bave. To su uglavnom iskustvo, vještina i znanje osoblja koje sustav održava, te metoda održavanja i njene logističke podrške.

Analiza navedenih čimbenika omogućuje donekle predviđanja na polju sposobnosti održavanja. No, kako je većina ovih čimbenika neopipljiva, njihova veličina teško da se može, barem za sada, numerički izraziti. Stoga je često nemoguće odrediti važnost njihova utjecaja na sposobnost održavanja. Tako će npr. biti vrlo teško objektivno i kvantitativno procijeniti utjecaj iskustva i uvježbanosti zaduženog osoblja na sposobnost održavanja. Da bi se to postiglo valjalo bi to osoblje podvrći dugotrajnom pokusnom radu, ili bi ga valjalo slijediti u redovnom radu uz pomoć posebno koncipiranih izvještaja koje bi ono ispunjalo i dostavljalo, pa bi se analizom tih podataka došlo do kvantificirajućih rezultata. Zbog toga dobar projekt mora voditi računa o ovim elementima i nastojati sustav učiniti što manje ovisnim o njima.

Važan čimbenik sposobnosti održavanja je pristupačnost. Dobra pristupačnost pretpostavlja izravan pristup komponenti, bez potrebe rasklapanja i uklanjanja onih komponenata koje su joj susjedne. Svi smo se imali prilike susresti s problemom izmjene svjeće na automobilskom motoru, koja je duboko uvučena u poklopac cilindra i nakoso, pa je za to potreban specijalno izveden zglobovi alat i prava profesionalna vještina. A za upravljačem takvih automobila u najvećem broju slučajeva sjede vozači - amateri, i svjećica zna zakazati usred vožnje, možda i u nekoj pustari. To je primjer pogrešnog pristupa pri projektiranju, koji ukazuje na to da projektant nije vodio računa o sposobnosti održavanja uređaja.

Kod brodskih sustava dobra pristupačnost je upravo nužnost ako se želi smanjiti vrijeme potrebno za održavanje i povećati raspoloživost. Prilikom projektiranja sustava valja, dakle, imati pred očima cjelokupni slijed operacija koje izmjena neke komponente zahtjeva. Pri tom ne valja svu pažnju usredotočiti samo na bitne i glomazne dijelove uređaja. Jer vrlo često, zbog nezgodno postavljenog vijka, jedna matica zna zadati više brige nego li i najglomazniji dio.

Ne smije se također zaboraviti na konfiguraciju sustava koja mora omogućiti dobru preglednost i vidljivost. Mnogo puta je pristupačnost komponente sasvim odgovarajuća, no njena je identifikacija moguća samo napipavanjem, a zahvat na njoj se mora vršiti "naslijepo", tj. bez pristupa pogledom. Takva situacija otežava održavanje i produžuje potrebno vrijeme zahvata.

Za održavanje svakog sustava s predviđenim radnim vijekom dužim od korisnog vijeka trajanja komponenata zamijenljivost komponenata je "coditio sine qua non". To načelo u trenutku isporuke poštuju i projektanti i proizvođači. Problemi nastaju tek kasnije, kad se na tržište izbacuju novi tipovi istog uređaja. Tada se često zanemari izrada doknadnih dijelova za stariji tip, iako ovaj nije još ni izdaleka dostigao svoju tehnološku zastarjelost. Kod izbora uređaja valja, dakle, voditi računa o toj činjenici, i odlučiti se na onaj za koji proizvođač u kupoprodajnom ugovoru garantira raspoloživost doknadnih dijelova za željeni period vremena.

Međuzamjenljivost komponenata može uvelike ubrzati zahvat održavanja i time povećati sposobnost održavanja sustava. To praktično znači da, ako u sustavu ima više komponenata koje vrše istu funkciju, njihova geometrijsko - mehanička izvedba mora biti identična, kako bi se svaka mogla ugraditi na svako mjesto. Na taj način se pojednostavljuje evidencija uskladištenja doknadnih dijelova i smanjuje njihov potreban broj, dok se izmjena komponente vrši uvijek istim operacijama što poboljšava uvježbanost osoblja i ubrzava postupak.

Sposobnost, stručnost i uvježbanost osoblja su bitni elementi održavanja, najvećim dijelom neovisni o značajkama sustava. Sva tri su podjednako važna. Npr. sposobno i školovano osoblje, no nedovoljno uvježbano i na uređaj nepriviknuto, produžit će sigurno potrebno vrijeme zahvata, a možda, zbog eventualne nespretnosti pri ugradnji nove komponente, povećati izgleda za kvar i time smanjiti i pouzdanost sustava.

Kod održavanja brodskih sustava, prihvativši kao razumljiv i nužan uvjet sposobnost, stručnost i općenitu uvježbanost osoblja, ostaje problem nepriviknutosti, koji je, uslijed čestih izmjena posada i trenda daljnjeg skraćivanja boravka na brodu, permanentan. On se do izvjesne mjere može ublažiti posebnim sredstvima i metodama.

Iz dosadašnjeg razmatranja očito je da sposobnost održavanja zavisi o mnogim čimbenicima. K tome ona ovisi i o primijenjenim metodama koje su opet različite. Kod malih uređaja moglo bi se na. pr. pokazati svrsishodnijim, u smislu i vremena i troškova zahvata, zamijeniti cijeli uređaj umjesto ga popravljati. U tom slučaju zamjena umjesto popravka predstavlja princip primijenjene metode održavanja. Ovakav princip zahtjeva pravovremenu opskrbu novom jedinicom, što opet sa svoje strane traži, da bi cijeli postupak bio probitačan kako je zamišljen, dovoljno točno prognoziranje učestalosti kvarova.

Postaje, dakle, više nego jasno da održavanje nije isključivo vezano za popravke; zato je, pri razmatranjima sposobnosti održavanja sustava, primijenjen pojam "zahvata održavanja". Jer zahvat održavanja ne bi, u stvari, trebao ni biti usmjeren na otklanjanje kvara, već na osiguranje kontinuiranog rada sustava.

Posebno poglavlje u sposobnosti održavanja predstavljaju dvostruki brodski sustavi. Ako je dvostruki sustav izveden tako da ispravna komponenta ostaje u radu dok se komponenta u kvaru odnosno u zastoju obnavlja ili popravlja, tj.

kad se rad sustava ne mora prekidati zbog zahvata održavanja na komponenti u kvaru - pouzdanost sustava ,je potpuno nezavisna o satima rada sustava "t". Uzmimo da' je za zamjenu komponente u kvaru potrebno kratko vrijeme " τ ". Dok druga komponenta nastavlja svoj rad, dvostruki sustav može zakazati samo ako u tijeku rada na zamjeni komponente u kvaru za kratko vrijeme " τ " zataji i ova druga komponenta. Vjerojatnost da se ovo dogodi iznosi

$$Q_{(\tau)} = 1 - e^{-\lambda\tau} \quad (5)$$

Ako " τ " postane beskonačno malo, tj. ako se zamjena izvrši trenutačno, ovaj izraz postaje jednak nuli, što znači da sustav neće nikad zakazati.

Iako nije realno pretpostavljati da će vrijeme potrebno za zamjenu biti ikad jednako nuli, ono se ipak može učiniti relativno kratkim. Pouzdanost ovakvog dvostrukog sustava ovisi tada o tome koliki su izgledi da druga komponenta neće zatajiti kroz vrijeme " τ ", mjereno od trenutka kvara jedne komponente pa do završetka njene izmjene ili popravka:

$$R(\tau) = e^{-\lambda\tau} \quad (6)$$

Tako je pouzdanost sustava postala nezavisna o satima njegova rada i zavisi samo o kratkom vremenu " τ " potrebnom za zamjenu ili popravak komponente.

Sada kad smo označili vrijeme " τ " kao vrijeme u

satima potrebno za izvršenje zahvata održavanja, dotakli smo se i trećeg parametra o kojemu ovisi sposobnost održavanja sustava.

Jednadžba sposobnosti održavanja može se izraziti

$$O = 1 - e^{-\mu\tau} \quad (7)$$

gdje " μ " označava "indeks zahvata"

ili ako se " μ " zamijeni sa " $1/\varphi$ ", tj. "prosječnim vremenom zahvata"

$$O = 1 - e^{-\tau/\varphi} \quad (8)$$

Drugi član desne strane jednadžbe predstavlja zapravo vjerojatnost neuspjeha, tj. vjerojatnost da zahvat održavanja neće biti izveden unutar vremena " τ "; stoga izraz $1 - e^{-\mu\tau}$ predstavlja vjerojatnost da će zahvat biti završen za to vrijeme.

Vrijeme " τ " naziva se još i vremenskim ograničenjem zahvata. Vrijednost vremena " τ " često se unaprijed zadaje kao zahtjev za pojedinu misiju. U stvari rečeno jednostavno to je maksimalno dopušteno vrijeme kroz koje treba kvar otkloniti, ili maksimalno dozvoljeno vrijeme popravka.

Ako neki sustav ima indeks kvarova " λ ", onda će očekivani broj kvarova u vremenu " t " iznositi: " λt ". Kod zadanog vremenskog ograničenja zahvata " τ ", broj kvarova za koje se može očekivati da kroz isto to vrijeme budu otklonjeni iznosio bi

$$O_f = \lambda t (1 - e^{-\mu\tau}) \quad (9)$$

Što se više bude moglo otkloniti kvarova odnosno što se više bude moglo izvršiti zahvata održavanja u promatranom vremenu " t ", to će veća biti sposobnost održavanja sustava. Također, što je manje prosječno vrijeme zahvata " φ " sposobnost održavanja je veća.

Razmotrimo sada slijedeći primjer sustava na kojemu su u radu prikupljeni podaci o pouzdanosti, i koji su uneseni u donju tablicu

(1) Učestalost zbivanja	(2) Trajanje svakog zahvata održavanja u satima	(3) Umnožak (2) x (1)
2	1	2
4	2	8
7	3	21
13	4	52
16	5	80
16	6	96
24	7	168
10	8	80
6	9	54
4	10	40
3	11	33
1	12	12
106	78	646

Prosječno vrijeme zahvata iznosi

$$\varphi = \frac{646}{106} = 6,09 \text{ sati}$$

a indeks zahvata

$$\mu = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{6,09} = 0,162 \text{ zahvata na sat}$$

Ograničimo vrijeme zahvata " τ " prvo na jedan, pa na dva i deset sati, i utvrdimo sposobnost održavanja sustava za svaki od ta tri uvjeta.

$$O_{(1 \text{ h})} = 1 - e^{-0,162} = 0,15 \text{ ili } 15 \%$$

$$O_{(2 \text{ h})} = 1 - e^{-2(0,162)} = 0,28 \text{ ili } 28 \%$$

$$O_{(10 \text{ h})} = 1 - e^{-10(0,162)} = 0,80 \text{ ili } 80 \%$$

Iz ovoga se može zaključiti da za danu vrijednost " μ " sposobnost održavanja raste eksponencijalno s povećanjem maksimalno dopuštenog vremena zahvata " τ ". Ovo je sasvim logičan zaključak, jer što je veće raspoloživo vrijeme za vršenje zahvata to je veća vjerojatnost da će on biti uspješno završen. To znači da uz dovoljno vremena na raspolaganju saki sustav može biti ponovo uspostavljen u operativno stanje. Uz uvjet neograničenog vremena za popravke odnosno za zahvate održavanja ne bi trebalo ni raspravljati o sposobnosti održavanja sustava.

U praksi, međutim, svaki zahvat održavanja ima svoje negativne odraze, bilo na raspoloživost, kao kod jednostrukih sustava, bilo na pouzdanost, kao kod dvostrukih sustava. Zato svaki zahvat održavanja valja nastojati učiniti što kraćim.

U brodarstvu, međutim, propisivanje vremena " τ " ne bi bilo primjereno njegovoj specifičnoj trgovačkoj namjeni. Stoga je taj pokazatelj bolje promatrati kao minimalno potrebno vrijeme zahvata nego kao maksimalno dopušteno trajanje zahvata. Ono je dakle rezultat, a ne postavljeni uvjet. S druge strane i indeks zahvata " μ " odnosno prčeječno vrijeme zahvata " φ " ne ovisi samo o učestalosti zahvata, već i o osoblju koje je na brodu raspoloživo da takav zahvat izvrši. Ova raspoloživost osoblja razlikuje se pak osjetno od broda do broda i od situacije do situacije. Na taj način utvrđivanje sposobnosti održavanja brodskih sustava postaje krajnje fluidna materija, što ne pridonosi nimalo sustavnosti u pristupu i u kriterijima pri izradi tih sustava.

Promotrimo sada što bi se dogodilo kada bismo utvrđivanju sposobnosti održavanja pristupili na nešto drukčiji način. Neka je prosječno vrijeme zahvata " φ ", umjesto u tekućim, dano u radnim satima. Tako bi za jedan pomoćni diesel-motor od 600 KS i 750 o/min, za remont kojega je potrebno 300 radnih sati, " φ " (nazovimo ga) "prevencije" iznosio:

$$\varphi_p = 300$$

" τ " uzmimo neka je jedan dan, ali ga izrazimo u raspoloživim

radnim satima osoblja koje će zahvat izvršiti, i označimo ga s " τ' ". On hi dakle rezultirao prema dnevnoj raspoloživosti osoblja:

za brod s automatiziranim

pogonom

(bez straže u strojarnici)

3 časnika x 8 = 24

2 mehaničara x 8 = 16

1 pomoćnik x 8 = 8

ukupno dnevno 48

$$\tau'_a = 48$$

za brod s konvencionalnim

pogonom

(sa stražom u strojarnici)

3 časnika (pr.vr.) x 2 = 6

1 mehaničar x 8 = 8

1 voda stroja x 8 = 8

2 pomoćnika x 8 = 16

ukupno dnevno 38

$$\tau'_k = 38$$

Na temelju ovakvih veličina sposobnost održavanja pomoćnog motora za zahvate preventivnog (planiranog) održavanja iznosila bi, prema izrazu (8)

- za brod s -automatiziranim pogonom (bez straže u strojarnici)

$$O_a = 1 - e^{-\frac{48}{300}} = 1 - e^{-0,16} = 1 - 0,85 = 0,15$$

$$O_a = 0,15$$

- za brod s konvencionalnim pogonom (sa stražom u strojarnici)

$$O_k = 1 - e^{-\frac{38}{300}} = 1 - e^{-0,126} = 1 - 0,88 = 0,12$$

$$O_k = 0,12$$

Analizirajući ove rezultate dolazimo do zanimljivih zaključaka. Prvo: sposobnost (preventivnog) održavanja ovakvog pomoćnog motora na automatiziranom brodu veća je, uz manji broj posade i bez posezanja za prekovremenim radom, od one na konvencionalnom brodu za 25 %. I drugo: potrebno vrijeme " τ " za izvršenje ovog (preventivnog) zahvata veće je na konvencionalnom brodu za 26,3 % od onog na automatiziranom brodu.

Pomoćni motor spada u brodski energetska sustav koji po pravilu mora biti udvojen. To znači da pouzdanost ovakvog sustava, prema izrazu (6), ovisi isključivo o vremenu " τ ". Tako će ona za automatizirani brod iznositi

$$R_a(\tau) = e^{-\lambda\tau}$$

a za konvencionalni brod

$$R_k(\tau) = e^{-\lambda\tau \cdot 1,263}$$

Što je veće vrijeme " τ " povećavaju se izgledi da i drugi pomoćni motor zataji, što znači da je pouzdanost sustava manja. I obratno, što je vrijeme " τ " kraće, izgledi da i drugi pomoćni

motor zataji su manji, pa je i pouzdanost sustava veća. Dolazimo dakle do zaključka da je pouzdanost (identičnih) udvojenih sustava veća na automatiziranom brodu od one na konvencionalnom, bez obzira na prisustvo i utjecaj automata.

Neka ovakav pomoćni motor zahtjeva potpunu reviziju nakon 5000 sati rada. Nazovimo ovaj pokazatelj "prosječnim intervalom prevencije" i označimo ga s " m_p ". Predočimo sad uobičajenu brodsku konfiguraciju od tri pomoćna motora od kojih svaki zadovoljava potrebe u plovidbi. Ravnomjernim korištenjem svaki bi od njih trebao, dakle, godišnje raditi $8760/3 = 2920$ sati. No, budući da se za manipulaciju tereta koriste najmanje dva generatora, može se uzeti da će svaki pomoćni motor biti godišnje u pogonu 4000 sati. To znači da će se na njemu morati izvršiti takav preventivni zahvat održavanja $4000/5000 = 0,8$ puta godišnje. Nazovimo ovaj pokazatelj "indeksom prevencije" i označimo ga s " λ_p ". Već smo ranije potrebni broj radnih sati za isti zahvat označili kao "prosječno vrijeme zahvata prevencije" odnosno " φ_p ". Ako je " τ_p " godišnji fond radnih sati broskog osoblja za preventivno održavanje (koji je osjetno manji od umnoška 365. " τ' ", no razloge ovdje nećemo razglašati), onda bi pri osnivanju broda trebalo zadovoljiti kriterij

$$\tau_p \geq \sum \lambda_p \cdot \varphi_p \quad (10)$$

Ovo je jednadžba mogućnosti održavanja broda vlastitom posadom. Za razliku od jednadžbe sposobnosti održavanja, ona je izvan domena vjerojatnosti. Njenim uvođenjem u kriterije osnivanja projekt broda postaje ovisan i o broju i strukturi

posade, što omogućuje njegovu optimalizaciju kao redovno održavanog sustava velike uporabivosti.

I na kraju valja zaključiti da je sazrelo vrijeme da proizvođači uz ostale odredbene karakteristike svojih uređaja, kad su im već nepoznati pokazatelji pouzdanosti, počnu obvezno davati pokazatelje prevencije " m_p " i " φ_p ", kako bi se ti uređaji mogli valorizirati i sa stajališta podobnosti održavanja.

