

Dr.sc. Robert Mohović  
Mr.sc. Đani Mohović  
Dr.sc. Dinko Zorović  
Pomorski fakultet u Rijeci  
Rijeka, Studentska 2

Prethodno priopćenje  
UDK: 551.466.3(262.3)  
656.61.08  
Primljeno: 15. svibnja 2004.  
Prihvaćeno: 03. lipnja 2004.

## OBILJEŽJA VALOVA JADRANSKOG MORA U FUNKCIJI SIGURNOSTI I UDOBNOSTI POMORSKOG PROMETA

*Pomorski promet ima značajan udio u turizmu primorskih zemalja jer se njega može smatrati pretežno turističkom uslugom, za razliku od kopnenog i zračnog prometa koji su uglavnom u funkciji dolaska na turističku destinaciju. Izrečena tvrdnja posebice se odnosi na onaj dio pomorskog prometa koji se ostvaruje plovilima za razonodu.*

*Valovi na moru, u međudjelovanju s plovilom, mogu se razmatrati dvojako. Na način da se do jedne veličine valova odnosno određenog intenziteta valjanja i posrtanja smatraju ugodom, dok iznad tih veličina postaju neugodni pa čak i zastrašujući, posebice ako se ima u vidu njihov utjecaj na plovila za razonodu.*

*S ovog stanovišta valja razmatrati vjetrovne valove, a njihovi elementi su uglavnom definirani jačinom vjetra, veličinom akvatorija te trajanjem puhanja vjetra. Osjećaj ugodnosti ili neugodnosti plovidbe ovisi u prvom redu o odnosu valovlja i veličine plovila.*

*Mareografske plutače mogu vrlo točno izmjeriti visinu i period valova, dok se duljina i brzina vala procjenjuje ili proračunava empirijskim formulama.*

*U ovom radu predlažu se vrijednosti odnosno međuovisnosti elemenata valova Jadranskog mora, što bi moglo poslužiti za odabir plovila takvih karakteristika koje će plovidbu učiniti ugodnom.*

*Ključne riječi: obilježja valova, sigurnost plovidbe, udobnost putovanja*

### 1. UVOD

Neki od nas starijih sjećaju se prepričavanja događaja u kojem je slavni talijanski «transatlantnik» između dva rata htio osvojiti «plavu vrpcu (plamenac)». Za zapovjednika su ukricali čovjeka «naših škoja» koji je imao petlje da to i postigne. I osvojio je plavu vrpcu. Nažalost upravo on nije mogao slaviti postignuti uspjeh: na dolasku dočekala ga je policija i strpala u zatvor. Kako bi postigao uspjeh, plovio je ortodromom do visokih širina, bahato prkosio nevremenu, a od valjanja i posrtanja poginula su četiri putnika.

Autori su svjedoci putovanja HSC broda «Adriana» od Civitavecchia-e do Šibenika 2000. godine. Brod je toliko valjao, posrtao, udarao da je škodilo svim putnicima, a ni posadi ni autorima, prekaljenim morskim vukovima, nije bilo ugodno. Svi su se putnici od straha iskricali u Šibeniku, premda je veći broj njih trebao nastaviti put do Splita. Mnogi su po iskrcaju u Šibeniku kleknuli na pod i doslovno ljubili čvrstu, mirnu zemlju.

Propagandni slogan «Jadrolinije», putničkog broдача, glasi: «Odmor počinje na brodu». Vrlo lijepa dosjetka, no da bi ona postala doista stvarnost, putovanje brodom treba biti ugodno. Ovo se odnosi kako na plovidbu velikim putničkim brodovima i na krstarenja mnogim za to preuređenim trabakulima, tako i na kratke relacije do plaže i natrag, na malim brodicama za razonodu.

