

# Nužnost uvođenja teorije pomorstvenosti broda u nastavu na našim pomorskim fakultetima

UDK 378.096:656.61:532.583/.593

## Sažetak

U drugoj polovici ovog stoljeća pojavili su se mnogi novi tipovi brodova kod kojih se traže određena ograničenja njihanja, rijetko udaranje ili zalivanje, neznatna ubrzanja, i t.d., pri plovidbi u olujama. Na nekim od njih se ugrađuju naprave za upravljanje tim parametrima. Pomoću metoda teorije pomorstvenosti, koja je od 1970. na ovamo uvedena na brodograđevne fakultete, te se pojave mogu izračunati numeričkim metodama, a rezultate predočiti u tz. dijagramima držanja. U međuvremenu se je promijenio i status nautičara, zbog čega oni imaju sve manje iskustva plovidbe u oluji s ravnovrsnim tipovima brodova na koje se ukrcavaju. Uz to dosadašnja nastava na pomorskim učilištima daje prilično oskudna znanja o pet osnovnih svojstava broda, i samo opće preporuke o manevriranju brodom u oluji. Sve ovo aktualizira potrebu proširenja teoretskog znanja nautičara u ovom području, kako bi i tu uhvatili korak s postojećim standardom znanja.

## 1. Uvodne napomene

1. 1. Izraz **pomorstvenost** općenito pokriva proučavanje držanja (funkcioniranja) i osnovnih svojstava broda na valovlju.

Pridjev **pomorstven** označuje sposobnost broda da održi normalne funkcije na valovlju. Postoji i izraz **postojanost** — (Seakindliness) koji označava

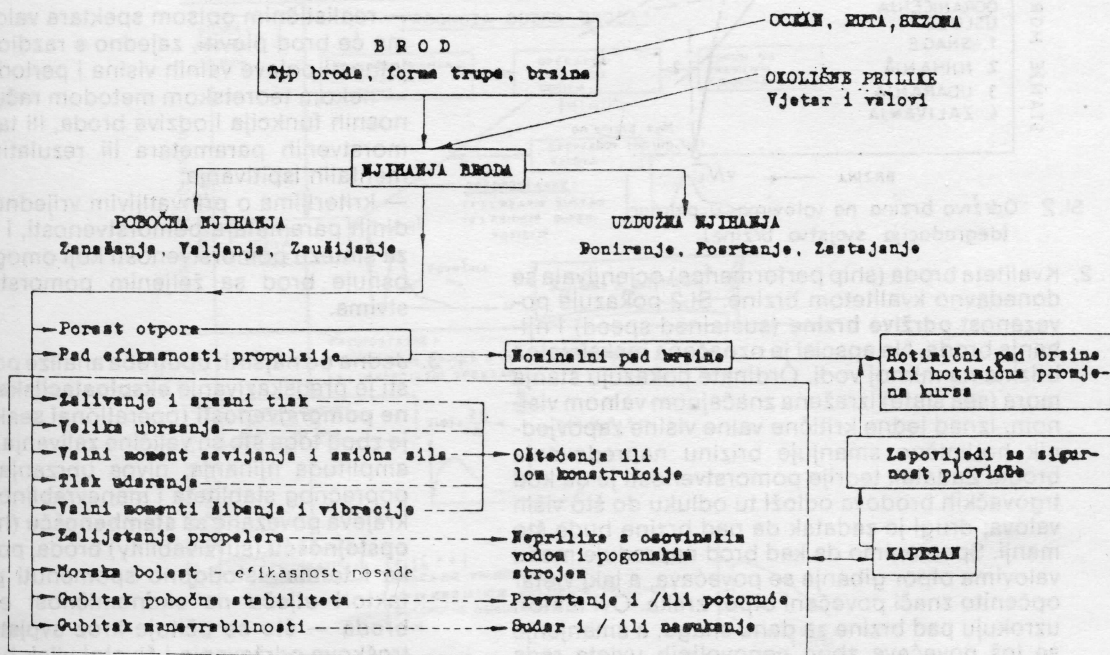
svojstvo udobnog držanja broda na valovlju, drugim riječima — svojstvo sporih njihanja. Izraz **njihanja** označuje naročite oblike gibanja — **oscilatorna gibanja** (oscilatory motions).

Promatranje Sl.1 pokazuje da teorija pomorstvenosti obuhvaća svih pet **osnovnih** (pomorskih) svojstava broda: plovnost, stabilitet, njihanje, brzina (hodnost) i kormilarenje.

Ovih pet osnovnih svojstava su također predmet Teorije broda koja ih, međutim, razmatra na mirnoj vodi i nezavisno jedno od drugog. Teorija broda je znanost o **pomorskim svojstvima** broda (seagoing qualities) na mirnoj vodi. Ona proučava zakone kojima se ta svojstva pokoravaju, ustanovljuje elemente s kojima se ta svojstva definiraju, te razrađuje računске metode za njihovo određivanje.

Naprotiv, teorija pomorstvenosti sva ova svojstva razmatra združeno u uvjetima valovlja, pa govori o **pomorstvenim svojstvima** (seakeeping performance) broda. Dakle, **teorija pomorstvenosti je znanost o pomorstvenim svojstvima broda na valovlju**. Za mjeru pomorstvenosti uzimaju se veličine osnovnih njihanja (nagibanje, poniranje, posrtanje) i parametri koji o njima ovise (pad brzine, udaranje, zalivanje i t.d.).

Proučavanje pojedinih pomorstvenih svojstava nije doseglo istu razinu. Plovnost se razmatra prvenstveno kao rezerva plovnosti kroz određivanje

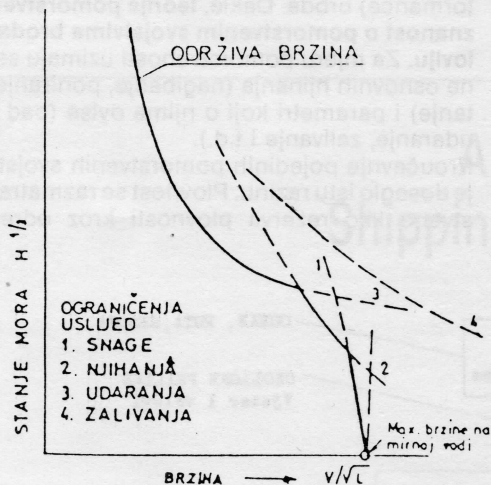


Sl.1 Pomorstvena svojstva (Seakeeping performance)

nadvođa. Stabilitet se unazad nekoliko godina sve češće računa u vezi s njihovim na valovima u krmu. Započeto je i proučavanje kormilarenja na valovlju.