LITERATURA

- Reliability Principles and Practices - S. R. CALABRO, McGraw-Hill Book Company Inc. N. Y. 1962.
- Reliability Theory and Practice - I. BAZOVSKI, Prentice Hall, N. J. 1961.
- Technical and Research Bulletin No. 32 - Reliability and Maintainability Engineering in the Marine Industry - prepared by Panel M - 22 (Reliability and Maintainability) of the Ships' Machinery Committee; The Society of Naval Architects and Marine Engineers, N. Y. 1971.
- Quantitative Analysis of Physical Deterioration on Diesel Engine - S. HOSHINO, M. ITO, K. KUSUMOTO, The International Symposium on Marine Engineering, Tokyo '78; The Marine Engineering Society in Japan, 1978.
- O pouzdanosti, raspoloživosti i uporabivosti broda - J. LOVRIĆ; III Simpozij Teorija i praksa brodogradnje in memoriam prof. Leopold Sorka, Zagreb 1978.
- Life and Maintainability of Systems - MASAIOSRI FURUYA, Bulletin of Marine Engineering Society in Japan. vol. 7. no. 2, June 1979.

Brzina najveće dobiti (ili brzina najmanjeg gubitka)

SAŽETAK:

Kod određivanja optimalne brzine trgovačkog broda jedan je pristup pri projektiranju broda, a drugi pri njegovu korištenju. U radu se obrađuje ovaj drugi pristup i razmatra optimalna brzina broda u zavisnosti o različitim vozarinama. Izlaže se metoda njenog proračunavanja uz pomoć elektroničkog računala i daju primjeri njene ekonomske nužnosti.

Nije potrebno dokazivati da je brzina broda jedna od bitnih njegovih značajki. To je opće poznata i prihvaćena činjenica za sva prijevozna sredstva, od automobila do zrakoplova, pa tako i za ona na moru ili vodi, počevši od sportskog čamca.

Mnogo je, međutim, teže utvrditi koliko bi ta brzina morala iznositi da to prijevozno sredstvo bude »ono pravo«. Dileme počinju već kod pokušaja da se odredi što je to »ono pravo«. Kod automobila, na primjer, je li to brzina koja će mu omogućiti da put prevali u najkraćem mogućem vremenu ili ona pri kojoj će taj put prevaliti uz najmanji mogući trošak? I koji je, dakle, onda, od ta dva automobila »onaj pravi«?

Vjerojatno svaki pojedinac ima na to pitanje svoj vlastiti odgovor, koji leži negdje između, a ovisi o temperamentu, navikama, konačno o ukusu. Zato i ima toliko tipova automobila na tržištu.

Kod trgovačkog broda (jer je ovdje riječ o trgovačkim brodovima isključivo), međutim, ukus ne igra nikakvu ulogu. Već i sama ova primisao, iako negativna, izaziva podsmijeh. Brzina trgovačkog broda je jedan od osnovnih elemenata njegove ekonomske iskoristivosti. Ona je prema tome čvrsto u domenu ekonomskih zakonitosti i podložna je objektivnim kriterijima matematičke znanosti. Pa ipak, u shvaćanju pojma brzine broda postoje različitosti.

Valja najprije razlučiti dvije osnovne situacije koje bitno opredjeljuju pristup problemu brzine broda: brod u projektu i postojeći brod u korištenju.

Kod projektiranja broda, ako izuzmemo druge elemente kao manje bitne za ovo izlaganje, izabrana brzina broda određuje snagu porivnog stroja, dok kod postojećeg, dakle već izgrađenog broda, snaga instaliranog porivnog stroja nužno ograničava mogućnost variranja njegove brzine.

U ovom se radu nećemo baviti problemom izbora brzine pri projektiranju broda, koji je vrlo složen, već ćemo samo napomenuti da su u tom pristupu identificirana tri optimuma:¹

$V(r)$ — brzina najveće rentabilnosti

$V(d)$ — brzina najveće dobiti

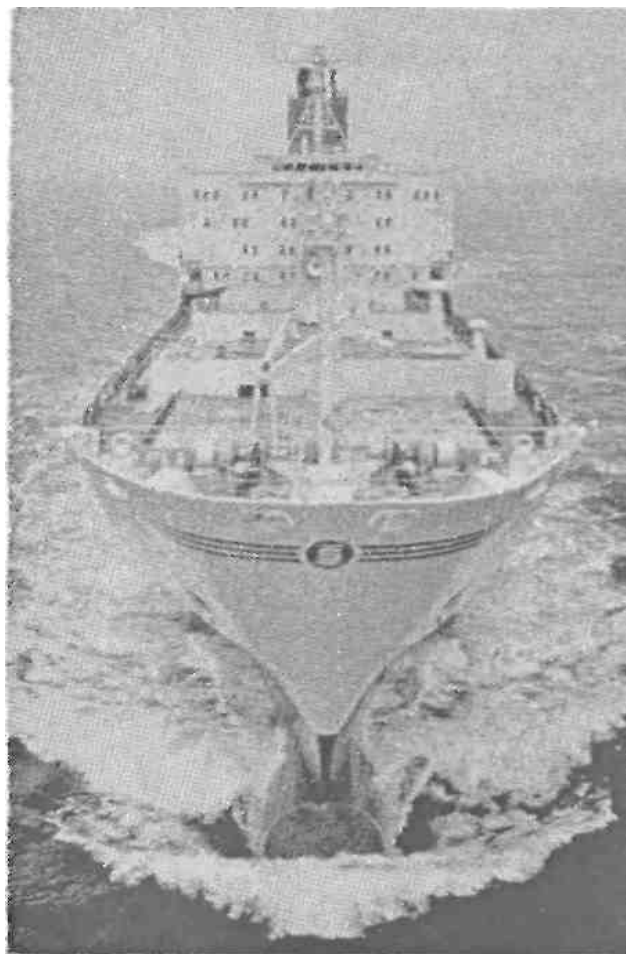
$V(e)$ — brzina najveće ekonomičnosti

Naš je cilj da u slučaju postojećeg broda utvrdimo njegovu optimalnu brzinu u zavisnosti o vozarini, količini tereta koji prevozi i o troškovima koji

pri putovanju snosi. To nas odmah oslobađa ulaženja u diskusiju da li se sve tri naprijed opisane brzine zaista pojavljuju ili ne,² jer je suglasno da je kod postojećeg broda $V(r) = V(d)$, a to je brzina najveće dobiti koja nas jedino i zanima.

Kad govorimo o brzini najveće dobiti onda pod tim pojmom podrazumijevamo brzinu kod koje će brod u danim okolnostima polučiti najbolji financijski rezultat. Znamo, međutim, iz naše svagdašnjice da najbolji financijski rezultat ne mora uvijek značiti dobitak, već počesto to može predstavljati i gubitak. Zato ovu brzinu nazivamo, osim brzinom najveće dobiti, i brzinom najmanjeg gubitka.

Kod broda u korištenju razlikujemo dvije kategorije troškova: tzv. »fiksne« i tzv. »varijabilne« troškove. Oni se obično prikazuju u dnevnim iznosima. Našem samoupravnom socijalističkom poretku primjernije je te tzv. »fiksne« troškove nazivati »dnevnom cijenom (zaustavljenog) broda«, a taj je izraz i mnogo jasniji. On ukazuje na činjenicu da brod i kad ne plovi košta. U tu cijenu koštanja spada njegova amortizacija, osiguranje, tekuće odr-



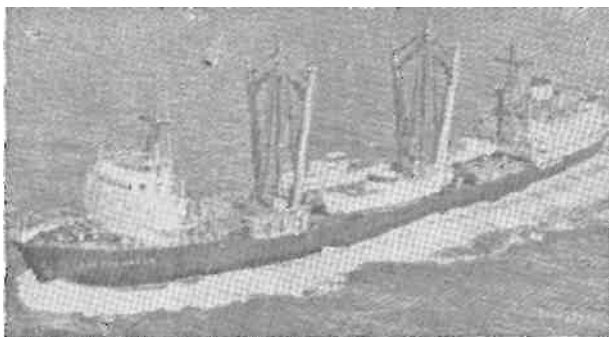
žavanje, hrana, voda i energija za život brodskog osoblja, te osobni dohoci brodskog i odgovarajućeg dijela kopnenog osoblja, i još ponešto.

»Varijabilni« se troškovi sastoje od troška za gorivo i mazivo koje je potrebno za pogon porivnog i pomoćnih strojeva, te lučkih (teglači, peljari, takse i drugo) i komercijalnih (provizije agentima i mešetarima i drugo) troškova.

Obje ove kategorije predstavljaju rashode broda. Jedine prihode broda čini vozarina za prevezeni teret. Razlika između prihoda i rashoda predstavlja dobitak (što je karakteristično za konjunktorni period), odnosno gubitak (što je karakteristično za depresivni ili krizni period). Podešavanjem brzine broda u ovisnosti o prihodima i rashodima moguće je ovu razliku optimalizirati tj. maksimalizirati dobit ili minimalizirati gubitak. Kod visokih vozarina normalna je pojava da optimalna brzina svojom veličinom prelazi mogućnosti ugrađenog porivnog stroja, pa je u takvim okolnostima računska optimalizacija brzine izlišna. Druga je stvar kad se radi o vozarinama koje jedva omogućuju dobit ili kad su ispod te razine. U tom slučaju proračun brzine najveće dobiti (ili najmanjeg gubitka) nije tako jednostavan. Zahtijeva rješavanje jednadžbi trećeg stupnja za svaki pojedini slučaj. A kad se radi o brodarskoj radnoj organizaciji čije brodovlje broji više desetaka brodova, onda takav proračun prelazi mogućnosti operatora, posebno što rezultatima mora raspolagati odmah radi promptnog reagiranja na ponude mešetara. Za tu svrhu valja potražiti pomoć elektroničkog računala i cijeli proračun pretočiti u odgovarajući program. Takav jedan program želimo ovdje prikazati u glavnim crtama.

Za svaki brod u memoriju programa se upisuju slijedeći **stalni** podaci:

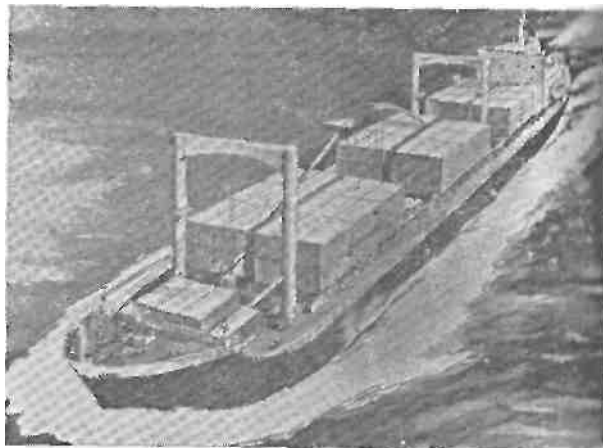
1. četiri različite brzine broda (od max. na niže; pun brod, mirno more)
2. odgovarajući poturošci teškog goriva na dan
3. odgovarajući potrošci maziva na dan
4. odgovarajući okretaji porivnog stroja
5. istisnina broda za maksimalni gaz
6. nosivost na maksimalnom gazu
7. duljina broda između okomica
8. širina broda
9. dnevna cijena (zaustavljenog) broda



Brod za prijevoz teških tereta

U trenutku primanja ponude za prijevoz, unose se slijedeći **ulazni** podaci:

1. vozarina
2. količina ukrcanog tereta
3. broj dana u luci za ukrcaj i iskrcaj
4. lučki troškovi
5. komercijalni troškovi
6. cijena teškog goriva
7. cijena lakog goriva
8. udaljenosti između luka prijevoza
9. predvidivi gubitak brzine zbog očekivanih vremenskih uvjeta i obraslosti trupa



Brod za prijevoz kontejnera

Nakon što je prihvatilo podatke, program izračunava dobit (Pr) za svaku od četiri brzine koje su u memoriji. Ako je rezultat negativnog predznaka onda to znači da se radi o gubitku.

Na ovaj način dobiju se, u koordinacijskom sustavu brzina — dobit, četiri točke kroz koje valja provući krivulju trećeg stupnja prema jednadžbi:

$$Pr = A \cdot v^3 + B \cdot v^2 + C \cdot v + D \quad (1)$$

gdje su A, B, C i D konstante.

Ovakva krivulja mora negdje imati točku svog maksimuma, čime je onda definirana brzina najveće dobiti kao i iznos te dobiti.

Maksimum se dobija derivacijom jednadžbe (1) i izjednačenjem s ničicom:

$$\frac{d Pr}{dv} = 3A \cdot v^2 + 2B \cdot v + C = 0 \quad (2)$$

iz čega se onda izračuna brzina najveće dobiti V(d).

Uvrštenjem ove vrijednosti u jednadžbu (1) dobije se iznos najveće moguće dobiti u razmatranom prijevoznom putovanju:

$$Pr(max) = A \cdot V^3(d) + B \cdot V^2(d) + C \cdot V(d) + D \quad (3)$$

Ne bi, međutim, bilo opravdano, a ni dopušteno promatrati samo jedno putovanje izolirano. Ako, na primjer, nakon tog putovanja brod neće, pretpostavimo, kroz cijelu godinu više imati zaposlenja,

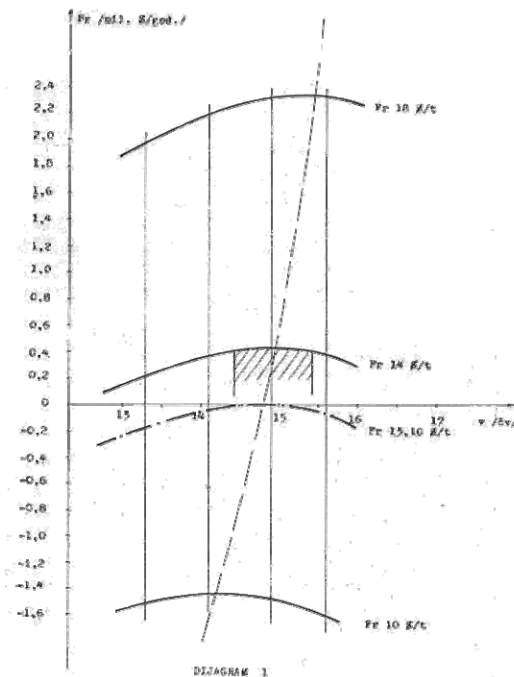
onda je prava brzina kojom valja da plovi ona najmanjeg potroška goriva, jer je ionako sve drugo poznato i fiksno, a jedino se na gorivu može nešto uštedjeti i tako smanjiti stavku rashoda. Zato program računa brzinu najviše dobiti ponavljajući isto putovanje kroz slijedećih šest mjeseci. Taj period se može po volji skratiti ili produžiti. Ova ekstraporcija i nije toliko smjela, jer oscilacije vozarina kroz ovaj relativno kratak period nisu obično takvog značaja da bi za stanje na tržištu brodskog prostora bile presudne.

Kao ilustraciju cijelog postupka navest ćemo primjer jednog broda za rasuti teret, nosivosti 70.000 TDW, na relaciji Meksički zaljev — područje Amsterdam, Rotterdam i Antwerpen; udaljenost između luka iznosi 5.100 Nm. Brod krca u Meksičkom zaljevu, i to zbog ograničenog gaza samo 55.000 tona, a povratno putovanje je u balastu. Dnevna cijena broda je 8954 US Doll, komercijalni i lučki troškovi su 85.000 US Doll po putovanju. Ukrcaj i iskrcaj traju 14 dana. Cijena teškog goriva je 165 US Doll/tona, a lakog 300 US Doll/tona.

U obradu su uzete tri vozarine (Fr): 18 US Doll/tona, 14 US Doll/tona, 10 US Doll/tona. Rezultati su prikazani u dijagramu 1. Iz dijagrama je vidljivo da, brzina najveće dobiti raste s porastom vozarine. Također je očito da će s vozarinomi od 10 US Doll/tona brod imati gubitak. Međutim, ploveći brzinom od 14,2 čvora taj će gubitak biti najmanji. Uz vozarinu od 14 US Doll/tona brod postiže dobit koja je najveća kod brzine od 15,1 čvorova. Pri vozarini od 18 US Doll/tona brod će ostvariti osjetnu dobit, koja će biti najveća uz brzinu od 15,8 čvorova.

Program također izračunava vozarinu nulte dobiti i optimalnu brzinu broda uz tu vozarinu. Vozarina nulte dobiti iznosi 13,10 US Doll/tona, a brzina 14,8 čvorova.

Za zapaziti je da se godišnja maksimalna dobit (ili minimalni gubitak) vrlo malo mijenja variranjem brzine za pola čvora više ili manje od izračunatog optimuma. To, međutim, ne znači da brzinu najveće dobiti onda ne treba ni računati, već naprotiv da je treba točno utvrditi, a ova relativna neosjetljivost na variranje od pola čvora više ili manje, koje variranje je neizbježno u uvjetima pomorske

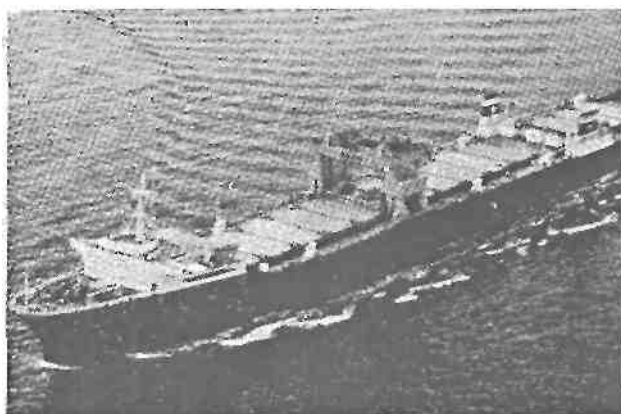


plovidbe, garantira potpuni uspjeh zamišljenog financijskog pothvata.

Završavajući ovo izlaganje valja zaključiti da je poznavanje brzine najveće dobiti za svaku zaključenu vozarinu jedan od bitnih uvjeta dobrog poslovanja u pomorskom brodarstvu.

¹ B. Bonefačić: »Utjecaj promjena varijabli u računu optimalizacije snage i brzine broda u fazi projektiranja i eksploatacije«; Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Rijeci, 3 (1980) 3, str. 215—231.

² I. Rubinić: »Ekonomika brodarstva« Ekonomski fakultet u Rijeci, 1976, str. 531.



Brod za kombinirani prijevoz tereta

IZBOR PORIVNOG STROJA I TOČKE OPTIMALIZACIJE

UDK 621.436:658.589
Izvorni znanstveni rad
Original scientific paper

Sažetak

U radu je opisana metoda izbora porivnog stroja i točke njegove optimalizacije. Sastoji se od dinamičke analize i simulacije poslovanja broda te uvjeta rada motora. Najbolji financijski rezultat, izražen internom stopom povrata, kriterij je u izboru.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Kupnja broda, poput bilo kojega drugog investicijskog projekta, treba donijeti prihvatljiv povrat uloženi sredstava, dovoljan bar da se pokrije trošak tih sredstava, odnosno trošak duga i trošak trajnog kapitala.

