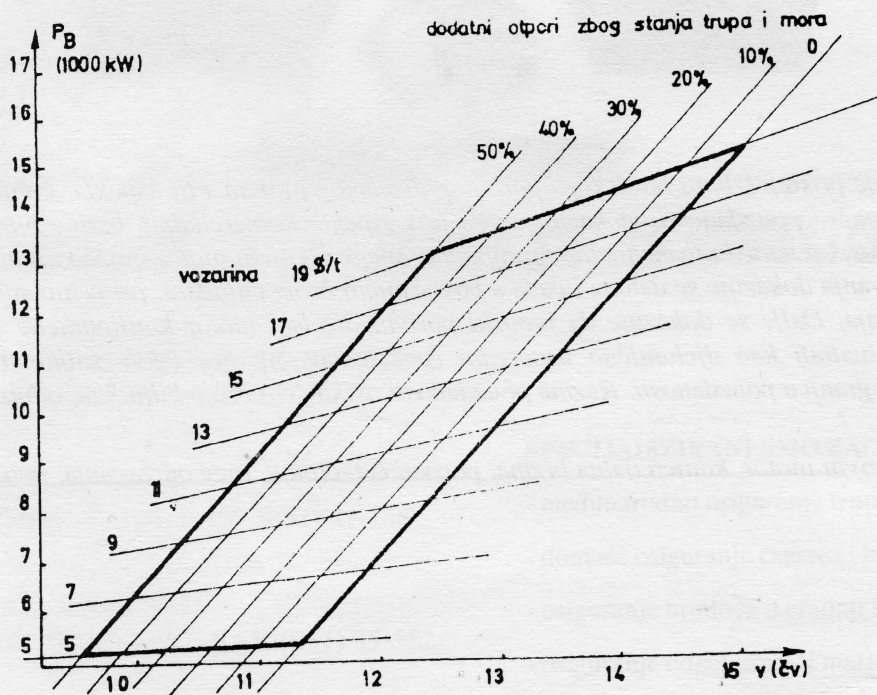


birati između motora s većom snagom po cilindru i motora s većim brojem cilindara. Taj izbor svakako ne može i ne smije biti proizvoljan, već se mora izvršiti na temelju zaključaka koji su rezultat neke analize.

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 to 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 trupa, vijka, te o stanju vjetrova 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) i na prijevozu žitarica, a prema scenariju koji se odigrao na tržištu u razdoblju od 1977. (fr 5 \$/t) do 1980. (fr 19 \$/t), pokazala je rezultate⁴ koji su dani u dijagramu na slici 1.



Slika 1. J. Lovrić: *Osnove brodске terotehnologije*, Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989., str. 9.

Kod vozarinske stavke od 19 \$/t, uz uvjet čistoga podvodnog brodskoga dijela i mirnog mora, komercijalna brzina broda trebala bi dosežati 15 čv, što bi zahtijevalo porivni dizelski motor od oko 15 000 kW. Kod iste vozarinske stavke, ali uz dodatni otpor zbog pogoršanog stanja trupa i mora od 50%, valjalo bi sniziti snagu 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 \$/t i istim idealnim uvjetima trupa 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: *Metoda 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 biti određen krajnjim mogućnostima ponudnog 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 broskog 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 odabiru porivnoga dizelskog motora, bez obzira na izabrano područje snage, nedvojbenu prednost ima onaj sporookretni s dugim stapajem, i to zbog "elastičnosti", ekonomičnosti i malog broja okretaja (η broskog vijka). Svakako, ako se pri tome ne ispriječe neke posebne okolnosti odnosno, ograničenja kao što je visina i duljina strojarnice, (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 odlučiti 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 terotehnološkog razmišljanja.

Za sporookretne brodske dizelske motore duga stapaja danas se realno može računati s konfiguracijama od četiri do dvanaest (pa i više) cilindara. Sa stajališta radnog angažmana broskog osoblja u održavanju motora, što ima izravna utjecaja na ukupni terotehnološki proces na brodu, odnosno brodsku *moć održavanja*⁷, konfiguracija s manjim brojem cilindara je povoljnija. Jednadžba moći održavanja glasi:

$$W_p \geq \sum \lambda_{pi} \varphi_{pi} \quad [1]$$

W_p - raspoloživi (godišnji) fond radnih sati broskog osoblja za periodično održavanje

λ_{pi} - planirani (godišnji) indeks zahvata po uređaju (jedinici)

φ_{pi} - prosječni rad periodičnog zahvata po uređaju (jedinici) u radnim satima

Ako se iz općeg koncepta održavanja brodskih sustava izdvoji porivni motor, onda je W_{pm} potreban godišnji fond radnih sati broskog 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 "Argosy" broda velike širine i malog gaza, za rasute tereta*, Zbornik VI. simpozija "Teorija i praksa brodogradnje" 17.-19.5.1984., svezak I., str. 1.108.

