



Studija o utjecaju na okoliš za zahvat  
„Luka nautičkog turizma – marina Cavtat“

**KNJIGA PRILOGA II**

Zagreb, 2025.

Three thick, wavy lines in yellow, green, and blue sweep across the bottom of the page from left to right.

U nastavku su priložena izvješća provedenih terenskih radnji, a u tablici niže je popis autorskih tvrtki/institucija.

Terenski obilazak/istraživanje	Tvrtka/Institucija
Vjetrovalna klima za marinu „Prahivac“	POMGRAD INŽENJERING d.o.o
Stručno izvješće o provedenom arheološkom pregledu i sondažnom istraživanju na prostoru buduće marine „luka nautičkog turizma“ u Cavtatu	Međunarodni centar za podvodnu arheologiju u Zadru (MCPA Zadar)
Elaborat – Procjena trenutnog stanja livade morske cvjetnice „Posidonia oceanica“ na lokaciji luka Cavtat – planirana luka posebne namjene – luka nautičkog turizma Cavtat i procjena utjecaja izgradnje i budućeg korištenja predmetne luke otvorene za javni promet Cavtat	Institut za oceanografiju i ribarstvo
Numeričko modeliranje hidrodinamičkih parametara za potrebe SUO za izgradnju luke nautičkog turizma „Prahivac“	Geofizikalno i ekološko modeliranje d.o.o., Zagreb

## Sadržaj

1	Vjetrovalna klima.....	1
2	Stručno izvješće o provedenom arheološkom pregledu i sondažnom istraživanju na prostoru buduće marine „luka nautičkog turizma“ u Cavtatu .....	75
3	Elaborat – Procjena trenutnog stanja livade morske cvjetnice „ <i>Posidonia oceanica</i> “ na lokaciji luka Cavtat – planirana luka posebne namjene – luka nautičkog turizma Cavtat i procjena utjecaja izgradnje i budućeg korištenja predmetne luke otvorene za javni promet Cavtat .....	88
4	Numeričko modeliranje hidrodinamičkih parametara za potrebe SUO za izgradnju luke nautičkog turizma „Prahivac“ .....	106

# 1 Vjetrovalna klima

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA:	<b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA:	<b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>

## **VJETROVALNA KLIMA ZA MARINU „PRAHIVAC“**

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

## 1 UVOD

Planiranje i iskorištavanje određenih građevinskih objekata nužno pretpostavlja poznavanje onih meteoroloških i maritimnih parametara koji mogu imati značajnijeg utjecaja na sigurnost objekta. Meteorološki element koji u najvećoj mjeri utječe na konstrukciju objekta svakako je vjetar kao horizontalna komponenta gibanja zraka. Vjetar je kao vektorska veličina određen brzinom i smjerom, a obilježava se onom stranom svijeta odakle puše. Zajedno s ostalim meteorološkim elementima, vjetar karakterizira procese u atmosferi koji pak uzrokuju različita vremenska stanja.

Pored općih karakteristika vremena, odnosno prosječnog stanja u dužem razdoblju, još su značajniji rijetki događaji i ekstremni meteorološki uvjeti. Budući da meteorološki elementi mogu postići vrijednosti koje imaju značajne posljedice na sigurnost i iskorištavanje objekata, potrebno ih je uvažiti kroz pogodne projektne kriterije.

Za potrebe dimenzioniranja pomorskih objekata analizirani su srednje satne brzine i smjer vjetra s najbliže anemografske postaje Dubrovnik za kontinuirani niz mjerenja brzine i smjera vjetra u razdoblju 2003.–2022 te su korišteni podaci o valovima sa europske agencije Copernicus Marine Services (<https://marine.copernicus.eu/>), odnosno javno dostupni rezultati numeričkog modela valova (Med-WAV) koji daje dobre rezultate za „otvoreno more“ (dugačka privjetrišta) za period 01/01/1985–31/10/2025.

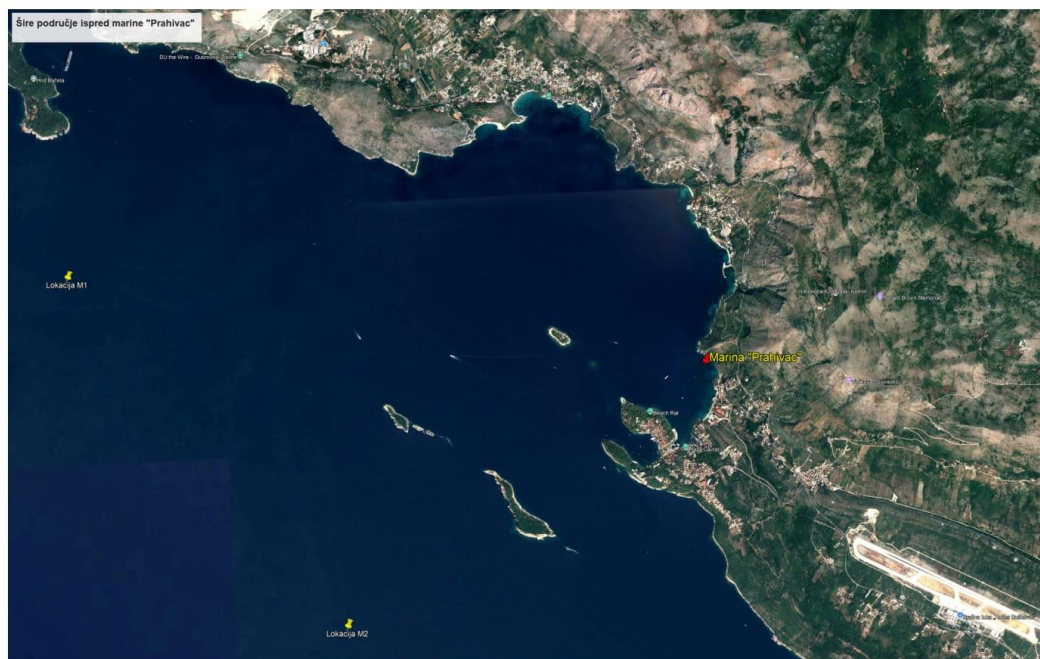
Značajke vjetrovne klime na nekom području mogu se prikazati na razne načine. U skladu sa zahtjevom naručitelja u ovoj studiji bit će analizirano:

- razdioba čestine brzine i smjera vjetra
- broj dana s jakim i olujnim vjetrom
- prikaz jačine, smjera i pripadnog trajanja srednjih satnih brzina vjetra  $\geq 5.5$  m/s (4 Bf)
- ovisnost trajanja umjerenog (4 Bf), umjerenog jakog vjetra (5 Bf), jakog vjetra (6 Bf), vrlo jakog vjetra (7Bf) i olujnog vjetra (8 Bf) o smjeru vjetra

Za potrebe dobivanja podataka o vjetrovima na području planirane marine dostavljeni su podaci od strane Državnog Hidrometeorološkog Zavoda Republike Hrvatske. Dostavljeni su podaci sa meteorološke postaje Dubrovnik.

Na meteorološkoj postaji Dubrovnik postoje podaci o kontinuiranom mjerenju brzine i smjera vjetra od travnja 1995. godine.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			



Slika 1. Položaj marine „Prahivac“

## 2 OPIS POLOŽAJA METEOROLOŠKE POSTAJE I PODACI VJETRA

Na glavnoj meteorološkoj postaji Dubrovnik pored mjerenja osnovnih meteorološkim elemenata (temperature zraka, količine oborine i dr.) kontinuirano se mjeri brzine i smjera vjetra od travnja 1995. godine. Ta mjerenja obavljaju se s mjernim digitalnim sustavom mikromM. Postaja je smještena na Lapadu u naselju Gorica ( $\varphi = 42^{\circ} 39'$ ,  $\lambda = 18^{\circ} 05'$ ,  $h_p = 52$  m). Teren je posve otvoren osim sa sjeveroistoka gdje se nalazi brdo Srđ. Postaja je na ravnom platou, strmo se spušta prema moru koje je udaljeno 20 m, a sa sjeverne i južne strane su obiteljske kuće. Anemograf je bio smješten na krovu zgrade postaje na visini 10 m iznad tla, a od 12. listopada 1998. nalazi se na samostalnom stupu iste visine (slika 2).

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA:	<b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA:	<b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



Slika 2. Položaj digitalnog mikro M anemografa na zgradi postaje (lijevo) i na samostalnom stupu od 12. listopada 1998. (desno)

Mjereni podaci vjetra (brzina i smjera vjetra kao i maksimalni udari vjetra) u meteorološkoj službi prikupljaju se u relativno rijetkoj mreži točaka. Postojeća mreža mjernih točaka odabrana je tako da omogućuje dobivanje općih karakteristika strujanja većih razmjera na visini od 10 m iznad tla. Pod maksimalnim udarom vjetra podrazumijevaju se najveće trenutne brzine vjetra u nekom vremenskom razdoblju (10-minutnom, satnom, dnevnom, mjesečnom i godišnjem). Mjerenje maksimalnih udara vjetra na postaji Dubrovnik obavljalo se Fuessovom električnim anemografom te se trenutne brzine odnose na interval 3-5 sekundi. Srednja satna brzina vjetra mjeri se također pomoću istog anemografa, odnosno mjeri se prevaljeni put u jednom satu. Iz svih raspoloživih srednjih satnih podataka brzine vjetra moguće je promatrati također najveće brzine vjetra po mjesecima ili godinama koje se zovu maksimalne srednje satne brzine vjetra.

Međutim, na meteorološkim postajama motritelji, osim mjerenja opažaju smjer i jačinu vjetra. Jačina vjetra procjenjuje se vizualno prema učincima vjetra na predmetima u prirodi u tri klimatološka termina (7, 14 i 21 h) i izražava se u stupnjevima Beaufortove ljestvice koja sadrži 0–12 stupnjeva. Smjer vjetra određuje se također vizualno pomoću vjetrulje koja ima označena samo četiri smjera. Motritelj je dužan ocijeniti smjer vjetra na 16 smjerova i označiti ga stranom svijeta odakle vjetar puše. Obradom navedenog niza, izračunato je trajanje puhanja vjetra za 13 klasa brzina, pri čemu se klase brzina temelje na Beaufortovoj ljestvici (Tablica 1), počevši od tišine. Za svaku klasu brzine, koja odgovara jednom stupnju po Beaufortovoj ljestvici, iznosu trajanja je pridruženo vrijeme početka i prestanka puhanja. Treba napomenuti kako je u navedenom nizu 1.1.1997.-1.1.2023. došlo do premještanja senzornog uređaja radi bolje reprezentativnosti mjerenja početkom 2003. godine, što je

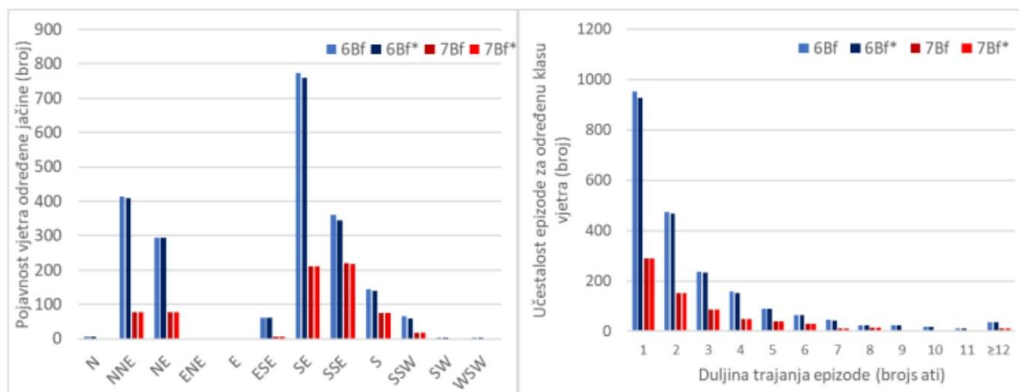
<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

dotatno poboljšalo kvalitetu mjerenja, ali potencijalno moglo i utjecati na rezultate. Iz tog razloga, svim rezultatima dodatno se prilaže rezultat za konzistentno 20-godišnje razdoblje 1.1.2003.-1.1.2023.

Tablica 1. Beaufortova ljestvica

Bf	Naziv	klasa brzine
0	tišina	0.0-0.2
1	lagan povjetarac	0.3-1.5
2	povjetarac	1.6-3.3
3	slab vjetar	3.4-5.4
4	umjeren vjetar	5.5-7.9
5	umjereno jak vjetar	8.0-10.7
6	jak vjetar	10.8-13.8
7	vrlo jak vjetar	13.9-17.1
8	olujan vjetar	17.2-20.7
9	oluja	20.8-24.4
10	jaka oluja	24.5-28.4
11	orkanski vjetar	28.5-32.6
12	orkan	32.7-36.9

### 3 PODACI O VJETRU



Slika 3. Histogram učestalosti epizoda vjetra jačine od 7 Bf i 6 Bf (lijevo) u trajanju od minimalno 1 sat po smjerovima vjetra u razdoblju 1.1.1997.-1.1.2023. ili 1.1.2003.-1.1.2023. (označeno zvjezdicom „\*“), za lokaciju GMP Dubrovnik te učestalosti epizoda navedenih klasa vjetra po duljini trajanja, bez obzira na smjer (desno).

Rezultati pokazuju da se u obrađenom nizu vjetar jačine 10 Bf, 11 Bf ili 12 Bf u trajanju od minimalno 1 sat nije zabilježio. Jaki olujni vjetar (jačine 9 Bf) zabilježio se 26 puta u obrađenih 26 godina podataka, pri čemu su sve zabilježene epizode unutar 20-godišnjeg razdoblja konzistentnih mjerenja, odnosno nakon premještanja mjernog uređaja. Epizode su zabilježene u trajanju od 1 sat do

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRADEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRADEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



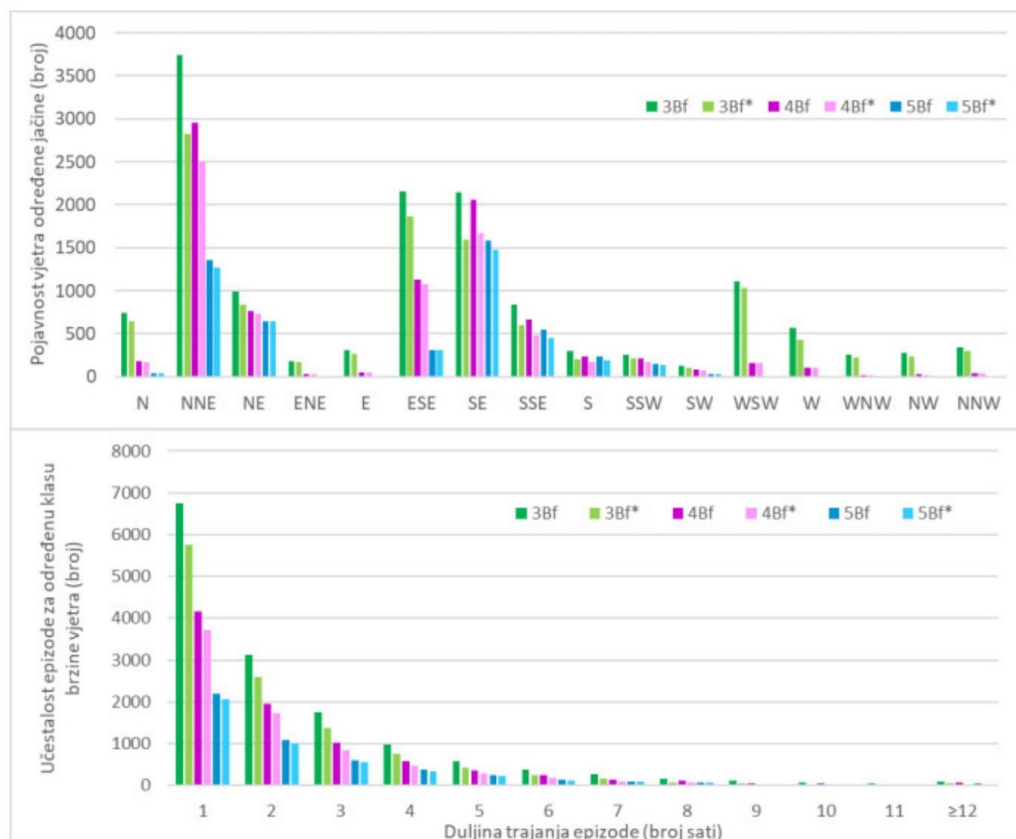
**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

maksimalno 8 sati (s početkom 30. studenog 2009. u 21:00 iz smjera SE). Trajanje se najčešće odnosilo na puhanje od 1 sat (15 puta) i 2 sata (7 puta), dok su dulje epizode (duljine 3, 4, 7 i 8 sati) zabilježene po jedan put. Općenito, vjetar jačine 9 Bf u trajanju od barem 1 sat najčešće je zabilježen iz smjera SSE (13 puta), a pojavljuju se još smjerovi SE (6 puta), S (2 puta), NNE (3) i NE (2 puta).