"U teoriji, trošak trajnog kapitala može se definirati kao minimalna stopa povrata što je poduzeće mora ostvariti na onom dijelu investicija koje se financiraju iz trajnog kapitala, a da bi tržišna vrijednost dionica ostala nepromijenjena."¹ Trošak kapitala ovisi o srednjem povratu na dionice na tržištu kapitala, te o djelatnosti kojom se poduzeće bavi.

U određenom trenutku na tržištu vrijednosnih papira karakteristična je neka srednja stopa povrata na uložena sredstva, odnosno stopa koja bi se dobila ulaganjem u diverzificirani portfolio vrijednosnih papira. Kolika je i kolika će biti ta stopa, može se znati na osnovi raznih indeksa specijaliziranih tvrtki koje se bave tim analizama i prognozama (npr. Standard & Poor indeks).

Ta srednja stopa mijenja se u vremenu ovisno o stanju na cjelokupnom tržištu. Ovisno o djelatnosti kojom se bavi pojedino poduzeće, njegova stopa povrata reagira manje ili više na te promjene.

Trošak trajnog kapitala poduzeća koje u višoj mjeri reagira na stanje na tržištu je veći. Kako neko poduzeće

reagira na cjelokupno stanje na tržištu, može se prikazati koeficijentom β .

Trošak duga ovisit će, pak, o visini i uvjetima plaćanja dobivenih kredita.

Da bi se mogla ocijeniti neka investicija, tj. izračunati stopa povrata financijskih sredstava, potrebna je prognoza financijskih lijekova, odnosno svih novčanih izdataka i primitaka vezanih za investiciju. Pritom se ne uzimaju u obzir svi knjigovodstveni troškovi broda, kao npr. amortizacija ili knjigovodstveni udio broda u zajedničkim troškovima (troškovi kopnenih službi), već se metodama interne stope povrata (IRR) i sadašnje neto vrijednosti (NPV) izračunava povrat investicije.² Pri tome, NPV daje apsolutnu vrijednost koju projekt donosi (novčani iznos), a dobiva se lako da se financijski tijekovi diskontiraju nekom prihvatljivom diskontnom stopom na razini početne godine.

IRR daje relativnu (postotnu) vrijednost koju je lakše uspoređivati s relevantnim stopama na tržištu kapitala i vrijednosnih papira. Zbog toga će se dalje upotrebljavati metoda interne stope povrata.

Tema ovog rada nije detaljna analiza tržišta brodskog prostora i svjetskog tržišta novca, te odgovarajuće sugestije glede izbora brodskog tipa i trenutka njegove kupnje, nego izbor porivnog stroja i točke u kojoj će se izabrani motor optimalizirati. Zato se u daljnjem radu neće tražiti kolika je prihvatljiva stopa povrata uloženi sredstava (IRR), već će različiti financijski rezultati (interne stope povrata) koje će dati pojedini porivni strojevi, odnosno isti porivni stroj pri različitim točkama optimalizacije, biti osnova za donošenje odgovarajuće odluke glede izbora stroja i njegove točke optimalizacije.

*Marinko Benić, dipl. inž. pomorskog prometa (diplomirao na Pomorskom fakultetu - Dubrovnik, 21. 10. 1994.); udio u radu 80%

**Prof. dr. Josip Lovrić, redoviti profesor na Pomorskom fakultetu - Dubrovnik, mentor; udio u radu 20%

2.

2. Komercijalna brzina

Promjena prihoda i troškova rezultat je promjene intenziteta iskorištavanja, odnosno najčešće promjene broja proizvedenih proizvoda. Zbog toga se, gdje je

moгуće, prihodi i rashodi, a time i profit, prikazuje kao funkcija količine proizvedenih proizvoda.

$$Pf_D(Q) = UP_D(Q) - UT_D(Q) \quad (1)$$

Pf_D - dnevni profit

UP_D - ukupni dnevni prihod

UT_D - ukupni dnevni troškovi

Q - količina proizvodnje

S obzirom na to da je proizvod brodarske firme usluga (prijevoz tereta), izraz (1) potrebno je prilagoditi i učinak (Q) izraziti kao sumu prevezenih tonskih milja³ (2tNm) tereta.

Budući da količina tereta koju brod može prevesti u jednom putovanju, jest ograničena, a logična je pretpostavka da brod neće ploviti poluprazan, jedini način na koji se može utjecati na prihode i rashode je promjena dužine putovanja, odnosno brzine broda:

$$Pf_D = f(v) = UP_D(v) - UT_D(v) \quad (2)$$

V – brzina broda

Iz toga proizlazi daje komercijalna brzina⁴ brodu ona brzina koja donosi najviši dnevni profit, odnosno razliku između dnevnih prihoda i rashoda. Ona se dobiva deriviranjem izraza (2), i izjednačavanjem s ničicom:

$$\frac{dPf_D}{dv} = \frac{dUP_D(v) - dUT_D(v)}{dv} = 0 \quad (3)$$

3. Prihodi

Ukupni dnevni prihod broda može se odrediti na osnovi visine vozarine, smanjene za neposredne troškove (provizije agentima i posrednicima i si.), te vremena potrebnoga za jedno putovanje.

$$UP_D = \frac{FR}{\frac{D}{24 \cdot v} + s} \quad (4)$$

FR - vozarina po odbitku neposrednih troškova

D - dužina relacije u miljama

v - brzina broda u čvorovima

s - broj dana u lukama (konstanta neovisna o izboru porivnog stroja)

$$\frac{D}{24 \cdot v} - \text{broj dana u plovidbi}$$

Na tržištu brodskog prostora izmjenjuju se razdoblja konjunktura i depresije, i visina se vozarine znatno

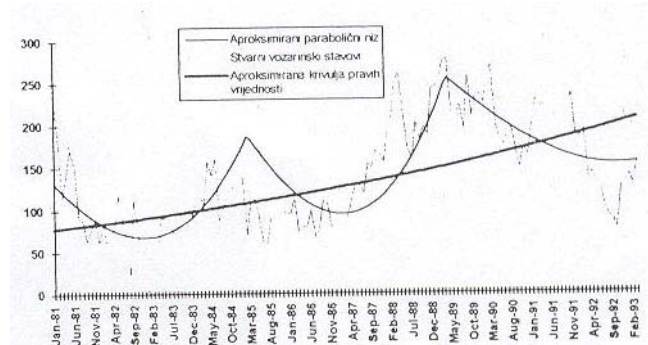
mijenja u relativno kratkim razdobljima. Iz izraza (3) vidi se da komercijalna brzina ovisi o visini prihoda, odnosno visini vozarine. To znači da pri izboru porivnog stroja i točke optimalizacije treba analizirati rad stroja (specifičnu potrošnju goriva i mogućnost vožnje komercijalnom brzinom, odnosno "elastičnost"⁵) pri različitim visinama vozarina i dodatnih otpora. Prije nego je potrebna dakle neka prognostička krivulja koja će uzimati u obzir te oscilacije vozarinskih stavova. Zato je učinjena analiza trenda vozarinskih stavova na osnovi teorije paraboličnog niza 6 za razdoblje od 12 godina po mjesečnim podacima za brodove za rasute terete veće od 85 000 dwt. Za krivulju prave vrijednosti⁷ izabrana je eksponencijalna krivulja pa je dobiven izraz iz kojeg se vidi da je aproksimiram! godišnja stopa rasta vozarinskih stavova 8,36%.

$$y = 77,5 \cdot (1,0836)^x \quad (5)$$

y - visina vozarinskog stava

x - vrijeme u godinama

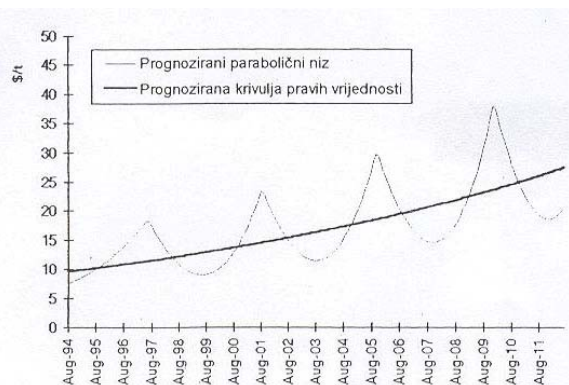
Daljnja aproksimacija dala je parabolični niz prikazan na slici (1):



Slika 1. Vozarinski stavovi od siječnja '81. do ožujka '93.; aproksimirana krivulja prave vrijednosti, i. aproksimirani parabolični niz

To omogućuje prognozu raspodjele vozarinskih stavova oko srednje vrijednosti. Pretpostavka je rast srednje vrijednosti ili prave vrijednosti vozarinskog stava eksponencijalno s nekom očekivanom stopom (npr. 6%), koja može biti jednaka inflaciji (deprecijaciji USD), ali također može biti i manja ili veća od inflacije, što označava pad ili rast realnih vozarinskih stavova. Mogu se pretpostaviti i neke promjene te stope nakon određenog vremena.

Na slici (2) dana je prognoza daljnjeg rasta vozarinskih stavova do 2010. godine.



Slika 2. Prognoza vozarinskih stavova do 2010. godine

4. Troškovi

Troškovi u ekonomiji općenito se dijele na fiksne i varijabilne. Fiksni troškovi su oni koji se ne mijenjaju bez obzira na intenzitet iskorištavanja sredstava za rad za razliku od varijabilnih troškova, koji se mijenjaju s intenzitetom iskorištavanja.

U brodarstvu se obično troškovi goriva i komercijalni iroškovi smatraju varijabilnim troškovima, a svi ostali fiksnima. Ta podjela nije u potpunosti točna jer neki od fiksnih troškova ipak ovise o intenzitetu iskorištavanja. Ipak, pri traženju komercijalne brzine ta podjela zadovoljava.

U jednadžbi profita fiksni su troškovi konstantni, a varijabilni su, poput prihoda, u funkciji brzine broda:

$$UT_D = UT_{FD} + UT_{VD}(v) \quad (6)$$

U određenom vremenskom razdoblju ni fiksni troškovi ipak nemaju konstantnu nominalnu cijenu zbog utjecaja inflacije i promjene njihove realne vrijednosti, bez obzira na to je li količina utroška fiksna ili varijabilna. Inflacija je faktor koji se u dugoročnim investicijama ne smije izuzeti iz proračuna, kako za procjenu vozarina tako i za procjenu troškova, odnosno negativnih financijskih tijekova.

$$CT = CT_0 \cdot s^x \quad (7)$$

CT - cijena koštanja jedne jedinice utroška u određenom trenutku

CT₀ - trenutna cijena koštanja jedne jedinice

s - godišnja stopa rasta

Taj izraz može se upotrijebiti i za fiksne i za varijabilne troškove jer u sebi nesadrži broj jedinica utroška. Da bi se dobila visina odgovarajućeg troška, mora se izraz pomnožiti odgovarajućim brojem jedinica utroška koji može, ali i ne mora biti u ovisnosti s intenzitetom iskorištavanja, odnosno može biti varijabilan ili fiksni.

Troškovi goriva najvažnija su stavka u strukturi troškova, i na njima se ujedno mogu ostvariti najveće uštede. U prošlosti je zbog porasla cijene goriva dotjerivanje oblika brodskog oblika trupa i vijka, i smanjenje broja okretaja korištenjem sporohodnih dizelskih motora, dovelo do znatnih redukcija u potrošnji goriva. Također se nastoje smanjiti li iroškovi upotrebom goriva slabije kvalitete i niže cijene.

Upravo zbog visokih troškova za gorivo neke alternativne vrste poriva dizelskom sporohodnom motoru (parna turbina, plinska turbina, parni stroj) izgubile su na važnosti kad su u pitanju brodovi za rasuti teret. Glavna prednost parne turbine - velika snaga u odnosu prema dimenzijama - nije bitna za te brodove jer su njihove brzine plovidbe relativno niske za razliku od brzih linijskih kontejnerskih brodova.

Razlog tim, čak i dva puta većim brzinama u brzih linijskih brodova, leži u mnogo većoj vrijednosti tereta koji brod prevozi. Budući da čitavo vrijeme dok je roba u plovidbi, ona znači "vezani" kapital za njezina vlasnika, nastaje oportunitetni trošak (nemogućnost da se kapital obrće). Veća vrijednost tereta podrazumijeva ujedno da je taj trošak veći, i potiče vlasnika vrjednijeg tereta da plaća više za kraće putovanje. Posljedica je rasi vozarina linijskim brodovima i njihove brzine. Taj utjecaj na vozarine za brodove za rasute terete je puno manji. Harry Benford proučava utjecaj tih troškova (troškovi zaliha ili "inventorv cois") na projektiranje brodova rtermina-la za rasuti teret⁸.

Utrošak goriva izravno je vezan uz razvijenu snagu porivnog stroja i zapravo je umnožak trenutne snage i specifičnog potroška goriva za lu snagu:

$$Q = 24 \cdot 10^{-6} \cdot P_B \cdot SFOC \quad (8)$$

SFOC - specifična potrošnja goriva⁹ u g/kWh

P_B - snaga stroja u kW

Q - dnevna potrošnja teškoga goriva u tonama

Snaga porivnog stroja raste približno s trećom potencijom brodske brzine. Korištenjem admiralitetske konstante — izraz (9), problem se pojednostavljuje jer je snaga porivnog stroja u admiralitetskoj formuli proporcionalna trećoj potencijom brzini broda.

$$P_B = \frac{\Delta^{2/3} \cdot v^3}{C_E} \quad (9)$$

C_E - admiralitetska konstanta

A - istisnina broda

v - brzina broda u čv

P_B - snaga stroja kV

Za kompleksnije proračune preporučuje se uporaba konstante (c) koja prikazuje promjenu efektivne snage poriva (za razliku od admiralitetske konstante kad je u pitanju kočena snaga motora) u odnosu na treću potenciju brzine i dvotrećinsku potenciju istisnine.

Promjena snage ujedno utječe na promjenu specifične potrošnje goriva (g/kWh), odnosno SFOC = f(P_B)

Ta karakteristika potrošnje ovisi o točki optimalizacije motora.

Ukupni dnevni troškovi dani su sljedećim izrazom:

$$UT_D = \frac{\frac{D}{24v} \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot SFOC p_g \cdot v^3 \cdot c'}{\frac{D}{24v} + s} + \frac{T_s}{\frac{D}{24v} + s} + UT_{FD} \quad (10)$$

p_g - cijena tone teškog goriva

$$c' = \frac{C_E}{\Delta^{2/3}}$$

s - broj dana u stajanju

T_s - troškovi stajanja (varijabilni troškovi - ovise o broju putovanja)

Uvrštavanjem izraza (10) i (4) u izraz (3) može se izračunati komercijalna brzina.

5. Dodatni otpori

Kočena snaga porivnog stroja raste ne samo s povećanjem brzine broda nego i s porastom eksploatacijske hrapavosti podvodnog dijela broskog trupa i dodatnih otpora zbog valova i vjetera.

Povećanje eksploatacijske hrapavosti ovisi o vrsti i kvaliteti prevlake, vremenu proteklomu od zadnjeg dokovanja, broju dana u luci, području plovidbe broda, te dužini vodene brodske linije, i njihova prognoza može se izračunati odgovarajućim metodama.¹⁰

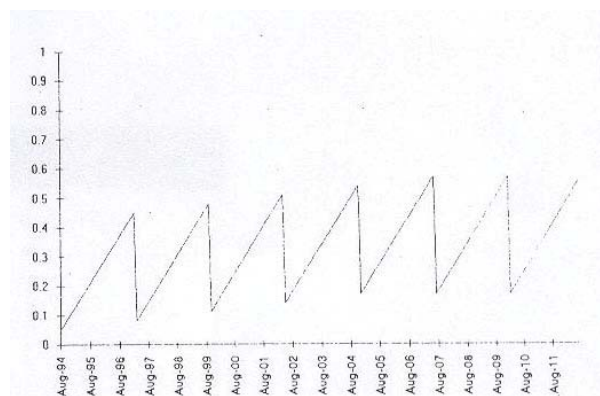
Dodatni otpori zbog vjetera i valova ovise o području plovidbe broda (za brod Argosv pretpostavljena relacija je Gulf - ARA). Na osnovi stanja mora za pojedina područja (prema statističkim podacima) može se izračunati koliko će vremena brod ploviti u određenim slanjima mora.¹¹

Proračunavaju se posebno svi smjerovi vjetera u odnosu na trup, osim za more u krmu (pretpostavka je da u tom slučaju nema smanjenja ni povećanja ukupnih otpora). Treba naglasiti da se ne bi smjelo računati s prosječkom otpora mora na određenoj relaciji, nego se za svako slanje mora (u kojem će brod ploviti određeno vrijeme) posebno računa povećanje potrebne snage.

Ovisno o visini dodatnih otpora mijenja se admiraltetska konstanta (ili konstanta©) u izrazu (10), što ujedno utječe na visinu maksimalnog dnevnog profita i brodske komercijalne brzine.

Za potrebe proračuna ukupni dodatni otpori su pojednostavljeni (slika 3.)

U ovom primjeru pretpostavka je da se koristi konvencionalnim prevlakama, što znači da su dodatni otpori u prosjeku dosta veliki, a ujedno će i plovidbena pričuva (*sea margin*) biti veća nego u uporabi samozaglađivih prevlaka.

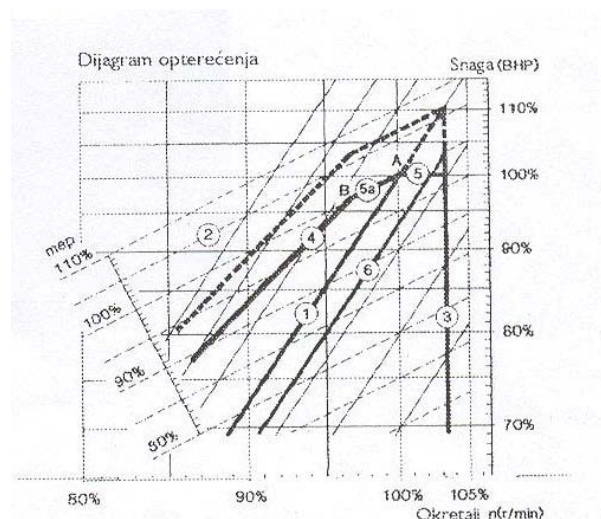


Slika 3. Prognoza koeficijenta dodatnih otpora do 2012. godine

6. Dijagram opterećenja porivnog motora

Ovaj dijagram (slika 4.) služi da se utvrde granice opterećenja za trajni rad instaliranog motora s određenim vijekom. On prikazuje snagu (kW), broj okretaja (o/min) i srednji efektivni tlak (mep) u logaritamskoj ljestvici.

