

Dinko Zorović
Robert Mohović
Đani Mohović
Pomorski fakultet Rijeka
Rijeka, Studentska 2

Pregledni rad
UDK: 656.61.052 (262.3)
551.466 (262.3)

PRILOG ODREĐIVANJU ODNOSA DULJINE I PERIODE VALOVLJA JADRANSKOG MORA

Na valomjernim plutačama mogu se s velikom točnošću odrediti visine i periode valova. Na raznim morima svijeta ti su odnosi drukčiji jer na to utječu mnogi činioci, poglavito duljina privjetrišta i dubina mora. Na Jadranu su parametri valovlja izmjereni, dane su njihove visine, duljine i periode, pa prema tome i brzine vala. Moguće je stoga dati jednostavne empirijske jednadžbe koje će povezivati međusobno pojedine parametre. Na osnovi rezultata mjerenja predlaže se odnos periode i duljine valovlja Jadrana odrediti izrazom:

$$\lambda = 0,6517 \cdot T^{2,0421}$$

Koristeći se ovim izrazom na osnovi izmjerene periode vala, moguće je vrlo jednostavno izračunati njegovu duljinu za Jadran.

1. UVOD

Suvremena mjerna tehnika omogućava s pomoću mjernih plutača odrediti visinu i periode valovlja te tako dobivene podatke memorirati. Na osnovi tih podataka potrebno je više ili manje složenim računima odrediti ostale elemente valovlja koji su nužni u projektiranju obalnih građevina, ocjenjivanju mogućnosti sigurnosti prilaza, manevriranja i boravka brodova na mjestu priveza, onemogućavanju nastajanja stojnih valova, očuvanju obalnog ruba od naplavlivanja morem itd.

Jedan je od najvažnijih parametara valovlja, odmah nakon visine, duljina vala. Općenito se uzima da je omjer visine i duljine vala 1:10 za Jadransko more i 1:15 za velika svjetska mora. Takve omjere parametara valova daje Pomorska enciklopedija u tablici 1. [4]

Tablica 1. Obilježja valova Jadranskog mora

Jadran	WMO	H(m)	T(s)	λ (m)
0	0	-	-	-
1	1	0,05	1,6	2
2	2	0,2	2,7	5
3	3	0,5	3,7	9,5
4		0,8	4,6	14
5	4	1,3	5,4	20
6		1,9	6,2	25
7	5	2,6	6,9	32
8		3,5	7,6	39
9	6	4,7	8,3	46,5
10		5,9	9	55
11	7	7,3	9,7	66
12		8,8	10,4	79

Izvor: Priedili autori prema Pomorskoj enciklopediji, svezak 3. i 8.

gdje su:

WMO – oznaka za snagu mora prema Svjetskoj meteorološkoj organizaciji
 (World Meteorological Organization)

H – značajna visina vala [m]

T – nulti period [s]

λ – valna duljina [m]

Izraz dobiven na osnovi trohoidne teorije valova koji daje odnos periode i duljine vala je sljedeći:

$$\lambda = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \cong 1,56 \cdot T^2$$

gdje su:

T – period širenja vala [s]

λ – valna duljina [m]

g – ubrzanje sile teže, $\approx 9,81$ [m/s²]

Analizirajući izraz prema trohoidnoj teoriji valova, računate duljine vala daju daleko prevelike vrijednosti, posebno za Jadransko more.¹

Osim ovog izraza, u literaturi se susreću i drugi izrazi određeni empirijskim putem koji daju odnos periode i duljine vala [1]. Osim tih izraza koji su vrlo pogodni za primjenu u praksi, postoji i niz drugih valnih teorija kao što su teorije idealnih valova, u koje se ubrajaju teorija potencijalnog valnoga gibanja, Airyjeva

¹ Konstatcija je, među ostalim, potvrđena mjerenjima parametara valova bure uz pristan u Mošćeničkoj Dragi, 20. srpnja 2000. i 27. studenoga 2000., koja su proveli autori.

teorija valova beskonačno male amplitude, teorija valova konačne amplitude (Stokesova metoda) i teorija knoidalnih valova Kortewega-de Vriesa, ali imajući na umu opseg ovog rada, ove se teorije neće posebno razmatrati.

Odnos periode i duljine vala razmatrat će se samo za vjetrovne valove. Sličan odnos vrijedi za valove mrtvog mora, bilo onoga koji prethodi vjetru, bilo onoga koji zaostaje iza puhanja vjetra, premda valovi mrtvog mora imaju nešto veću duljinu u odnosu prema periodi od vjetrovnih. Kao poseban slučaj može se uzeti plimni val koji ima najdulji period na Zemlji, pola lunarnog dana. Duljina toga vala iznosi pola opsega Zemaljske kugle na geografskoj širini (φ) za koju se promatra:

$$\text{Period } T = 12,416 \text{ sati} = 44700 \text{ s}$$

$$\text{Duljine vala: } L = 180 \cdot 60 \cdot 1852 \cos\varphi \text{ [m]}$$

Odmah nakon plimnog vala, najveće periode i duljinu imaju seizmički valovi-tsunami. Kod njih i valna duljina i period variraju, no mnogo su puta veći od vjetrovnih valova ili valova mrtvog mora, a kraći su od plimnog vala.