Olujni vjetar (jačine 8 Bf), očekivano, pojavio se u nizu češće nego jaki olujni vjetar te je zabilježen ukupno za 181 termin (svi u razdoblju 1.1.2003.-1.1.2023.), s trajanjem od 1 sat do 12 sati (najdulje 26. prosinca 2013. u 7:00 iz smjera SE te 11. prosinca 2017. iz smjera SSE). Pritom je najčešće trajanje od 1 sat (89 puta). Trajanje epizode od 2 sata zabilježeno je 38 puta, od 3 sata 20 puta, od 4 sata 10 puta, a dulje epizode pojavile su se manje od 10 puta za svaku razmatranu duljinu. Vjetar jačine 8 Bf trajanja barem 1 sat također se najčešće pojavljuje iz smjera SSE, ukupno 91 put. Štoviše, takav vjetar (8 Bf) se iz južnih smjerova (SSE-SSW) zabilježio čak 151 puta. S druge strane, iz prvog kvadranta (N-NNE) je vjetar od 8 Bf trajanja barem 1 sat zabilježen 30 puta.

Žestoko (7 Bf) i jako (6 Bf) puhanje vjetra pojavilo se češće. Puhanje jačine 7 Bf pojavilo se u ukupnom nizu 691 puta (690 puta do 1.1.2023.), a 6 Bf 2.129 puta (2086 puta do 1.1.2023.). Slično prethodnim rezultatima, puhanje se najčešće zabilježilo iz južnih smjerova, prvenstveno SSE (Slika 10.). Pritom su duljine epizoda varirale od 1 sat do 28 sati (7 Bf), odnosno 26 sati (6 Bf), pri čemu se učestalost, očekivano, smanjivala s duljinom trajanja epizode.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740			
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750			
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com			
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			



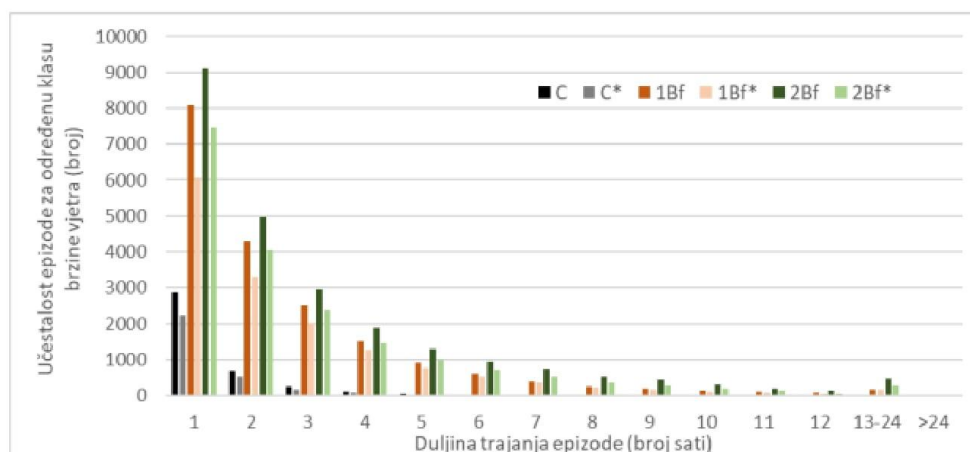
Slika 4. Histogram učestalosti epizoda vjetra jačine od 3 Bf, 4 Bf i 5 Bf u trajanju od minimalno 1 sat po smjerovima vjetra (gore) u razdoblju 1.1.1997.-1.1.2023. ili 1.1.2003.-1.1.2023. (označeno zvjezdicom „\*“), za lokaciju GMP Dubrovnik te učestalosti epizoda navedenih klasa vjetra po duljini trajanja, bez obzira na smjer (dolje).

Slična razdioba po smjeru je i za vjetar jačine od 3 Bf, 4 Bf i 5 Bf (Slika 4.), pri čemu jača učestalost vjetra iz smjera NNE u odnosu na ostale smjerove, te je više istaknuta pojavnost iz zapadnih smjerova nego li je to bio slučaj za vjetar jači od 5 Bf. Učestalost ovih kategorija (3 Bf, 4 Bf i 5 Bf) vjetra je općenito veća, a maksimalno trajanje u prosjeku dulje nego za vjetar koji je jači od 5 Bf.

Konačno, i za vjetar jačine do uključivo 3 Bf puhanje najčešće traje 1 sat, a dulje epizode sve su rjeđe s povećanjem trajanja (Slika 5). Općenito, najčešća je pojavnost vjetra jačine 2 Bf u trajanju od 1 sat, uzevši u obzir sve klase brzine vjetra i sve razmatrane duljine trajanja. Naime, vjetar jačine 2 Bf u trajanju od 1 sat se zabilježio 9.091 put u čitavom razmatranom nizu, od čega 7.474 puta u razdoblju

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>				ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>		

1.1.2003.-1.1.2023. S obzirom na to da je za tišinu nedefiniran smjer, a pri maloj brzini (<3.4 m/s) velika nepouzdanost mjerenja smjera, za ove klase nije razmatrana razdioba po smjeru.



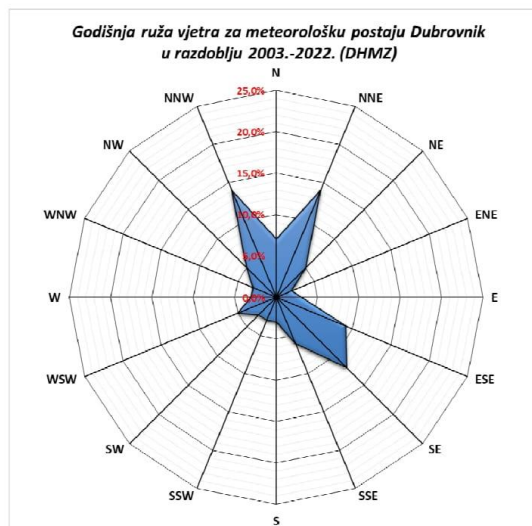
Slika 5. Histogram učestalosti epizoda vjetra jačine od 2 Bf i 1 Bf, te tišine (C) u razdoblju 1.1.1997.-1.1.2023. ili 1.1.2003.-1.1.2023. (označeno zvjezdicom „\*“), za lokaciju GMP Dubrovnik po duljini trajanja, bez obzira na smjer.

Vjetrovne prilike na području Jadrana određene su geografskim položajem, razdiobom baričkih sustava opće cirkulacije, utjecajem mora i kopnenog zaleđa, dobom dana i godine i dr. Svakako da su pojedini lokaliteti pod utjecajem i drugih čimbenika kao što su izloženost, konkavnost i konveksnost reljefa, nadmorska visina i sl. Dakle, vjetar je varijabilan meteorološki element jer ovisi o lokalnim i orografskim uvjetima na nekom području. Zbog razvijene orografije obalnog područja te utjecaja raspodjele baričkih sustava u sinoptičkim i mezorazmjerima očigledno je da na priobalnom području postoji složen lokalni cirkulacijski režim strujanja.

Godišnja i sezonske razdiobe brzine vjetra u ovisnosti o smjeru vjetra prikazane su grafički na ruži vjetra za postaju Dubrovnik prema mjerenjima satnih vrijednosti brzine i smjera vjetra za razdoblje 2003–2022. (slika 7), a numeričke vrijednosti dane su u tablicama kontigencije (tablica 2. i 3.).

Najčešći vjetar, koji se javlja na postaji Dubrovnik, je iz NNE smjera poznati kao bura. Bura se najčešće javlja u situacijama s prodorom hladnog zraka sa sjevera ili sjeveroistoka te je to hladan, suh i mahovit vjetar. Najjača bura javlja se podno nižih planinskih prijevoja gdje kanalizirano strujanje zraka pojačava jačinu bure. Bura je Dubrovniku najučestalija zimi i zabilježena je u 25.0% slučajeva. Zimi je još velika učestalost NNW vjetra koji je poznat pod nazivom tramontana i predznak je prave bure.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>				ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>		



Slika 6. Godišnja ruža vjetra

U Dubrovniku nakon bure i tramontane najčešće puše jugo, vjetar SE smjera. Jugo je najučestalije u proljeće, a olujnu jačinu postiže u svim godišnjim dobima osim ljeti. Za razliku od bure jugo je vlažan, topao i jednoličan jugoistočan vjetar. Smjer vjetra može se lokalno modificirati između ESE i SSE smjerova ovisno o obliku reljefa tla nekog područja. Jako jugo stvara velike valove, nastaje na prednjoj strani sredozemne ciklone, a zbog dizanja vlažnog zraka na fronti i uz brda često puta je praćeno velikom količinom oborine. Nakon prolaska fronte i pomaka središta ciklone na istok vjetar najčešće skreće na buru. Dakle, bura najčešće zamjenjuje jugo.

Ljeti je vjetar iz NE kvadranta slabiji i pored bure javlja se i NE vjetar u sklopu obalne cirkulacije kao noćni vjetar s kopna na more (kopnenjak) koji prelazi u burin kad pojača. Burin se ne smije zamijeniti s burom iako im se smjerovi poklapaju. Za razliku od toga, danju ljeti prevladava NNW vjetar poznat kao maestral koji je superpozicija etezije i zmorca. Etezijska je sezonska zračna struja koja zahvaća veliki prostor, a nastaje kao razlika tlaka u južnoj Europi između azorske anticiklone i Karači-depresije. Zmorac je danji vjetar s mora na kopno u sklopu obalne cirkulacije.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

Tablica 2.

GODINA (apsolutne čestine)

Tablica kontigencije vjetra (apsolutne čestine), po klasama jačine (Bf) i brzine (m/s) vjetra za GMP Dubrovnik, za godinu, u razdoblju 2003.-2022. DHMZ RH [1]

BRZINA (m/s)	0,0-0,2	1 Bf	2 Bf	3 Bf	4 Bf	5 Bf	6 Bf	7 Bf	8 Bf	9 Bf	10 Bf	11 Bf	12 Bf	ZBROJ
N		5144	4651	1303	288	55	8	2	1					11.452
NNE		3013	3495	5504	5843	3554	1031	208	30	4				22.682
NE		1954	1738	1361	1258	1438	759	206	28	3				8.745
ENE		1681	1159	353	64	1								3.258
E		1729	1936	601	90	1	1							4.358
ESE		1734	4519	5009	2557	647	127	15						14.608
SE		1196	4188	3826	3660	3769	2045	509	96	17				19.306
SSE		1504	3240	1332	1050	1011	1100	752	223	19				10.231
S		1924	2006	352	312	398	328	175	51	8				5.554
SSW		2244	2241	357	308	259	116	31	8					5.564
SW		1759	2952	216	140	61	9	2						5.139
WSW		1811	4204	2370	260	21	7							8.673
W		1534	1573	1101	270	7								4.485
WNW		2538	1376	398	30									4.342
NW		4362	3321	436	20									8.139
NNW		8623	12994	648	66	3								22.334
C	5092													5.092
ZBROJ	5092	42750	55593	25167	16216	11225	5531	1900	437	51	0	0	0	163.962

Tablica 3.

GODINA (relativne čestine)

Tablica kontigencije vjetra (relativne čestine), po klasama jačine (Bf) i brzine (m/s) vjetra za GMP Dubrovnik, za godinu, u razdoblju 2003.-2022. DHMZ RH [1]

BRZINA (m/s)	0,0-0,2	1 Bf	2 Bf	3 Bf	4 Bf	5 Bf	6 Bf	7 Bf	8 Bf	9 Bf	10 Bf	11 Bf	12 Bf	ZBROJ
N		31,37	28,37	7,95	1,76	0,34	0,05	0,01	0,01					70
NNE		18,38	21,32	33,57	35,64	21,68	6,29	1,27	0,18	0,02				138
NE		11,92	10,60	8,30	7,67	8,77	4,63	1,26	0,17	0,02				53
ENE		10,25	7,07	2,15	0,39	0,01								20
E		10,55	11,81	3,67	0,55	0,01	0,01							27
ESE		10,58	27,56	30,55	15,60	3,95	0,77	0,09						89
SE		7,29	25,54	23,33	22,32	22,99	12,47	3,10	0,59	0,10				118
SSE		9,17	19,76	8,12	6,40	6,17	6,71	4,59	1,36	0,12				62
S		11,73	12,23	2,15	1,90	2,43	2,00	1,07	0,31	0,05				34
SSW		13,69	13,67	2,18	1,88	1,58	0,71	0,19	0,05					34
SW		10,73	18,00	1,32	0,85	0,37	0,05	0,01						31
WSW		11,05	25,64	14,45	1,59	0,13	0,04							53
W		9,36	9,59	6,71	1,65	0,04								27
WNW		15,48	8,39	2,43	0,18									26
NW		26,60	20,25	2,66	0,12									50
NNW		52,59	79,25	3,95	0,40	0,02								136
C	31,06													31
ZBROJ	31,06	260,73	339,06	153,49	98,90	68,46	33,73	11,59	2,67	0,31	0,00	0,00	0,00	1.000

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				
Stinice 26/B, 21000 Split.	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>	ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>	OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

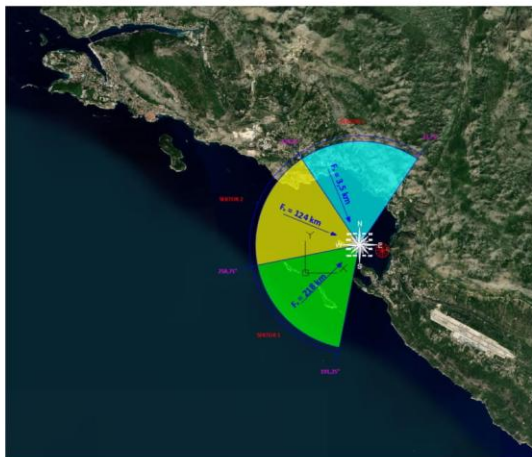
#### 4 DUGOROČNA PROGNOZA DUBOKOVODNIH VJETROVNIH VALOVA - GROEN-DORRENSTEIN

Dugoročna prognoza se radi iz podataka (uzoraka) o valovima za kratkoročna stacionarna stanja mora. Kako se ne raspolaže valovima, na temelju mjerenja valova, načinit će se isti iz uzorka valova na temelju podataka o mjerenju vjetra. Za to je onda potreban uzorak vjetra za kratkoročne situacije iz dugog razdoblja opažanja.

Podaci o smjeru, brzini i trajanju vjetra, dužini privjetrišta i dubini mora predstavljaju ulazne podatke za tzv. "hindcast" analizu valova u proteklom razdoblju. Samo na temelju satnih podataka o smjeru i brzini vjetra tijekom oluje te određenog privjetrišta moguće je izračunati značajnu visinu (Hs), period (Ts) vala koji se kasnije mogu upotrijebiti za razvoj dugoročne valne statistike za svaki sektor valova.

Područje izloženosti valovima predmetnog lokaliteta proteže se kroz III i IV kvadrant, tako da je za ove smjerove napravljena analiza efektivnih duljina privjetrišta kako bi se proračunale značajne visine valova Hs. Sektori iz kojih je predmetno područje izloženo djelovanju vjetrovnih valova određeni su po načelu približno jednakih duljina privjetrišta i sličnosti podataka iz tablice relativne učestalosti pojavljivanja određenih vjetrova po najkritičnijim smjerovima.

Sektor 1 je definiran djelovanjem vjetrova i posljedičnih valova iz smjerova SSW, SW i WSW, sektor 2 definiran na osnovu približno jednakih privjetrišta za vjetrove iz smjerova W, WNW i NW dok je sektor 3 definiran djelovanjem vjetrova iz smjerova NNW, N i NNE.