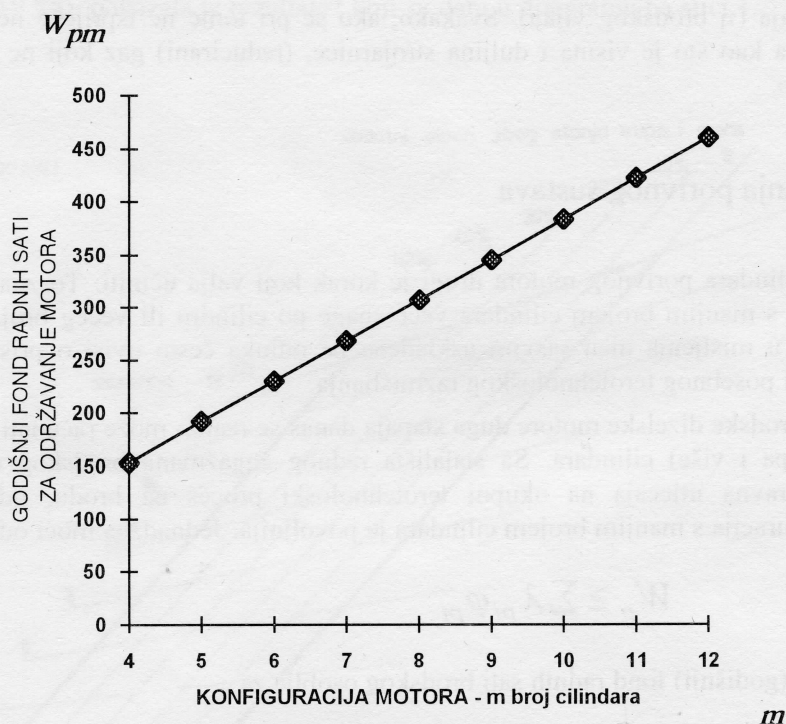
⁷ J. Lovrić: *Osnove brodske terotehnologije*, Pomorski fakultet Dubrovnik 1989., str. 83.

Napisana u takvu obliku, jednačnja 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

$$\lambda_{pc} = 4818:5000 = 0,96 \quad [3]$$

Potreban godišnji fond radnih sati brodskog osoblja za periodično održavanje porivnog motora, u ovisnosti o broju cilindara, prema jednačnji [2] za ovaj slučaj izračunan 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 cilindara 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 stapaja 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 cilindara motora spojenih u seriju. Budući da je m ukupni broj cilindara 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 cilindara:

$$R (k=4) = 0,95^4 = 0,8145062$$

$$R (k=5) = 0,95^5 = 0,7737809$$

$$R (k=6) = 0,95^6 = 0,7350918$$

$$R (k=7) = 0,95^7 = 0,6983372$$

$$R (k=8) = 0,95^8 = 0,6634203$$

$$R (k=9) = 0,95^9 = 0,6302494$$

$$R (k=10) = 0,95^{10} = 0,5987369$$

$$R (k=11) = 0,95^{11} = 0,5688000$$

$$R (k=12) = 0,95^{12} = 0,5403600$$

Iz rezultata se vidi da pouzdanost motora opada s povećanjem broja cilindara. 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 iskorišćavanja 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 cilindara 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 zastoj 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 brodske dizelske motora izračunava se po Bernoullijevoj formuli za binomnu razdiobu, koja glasi:

$$R = P(X \leq k) = \sum_{x=k}^m \binom{m}{x} \cdot p^x \cdot q^{m-x} \quad [7]$$

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:

$$R[(m-1) \leq k \leq m] = \sum_{x=m-1}^m \binom{m}{x} \cdot p^x \cdot q^{m-x}; \text{ uz } p=0,95 \quad [8]$$

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 I. Bazovsky: *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 cilindara. To znači da logika koja se nametala pristupom motoru kao čisto serijskom (pod)sustavu više ne vrijedi, odnosno da za bolju operativnu pouzdanost porivnog motora ipak nije najbitnije smanjiti broj cilindara na minimum. Taj će zaključak dobiti još jaču potkrepu kroz iduće razmatranje.