Točka sa 100% snage i 100% broja okretaja jest MCR točka motora (maksimalna trajna snaga i broj okretaja). Dijagram sadrži nekoliko linija, kojih objašnjenje slijedi.



Slika 4. Dijagram opterećenja porivnog motora¹²

Linija 1 je krivulja vijka kroz točku A (MCR točka). Ta linija označava opterećenja motora na pokusnom stolu. Linije paralelne s linijom 1 krivulje su vijka za snagu koju apsorbira vijak u raznim uvjetima službe.

Linije paralelne s linijom 2 linije su konstantnoga srednjeg efektivnog tlaka.

Linija 3 označava granicu broja okretaja motora za stalnu službu. Ta je granica 103,3% (105% za novije motore) nominalnog broja okretaja, i ne smije se prekoračiti, osim na pokusnoj plovidbi, gdje se dopušta do 106% nazivnog broja okretaja.

Svaka točka na liniji 4 znači, pri određenom broju okretaja, maksimalnu snagu i maksimalni srednji efektivni tlak. To je granica preko koje dobava zraka postaje nedostatna za potpuno izgaranje (snaga raste s drugom potencijom brzine).

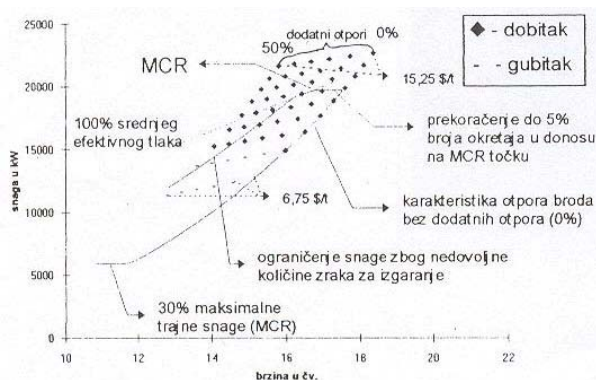
Linija 5 gornja je granica maksimalne trajne snage. Gornja granica srednjega efektivnog tlaka za stalan rad označena je linijom 5a, i znači 100%-lni srednji efektivni tlak u odnosu prema MCR. To ograničenje djeluje u rasponu od 100 do 96,7% maksimalnog broja okretaja.

Motore MAN B&W serije MC mogu zadovoljavajuće konstantno raditi na teško gorivo sve do 30% MCR, bez poduzimanja nekih posebnih mjera radi smanjenja opterećenja. To pokazuje da je "elastičnost" motoru vrlo velika.

7. Porivni četverokut

Variranjem visine vozarine i visine dodatnih otpora, te računanjem odgovarajućih komercijalnih brzina, dobiva se "porivni četverokut" (slika 5.).

U ovom slučaju vozarinski stavovi su u rasponu od 6,75 do 15,25 \$/t, a dodatni otpori od 0 i do 50%. Dijagram opterećenja definiran je odgovarajućim ograničenjima snage i broja okretaja u skladu s dijagramom



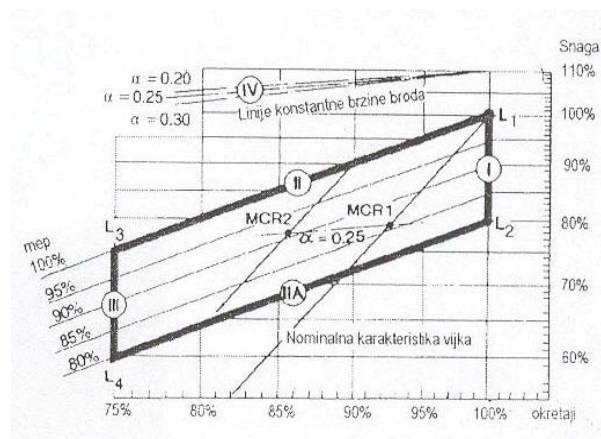
Slika 5. Porivni četverokut s ucrtanom dijagramom opterećenja za motor MAN B&W5K90MC optimiziranim pri 7820 k, W_i 83 o/min. Maksimalna trajna snaga motora je 21600 kW pri 86 o/min, što odgovara karakteristici vijka broda Argosy s 15% plovidbene pričuve.

na slici 4. (prikazanim u logaritamskoj ljestvici za razliku od njega). Promjenom snage ujedno se mijenja i specifični potrosak goriva (SFOC) motoru i on ovisi o točki u kojoj je motor optimiziran.

8. Krivulja specifične potrošnje goriva (SFOC)

Za računanje maksimalne trajne snage motoru i krivulje specifične potrošnje goriva, potrebna je karakteristika vijka, koja se dobiva ispitivanjem brodskog modela, te dijagram mogućnosti porivnog motora (lavout diagram).

Dijagram mogućnosti dijagram je snage i broja okretaja porivnog dizelskog motora (na slici 6. prikazanih u logaritamskoj ljestvici. U njemu se nalazi površina unutar koje se može izabrati bilo koja točka što će označavati maksimalnu trajnu snagu (MCR) i broj okretaja, te točka u kojoj će se optimizirati motor. Te se točke izabiru na prognoziranoj karakteristici brodskog vijka s uračunatom određenom visinom dodatnih otpora (plovidbena pričuva).



Slika 6. Dijagram mogućnosti porivnog motora¹⁴

Točka L1 predočava nominalnu maksimalnu trajnu snagu (maksimalni broj okretaja i maksimalni srednji efektivni tlak motora) za koju je motor određen, odnosno najveći mogući MCR koji se može izabrati. Iz kataloga se pronalazi vrijednost nominalne snage i broja okretaja za neki motor, i na osnovi toga vrijednosti za ostale točke (L2, L3, L4). Kroz nju prolaze linije 100%-tnoga nominalnog srednjeg efektivnog tlaka (linija 11) i 100% nominalnog broja okretaja (linija I). Točka L2 je na 80% nominalnog srednjeg efektivnog tlaka (64% za najnovije motore MAN B&W) i 100% nominalnog broja okretaja, točka L3 na 100% srednjeg efektivnog tlaka (mep) i 75%

nominalnog broja okretaja, te točka L4 na 80%- (64%) mcp i 75% broja okretaja.

Odnos snage i broja okretaja motora ovisit će o vijku i otporu, i on je definiran karakteristikom vijka. MAN B&V preporučuje izraz:

$$P_B = C \cdot n^3 \quad (11)$$

C – konstanta
n – broj okretaja

Kočena snaga motora u tom izrazu raste s trećom potencijom broja okretaja, dok u admiralijskoj formuli brzina broda raste s trećom potencijom snage. To implicira da je broj okretaja motora proporcionalan brodskoj brzini. Što nije točno zbog promjene skliza vijka pri promjeni brzine. Ipak, u malom rasponu broja okretaja ta je pretpostavka prihvatljiva.

Potrebno je naći optimalni promjer vijka jer ekonomičnost propulzije ovisi i o učinkovitosti vijka i o specifičnom potrošku goriva, koji raste s porastom srednjeg efektivnog tlaka. Za postizanje određene brodske brzine veći vijak znači manji broj okretaja, ali i veći zakretni moment, što znači da će tlakovi plinova u motoru biti veći, a time i specifični potrošak goriva. Drugim

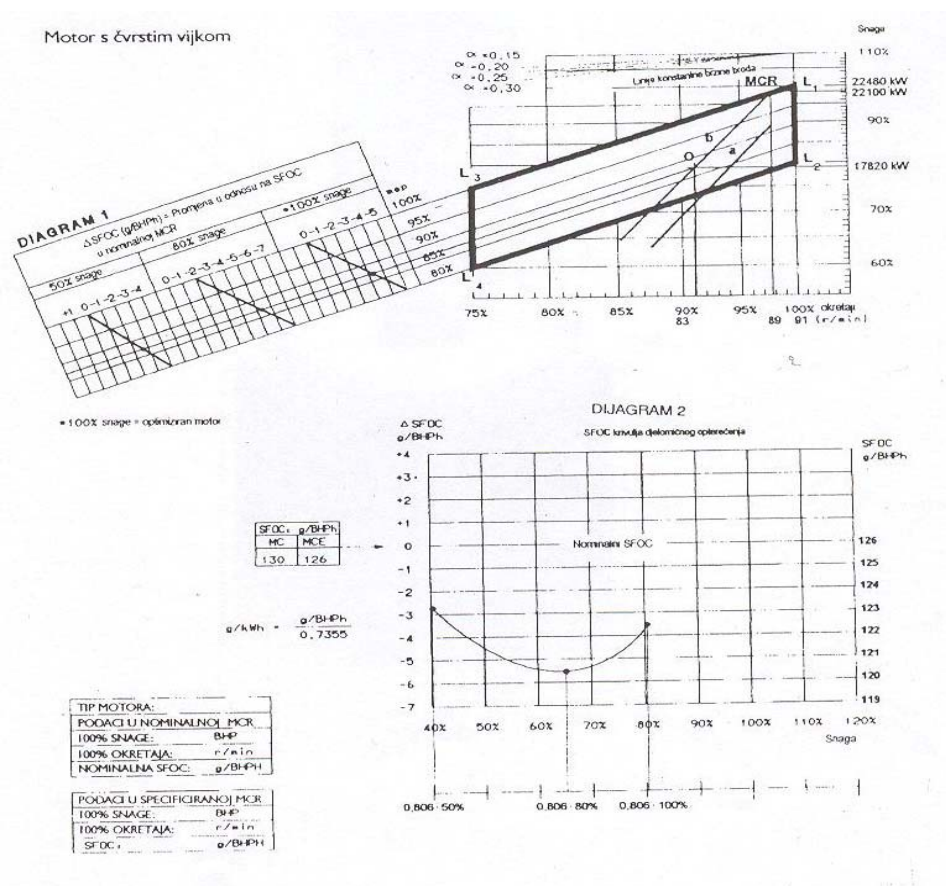
riječima, određeni će motor imati manju specifičnu potrošnju goriva s manjim vijkom.

S druge strane, učinkovitost vijka raste s njegovim promjerom. Smanjenje potrebne snage da bi brod plovio određenom brzinom veće je nego što je odgovarajuće povećanje specifičnog potroška goriva, pa se zato optimalna radna točka najčešće pronalazi u točki koja odgovara karakteristikama najvećeg mogućeg vijka koji se može postaviti na brod.¹⁵

Osim izbora maksimalne trajne snage motora (MCR) potrebno je naći i točku (O) u kojoj je najbolje izabrati motor optimizirati za najmanju specifičnu potrošnju goriva. Mijenjanje vozarina na tržištu broskog prostora i mijenjanje dodatnih otpora zahtijeva promjene brodske brzine, što znači da brod najveći dio svog životnog vijeka neće ploviti maksimalnom trajnom snagom. Stoga je logično da će točka optimalizacije motora (O) na karakteristici vijka biti niža od izabrane MCR točke.

Razlika vrijednosti snage između točke optimalizacije i točke maksimalne trajne snage, izražena u postocima, poznata je kao operativna pričuva (*operational margin*).

Maksimalna trajna snaga određenom motoru treba biti što veća jer će u pojedinim trenucima iskorištavanja



Slika 7. Određivanje specifične potrošnje goriva za motor MAN B&W 8S70MC

broda to donijeti veću dobit, a i zato što ne zahtijeva veće investicijske izdatke (cijena je motoru ista bez obzira na izabrani MCR). Zato je potrebno da maksimalna trajna snaga bude najveća moguća na karakteristici vijka i u granicama maksimalnog broja okretaja i maksimalnog srednjeg efektivnog tlaka.

Slika 7. ilustrira kako se pronalazi karakteristika potrošnje goriva za motor MAN B&W 8S70MC s pomoću dijagrama mogućnosti motora za karakteristiku vijka broda Argosv s 15% dodatnih otpora (plovidbene pričuve) i za točku optimalizacije pri 17 820 kW (točka O). Maksimalna trajna snaga je 22100 kW pri 89 o/min.

Pravac paralelan s linijom II povučen je kroz točku optimalizacije motora (O) i kroz dijagram 1. Sijkući linije dijagrama 1 on označava specifičnu potrošnju goriva pri 50, 80 i 100% snage točke optimalizacije (17 820 kW).

Interpolacijom kvadratne krivulje između te tri točke dobiva se karakteristika potrošnje goriva u odnosu prema snazi (dijagram 2.).

Pri točki optimalizacije 17 820 kW i 83 o/min (15% plovidbene pričuve) specifična potrošnja goriva za 4 motora je sljedeća:

MAN B&W 8S70MC

$$\text{SFOC} = 195,0 - 0,00454732 P_B + 1,655536 \cdot 10^{-7} P_B^2$$

MAN B&V 7L80MC

$$\text{SFOC} = 195,6 - 0,00459596 P_B + 1,669016 \cdot 10^{-7} P_B^2$$

MAN B&W 6L80MC

$$\text{SFOC} = 194,3 - 0,00385522 P_B + 1,438083 \cdot 10^{-7} P_B^2$$

MAN B&W 5K90MC

$$\text{SFOC} = 194,9 - 0,00426487 P_B + 1,574532 \cdot 10^{-7} P_B^2 \quad (12)$$

9. Plovidbena pričuva

Točka maksimalne trajne snage i broja okretaja (MCR (c točka optimalizacije porivnog motora pronalaze se na prognoziranoj karakteristici vijka (koja se dobiva ispitivanjem brodskog modela) kojoj se dodaje određeni postotak plovidbene pričuve, odnosno *sea margin* (povećanje snage zbog dodatnog otpora).

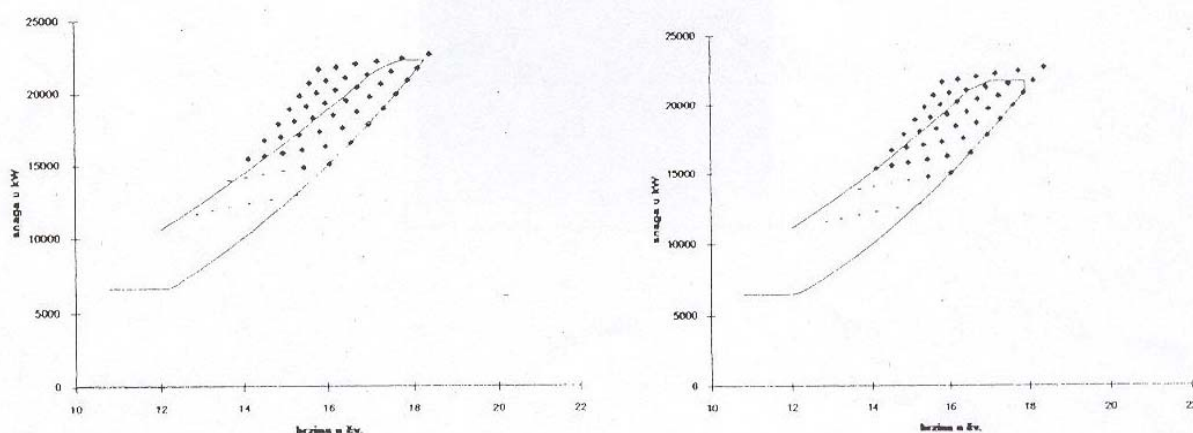
Na slici 7. prikazana je karakteristika vijka bez plovidbene pričuve (a) i karakteristika vijka s 15% plovidbene pričuve. MCR je izabran kao najveći mogući na karakteristici vijka (b). Time je izabrana najveća moguća operativna pričuva (*operativna*, *margin*) za taj motor. U tom slučaju riječ je o dosta snažnom motoru koji jako dobro pokriva porivni četverokut, ali zbog visoke cijene motora ne daje dobre ukupne financijske rezultate broda (IRR), i njegov izbor u ovom slučaju nije prihvatljiv.

MAN B&W preporučuje da se veličina plovidbene pričuve (SM) nađe kao srednja vrijednost dodatnih otpora u toku brodskog vijeka. Za brod s konvencionalnim prevlakama to bi značilo više od 25% SM, što u praksi nije uobičajeno. Za brodove za rasuti teret najčešće se izabire oko 15% SM.

Povećanje plovidbene pričuve znači pomicanje krivulje (b) ulijevo, a to znači da će maksimalno MCR koje se može izabrati biti manje nego kod manje plovidbene pričuve. To ujedno znači i manju maksimalnu brzinu broda (pri malim dodatnim otporima).

S druge strane, smanjenjem plovidbene pričuve povećati će se MCR motoru, ali u lijeku eksploatacije u uvjetima povećanih dodatnih otpora taj će motor rijetko biti u mogućnosti postići maksimalnu snagu, ali i maksimalni srednji efektivni tlak, jer turbopuhalo neće moći davati dovoljne količine zraka (dijagram opterećenja na slici 6.).

Na slici 8. prikazani su porivni četverokuti za motor MAN B&W 8S70MC pri 10 i 20% SM.



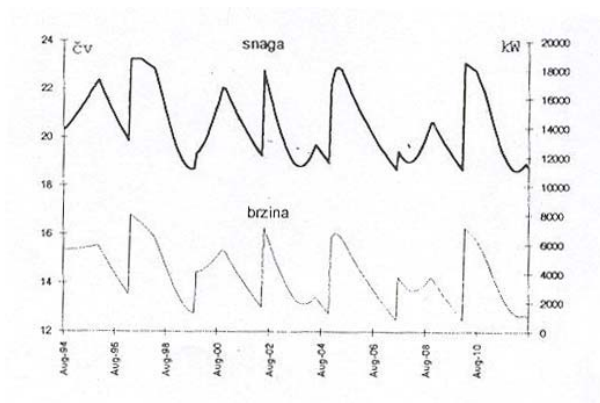
Slika 8. Porivni četverokut i dijagrami opterećenja za motor 8S70MC pri 10 i 20% SM

Osim visine plovidbene pričuve bitna je i točka optimalizacije motora u dijagramu mogućnosti porivnog motora jer ona određuje karakteristiku potrošnje goriva.