Slika 7. - Prikaz lokacije zahvata i sektora

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice	26/B,	21000 Split,	TEL:		+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203		FAX:		+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396		E-MAIL:		pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA:		<b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA:		<b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>

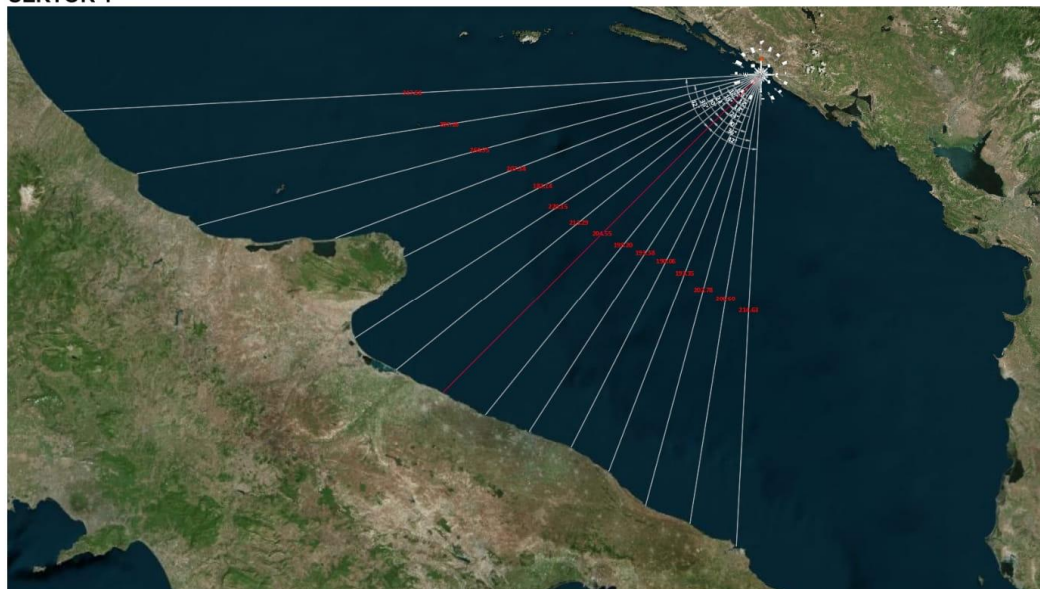
#### 4.1 PRIVJETRIŠTA

Kratkoročne situacije valova (dobivene kratkoročnim prognozama valova iz podataka o vjetru) predstavljaju uzorak za dugoročnu prognozu valova. Podaci o jačinama vjetra kojima je izložena marina Prahivac od 4 i više Bf iz sektora 1, 2 i sektora 3 čine smjerovi vjetra iz kojih dolaze valovi u marinu. Ostali podaci nisu uzeti u obzir. Visine valova su dobivene pomoću Groen-Dorrensteinovog dijagrama za odgovarajuće efektivno privjetrište.

Efektivno privjetrište iz sektora I (SSW, SW, WSW) iznosi  $Fe=218\text{km}$ , iz sektora II (W,WNW,NW)  $Fe=124\text{km}$ , te iz sektora III (NNW, N, NNE)  $Fe=3,5\text{km}$ .

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>	
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>	

**SEKTOR 1**

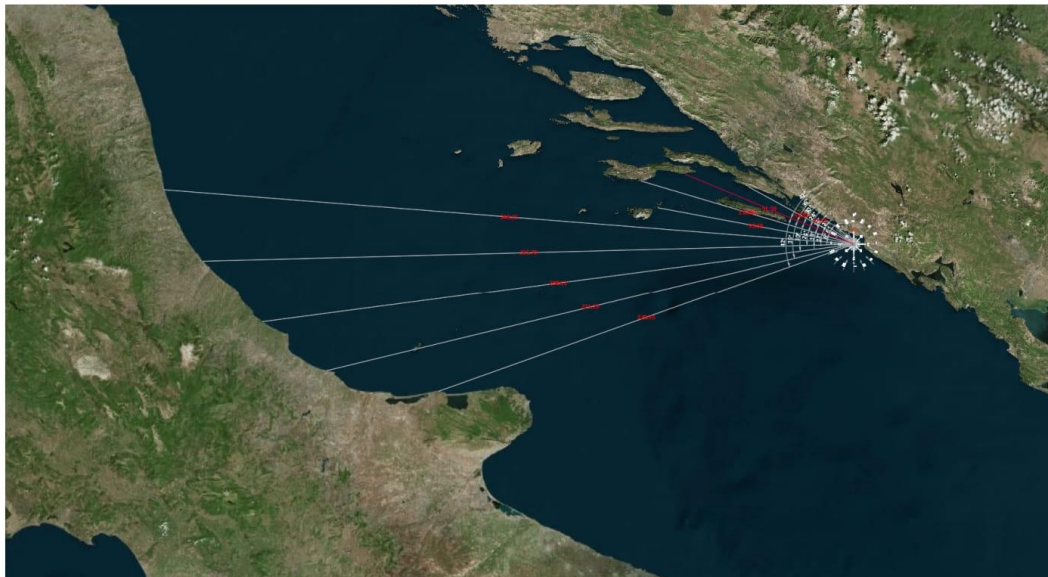


Slika 8. – Prikaz efektivnog privjetrišta SEKTORA I

PRIVJETRIŠTE 1 (SW)			
$\alpha$	$\cos(\alpha)$	$X_i$	$X_i \cdot \cos(\alpha)$
42	0,74	317,560	235,99
36	0,81	287,160	232,32
30	0,87	264,950	229,45
24	0,91	207,340	189,41
18	0,95	182,140	173,23
12	0,98	220,150	215,34
6	0,99	213,290	212,12
0	1,00	204,550	204,55
6	0,99	199,200	198,11
12	0,98	193,380	189,15
18	0,95	190,060	180,76
24	0,91	193,350	176,63
30	0,87	202,780	175,61
36	0,81	206,600	167,14
42	0,74	214,630	159,50
<b>SUM</b>	<b>13,51</b>	<b>SUM</b>	<b>2.939,33</b>
<b>F<sub>eff</sub> = 218 km</b>			

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>		

**SEKTOR 2**

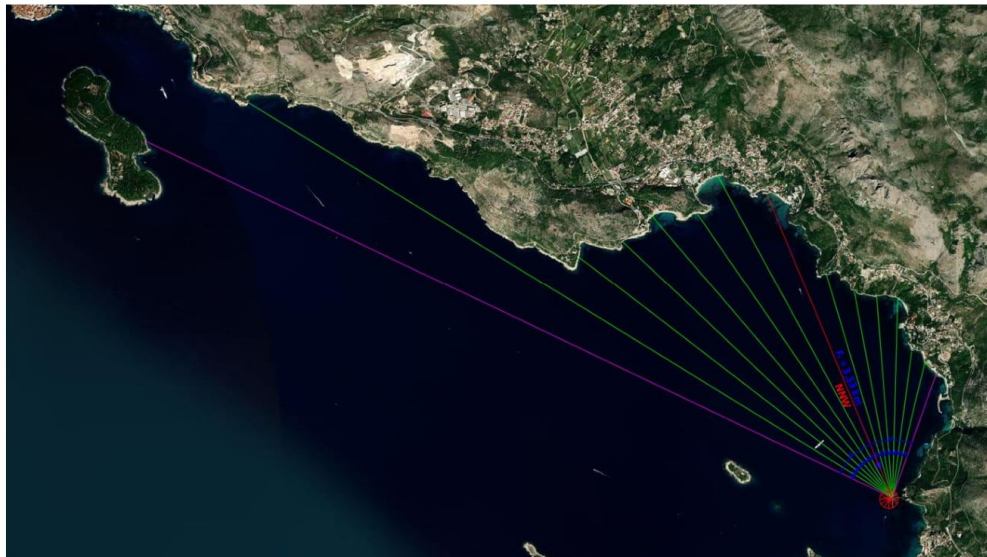


Slika 9. – Prikaz efektivnog privjetrišta SEKTORA II

PRIVJETRIŠTE 2 (WNW)			
$\alpha$	$\cos(\alpha)$	Xi	$Xi \cdot \cos(\alpha)$
42	0,74	220,350	163,75
36	0,81	271,290	219,48
30	0,87	298,530	258,53
24	0,91	325,700	297,54
18	0,95	346,210	329,27
12	0,98	99,680	97,50
6	0,99	110,820	110,21
0	1,00	91,590	91,59
6	0,99	59,820	59,49
12	0,98	17,710	17,32
18	0,95	11,420	10,86
24	0,91	9,170	8,38
30	0,87	5,380	4,66
36	0,81	5,120	4,14
42	0,74	6,250	4,64
<b>SUM</b>	<b>13,51</b>	<b>SUM</b>	<b>1.677,38</b>
<b>F<sub>eff</sub> = 124 km</b>			

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>		

### SEKTOR 3



Slika 10. – Prikaz efektivnog privjetrišta SEKTORA III

PRIVJETRIŠTE 3 (NW)			
$\alpha$	$\cos(\alpha)$	$X_i$	$X_i \cdot \cos(\alpha)$
42	0,74	1,418	1,05
36	0,81	1,505	1,22
30	0,87	1,572	1,36
24	0,91	2,149	1,96
18	0,95	2,167	2,06
12	0,98	2,258	2,21
6	0,99	2,509	2,50
0	1,00	3,529	3,53
6	0,99	3,935	3,91
12	0,98	3,703	3,62
18	0,95	3,993	3,80
24	0,91	4,006	3,66
30	0,87	4,254	3,68
36	0,81	8,128	6,58
42	0,74	8,900	6,61
<b>SUM</b>	<b>13,51</b>	<b>SUM</b>	<b>47,76</b>
<b>F<sub>eff</sub> =</b>		<b>3,5</b>	<b>km</b>

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B,	21000 Split,	TEL:			+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203		FAX:			+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396		E-MAIL:			pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

#### 4.2 PRORAČUN ZNAČAJNIH VALNIH VISINA ZA DUGA POVRATNA RAZDOBLJA

Načinjene su dugoročne prognoze pučinske značajne valne visine  $H_s$  za sektore 1, 2 i 3. Rezultat prognoza su ekstremne značajne valne visine povratnih razdoblja  $PR= 5, 10, 20, 50$  i  $100$  godina po sektorima, označene  $H_s^{PR}$ . Uzorak značajnih pučinskih valnih visina  $H_s$  za dugoročnu prognozu formiran je iz uzorka vjetra i na temelju privjetrišta sa slika 8., 9. i 10. Na temelju tih podataka uzorak valnih visina  $H_s$ , za razdoblja opažanja Dubrovnik 2003.-2022. dobiven je kratkoročnim valnim prognozama metodom Groen-Dorrenstein (Tablica 4).

Valja naglasiti kako su prognoze dobivene na temelju:

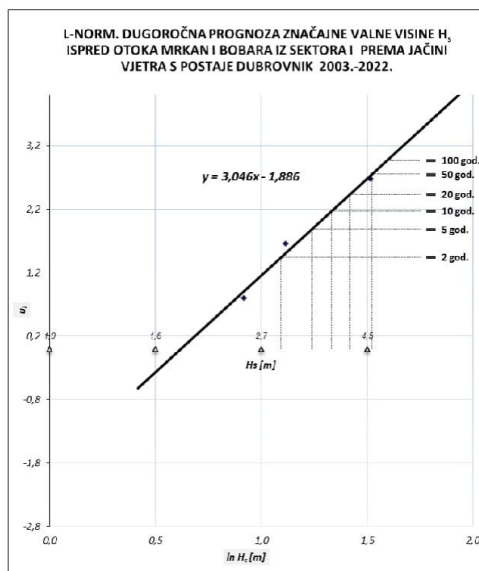
- apsolutnih čestina pojavljivanja vjetra u ovisnosti o brzini vjetra (srednje satne brzine) za navedene grupe podataka pri čemu su reducirane učestalosti s obzirom na broj sati koji je potreban za razvoj vala na cijelom privjetrištu i realnog trajanja puhanja vjetra sa postaje Dubrovnik te je u analizama upotrijebljena maksimalna brzina vjetra određene jakosti u boforima.

SEKTOR	BRZINA VJETRA	v [m/s]	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4
		JAKINA [Bf]	4	5	6	7	8	9
SEKTOR I	PRIVJETRIŠTE [km]	F <sub>1</sub> = 218 km						
	UČESTALOST	708	341	132	33	8		
	MIN. TRAJANJE t [h]	18,20	15,50	13,90	12,30	11,20		
	REDUCIRANA UČESTALOST	64	42	22	6	1		
	PERIOD T <sub>s</sub> (s)	4,40	5,15	5,50	5,75	7,10		
	H <sub>s</sub> [m]	1,32	1,90	2,50	3,05	4,55		
SEKTOR II	PRIVJETRIŠTE [km]	F <sub>2</sub> = 124 km						
	UČESTALOST	320	7					
	MIN. TRAJANJE t [h]	11,40	9,90					
	REDUCIRANA UČESTALOST	29	1					
	PERIOD T <sub>s</sub> (s)	4,40	5,35					
	H <sub>s</sub> [m]	1,32	2,05					
SEKTOR III	PRIVJETRIŠTE [km]	F <sub>1</sub> = 3,5 km						
	UČESTALOST	6.197	3.612	1.039	210	31	4	
	MIN. TRAJANJE t [h]	0,86	0,75	0,65	0,55	0,49	0,47	
	PERIOD T <sub>s</sub> (s)	1,80	2,00	2,30	2,60	2,80	3,10	
	H <sub>s</sub> [m]	0,40	0,55	0,72	0,92	1,12	1,37	

Tablica 4. – Kratkoročne prognoze značajne valne visine i perioda po sektorima dobiveni metodom Groen-Dorrenstein za razdoblje opažanja 2003.-2022. sa postaje Dubrovnik.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

### 4.3 DUGOROČNE PROGNOZE ZNAČAJNE VALNE VISINE ZA DUBOKOVODNO MORE IZ SEKTORA 1 NA TEMELJU PODATAKA S POSTAJE DUBROVNIK 2003.-2022.

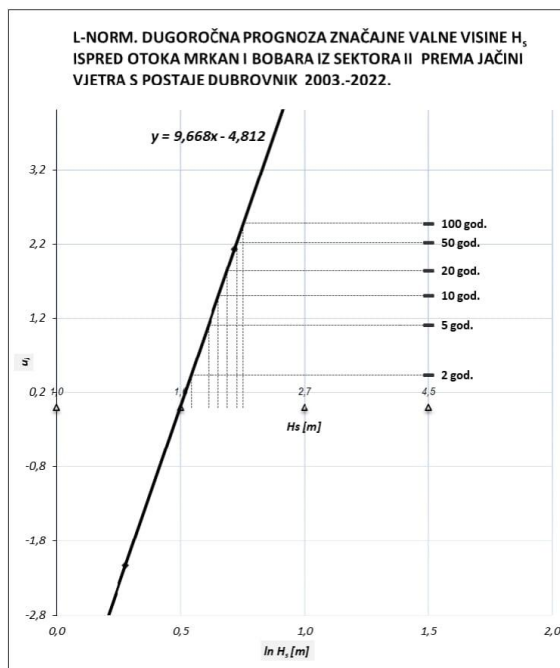


**Tablica 5. - Očekivane značajne valne visine ( $H_s$ ), visine 10% najviših ( $H_{10\%}$ ) valova, te maksimalnih valova ( $H_{max}$ ) iz sektora 1 s povratnim periodima 100, 50, 20, 10, 5 i 2 godine ispred otoka Mrkan i Bobara (šire područje marine Prahivac) za razdoblje opažanja 2003.-2022. sa postaje Dubrovnik.**

PP	SEKTOR 1 (DUBROVNIK 2003.-2022.)					
	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	$T_p$ (s)	$L_s$ (m)	$H_{10\%}$ (m)	$H_{max}$ (m)
100	4,92	7,36	8,10	84,62	6,25	8,86
50	4,58	7,12	7,83	79,13	5,82	8,25
20	4,13	6,79	7,47	71,87	5,25	7,44
10	3,79	6,52	7,17	66,34	4,82	6,82
5	3,45	6,24	6,86	60,74	4,38	6,21
2	2,98	5,83	6,42	53,10	3,79	5,37

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

#### 4.4 DUGOROČNE PROGNOZE ZNAČAJNE VALNE VISINE ZA DUBOKOVODNO MORE IZ SEKTORA 2 NA TEMELJU PODATAKA S POSTAJE DUBROVNIK 2003.-2022.