Dizelski motori konfiguracije od šest cilindara 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 cilindara 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 $R_d=0,96$ 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.

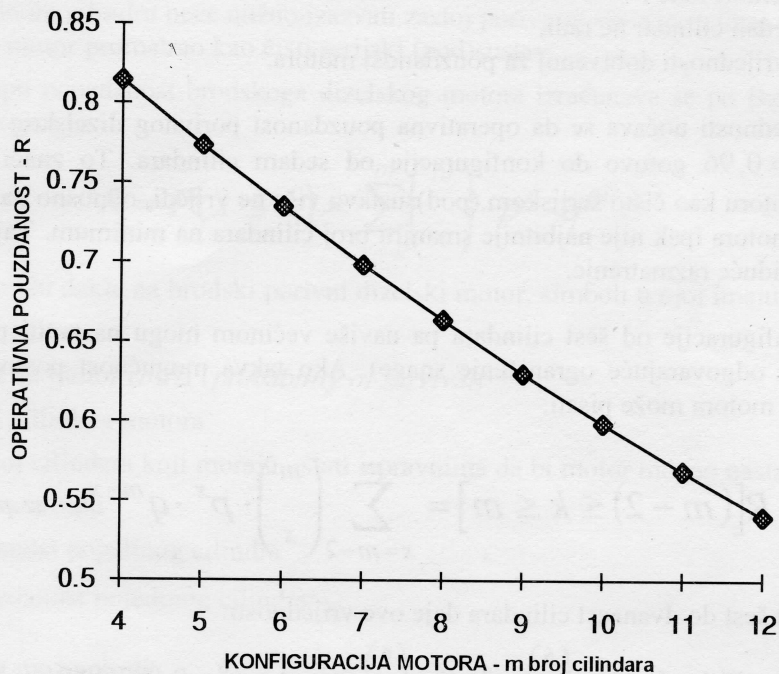
Na slici 3. i 4. prikazan je tijek krivulja izračunanih vrijednosti za operativnu pouzdanost broskog porivnog sporookretnog dizelskog motora duga stapaja za konfiguraciju od četiri do dvanaest cilindara ovisno o broju cilindara, tretirajući ga kao:

Slika 3. a - serijski (pod)sustav

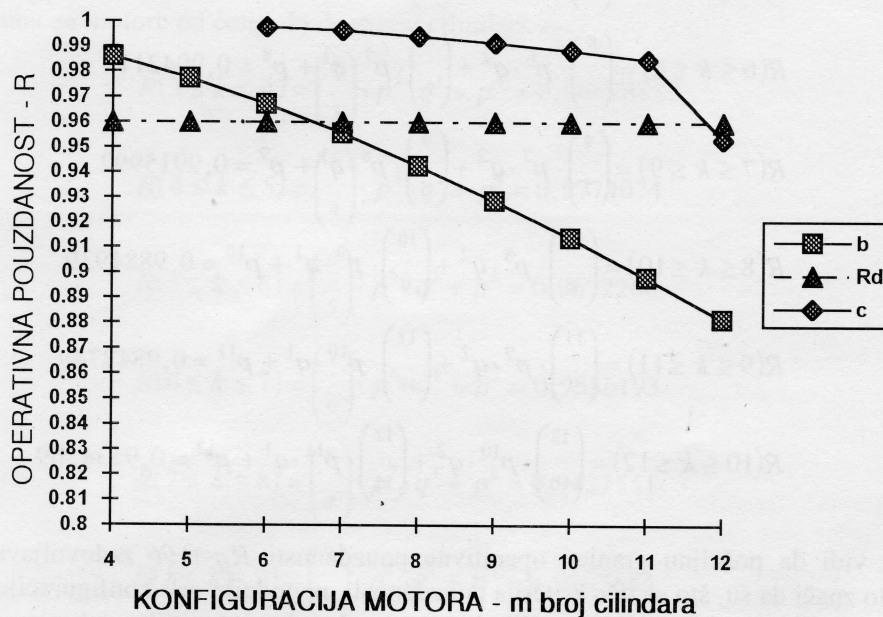
Slika 4. b - djelomično usporedni (pod)sustav s mogućnošću (nastavka) rada s *jednim* isključenim cilindrom

c - djelomično usporedni (pod)sustav s mogućnošću (nastavka) rada s *dva* isključena cilindra