U teoriji pomorstvenosti razmatramo prvenstveno njihanja broda i njihov utjecaj na ostala četiri svojstva. Velike amplitude njihanja nepoželjne su već sa stajališta udobnosti posade i putnika; ovo može biti vrlo značajan faktor u eksploataciji putničkih brodova. Posebno prevelike amplitude nagibanja mogu ugroziti stabilnost tog gibanja i dovesti do prevrtanja broda. Fazni odnosi između raznih njihanja su također važni. Obično je fazni pomak između njihanja takav da se točka minimalnog vertikalnog gibanja nalazi na oko dvije trećine duljine broda od pramca. Ako se želi smanjiti vertikalno gibanje u nekoj točki broda to se može postignuti promjenom faze. Pomicanje faze neumitno dovodi do povećanoga gibanja u nekoj drugoj točki broda.

Glavne primjene stohastičke teorije njihanja broda na nerednom valovlju sastoje se u procjeni tlakova i vjerojatnosti udaranja i zalivanja, u određivanju valnih momenata savijanja, u računanju porasta otpora zbog valovlja, u analizi stabiliteta na valovima u krmu, u ustanovljavanju jednog pokazatelja operativnosti, razmatranjima svih spomenutih pojava koje na neki način ograničavaju brzinu broda ili zahtijevaju skretanje s ustanovljene rute. Svi ovi naslovi uzeti skupa čine predmet Teorije pomorstvenosti, koja u postupnoj izgradnji poprima oblik **Stohastičke teorije broda**.

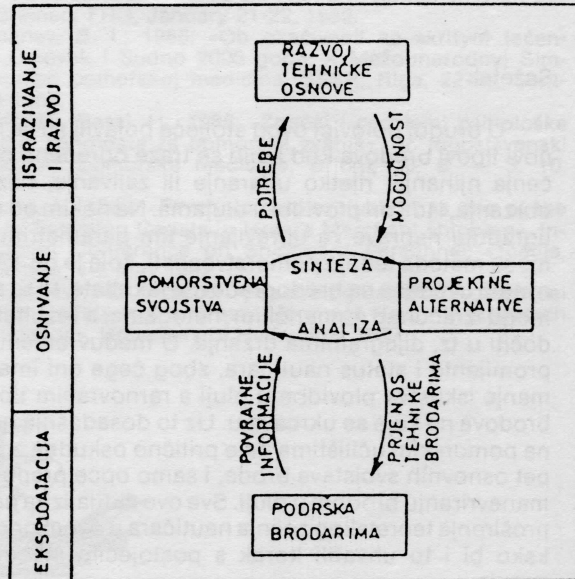


Sl. 2 Održiva brzina na valovima u pramac (degradacija svojstva brzine)

1. 2. Kvaliteta broda (ship performance) ocjenjivala se donedavno kvalitetom brzine. Sl. 2 pokazuje povezanost **održive brzine** (sustained speed) i njihanja broda. Na apscisi je označena maksimalna brzina na mirnoj vodi. Ordinate pokazuju stanja mora (sea state) izražena značajnom valnom visinom. Iznad jedne kritične valne visine zapovjednik hotimično smanjuje brzinu napredovanja broda. Zadatak teorije pomorstvenosti je da kod trgovačkih brodova odloži tu odluku do što viših valova; drugi je zadatak da pad brzine bude što manji. Spomenimo da kad brod napreduje među valovima otpor gibanja se povećava, a jaki vjetar općenito znači povećani otpor zraka. Ovi faktori uzrokuju pad brzine za danu snagu, a smanjenje se još povećava zbog nepovoljnih uvjeta rada propelera.

Ostale nepovoljne pojave u plovidbi po valovlju kao što su njihanja, udaranja i zalivanje obično, ali ne uvijek, mogu se ublažiti promjenom brzine ili kursa.

Pomorstvenost se mora razmatrati u prvim stadijima razrade pretprojekta, jer kad su jednom odabrane dimenzije i raspored masa malo se još može učiniti za poboljšanje pomorstvenosti (vidi Sl. 3)



Sl. 3 Osnivanje pomorstvenosti brodova

Nakon što su putem promjena pretprojekta svojstva (performance) poboljšana koliko god se moglo, stanoviti aspekti pomorstvenosti mogu se dalje poboljšati na pr. ugradnjom stabilizatora; te se naprave mogu ugraditi i nakon što je brod već u službi.

U racionalnom postupku osnivanja pomorstvenosti projektant mora raspolagati slijedećim oruđima:

- realističnim opisom spektara valovlja na kojima će brod ploviti, zajedno s razdiobama vjerojatnosti pojave valnih visina i perioda;
- nekom teoretskom metodom računanja prijenosnih funkcija i odziva broda, ili tablicama pomorstvenih parametara ili rezultatima eksperimentalnih ispitivanja;
- kriterijima o prihvatljivim vrijednostima pojedinih parametara pomorstvenosti, i algoritmima za sintezu pomorstvenosti koji omogućuju da se osnuje brod sa željenim pomorstvenim svojstvima.

1. 3. Jedna od najširih upotreba analize pomorstvenosti je predskazivanje **eksploatacijske** ili **operativne pomorstvenosti** (operational seakeeping). To je zbog toga što su veličine zalivanja, ekstremnih amplituda njihanja, nivoa ubrzanja, smanjenja poprečnog stabiliteta i manevarabilnosti, na kraju krajeva povezane sa **stambenošću** (habitability) i **opstojnošću** (survivability) broda, posade, putnika i tereta. Istodobno spomenuti pomorstveni faktori utječu na ekonomičnost eksploatacije broda — što se očituje kroz svojstva u službi, troškove održavanja i životni vijek broda. Specijalno se mogu analizirati problemi povezani



s utovarom teških i vrijednih tereta kao što su dijelovi procesne industrije i sl. (njihov prijevoz morem ispituju i osiguravajući zavodi). U tom se slučaju analiziraju pitanja kao što su na pr. izbor tipa i veličine broda, ili izbor godišnjeg doba (drugim riječima ili transport kroz cijelu godinu s nekoliko različitih brodova i iskoristiti **najpovoljnije godišnje doba**). Izrađuju se operativne upute za balastiranje broda, upute za neko posebno putovanje ili upute u realnom vremenu tijekom putovanja (na pr. telenja doka).

