

JOSIP LOVRIC

## Preventiva u pomorstvu

Sažetak

*Polazeći od općenite definicije preventive i utvrdivši osnovne elemente o kojima ovisi sigurnost u pomorskom prometu, rad se koncentrirala na ulogu brodskih uređaja i na interakciju stroj-čovjek, razmatrajući samo kvarove koji su uređajima inherentni. Definiše, zatim, tri jedine moguće vrste takvih kvarova, obrazlažući njihovo podrijetlo, zakonitost njihova pojavljivanja i njihove raspodjele u vremenu. Primjenjujući teoriju pouzdanosti, utvrđuje, potom, osnove znanstvenog pristupa preventivi u pomorstvu i na tim osnovama razrađuje metode sprečavanja pojave kvarova na brodskim sustavima, ukazujući posebno na utjecaj »zalihosti« i raspoloživosti brodskog osoblja za zahvate održavanja u tijeku plovidbe. Na kraju ukazuje na potrebu prikupljanja podataka o ponašanju brodskih uređaja kroz njihovo korištenje kao uvjet za znanstveni pristup preventivi u pomorstvu i predlaže mogući univerzalni obrazac.*

Pod pojmom preventive očito podrazumijevamo sve one predradnje koje valja poduzeti da se spriječi neki neželjeni događaj za koji postoji vjerojatnost, realna ili pretpostavljena, da se može zbiti. U pomorstvu su to pomorske nezgode i nesreće. Tri su osnovna elementa o kojima ovisi sigurnost pomorskog prometa: čovjek, stroj i propis. Upustiti se u razmatranja sva ta tri elementa zahtijevalo bi puno više vremena i prostora nego što nam stoji na raspolaganju a, budući da se radi o interdisciplinarnoj materiji, jednoj osobi to ne bi ni bilo moguće. Ograničit ćemo se, stoga, u ovom radu prvenstveno na stroj, tj. na brod kao skup tehnički sustav promjenljive međusobne konfiguracije, i dijelom na čovjeka, i to u okviru razmatranja interakcije stroj-čovjek.

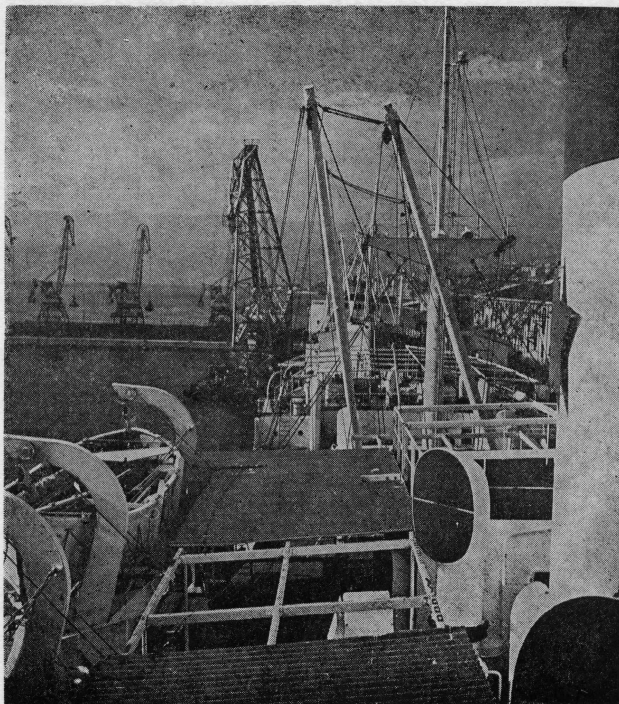
Kvarovi brodskih strojeva i uređaja, ili kako ćemo ih dalje nazivati, kvarovi brodskih sustava, uzrokom su i posljedicom mnogih pomorskih nezgoda i nesreća. Ovdje valja odmah razjasniti što smatramo uzrokom a što posljedicom. Kad se na primjer brod nasuče ili sudari, onda to za posljedicu obično ima oštećenje trupa i uređaja. Isto tako ako se nekim strojem nepravilno rukuje to može rezultirati kvarom. Ovi su kvarovi, dakle, posljedica ili ljudske greške ili neadekvatnosti propisa ili neispravnosti plovidbenih oznaka ili već nečeg drugog, svakako izvan su samog sustava. Budući da smo razmatranje o preventivi ograničili na »strojeve« to se ovim posljedničim kvarovima nećemo posebno zanimati. Pozabavit ćemo se samo kvarovima koji su brodskim sustavima inherentni i koji mogu biti uzrokom pomorske nezgode ili nesreće.