10. Izbor stroja i točke optimalizacije

Daljnji postupak sadrži simulaciju životnog broskog vijeka pri različitim visinama plovidbene pričuve i pri različitim točkama optimalizacije stroja. Računanje komercijalnih brodskih brzina, te negativnih (plaćanja) i pozitivnih (vozarina) financijskih tijekova omogućuje da se nade interna stopa povrata (IRR) investicije.

Slika 9. prikazuje kretanje brzine i kočene snage za motor MAN B&W 8S70MC (pri 15% SM) razdoblju od 18 godina. Usporedba s dodatnim otporima (slika 3.) i vozarinskim stavovima (slika 2.) objašnjava izgled tih dijagrama. Posebno je velik utjecaj dodatnih otpora.



Slika 9. Komercijalne brodske brzine i odgovarajuće snage motora u tijeku broskog životnog vijeka

Ovaj se postupak ponavlja (s različitim visinama operativne i plovidbene pričuve) sve dok se za određeni motor ne nađe točka optimalizacije s najvećom internom stopom povrata (IRR), odnosno točka optimalizacije koja će dati najveći povrat uloženi sredstava. Nakon toga se bira motor s najvećim povratom.

Od četiri testirana motora najbolje dao je motor MAN 6L80MC s 23% plovidbene pričuve i 20,5% operativne pričuve.

11. ZAKLJUČAK

Za određenu izabranu točku optimalizacije (određenu plovidbenu i operativnu pričuvu) motora, dijagram opterećenja i dijagram specifične potrošnje goriva daju karakteristike ponašanja motora u eksploataciji. Visina povrata uloženi sredstava ovisit će o uvjetima eksploatacije i o ponašanju motora u tim

uvjetima. Zbogvariranja tih uvjeta (vozarina i dodatnih otpora) potrebna je cjelokupna simulacija broskog životnog vijeka, a ne uporaba prosječnih veličina.

U gradnji broda uobičajen je izbor oko 15% plovidbene i oko 10% operativne pričuve. Te se veličine najčešće uzimaju po osjećaju, a ne na temelju detaljnih proračuna i analiza.

S druge strane, MAN B&W predlaže da veličina plovidbene pričuve odgovara veličini prosječnih dodatnih otpora u tijeku eksploatacije. U primjeru je pretpostavljena uporaba konvencionalnih prevlaka za zaštitu od obraštanja, održavanje broskog podvodnog dijela samo na suhomu, što onda rezultira prosječnim dodatnim otporima od 33%.

Izbor plovidbene pričuve i od 15% i od 33% dao je lošije financijske rezultate u odnosu prema proračunom dobivenim 23% plovidbene pričuve.

S obzirom na to da će stroj, u skladu s navedenim prognozama, uglavnom raditi pri manjim snagama od maksimalne trajne snage, najbolje je rezultate dala optimalizacija stroja s 20,5% operativne pričuve, odnosno točka optimalizacije stroja na karakteristici otpora s 23%y SM i s 20,5%! manje snage u odnosu prema maksimalnoj trajnoj snazi.

Ipak, rezultat se ne može generalizirati. Za drugi brodski tip, ili drugi motor, za druge uvjete eksploatacije, ili u slučaju samozagladivih prevlaka, mijenja se veličina plovidbene i operativne pričuve.

Može se reći da Ova metoda pruža sveobuhvatni pristup odabiru porivnog stroja i njegove točke optimalizacije, ostavljajući ga otvorenim za daljnju nadogradnju, tj. kompleksnije proračune i prognoze.

LITERATURA:

1. J.C. Horne, Financijsko upravljanje i politika (Financijski menedžment), MATE Zagreb, 1993.
2. I. Rubinić, Ekonomika brodarstva, Rijeka, 1976.
3. J. Lovrić: Osnove brodske teroleinologije, Dubrovnik. 1989.
4. Lovrić. Zbornik XI. simpozija Teorija i praksa brodogradnje, Dubrovnik, 19-21.V. 1994. Svezak I, str. 47-59., Pristup izboru porivnog motora u cilju optimalizacije iskorištavanja trgovačkog teretnog broda
5. J. Lovrić, D. Ogresta, Jedna metoda određivanja dozvoljene investicijske cijene broda, Pomorski zbornik, Rijeka, 1982, knjiga 20.
6. H. Benford, Bulk Cargo Inventory Costs and Their Effect on the Design of Ships and Terminals, Marine Technology, Vol. 18, No.4. listopad 1981.
7. A. Bosnić, M. Vukičević, Ship Design on the Basis of Calculated Service Speed
9. MAN B&W, Engine Selection Guide, 1991.
10. Project Guide, Two Stroke Engines, MC Programime 1986.
11. Skupina autora: J. Lovrić, O. Ogresta, A. Bosnić, M. Vukičević, E. Katić, G. Rukavina, A. Gamulin, M. Ljubetić, M. Hruška, V. Prezel, T. Tabain, Geneza tipa "Argosy" broda velike širine i malog gaza za rasute terete, Zbornik radova VI. simpozija "Teorija i praksa brodogradnje", Beograd 17-14. svibnja 1984, Svezak I.
12. M. Ljubetić. Otpor i propulzija broda, Dubrovnik, 1989.

BILJEŠKE

¹ J.C.Horne, Financijsko upravljanje i politika (Financijski menedžment), MATE Zagreb 1993. god., str. 243.

³ 1. Rubinić, Ekonomika brodarstva, Rijeka, 1976., str. 380.

⁴ J. Lovrić: Osnove brodske tehnologije, Dubrovnik, 1989., str. 8.

⁵ J. Lovrić, Zbornik XI. simpozija Teorija i praksa brodogradnje, Dubrovnik, 19-21.V.1994., Svezak I, str. 47-59., Pristup izboru porivnog motora u cilju optimalizacije iskorištavanja trgovačkog broda

⁶ J. Lovrić, D. Ogresta, Jedna metoda određivanja dozvoljene investicijske cijene broda, Pomorski zbornik, Rijeka, 1982, knjiga 20, str. 147-162.

⁷ Ibid.

⁸ H. Benford, Bnlk Cargo Inventorv Cosls and Their Effect on the Design of Ships and Tenninals, Marine Technologv, Vol. 18, No.4, listopad 1981, str. 344/349.

⁹ Specific fucl oil consumption

¹⁰ A. Bosnić, M. Vukičević, Sliip Design on the Basis of Calculated Service Speed

¹¹ Ibid.

¹² MAN B&V Engine Selection Guide, 1991.

¹³ J. Lovrić, Zbornik XI. simpozija Teorija i praksa brodogradnje, Dubrovnik, 19-21.V.1994., Svezak I, str. 47-59., Pristup izboru porivnog motora u cilju optimalizacije iskorištavanja trgovačkog teretnog broda

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

CHOICE OF THE MAIN MOTOR AND THE POINT OF OPTIMISATION

Summary

The method of choice of the main engine and its point of optimization has been described in this paper. It consists of dynamic analysis and simulation of the ship engine operation. The best financial result, expressed by internal rate of return, is the criteria of choice.

Rukopis primljen: 2.1.1995.



Atlantska plovidba d.d. DUBROVNIK

PREVOZI ROBU U SLOBODNOJ
PLOVIDBI PO SVIM MORIMA SVIJETA.

OBAVLJA PRIJEVOZ TEŠKIH I VANGA-
BARITNIH TERETA SPECIJALNIM
BRODOVIMA.

PREVOZI ROBU U MALOJ OBALNOJ
PLOVIDBI.

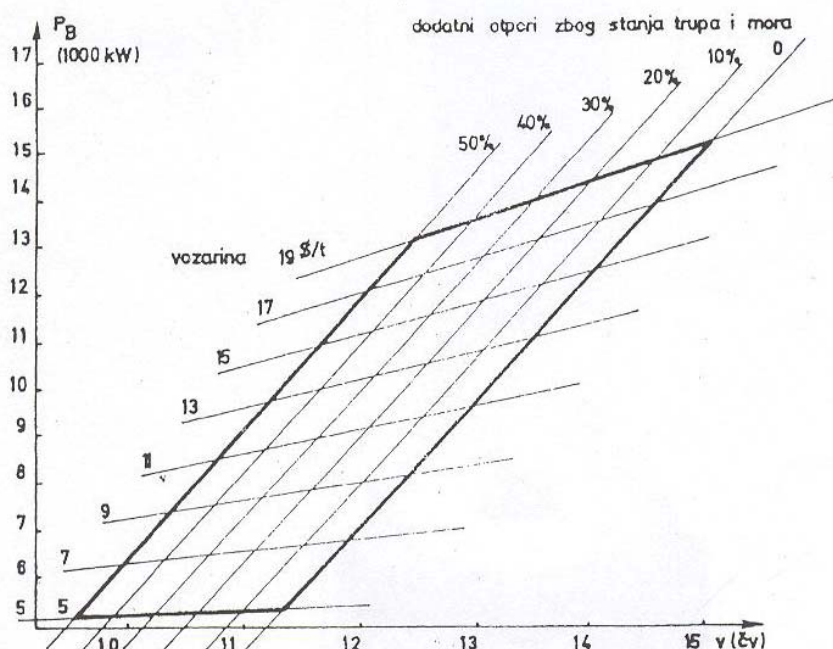
DIREKCIJA
DUBROVNIK, Od Svetog Mihajla 1
Poštanski pretnac 192
Telegram: ATLANT DUBROVNIK
Telefon: 412-666 (16 linija)
Telex: 27616 ATLANT RH
27584 ATLANT RH
Telefax: 020-20-384

Za sve informacije obratite se našoj direkciji u Dubrovniku
i našim agentima po cijelom svijetu

birati između motora s većom snagom po cilindru i motora s većim brojem cilindara. Taj izbor svakako ne može i ne smije biti proizvoljan, već se mora izvršiti na temelju zaključaka koji su rezultat neke analize.

2. "Elastičnost" porivnog sustava

Jedna od najpoželjnijih odlika brodskoga porivnog dizelskog motora njegova je "elastičnost". Ako se, naime, prouči ponašanje svjetskog tržišta brodskog prostora uočiti će se da vozarinske stavke (*freight rates*) stalno osciliraju, i lo s relativno velikim amplitudama i nejednolikim periodima¹. Takve oscilacije vozarinskih stavaka uvjetuju i oscilaciju *komercijalne brzine*² broda po ugovorenim putovanjima³. Osim o vozarinskoj stavci komercijalna brzina broda ovisi još i o stanju podvodnog dijela trapa, vijka, te o stanju vjetra i mora. Ona je, dakle, podložna promjenama i u tijeku jednog te istog putovanja. Simulacija iskorištavanja jednog broda za rasute terete od 100 000 tdw na relaciji Meksički zaljev - Sjeverna Europa (Gulf - ARA) na prijevozu žitarica, a prema scenariju koji se odigrao na tržištu u razdoblju od 1977. (fr 5 S/t) do 1980. (fr 19 S/t), pokazala je rezultate⁴ koji su dani u dijagramu na slici 1.



Slika 1. J. Lovrić: Osnove brodske terotehnologije, pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989., str.9.

Kod vozarinske stavke od 19 \$/t, uz uvjet čistoga podvodnog brodskog dijela i mirnog mora, komercijalna brzina broda trebala bi dosezati 15 čv, što bi zahtijevalo porivni dizelski motor od oko 15 000 kW. Kod iste vozarinske stavke, ali uz dodatni otpor zbog pogoršanog stanja trapa i mora od 50%, valjalo bi snagiti motora na cca 13 000 kW, i smanjiti tako brzinu na cca 12,4 čv, kako bi ona postala (ostala) komercijalnom. Pri vozarinskoj stavci od 5 S/t i istim idealnim uvjetima trapa i mora, snaga porivnog motora trebala bi iznositi nešto više od 5 000 kW da bi brodu omogućila brzinu od cca 11,3 čv, što bi u takvim okolnostima

¹ J. Lovrić, D. Ogresta: Metodu određivanja investicijske cijene broda. Pomorski zbornik, Rijeka 1982., knjiga, 20, str. 147.-162,

² I. Rubinić: Ekonomika brodarstva. Ekonomski fakultet Rijeka, 1976., str. 506

³ J. Lovrić, D. Ogresta, Brzina najveće dobiti, NAŠE MORE, br. 6, prosinac 1983., Dubrovnik, str. 223-226.

⁴ J. Lovrić, D. Ogresta, A. Bosnić, M. Vukičević: Geneza tipa "Argosy" broda velike širine i malog gaza, za rasute terete, Zbornik VI. simpozija "Teorija i praksa brodogradnje" 17.-19.5.1984., svezak I., str. 1.102-1.119.

bila njegova optimalna, tj. komercijalna brzina; uz dodatne otpore od 50% snagu bi motora trebalo smanjiti ispod 5 000 kW, što bi komercijalnu brzinu spustilo na cca 9,5 čv.

Rubne linije dijagrama tvore *porivni četverokut*⁵. "Elastičnost" izabranog porivnog motora morala bi ga u cijelosti zadovoljiti. Dakako, takav se dizelski motor danas još ne nudi, pa će realni okvir porivnog četverokuta bili određen krajnjim mogućnostima ponuđenog motora. Ugrubo, sporookretni dizelski motori duga stapaja, kao "najelastičniji", mogu pokriti otprilike jednu trećinu površine četverokuta po visini⁶. Ako se računa s izrazitim profitom za vrijeme konjunktura na svjetskom tržištu brodskog prostora onda će se izabrati motor koji pokriva pretežno gornju trećinu porivnog četverokuta. Ako manjka smjelosti za takvu odluku, valja se prikloniti motoru koji pokriva pretežno središnju trećinu porivnog četverokuta. To znači da se konjunktura neće dokraja iskoristiti, ali će se zato u vremenu opterećenom tegobama tržišta lakše broditi i manje gubiti. Za odabir motora koji pokriva pretežito donju trećinu nema opravdanja, jer bi to značilo da se svjesno osniva brod koji će samo (manje) gubiti.

Iz ove kratke analize proizlazi da pri odabira porivnoga dizelskog motora, bez obzira na izabrano područje snage, nedvojbeno prednost ima onaj sporookretni s dugim stapajem, i to zbog "elastičnosti", ekonomičnosti i malog broja okretaja (η brodskog vijka). Svakako, ako se pri tome ne isprieče neke posebne okolnosti odnosno ograničenja kao što je visina i duljina strojarice, (reducirani) gaz koji ne dopušta odgovarajući promjer vijka i drugo.

3. Moć održavanja porivnog sustava

Odluka o broju cilindara porivnog motora drugi je korak koji valja učiniti. To znači odlučili se između dvije opcije: motora s manjim brojem cilindara veće snage po cilindru ili većeg broja cilindara, ali manje snage po cilindru. Tu mišljenja nisu sasvim usklađena pa odluka često ovisi o pristupima koji su izvan općega tehnološkog i posebnog terotebnološkog razmišljanja.

Za sporookretnu brodske dizelske motore duga stapaja danas se realno može računati s konfiguracijama od četiri do dvanaest (pa i više) cilindara. Sa stajališta radnog angažmana brodskog osoblja u održavanju motora, što ima izravna utjecaja na ukupni terotebnološki proces na brodu, odnosno brodsku *moć održavanja*⁷, konfiguracija s manjim brojem cilindara je povoljnija. Jednadžba moći održavanja glasi:

$$W_P \geq \sum \lambda_{Pi} \varphi_{Pc} \quad [1]$$

W_P - raspoloživi (godišnji) fond radnih sati brodskog osoblja za periodično održavanje,

λ_{Pi} - planirani (godišnji) indeks zahvata po uređaju (jedinici)

φ_{Pi} - prosječni rad periodičnog zahvata po uređaju (jedinici) u radnim salima

Ako se iz općeg koncepta održavanja brodskih sustava izdvoji porivni motor, onda je W_{pm} potreban godišnji fond radnih sati brodskog osoblja za periodično održavanje motora, λ_{pc} je planirani godišnji indeks zahvata za svaki cilindar, a φ_{pc} je prosječni rad periodičnog zahvata po cilindru. Tad se može pisati

$$W_{pm} = m \lambda_{pc} \varphi_{pc} \quad [2]$$

gdje je m broj cilindara motora.

⁵ J. Lovrić: Osnovne brodske terotehnologije, Pomorski fakultet Dubrovnik, 1989., str. 9

⁶ J. Lovrić, D. Ogresta, A. Bosnić, M. Vukičević: Geneza tipa "Argosv" brada velike širine i malog gaza, za rasute terete, Zbornik VI. simpozija "Teorija i praksa brodogradnje" 17.-19.5.1984., svezak I., str. 1.108.

⁷ J. Lovrić: Osnove brodske terotehnologije, Pomorski fakultet Dubrovnik 1989., str. 83.

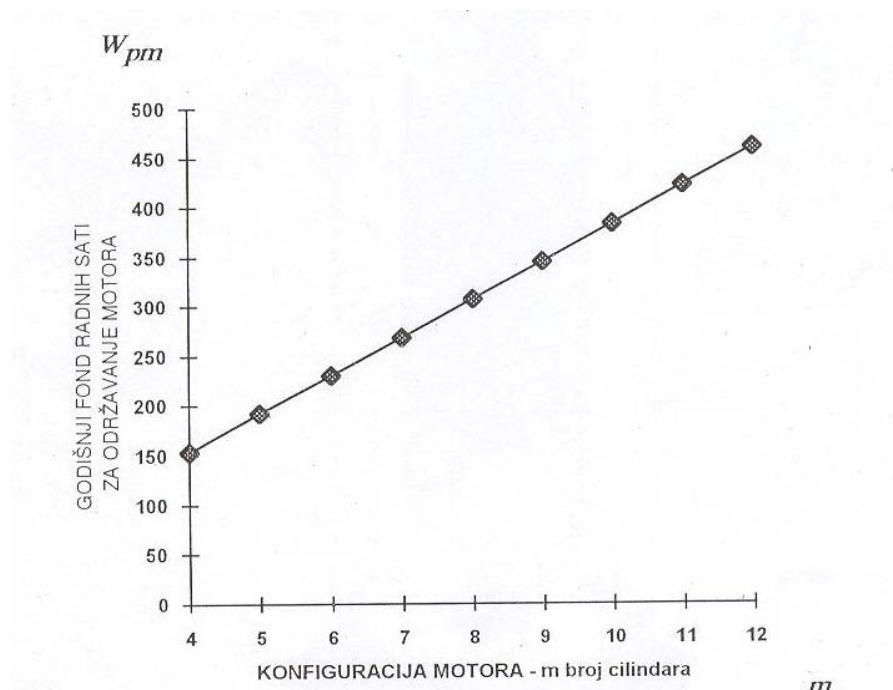
Napisana u takvu obliku, jednadžba jasno pokazuje da je W_{pm} izravna funkcija broja cilindara. Radi ilustracije evo jednog primjera:

- neka je prosječni rad periodičkog zahvata $\varphi_{pc} = 40$ radnih sati brodskog osoblja po cilindru
 - neka je prosječni interval periodičnog zahvata po cilindru $M_{pc} = 5\,000$ sati rada motora
 - ako brod 55% vremena provede u plovidbi, a 45% je u mirovanju, to znači da će porivni motor u godinu dana dostići 4 818 radnih sati; iz toga izlazi da će
- planirani godišnji indeks zahvata za svaki cilindar biti

$$\lambda_{pc} = 4818 : 5000 = 0,96$$

[3]

Potreban godišnji fond radnih sati brodskog osoblja za periodično održavanje porivnog motora, U ovisnosti o broju cilindara, prema jednadžbi [2] za ovaj slučaj izračunati je i prikazan u dijagramu na slici 2.