2. CILJ RADA

U ovom radu želi se dati empirijski dobiven numerički izraz koji će što vjernije dati odnos periode i duljine vala u Jadranskome moru. Pritom se želi zadržati samo na vjetrovnim valovima. Kako su s ovima povezani valovi mrtvog mora koji su ili preteča ili posljedica vjetra, ove relacije će s nešto manje točnosti vrijediti i za njih.

3. DULJINE I PERIODE VALOVA JADRANSKOG MORA

Uzmu li se kao vjerodostojni podaci iz tablice 1., parametri funkcije

$$\lambda = f(T)$$

mogu se dobiti zadovoljavajuće točno ako se pretpostave oblika:

$$\lambda = a \cdot T^b$$

gdje su a i b konstante. Udvajanjem tablice u dvije i dvije jednadžbe dobiva se:

$2 = a \cdot 1,6^b$	$79 = a \cdot 10,4^b$, te vrijede vrijednosti:	$a = 0,7942$	$b = 1,9640$
$5 = a \cdot 1,6^b$	$66 = a \cdot 9,7^b$	$a = 0,67$	$b = 2,0176$
$9,5 = a \cdot 3,7^b$	$55 = a \cdot 9^b$	$a = 0,7134$	$b = 1,9755$
$14 = a \cdot 4,6^b$	$46,5 = a \cdot 8,3^b$	$a = 0,6283$	$b = 2,0339$
$20 = a \cdot 5,4^b$	$39 = a \cdot 7,6^b$	$a = 0,7410$	$b = 1,9541$
$25 = a \cdot 6,2^b$	$32 = a \cdot 6,9^b$	$a = 0,3710$	$b = 2,3077$

Aritmetička sredina vrijednosti a i b daju vrijednosti $a = 0,6517$ i $b = 2,0421$. Prema tome, izraz koji najvjernije prikazuje valovlje Jadranskog mora povezuje duljinu vala i pripadne periode na sljedeći način:

$$\lambda = 0,6517 \cdot T^{2,0421} \quad (1)$$

Uz pretpostavku da je u tablici 1. period valovlja točno određen, izračunata izrazom (1) duljina pripadnog vala dodana je tablici 1. u tablicu 2. u koloni $\lambda_{\text{rač.}}$. U posljednjoj koloni pridodane su i pripadne pogreške u postocima iz izraza

$$\text{Pogreška (\%)} = \frac{\lambda - \lambda_{\text{rač.}}}{\lambda} \cdot 100$$

Tablica 2. Računate duljine valova

Jadran	T (s)	λ (m)	$\lambda_{\text{rač}}$ (m)	Pogreška (%)
0	-	-	-	-
1	1,6	2	1,7017	-14,9
2	2,7	5	4,9538	-0,9
3	3,7	9,5	9,427	-0,7
4	4,6	14	14,705	5,04
5	5,4	20	20,4018	2,01
6	6,2	25	27,0515	8,2
7	6,9	32	33,6512	5,17
8	7,6	39	40,9913	5,12
9	8,3	46,5	49,0742	5,5
10	9	55	57,9037	5,2
11	9,7	66	67,4737	2,23
12	10,4	79	77,7914	-1,5

Pogreške iznose do 15 %. Usporede li se s ovim vrijednosti za duljinu vala iz studije Hrvatskoga hidrografskog instituta, dobiva se tablica 3. [6]

Tablica 3. Odnos periode i duljine vala

Vrijeme	Podaci o vjetru (m/s)	T_{sr} (s)	λ_{sr} (m)	$\lambda_{\text{rač}}$ (m)	Pogreška (%)
22.-23.12.79.	SE 3,5-19,4	6,97	75,93	34,36	120,7
30.-31.03.81.	SE 6,3-17,6	6,76	71,43	32,28	121,3
30.01.-02.02.86.	SE 3,5-16,9	7,08	78,2	35,47	120,5
13.-14.01.87.	SE 5,5-21,0	7,81	95,37	43,34	120,1
30.03.-01.04.88.	SE 5,0-12,0	6,88	73,92	33,46	120,9

Uočljiva je velika razlika između duljine vala λ_{sr} iz tablice, koju je izračunao Hrvatski hidrografski institut, s vrijednostima koje su dobivene izrazom (1) koji s pogreškom do 15 % vjerno prikazuje valovlje tablice 1. U koloni «pogreška u postocima» (pogreška %), dano je:

$$\text{Pogreška \%} = \frac{\lambda_{\text{nač}} - \lambda_{\text{sr}}}{\lambda_{\text{nač}}} \cdot 100$$

Proizlazi da vrijednosti λ_{sr} u tablici 3. više od dvostruko premašuju valne vrijednosti. Učini li se slično razmatranje za valovlje očitano na valomjernoj plutači u vodama ispred Dubrovnika od 22. do 23. prosinca 1979., dobiva se tablica 4.[6]

Tablica 4. Stanje valovlja ispred Dubrovnika od 22. do 23. prosinca 1979.

