

PRILOG ODREĐIVANJU DULJINE VJETROVNIH VALOVA NA JADRANU

Towards Determining the Length of the Wind Waves of the Adriatic Sea

UDK 556:(262.3)
Prethodno priopćenje
Preliminary communication

Sažetak

Valovi, kao morfološki oblik morske površine karakterizirani su visinom, duljinom i periodom, odnosno brzinom.

Visinu i period vala moguće je točno odrediti na valomjernim plutačama. Duljinu vala moguće je samo približno odrediti, prema tome i brzinu vala.

Najdulji su plimni valovi, kraći su seizmički, još kraći su valovi mrtvog mora, a najkraći su vjetrovni valovi. Vjetrovni valovi su najznačajniji glede sigurnosti pomorskog prometa te će se stoga njihova obilježja razmatrati u ovom radu.

U literaturi se susreću matematički izrazi za duljinu vala koji daleko nadilaze vrijednosti koje se susreću na Jadranu. Empirijski izraz $\lambda = 16,78 H^{0,71}$ zadovoljava u pogledu visine vala H i pripadne duljine λ za Jadran.

Summary

Waves, as a morphologic form of the sea surface, are characterised by their height, length and period, or speed.

The height and period of the wave can be measured with a high degree of accuracy by means of oceanographic measuring buoys.

The length of the wave can be approximately derived, as well as the speed.

The longest are the tide waves, shorter are the seismically waves, even shorter are the waves of the swell, while the windy waves are the shortest ones.

The windy waves are the most important from the safety point of view and their characteristics will be analyzed in this paper.

The technical literature is full of mathematical equations for the length of waves which exceed extensively the parameters of the Adriatic Sea waves.

The empiric formula $\lambda = 16,78 H^{0,71}$ correctly determines the length of the Adriatic Sea wave H and its corresponding length λ .

1. Uvod Introduction

Val nastaje djelovanjem neke prirodne sile na površinu mora, a to može biti plimotvorna sila gravitacije Mjeseca, Sunca i Zemlje, sila uvjetovana nekim tektonskim poremećajem ispod ili uz more, djelovanjem vjetra odnosno promjenama u atmosferskom tlaku na površini vode, itd.

Tim silama se suprotstavlja sila gravitacije koja djeluje na morsku površinu kao i viskozitet vodenih masa.

Suprotstavljeno djelovanje tih sila rezultira gibanjem morske površine u obliku valova.

Najdulji su plimni valovi, a njihova duljina na ekvatoru iznosi:

$$\lambda = 180 \cdot 60 \cdot 1852 = 2 \cdot 10^7 \text{ m} \quad (1)$$

Tektonski valovi također mogu biti vrlo dugački, i do

$$\lambda = 5 \cdot 10^5 \text{ m} \quad (2)$$

*Dr. sc. Dinko Zorović, Pomorski fakultet, Rijeka

**Dr.sc. Robert Mohović, Pomorski fakultet, Rijeka

***Đani Mohović, dipl.ing., Pomorski fakultet, Rijeka

U plovidbi morem najvažniji su vjetrovni valovi, a nakon toga valovi mrtvog mora. Duljina vjetrovnog vala ovisi o mnogim čimbenicima:

$$\lambda = f(V, D, d, t, \rho, t_z, t_v, \nu, s, \dots) \quad (3)$$

gdje su:

- λ - duljina vjetrovnog vala
- V - brzina vjetra
- D - duljina privjetrišta
- d - dubina vode
- t - trajanje puhanja vjetra
- ρ - gustoća vode
- t_z - temperatura zraka
- t_v - temperatura vode
- r - viskozitet vode
- s - salinitet mora

U literaturi postoje podaci o duljini vala u ovisnosti o pojedinom parametru. Međutim za Jadransko more ti rezultati se bitno razlikuju od opaženih vrijednosti.

2. Cilj rada

The scope of the paper

U ovom radu želi se predložiti analitički izraz koji bi što točnije povezivao parametre visine i duljine valova na Jadranskom moru. Elementi vala kao što su značajna valna visina $H_{1/3}$ i srednji period T_{sr} najvažniji su za brod glede sigurnosti plovidbe.