Slika 2.

Potrebni se fond radnih sati za održavanje motora s porastom broja cilindara očito povećava, što je samo po sebi razumljivo. Sa stajališta brodskoga terotehnološkog procesa, a radi optimalizacije iskorištavanja broda, valjalo bi se, dakle, uvijek odlučiti za brodski porivni dizelski motor s manjim brojem cilindara veće snage po cilindru, pod uvjetom da je pouzdanost cilindara veće snage jednaka onoj cilindara manje snage. Ovdje, međutim, valja upozoriti na to da prosječni rad periodičkog zahvata φ_{pc} nije sasvim neovisan o snazi cilindra. On ponešto raste s porastom snage po cilindru, no ni izdaleka toliko da bi to opravdalo povećanje broja cilindara.

4. Pouzdanost porivnog sustava

Ako se porivni sustav nekoga broda sastoji od samo jednog dizelskog motora, onda se obično drži da je takav sustav bez zalihosti. U takvoj konfiguraciji posebno je zanimljiv dizelski motor kao mehanizam koji je

u cjelokupnom sustavu najviše izložen promjenama smjera gibanja te promjenama mehaničkih i toplinskih naprezanja. Drugim riječima, to je najkompleksnija komponenta sustava koja radi pod najtežim uvjetima. Ona se pak može promatrati kao jedinica sastavljena od niza cilindarskih blokova koji zapravo čine posebne komponente spojene u seriju, I u takvu kontekstu broj cilindra porivnoga dizelskog motora nije irelevantan.

Ta konstatacija proizlazi iz analize koja će uslijediti. Neka indeks kvarova svakoga pojedinog cilindra u brodskom porivnom sporookretnom dizelskom motoru duga stapa ja bude $\lambda = 0,00001$, odnosno jedan kvar na svakih 100 000 radnih sati, uz uvjet da se periodični zahvati održavanja obavljaju svakih 5 000 sati rada cilindra. Tad će operativna pouzdanost⁸ svakoga pojedinog cilindra iznositi:

$$p = e^{-\lambda t} = e^{-0,00001 \cdot 5000} = 0,95 \quad [4]$$

$$p = 0,95$$

a operativna pouzdanost motora

$$R = p^k \quad [5]$$

gdje je k broj cilindra motora spojenih u seriju. Budući da je m ukupni broj cilindra u motoru i da su svi cilindri spojeni u seriju, to je $m=k$ pa se može pisati

$$R = p^m$$

Iz toga proizlaze sljedeće veličine pouzdanosti za motore od četiri do dvanaest cilindra:

$$R(k=4) = 0,95^4 = 0,8145062$$

$$R(k=5) = 0,95^5 = 0,7737809$$

$$R(k=6) = 0,95^6 = 0,7350918$$

$$R(k=7) = 0,95^7 = 0,6983372$$

$$R(k=8) = 0,95^8 = 0,6634203$$

$$R(k=9) = 0,95^9 = 0,6302494$$

$$R(k=W) = 0,95^{10} = 0,5987369$$

$$R(k=U) = 0,95^{11} = 0,5688000$$

$$R(k=12) = 0,95^{12} = 0,5403600$$

Iz rezultata se vidi da pouzdanost motora opada s povećanjem broja cilindra. To je značajka svakog serijskog sustava kad mu broj komponenata raste. No, već je operativna pouzdanost četverocilindarskog motora veličine $R = 0,8145$ ispod poželjne granice $R_d = 0,96$ za dvotjedno putovanje⁹. Pripomena da je ovdje riječ o dugom periodu od 5 000 sati rada motora, što je više od jedne godine iskorištavanja broda, a da bi za dvotjedno razdoblje ta ista pouzdanost bila znatno veća, zapravo ne stoji. Činjenica je, naime, da se periodični zahvati održavanja na cilindrima u prosjeku obavljaju svakih 380¹⁰ dana i da bi svaki kvar u međuvremenu uzrokovao zastoj porivnog sustava.

Tretiranje broskog porivnog dizelskog motora kao serijskog (pod)sustava nije, međutim, sasvim i uvijek ispravno. Poznato je, naime, da motori s izvjesnim brojem cilindra mogu nastaviti funkcionirati uz smanjenu snagu ako su im jedan ili čak dva cilindra isključena. To, na neki način, svrstava takve dizelske motore u djelomično usporedne sustave, tj. sustave s izvjesnom zalihošću. Njihova bi operativna pouzdanost, dakle, trebala biti veća od one netom izračunate.

⁸ Technical & Research Bulletin 3-22: *Reliability and Maintainability Engineering in the Marine Industry*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, July 1971., str. 173.

⁹ o.c., str.12.

¹⁰ Prema izrazu [3] prosječno je vrijeme između zahvata u danima $m_{pc} = \frac{1}{\lambda} = \frac{365}{0,96} = 380$

Za motore od četiri do dvanaest cilindara može se utvrditi da u tom rasponu svaki od njih može nastaviti rad i kad im je jedan cilindar isključen (uz smanjenu snagu, prilagođenu novonastalim okolnostima). Drugim riječima, kvar na jednom cilindru neće nužno izazvati zastoje porivnog sustava (a time i broda), što bi svakako bilo slučaj kad bi se motor promatrao kao čisti serijski (pod)sustav.

Pri ovakvu pristupu pouzdanost broskog dizelskog motora izračunava se po Bernoullijevoj formuli za binomnu razdiobu, koja glasi:

$$R = P(x \leq k) = \sum_{x=k}^m \binom{m}{x} \cdot p^x \cdot q^{m-x}$$

[7]

Primjenjujući formulu dakle na brodski porivni dizelski motor, simboli u njoj imaju sljedeće značenje:

R - pouzdanost motora

P - vjerojatnost da motor izdrži (*probability of survival*)¹¹

m - ukupni broj cilindara motora

X - najmanji broj cilindara koji moraju ostati ispravnima da bi motor mogao nastaviti rad

k - broj cilindara u radu

$p = 0,95$ - pouzdanost pojedinog cilindra

$q = 0,05$ - nepouzdanost pojedinog cilindra

Konkretno se onda može pisati:

$$R[(m-1) \leq k \leq m] = \sum_{x=m-1}^m \binom{m}{x} \cdot p^x \cdot q^{m-x} ; \text{ uz } p=0,95$$

[8]

a rezultati proračuna za motore od četiri do dvanaest cilindara su:

$$R(3 \leq k \leq 4) = \binom{4}{3} \cdot p^3 \cdot q^1 + p^4 = 0,9859815$$

$$R(4 \leq k \leq 5) = \binom{5}{4} \cdot p^4 \cdot q^1 + p^5 = 0,9774074$$

$$R(5 \leq k \leq 6) = \binom{6}{5} \cdot p^5 \cdot q^1 + p^6 = 0,9672260$$

$$R(6 \leq k \leq 7) = \binom{7}{6} \cdot p^6 \cdot q^1 + p^7 = 0,9556193$$

$$R(7 \leq k \leq 8) = \binom{8}{7} \cdot p^7 \cdot q^1 + p^8 = 0,9427551$$

$$R(8 \leq k \leq 9) = \binom{9}{8} \cdot p^8 \cdot q^1 + p^9 = 0,9287883$$

$$R(9 \leq k \leq 10) = \binom{10}{9} \cdot p^9 \cdot q^1 + p^{10} = 0,9138614$$

$$R(10 \leq k \leq 11) = \binom{11}{10} \cdot p^{10} \cdot q^1 + p^{11} = 0,8981051$$

$$R(11 \leq k \leq 12) = \binom{12}{11} \cdot p^{11} \cdot q^1 + p^{12} = 0,8816398$$

¹¹ Bazovskv: *Reliability Theory and Practice*, Prentice-Hall, New Jersey, 1974., str. 11.

Dakle, ako najviše jedan cilindar ne radi, zbrajaju se

1. vjerojatnost da svi cilindri rade i
2. vjerojatnost da baš jedan cilindar ne radi,

što se onda očituje i u vrijednosti dobivenoj za pouzdanost motora.

Analizirajući te vrijednosti uočava se da operativna pouzdanost porivnog dizelskog motora zadovoljava poželjnu granicu $R_d=0,96$ gotovo do konfiguracije od sedam cilindra. To znači da logika koja se nametala pristupom motorom kao čisto serijskom (pod)suslavu više ne vrijedi, odnosno da za bolju operativnu pouzdanost porivnog motora ipak nije najbitnije smanjiti broj cilindra na minimum. Taj će zaključak dobiti još jaču potkrepu kroz iduće razmatranje.

Dizelski motori konfiguracije od šest cilindra pa naviše većinom mogu nastaviti rad i kad su im dva cilindra isključena (uz odgovarajuće ograničenje snage). Ako takva mogućnost postoji, onda se izraz za operativnu pouzdanost motora može pisati:

$$R[(m-2) \leq k \leq m] = \sum_{x=m-2}^m \binom{m}{x} \cdot p^x \cdot q^{m-x} ; \text{ uz } p = 0,95 \quad [9]$$

što za konfiguraciju od šest do dvanaest cilindra daje ove vrijednosti:

$$R(4 \leq k \leq 6) = \binom{6}{4} \cdot p^4 \cdot q^2 + \binom{6}{5} \cdot p^5 \cdot q^1 + p^6 = 0,9976980$$

$$R(5 \leq k \leq 7) = \binom{7}{5} \cdot p^5 \cdot q^2 + \binom{7}{6} \cdot p^6 \cdot q^1 + p^7 = 0,9962428$$

$$R(6 \leq k \leq 8) = \binom{8}{6} \cdot p^6 \cdot q^2 + \binom{8}{7} \cdot p^7 \cdot q^1 + p^8 = 0,9942116$$

$$R(7 \leq k \leq 9) = \binom{9}{7} \cdot p^7 \cdot q^2 + \binom{9}{8} \cdot p^8 \cdot q^1 + p^9 = 0,9915992$$

$$R(8 \leq k \leq 10) = \binom{10}{8} \cdot p^8 \cdot q^2 + \binom{10}{9} \cdot p^9 \cdot q^1 + p^{10} = 0,9884939$$

$$R(9 \leq k \leq 11) = \binom{11}{9} \cdot p^9 \cdot q^2 + \binom{11}{10} \cdot p^{10} \cdot q^1 + p^{11} = 0,9848749$$

$$R(10 \leq k \leq 12) = \binom{12}{10} \cdot p^{10} \cdot q^2 + \binom{12}{11} \cdot p^{11} \cdot q^1 + p^{12} = 0,9534569$$

Iz rezultata se vidi da poželjnu granicu operativne pouzdanosti $R^*=0,96$ zadovoljavaju praktički sve konfiguracije. A to znači da su, što se tiče kriterija pouzdanosti, pogodnije one konfiguracije koje omogućuju nastavak rada motora s dva (i više) isključena cilindra, jer se tako vjerojatnosti kumuliraju.

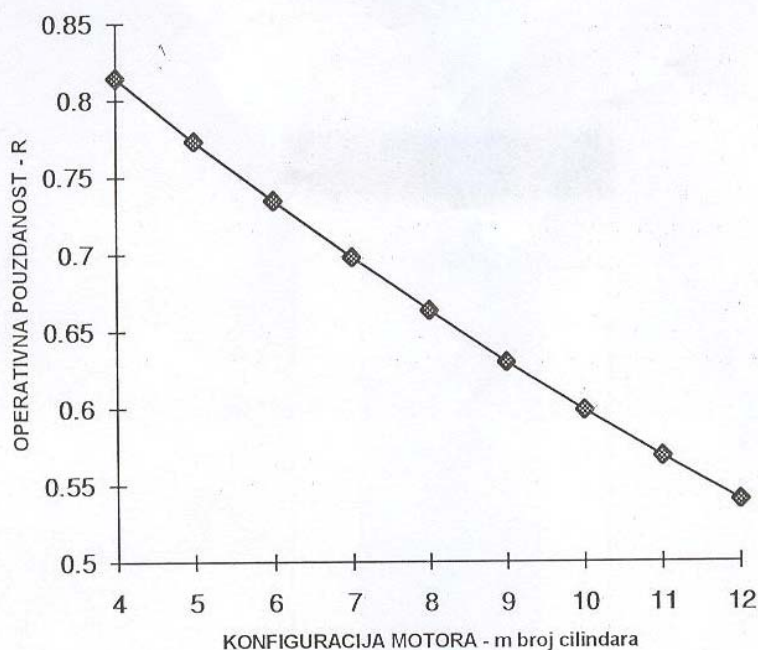
Na slici 3, i 4. prikazan je tijek krivulja izračunanih vrijednosti za operativnu pouzdanost brodske porivnog sporookretnog dizelskog motora duga stapaja za konfiguraciju od četiri do dvanaest cilindra ovisno o broju cilindra, tretirajući ga kao:

Slika 3. a - senjski (pod)sustav

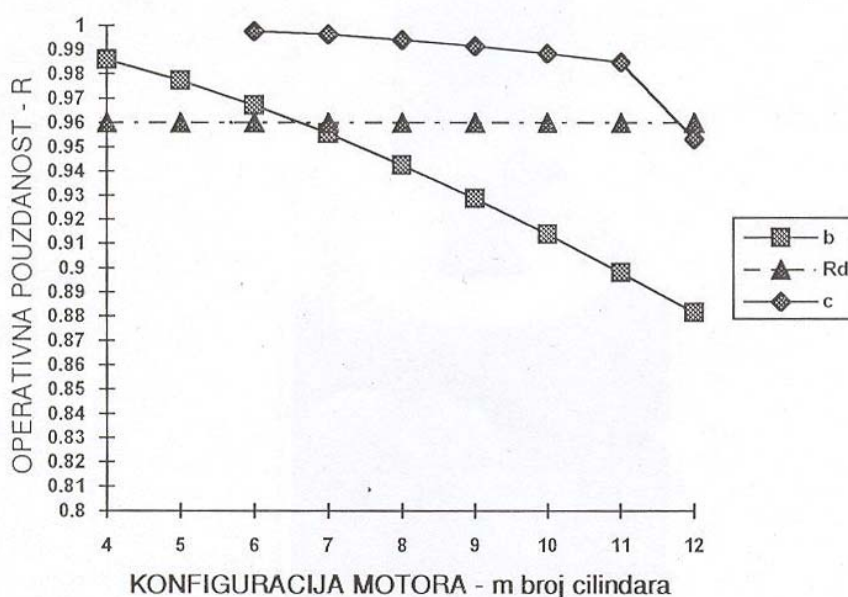
Slika 4. b - djelomično usporedni (pod)suslav s mogućnošću (nastavka) rada s *jednim* isključenim cilindrom

c- djelomično usporedni (pod)sustav s mogućnošću (nastavka) rada s *dva* isključena cilindra

Ucrtana je također i konstanta poželjne operativne pouzdanosti $R_d=0,96$ (d).



Slika 3.



Slika 4.

Iako ovo istraživanje ima sve značajke primijenjenog (primjenjivog), u praksi će biti primjera i situacija koje ovdje nisu obuhvaćene niti ih je moguće (a ni potrebno) u ovako prilagođenom prikazu sve elaborirati. Ipak, ilustracije radi, dobro je upozoriti na neke od njih.

U tu svrhu neka posluži šeslocilindarski brodski porivni dizelski motor; ta je konfiguracija vrlo česta na brodovima. Takav se motor smije promatrati kao djelomično usporedni (pod)suslav koji može funkcionirati i s dva isključena cilindra. Njegova operativna pouzdanost iznosi $R = 0,99776980$ (uz $p = 0,95$), kako je to prije izračunato. Ona pretpostavlja slobodu isključivanja bilo koja dva cilindra. Takvoj će slobodi biti

najčešće dodavano poneko ograničenje. Tako jedno od ograničenja može biti da dva isključena cilindra *ne smiju biti susjedna*. U takvu se slučaju izraz za izračunavanje operativne pouzdanosti svodi na:

$$= 5p^6 - Up^5 + 10p^4 \quad [10]$$

što čini:

$$R = 3,675 - 10,8318 + 8,145 = 0,9882$$

$$R = 0,9882$$

Ograničenje može biti postroženo lako da se uz uvjet da dva isključena cilindra *ne smiju biti susjedna* doda i uvjet da *ne smiju biti iz iste grupe* od prva tri ili zadnja tri cilindra.

Uz tako pooštreno ograničenje izraz za izračunavanje operativne pouzdanosti ovog šestocilindarskog motora konačno glasi:

$$R'' = 3p^6 - 10p^5 + 8p^4 \quad [11]$$

što daje:

$$R'' = 2,205 - 7,737 + 6,516 = 0,984$$

$$R'' = 0,984$$

Iz rezultata se vidi da operativna pouzdanost ovakva dizelskog motora opada s povećanjem ograničenja, ali je i uz najoštrije realno ograničenje osjetno iznad poželjne granice:

$$R = 0,9977698 > R = 0,9882 > R'' = 0,984 > R_d = 0,96$$

Slična se razmatranja mogu primijeniti i na motore s više od šest cilindara, uz mogućnost isključivanja više od dva cilindra, s time što će se povećati i broj realno mogućih kombinacija. Ali sve to neće promijeniti osnovni rezultat ovog islaživanja, to jest da je brodski porivni sporookretni dizelski motor zapravo djelomično usporedni (pod)sustav i da u konfiguraciji od četiri cilindra naviše on može zadovoljiti poželjnu granicu operativne pouzdanosti. Podrobnim razmatranjem performansa motora u odnosu prema broju cilindara može se izabrati optimalna konfiguracija s obzirom na njegovu operativnu pouzdanost.