Premda izraz eksploatacijska pomorstvenost zvuči novo, ona u stvari čini osnovni dio mornarskih znanja i vještina. Tako se pravila klasifikacijskih ustanova temelje na pretpostavci da će brod biti kompetentno vođen, ali se ne definira što se pod tim misli. Očito je da taj izraz nije nužno ograničen na manevriranje u oluji, već uključuje i ostale faktore, kao što su oni koje se tiču stabiliteta, ukrcaja teških tereta, smičnih sila i momenta savijanja uslijed ukrcaja i razdiobe tereta i balasta, te izbjegavanja sudara i nasukanja.

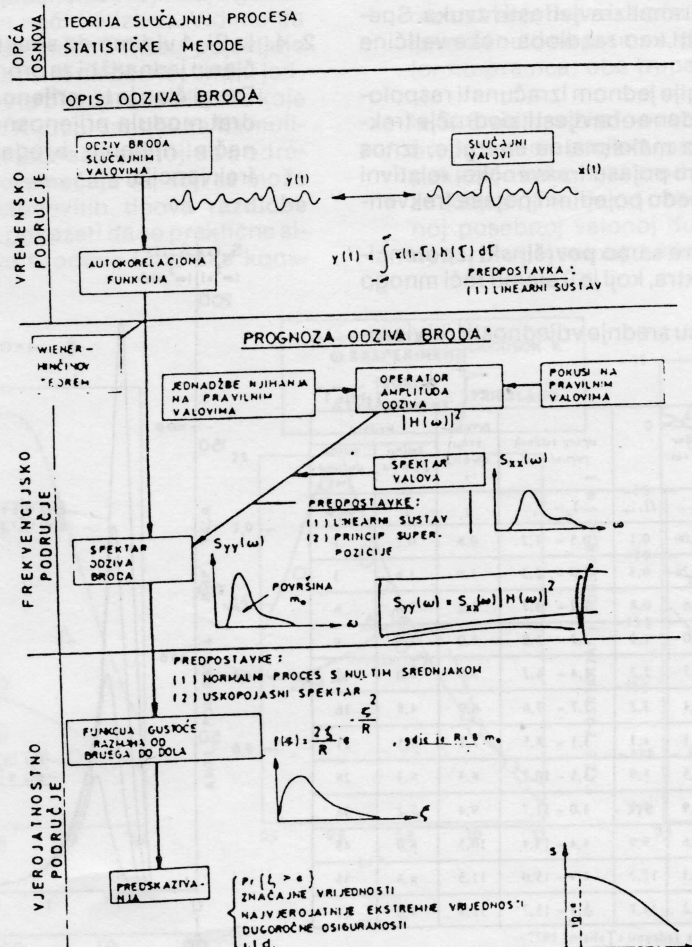
U prošlosti su nautičari kroz višegodišnje ukrcaje stjecali iskustvo u vođenju broda u oluji. Međutim, zadnje je desetljeće vidjelo razvoj nekoliko novih tipova broda kao što su: veliki nosači spremnika, brodovi za prijevoz ukapljenih plinova, supertankeri i OBO-brodovi i drugi, od kojih svaki ima drukčija pomorstvena svojstva i zato zahtijeva individualno vođenje u oluji. Prema to-

me iskustvo stečeno u vođenju jednog tipa broda ne može se u cijelosti iskoristiti na drugom tipu broda.

Možemo navesti još neke razlike zbog kojih nautičari stječu manje iskustvo u plovidbi. Prvi je što su prognoze vremena postale pouzdanije, prekrivaju veća oceanska područja i mogu se primiti na većini brodova, uslijed čega brodovi sve češće izbjegavaju oluje. Drugi je što se društveni status pomoraca mijenja; neki su nautičari ukrcani samo pola godine, a kod ponovnog ukrcanja se ne vraćaju uvijek na isti brod. Konačno nautičke škole i više pomorske škole danas ne pružaju svojim učenicima dovoljno znanja o pomorstvenosti broda, tj. o tome kako forma i dimenzije broda, stanje opterećenja (nakrcanosti), brzina i kurs, te stanje mora utječe na držanje broda na valovima.

1. 4. Pokazat će se da i u području vođenja broda nema ništa praktičnijeg od dobre teorije. Što se zahtijeva od dobre teorije? Traži se da pruži praktički točan opis vjetrova, valovlja i držanja broda na valovlju, da omogući **predskazivanje** tih pojava i konačno **upravljanje** tim procesima.

**Teorija pomorstvenosti** proširuje krug pojava kojima se bavi **teorija broda** i proučava duboko u bit pomorstvenih procesa; na toj osnovi moguće je predskazati držanje broda na valovlju i razraditi preporuke za uspješnu plovidbu broda u oluji, uključivo mjere za osiguranje sigurnosti pri ekstremnim stanjima mora. Prema tome poznavanja zako-



Sl 4 Princip i postupci predskazivanja odziva broda slučajnim valovima prema teoriji St Denis i Piersona

na teorije pomorstvenosti ima ogromnu važnost i za brodograditelje i za moreplovce.

## 2. Principi analize pomorstvenosti

2. 1. Opis, predskazivanje i upravljanje držanjem broda vrši se kao to pokazuje Sl.4, u tri područja: u vremenskom, u frekvencijskom i u statističkom području. Ova tri područja su naprosto različiti matematički modeli jednih te istih pomorstvenih pojava.

Kad se nalazimo na brodu u oluji svoju situaciju možemo predočiti u svakom od ova tri područja. Tako na pr. dok održavamo ravnotežu pomičući svoje tijelo i pridržavajući se nekog rukohvata, moramo strogo voditi računa o stvarnim odzivima broda u svakom trenutku, što je u stvari vizualizacija u vremenskom području.

Dalje možemo vršiti opažanja valovlja ili nekog odziva broda u frekvencijskom području, kao što je na pr. opažanje razlike između prevladavajućeg vjetrorenog valovlja i mrtvih valova, ili uočavanje tendencije broda da se nagiblje sinhrono s valovima neke posebne duljine.

Na kraju možemo ustvrditi da nazočni tip oluje nije neobičan za dotičnu poziciju i sezonu, ili da će brod zalivati svakih toliko minuta, što su sve pojmovi iz statističkih područja.

2. 2. Međutim, u izvornim snimkama posrtanja skriveno je još mnogo informacija; ključ za otkrivanje tih tajnih leži u tzv. spektru energije koje postao osnovna statistika za opis pomorstvenih pojava (proces). On je vrlo sličan poznatim tipovima spektara koje se upotrebljavaju u analizi svjetlosti i zvuka. Spektar se može shvatiti kao razdioba neke veličine prema frekvenciji.