3. Valovi Jadranskog mora

The waves of the Adriatic sea

Pomorska enciklopedija donosi rezultate mjerenja vjetrovnih valova na Jadranu. Ti podaci su opće prihvaćeni u pomorskoj praksi te svaki analitički izraz mora biti izveden iz tih vrijednosti.

4. Duljina vjetrovnih valova

The length of the windy waves

U pomorskoj praksi je općenito prihvaćeno da je omjer visine i duljine vala na otvorenim morima:

$$H : \lambda = 1 : 15 \quad (4)$$

Na Jadranu je, zbog relativno brzih vjetrova, veće gustoće morske vode, dubine mora i relativno kratkog privjetrišta, ovaj odnos nešto veći posebno za valove većih visina.

Analizira li se taj odnos za vrijednosti u tablici 1. dobivaju se vrijednosti koje su prikazane u tablici 2.

Tablica 1. Obilježja valovlja Jadranskog mora

Table 1. The characteristics of the Adriatic sea waves

Jadran	WMO	H	T	λ	%
0	0	-	-	-	10
1	1	0,05	1,6	2	24,6
2	2	0,2	2,7	5	
3	3	0,5	3,7	9,5	43,0
4		0,8	4,6	14	
5	4	1,3	5,4	20	17,2
6		1,9	6,2	25	
7	5	2,6	6,9	32	4,2
8		3,5	7,6	39	
9	6	4,6	8,3	46,5	1,0
10		5,9	9,0	55	
11	7	7,3	9,7	66	0,01
12		8,8	10,4	79	

Izvor: Pomorska enciklopedija, svezak 3, Jadransko more

gdje su:

WMO- oznaka za snagu mora prema *World Meteorological Organization*

H - visina vala [m]

T - period vala [s]

λ - duljina vala [m]

% - postotak od ukupnog broja valova

Tablica 2. Omjer visine i duljine valova na Jadranu
 Table 2. The ratio of the height and the length of the Adriatic sea waves

Jadran	WHO	H[m]	λ [m]	H/ λ
0	0	0,00	0, ∞	-
1	1	0,05	2,0	1 : 40,0
2	2	0,20	9,0	1 : 25,0
3	3	0,50	9,5	1 : 19,0
4		0,80	14,0	1 : 17,5
5	4	1,30	20,0	1 : 15,4
6		1,90	25,0	1 : 13,2
7	5	2,60	32,0	1 : 12,3
8		3,50	39,0	1 : 11,1
9	6	4,60	46,5	1 : 10,0
10		5,90	55,0	1 : 9,3
11	7	7,30	66,0	1 : 9,0
12		8,80	79,0	1 : 9,0

Uočljivo je da su niži valovi relativno dulji dok su viši kraći. Srednja vrijednost svih gore prikazanih rezultata iznosi:

$$H : \lambda = 1 : 15,9 \quad (5)$$

Izostave li se iz računa valovi visine 0,05 m i 0,2 m, koji su doista zanemarivi, proizlazi omjer:

$$H : \lambda = 1 : 12,5 \quad (6)$$

Ovakav rezultat pokazuje da su vjetrovni valovi na Jadranu još kraći od opće prihvaćenog. Naročito su kratki visoki valovi, dakle oni najopasniji pa tako svojom malom duljinom još više otežavaju plovidbu. Za veće brodove veća je mogućnost pojave zalijevanja palube (engl. *shipping green water*), a stvara se i veći dodatni otpor.

Prema trohoidnoj teoriji valova¹ srednja duljina vala određuje se izrazom:

$$\lambda = 1,56 \cdot T^2 \quad (7)$$

Uzmu li se elementi vala određeni uz pomoć valomjerne plutače u postaji Dubrovnik za razdoblje mjerenja od 22.12.1979. do 23.12.1979. kao vjerodostojni, dobivaju se vrijednosti prikazane u tablici 3.

