

CIKLONALNI VALOVI NA JADRANU
STORM SURGES ON THE ADRIATIC

Mgr. Milan HODŽIĆ
Pomorski meteorološki centar, Split

551.515.1

SUMMARY

Storm surges are long gravitational waves which cause immense damage and make safe navigation impossible along the coast and in the bays of many seas and oceans. Their amplitudes may amount to up to seven metres in tropical regions. These waves originate under the influence of intense atmospheric disturbances that move across the sea. Surges also originate on the Adriatic, on the occasion of the passing of a cyclone, but their amplitudes along the eastern coast are far less in range and they range from several centimetres to half a metre. However, surges on the Adriatic sometimes cause piled up oscillations (seiches) in gulfs and inlets, whose amplitudes can considerably exceed the value of one meter in the bay of Vela Luka. By counting the intensity and speed of passage of the cyclone across the Adriatic during the appearance of the surges, and afterwards, of the seiche in the bay of Vela Luka, in 1951, 1977, 1978 and 1979, we were able to analyse the above mentioned parameters, their connection with the maximal amplitudes of the short-period oscillations of the sea level (surges) in Split, and the occurrence of seiches in the bay of Vela Luka.

POVZETEK

Ciklonalni valovi (sturm surges) so dolgi gravitacijski valovi na vodnih površinah, ki nastajajo pri prehodih izrazitih atmosferskih motenj prek morja in jezer. Nastajajo tudi na Jadranu, njihova amplituda pa se giblje od nekaj cm do pol metra, medtem ko lahko v tropskih območjih doseže tudi prek 7 metrov. Pri prehodu ciklonov prek Jadrana povzročajo ciklonalni valovi v zalivih in kanalih včasih razdiralne zalivske oscilacije (seše), katerih amplitude, na primer v zalivu Vela Luka na otoku Korčuli, znatno presegajo vrednosti enega metra. V tem delu smo raziskovali zvezo med intenzivnostjo in hitrostjo gibanja ciklona in amplitude surga nad Jadranom v času pojava seša v zalivu Vela Luka.

Ciklonalni valovi su dugi gravitacioni valovi koji nastaju na vodenim površinama mora i jezera, prilikom prolaza intenzivnih atmosferskih poremećaja. Oni su uzrokovani dinamičkim promjenama atmosfere, posebno kod jakih horizontalnih i vertikalnih strujanja zraka i naglim promjenama tlaka zraka u području ciklona in frontova. Surge su vrlo opasne vremenske nepogode, koje rušiličaki uništavaju obalne krajeve mnogih mora i oceana. Njihova amplituda nerijetko iznose od 3-6 metara u Meksičkom i Bengalskom zaljevu. U području djelovanja surga, sigurnost plovidbe je ponekad potpuno neizvjesna. Zbog toga su istraživanja surga zadnjih desetljeća znatno napredovala. To je omogućilo bolje upoznavanje i praćenje same pojave a zatim i njihovo prognoziranje. Tako su se barem donekle mogle otkloniti opasnosti od iznenađenja pojave. Glavni cilj istraživanja bio je u tome da se na neki način predvidi vrijeme nastanka i nailaska surga u obalnim pojasevima, kako bi se unaprijed mogle poduzeti određene mjere za zaštitu ljudi i materijalnih dobara uz obalu i na moru.

Surge se javljaju na svim morima i oceanima. One se također javljaju i na Jadranu, ali su manjih amplituda i nisu razorne kao one u tropskim područjima. Na Jadranu surge međutim uzrokuju-pobudjuju slobodne zaljevske oscilacije u brojnim zaljevima, u trenutku kada su periodi surga i periodi vlastitih oscilacija zaljeva ili kanala vrlo bliski ili čak isti, te uslijed rezonancije nastaju vrlo opasne seše, čije amplitude kao na primjer u zaljevu Vele Luke, znatno premašuju vrijednosti od jednog metra.

Stom surge se očituju kao povremeno i prolazno dizanje morske razine uz obalu a koje premašuje prognoziranu razinu plime. Termin je obično povezan uz obalne fenomene, premda se također susreću i na otvorenom moru kada neopazeno napreduju. Surge mogu biti uzrokovane i s jakim vjetrovima sa komponentom prema obali. Neobičan pad morske razine ponekad se naziva negativna surga a može biti prouzročena povlačenjem vala od obale ili djelovanjem jakih vjetrova koji imaju komponentu od obale. Razorne surge najčešće su povezane sa intenzivnim meteorološkim poremećajima tropskog porijekla (tropski ciklon ili olija, tajfun ili hariken). U tim slučajevima nastaju dodatne opasnosti uzrokovane kombinacijom jakih vjetrova, vjetrovnih valova i obilnih oborina.