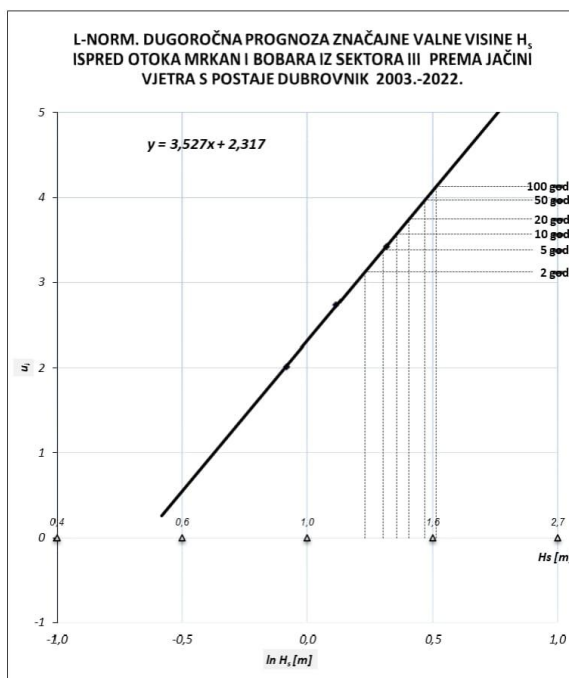


**Tablica 6. Očekivane značajne valne visine ( $H_s$ ), visine 10% najviših ( $H_{10\%}$ ) valova, te maksimalnih valova ( $H_{max}$ ) iz sektora 2 s povratnim periodima 100, 50, 20, 10, 5 i 2 godine ispred otoka Mrkan i Bobara (šire područje marine Prahivac) za razdoblje opažanja 2003.-2022. sa postaje Dubrovnik.**

PP	SEKTOR 2 (DUBROVNIK 2003.-2022.)					
	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	$T_p$ (s)	$L_s$ (m)	$H_{10\%}$ (m)	$H_{max}$ (m)
100	2,12	5,44	5,98	46,10	2,70	3,82
50	2,07	5,37	5,91	45,01	2,63	3,72
20	1,99	5,28	5,81	43,46	2,53	3,58
10	1,92	5,20	5,72	42,15	2,44	3,46
5	1,85	5,11	5,62	40,67	2,34	3,32
2	1,72	4,95	5,44	38,20	2,18	3,10

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740			
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750			
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com			
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>		

#### 4.5 DUGOROČNE PROGNOZE ZNAČAJNE VALNE VISINE ZA DUBOKOVODNO MORE IZ SEKTORA 3 NA TEMELJU PODATAKA S POSTAJE DUBROVNIK 2003.-2022.



Tablica 7. Očekivane značajne valne visine ( $H_s$ ), visine 10% najviših ( $H_{10\%}$ ) valova, te maksimalnih valova ( $H_{max}$ ) iz sektora 3 s povratnim periodima 100, 50, 20, 10, 5 i 2 godine ispred marine Prahivac za razdoblje opažanja 2003.-2022. sa postaje Dubrovnik.

PP	SEKTOR 3 (DUBROVNIK 2003.-2022.)					
	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	$T_p$ (s)	$L_s$ (m)	$H_{10\%}$ (m)	$H_{max}$ (m)
100	1,67	3,38	3,71	17,79	2,12	3,01
50	1,60	3,31	3,64	17,08	2,03	2,88
20	1,50	3,22	3,54	16,14	1,90	2,70
10	1,43	3,14	3,46	15,43	1,81	2,57
5	1,35	3,07	3,38	14,72	1,72	2,43
2	1,26	2,97	3,27	13,78	1,60	2,26

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

## 5 DUGOROČNA PROGNOZA DUBOKOVODNIH VALOVA NA TEMELJU PODATAKA SA SERVISA COPERNICUS MARINE

Za potrebe definiranja dubokovodne valne klime u široj zoni ispred marine Prahivac korišteni su podaci europske agencije Copernicus Marine Services (<https://marine.copernicus.eu/>), odnosno javno dostupni rezultati numeričkog modela valova (Med-WAV) koji daje dobre rezultate za „otvoreno more“ (dugačka privjetrišta) za period 01/01/1985-31/10/2025 za lokaciju M1 i M2. MEDSEA\_MULTITYEAR\_WAV\_006\_012 rezultat je sustava za prognoziranje valova Sredozemnog mora (Med-WAV) i sadrži skup podataka reanalize, skupinu podataka koji pokriva razdoblje nakon reanalize do 1 mjeseca prije sadašnjosti i mjesečni set klimatoloških podataka (referentno razdoblje 1993.-2016.). Skup podataka Reanalysis je višegodišnja reanaliza valova počevši od siječnja 1993., sastavljena od parametara valova satne rezolucije pri horizontalnoj rezoluciji od 1/24°, pokrivajući Sredozemno more i protežući se do 18,125° zapadno u Atlantski ocean. Sustav za modeliranje Med-WAV temelji se na valnom modelu WAM 4.6.2 i razvijen je kao ugniježđeni (eng. nested) slijed dviju računskih mreža (grube i fine) kako bi se osiguralo da valovi koji dolaze od sjevernog Atlantika (NA) prema Gibraltarskom tjesnacu pravilno ulaze u Sredozemno more. Gruba mreža pokriva Sjeverni Atlantski ocean od 75°W do 10°E i od 70°N do 10°S u rezoluciji 1/6°, dok ugniježđena fina mreža pokriva Sredozemno more od 18.125°W do 36.2917°E i od 30,1875° N do 45,9792° N s rezolucijom od 1/24°.

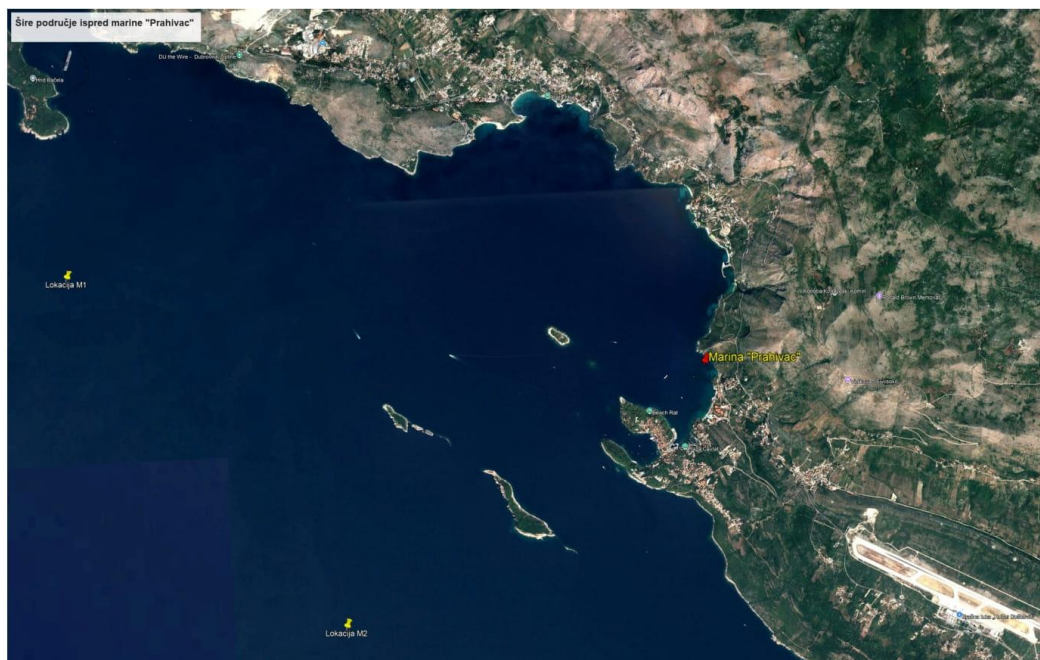
Sustav za modeliranje rješava prognostički dio valnog spektra s 24 usmjerena i 32 logaritamski raspoređena frekvencijska polja. Numerički model + valova također uključuje optimalnu shemu asimilacije koja prilagođava značajnu visinu valova duž linije satelitskih opažanja dostupnih putem CMEMS-a i forsiran je dnevnim prosječnim strujama iz Med-Physics i 1-h, 0,25° horizontalne rezolucije ERA5 rezultatom vjetra 10 m-iznad površine mora iz ECMWF-a.

Rezultat numeričkog modela je uređeni skup podataka ( $H_s(H_{m0})$ ,  $T_p$ , DIR) za svaki sat analiziranog perioda. Pri tom je  $H_s(H_{m0})$ , značajna valna visina,  $T_p$  je vršni period (s) i „DIR“ je smjer koji se računa u smjeru kazaljke na satu od smjera sjevera.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			



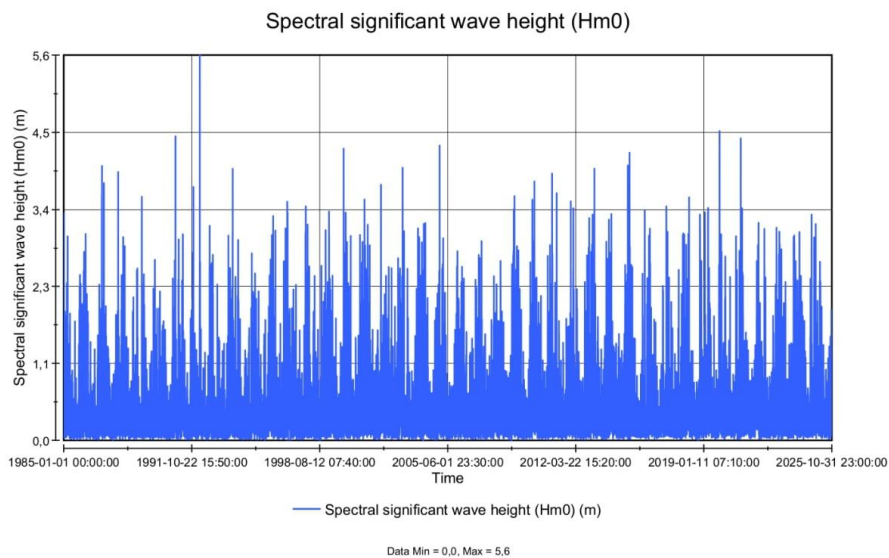
Slika 11. Regionalni model Mediteranskog mora (Med-WAV)



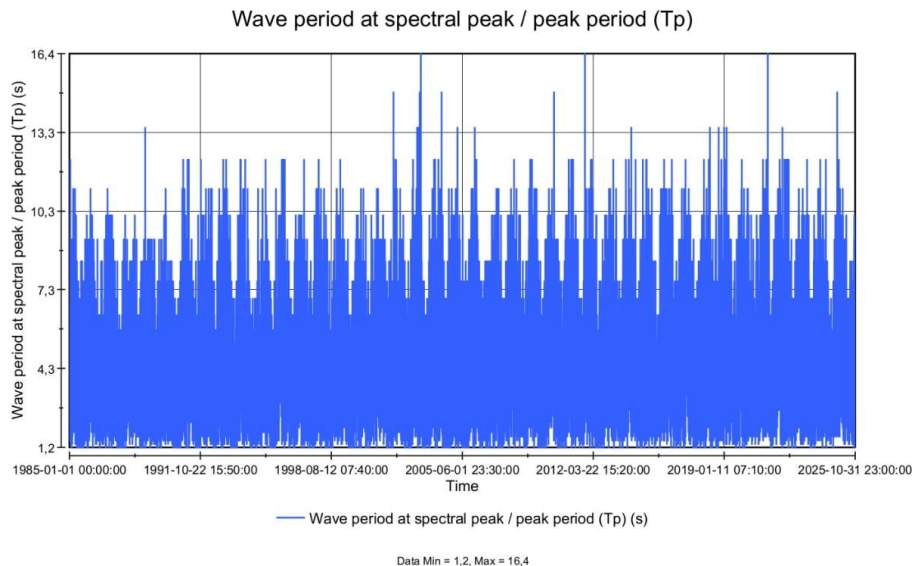
Slika 12. Proračunske točke M1 i M2 za definiranje dubokovodne valne klime ispred predmetne lokacije

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B,	21000 Split,	TEL:			+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203		FAX:			+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396		E-MAIL:			pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

### 5.1 LOKACIJA M1 (period od 01.01.1985. do 31.10.2025.)



Slika 13. Vremenski zapis numeričkog modela Med-WAV:  $H_{m0}$  značajna valna visina za točku M1



Slika 14. Vremenski zapis numeričkog modela Med-WAV:  $T_p$  je vršni period (s) za točku M1

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com

GRAĐEVINA: **MARINA „PRAHIVAC“** ZOP/MAPA: **MP / M1**  
 STRUKOVNA ODREDNICA: **GRAĐEVINSKI PROJEKT** OZNAKA PROJEKTA: **T.D. 912/2025**

Broj od VHM0	Natpisi stupaca																					
Natpisi redaka	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,25	1,25-1,5	1,5-1,75	1,75-2	2-2,25	2,25-2,5	2,5-2,75	2,75-3	3-3,25	3,25-3,5	3,5-3,75	3,75-4	4-4,25	4,25-4,5	4,5-4,75	4,75-5	5-5,75	
0-11,25	94	52	4																			
11,25-22,5	93	35	14																			
22,5-33,75	87	70	19	1																		
33,75-45	91	101	25	3																		
45-56,25	71	70	30	4																		
56,25-67,5	57	59	16	1																		
67,5-78,75	38	49	19	2																		
78,75-90	42	35	8	4																		
90-101,25	43	26	9	1																		
101,25-112,5	30	22	9	1																		
112,5-123,75	72	23	3	2																		
123,75-135	52	42	16	2																		
135-146,25	57	77	15	2	2																	
146,25-157,5	108	167	28	12	5																	
157,5-168,75	180	590	516	294	120	64	21	15	5	3	2											
168,75-180	352	1065	887	600	429	322	220	190	146	106	83	48	42	16	10	6	1	3	1	1	1	1
180-191,25	414	660	327	199	112	74	70	42	37	21	14	9	8	3	1	2	2					
191,25-202,5	307	291	165	104	64	41	29	27	13	11	3	6	1	3	1	1	1					
202,5-213,75	289	257	137	98	73	35	31	16	13	8	3	1	3									
213,75-225	342	237	119	92	67	37	30	15	20	6	5	1	1									
225-236,25	404	274	95	55	47	22	15	12	8	9	5											
236,25-247,5	627	451	120	49	35	14	11	3	1	1												
247,5-258,75	1231	1786	540	127	40	17	7	6	1													
258,75-270	731	1852	599	119	24	15	2	4														
270-281,25	177	460	71	17	5																	
281,25-292,5	193	174	18	3	1																	
292,5-303,75	103	83	14	2																		
303,75-315	103	71	9	1																		
315-326,25	93	53	10																			
326,25-337,5	94	43	5	1	1																	
337,5-348,75	100	47	10	1																		
348,75-360	80	40	7																			
<b>Ukupni zbroj</b>	<b>6755</b>	<b>9262</b>	<b>3864</b>	<b>1797</b>	<b>1025</b>	<b>641</b>	<b>436</b>	<b>330</b>	<b>244</b>	<b>164</b>	<b>116</b>	<b>66</b>	<b>52</b>	<b>28</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tablica 8. Učestalost značajnih valnih visina razvrstane po razredima i smjerovima za proračunsku točku M1

Max od VHM0	Natpisi stupaca																					
Natpisi redaka	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,25	1,25-1,5	1,5-1,75	1,75-2	2-2,25	2,25-2,5	2,5-2,75	2,75-3	3-3,25	3,25-3,5	3,5-3,75	3,75-4	4-4,25	4,25-4,5	4,5-4,75	4,75-5	5-5,75	
0-11,25	0,25	0,50	0,62																			
11,25-22,5	0,25	0,50	0,70																			
22,5-33,75	0,24	0,50	0,65	0,79																		
33,75-45	0,25	0,49	0,73	0,84																		
45-56,25	0,25	0,49	0,73	0,96																		
56,25-67,5	0,25	0,50	0,64	0,96																		
67,5-78,75	0,25	0,49	0,72	0,84																		
78,75-90	0,25	0,48	0,64	0,83																		
90-101,25	0,25	0,47	0,72	0,81																		
101,25-112,5	0,24	0,49	0,72	0,97																		
112,5-123,75	0,25	0,45	0,71	0,90																		
123,75-135	0,25	0,48	0,73	0,81																		
135-146,25	0,25	0,49	0,74	0,88	1,04																	
146,25-157,5	0,25	0,50	0,75	0,95	1,22																	
157,5-168,75	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	1,99	2,19	2,33	2,61											
168,75-180	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,49	2,75	3,00	3,24	3,50	3,74	3,99	4,02	4,42	4,52	5,63		
180-191,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,24	1,50	1,75	2,00	2,25	2,49	2,73	2,99	3,17	3,45	3,50	4,21	4,45					
191,25-202,5	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,74	1,99	2,22	2,49	2,69	2,94	3,04	3,43	3,59	3,91	4,02					
202,5-213,75	0,25	0,50	0,75	1,00	1,24	1,48	1,73	1,99	2,24	2,41	2,62	2,87		3,37								
213,75-225	0,25	0,50	0,75	0,99	1,25	1,50	1,74	1,98	2,23	2,44	2,75	2,98		3,34								
225-236,25	0,25	0,50	0,75	0,98	1,25	1,50	1,67	1,98	2,23	2,46	2,72			3,39								
236,25-247,5	0,25	0,50	0,75	1,00	1,24	1,49	1,72	1,93	2,12		2,54			3,00	3,43							
247,5-258,75	0,25	0,50	0,75	0,99	1,24	1,49	1,71	1,89	2,18		2,91											
258,75-270	0,25	0,50	0,75	1,00	1,24	1,45	1,61	1,99														
270-281,25	0,25	0,50	0,74	0,97	1,15																	
281,25-292,5	0,25	0,49	0,71	0,96	1,12																	
292,5-303,75	0,25	0,50	0,73	0,87																		
303,75-315	0,25	0,48	0,71	0,77																		
315-326,25	0,24	0,48	0,73																			
326,25-337,5	0,24	0,49	0,63	0,84	1,00																	
337,5-348,75	0,25	0,50	0,68	0,89																		
348,75-360	0,25	0,48	0,75																			
<b>Ukupni zbroj</b>	<b>0,25</b>	<b>0,50</b>	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	<b>1,25</b>	<b>1,50</b>	<b>1,75</b>	<b>2,00</b>	<b>2,25</b>	<b>2,49</b>	<b>2,75</b>	<b>3,00</b>	<b>3,24</b>	<b>3,50</b>	<b>3,74</b>	<b>3,99</b>	<b>4,21</b>	<b>4,45</b>	<b>4,52</b>	<b>5,63</b>		