5. Zaključak

Iz rezultata svekolikih iznesenih razmatranja i istraživanja valja zaključiti da ima više aspekata u izboru broskog porivnog motora. Njih očito ima barem tri i mogu se po redoslijedu podijeliti u dva koraka.

Prvi je korak izbor snage i tipa motora prema području brzina koje se u tijeku iskorištavanja broda žele pokrivati. Postaje jasno da nije moguće za trgovački teretni brod jednoznačno utvrditi brzinu koja će mu uvijek odgovarati. Zato je uveden pojam komercijalne brzine, koja se mijenja od jednog do drugog ugovorenog putovanja ovisno o visini vozaarske stavke i uvjetima stanja mora, vjetrova i podvodnog broskog dijela. U tom kontekstu valja prvo odlučiti koji se pojas porivnog četverokuta želi zadovoljiti, gornji ili srednji, što je sasvim poslovna odluka vezana uz mogući profit i veći ili manji rizik, a potom izabrati motor takve elastičnosti koji takvu odluku može najbolje realizirati. Svakako, motor veće elastičnosti uvijek je povoljniji od onoga manje elastičnosti, bez obzira na moguće razlike u cijeni.

Drugi je korak izbor konfiguracije motora prema kriteriju moći održavanja i kriteriju pouzdanosti, pri čemu je ovaj potonji kriterij dominantan. Konfiguracija s manjim brojem cilindara ima uvijek povoljniju

moć održavanja od konfiguracije s većim brojem cilindara, bez obzira na veličinu, odnosno snagu po cilindru. Pri lome valja kao osnovno voditi računa da motor može funkcionirati kao djelomično usporedni (pod)sustav, jer bez toga drugi bitniji kriterij, kriterij pouzdanosti, neće moći biti zadovoljen. Kod kriterija pouzdanosti, pak, bitnu ulogu ima količina i kakvoća zalihnosti motora. Uz istu konfiguraciju povoljniji je onaj motor koji može (nastaviti) funkcionirati s većim brojem isključenih cilindara, tj. sa što većom zalihošću. Kakvoća se zalihosti ogleda u ograničenjima; što su ograničenja manja, to je kakvoća zalihosti veća.

Birajući kombinaciju koja će dati najpovoljniji ishod iz sva ova tri aspekta, uzimajući u obzir i eventualni međusobni utjecaj dodatnih zakonitosti koje djeluju unutar područja svakoga pojedinog aspekta, moguće se odlučiti za brodski porivni dizelski motor, a da to ne bude rezultat nekakva vlastitog "špurijusa" ili oponašanja drugih ili, pak, nekakve napamet ugovorene brzine u službi.

Literatura:

1. Technical & Research Bulletin 3-22, *Reliability and Maintainability Engineering in the Marine Industry*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, July 1971.
2. Igor Bazovskv: *Reliability Theory and Practice*, Prentice-Hall, New Jersey, 1974.
3. Josip Lovrić: *Osnovo brodske terotehnologije*, Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989.
4. Željko Dominis: *Analiza pouzdanosti broskog porivnog motora*, Diplomski rad, Pomorski fakultet Dubrovnik, travanj 1991.

AN APPROACH TO THE CHOICE OF THE MAIN MOTOR AIMING AT OPTIMISATION OF MERCHANT CARGO SHIP EXPLOITATION

Summary

*The paper analyses an approach to the choice of main diesel motor which is considered in three aspects: **ship's commercial speed, maintenance power and reliability**. In the aspect of commercial speed, the motor's "elasticity" has been proved to be crucial i.e. as bigger range as possible between maxima! and minima! output, within which the motor may run continuously. In the aspect of **maintenance power**, its level is proved to be decreasing with the increasing number of cylinders at which the output, i.e. size of cylinders, has practically no influence. Furthermore, it has been proved that main diesel motor, with configuration of four and more cylinders, must be considered as partially parallel (sub)system, because without such a redundancy it would not be able to meet the needs of the desired reliability level. The level of reliability will depend on the number of cylinders i. e. the quantity and quality of redundancy.*

Key words: main motor, commercial speed, running tetragon, maintenance power; reliability, redundancy.

MOGUĆNOST NADZORA HIDRODINAMIČKIH OSOBINA BRODSKOG VIJKA U TIJEKU PLOVIDBE

POSSIBILITY FOR ON VOYAGE MONITORING THE PROPELLER HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS

UDK 681.1:556.34]656.61

Pregledni rad

Review

Sažetak

U uvodnom se dijelu obrazlaže nepovoljan utjecaj eksploatacijske hrapavosti krila na hidrodinamičke osobine broskog vijka i na koeficijent iskoristivosti vijka i to na temelju rezultata modelskih pokusa nekolicine istraživača. Posebno se problematizira uloga koeficijenta poriva i koeficijenta momenta u slabljenju performansa vijka. U drugom dijelu iznose se rezultati pokusa u naravi koji ukazuju da u procesu obrastanja podvodnog dijela broda obrastanje vijka, unatoč velikoj oplakanoj površini trupa, igra pretežitu ulogu u opadanju propulzijskih performansa broda. U trećem dijelu, na temelju već poznatih rezultata istraživanja, ukazuje se na mogućnost nadzora broskog vijka u tijeku plovidbe uz pomoć samo dva mjerna instrumenta: torziometra i brzinomjera. U zaključku se zalaže za utvrđivanje referentne vrijednosti koeficijenta momenta na temelju provedenih sustavnih mjerenja za vrijeme pokusne plovidbe i u prvim mjesecima eksploatacije novoizgrađenog broda.

Ključne riječi: brodski vijak, koeficijent poriva, koeficijent momenta, eksploatacijska hrapavost, nadzor

Summary

The inconvenient effect of the blade exploitation roughness on the propeller hydrodynamic characteristics and on the propeller efficiency coefficient based on the model experiments made by a number of scientists has been explained in the introduction. The role of thrust coefficient and torque coefficient of the propeller performance decrease has been particularly dealt with. The second part deals with the experiment result in exploitation indicating that in the process of fouling of the underwater part of the vessel, the fouling of the propeller plays the predominant role in the decrease of propulsion performance of the vessel despite the great underwater hull surface. The possibility of propeller monitoring on voyage with the help of only two measuring instruments, torsion meter and log, based on already known results of the research has been pointed out in the third part.

The conclusion aims at defining the relating values of the torque coefficient on the basis of the systematic measurements carried out during trials and in the first months of the exploitation of the newly built vessel.

Key words: propeller, thrust coefficient, torque coefficient, exploitation roughness, monitoring

*Prof.dr.sci. Josip Lovrić, dipl. Ing. Brodogradnje
Pomorski fakultet Dubrovnik
Dubrovnik

(1) Hrapavost površine krila novoizgrađenog brončanog broskog vijka iznosi od 2 do 4 mikrometra, ovisno o vrsti brončane slitine. Ta se hrapavost naziva tehnološkom (ponekad i konstrukcijskom) hrapavosti. U tijeku iskorišćavanja broda hrapavost se površine krila broskog vijka povećava. Ta se pojava naziva eksploatacijskom hrapavosti. Eksploatacijska hrapavost broskog vijka posljedica je kombiniranog učinka raznorodnih procesa. Svaki odljevak vijka ima u sebi i sićušnih nemetalnih čestica koje se strujanjem vode isplahuju, stvarajući tako na površini krila sitnu poroznost. Sličan samo jači učinak ima i kavitacijska erozija, te naročito elektrokemijska korozija. Eksploatacijska hrapavost broskog vijka povećava se i taloženjem katodnih soli na površini krila. Ta je pojava posljedica osobitosti u tijeku katodnog procesa na metalima u morskoj vodi koja ima visoki sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli. Pri održavanju ona se često zanemaruje, jer se vizualno iskazuje tek kao zatamnjenje površine vijka. Talog katodnih soli može, međutim, proizvesti eksploatacijsku hrapavost i do 40 mikrometara u tijeku jedne godine, što može rezultirati povećanjem potroška goriva i do 4,5%. Svi dosad opisani procesi uzrok su postupnom povećanju eksploatacijske hrapavosti broskog vijka. Relativno naglo, pak, povećanje eksploatacijske hrapavosti broskog vijka isključivo je posljedica obrastanja. Njen učinak na hidrodinamičke osobine vijka je i najdrastičniji.

1. Uvod

Introduction

Da bi se utvrdio utjecaj eksploatacijske hrapavosti krila na hidrodinamičke osobine brodskog vijka, obavljeni su posebno pripremljeni modelski pokusi u kavitacijskom tunelu. Takve su pokuse izveli S. Kan, F. Gutshe, F. M. Kacman i drugi. Rezultati pokusa nedvojbeno su pokazali da zbog povećanja hrapavosti površine krila opada koeficijent iskoristivosti brodskog vijka " η_0 ". Radi daljnje analize ove pojave valja se pozvati na jednadžbu koeficijenta iskoristivosti brodskog vijka u slobodnoj vožnji, koja glasi:

$$\eta_0 = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J_0}{2\pi} \quad (1)$$

gdje je

K_T - koeficijent poriva

K_Q - koeficijent momenta

J_0 - koeficijent napredovanja

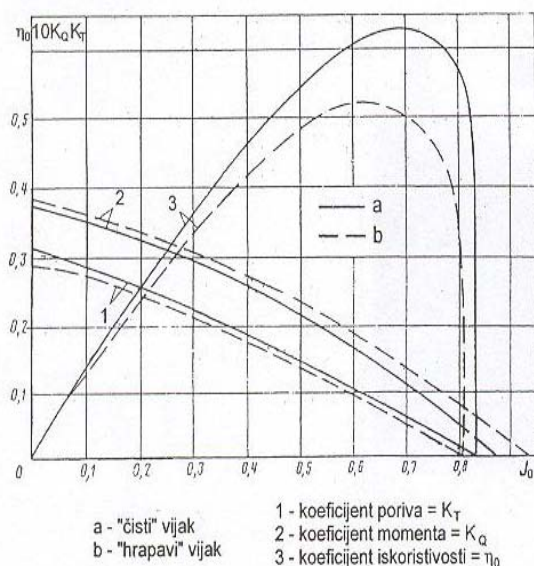
$$J_0 = \frac{v_e}{nD} \quad (2)$$

v_e - brzina napredovanja vijka (m/s)

n - broj okretaja vijka (s⁻¹)

D - promjer vijka (m)

Koeficijent iskoristivosti brodskog vijka² ovisi, dakle, o koeficijentu poriva " K_T " i koeficijentu momenta " K_Q " tj. koeficijent iskoristivosti je tim već što je veća vrijed-



Slika 1. Utjecaj vanjskih čimbenika na hidrodinamičke osobine vijka

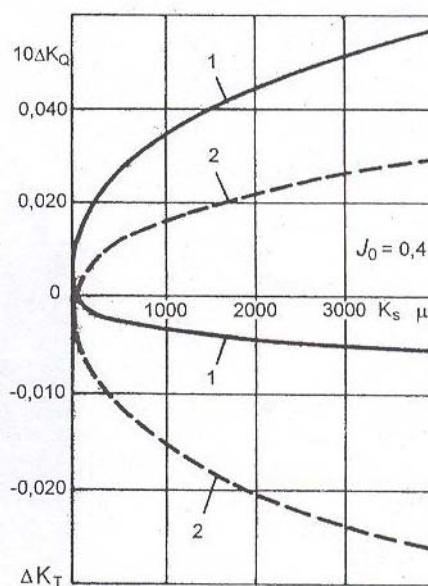
Figure 1. Influence of external factors on propeller's hydrodynamics characteristics

nost koeficijenta poriva i što je manja vrijednost koeficijenta momenta. Na drugi način izraženo to znači da pad koeficijenta iskoristivosti, pri povećanju eksploatacijske hrapavosti površine krila brodskog vijka, koji je pokusom utvrđen, može biti posljedica smanjenja vrijednosti koeficijenta poriva " K_T " ili povećanja vrijednosti koeficijenta momenta " K_Q " ili kombinacije obojega.

Podrobna analiza pokazala je da je pad koeficijenta iskoristivosti zaista posljedica kombiniranog efekta smanjenja vrijednosti koeficijenta poriva i povećanja vrijednosti koeficijenta momenta, iako ne i u jednakom omjeru. Naime, promjena sile uzgona profila posljedica je razlike u stupnju utjecaja graničnog sloja pri optjecanju profila s hidrodinamskom glatkom i hrapavom površinom. Hrapavost površine snažno se odražava na otpor profila, a promjena sile uzgona profila na koeficijent poriva i koeficijent momenta vijka.

Da bi utvrdio ovisnost koeficijenta sile uzgona i koeficijenta otpora vijčanog profila o stupnju hrapavosti površine, te vezu između promjene tih koeficijenata i promjene poriva i momenta vijka sa zadanim geometrijskim osobinama, F. M. Kacman je razradio analitičku metodu proračuna, koristeći se pristupom H. Lerbs-a. Rezultati su prikazani u si. 2³ i razlikuju se od onih dobivenih po Lerbsovoj metodi.

Naime, prema Kacmanu porastom hrapavosti osjetno raste koeficijent momenta " K_Q " dok je koeficijent poriva " K_T " na porast hrapavosti manje osjetljiv. Prema Lerbsu oba su koeficijenta osjetljiva na porast hrapa-



Slika 2. Promjena " K_T " i " K_Q " u ovisnosti o zrnatoj (modelskoj) hrapavosti " K_s " po Kacmanovoj metodi (1) i po Lerbsovoj metodi (2)
Figure 2. Change o " K_T " & " K_Q " due to granular (model) roughness " K_s " by Kacman method (1) and by Lerbs Method (2)

(2) KACMAN, F. M. "Eksploatacija propulzivnog kompleksa morskog sudna", Moskva "Transport", 1987, str.6
(3) Ibid. Str.106

vosti, u čemu preteže smanjenje koeficijenta poriva "KT". Ipak, valja reći, da se uvrštenjem bilo Lerbsovih bilo Kacmanovih parametara u izraz za proračun koeficijenta iskoristivosti brodskog vijka u slobodnoj vožnji dobijaju donekle slične vrijednosti. Ova razmimoilaženja u procjeni utjecaja porasta hrapavosti na pojedine parametre, pa time i koeficijent iskoristivosti vijka, utječu, međutim, presudno na ocjenu praktične mogućnosti provjeravanja hidrodinamičkih osobina brodskog vijka u tijeku same eksploatacije, tj. za vrijeme plovidbe broda. K tome, treba imati na umu da su sve metode proračuna utjecaja eksploatacijske hrapavosti na hidrodinamičke osobine vijka ipak približne metode. Naime, nemoguće je prokurti u totalitet pojava koje se zbivaju na i oko brodskog vijka, pa ni oslanjajući se na modelske pokuse. Ove metode međutim otkrivaju elemente od kojih se ova pojava sastoji, što je bitno za razumijevanje same pojave i preduvjet za pristup njenom praćenju.

2. Obrastanje i njegove posljedice *Fouling and its consequences*

Utjecaj eksploatacijske hrapavosti vijka na performanse broda dugo je vremena bio zanemarivan. Držalo se da je glavni problem u eksploatacijskoj hrapavosti brodskog trupa, tj. u obrastanju njegova podvodnog dijela. Tek kad su objavljeni prvi rezultati istraživanja utjecaja obrastanja na propulziju postala je jasna i uloga brodskog vijka u tim procesima. Na slici 3 prikazan je tijek jednog od pokusa na ratnim brodovima u tropskim i subtropskim morima, koje su SAD obavile od 1976. do 1979. godine.

Pokus je tekao na sljedeći način.

Prva pokusna plovidba izvršena je s obraslim trupom i vijkom 651 dan nakon potpunog zahvata održavanja u doku i iskorišćavanja u suptropskim morima. Izmjerena je snaga potrebna da se postigne brzina od 17 čvorova. Brod je zatim i dalje nastavio službu do 795-og dana nakon dokovanja, kad je izvršena druga pokusna plovidba s istim ciljem. Potom je očišćen vijak na otvorenome moru, ponovljena je pokusna plovidba i brod je nastavio službu do 900-og dana, kad je pokusna plovidba ponovno izvršena prije nego što je brod uplovio u luku. U luci mu je ponovno podvodno očišćen vijak (obrušen i ispoliran!) i cijeli podvodni dio trupa. Brod je odmah potom isplovio na pokusnu plovidbu. Posljednja pokusna plovidba izvršena je nakon 1200-og dana iskorišćavanja.

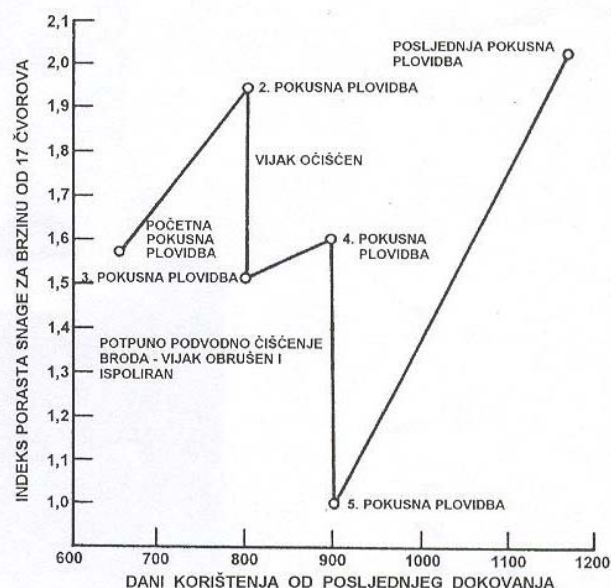
Rezultati se mogu sažeti kako slijedi:

Nakon 651. dana iskorišćavanja snaga potrebna da se postigne brzina od 17 čvorova porasla je 57%; tijekom daljnje eksploatacije do 795. dana potrebna snaga porasla je za daljnjih 37%, što pokazuje da ukupni porast potrebne snage iznosi 94%; čišćenje vijka na otvorenome moru smanjilo je porast potrebne

snage s 94 na 52%; naknadno čišćenje, brušenje i poliranje vijka u luci upućuje na to da bi ova redukcija potrebne snage potpunim zahvatom održavanja vijka bila znatnija; obraslost brodskog vijka uzrokovala je porast potrebne snage za najmanje 46%; posljednja pokusna plovidba pokazuje da proces obrastanja podvodnog dijela trupa biva 1,5 puta brži nakon njegova podvodnog čišćenja nego nakon potpunog zahvata održavanja s brodom na suhu.