Glavni dio surge širi se preko oceana i mora sa gibanjem ciklona i mogu se razmatrati kao osamljeni valovi (solitary waves). Za stvaranje surga najvažniji su ciklonalni parametri, kao što su veličina ciklona, radius maksimalnog vjetra, maksimalni vjetar, kut strujanja zraka, pad tlaka i intenzitet ciklone (razlika tlaka između centra i periferije ciklone, obično na udaljenosti od oko 500 km). U području niskog tlaka u centru ciklone imamo dizanje morske razine. Na osnovu hidrostatskih razmatranja dobijeno je da pad tlaka od jednog milibara uzrokuje dizanje razine mora za otprilike jedan cm. Porast razine mora stvoren padom tlaka poznat je kao efekt obrnutog barometra. Surge su također nedisperzivni valovi i valna duljina im je mnogo veća od dubine vode. Njihovi periodi kreću se od nekoliko minuta do nekoliko dana, dok su najčešći oni od oko jedan sat i dulji. Opsežna istraživanja surga vršena su na japanskoj obali i zaljevima, u Bengalskom zaljevu i Meksičkom zaljevu, uz obalu sjeverne Evrope i uz obalu istočne Amerike. U navedenim područjima izradjene su i primjenjene različite metode za pro-

gnozu surga, među njima su iskustvena, nomogram i dinamičko-numerička metoda.

Surge i njihova povezanost s prolazom atmosferskih poremećaja preko Jadrana, nisu sistematski ispitivana do sada, premda su se na mareografima uz istočnu obalu Jadrana često registrirale kratkoperiodične oscilacije mora odnosno surge. Njihovi periodi se kreću od nekoliko minuta do nekoliko sati, dok se amplitude kreću od nekoliko cm do 50 cm. Takve surge registrirane su i u vrijeme pojave "poplavnih valova" odnosno seša u Velalučkom zaljevu u tijeku 1977. i 1978. i 12.11.1951. godine, na mareografskim stanicama Split-Luka, Dubrovnik i Bar, upravo u vrijeme prolaza ciklona s priпадnim hladnim frontovima preko Jadrana.

Izračunavanjem i analizom intenziteta, zonalne i meridionalne brzine pomicanja ciklona u vrijeme pojave seša od 12.11.1951., 21.8. i 19.9.1977., i 21.6.1978. (amplitude seša bile su veće od jednog metra), te 10. i 12.2.1979. (amplitude seša bile su manje od jednog metra) u zaljevu Vele Luke, te u vrijeme maksimalnih amplituda kratkoperiodičnih oscilacija mora registriranih na mareografu u Splitu u tijeku 1977. i 1978. godine, upravo u vrijeme prolaza ciklona preko Jadrana; vidjet ćemo kod kojih intenziteta i brzine ciklona, nastaju takve surge koje pobudjuju osciliranje Velalučkog zaljeva.

ANALIZA INTENZITETA I BRZINE CENTRA CIKLONA U VRIJEME POJAVE CIKLONALNIH VALOVA NA JADRANU

Izračunate vrijednosti intenziteta, komponente brzine kretanja ciklona i maksimalne amplitude kratkoperiodičnih oscilacija registriranih na mareografu u Splitu, za vrijeme pojave seša u Veloj Luci u tijeku 1977. i 1978. godine prikazane su u tablici.

Intenzitet ciklona je mjera razvijenosti, odnosno intenzitet cirkulacije siklone oko centra. Intenzitet cirkulacije (I) računa se pomoću jednadžbe (1) /2/.

$$I = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - 4 p_0}{H^2} \quad (1)$$

Praktično se to izvodi pomoću razlike tlaka između određenih točaka kvadratne sheme prikazane na sl.1. Kvadrat se postavlja na sinoptičku kartu u centar ciklone, a dijagonale su orijentirane u pravcu koordinatnih osiju, y-os u pravcu sjevera i x-os u pravcu istoka. U jednadžbi (1) p_0 označava vrijednost tlaka u centru ciklone, p_1 , p_2 , p_3 i p_4 vrijednosti tlaka u točkama 1, 2, 3 i 4 kvadratne sheme, dok je H udaljenost između točaka a i b i iznosi 500 km /3/.