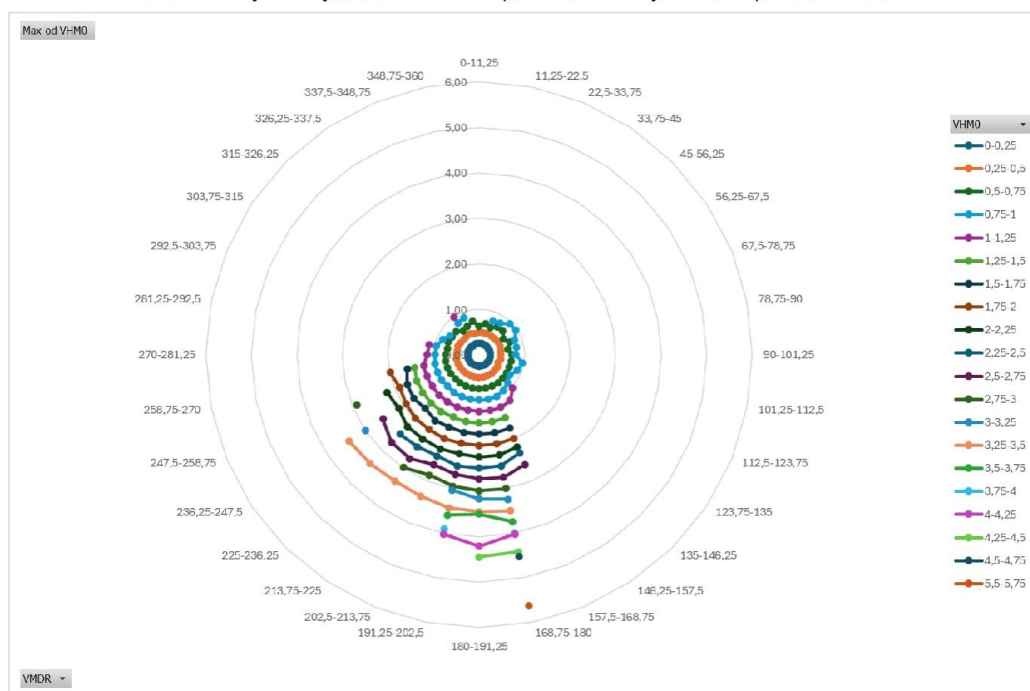
Tablica 9. Maksimalne vrijednost značajnih valnih visina razvrstane po razredima i smjerovima za proračunsku točku M1

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740			
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750			
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com			

GRAĐEVINA: **MARINA „PRAHIVAC“** ZOP/MAPA: **MP / M1**  
 STRUKOVNA ODREDNICA: **GRAĐEVINSKI PROJEKT** OZNAKA PROJEKTA: **T.D. 912/2025**

Projekat od VHM0	Natpisi stupaca																				
Natpisi redaka	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,25	1,25-1,5	1,5-1,75	1,75-2	2-2,25	2,25-2,5	2,5-2,75	2,75-3	3-3,25	3,25-3,5	3,5-3,75	3,75-4	4-4,25	4,25-4,5	4,5-4,75	5,5-5,75	
0-11,25	0,19	0,34	0,54																		
11,25-22,5	0,18	0,35	0,59																		
22,5-33,75	0,18	0,37	0,55	0,79																	
33,75-45	0,18	0,36	0,57	0,80																	
45-56,25	0,18	0,36	0,58	0,87																	
56,25-67,5	0,18	0,37	0,58	0,96																	
67,5-78,75	0,17	0,36	0,57	0,82																	
78,75-90	0,19	0,34	0,57	0,80																	
90-101,25	0,19	0,32	0,60	0,81																	
101,25-112,5	0,19	0,32	0,59	0,97																	
112,5-123,75	0,19	0,32	0,64	0,87																	
123,75-135	0,20	0,33	0,63	0,80																	
135-146,25	0,19	0,33	0,64	0,82	1,03																
146,25-157,5	0,17	0,35	0,59	0,86	1,10																
157,5-168,75	0,18	0,38	0,62	0,86	1,10	1,38	1,59	1,86	2,12	2,31	2,59										
168,75-180	0,19	0,38	0,62	0,86	1,11	1,36	1,62	1,88	2,12	2,37	2,60	2,87	3,10	3,37	3,60	3,90	4,02	4,36	4,52	5,63	
180-191,25	0,19	0,36	0,60	0,86	1,12	1,36	1,61	1,86	2,12	2,36	2,61	2,85	3,06	3,39	3,50	4,19	4,36				
191,25-202,5	0,18	0,36	0,62	0,86	1,11	1,35	1,61	1,86	2,10	2,37	2,65	2,87	3,04	3,34	3,59	3,91	4,02				
202,5-213,75	0,18	0,36	0,61	0,88	1,13	1,36	1,62	1,85	2,16	2,34	2,57	2,87		3,34							
213,75-225	0,18	0,35	0,62	0,87	1,10	1,35	1,60	1,84	2,11	2,35	2,61	2,98									
225-236,25	0,18	0,34	0,61	0,86	1,11	1,38	1,58	1,85	2,14	2,35	2,60										
236,25-247,5	0,18	0,34	0,60	0,85	1,10	1,38	1,63	1,88	2,12				3,00	3,43							
247,5-258,75	0,19	0,35	0,59	0,85	1,12	1,37	1,59	1,84	2,18			2,91									
258,75-270	0,19	0,36	0,59	0,84	1,09	1,36	1,58	1,86													
270-281,25	0,21	0,34	0,60	0,82	1,11																
281,25-292,5	0,21	0,32	0,58	0,87	1,12																
292,5-303,75	0,19	0,35	0,58	0,83																	
303,75-315	0,20	0,33	0,57	0,77																	
315-326,25	0,20	0,32	0,56																		
326,25-337,5	0,18	0,32	0,57	0,84	1,00																
337,5-348,75	0,18	0,33	0,56	0,89																	
348,75-360	0,18	0,34	0,58																		
<b>Ukupni zbroj</b>	<b>0,19</b>	<b>0,36</b>	<b>0,60</b>	<b>0,86</b>	<b>1,11</b>	<b>1,36</b>	<b>1,61</b>	<b>1,87</b>	<b>2,12</b>	<b>2,37</b>	<b>2,61</b>	<b>2,87</b>	<b>3,09</b>	<b>3,37</b>	<b>3,59</b>	<b>3,90</b>	<b>4,10</b>	<b>4,36</b>	<b>4,52</b>	<b>5,63</b>	

Tablica 10. Prosječne vrijednosti valnih visina po razredima i smjerovima za proračunsku točku M1



Slika 15. Ruža značajnih valnih visina za proračunsku točku M1

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>				ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>		

### 5.1.1 DUGOROČNE PROGNOZE ZNAČAJNE VALNE VISINE ZA DUBOKOVODNO MORE IZ SEKTORA 1 NA TEMELJU PODATAKA CMS (1985-2025) ZA TOČKU M1

Razred	Srednja valna visina $H_{s,i}$ [m]	Apsolutna učestalost $f_i$ [1]	Kumulat. apsolutna učestalost $F_i$ [1]	Vjerojatnost premašenja $P(H_s > H_{s,i})$ [1]	$\ln H_{s,i}$	$u_i$
1	4,02	1	1	5,543E-05	1,392	3,866
2	3,91	1	2	1,663E-04	1,362	3,589
3	3,59	1	3	2,771E-04	1,279	3,453
4	3,37	9	12	1,275E-03	1,214	3,017
5	3,02	2	14	1,497E-03	1,105	2,968
6	2,91	9	23	2,494E-03	1,066	2,808
7	2,59	17	40	4,379E-03	0,953	2,621
8	2,35	34	74	8,148E-03	0,855	2,402
9	2,14	56	130	1,436E-02	0,759	2,187
10	1,85	79	209	2,311E-02	0,617	1,993
11	1,61	123	332	3,675E-02	0,474	1,790
12	1,36	166	498	5,515E-02	0,311	1,597
13	1,11	326	824	9,129E-02	0,106	1,333
14	0,86	525	1.349	1,495E-01	-0,149	1,039
15	0,61	1.176	2.525	2,798E-01	-0,496	0,583
16	0,35	3.296	5.821	6,452E-01	-1,051	-0,372
17	0,18	3.200	9.021	9,999E-01	-1,718	-3,866
	$n =$	<b>9.021</b>				

Skala PR

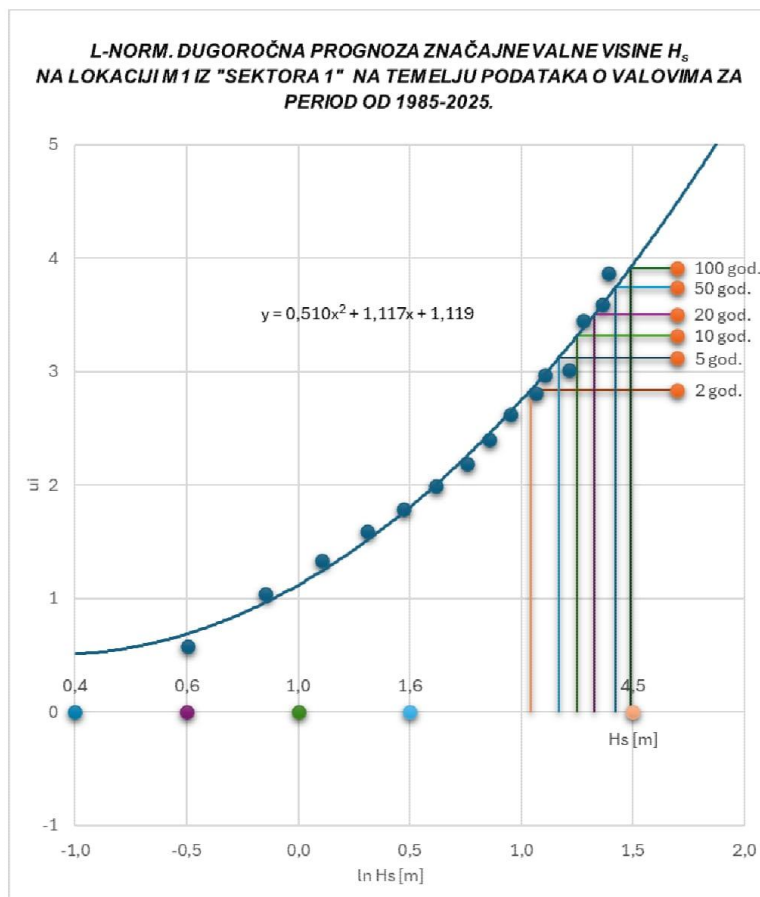
$T_{reg} [god] = 41$

PR [god]	$P(H_s > H_{s,i})$	$u_i$	$\ln H_s$ [m] prognozirano	Hs [m] prognozirano
100	4,5E-05	3,914	1,49	4,43
50	9,1E-05	3,743	1,42	4,15
20	2,3E-04	3,506	1,33	3,78
10	4,5E-04	3,317	1,25	3,50
5	9,1E-04	3,118	1,17	3,21
2	2,3E-03	2,838	1,04	2,84

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



<b>SEKTOR 1</b>			
<b>PR</b>	<b><math>H_{mo}</math> [m]</b>	<b><math>T_p</math> [s]</b>	<b><math>L_p</math> [m]</b>
<b>100</b>	4,43	9,00	126,60
<b>50</b>	4,15	8,81	121,18
<b>20</b>	3,78	8,55	114,03
<b>10</b>	3,50	8,34	108,64
<b>5</b>	3,21	8,13	103,24
<b>2</b>	2,84	7,84	96,06

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

### 5.1.2 DUGOROČNE PROGNOZE ZNAČAJNE VALNE VISINE ZA DUBOKOVODNO MORE IZ SEKTORA 2 NA TEMELJU PODATAKA CMS (1985-2025) ZA TOČKU M1

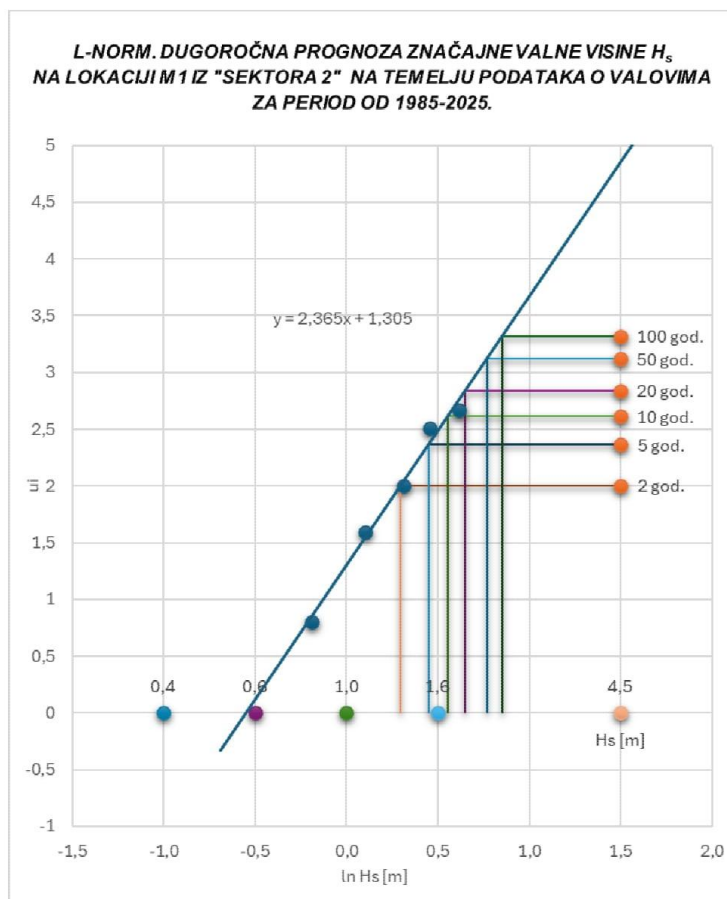
Razred	Srednja valna visina $H_{s,i}$ [m]	Apsolutna učestalost $f_i$ [1]	Kumulat. apsolutna učestalost $F_i$ [1]	Vjerojatnost premašenja $P(H_s > H_{s,i})$ [1]	$\ln H_{s,i}$	$u_i$
1	1,86	4	4	3,829E-03	0,618	2,667
2	1,58	2	6	6,018E-03	0,456	2,511
3	1,36	15	21	2,243E-02	0,311	2,006
4	1,11	30	51	5,525E-02	0,101	1,596
5	0,82	142	193	2,106E-01	-0,192	0,804
6	0,58	721	914	9,995E-01	-0,545	-3,265
	<b>n =</b>	<b>914</b>				

Skala PR

$T_{reg} [\text{god}] = 41$

PR [god]	$P(H_s > H_{s,i})$	$u_i$	$\ln H_s$ [m] prognozirano	$H_s$ [m] prognozirano
100	4,5E-04	3,321	0,85	2,35
50	9,0E-04	3,122	0,77	2,16
20	2,2E-03	2,842	0,65	1,92
10	4,5E-03	2,613	0,55	1,74
5	9,0E-03	2,367	0,45	1,57
2	2,2E-02	2,006	0,30	1,35