Tri su različita tipa kvarova koja se u sustavima javljaju i koji su im inherentni.

Svaki tip ima svoje posebne značajke koje ga određuju.

Prvom tipu pripadaju kvarovi koji nastaju u samom početku vijeka odnosno rada sustava. Nazivamo ih početnim kvarovima i u najvećem broju slučajeva posljedica su loše izrade ili slabe kontrole kvalitete u tijeku proizvodnog procesa. Oni se eliminiraju u periodu tzv. »uhodavanja« tako da se svaka komponenta zamijeni čim zakaže, odnosno da se svaka greška u montaži ispravi čim se ukaže. Tek tada je sustav zapravo spreman za službu. Kod nekih se uređaja to čini još u tvornici, simulirajući stvarne uvjete rada, a kod broda u pokusnim vožnjama i, počesto, u prvim mjesecima plovidbe.

U drugi tip spadaju kvarovi zbog dotrajalosti. Oni nastaju samo onda ako sustav nije pravilno održavan — ili ako nije uopće održavan. Vrijeme kroz koje dolazi do pojave dotrajalosti varira od komponente do komponente. U načelu kvarovi zbog dotrajalosti mogu se spriječiti. Kod sustava, na primjer, koji su u opetovanoj uporabi, jedna bi od metoda bila da se u redovnim intervalima zamijene komponente za koje je poznato da se troše i da taj interval bude kraći od prosječnog vijeka trajanja komponente. Ili, ako je komponenta nepristupačna, mora biti izvedena tako



da je njen prosječni vijek trajanja veći od predviđenog vijeka trajanja sustava.

Treći tip sačinjavaju tzv. **slučajni kvarovi** koji se niti dobrim uhadavanjem niti najboljim održavanjem ne mogu eliminirati. Ovi su kvarovi uzrokovani nepredvidivim koncentracijama naprezanja koja prelaze projektiranu izdržljivost komponente. Oni se javljaju nasumce, bez ikakva pravila i neočekivano.<sup>1</sup> Ipak, ovi kvarovi slijede neka pravila kolektivnog ponašanja, tako da je njihova učestalost kroz jedan dovoljno dug period vremena približno konstantna.

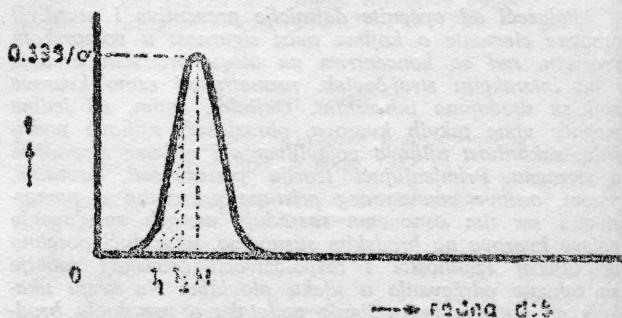
Proučavanjem pojave ovih kvarova bavi se teorija pouzdanosti. Jednostavno rečeno, pouzdanost je sposobnost nekog uređaja ili sustava da u radu ne zataji. Kad neki uređaj radi u redu i to čini svaki put kad ga se pusti u rad za koji je projektiran, onda se za takav uređaj ili sustav može reći da je pouzdan. Ako je učestalost kvarova tog uređaja ili sustava mala, pouzdanost je još uvijek prihvatljiva. Ako je učestalost kvarova velika, takav uređaj ili sustav je nepouzdan.