Kad je spektar energije jednom izračunati raspoložive su na uvid određene obavijesti: područje frekvencija, frekvencija maksimalne energije, iznos energije u bilo kojem pojasu frekvencije, relativni odnosi energije između pojedinih pojasa frekvencija.

Ovo, međutim, zadire samo površinski u potencijalnu vrijednost spektra, koji je u stanju reći mnogo više toga.

Općenito statistike su srednje vrijednosti i/ili vjero-

jatnosti da će se stanoviti događaj dogoditi. Međutim, sama srednja vrijednost svih amplituda (ili visina) nije realistična mjera za veličinu njihanja, jer su veće amplitude one koje su opasnije (pogibelnije) od manjih. Zbog toga se upotrebljavaju srednja vrijednost jednog dijela najvećih amplituda (visina).

Normalno se služimo tzv. značajnom amplitudom, koja predočuje srednju vrijednost jedne trećine najviših amplituda; ona se jako dobro poklapa s vizuelno procijenjenom srednjom vrijednošću amplituda kako je određuju pomorci. Tako je značajna amplituda zauzela isto mjesto u teoriji slučajnih procesa kao što ga ima u teoriji gibanja.

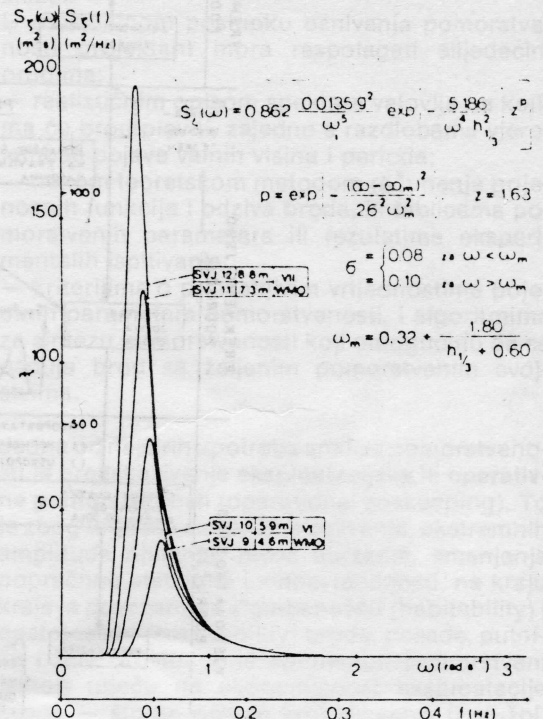
2. 3. Energija u oscilacijama broda može se zamisliti da je raspodijeljena na isti način kao energija u valovima, tj. obje se sastoje u odnosu prema pomaku iz ravnotežnog položaja. Kada se znade da vjetar prenosi energiju na morsku površinu, a valovi prenose energiju na brod tada nije nikakvo čudo da je odziv broda valovima iste naravi kao sami valovi. To ne znači da su snimke valova, kao uzročnika, i njihanja broda, kao posljedice, identični ili približno jednaki, već samo da su kod obje pojave jednaka određena statistička svojstva. Tako Sl.5 ilustrira spektre valovlja na Jadranu — tzv. Tabainov spektar, a Tablica 1 daje pripadne mu statistike; postoji spektar i relevantna tablica za Atlanski ocean, za Sjeverno more i druga područja oceana, a svaki opisuje vjetrovne valove razvijene pri prevladavajućim uvjetima.

2. 4. Iz Sl. 4 vidimo da spektar valova predočuje jedan član u jednadžbi za proračun spektra odziva broda. Drugi član je tzv. prijenosna funkcija, odnosno kvadrat modula prijenosne funkcije (OAO), za svaki način njihanja broda i u stanovitom opsegu frekvencija.

Tablica 1

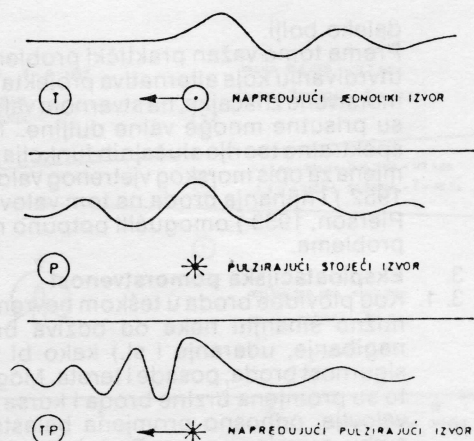
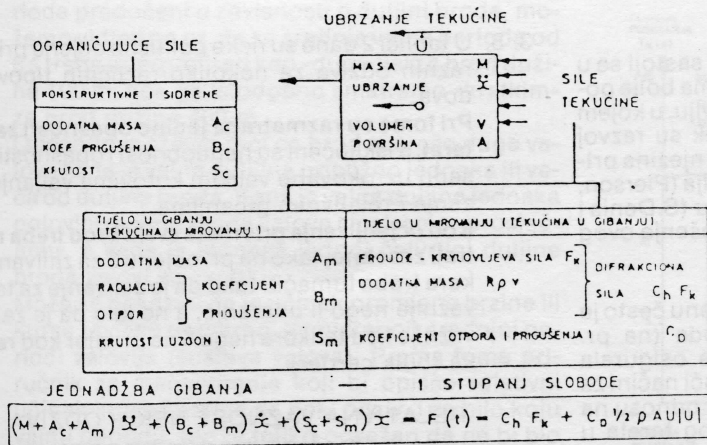
stanje vremena Bf	srednja brzina vjetrova (kt)	karakteristične valne visine (m)				opseg valnih perioda (s)	perioda vrha spektra (s)	srednja valna duljina (m)	
		$H_{1/10}$	$H_{1/5}$	$H_{1/2}$	$H_{1/100}$			$\bar{\lambda}_1$	$\bar{\lambda}_{10}$
11)	U <sub>10</sub>	$H_{1/10}$	$H_{1/5}$	$H_{1/2}$	$H_{1/100}$	$\bar{T}_1 - \bar{T}_{10}$	$T_1$	$\bar{\lambda}_1$	$\bar{\lambda}_{10}$
1	2	0,03	0,05	0,06	0,1	0,5 - 1,2	0,8	0,7	1
2	5	0,1	0,2	0,26	0,3	0,8 - 2,3	1,9	1,6	3
3	9	0,3	0,5	0,6	0,8	1,2 - 3,7	3,2	2,6	6
4	13	0,5	0,8	1,0	1,3	2,2 - 4,8	4,0	3,3	8
5	19	0,8	1,3	1,7	2,2	2,4 - 6,2	5,0	4,0	12
6	24	1,1	1,9	2,4	3,2	2,7 - 7,6	6,0	4,8	16
7	30	1,6	2,6	3,3	4,3	3,1 - 8,5	7,1	5,5	21
8	37	2,1	3,5	4,5	5,9	3,5 - 10,2	8,3	6,3	28
9	44	2,8	4,6	5,9	7,7	4,0 - 11,7	9,4	7,2	36
10	52	3,5	5,9	7,6	9,9	4,4 - 13,4	10,5	8,0	45
11	60	4,4	7,3	9,3	12,2	4,9 - 15,0	11,5	8,8	55
12	68	5,3	8,8	11,2	14,7	5,4 - 15,7	12,4	9,6	65