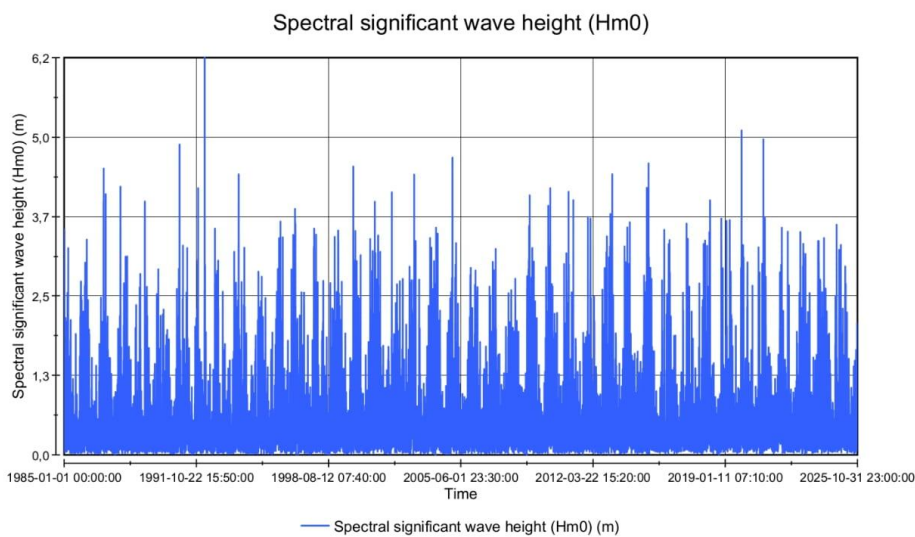
<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>		



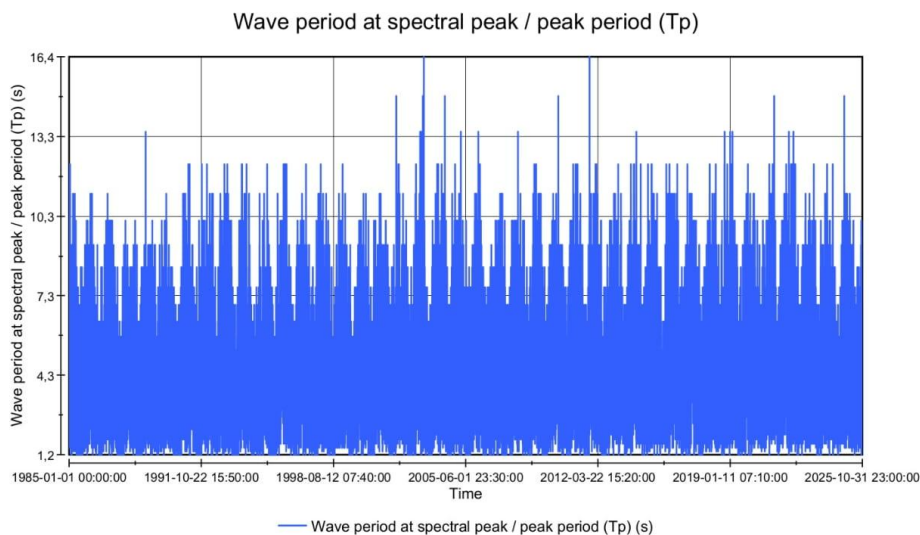
<b>SEKTOR 2</b>			
<i>PR</i>	<i>H<sub>mo</sub> [m]</i>	<i>T<sub>p</sub> [s]</i>	<i>L<sub>p</sub> [m]</i>
<b>100</b>	2,35	9,28	134,54
<b>50</b>	2,16	9,09	129,10
<b>20</b>	1,92	8,83	121,79
<b>10</b>	1,74	8,62	116,14
<b>5</b>	1,57	8,41	110,35
<b>2</b>	1,35	8,10	102,38

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B,	21000 Split,	TEL:			+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203		FAX:			+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396		E-MAIL:			pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

## 5.2 LOKACIJA M2 (period od 01.01.1985-31.10.2025)



Slika 16. Vremenski zapis numeričkog modela Med-WAV:  $H_{m0}$  značajna valna visina za točku M2



Slika 17. Vremenski zapis numeričkog modela Med-WAV:  $T_p$  je vršni period (s) za točku M2

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com

GRAĐEVINA: **MARINA „PRAHIVAC“** ZOP/MAPA: **MP / M1**  
 STRUKOVNA ODREDNICA: **GRAĐEVINSKI PROJEKT** OZNAKA PROJEKTA: **T.D. 912/2025**

Max od VHM0	Nat -																						
Natpisi redaka	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,25	1,25-1,5	1,5-1,75	1,75-2	2-2,25	2,25-2,5	2,5-2,75	2,75-3	3-3,25	3,25-3,5	3,5-3,75	3,75-4	4-4,25	4,25-4,5	4,5-4,75	4,75-5	5-5,25	6-6,25	
0-11,25	0,25	0,49	0,68	0,85																			
11,25-22,5	0,25	0,50	0,75	0,80																			
22,5-33,75	0,25	0,50	0,74	0,97																			
33,75-45	0,25	0,50	0,72	0,97	1,07																		
45-56,25	0,25	0,50	0,75	0,96	1,04																		
56,25-67,5	0,25	0,50	0,73	0,96	1,14																		
67,5-78,75	0,25	0,50	0,74	0,94	1,15																		
78,75-90	0,25	0,50	0,72	1,00																			
90-101,25	0,25	0,48	0,73	1,00	1,02																		
101,25-112,5	0,25	0,49	0,75	0,92	1,19																		
112,5-123,75	0,25	0,50	0,72	0,97																			
123,75-135	0,25	0,49	0,75	0,99	1,09	1,27																	
135-146,25	0,25	0,49	0,74	0,95	1,24	1,27																	
146,25-157,5	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,48																	
157,5-168,75	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	1,99	2,18														
168,75-180	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,47	2,73	3,00	3,24	3,45									
180-191,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,49	1,75	1,99	2,24	2,49	2,75	2,96	3,23	3,42	3,72	3,98	4,19	4,47	4,64	4,93	5,07	6,20	
191,25-202,5	0,25	0,50	0,75	1,00	1,24	1,49	1,74	1,98	2,24	2,46	2,71	2,87	3,18	3,42	3,72	3,98	4,19	4,47	4,64	4,93	5,07	6,20	
202,5-213,75	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,74	1,98	2,20	2,47	2,74	2,98	3,31	3,52									
213,75-225	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,74	1,99	2,23	2,50	2,75	2,85	3,11	3,51									
225-236,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,48	1,73	1,94	2,22	2,48	2,66	2,82	3,11	3,58									
236,25-247,5	0,25	0,50	0,74	0,97	1,24	1,50	1,74	1,93	2,18	2,68	3,13	3,54											
247,5-258,75	0,25	0,50	0,75	0,99	1,24	1,49	1,70	1,96	2,28	2,68	3,13	3,54											
258,75-270	0,25	0,50	0,75	1,00	1,24	1,50	1,73	1,98	2,16	2,68	3,13	3,54											
270-281,25	0,25	0,50	0,75	0,97	1,17	1,43	1,52																
281,25-292,5	0,25	0,49	0,71	0,99	1,10	1,31																	
292,5-303,75	0,25	0,49	0,73	1,00																			
303,75-315	0,25	0,50	0,68	0,90																			
315-326,25	0,25	0,50	0,74	0,88																			
326,25-337,5	0,25	0,48	0,65	0,95																			
337,5-348,75	0,25	0,49	0,69	0,80	1,18																		
348,75-360	0,25	0,50	0,74	0,94	1,01																		
<b>Ukupni zbroj</b>	<b>0,25</b>	<b>0,50</b>	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	<b>1,25</b>	<b>1,50</b>	<b>1,75</b>	<b>2,00</b>	<b>2,25</b>	<b>2,50</b>	<b>2,75</b>	<b>3,00</b>	<b>3,25</b>	<b>3,50</b>	<b>3,72</b>	<b>3,98</b>	<b>4,19</b>	<b>4,47</b>	<b>4,64</b>	<b>4,93</b>	<b>5,07</b>	<b>6,20</b>	

Tablica 11. Maksimalne vrijednosti značajnih valnih visina razvrstane po razredima i smjerovima za proračunsku točku M2

Prosjeck od VHM0	Nat -																						
Natpisi redaka	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,25	1,25-1,5	1,5-1,75	1,75-2	2-2,25	2,25-2,5	2,5-2,75	2,75-3	3-3,25	3,25-3,5	3,5-3,75	3,75-4	4-4,25	4,25-4,5	4,5-4,75	4,75-5	5-5,25	6-6,25	
0-11,25	0,20	0,35	0,60	0,80																			
11,25-22,5	0,19	0,35	0,61	0,79																			
22,5-33,75	0,19	0,35	0,61	0,84																			
33,75-45	0,19	0,37	0,60	0,85	1,04																		
45-56,25	0,19	0,38	0,62	0,83	1,04																		
56,25-67,5	0,18	0,37	0,61	0,81	1,08																		
67,5-78,75	0,18	0,36	0,60	0,81	1,08																		
78,75-90	0,18	0,35	0,62	0,85																			
90-101,25	0,19	0,35	0,60	0,92	1,02																		
101,25-112,5	0,19	0,35	0,63	0,85	1,15																		
112,5-123,75	0,18	0,35	0,60	0,82																			
123,75-135	0,18	0,34	0,62	0,87	1,09	1,27																	
135-146,25	0,19	0,35	0,58	0,85	1,10	1,38																	
146,25-157,5	0,18	0,36	0,60	0,85	1,12	1,38				1,75	2,18												
157,5-168,75	0,19	0,39	0,62	0,87	1,11	1,36	1,62	1,87	2,11	2,38	2,63	2,87	3,12	3,34									
168,75-180	0,20	0,37	0,62	0,86	1,12	1,37	1,62	1,88	2,12	2,37	2,63	2,87	3,13	3,38	3,61	3,89	4,14	4,41	4,64	4,89	5,07	6,20	
180-191,25	0,19	0,35	0,60	0,87	1,13	1,37	1,64	1,84	2,13	2,35	2,61	2,92	3,12	3,33	3,69								
191,25-202,5	0,19	0,36	0,61	0,87	1,12	1,35	1,61	1,85	2,11	2,36	2,64	2,81	3,12	3,57	3,86	4,14							
202,5-213,75	0,19	0,36	0,62	0,87	1,13	1,37	1,64	1,86	2,09	2,32	2,58	2,93	3,31	3,52									
213,75-225	0,18	0,35	0,61	0,86	1,12	1,39	1,62	1,87	2,15	2,35	2,63	2,85	3,11	3,51									
225-236,25	0,18	0,35	0,61	0,86	1,12	1,36	1,61	1,88	2,12	2,39	2,59	2,82	3,11	3,58									
236,25-247,5	0,18	0,34	0,61	0,85	1,12	1,34	1,61	1,84	2,14	2,39	2,59	2,82	3,13	3,54									
247,5-258,75	0,19	0,35	0,59	0,84	1,11	1,35	1,60	1,90	2,16	2,28	2,68	2,82	3,13	3,54									
258,75-270	0,19	0,36	0,60	0,85	1,09	1,37	1,62	1,94	2,16	2,28	2,68	2,82	3,13	3,54									
270-281,25	0,20	0,35	0,59	0,84	1,08	1,30	1,52																
281,25-292,5	0,21	0,33	0,59	0,83	1,09	1,31																	
292,5-303,75	0,21	0,34	0,59	0,89																			
303,75-315	0,21	0,35	0,58	0,87																			
315-326,25	0,21	0,34	0,60	0,88																			
326,25-337,5	0,19	0,34	0,58	0,86																			
337,5-348,75	0,20	0,34	0,59	0,80	1,18																		
348,75-360	0,20	0,35	0,64	0,92	1,01																		
<b>Ukupni zbroj</b>	<b>0,19</b>	<b>0,36</b>	<b>0,61</b>	<b>0,86</b>	<b>1,12</b>	<b>1,37</b>	<b>1,62</b>	<b>1,87</b>	<b>2,12</b>	<b>2,37</b>	<b>2,63</b>	<b>2,88</b>	<b>3,12</b>	<b>3,37</b>	<b>3,60</b>	<b>3,89</b>	<b>4,13</b>	<b>4,41</b>	<b>4,59</b>	<b>4,89</b>	<b>5,07</b>	<b>6,20</b>	

Tablica 12. Prosječne vrijednosti valnih visina po razredima i smjerovima za proračunsku točku M2



<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

### 5.2.1 DUGOROČNE PROGNOZE ZNAČAJNE VALNE VISINE ZA DUBOKOVODNO MORE IZ SEKTORA 1 NA TEMELJU PODATAKA CMS (1985-2025) ZA TOČKU M2

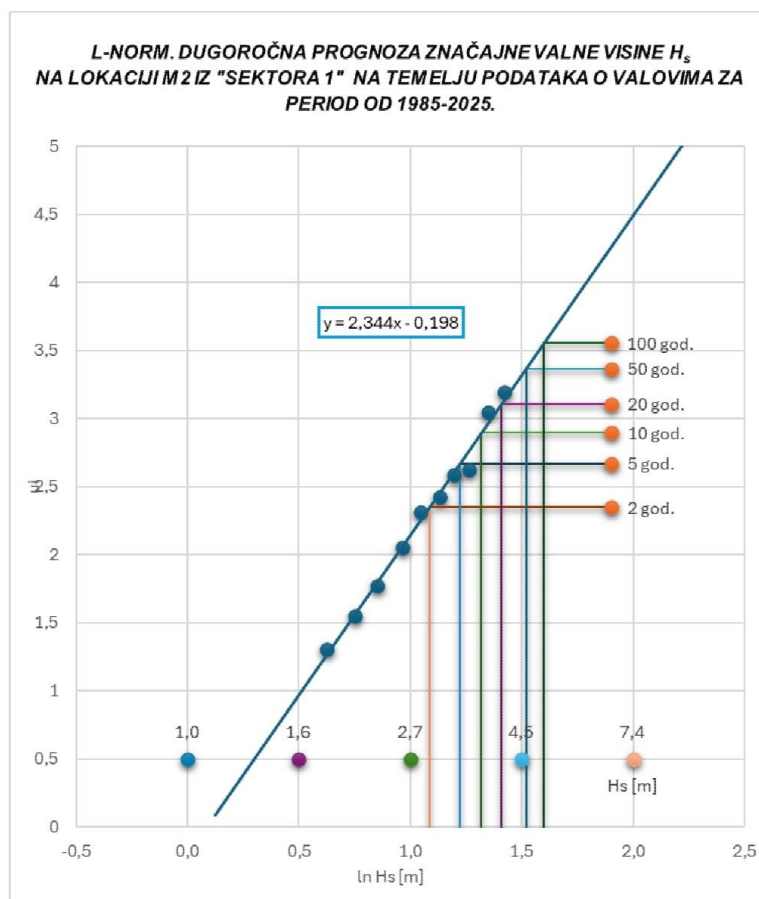
Razred	Srednja valna visina $H_{s,i}$ [m]	Apsolutna učestalost $f_i$ [1]	Kumulat. apsolutna učestalost $F_i$ [1]	Vjerojatnost premašenja $P(H_s > H_{s,i})$ [1]	$\ln H_{s,i}$	$u_i$
1	4,14	2	2	6,932E-04	1,422	3,197
2	3,86	1	3	1,155E-03	1,351	3,047
3	3,54	7	10	4,390E-03	1,265	2,621
4	3,31	1	11	4,852E-03	1,198	2,586
5	3,10	6	17	7,625E-03	1,131	2,426
6	2,85	6	23	1,040E-02	1,047	2,312
7	2,62	21	44	2,010E-02	0,964	2,052
8	2,34	39	83	3,812E-02	0,849	1,773
9	2,12	48	131	6,030E-02	0,752	1,552
10	1,86	77	208	9,589E-02	0,623	1,305
11	1,61	119	327	1,509E-01	0,479	1,033
12	1,36	167	494	2,280E-01	0,307	0,745
13	1,12	292	786	3,630E-01	0,114	0,350
14	0,86	467	1.253	5,788E-01	-0,150	-0,199
15	0,61	911	2.164	9,998E-01	-0,497	-3,502
	$n =$	<b>2.164</b>				

Skala PR

$T_{reg} [god] = 41$

PR [god]	$P(H_s > H_{s,i})$	$u_i$	$\ln H_s$ [m] prognozirano	$H_s$ [m] prognozirano
100	1,9E-04	3,554	1,60	4,96
50	3,8E-04	3,368	1,52	4,58
20	9,5E-04	3,106	1,41	4,09
10	1,9E-03	2,895	1,32	3,74
5	3,8E-03	2,670	1,22	3,40
2	9,5E-03	2,347	1,09	2,96