## 2. CILJ RADA

Ovim radom želi se doprinijeti sagledavanju odnosa međudjelovanja valova Jadranskog mora i broда, u cilju što mirnije plovidbe. Razmatrat će se samo valjanje, posrtanje, zaošijavanje i udaranje plovila. Osim postizanja ugodnosti pomorske plovidbe, razmatrajući spomenutu problematiku, ulazi se i u područje sigurnosti pomorske plovidbe što je, uz zaštitu morskog okoliša, od neprocjenjive važnosti.

## 3. ČIMBENICI NEUGODNOSTI NA MORU

Čovjek živi u trodimenzionalnom prostoru, osvaja prostranstva, penje se u visine, spušta i zaranja u dubine. Što su veće ove translacije, to je doživljaj značajniji, intenzivniji, ispunja radošću i ponosom. Akceleracije u vodoravnoj ravnini su tražene, pridonose ugodi i prepotenciji. Nešto su neugodnije akceleracije u vis, a vrlo neugodne pri spuštanju. Deceleracije pri spuštanju su neugodne, no još su neugodnije pri dizanju.

Dakako neugodnije od translacija sa njihovim akceleracijama i deceleracijama su rotacije oko svake osi trodimenzionalnog prostora, sa pripadajućim akceleracijama i deceleracijama.

Samo orijentacije radi definirat će se osi borealnog trodimenzionalnog sustava za čovjeka: neka os apscisa  $x$  bude u vodoravnoj ravnini prema naprijed, os ordinata  $y$  bočno lijevo, a os aplikata  $z$  prema gore.

Anatomska struktura čovjeka omogućava mu relativno ugodnu rotaciju oko vertikalne osi pod uvjetom da akceleracija i deceleracija nisu znatne. Pojam vremena  $t$  u trajanju nema ovdje pretenzije četverodimenzionalnosti, već samo boljeg opisa ponašanja u trodimenzionalnom prostoru.

Rotacije, bilo oko osi  $x$  ili  $y$ , su vrlo neugodne, a njihove akceleracije i deceleracije pogotovo.

Posebno jako izraženu neugodu predstavljaju istovremene translacije i rotacije, akceleracije i deceleracije, pa čak i oko najprihvatljivijih osi: translacija u smjeru osi  $x$  i rotacija oko osi  $z$ .

Plovidba brodom po nemirnom moru nameće putniku kombinirane translacije i rotacije oko svih triju osi uz pripadajuće velike akceleracije i deceleracije.

Svemu ovome treba dodati vrlo česta udaranja s pripadajućim deceleracijama, naročito brzih glisirajućih brodova s ravnim dnom.

#### 4. VALOVI JADRANSKOG MORA

Kako je u cilju ovog rada napomenuto, razmatrat će se samo valovi Jadranskog mora koji su drugačiji od valova velikih mora, pogotovo valovi u priobalju i međuotočkim prolazima.

Osnovna razlika između valova Jadranskog mora i onih na otvorenom moru je u odnosu njihove visine i duljine. Do ove razlike dolazi zbog toga što je privjetrište na Jadranu kratko, vjetrovi su relativno jaki i pušu na mahove. Iznimku čini jugo koje ima dugo privjetrište, puše kontinuiranom jačinom i nije prejako. No, jako jugo puše uglavnom samo zimi pa nema tolikog utjecaja na turizam.

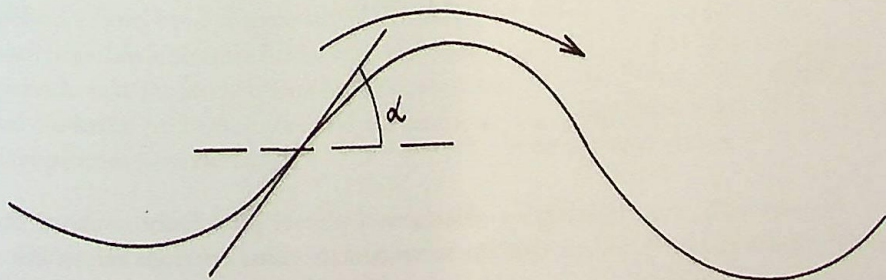
Na otvorenom moru uzima se da omjer visine  $H$  prema duljini vala  $\lambda$  iznosi:

$$H : \lambda = 1 : 15 \quad (1)$$

Ako se ovaj omjer povećava, kada dostigne vrijednost

$$H : \lambda = 1 : 10 \quad (2)$$

odnosno, kada najveći kut nagiba vode  $\alpha$  u valu premaši  $18^\circ$  (slika 1.), tada se vrh vala počinje prelijevati, valovi dobivaju krestu.



Slika 1. Najveći kut nagiba u valu

Iznimno, pri vrlo jakim vjetrovima i na valovima manjeg omjera

$$H : \lambda < 1 : 10$$

(3)

mogu nastati kreste jer jednostavno vjetar «nosi» vrh vala.

Na Jadranskom moru su valovi kraći i viši.<sup>1</sup>

Jačina vjetra (Beaufort)	Brzina vjetra [m/s]	H [m]	T [s]	$\lambda$ [m]
2	1,6 – 3,3	0,2	2,7	5
3	3,4 – 5,4	0,5	3,7	9,5
4	5,5 – 7,9	0,8	4,6	14
5	8 – 10,7	1,3	5,4	20
6	10,8 – 13,8	1,9	6,2	25
7	13,9 – 17,1	2,6	6,9	32
8	17,2 – 20,7	3,5	7,6	39
9	20,8 – 24,4	4,66	8,3	46,5
10	24,5 – 28,4	5,9	9	55

Tablica 1. Obilježja valovlja Jadranskog mora

Izvor: Priredili autori prema Pomorskoj enciklopediji, svezak 3 i svezak 8

U tablici 1. izostavljeni su najniži valovi koji praktički ne stvaraju nelagodu putnicima na brodu kao i najviši po kojima se zbog nevremena ne poduzimaju turistička putovanja.

#### 4.1. Period valova

Suvremenim valomjernim plutačama moguće je točno izmjeriti visinu i period vala. Kako većina oceanografskih podataka, bilo izmjerenih, bilo opaženih, bilo predviđenih, daje visinu vala, to je potrebno dati analitički izraz koji će dati period vala  $T$  u odnosu na njegovu visinu. Učini li se to na osnovu tablice 1. dolazi se do odnosa:

$$T = 1,594 \pi H^{0,036 g} \quad (4)$$

gdje je:  $T$  – period vala

$H$  – visina vala

$g$  – ubrzanje sile teže.

Na osnovu novijih mjerenja na valomjernoj plutači pred Dubrovnikom pri najvećim vjetrovima iz SE smjera, opažene su vrijednosti visina i perioda valova kako je to označeno u tablici 2.<sup>2</sup>

Vrijeme	Brzina vjetra [m/s]	H max [m]	T [s]	H <sub>1/3</sub> [m]	H <sub>1/10</sub> [m]
22.-23.12.1979.	SE 3,5 - 19,4	8,90	6,97	3,64	5,16
30.-31.03.1981.	SE 6,3 - 17,6	7,10	6,76	2,82	3,90
30.01.-02-02-1986.	SE 3,5 - 16,5	6,10	7,08	2,76	3,62
13.-14-01-1987.	SE 5,5 - 21,0	9,20	7,81	4,01	5,30
30.03.-01.04.1988.	SE 5,0 - 15,0	5,40	6,88	2,53	5,48

Tablica 2. Mjerenja parametara valova na valomjernoj plutači

gdje su:

$H_{\max}$  - najveća opažena visina vala

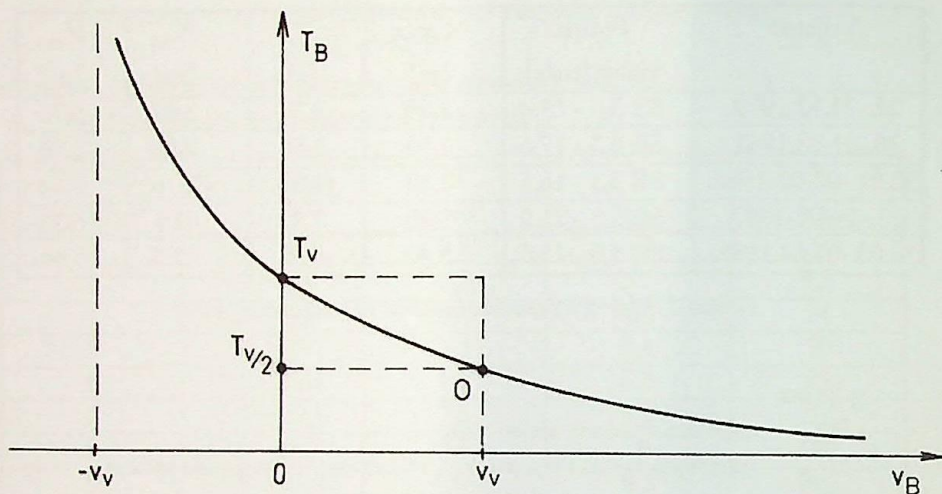
$H_{1/3}$  - značajna visina vala, srednja vrijednost 1/3 najviših valova

$H_{1/10}$  - srednja vrijednost 1/10 najviših valova

Očito je period od 8 s najduži koji je registriran na otvorenom moru Jadrana, ali se pojavljuju u zimskom razdoblju, kada turističkih plovila ima vrlo malo. Period valova Jadranskog mora, kod kojih se može očekivati određeni turistički promet, iznosi do 6 s. Najveći opaženi periodi valova na oceanima iznose, po pojedinim autorima, od 18 – 23 s.<sup>3</sup>

#### 4.2. Period vala $T_V$ i period kojom brod susreće val $T_B$

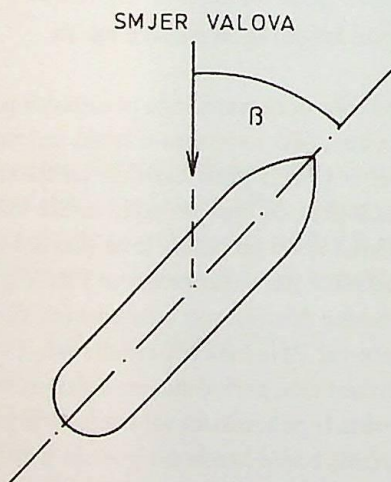
Poznavajući period vala pomorac može podešavati period u susretu s brodom bilo u vožnji prema valovima, bilo s vjetrom u krmu regulacijom «brzine broda kroz vodu». Ovo je važno jer u područjima morskih struja «brzina broda preko dna» mijenja period vala. Odnos perioda kojom brod susreće valove  $T_B$  prema periodima valova  $T_V$  i brzine broda kroz vodu prikazana je na slici 2. Vidljivo je da period, kojom brod susreće val kad brod plovi niz vjetar brzinom vala  $V_v$ , postaje beskonačno dug. Ordinata za vrijednost brzine  $V_v$  postaje asimptom. Kada je brod u mirovanju, period kojom brod susreće val  $T_B$  jednak je periodu vala  $T_V$ . Kada brod plovi ususret valu brzinom jednakom brzini vala, period susreta broda sa valom  $T_B$  jednak je polovici perioda vala  $T_V$ . Što je brzina broda ususret valu veća to je period kojom brod susreće val  $T_B$  kraći; pri beskonačnoj brzini broda on postaje jednak nuli: os apscisa postaje asimptomom krivulje  $T_B$ .