Parametri normalno razvijenih valova na Jadranu (Tabain, 1977)



Sl. 5. STANDARDNI SPEKTRI ZA RAZNE STUPNJEVE STANJA VREMENA NA JADRANU (Tabain, 1977)





NA DUGIM VALOVIMA  $F_k \approx \rho V \dot{U}^2$  i  $C_h F_k \approx (1-R) \rho V \dot{U}^2 = C_m \rho V \dot{U}^2$

Sl.6 Elementarna dinamika broda

Sl.7 Tipični valni izvori

Tako je problem u biti sveden na izračunavanje odziva broda nizu pravilnih valova. Sretna je okolnost što su razvijene analitičko-numeričke metode za računanje takvih odziva (Korvin Kroukovsky, 1957, Salvesen, Tuck i Faltinsen, 1970, i dr.) koje vrijede za široki opseg tipova brodova i morskih konstrukcija.

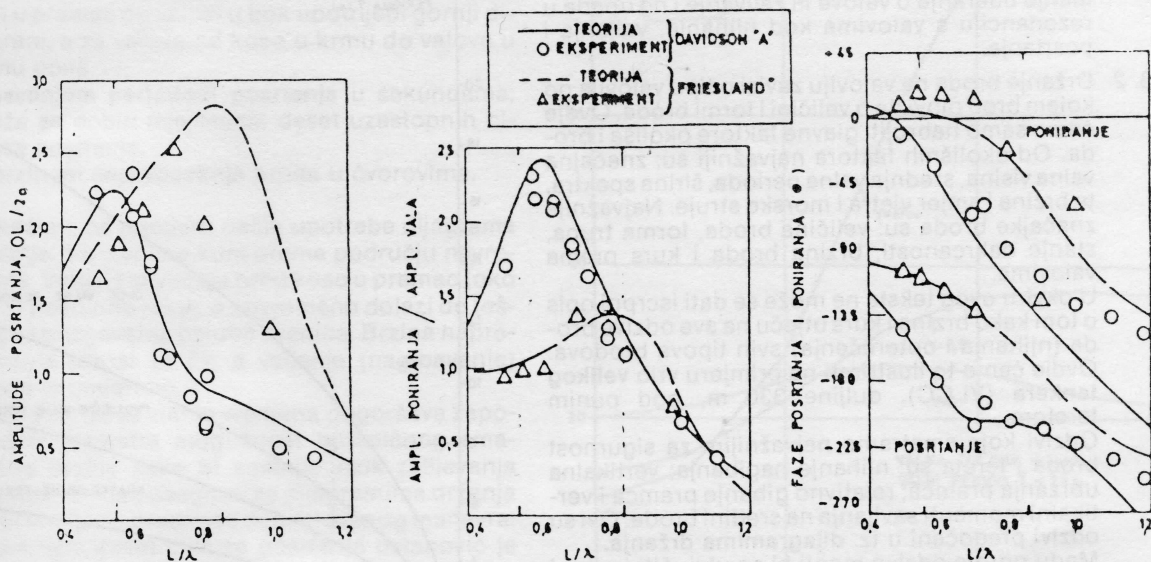
Sl.6 shematski ilustrira sile koje djeluju na jedan element plovila u vr' općenitom smislu (brod, platforma, uređaj za ekstrakciju energije valova) i pripadnu jednažbu za jedan način njihanja (jedan stupanj slobode, jedan način odziva). Vidimo da se sila tekućine na nepomičnu masu pojavljuje kao uzbudna (tjerajuća) sila na desnoj strani jednažbe, dok lijevu stranu čine preostale sile koje definiraju odziv broda. Ključni zahtjev za formuliranje i rješenje ovakvih jednažbi sastoji se u određivanju **potencijala poremećaja**  $\delta s$ , koji se može odrediti primjenom stanovitih tipova **razdiobe singulariteta**. Može se pokazati da se praktične situacije (koje uključuju brodove i morske kons-

trukcije na mirnoj vodi, valovima ili morskoj struji) mogu modelirati putem tri osnovna tipa funkcija (Sl.7). U nas je od 1976. godine operativan kompjutorski program F-175 ARGOSY koji računa uzdužna i pobočna njihanja na pravilnim valovima. Dobivene prijenosne funkcije i faze mogu se predočiti kao Sl. 8.

2. 5. Umjesno je ovdje pitanje zašto se prijenosne funkcije sve do objavljivanja rasprave St. Denis i Piersona (1953.) nisu iskorištavale za poboljšanje pomorstvenosti brodova?

Djelomičan odgovor na ovo pitanje dobit ćemo iz razmatranja dva razarača od kojih D-forma ima vrlo veliki bulb na pramcu, dok F-forma im klasičniju formu pramca; oba trupa imaju zrcalnu krmu.

Iz Sl.8 vidimo znatne razlike u odzivima ova dva broda, kako u pogledu amplituda, tako i faza. Ona pokazuje kako neki brod može imati mnogo bolje značajke njihanja od nekog drugog broda pri jednoj posebnoj valnoj duljini ( $L/\lambda$ ), dok pri nekoj drugoj valnoj duljini taj drugi brod može biti



Sl.8 Usporedba teoretskih i eksperimentalnih amplituda posrtnja i poniranja te faze za razarač tipa DAVIDSON 'A' i 'FRIESLAND', pri  $F_n = 0,45$ .

daleko bolji.