Sat	$H_{1/3}$ (m)	$H_{1/10}$ (m)	H_{max} (m)	H_{sr} (m)	T_{sr} (s)	λ_{sr} (m)
04:00	1,8	2,15	2,2	1,27	6,29	61,84
07:00	1,69	1,92	2	1,21	5,74	51,36
10:00	2,31	2,95	3,6	1,54	6,01	56,36
13:00	3,56	4,3	5,7	2,36	7,04	77,31
16:00	5,01	5,8	7,3	3,46	7,98	99,55
19:00	6,6	7,78	8,9	4,58	9,41	138,34
22:00	4,89	5,72	6,3	3,14	8,26	106,62
01:00	3,1	3,69	4,3	2,06	7,27	82,59
04:00	2,25	2,75	3,1	1,5	7,14	79,48
07:00	1,67	2,1	2,3	1,11	6,15	59,13
10:00	2,11	2,53	2,6	1,48	8,58	114,84
13:00	2,19	2,68	2,9	1,4	6,71	70,33
16:00	1,39	1,84	2,4	0,86	5,44	46,2

Tablica 5. Srednje vrijednosti za stanje valovlja ispred Dubrovnika od 22. do 23. prosinca 1979.

Za cijelu situaciju					
$H_{1/3}$ (m)	$H_{1/10}$ (m)	H_{max} (m)	H_{sr} (m)	T_{sr} (s)	λ_{sr} (m)
3,64	5,16	8,9	2,1	6,97	75,96

Ponovno se uočavaju vrlo velike srednje duljine valova u odnosu prema izmjenjenim u Jadranu iz tablice 1.

4. ZAKLJUČAK

- Iskustveno je pravilo da je omjer visine i duljine valova na Jadranu $H : \lambda = 1 : 10$;
- Iskustvene vrijednosti parametra valovlja u potpunosti odgovaraju vrijednostima valovlja na Jadranu prikazane u Pomorskoj enciklopediji;
- Numerički izrazi iz literature primijenjeni na valovlje Jadranskog mora daju daleko prevelike vrijednosti za duljine valova od iskustveno opaženih i prihvaćenih te onih iz Pomorske enciklopedije;
- Odnos duljine vala i pripadne periode za valove Jadranskog mora može se dati empirijskim izrazom:

$$\lambda = 0,6517 T^{2,0421}$$

- Pogreške duljine valova izračunate ovim izrazom i izmjerenih kreću se unutar 15 %;
- Navedeni izraz omogućit će određivanje mnogo točnijih vrijednosti za duljinu valovlja što je bitno za projektiranje obalnih građevina, namjenskih brodova, za ocjenjivanje mogućnosti sigurnosti prilaza, manevriranja i boravka brodova na mjestu priveza, nastajanja stojnih valova, naplavlivanja obalnog ruba itd.

LITERATURA

- [1] L. Babić, Pomorski objekti u betonu, Epoha, Beograd, 1968., str. 19.
- [2] T. Tabain, Prijedlog standarda stanja mora za Jadran, Brodogradnja, sv.25., Zagreb, 1974.
- [3] T. Tabain, Standard Wind Wave Spectrum for the Adriatic Sea Revisited (1977 – 1997), Brodogradnja, sv.47., Zagreb, 1997.
- [4] Jadransko more, Pomorska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1976., sv. 3., str. 210.
- [5] Maritimna studija za uvalu "Tiha" u Cavtatu, Rijeka-projekt, Niskogradnja, 2000.
- [6] Oceanografska mjerenja ispred Dubrovnika, Hrvatski hidrografski institut, Split, 1999.
- [7] Valovi, Pomorska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1989., sv. 8., str. 389.

Summary

A CONTRIBUTION TO THE DETERMINATION OF THE RELATION BETWEEN THE LENGTH AND PERIOD OF THE ADRIATIC SEA WAVES

It is possible, with great precision, to measure the height and the periods of the waves on oceanographic buoys. On various seas of the World these correlations are different due to many factors, especially the fetch length and the depth of the sea. The parameters of the waves on the Adriatic Sea are measured, their heights, periods and speeds are given, and computed are their lengths and speed. It is, therefore, possible to give simple empirical mathematical formulas showing the correlation between these parameters. Based on the measured parameters, it is possible to give the following equation, which determines the length of the wave as a function of the period:

$$\lambda = 0,6517 T^{2,0421}$$

By using this formula, based on the measured wave periods, it is very easy to calculate the length of the wave on the Adriatic Sea.