Slika 2. Period kojim brod susreće valove  $T_B$  u odnosu na brzinu broda  $V_B$  pri nekom periodu vala  $T_v$

Ukoliko brod ne plovi točno prema, odnosno od valova, već ih siječe pod nekim kutom  $\beta$  (slika 3.) tada se period kojim brod susreće valove  $T_B'$  mijenja po izrazu:

$$T_B' = T_B / \cos\beta \quad (5)$$



Slika 3. Ovisnost perioda kojim brod susreće valove  $T_B'$  o kutu upada valova  $\beta$  u odnosu na uzdužnicu broda

Pri kutu  $\beta = 90^\circ$ , dakle bočnim valovima, period «susreta» valova postaje beskonačnim; brod je izložen samo valovima s boka.

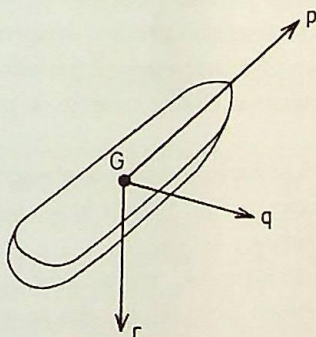
Brod će manje posrtati i udarati o valove što su pramac i krma finijih oblika

(linija). No, time se povećava mogućnost prelijevanja valova preko pramca ili krme. Na putničkom, pogotovo turističkom brodu, ne smije se dogoditi da se val prelije po palubi jer su putnici (turisti) na otvorenim palubama. Ove pojave uzrokuju strah kod putnika. Kompromis se može postići tako da konstruktor u donjem dijelu trupa na pramcu i krmi projektira fine linije, a u blizini palube izbaci liniju oplata (brandun).

## 5. PONAŠANJE BRODA PRI BOČNIM VALOVIMA

Putnike na brodovima najviše «smeta» valjanje broda. Valjanje je tim neugodnije što navigator nikako ne može mijenjati period nadolazećeg vala (za razliku od vožnje prema ili od valova kada je može podešavati, kako je to ranije pokazano). Period valova koje brod prima u bok upravo je jednak periodima samih valova.

Da bi definirali osi rotacije broda, pridružiti ćemo brodu tri osi  $p$ ,  $q$  i  $r$  koje prolaze njegovim težištem  $G$  kako je to označeno na slici 4. Valjanjem, posrtanjem i zaošijavanjem broda ove se osi donekle pomiču. Najizrazitije se pomiče os  $p$ .



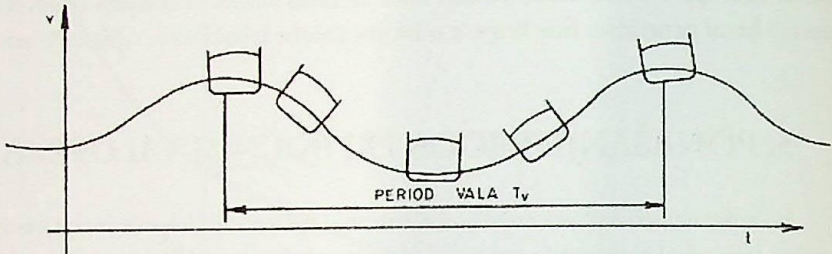
Slika 4. Koordinatni sustav broda

### 5.1. Prirodni period valjanja broda

Pod valjanjem broda podrazumijeva se rotacija oko uzdužne osi  $p$ . Ukupni period valjanja broda predstavlja vrijeme potrebno da se brod nagne s jednoga boka na drugi i ponovo natrag. Za vrijeme jednog perioda vala brod učini jedan period njihanja (slika 5.). Period valjanja broda<sup>1</sup> u sekundama može se približno odrediti izrazom:

$$T = 2\pi R(g \cdot MoG)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

gdje su:  $R$  – poprečni radijus tromosti mase  
 $g$  – ubrzanje sile teže  
 $MoG$  – početna poprečna metacentarska visina