Pojam pouzdanosti nije identičan pojmu sigurnosti, no sigurnost najčešće o pouzdanosti ovisi. Moglo bi se čak reći da znanstveni pristup sigurnosti mora ići preko pouzdanosti. Praktična primjena teorije pouzdanosti ima za cilj sprečavanje kvarova sustava u tijeku rada, što drugim riječima znači da je ona znanstvena osnova preventive u pomorstvu. Svakako, onog dijela preventive koji se odnosi na brodske uređaje odnosno sustave.<sup>2</sup>

Teorija i praksa pouzdanosti čini razliku između početnih kvarova, kvarova zbog dotrajalosti i slučajnih kvarova iz dva razloga: prvo, zato jer svaki od ovih tipova kvarova slijedi specifične zakone statističke raspodjele pa stoga zahtijeva i različitu matematsku obradu, i

drugo, jer je za njihovo sprečavanje potrebno primijeniti različite metode.

Promatrajući pojavu kvarova zbog dotrajalosti zapaženo je da se oni gomilaju oko prosječnog vijeka trajanja komponente. U većini slučajeva fenomeni dotrajalosti slijede, dakle, **normalnu ili Gaussovu distribuciju**. Tok te krivulje prikazan je na slici 1.



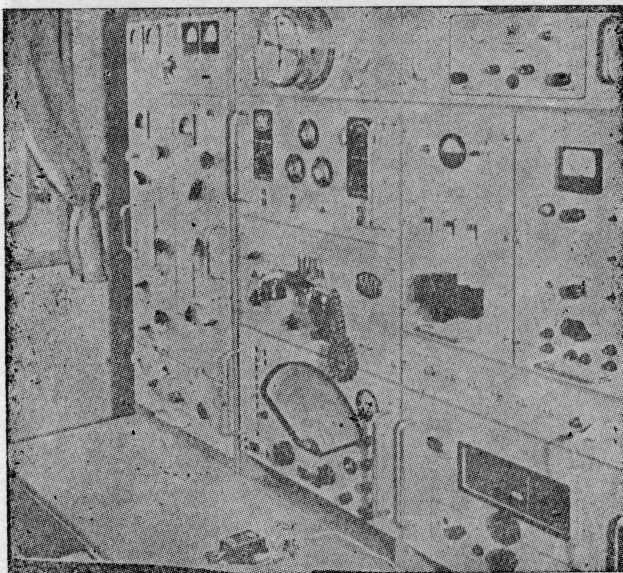
Funkcija gustoće kvarova zbog dotrajalosti

Iz krivulje se jasno vidi da je vjerojatnost kvara **do prosječnog vijeka trajanja** komponente ( $\gg M \ll$ ), odnosno vjerojatnost da jedna komponenta do tog vremena dotraje, točno 50%. Zamjenjujući komponentu prije njenog prosječnog vijeka trajanja snižavamo, dakle, vjerojatnost kvara ispod 50%. Taj se period naziva **korisnim vijekom trajanja** ( $\gg T \ll$ ), a određuje se ovisno o ulozi komponente u sustavu i važnosti sustava za sigurnost broda i plovidbe.

Već je spomenuto da se **slučajni kvarovi** javljaju nasumce, bez ikakva pravila i neočekivano. Slično se ponašaju i **početni kvarovi**. U ovoj prigodi oni potonji nas previše ne zanimaju, jer se u načelu uspješno otklanjaju na teret brodogradilišta kroz relativno kratki garancijski period. Koncentrirat ćemo se stoga na slučajne kvarove koji prate brod kroz cijeli njegov vijek i ne mogu se ni najboljim održavanjem spriječiti. Oni spadaju u slučajna zbivanja odnosno u stohastičke procese i imaju svoju vlastitu karakterističnu raspodjelu koja se razlikuje od one koja karakterizira kvarove zbog dotrajalosti. Oni slijede **eksponencijsku distribuciju**. Prosječni broj kvarova na sat (ili na dan) naziva se **indeksom kvarova** ( $\gg \lambda \ll$ ), a njegova recipročna vrijednost **prosječnim vremenom između kvarova** ( $\gg m \ll$ ). Ponašanje slučajnih kvarova najbolje se vidi iz krivulje pouzdanosti ( $\gg R \ll$ ), koja je prikazana u sl. 2, kao i usporedbom s krivuljom pouzdanosti za kvarove zbog dotrajalosti na sl. 3.