Prema tome važan praktički problem sastoji se u utvrđivanju koja alternativa projekta ima bolje pomorstvene značajke, na stvarnom valovlju, u kojem su prisutne mnoge valne duljine. Tek su razvoj spektralne teorije slučajnih funkcija, i njezina primjena za opis morskog vjetrolog valovlja (Pierson, 1952.) i njihanja broda na tom valovlju (S. Denis i Pierson, 1953.) omogućili potpuno rješenje ovog problema.

### 3. Eksploatacijska pomorstvenost

3. 1. Kod plovidbe broda u teškom nevremenu često je nužno smanjiti neke od odziva broda (na pr. nagibanje, udaranje i sl.) kako bi se osigurala sigurnost broda, posade i tereta. Mogući načini za to su promjena brzine broda i kursa u odnosu na valovlje, odnosno promjena balastnog tereta u svrhu promjene gaza. Promjenom balasta navigator mijenja i metacentarsku visinu MG, a time i karakteristike nagibanja broda. Ovi se postupci obično vrše na bazi intuicije ili se temelje na kapetanovom iskustvu.

Zadnjih godina postoji sve veći interes za **sustave upravljanja** koji pomažu kapetanu u rukovođenju brodom. Tako na pr. bilo bi korisno poznavati relativne prednosti raznih manevara prije nego ih primijenimo, a ne da se moramo osloniti na postupke pokušaja i pogreške.

Naravno postoje i drugi faktori koje zapovjednik mora razmotriti prije nego donese konačnu odluku o manevru koji će primijeniti. Tako na primjer njegova mogućnost manevriranja može biti ograničena zbog nazočnosti nekog drugog broda ili zbog plovidbe u ograničenim vodama.

Pored toga on mora odlučiti koji su odzivi od primarne važnosti za brod kojim zapovijeda. Tako na pr. u slučaju tankera on može biti spreman da prihvati porast amplituda nagibanja kako bi smanjio zalivanje. Naprotiv na brodu za opći teret porast amplituda nagibanja i s njima povezanih poprečnih ubrzanja može biti odveć opasan za teret. Konačno treba razmotriti dodatno vrijeme plovidbe i troškove izazvane različitim manevrima.

Od svih mogućih varijanti plovidbe u oluji zapovjednik mora odabrati onu pri kojoj brod napreduje ako ne baš u nužnom kursu, a ono svakako ne u smjeru navigacijskih opasnosti, pri kojoj trpi najmanje udaranje o valove ili zalivanje i ne upada u rezonanciju s valovima kod njihanja, valjanja i posrtanja.

3. 2. Držanje broda na valovlju zavisi o tipu valovlja po kojem brod plovi, te o veličini i formi broda. Ovdje ćemo samo nabrojiti glavne faktore okoliša i broda. Od okolišnih faktora najvažniji su: značajna valna visina, srednja valna perioda, širina spektra, te brzina i smjer vjetera i morske struje. Najvažnije značajke broda su: veličina broda, forma trupa, stanje nakrcanosti, brzina broda i kurs prema valovima.

U okviru ovog teksta ne može se dati iscrpni opis o tom kako brzina i kurs utječu na sve odzive broda (njihanja i opterećenja) svih tipova brodova. Ovdje ćemo to ilustrirati na primjeru vrlo **velikog tankera** (VLCC), duljine 330 m, pod punim teretom.

Odzivi koje smatramo najvažnijim za sigurnost broda i tereta su: njihanje nagibanja; vertikalna ubrzanja pramca; relativno gibanje pramca i vertikalni momenti savijanja na sredini broda. Ovi su odzivi predočeni u tzv. **dijagramima držanja**.

Među gornje odzive mogli bi se uključiti i odzivi poniranja, posrtanja, pobočnih ubrzanja, smičnih sila, itd. Međutim u stanovitij mjeri možemo smatrati da su oni obuhvaćeni s jednim ili više od spomenutih odziva. Na primjer amplitude poniranja i posrtanja očituju se preko vertikalnih ubrzanja pramca.

3. 3. U tablici 2 dane su neke pokusne ocjene prioriteta raznih odziva za nekoliko različitih tipova brodova.

**Pri tome su razmatrane jedino opasnosti za brod i teret**, a isključeni su neudobnost i opasnosti za posadu uzrokovane velikim kutovima valjanja, ubrzanja i relativnim gibanjima.

**Kod ocjenjivanja prioriteta svaki brod treba razmatrati zasebno**, tako na pr. ocjenu 3 za zalivanje tankera treba tumačiti tako da je zalivanje za taj brod važnije nego li udaranje, a ne kao da je zalivanje važnije kod tankera nego li na primjer kod rasutnika (bulk carrier).

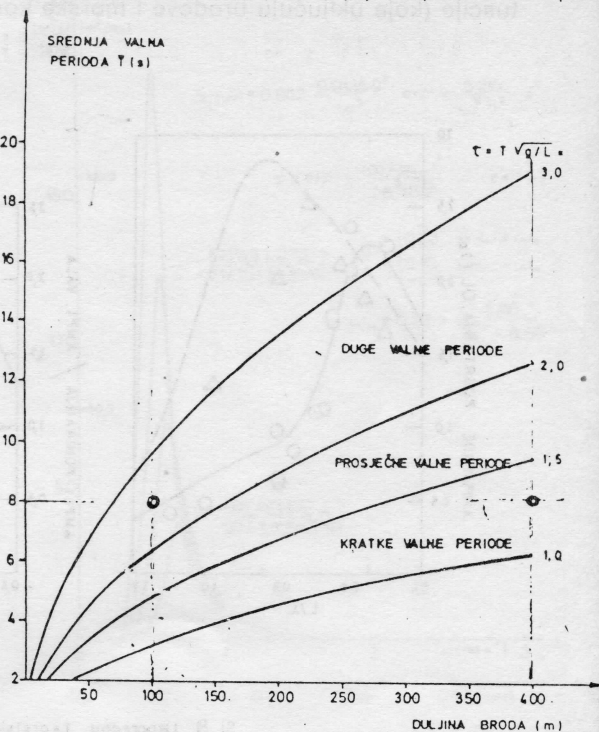
RELATIVNA VAŽNOST NEKIH ODZIVA ZA RAZLIČITE TIPOVE BRODOVA

Tablica 2

Vrsta odziva	Tanker	Rasutnik	Brod za opći teret	RO-RO	Nosač spremnika
nagibanje (valjanje)	1	1	2	3	2
relativna gibanja i ubrzanje pramca	1	2	2	3	2
zalivanje	3	2	3	2	2
udaranje	2	2	3	3	3
vert. moment savijanja	2	2	2	2	3
moment uvijanja	1	2	2	1	3

TUMAČ: 1 — od male važnosti; 2 — od umjerene važnosti; 3 — od velike važnosti

3. 4. Pojam valne duljine osim apsolutnog ima i relativno značenje. Iz Sl.9, u kojoj su opsezi valnih pe-



Sl.9 Opsezi valnih duljina (perioda) u zavisnosti o duljini broda



rioda predočeni u zavisnosti o duljini broda, možemo vidjeti na pr. da se srednja valna perioda od 8 s treba interpretirati kao »dugi« val za brod dužine 100 m, dok ga istodobno smatramo »kratkim« za brod dužine 400 m.