Tablica 3. Statistička obrada valova za postaju – Dubrovnik
 Table 3. Statistical analyses of the waves for the Dubrovnik reference point

Razdoblje mjerenja: 22.12.1979. - 23.12.1979						
Vjetar: SE 3,5 – 19,4 m/s						
Sat	$H_{1/3}$ [m]	$H_{1/10}$ [m]	H_{max} [m]	H_{sr} [m]	T_{srs} [s]	λ_{sr} [m]
04:00	1,80	2,15	2,20	1,27	6,29	61,84
07:00	1,69	1,92	2,00	1,21	5,74	51,36
10:00	2,31	2,92	3,60	1,54	6,01	56,36
13:00	3,56	4,30	5,70	2,36	7,04	77,31
16:00	5,01	5,80	7,30	3,46	7,98	99,55
19:00	6,60	7,78	8,90	4,58	9,41	138,34
22:00	4,89	5,72	6,30	3,14	8,26	106,62
01:00	3,10	3,69	4,30	2,06	7,27	82,59
04:00	2,25	2,75	3,10	1,50	7,14	79,48
07:00	1,67	2,10	2,30	1,11	6,15	59,13
10:00	2,11	2,53	2,60	1,48	8,58	114,84
13:00	2,19	2,68	2,90	1,40	6,71	70,33
16:00	1,39	1,84	2,40	0,86	5,44	46,20

Izvor: Statistička obrada valova za 22. i 23.12.1979., Hrvatski hidrografski institut, Split, prosinac 1999.

¹Babić L., Pomorski objekti u betonu, Epoha, Beograd, 1968., str. 18.

Tablica 4. Srednja vrijednost za cijelu situaciju

Table 4. Mean value for the whole situation

$H_{1/3}$ [m]	$H_{1/10}$ [m]	H_{max} [m]	H_{sr} [m]	T_{sr} [m]	λ_{sr} [m]
3,64	5,16	8,90	2,10	6,97	75,96

Uz ovako velike proračunate valne duljine (proračunate prema jednadžbi (7)), omjer visine prema duljini vala (srednje vrijednosti) također je vrlo velik. Vrijednosti su prikazane u tablici 5.

Tablica 5. Omjer visine i proračunate duljine vala za postaju – Dubrovnik

Table 5. The ratio of the height and the calculated length of the waves for the Dubrovnik reference point

Za razdoblje mjerenja: 22.12.1979. - 23.12.1979. i vjetar: SE 3,5 – 19,4 m/s			
Sat	H_{sr} [m]	λ proračunato [m]	H/λ
04:00	1,27	61,84	1 : 48,7
07:00	1,21	51,36	1 : 42,4
10:00	1,54	56,36	1 : 36,6
13:00	2,36	77,31	1 : 32,8
16:00	3,46	99,55	1 : 28,8
19:00	4,58	138,34	1 : 30,2
22:00	3,14	106,62	1 : 34,0
01:00	2,06	82,59	1 : 40,1
04:00	1,50	79,48	1 : 53,0
07:00	1,11	59,13	1 : 53,3
10:00	1,48	114,84	1 : 77,6
13:00	1,40	70,33	1 : 50,2
16:00	0,86	46,20	1 : 53,7

Odnosno za cijelu situaciju vrijednosti su prikazane u tablici 6.

Tablica 6. Srednje vrijednosti omjera visine i izračunate duljine vala

Table 4. Mean value for the ratio of the height and calculated waves length

H_{sr} [m]	λ_{sr} [m]	H_{sr}/λ_s
2,10	75,96	1 : 36,2

U tablici 7. prikazani su rezultati mjerenja na valomjernoj postaji Dubrovnik u dužem vremenskom odsječku od 22.12.1979. do 1.4.1988.

Tablica 7. Stanje valova na valomjernoj postaji – Dubrovnik

Table 7. The characteristics of the waves for the Dubrovnik reference point

Razdoblje: 22.12.1979. do 1.4.1988.						
Vrijeme	Podaci o vjetru	$H_{1/3}$ [m]	$H_{1/10}$ [m]	H_{max} [m]	T_{sr} [s]	λ_{sr} [m]
22.-23.12.1979.	SE 3,5-19,4 m/s	3,64	5,16	8,90	6,97	75,93
30.-31.03.1981.	SE 6,3-17,6 m/s	2,82	3,90	7,10	6,76	71,43
30.01.-02.02.86.	SE 3,5-16,5 m/s	2,76	3,62	6,10	7,08	78,20
13.-14.01.1987.	SE 5,5-21,0 m/s	4,01	5,30	9,20	7,81	95,37
30.03.-01.04.88.	SE 5,0-15,0 m/s	2,53	3,48	5,40	6,88	73,92

Izvor: Stanje valova valomjerne postaje Dubrovnik za razdoblje od 22.12.1979 do 1.4.1988., Hrvatski hidrografski institut, Split.