Brzina kretanja centra ciklone izračunava se također metodom Pettersena, pomoću jednačbi za komponente brzine centra ciklone c_x i c_y .

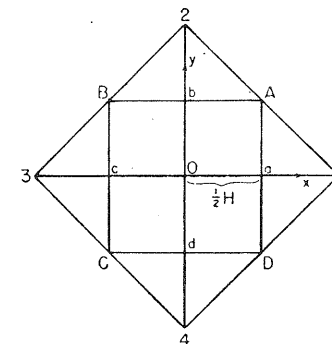
$$c_x = \frac{b_a - b_c}{p_1 - 2p_0 + p_3} H \quad \text{i} \quad c_y = - \frac{b_b - b_d}{p_1 - 2p_0 + p_4} H \quad (2)$$

gdje b_a, b_b, b_c, b_d te p_1, p_2, p_3 i p_4 označavaju vrijednosti barometrijske tendencije i tlaka zraka na prizemnim sinoptičkim kartama u točkama sheme sl.1.

Intenziteti ciklona su u tablici razvrstani u grupe sa slabim (I 20), umjerenim (20 I 40) i velikim intenzitetom (I 40) /3/. Komponente brzina su razdvojene u grupe s brzinom C 10 km/sat, s brzinom 10 C 25, i s brzinom C 25 km/sat. Prema vrijednostima maksimalnih amplituda oscilacija, slučajevi su razvrstani u grupe sa amplitudom A 30 cm, A 20 cm i A 10 cm.

Promatranjem rubrike amplitude u tablici, vidimo da su se seše s najvećim amplitudama u Veloj Luci zbile onada kada su najveće amplitude oscilacija registrirane u Splitu imale vrijednosti veće od 30 cm, i to u slučajevima od 12.11.1951., 21.8. i 19.9.1977. i 21.6.1978. godine, dok su se amplitude seša od oko jedan metar zbile onada kada su maksimalne amplitude iznosile 10 i 20 cm u slučajevima od 10. i 12.2.1979. godine.

Usporednim razmatranjem triju parametara: intenziteta, zonalne C_x i meridionalne C_y brzine ciklona, zapaža se da su se velike amplitude seša u zaljevu Vele Luke zbile samo onada kada su najmanje dva od tri parametra imala najveću i umjerenu vrijednost, uz uvjet da su brzine pozitivne. Tako u slučaju od 12.1.1951. godine intenzitet i C_x brzina pripadaju grupi s najvećim vrijednostima. U slučajevima od 21.8. i 19.9.1977. godine intenziteti pripadaju grupi s najvećim umjerenim vrijednostima, dok C_x brzina pripada grupi s najvećim vrijednostima. U slučaju od 21.6.1978. C_y brzina je u grupi s najvećim vrijednostima, kao i C_y koja od svih 24 slučaja ima maksimalnu vrijednost. U slučaju kada je amplituda seša iznosila oko jedan metar tj. 10.2.1979. godine intenzitet je imao umjerenu vrijednost, dok je C_x brzina imala najveću vrijednost. U slučaju od 12.2.1979. intenzitet ciklone je imao najveću vrijednost od svih razmatranih slučajeva. Provedena analiza intenziteta i brzine ciklona u svim slučajevima, pokazala je da su se seše u Veloj Luci s vrlo velikim amplitudama (veće od 1 m), zbile samo onada kada su dva od tri razmatrana parametra imala najveću umjerenu i najveću vrijednost, dok su se amplitude seša od oko 1 metar pojavile onada kada je samo jedan parametar bio najveći od svih ispitanih, uz uvjet da su brzine ciklona imale pozitivnu vrijednost, tj. u slučajevima kada se ciklone kretala i prema sjeveru i prema istoku.