Ucertana 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 šestocilindarski brodski porivni dizelski motor; ta je konfiguracija vrlo česta na brodovima. Takav se motor smije promatrati kao djelomično usporedni (pod)sustav koji može funkcionirati i s dva isključena cilindra. Njegova operativna pouzdanost iznosi $R = 0,99776980$ (uz $p = 0,95$), kako je to prije izračunano. 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:

$$R' = 5p^6 - 14p^5 + 10p^4 \quad [10]$$

što čini:

$$R' = 3,675 - 10,8318 + 8,145 = 0,9882$$

$$R' = 0,9882$$

Ograničenje može biti postroženo tako 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 istraživanja, to jest da je brodski porivni sporookretni dizelski motor zapravo djelomično usporedni (pod)sustav i da u konfiguraciji od četiri cilindra navise 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 vozarinske stavke i uvjetima stanja mora, vjetra 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 tome 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 se onaj motor koji može (nastaviti) funkcionirati s većim brojem isključenih cilindara, tj. sa što većom zalihnošću. Kakvoća se zalihnosti ogleda u ograničenjima; što su ograničenja manja, to je kakvoća zalihnosti 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 Bazovsky: *Reliability Theory and Practice*, Prentice-Hall, New Jersey, 1974.
3. Josip Lovrić: *Osnove 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 maximal and minimal 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 on 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.

LISTA ZA PITANJA I KOMENTARE ZA SUDIONIKE SIMPOZIJA*
(Questions and comments-sheet of paper)

Ime i prezime:

(Name and surname) Mr. Mladen Šuljić, dipl. ing.

Poduzeće - adresa:

(Firm - address) Brodarski institut - Zagreb

Kome se pitanje,

komentar upućuje: Prof. dr. Josip Lovrić

(Who is in the question,

Comment directed by) Pristup izboru porivnog motora radi optimalizacije iskorištavanja teretnog broda

Pitanje-komentar:

(Question-comment)

1) Pristup ugovaranju porivnog motora po zahtijevanom području rada, umjesto po brzini broda na mjernoj milji, svakako je zanimljiv i može brodovlasniku donijeti određenu korist. Ukoliko se međutim ugovor između brodovlasnika i brodogradilišta ne temelji na uskoj suradnji i apsolutnom povjerenju, valja razmisliti koji se parametri moraju unijeti u ugovor umjesto brzine na mjernoj milji, da bi u slučaju spora bilo jednoznačno izmjerljivo jesu li ugovorne obveze glede propulzije ispunjene ili nisu. Ima li autor u tom smislu razrađen prijedlog?

2) Koliko god porivni motor ima manji broj cilindara, to pri ispadanju jednog cilindra iz rada dolazi do postotno većeg gubitka snage pa je i pad brzine broda veći, a time je veće i kašnjenje u isporuci tereta. Ako se radi ekonomska optimalizacija broja cilindara porivnog motora, tada treba u račun uzeti i vrijednost izgubljenog vremena zbog pada brzine, te eventualne izravne troškove nastale zbog kasnije isporuke pokvarljivog ili posebno vrijednog tereta.

Prof. dr. Josip Lovrić

ODGOVOR:

ad 1) Ako brodovlasnik želi izgraditi brod izvan programa što ga nudi brodogradilište, onda mora definirati svoj projektni zahtjev. Logična je pretpostavka da brodovlasnik ima službu, svoju ili konzultantsku, koja će taj projektni zahtjev i razraditi. U svom pristupu on pokazuje da pozna povijest kretanja (osciliranja) vozarinskih stavki na relevantnim prevoznim pravcima u zadnjih dvadesetak godina i da je izradio svoju prognostičku krivulju za idućih dvadesetak godina. Zatim očito je da on ima podatke o količinama tereta koje se prosječno nude za jedan utovar, o dubinama luka u koje će brod pristajati i o

* Referat izložen na XI. simpoziju "Teorija i praksa brodogradnje - in memoriam prof. Leopoldu Sorti", održanom na Pomorskom fakultetu u Dubrovniku od 19. do 21. svibnja 1994.

ostalim mogućim ograničenjima. Ako ovo ne može ostvariti, onda o ovakvom pristupu nema ni govora, već je najbolje da izabere jedan od brodova što ih brodogradilište nudi u svom programu.