Napomena: λ_{sr} – određena je prema jednadžbi (7).

U tablici nisu prikazane srednje visine valova, no ako se uzmu vrijednosti $H_{1/3}$ dobivaju se vrijednosti kao u tablici 8.

Tablica 8. omjer visine i proračunate duljine vala za valomjernu postaju - Dubrovnik
Table 8. The ratio of the height and the calculated length of the waves for the Dubrovnik reference point

Razdoblje: 22.12.1979. - 1.4.1988.				
Vrijeme	Podaci vjetra	$H_{1/3}[m]$	$\lambda_{sr}[m]$	$H_{1/3}/\lambda_{sr}$
22.-23.12.1979.	SE 3,5-19,4 m/s	3,64	75,93	1: 20,86
30.-31.3.1981.	SE 6,3-17,6 m/s	2,82	71,43	1: 25,33
30.1.-2.2.86.	SE 3,5-16,5 m/s	2,76	78,20	1: 28,33
13.-14.1.1987.	SE 5,5-21,0 m/s	4,01	95,37	1: 23,78
30.3.-1.4.88.	SE 5,0-15,0 m/s	2,53	73,92	1: 29,22

Uočljive su daleko manje vrijednosti omjera koje ponovo ne odgovaraju stvarnosti.² Za srednje valne visine omjeri H_{sr}/λ_{sr} bili bi još manji nego li su oni prikazani u tablici 8.

Da bi se opisalo stanje valovlja Jadranskog mora kako je to prikazano u tablici 1., potrebno je dati drukčiji analitički izraz koji će povezivati duljinu valova λ i pripadnu visinu H .

Neka pretpostavljeni izraz bude što jednostavnijeg oblika, primjer:

$$\lambda = a \cdot H^b \quad (8)$$

Ako se pokušaju definirati a i b na osnovi dviju valnih vrijednosti, na primjer najmanjeg i najvećeg vala:

$$2 = a \cdot 0,05^b \quad (9)$$

$$79 = a \cdot 8,8^b \quad (10)$$

izlazi vrijednost za parametre:

$$a = 16,78 \quad (11)$$

$$b = 0,71 \quad (12)$$

Prema tome, odnos duljine (λ) i visine vala (H) na Jadranu može se odrediti izrazom:

$$\lambda = 16,78 \cdot H^{0,71} \quad (13)$$

koji vrlo točno predstavlja vrijednosti za cijeli široki spektar visine i duljine valovlja u Jadranskom moru.

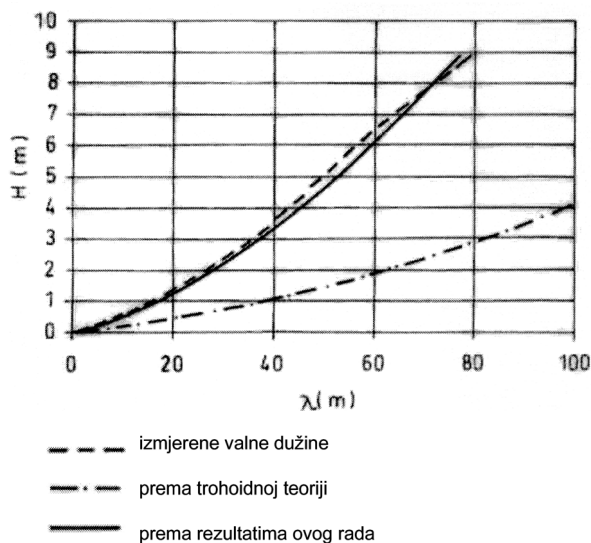
Točnost ovog izraza može se zorno prikazati uzmu li se u obzir vrijednosti visine vala H i perioda T iz tablice 1. te se na temelju tih vrijednosti proračunaju valne duljine prema izrazu (7) i usporede s valnim duljinama dobivenim iz izraza (13) i stvarnim valnim duljinama λ iz tablice 1. Vrijednosti potrebne za usporedbu prikazane su u tablici 9.