Slika 1 Kvadratna shema za računanje intenzivnosti
Fig. 1 Quadratic scheme for calculating intensity

ZAKLJUČAK

Prikaz pojave poznate pod nazivom STORM SURGES (ciklonalni valovi), dan je u svrhu boljeg upoznavanja njihovog nastanka i opasnosti koje su uz nju vezane. Posebno smo željeli naglasiti opasnost koju surge mogu uzrokovati na Jadranu. U tu svrhu izvršili smo posebnu analizu ciklona na Jadranu, kako bi utvrdili najčešće intenzitete i brzine ciklona kod kojih nastaju takve surge, koje mogu uzrokovati razorne zaljevske seše, kao što je bio slučaj u zaljevu Vele Luke. Analiza intenziteta ciklona u 24 slučaja prolaza ciklona preko Jadrana, pokazala je da su iznosili od malih umjernih do vrlo velikih. U isto vrijeme brzina kretanja ciklona u komponentama redovito je bila pozitivna pri pojavi seša, odnosno ciklone su se kretale i prema istoku i prema sjeveru, dok su maksimalne amplitude surgi uz istočnu obalu Jadrana iznosile od 10-45 cm (prema mareografskim zapisima). Paralelna analiza intenziteta, zonalne i meridionalne brzine ciklona dala je vrlo važne zaključke: seše s najvećim amplitudama (znatno više od jednog metra) zbile su se samo onada kada su dvije od izračunatih vrijednosti imale umjerenu i najveću vrijednost; seše s manjim amplitudama (oko jedan metar) zbile su se onada kada je jedna od vrijednosti imala maksimalan iznos. Analiza je također pokazala da se seše s velikim amplitudama događaju onada kada su amplitude surga veće od 30 cm, a manje kada su iznosile od 10-20 cm.

Tabela 1 Maksimalne amplitude (A v cm) kratkoperiodičnih oscilacij morja v Splitu, intenzivnost (I v mb/H², H = 500 km), zonalna in meridionalna hitrost (C_x in C_y v km/uro) ciklona v času 24 primerov ciklonalne aktivnosti nad Jadranom.

Table 1 Maximal amplitudes (A in cm) of the short-period oscillations of the sea level in Split, intensity (I in mb/H², H = 500 km), zonal and meridional velocity (C_x and C_y in km/hour), of the cyclone in period of 24 samples of cyclone activity over Adriatic.

Broj sluč.	Datum	Maksimalna amplituda oscilacija						I - Intenzitet ciklone						C _x - Komponenta brzine C _y - Komponenta brzine					
		A 10	A 15	A 20	A 30	I 20	I 40	I 40	I 40	C _x 10	C _x 10	C _x 25	C _x 25	C _y 10	C _y 10	C _y 25	C _y 25		
1.	12.11.1951.				35.1			51				33.33				16.54			
2.	8.04.1977.	20.1						22			12.96				9.38				
3.	20.05.1977.	20.9						25							6.06				
4.	8.07.1977.	20.4				19					22.22				-8.33				
5.	15.07.1977.		15.2			16					16.67				-11.90				
6.	22.07.1977.		15.0			12											40.00		
7.	31.07.1977.																25.00		
8.	21.08.1977.				30.0			26									26.47		
9.	19.09.1977.				30.2			39											
10.	29.01.1977.							35			10.87				8.33				
11.	20.02.1978.	10.7	15.1					27			24.07				7.41		15.15		
12.	6.03.1978.		15.3					21			18.33						10.60		
13.	13.04.1978.	10.4						37											
14.	1.05.1978.				30.1			15			14.81						37.50		
15.	7.05.1978.		15.2					11											
16.	21.06.1978.				45.4			20											
17.	7.07.1978.			20.0				14											
18.	19.07.1978.		15.8					26											
19.	8.08.1978.	10.6						44			16.00				1.52		12.70		
20.	31.08.1978.	10.6						24			16.67				-25.55				
21.	12.09.1978.		15.5					21							-26.32				
22.	4.10.1978.				30.8			27									16.67		
23.	10.02.1979.	10.8						23											
24.	12.02.1979.			20.2				55			16.57								

LITERATURA

- /1/ HODŽIĆ, M.: Dinamičke karakteristike atmosfere iznad Sredozemlja i Jadrana za vrijeme pojave kratkoperiodičnih oscilacija mora u zaljevu Vele Luke, Magistarski rad, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb 1980.
- /2/ PETERSEN, S.: Weather analysis and forecasting, McGraw-hill Book Company, New York 1956.
- /3/ RADINOVIĆ, Dj., i D. LALIĆ: Ciklonska aktivnost u zapadnom Sredozemlju, Rasprave i studije, Br.7, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd 1959.
- /4/ SAUCIER, W.: Principles of Meteorological Analysis. The University of Chicago Press, Chicago 1955.
- /5/ PROUDMAN, J.: Dynamical oceanography. New York, John Wiley and Sons 1953.
- /6/ WMO: Present techniques of tropical storm surge prediction. Report No.13, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneve 1978.