Ako je, pak, brodovlasnik elaborirao opisani dio projektnog zahtjeva, dovršit će ga na taj način što će ga dostaviti brodogradilištu i zatražiti da mu ono na toj osnovi izgradi brod koji će mu svojim vijekom trajanja donijeti najveći profit. Tad bi na brodogradilištu bilo da uradi sve ono drugo što u ovakvu pristupu ostaje i da u učinkovitost takva projekta uvjeri brodovlasnika. Ugovor o gradnji tad može biti klasičan: sadržavao bi glavne izmjere broda, nosivost, snagu i tip porivnog motora te brzinu pri dogovorenoj snazi i drugo što već uz to ide.

Postavljeno pitanje, međutim, upire prstom u jednu prijelaznu fazu cijele opisane operacije. Naime, elaborirati projektni zahtjev kojemu je krajnji cilj osnovati najprofitabilniji brod, kompleksan je pothvat koji zadire u područje ekonomike brodarstva i druga područja tzv. pomorskih znanosti, te u brodogradnju i sva ona područja s tim pojmom povezana. Bilo bi vrlo korisno i s više izgleda na optimalno rješenje kad bi brodovlasnik i brodogradilište u tom pothvatu čvrsto surađivali. Budući da za sve to treba i neko vrijeme, nameće se pitanje trenutka potpisivanja ugovora. Ako je to na kraju cijelog procesa, onda je riječ o već spomenutoj situaciji s klasičnim ugovorom o gradnji broda. No, ukoliko se, recimo, brodovlasnik i brodogradilište ne nagode oko cijene broda, onda je cijeli trošak elaboracije (uključujući i modelska ispitivanja itd.) ostao brodogradilištu kao (trenutno) nenaplativ trošak. Moguće je, dakako, da brodovlasnik i brodogradilište dijele taj trošak bez obzira na to hoće li taj napor rezultirati konačnim ugovorom o gradnji. Takva će kombinacija biti ipak iznimna jer nije u prirodi brodovlasništva da financira istraživanja za gradnju broda kojega niti može niti želi imati autorsko pravo. Najrealnije je, ipak, da se brodovlasnik i brodogradilište dogovore negdje u početku procesa o nekoj okvirnoj cijeni broda i da brodovlasnik uputi brodogradilištu "pismo namjere" (*letter of intent*) samo s tipom i približnom nosivošću broda. Rizik da neće doći do potpisa ugovora o gradnji na kraju procesa definiranja broda, tada je malen.

ad 2) Primjedba je sasvim ispravna. Što je manji broj cilindara brodskom porivnom motoru ispad iz rada jednog cilindra uzrokovat će veće smanjenje porivne snage, a time i veći pad brzine, koja će se tako više udaljiti od one komercijalne. Ovdje treba dakle staviti u odnos uštedu u troškovima zahvata održavanja (onih izravnih i eventualno onih i neizravnih - troškova zastoja) s mogućim troškovima zbog kašnjenja broda na odredište (i s eventualnim komplikacijama s tim u vezi). Ušteda u troškovima održavanja ubraja se u područje izvjesnosti, dok zakašnjenje (zastoj) pripada u području vjerojatnosti. Pouzdanost porivnoga broskog motora može se izraziti i kao "vjerojatnost da će izdržati". Što je veći broj cilindara porivnom motoru, to je pouzdanost manja u pristupu motoru kao serijskom sustavu i vjerojatnost da jedan cilindar zakaže time je veća. Tako se gubi prednost većeg broja cilindara, koja se manifestira u manjem gubitku brzine pri ispadu jednog cilindra, jer je uz veći broj cilindara mogućnost kvara na cilindru češća.

Držim da je realnije pristupiti brodskom porivnom dizelskom motoru kao djelomično usporednom (pod)sustavu s mogućnošću (nastavka) rada s jednim ili dva (ili, ovisno u veličini konfiguracije, i više) isključena cilindra. U tom kontekstu, kad bi se radilo o brodu za prijevoz skupih ili pokvarljivih tereta, prednost bih dao porivnom motoru šestocilindarske konfiguracije zbog velike (operativne) pouzdanosti i relativno malog utjecaja na "moć održavanja".