Tablica 9. Usporedba valnih duljina
Table 9. Comparison of the wave length

H [m]	T [s]	izmjerena valna duljina λ [m]	prema trohoidnoj teoriji $\lambda = 1,56 \cdot T^2$ [m]	prema rezultatima ovog rada $\lambda = 16,78 \cdot H^{0,71}$ [m]
-	-	-	0	0
0,05	1,6	2	4,0	2,0
0,2	2,7	5	11,4	5,4
0,5	3,7	9,5	21,4	10,3
0,8	4,6	14	33,0	14,3
1,3	5,4	20	45,5	20,2
1,9	6,2	25	60,0	26,5
2,6	6,9	32	74,3	33,1
3,5	7,6	39	90,1	40,8
4,6	8,3	46,5	107,5	50,0
5,9	9,0	55	126,4	59,2
7,3	9,7	66	146,8	68,8
8,8	10,4	79	168,7	78,6

² Neodgovarajuće vrijednosti u odnosu na stvarne vrijednosti potvrđene su i mjerenjima autora, koji su mjerili parametre valova bure uz pristan u Mošeničkoj Dragi, 20.7.2000. i 27.11.2000.

Usporedba između vrijednosti valne duljine λ zorno je prikazana u dijagramu na slici 1.



Slika 1. Dijagram usporedbe valnih duljina λ
Figure 1. Diagram of the comparison of the wave length λ

Iz dijagrama na slici 1. uočava se kako krivulja dobivena prema izrazu (13) vrlo vjerno predstavlja stvarne vrijednosti valne duljine λ za Jadransko more.

5. Zaključak Conclusion

Analizirajući razmatranu problematiku mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- na valomjernim plutačama moguće je točno odrediti visinu i period vala;

- duljinu vala, odnosno njegovu brzinu može se posredno odrediti na osnovi empirijskih analitičkih izraza;

- analitički izrazi koji se susreću u literaturi daju prevelike vrijednosti za duljinu valova za Jadran; takve duljine valova možda su primjerene za neka druga mora;

- odnos visine i duljine vala opće je prihvaćen za velika mora i Jadran; rezultati mjerenja valovlja na Jadranu to potvrđuju;

- interpretacija duljine valova na osnovu podataka izmjerenih na valomjernim plutačama na Jadranu daju takve vrijednosti za duljine valova kakve se u nas ne susreću;

- naprijed izveden analitički izraz $\lambda = 16,78 \cdot H^{0,71}$, daje odnos duljine i visine vala koji vrlo točno karakterizira valovlje na Jadranu.

Literatura

References

- [1] Babić L., Pomorski objekti u betonu, Epoha, Beograd, 1968.
- [2] Tabain, T., Prijedlog standarda stanja mora za Jadran, Brodogradnja, sv. 25, Zagreb, 1974.
- [3] Tabain, T., Standard Wind Wave Spectrum for the Adriatic Sea Revisited (1977 – 1997), Brodogradnja, sv. 47., Zagreb, 1997.
- [4] Maritмна studija za uvalu "Tiha" u Cavtatu, Rijeka-projekt, Niskogradnja, 2000.
- [5] Oceanografska mjerenja za ispušt otpadnih voda, Cavtat, Hrvatski hidrografski institut, Split, 1999.
- [6] Prometni objekti vezani uz kanalizacijski sustav Cavtata, Elaborat za ishođenje lokacijske dozvole IGH, Zavod za hidrotehniku, Zagreb, 1999.
- [7] Jadransko more, Pomorska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1976., sv. 3, str. 210.
- [8] Valovi, Pomorska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1989., sv. 8, str. 389.

Rukopis primljen: 21.5.2003.