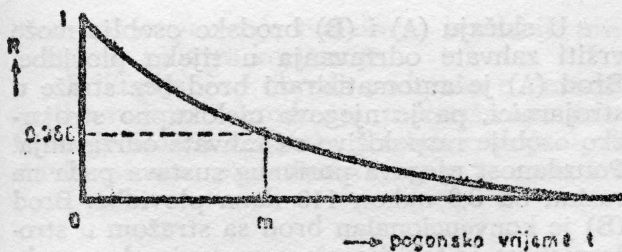
<sup>1</sup> Kvarovi koji su u terminologiji osiguranja poznati pod nazivom »skrivena mana« mogu se, dakle, svrstati ili u početne ili u slučajne kvarove.

<sup>2</sup> Ovo jednako vrijedi i za sve kopnene uređaje i sustave kojim sudjeluju u sigurnosti pomorskog prometa.



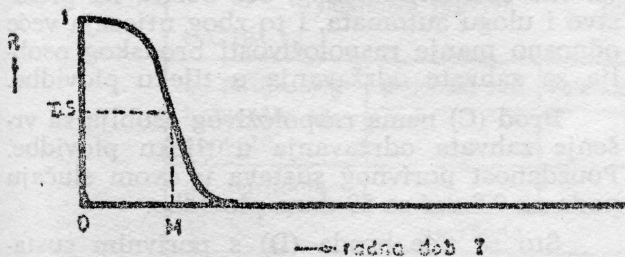
Brodska radiostanica





Krivulja pouzdanosti eksponencijalne distribucije

Sl. 2



Krivulja pouzdanosti normalne distribucije

Sl. 3

Iz krivulja je vidljivo da pouzdanost kod slučajnih kvarova u početku opada naglje nego ona kod kvarova zbog dotrajalosti, i da se, od početne 100%-tne pouzdanosti pri puštanju komponente u rad, kroz period koji je jednak prosječnom vremenu između kvarova (»m«) svede na svega 36,8%.

Slučajni se kvarovi ne mogu spriječiti. No, ono što se može i što valja spriječiti, to su situacije u kojima takav kvar može ugroziti sigurnost broda i plovidbe i postati uzrokom pomorske nezgode ili nesreće. To se postiže na tri načina.

Prvi i svakako najprirodniji način je taj da se izradi uređaj velike pouzdanosti, odnosno da prosječno vrijeme između (slučajnih) kvarova takvog uređaja bude veliko. Ovdje valja pripomenuti da pojam pouzdanosti nije identičan ni s pojmom (dobre) kvalitete. Sva ispitivanja i pokusi koji se danas provode u tvornicama i brodogradilištima zapravo su provjera kvalitete proizvoda. Provjere za utvrđivanje pouzdanosti uređaja danas se za potrebe trgovačke mornarice praktički nigdje ne vrše, a veliko je pitanje da li će se, zbog složenosti, cijene i trajanja, takve provjere ikad u tvornici i vršiti.

Drugi način da se izbjegne iznenadnim zastojima nekog sustava sastoji se u uvođenju tzv. **zalihosti** (redundancy). To znači da se umjesto jednog uređaja koji je neophodan za funkcioniranje nekog sustava ugrade dva ili više identičnih uređaja, s tim da dok jedan radi ostali miruju i služe kao pričuva za slu-

čaj kvara. Ako je indeks kvarova ovih uređaja » $\lambda$ «, onda će prosječno vrijeme između kvarova sustava (»m«) biti:

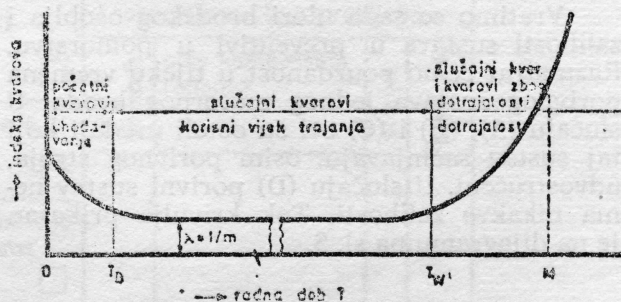
za sustav s jednostrukim uređajem  $\frac{1}{\lambda}$

za sustav s dvostrukim uređajem  $\frac{2}{\lambda}$  itd.

odnosno dvostruko u slučaju ugrađenog dvostrukog uređaja, trostruko u slučaju ugrađenog trostrukog uređaja itd.