Slika 5. Odnos perioda vala  $T_v$  i perioda valjanja broda  $T_B$

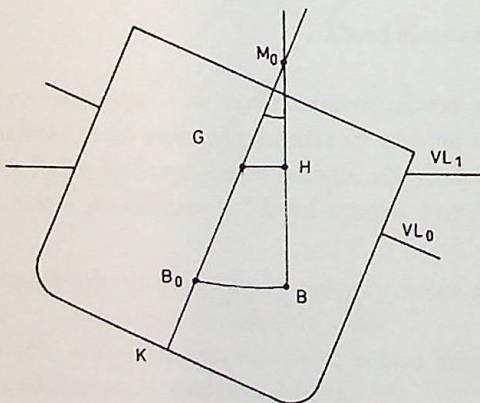
Poprečni radijus okretanja broda  $R$  predstavlja radijus tromosti mase, a podrazumijeva radijus kojeg bi imao brod određene mase homogeno raspoređene u valjak.

Da bi se smanjila neugoda putnika potrebno je, kako je već naglašeno, da rotacije budu što manje uz pridružene akceleracije i deceleracije.

Ukoliko bi period valjanja broda bio jednak periodu vala, brod bi se sve više i više valjao uz opasnost prevrtanja. Jedino rješenje je povećanje perioda valjanja broda.

Kako je vidljivo iz (6) to se može postići povećanjem  $R$ . To je jedino moguće kod projektiranja broda da se poveća širina i visina broda u odnosu na duljinu te da se veće mase rasporede što dalje od osi  $p$  broda.

Početna poprečna metacentarska visina  $MoG$  uglavnom je određena konstrukcijskim parametrima broda (slika 6.), no ona se može djelomično korigirati rasporedom masa na brodu. Smanjenjem  $MoG$  povećava se period valjanja broda, no pri premaloj  $MoG$  stabilnost broda može doći u pitanje.



Slika 6. Početna poprečna metacentarska visina

## 5.2. Doprinos hidrodinamičke mase vode

Valjanjem brod svojim trenjem povlači za sobom susjedne čestice vode i tako povećava R. Po W. Froude-u ova masa vode može povećati period valjanja broda i do 20%. Ovime se i os rotacije broda pomiče naniže.

Povećano trenje može se postići projektiranjem broda na dva načina:

- eliminiranjem glatkih stijenci u poprečnom presjeku broda, na primjer imitacijom preklopne gradnje,
- dodavanjem ljuljnih kobilica te povećanjem osnovne kobilice broda; samo ljuljne koblice mogu povećati period valjanja od 1 – 3 sekunde.

## 5.3. Odnos perioda valjanja i brzine broda

Iz iskustva je poznato da brod manje valja kad se kreće nego kad miruje. Eksperimentalni rezultati pokazuju da povećanjem brzine broda raste i period valjanja T. Ovime se istovremeno povećava i stabilnost broda.

# 6. ZAKLJUČAK

Ugodnost putovanja putnika na brodu ovisi prvenstveno o smanjivanju rotacija broda oko njegovih osi te smanjivanju pripadajućih ekceleracija i deceleracija.

Rotacije i akceleracije broda oko poprečne osi, kao i udaranje broda o valove projektant može smanjiti pogodnom konstrukcijom pramca i krme: finim linijama uz vodenu liniju i izbacivanjem linije oplata pri palubi.

Navigator može ublažiti gibanje broda reguliranjem brzine broda i upadnim kutem valova u odnosu na smjer plovidbe. Što je pramac finijih oblika potreban kut koji će omogućiti ugodno putovanje je manji; što je oblik pramca puniji kut je veći.

Najneugodnije je valjanje broda. Smanjenje valjanja postiže se znatnim povećanjem perioda valjanja broda u odnosu na period valova.