I Brodarski institut iz Zagreba obavio je slična ispitivanja za Jadransko more s četiri manja broda približno jednake istisnine.

Početa pokusna plovidba bila je neposredno poslije potpunog zahvata održavanja brodskoga podvodnog dijela na suhu. Brodovi su potom pušteni u normalno iskorišćavanje između 200 i 300 dana, kad je ponovno obavljena pokusna plovidba da se utvrdi stopa obrastanja



i njegov utjecaj na porast snage potrebne da se postigne jednaka brzina u službi. U drugoj seriji pokusa podvodno su očišćeni broski vijak i pramac u duljini od 0,12 L, nakon 200 dana, a potom nakon 385 dana iskorišćavanja, poslije čega je svaki put bila poduzeta pokusna plovidba. Rezultati tih istraživanja prikazani su na slici 4.

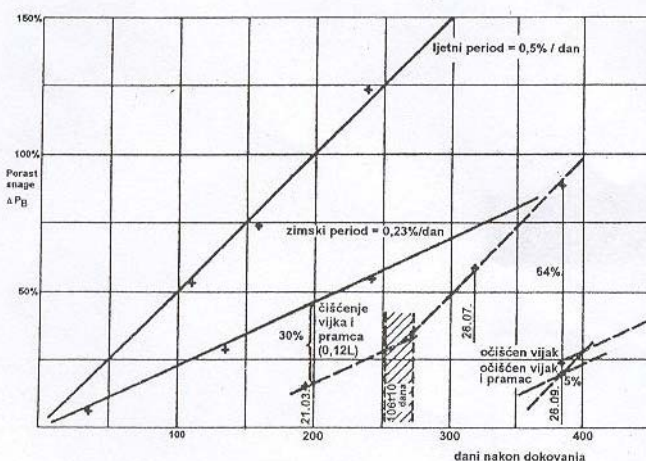
Uočljiv je velik utjecaj obrastanja brodskog vijka na propulziju broda. Poliranjem vijka i podvodnim čišćenjem površine pramčanog podvodnog dijela trupa do 12% duljine broda, 200 dana nakon dokovanja, postig-

Slika 3. Dijagram snage pri konstantnoj brzini u tijeku trajanja pokusa podvodnog čišćenja brodskog vijka i trupa

Figure 3. Power diagram above constant speed during propeller and hull underwater cleaning

(4) LOVRIĆ J. "Osnove brodske terotehnologije", Pomorski fakultet Dubrovnik, 1989, str. 234

(5) Ibid. Str. 236



Slika 4. Porast ukupne snage zbog obrastanja u Jadranskom moru i učinak podvodnog čišćenja
Figure 4. Total povver increase dne to fouling in Adriatic sea and underwater cleaning effect

nuto je smanjenje "gubitka" snage za oko 67%, tj. oko 2/3 ukupnog povećanja snage za održavanje brzine u službi. Samim poliranjem vijka 185 dana nakon toga (i 385 dana nakon dokovanja) ukupni porast snage smanjen je za 64%. Sva ova istraživanja nedvojbeno su dokazala da je utjecaj eksploatacijske hrapavosti brodskog vijka na propulzijske performanse broda čak presudniji od utjecaja eksploatacijske hrapavosti trupa, te da su posljedice, izražene u energetske i financijske pokazateljima, relevantne. Postalo je također evidentno da čišćenje i poliranje brodskog vijka samo za vrijeme dokovanja, dakle u vremenskim razmacima od dvije do dvije i pol godine, nije terotehnoški optimum, već naprotiv, loš menadžment u iskorišćavanju i održavanju broda. To je ponukalo neke vodeće brodarske tvrtke da istraže mogućnost "monitoringa" performansa brodskog vijka u tijeku iskorišćavanja, odnosno za vrijeme plovitve broda.

3. Nadzor brodskog vijka *Propeller monitoring*

Da bi se mogle provjeravati performanse porivnog stroja potreban je torziometar koji mjeri moment na osovini i broj okretaja osovine, odnosno snagu na osovini. Za provjeravanje odnosa brzine broda i snage porivnog stroja potreban je još i brzinomjer. Takva sprema daje, međutim, samo indicaciju zajedničkog utjecaja eksploatacijske hrapavosti trupa i vijka na propulzijske performanse broda. Pod pretpostavkom da gaz i trim broda i vremenski uvjeti ostanu nepromijenjeni,

promjena u odnosima snaga-brzina-broj okretaja ne može se posebno pripisati utjecaju hrapavosti vijka ili hrapavosti trupa. Za takvo nešto potrebne su dodatne informacije koje svakako može pružiti brodski poriv-metar, ugrađen na osovini. Slijedeći ove pretpostavke obavljena su opsežna istraživanja sa SHELL-ovom ULC "LIOTINA"⁶, rezultati kojih su indikativni za današnju razinu saznanja i situaciju u domeni "monitoringa" performansa brodskog vijka. Brod je imao sljedeće značajke:

duljina između okomica - 330 m

širina - 55 m

gaz pod punim teretom - 22 m

nosivost-317 000 dwt

6-krilni vijak, promjera - 8, 65 m

Istraživanja su trajala 16 mjeseci. Za to vrijeme obavljeno je jedno dokovanje (kad je ugrađen i novi vijak) i dva podvodna poliranja vijka. Cijelo to vrijeme bilježeni su sljedeći parametri:

gaz na pramcu

gaz na krmi

protok goriva

snaga na osovini

broj okretaja osovine

vijčani poriv

brzina broda preko dna

brzina broda mjerena pitot-cijevi

brzina broda mjerena doppler-logom

brzina i smjer vjetra

stanje mora i smjer valova.

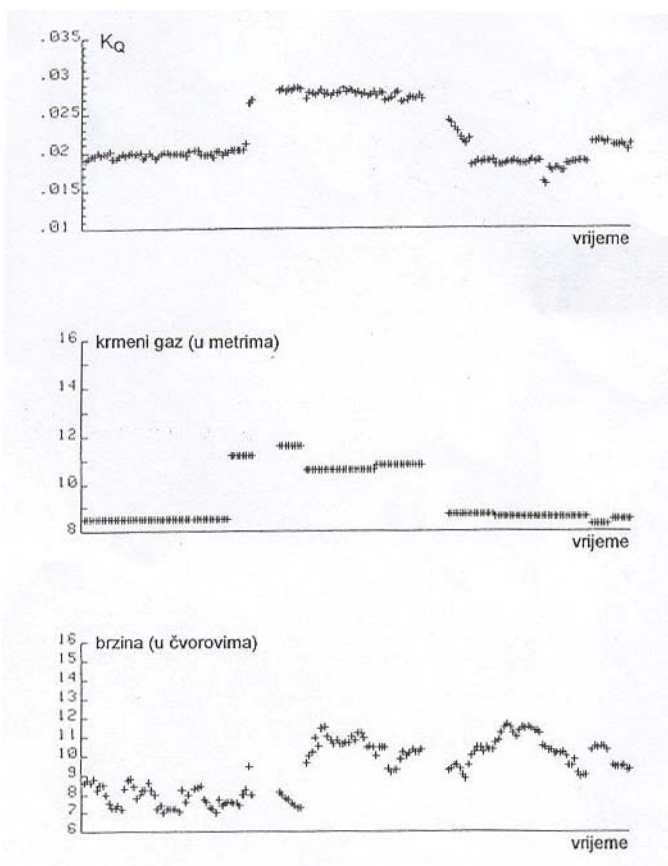
Učestalost odčitavanja bila je svako pola sata, i to kao najmanja učestalost kod koje je još moguće prikupiti dovoljan broj parametara za svrhovitu obradu.

U tijeku istraživanja podaci koje je pružao poriv-metar pokazali su se nedovoljno pouzdanim da bi se mogli uzeti u obzir. Drugim riječima uporaba poriv-metra kao mjernog instrumenta nije ispunila očekivanja. Baš ta činjenica usmjerila je istraživanje u smjeru bitno drukčijem od pretpostavke.

Naime, devet mjeseci nakon početka istraživanja podvodni pregled vijka otkrio je da su krila prekrivena finim slojem raslinja. Vijak je podvodno očišćen i ispoliran i brod je odmah nastavio putovanje. Očitavanjem podataka s torziometra ustanovljeno je da je broj okretaja vijka za istu osovinsku snagu nakon poliranja porastao. Budući daje brod plovio pod praktično jednakim uvjetima kao i u prethodnom putovanju, a u roku kroz koji je vijak očišćen i poliran nije moglo doći ama baš do nikakve promjene u eksploatacijskoj hrapavosti trupa, ovo naglo "olakšanje" vijka moglo je biti isključivo posljedica smanjenja momenta odnosno koeficijenta momenta " K_Q ". A to je značilo da se performanse brodskog vijka mogu nadzirati i bez poriv-metra, tj. samo uz pomoć torziometra i pouzdanog brzinomjera.

Odčitavanja s torziometra pokazala su, međutim, da je koeficijent momenta " K_Q " osjetljiv na promjenu gaza, trima i brzine, kako je to prikazano na slici 5.⁷

(6) OSBORN M. "Monitoring the Service Performance of Propellers and Propulsion Devices", 6th LIPS Symposium, Drunen, 1986.



Slika 5. Promjena "K_Q" u ovisnosti o promjeni krmenog gaza i brzine
Figure 5. Variation of "K_Q" due to change of draft and speed

B.S.R.A.⁸ je dobila zadatak da ta odčitavanja analizira i utvrdi ovisnost "K_Q" o promjeni brzine, gaza i trima. Rezultat je slijedeća jednačba (3):⁹

$$K_{Q1} = 0,0708 - 0,01206 T_f + 0,004488 T_a + 0,001271 V - 0,0000032408 T_a^3 - 0,00752 V T_f + 0,000704 V T_f^3 - 0,02834 V T_a^3 \pm 0,0024$$

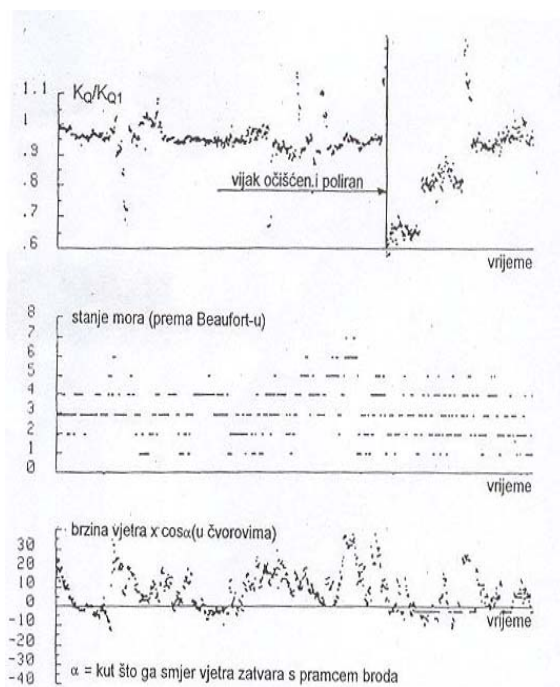
gdje je

T_f = gaz na pramcu u metrima

T_a = gaz na krmi u metrima

V = brzina broda u čvorovima

$$V T_f = \frac{0,5144V}{\sqrt{T_f \cdot g}}$$



Slika 6. Tijek krivulje "K_Q/K_{Q1}" uz prikaz stanja mora i brzine vjetra te učinak podvodnog čišćenja vijka

Figure 6. "K_Q/K_{Q1}" curve flow through various sea States & wind speeds and propeller underwater cleaning effect

$$V T_a = \frac{0,5144V}{\sqrt{T_f \cdot g}}$$

Ovakvo izračunati "K_{Q1}" predstavlja zapravo neku "očekivanu" vrijednost, koja stavljena u odnos sa

$$K_Q = \frac{\text{izmjerena snaga na osovini}}{(\text{o/min})^3} \quad (4)^{10}$$

daje indicaciju o stanju brodskog vijka, odnosno promjena tog odnosa ukazuje na trend u promjenama hidrodinamičkih osobina vijka.

Na slici 6. prikazan je tijek krivulje "K_Q/K_{Q1}" kroz sedam konsekvativnih putovanja (4 pod teretom i 3 u balastu) kao i odgovarajuće stanje mora i brzina vjetra, te učinak podvodnog čišćenja brodskog vijka.¹¹

Iz dijagrama je vidljivo da su izvjesna rasipanja točaka krivulje "K_Q/K_{Q1}" posljedica stanja mora i vjetra, ali je to zapravo irelevantno prema učinku što ga je proizvelo čišćenje i poliranje brodskog vijka. Odnos

(7) Ibid. str. 6/14

(8) Ibid. str. 6/7. Danas je to sastavni dio "British Maritime Technology"

(9) Ibid. str. 6/7. Jednačba nije objašnjenja pa tako ni zadnja konstanta koja se može dodati ili oduzeti. Provjere radi, ovakva kakva jest samo bez zadnjeg člana, okvirno je primijenjena na jednom bulkcarrieru od 70000 dwt hrvatske trgovačke mornarice i pokazala je izvjesnu osjetljivost prema očekivanim trendovima.

(10) Ibid. str. 6/7; snaga je izražena u HP

" K_Q/K_{Q1} " smanjio se nakon čišćenja i poliranja vijka za oko 68%. Budući da je " K_{Q1} " izračunata "očekivana" vrijednost, što znači da je za dane uvjete konstantna, cijelo smanjenje odnosi se na koeficijent momenta " K_Q ". Pozivom na jednadžbu (1) jasno je da to znači povećanje koeficijenta iskoristivosti brodskog vijka " η_0 ".

S druge pak strane valja uočiti da se odnos " K_Q/K_{Q1} " prije čišćenja kretao oko jedinice, što znači da je "očekivana" vrijednost " K_{Q1} " izračunata na temelju odčitavanja već "hrapavog" vijka; učinak čišćenja i poliranja to nedvojbeno potvrđuje. Da je " K_{Q1} " bio izračunat sa "čistim" vijkom, onda bi svako povećanje eksploatacijske hrapavosti rezultirao odnosom " K_Q/K_{Q1} " većim od jedinice, a svako čišćenje vijka taj bi odnos "vraćalo" prema jedinici. Ovo je važna konstatacija koja utječe na sam pristup metodi nadziranja brodskog vijka. Za zapaziti je, također, naglo "pogoršanje" odnosa " K_Q/K_{Q1} " nakon čišćenja odnosno njegovo brzo vraćanje na vrijednosti od prije čišćenja. Posljedica je to petnaestodnevnog boravka broda u indijskim lukama. Pregledom broda u doku nedugo nakon toga ustanovljeno je, naime, da je vijak opet prekriven slojem raslinja, slično kao što je bio i prije čišćenja i poliranja.

4. Zaključak

Conclusion

Dosadašnja razmatranja ukazuju na to daje nadzor brodskog vijka u tijeku plovidbe moguć i koristan. On se može provoditi kad je brod opremljen odgovarajućim torziometrom i pouzdanim brzinomjerom. I jedan i drugi uređaj prijeko su potrebni već radi nadziranja porivnog stroja i bez njih suvremene novogradnje teško da se mogu na tržištu i nuditi.

Što se tiče odnosa " K_Q/K_{Q1} ", na praćenju kojega se temelji nadzor hidrodinamičkih osobina brodskog vijka u tijeku plovidbe (odnosno njihova trenda), bitan je proračun "očekivane" vrijednosti " K_{Q1} ". Nju valja izračunati za novi "čisti" brod tj. sa svježom podvod-

nom prevlakom i netom ispoliranim vijkom. Tada bi trebalo da je

$$K_Q = K_{Q1} \text{ odnosno } K_Q/K_{Q1} = 1$$

Za novogradnju u uvjetima pokusne plovidbe to ne bi trebalo biti problem. Za vrijeme pokusa može se ciljano mijenjati trim pri dogovorenoj "snazi u službi" (85 ili 90%MCR), a odčitavanja mogu biti mnogo učestalija nego što to može obavljati posada u tijeku eksploatacije broda. Za novogradnju pod teretom odčitavanja mora obavljati posada u prvim mjesecima eksploatacije broda i to s učestalošću ne manjom od svako pola sata (bilježenje može biti i automatsko!) uz procjenu stanja mora i brzine i smjera vjetra (iako dijagrami na slici 6 pokazuju da taj utjecaj nije presudan za konačan ishod proračuna) i, dakako, vodeći računa o boravku broda po lukama i sidrištima. Tako bi se trebalo prikupiti dovoljno podataka za izračunavanje "referentne" vrijednosti " K_{Q1} " prema modelu sličnom jednadžbi (2).

Na kraju treba ipak upozoriti da se ne može u potpunosti zanemariti utjecaj eksploatacijske hrapavosti trupa na koeficijent iskoristivosti brodskog vijka, barem preko koeficijenta napredovanja " J_0 ". Zbog toga će nadzor brodskog vijka biti puno pouzdaniji kod brodova sa suvremenim biocidnim podvodnim prevlakama, naročito onim samozagladivim (SPC). To pak znači da bi prigodom podvodnog čišćenja i poliranja vijka valjalo uvijek obaviti i površan pregled podvodnog dijela trupa, opreza i savjesnosti radi.

Literatura

Literature

- [1] OSBORNE, M. G. "Monitoring the Service Performance of Propellers and Propulsion Devices", 6th LIPS Symposium, Drunen, 1986, str. 6/3-6/20
- [2] KACMAN, F. M. "Eksploatacija propulzivnog kompleksa morskog sudna", Moskva "Transport", 1987, str. 223
- [3] LOVRIĆ, J. "Osnove brodske terotehnologije", Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989, str. 262
- [4] LJUBETIĆ, M. "Otpor i propulzija broda", Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989, str. 144

Rukopis primljen: 15.11.1996.