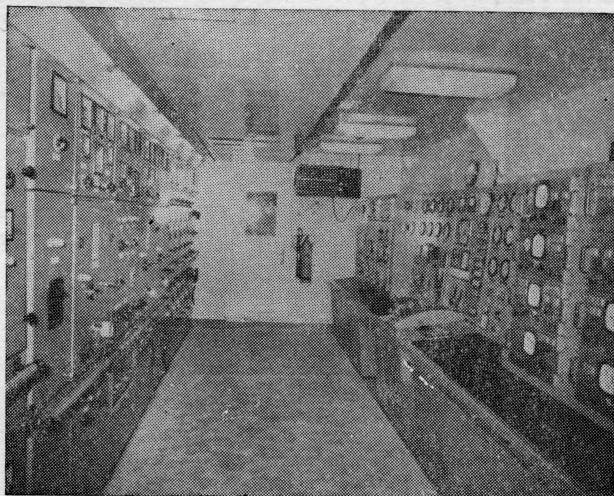
Ako još uz zalihost u sustavu postoji među brodskom posadom i raspoloživo stručno osoblje koje može nastali kvar otkloniti u relativno kratkom vremenu, kao i odgovarajući doknadni dijelovi, velika je vjerojatnost da takav sustav neće u radu nikad zatajiti. Mogućnost održavanja u tijeku plovidbe svih uređaja koji posjeduju zalihost (a praktički i svih ostalih) predstavlja dakle treći osnovni pristup u prevenciji pomorskih nezgoda i nesreća.

Kvarovi se u tijeku vijeka broda raspoređuju prema tzv. »krivulji čamca« koja je prikazana u sl. 4.

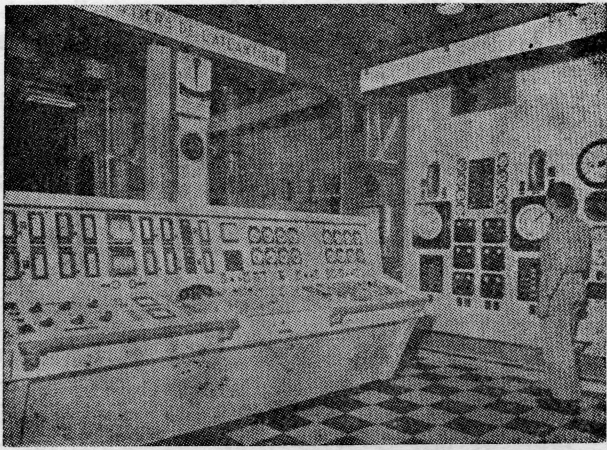


Sl. 4

U prvo je vrijeme indeks kvarova visok, no, kako protječe period uhadavanja on naglo opada. Ovdje se radi o početnim kvarovima koji se postupno otklanjaju i kad se jednom otklone više se ne javljaju. Zatim nastupa relativno dugi period vrlo niskog i konstantnog indeksa kvarova. Konstantnost indeksa kvarova