Odnos visine vala i perioda vala za Jadransko more prikazan je izrazom:

$$T = 1,594 \pi H^{0,036 g}$$

Povećanje perioda valjanja broda postiže se na dva načina i to:

konstrukcijski:

- o izradom širokih i visokih brodova u odnosu na duljinu
- o postavljanjem većih masa što dalje od uzdužne osi broda
- o povećanjem «hrapavosti trupa» u poprečnom presjeku broda
- o povećavanjem osnovne kobilice i dodavanjem ljuljnih kobilica
- o ugradnjom pasivnih ili aktivnih stabilizacijskih tankova

- o ugradnjom aktivnih krilnih stabilizatora ljuljanja pogodnim nautičkim vodenjem broda:
- o održavanjem pogodnog kursa broda u odnosu na upadni kut valova
- o održavanjem što veće brzine broda
- o smanjivanjem početne poprečne metacentarske visine (do mjere koja neće ugroziti sigurnost broda).

#### Pozivne bilješke

1. Jadransko more, valovi, Pomorska enciklopedija, Hrvatski leksikografski zavod, sv. 3, Zagreb, 1976, str. 210.
2. Oceanografska mjerenja ispred Dubrovnika, Hrvatski hidrografski institut Split, Split, 1999.
3. Admiral Paris: 18 s, Wollaston: 19 s, capt. Mottes: 23 s.
4. Kent, J.L., Ships in Rough Water, Thomas Nelson and Sons Ltd., London, 1958.

#### LITERATURA

- [1] Kent, J.L., Ships in Rough Water, Thomas Nelson and Sons Ltd., London, 1958.
- [2] Hoffman, D., Operational Criteria for Ship Handling in Rough Weather, Conference on Operation of Ships in Rough Weather, The Institute of Marine Engineers, London, 1980.
- [3] Rawson, K.J., Tupper, E.C., Basic Ship Theory, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986.
- [4] Tabain, T., Prijedlog standarda stanja mora za Jadran, Brodogradnja, sv.25, Zagreb, 1974.
- [5] Tabain, T., Standard Wind Wave Spectrum for the Adriatic Sea Revisited (1977 - 1997), Brodogradnja, sv.47., Zagreb, 1997.
- [6] Tabain, T., Upgrading of Semisubmersible Offshore Platform Zagreb 1 for Deeper Sea, Brodogradnja, sv.47, Zagreb, 1999.
- [7] Pomorska enciklopedija, Hrvatski hidrografski zavod, sv.3, Zagreb, 1976.
- [8] Jadransko more, Pomorska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1976., sv. 3, str. 210.
- [9] Valovi, Pomorska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1989., sv. 8, str. 389.
- [10] Oceanografska mjerenja ispred Dubrovnika, Hrvatski hidrografski institut, Split, 1999.

*Summary*

CHARACTERISTICS OF THE SEA WAVES OF THE ADRIATIC SEA  
RELATIVE TO THE SAFETY AND COMFORT OF SEA TRAFFIC

*Sea traffic plays an important role in the tourist trade of coastal countries because it can prevalently be considered a tourist service as opposed to land or air traffic, which are mainly in the function of bringing the tourists to their destinations. This is particularly true in reference to the portion of sea traffic that is fulfilled on pleasure craft.*

*The interaction between waves and craft can be observed in two different ways. The smaller waves or ripples is when one entity of rolling or pitching causes a pleasurable sensation, but the bigger waves are experienced as unpleasant and even frightening; people become seasick, especially taking into account wave impact on pleasure craft.*

*From this aspect wind waves should be taken into consideration, and their elements are mainly defined by the velocity of the wind, the local maritime zone and the duration the wind blowing. The sensation of pleasant or unpleasant sailing primarily depends on the relationship between the waves and the size of the craft.*

*The mareographic (oceanographic) buoys can very accurately measure the height and the period of waves, where their length and speed are assessed or calculated by means of empiric formulas.*

*This paper proposes parameters and respectively interdependent elements between the waves in the Adriatic Sea and the seafaring craft that could prove to be useful in selecting the craft that would make navigating pleasurable.*

*Key words: Characteristics of sea waves, safety of navigation, pleasant voyage*