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>		



<b>SEKTOR 1</b>			
<b>PR</b>	<b><math>H_{m0}</math> [m]</b>	<b><math>T_p</math> [s]</b>	<b><math>L_p</math> [m]</b>
<b>100</b>	4,96	8,89	123,31
<b>50</b>	4,58	8,72	118,74
<b>20</b>	4,09	8,49	112,62
<b>10</b>	3,74	8,31	107,91
<b>5</b>	3,40	8,13	103,11
<b>2</b>	2,96	7,86	96,57

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice	26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB:	31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB:	1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>		

## 5.2.2 DUGOROČNE PROGNOZE ZNAČAJNE VALNE VISINE ZA DUBOKOVODNO MORE IZ SEKTORA 2 NA TEMELJU PODATAKA CMS (1985-2025) ZA TOČKU M2

Razred	Srednja valna visina $H_{s,i}$ [m]	Apsolutna učestalost $f_i$ [1]	Kumulat. apsolutna učestalost $F_i$ [1]	Vjerojatnost premašenja $P(H_s > H_{s,i})$ [1]	$\ln H_{s,i}$	$u_i$
1	2,16	1	1	3,185E-04	0,768	3,415
2	1,94	6	7	4,140E-03	0,663	2,640
3	1,57	12	19	1,178E-02	0,450	2,264
4	1,33	29	48	3,025E-02	0,283	1,877
5	1,08	64	112	7,102E-02	0,082	1,468
6	0,86	267	379	2,411E-01	-0,151	0,703
7	0,59	1.191	1.570	9,997E-01	-0,523	-3,415
	$n =$	1.570				

Skala PR

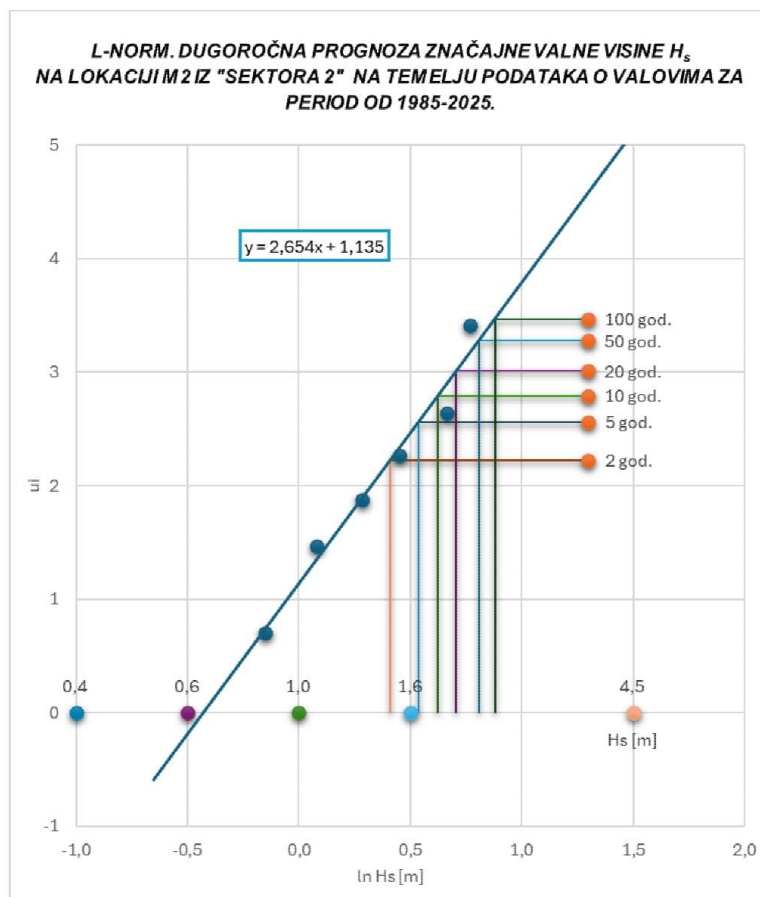
$T_{reg} [god] = 41$

PR [god]	$P(H_s > H_{s,i})$	$u_i$	$\ln H_s$ [m] prognozirano	$H_s$ [m] prognozirano
100	2,6E-04	3,469	0,88	2,41
50	5,2E-04	3,278	0,81	2,24
20	1,3E-03	3,010	0,71	2,03
10	2,6E-03	2,793	0,62	1,87
5	5,2E-03	2,561	0,54	1,71
2	1,3E-02	2,225	0,41	1,51

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



<b>SEKTOR 2</b>			
<i>PR</i>	$H_{mo}$ [m]	$T_p$ [s]	$L_p$ [m]
<b>100</b>	2,41	10,16	161,05
<b>50</b>	2,24	9,90	153,15
<b>20</b>	2,03	9,56	142,70
<b>10</b>	1,87	9,29	134,77
<b>5</b>	1,71	9,01	126,77
<b>2</b>	1,51	8,62	116,02

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B,	21000 Split,	TEL:			+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203		FAX:			+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396		E-MAIL:			pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

## 6 ZAKLJUČAK O ULAZNIM PARAMETRIMA ZA HIDRODINAMIČKE VALNE ANALIZE NA PREDMETNOM LOKALITETU MARINE PRAHIVAC

**Tablica 8. Očekivane značajne valne visine ( $H_s$ ), visine 10% najviših ( $H_{10\%}$ ) valova, te maksimalnih valova ( $H_{max}$ ) iz sektora 1 s povratnim periodima 100, 50, 20, 10, 5 i 2 godine na lokaciji M2 (šire područje marine Prahivac) za razdoblje opažanja 1985.-2025. sa CMS.**

PP	SEKTOR 1 (CMS 1985.-2025.)					
	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	$T_p$ (s)	$L_p$ (m)	$H_{10\%}$ (m)	$H_{max}$ (m)
100	4,96	8,08	8,89	123,31	6,30	8,92
50	4,58	7,93	8,72	118,74	5,81	8,24
20	4,09	7,72	8,49	112,62	5,20	7,37
10	3,74	7,56	8,31	107,91	4,75	6,74
5	3,40	7,39	8,13	103,11	4,32	6,12
2	2,96	7,15	7,86	96,57	3,76	5,33

**Tablica 8. Očekivane značajne valne visine ( $H_s$ ), visine 10% najviših ( $H_{10\%}$ ) valova, te maksimalnih valova ( $H_{max}$ ) iz sektora 2 s povratnim periodima 100, 50, 20, 10, 5 i 2 godine na lokaciji M1 (šire područje marine Prahivac) za razdoblje opažanja 1985.-2025. sa CMS.**

PP	SEKTOR 2 (CMS 1985.-2025.)					
	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	$T_p$ (s)	$L_p$ (m)	$H_{10\%}$ (m)	$H_{max}$ (m)
100	2,35	8,44	9,28	134,54	2,98	4,22
50	2,16	8,27	9,09	129,10	2,74	3,88
20	1,92	8,03	8,83	121,79	2,43	3,45
10	1,74	7,84	8,62	116,14	2,21	3,13
5	1,57	7,64	8,41	110,35	1,99	2,82
2	1,35	7,36	8,10	102,38	1,71	2,42

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>	
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740			
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750			
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com			
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

**Tablica 10. Očekivane značajne valne visine ( $H_s$ ), visine 10% najviših ( $H_{10\%}$ ) valova, te maksimalnih valova ( $H_{max}$ ) iz sektora 3 s povratnim periodima 100, 50, 20, 10, 5 i 2 godine ispred marine Prahivac za razdoblje opažanja 2003.-2022. sa postaje Dubrovnik.**

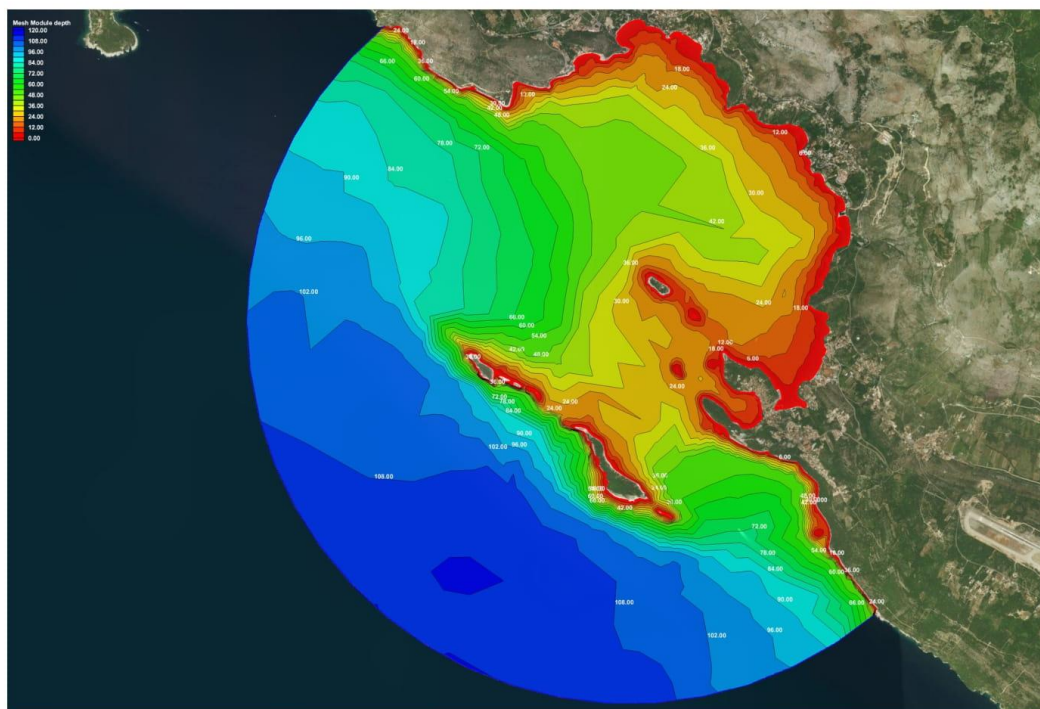
PP	SEKTOR 3 (DUBROVNIK 2003.-2022.)					
	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	$T_p$ (s)	$L_p$ (m)	$H_{10\%}$ (m)	$H_{max}$ (m)
100	1,67	3,38	3,71	21,55	2,12	3,01
50	1,60	3,31	3,64	20,68	2,03	2,88
20	1,50	3,22	3,54	19,54	1,90	2,70
10	1,43	3,14	3,46	18,68	1,81	2,57
5	1,35	3,07	3,38	17,82	1,72	2,43
2	1,26	2,97	3,27	16,69	1,60	2,26

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice	26/B,	21000	Split,			TEL:	+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203					FAX:	+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396					E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>				ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>		

## 7 HIDRODINAMIČKA VALNA ANALIZA NA PREDMETNOM LOKALITETU MARINE PRAHIVAC

### Općenito

Analiza je provedena numeričkim 2D modelima (AQUAVEO CMS-WAVE 13.3.12) je dvodimenzionalni valni spektralni transformacijski model koji koristi metodu konačnih razlika koja se kreće prema naprijed za rješavanje jednadžbe očuvanja djelovanja vala. To je model faznog prosjeka, koji zanemaruje promjene u fazi vala pri izračunavanju valova i drugih procesa u blizini obale iz izlaznih informacija o valovima. CMS-Wave sadrži teoretski razvijene aproksimacije za difrakciju i refleksiju valova i stoga je prikladan za provođenje simulacija valova u obalnim uvalama. Model radi na obalnoj poluravnini tako da se primarni valovi mogu širiti samo od granice prema moru prema obali. Analizirano je dolazno stanje valova ispred šireg područja marine Prahivac, te njihova propagacija između otoka u kombinaciji sa vjetrom kako bi što realnije mogli sagledavati dolazne valove ispred predmetne luke, dakle provedene su analize valovi+vjetar za pojedine sektore.



Slika 19. Batimetrija šireg područja ispred marine Prahivac

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B,	21000 Split,	TEL:			+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203		FAX:			+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396		E-MAIL:			pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>			ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>			
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>			OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>			

### Parametri incidentnih valova

Razmatrani su valne incidencije iz sektora 1. i 2. za predmetnu lokaciju. Na linijama stvaranja valova numeričkog modela definirani su rubni uvjeti kao dubokovodni nadolazeći JONSWAP valni spektar;  $\gamma = 3,3$ , povratnog perioda PP=100 godina, PP=50 godina i PP=5 godina. Za područje predmetnog zahvata, referentne veličine dnevnog osciliranje morske razine (srednja amplituda), srednje morske razine i ukupnog raspona morske razine mogu se usvojiti kao za Dubrovnik.

### Popis simulacija

Plan numeričkih simulacija koje su provedene u svrhu analize valovanja predmetnog akvatorija kao i za definiranje valnog opterećenja na obalnu konstrukciju, za projektno rješenje s različitim postavkama rubnih uvjeta i drugih valnih parametara dan je tablicom.

N	PP	Vjetar u domeni		Val na rubnom uvjetu	
		Brzina vjetra (m/s)	Smjer vjetra	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]
1.	100	19	SW - 225°	4,96	8,89
2.	50	16	SW - 225°	4,58	8,72
3.	5	13	SW - 225°	3,40	8,13
4.	100	19	WSW -247,5°	4,96	8,89
5.	50	16	WSW -247,5°	4,58	8,72
6.	5	13	WSW -247,5°	3,40	8,13
7.	100	9	W - 270°	2,35	9,28
8.	50	8	W - 270°	2,16	9,09
9.	5	7	W - 270°	1,57	8,41
10.	100	9	WNW - 292,5°	2,35	9,28
11.	50	8	WNW - 292,5°	2,16	9,09
12.	5	7	WNW - 292,5°	1,57	8,41
13.	100		NW - 315°	1,67	3,71
14.	50		NW - 315°	1,60	3,64
15.	5		NW - 315°	1,35	3,38

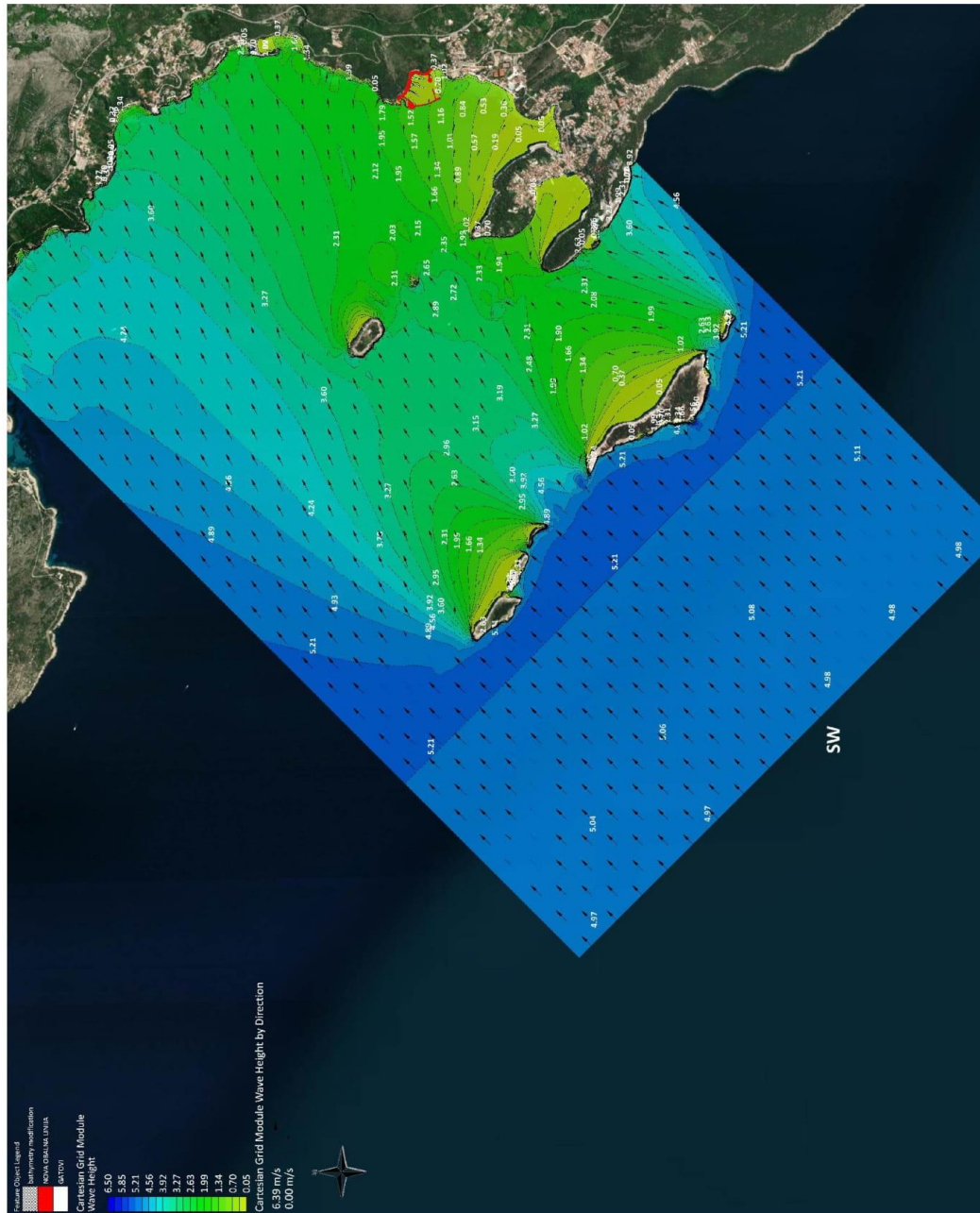
### Rezultati provedenih numeričkih simulacija valovanja