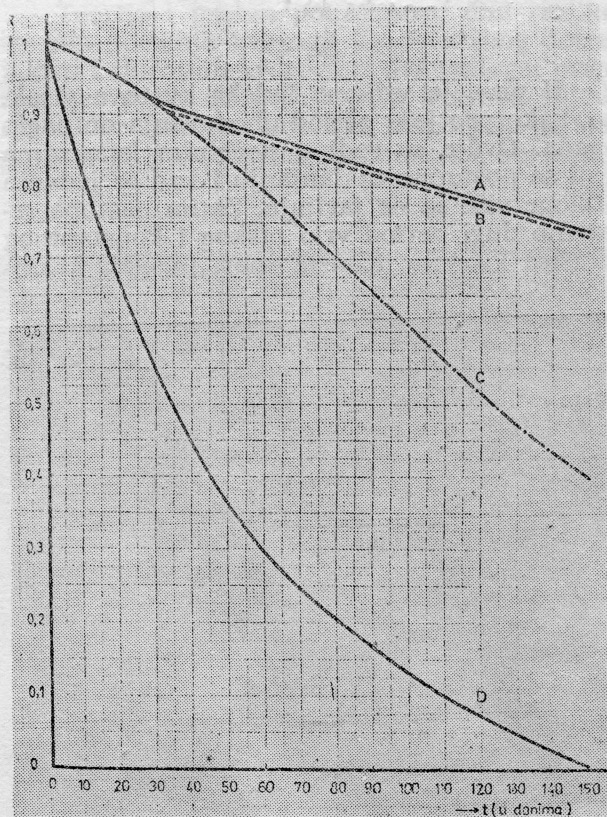
Komandni pult strojnice i glavna razvodna tabla



Kontrolna prostorija strojarice automatiziranog broda

va značajka je slučajnih kvarova svake velike populacije. Na kraju indeks kvarova počinje opet naglo rasti. To je period kad kvarovi zbog dotrajalosti igraju presudnu ulogu.<sup>3</sup>

Vratimo se sada ulozi brodskog osoblja i zalihosti sustava u preventivi u pomorstvu. Razmatrat ćemo pouzdanost u tijeku vremena porivnog sustava jednog motornog broda. U slučaju (A), (B) i (C) svi su ostali uređaji koji taj sustav sačinjavaju, osim porivnog stroja, udvostručeni. U slučaju (D) porivni sustav nema nikakve zalihosti. Tok krivulja prikazan je na dijagramu na sl. 5.



Sl. 5

U slučaju (A) i (B) brodsko osoblje može vršiti zahvate održavanja u tijeku plovidbe. Brod (A) je automatizirani brod bez straže u strojarnici, pa je njegovo cjelokupno strojarско osoblje raspoloživo za zahvate održavanja. Pouzdanost njegova porivnog sustava pada na razinu od 0,8 nakon 110 dana plovidbe. Brod (B) je konvencionalan brod sa stražom u strojarnici, pa je tek dio njegova strojarскоg osoblja raspoloživ za zahvate održavanja. Pouzdanost porivnog sustava ovakvog broda pada na 0,8 kroz 100 dana plovidbe.

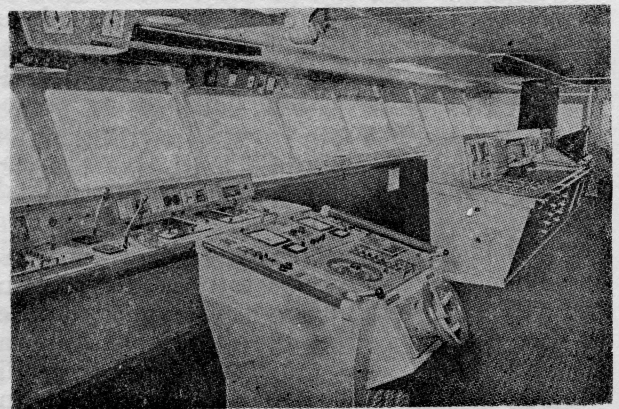
To pokazuje da je pouzdanost (identičnog) porivnog sustava automatiziranog broda veća od one konvencionalnog, bez obzira na prisustvo i ulogu automata, i to zbog utjecaja veće odnosno manje raspoloživosti brodskog osoblja za zahvate održavanja u tijeku plovidbe.

Brod (C) nema raspoloživog osoblja za vršenje zahvata održavanja u tijeku plovidbe. Pouzdanost porivnog sustava u ovom slučaju pada na 0,8 već za 59 dana plovidbe.

Što se tiče broda (D) s porivnim sustavom bez zalihosti (pa prema tome i bez mogućnosti održavanja u tijeku plovidbe) pouzdanost takvog sustava pada na 0,8 već nakon 11 dana plovidbe.