Općenito možemo reći da brod susreće duge valove kada je valna duljina približno jednaka ili veća od duljine broda. Kada je valna duljina jednaka polovici duljine broda valove smatramo »prosječnim«, a kada je jednaka jednoj četvrtini duljine broda valovi su »kratki«.

Može se pokazati da je učinak promjene brzine ili kursa zavisn od stvarnoj (izmjerenoj) srednjoj periodi **valovlja** (sustava valova). Prema tome priručnik za manevriranje koji bi opisao relativni učinak kursa i brzine na neki odziv, i za bilo koju valnu periodu, bio bi toliko opsežan da ne bi bio od praktične koristi zapovjedniku. Pored toga na brodu u plovidbi teško je točno procijeniti stvarnu srednju valnu periodu, pa stoga i izabrati pravi dijagram.

U dijagramima držanja je radi praktičnosti, opseg valnih perioda podijeljen u **tri** područja koja predočuju redosljedno kratke, prosječne i duge valne periode (kako su predočene u S.8); za svako područje pak dana je grupa od četiri dijagrama držanja.

U svakom pojedinom dijagramu držanja, (vidi na pr. Sl.11) pokazan je učinak brzine i kursa na dotični odziv broda. Na vertikalnoj osi dijagrama nanosene su vrijednosti od 0 do 100, gdje je najveća vrijednost odziva za kojigod kombinaciju brzine i kursa označena sa 100, dok su vrijednosti za druge brzine i kurseve dane u postocima te vrijednosti. Na taj način možemo neposredno odrediti najnepovoljniji kurs i brzinu za neki odziv.

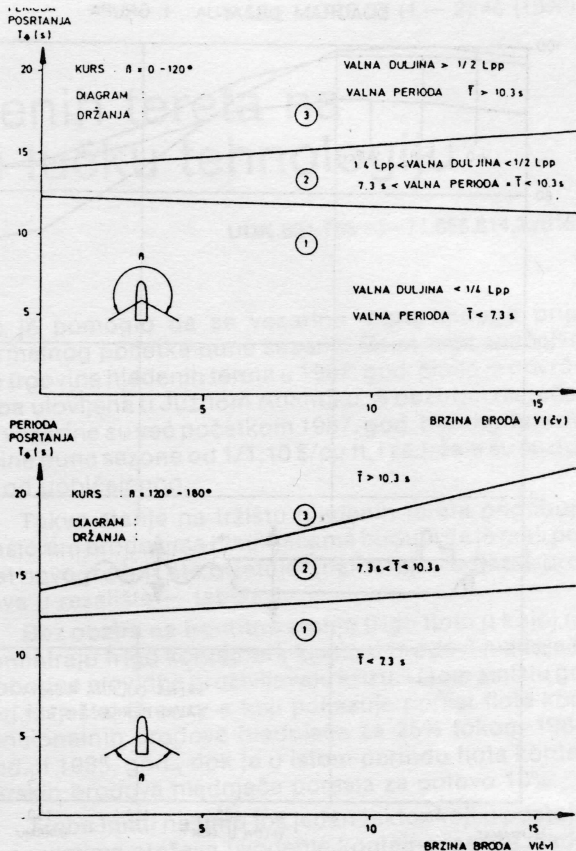
3. 5. Za odabiranje ispravne grupe dijagrama držanja, koji su izrađeni za kratke, prosječne i duge valove, može se upotrijebiti Sl.10.

U tu svrhu nužno je raspolagati slijedećim informacijama:

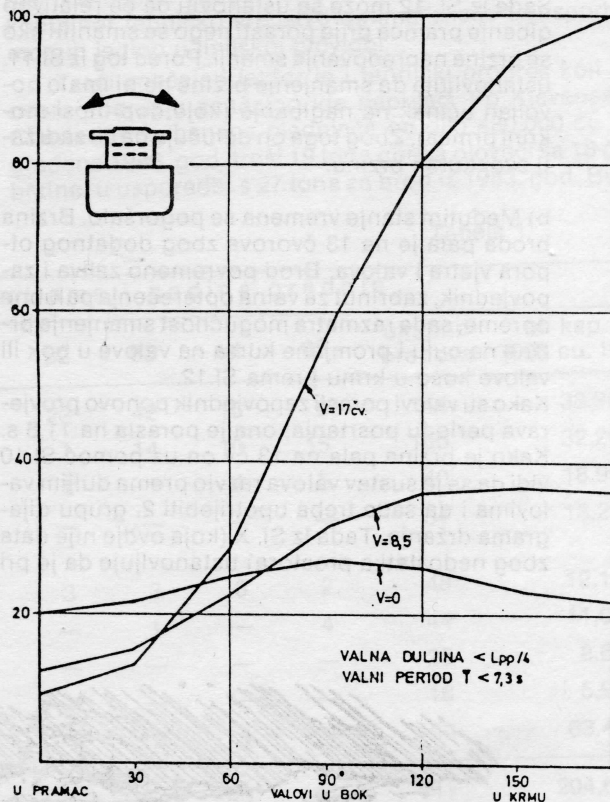
- relativnim smjerom valova**; za smjerove od valovi u pramac do valovi u bok upotrijebi gornji dijagram, a za valove od koso u krmu do valova u krmu donji.
- srednjom periodom posrtanja** u sekundama; može se dobiti mjerenjem deset uzastopnih ciklusa posrtanja.
- brzinom napredovanja** broda u čvorovima.

Pokažimo na primjeru način upotrebe dijagrama držanja. Tanker ima kurs prema području nevremena. Valovi zahvaćaju brod koso u pramac (oko 30°) i postupno rastu, a povremeno dolazi do teškog zabrizgavanja palube pramca. Brzina napredovanja iznosi 15 čv, a valjanje (nagibanje) broda je umjereno.