Problem znanstvenog pristupa preventivi u pomorstvu leži danas u nepoznavanju osnovnih pokazatelja pouzdanosti brodskih uređaja, kao što su indeks kvarova odnosno prosječno vrijeme između kvarova i prosječni vijek trajanja. Već je ranije rečeno da su pokusi pouzdanosti složeni, skupi i dugotrajni, te da se za uređaje na trgovačkim brodovima ne primjenjuju. Teško je vjerovati da će oni ikad postati dijelom standardnih tvorničkih ispitivanja osim pod prisilom neke međunarodne konvencije. No ni to, zbog raznih okolnosti, nije za očekivati. Tako nam kao jedina moguć-

<sup>3</sup> Tehnički sustav koji se redovno održava nikad ne stari. To je teorijska postavka koja se u praksi može održati. U tom slučaju troškovi održavanja slijedit će zakonitost »krivulje čamca«, tj. u periodu gdje dotrajalost počinje igrati presudnu ulogu oni će naglo rasti.



Dio zapovjedničkog mosta s kontrolama



nost ostaje praćenje ponašanja brodskih uređaja kroz njihovo korištenje.

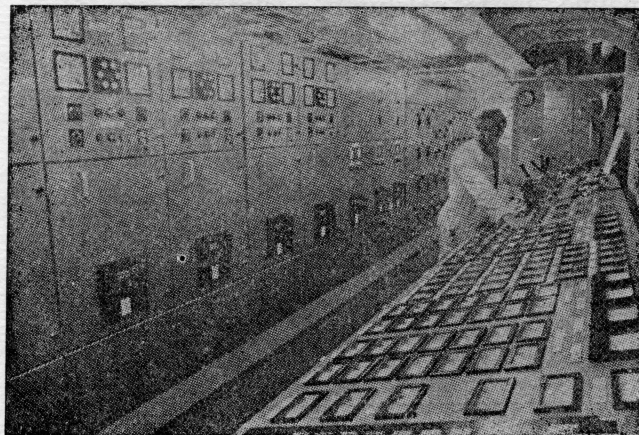
Prikupljanje i obrada podataka o pouzdanosti uređaja s brodovlja u korištenju relativno je složen zadatak. Naglasak valja ipak staviti na ono »relativno«. Tome se zadatku,

naime, može pristupiti i složeno i pojednostavljeno. Ako prikupljanjem tih podataka želimo izvući sve one pokazatelje za koje postoji objektivna mogućnost da budu izvučeni, onda je to složen pristup, kako u fazi prikupljanja tako i u fazi obrade. Ako, pak, želimo doznati

ime (naziv)		šifra		IZVJEŠTAJ O ZAHVATU ODRŽAVANJA NA UREĐAJU				
BROD :								
UREĐAJ :								
nastanka prekida		početka zahvata		svršetka zahvata				
DATUM :								
od posljednjeg preventivnog zahvata		pogonski sati	kalendarski dani		komponente (dijelovi)			
od ugradnje					oznake stanja: 1-slomljena 2-sasvim dotrajala 3-dijelom dotrajala			
izvršeno				oznake postupka:				
brodskim osobljem		kopnom radionicom	zajednički		4-obnovljena 5-popravljena			
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		broj komada	opis komponente (dijela)	stanje	postupak
u plovidbi	u luci	na sidrištu	preventivni	zbog uočene smetnje				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	radi servisiranja po uputama				
			korektivni	uspio				
			<input type="checkbox"/>	neuspio				
utrošeni radni sati broskog osoblja								
ukupni :		po strukama :						
trajanje zahvata u (tekućim) satima :								
zastoj broda								
bez zastoja <input type="checkbox"/>		zastoj u satima :						
potanji opis zahvata s eventualnim primjedbama o uzroku kvara :								

Datum sastavljanja izvještaja :

Potpis odgovornih osoba :



*Kontrolna tabla za glavne strojeve u strojarnici jednog putničkog giganta*

samo pouzdanost pojedinog uređaja na našem brodovlju, bez obzira na bilo kakve okolnosti onda je zadatak uvelike pojednostavljen. To znači da će se na taj način dobiti podaci o pouzdanosti pojedinog uređaja ugrađenog na brodovlju u promatranom uzorku bez mogućnosti bilo kakve daljnje analize. Pa iako to na prvi pogled izgleda malo i neće sigurno zadovoljiti proizvođače uređaja (ali će eventualno potaknuti njihov interes za utvrđivanje pouzdanosti vlastitog proizvoda radi boljeg plasmana na tržištu), ipak je sasvim dovoljno za znanstveni pristup preventivi u pomorstvu.

Ovdje valja posebno naglasiti da se pri prikupljanju mora obuhvatiti svaki kvar svih uređaja za koje je dogovoreno da se promatraju, bez obzira na njegov uzrok i posljedice, bez obzira čak da li je on uređaju inherentan ili ne. Uzrok i posljedica ako su poznati, valja da budu navedeni, no stvar je kasnije obrade i analize da ih verificira i kvarove svrsta u rezultirajuće kategorije. U ovom kontekstu, prikupljanje podataka o »avarijama«, što pokušava činiti Jugoregistar, nema očito praktične koristi, zbog nepotpunosti u registriranju pojava i krajnje relativnosti pojma »avarija«.

Na sl. 6 predložio bih moguć obrazac za prikupljanje podataka o ponašanju brodskih uređaja u tijeku korištenja. Kako je iz samog obrasca vidljivo, ovakav pristup ne zahtijeva neku opsežniju pripremu, a omogućuje prilično široku analizu. Na ovaj način prikupljeni podaci, i odgovarajuće obrađeni, dali bi dovoljno široku i valjanu osnovu za traženi pristup preventive u pomorstvu. A jedini je za pravo ozbiljniji uvjet dogovorna akcija svih naših brodarskih radnih organizacija, kako bi uzorak ispitivanog brodovlja bio što reprezentativniji. Uz to valja još napomenuti da u pomanjkanju tuđih iskustava i vlastito iskustvo predstavlja i za sve druge valjan kriterij.

#### LITERATURA

1. I. BAZOVSKY: »Reliability Theory and Practice« Prentice Hall Space Technology Series, New Jersey, 1961.
2. »Reliability and Maintainability Engineering in the Marine Industry«. Technical and Research Bulletin No. 32, prepared by Panel M — 22 (Reliability and Maintainability) of the Ships Machinery Committee; The Society of Naval Architects and Marine Engineers, N. Y. 1971.
3. H. TAMAKI, K. KUROSU, N. KAGOSHIMA, H. ILIJIMA: »An Analysis on Casualties in Ship Operation«. Bulletin of the M. E. S. J., Vol. 6, No. 4, December 1978.
4. H. TAMAKI, K. KUROSU: »A Data Bank of Marine Engine Failures and its Application to Improve Availability«, ISME, Tokyo, 1978.
5. M. HORIGOME, M. KASAI: »Application of Autoregressive Model to Failure Data of Marine Use Mechanical Parts«. Bulletin of the M. E. S. J., Vol. 7, No. 1, March 1979.
6. J. LOVRIC: »O pouzdanosti, raspoloživosti i uporabivosti broda«, III Simpozij »Teorija i praksa brodogradnje«, Zagreb 1978.
7. J. LOVRIC: »O tehnologiji i organizaciji održavanja brodskih sustava«. Časopis »Naše more«, br. 4, prosinac 1979.
8. J. LOVRIC: »Sposobnost održavanja brodskih sustava«. IV Simpozij »Teorija i praksa brodogradnje«, Opatija 1980.
9. J. LOVRIC: »Optimalizacija osnivanja i korištenja broda primjenom analize pouzdanosti brodskih sustava«. Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1980.



**CROATIA**  
zajednica osiguranja  
imovine i osoba n.sol.o.

**DUBROVNIK**

**PUT MARŠALA TITA 69**

OSIGURANJE ROBE U POMORSKOM, KOPNENOM I  
ZRAČNOM PRIJEVOZU, OSIGURANJE BRODOVA I  
USLUGE STRANIM OSIGURAVAJUĆIM DRUŠTVIMA.