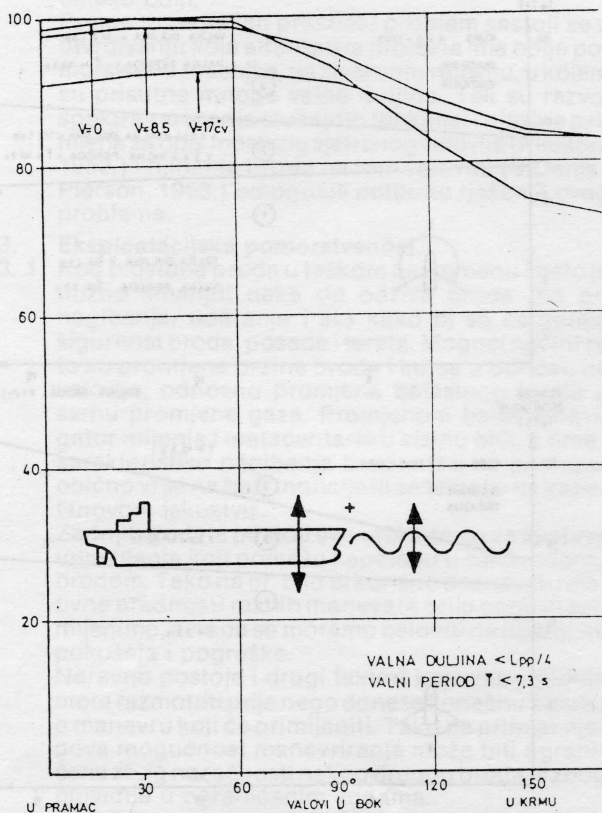
a) Budući da se stanje vremena pogoršava zapovjednik razmatra mogućnost hotimičnog smanjenja brzine kako bi smanjio rizik zalijeivanja pramca. On će posegnuti za dijagramima držanja da bi provjerio prednosti namjeravanog manevra. Mjerenjem deset ciklusa posrtanja ustanovio je srednju vrijednost periode posrtanja od 9,5 sekunda. Budući da kurs iznosi 30° upotrijebit će gornji dijagram u Sl.10. Kako je brzina 15 čv, a perioda posrtanja 9,5 s ustanovljuje se da treba upotrijebiti dijagrame 1.grupe.



DIJAGRAM DRŽANJA 1. GRUPA



### DIJAGRAM DRŽANJA 1. GRUPA



100 = 0,75 m PO METRU VALNE VISINE  
 Sl.12 Relativno gibanje pramca

Sada iz Sl. 12 može se ustanoviti da će relativno gibanje pramca prije porasti nego se smanjiti ako se brzina napredovanja smanji. Pored tog iz Sl.11. ustanovljuje da smanjenje brzine ne bi imalo povoljan učinak na nagibanje (koje doprinosi mokri pramca). Zbog toga on odlučuje da će zadržati svoj kurs i brzinu.

b) Međutim stanje vremena se pogoršalo. Brzina broda pala je na 13 čvorova zbog dodatnog otpora vjetera i valova. Brod povremeno zaliva i zapovjednik, zabrinut za valna opterećenja palubne opreme, sada razmatra mogućnost smanjenja brzine na nulu i promjene kursa na valove u bok ili valove koso u krmu prema Sl.12.

Kako su valovi porasli zapovjednik ponovo provjerava periodu posrtanja; ona je porasla na 11,8 s. Kako je brzina pala na 13 čv on uz pomoć Sl.10 vidi da se je sustav valova razvio prema duljim valovima i da sada treba upotrijebiti 2. grupu dijagrama držanja. Tada iz Sl. X (koja ovdje nije data zbog nedostatka prostora) ustanovljuje da je pri

aktualnom sustavu valova (stanju mora) smanjenje brzine doista povoljno i odluču brzinu smanjiti na »sasvim lagano naprijed«. Pored toga promijenivši kurs na valove u pramac smanjio je nagibanje na najmanju moguću mjeru (Sl.11), a time i rizik zalijavanja preko bokova broda.

#### 4. Zaključno razmatranje

Problem pomorstvenosti, držanja i svojstva broda na valovlju, pojavio se je u svojoj oštini tek kada su parni strojevi zamijenili jedra (relativno male brzine napredovanja, jedrenje povoljnim kursevima i blagotvorna stabilizacija jedrima); u idućih stotinjak godina zapovjednici parobroda i motornih brodova su kroz iskustvo dugog ukrcanja stjecali »osjećaj« za mogućnost svoga broda. Nakon drugog svjetskog rata nosivost brodova je porasla nekoliko puta, brzine su se podvostručile, pojavili su se novi tipovi brodova s posebnim zahtjevima, uslijed čega — i kratkotrajnih ukrcanja — taj se »osjećaj« izgubio. Nekako istodobno rodila se nova znanstvena disciplina, Teorija pomorstvenosti broda, koja je od 1970. godine uvedena u nastavu na brodograđevnim fakultetima. Tako danas projektant broda može analitičko-numeričkim metodama izraditi dijagrame držanja broda na valovlju svih stanja mora, koji zapovjedniku mogu pomoći u donošenju delikatnih odluka u olujnim uvjetima plovidbe ili pri ekstremnim uvjetima preživljavanja. Istoj svrsi pridonose različite naprave za izbjegavanje oštećenja brodova uzrokovanih valovljem. Na taj način, samo kroz odgovarajuće obrazovanje zapovjedajući časnik može povratiti izgubljeni »osjećaj« za brod ili brodove na kojima će biti ukrcan. Sazrelo je vrijeme da se i na naše Pomorske fakultete uvede ta nova znanstvena disciplina.

#### LITERATURA

- Aertssen, G. (1971): »Ocean waves ana ship motions«; Revue »T«, No. 1
- Conolly, J. E. (1963): »Ship motions in irregular »waves«, London
- Hoffman, D. (1976): »The Impact of Seakeeping on Ship Operation«, Marine Technology, Vol. 13, No. 2. pp. 241-262
- Robertsson and Lindemann (1981): »An introduction to ship handling in rough weather«, Oslo
- Tabain, T. (1976): »Kompjutorski program za računanje uzdužnih i pobočnih njihanja na pravilnim valovima (F-175 ARGO-SY)«, B.I., Izv. br. 2551-A, Zagreb
- Tabain, T. (1989): »Morski »va-lov«, 8.sv. Pomorska enciklopedija, Zagreb