Na slikama u nastavku prikazani su rezultati numeričkog proračuna deformacija valova (polja značajnih valnih visina), za različite incidentne smjerove te za tri različita povratna perioda od 100, 50 i 5 godina.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 20. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer SW (225°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

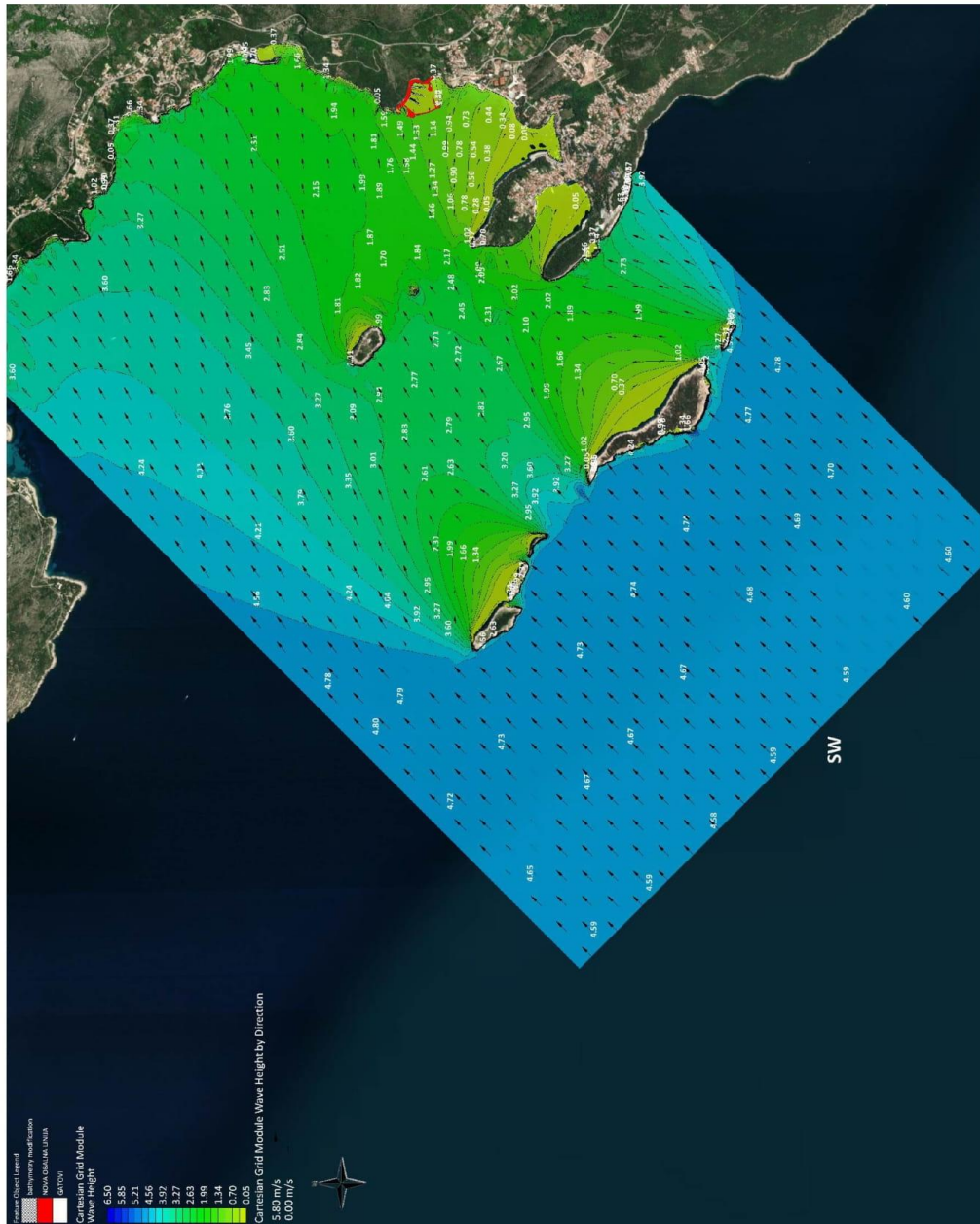


Slika 21. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer SW (225°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>	



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



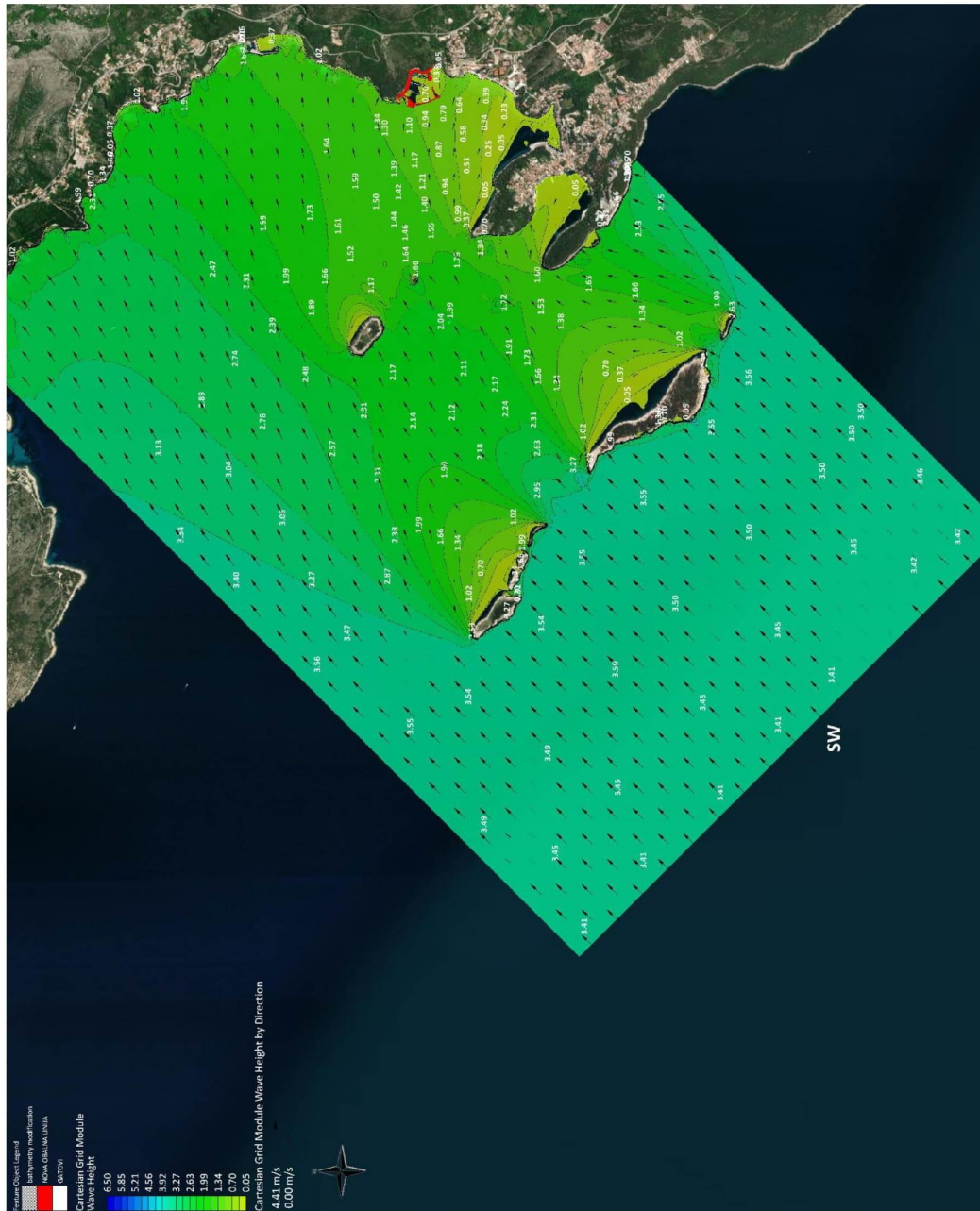
Slika 22. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer SW (225°) i povratni period 50 godina



<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>	



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 24. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer SW (225°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

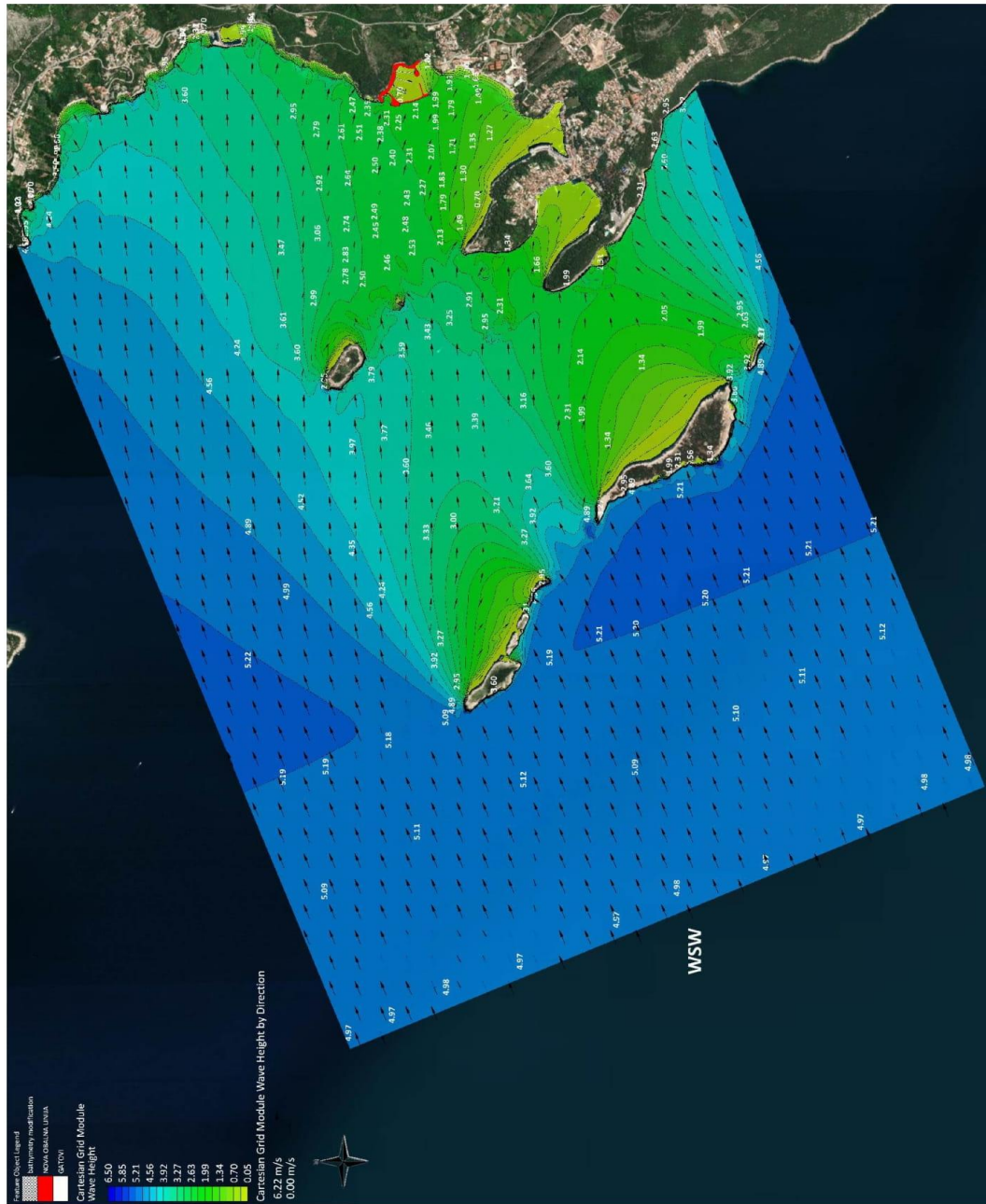


Slika 25. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer SW (225°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 26. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WSW (247,5°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

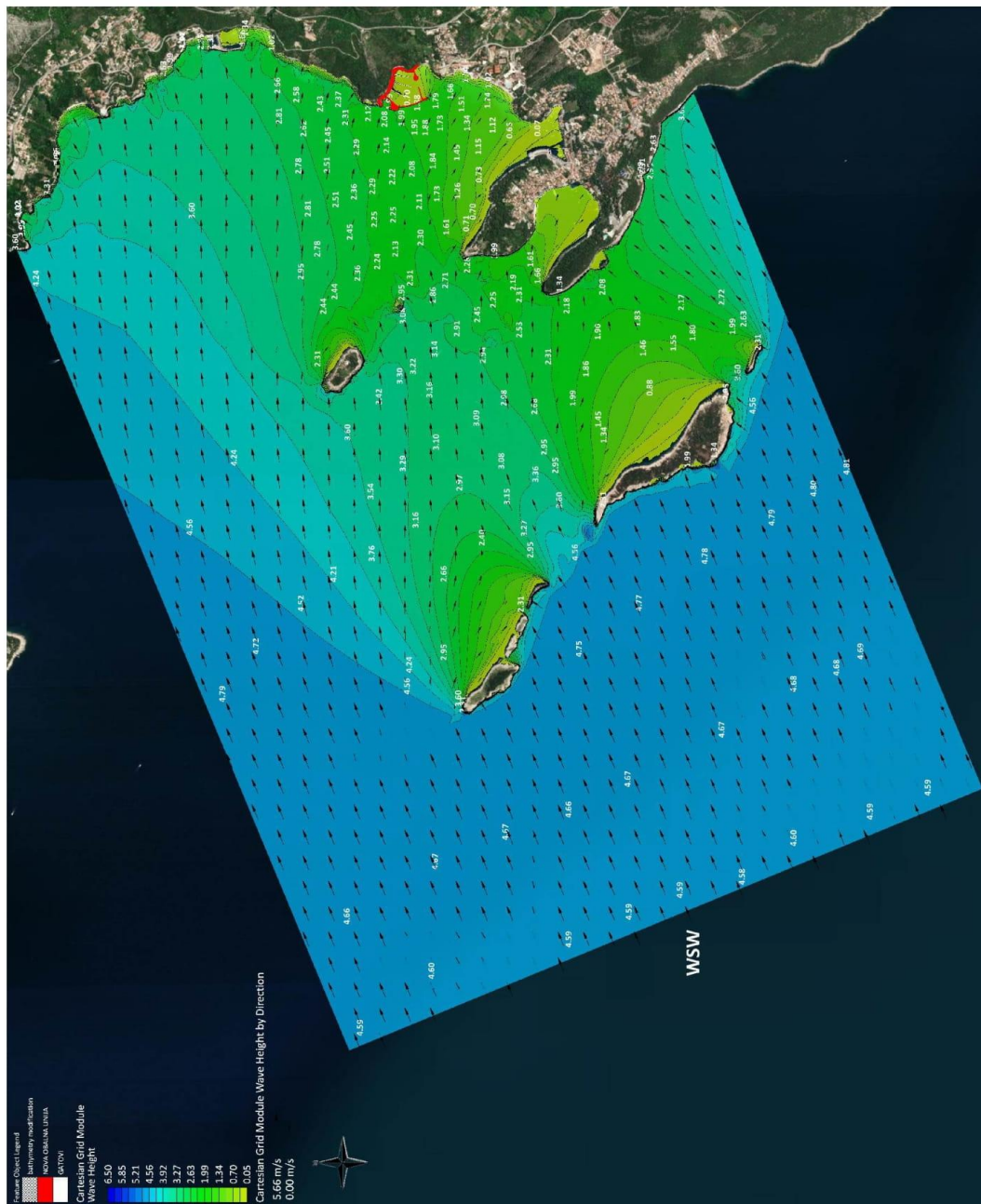


Slika 27. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WSW (247,5°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRADEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 28. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WSW (247,5°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

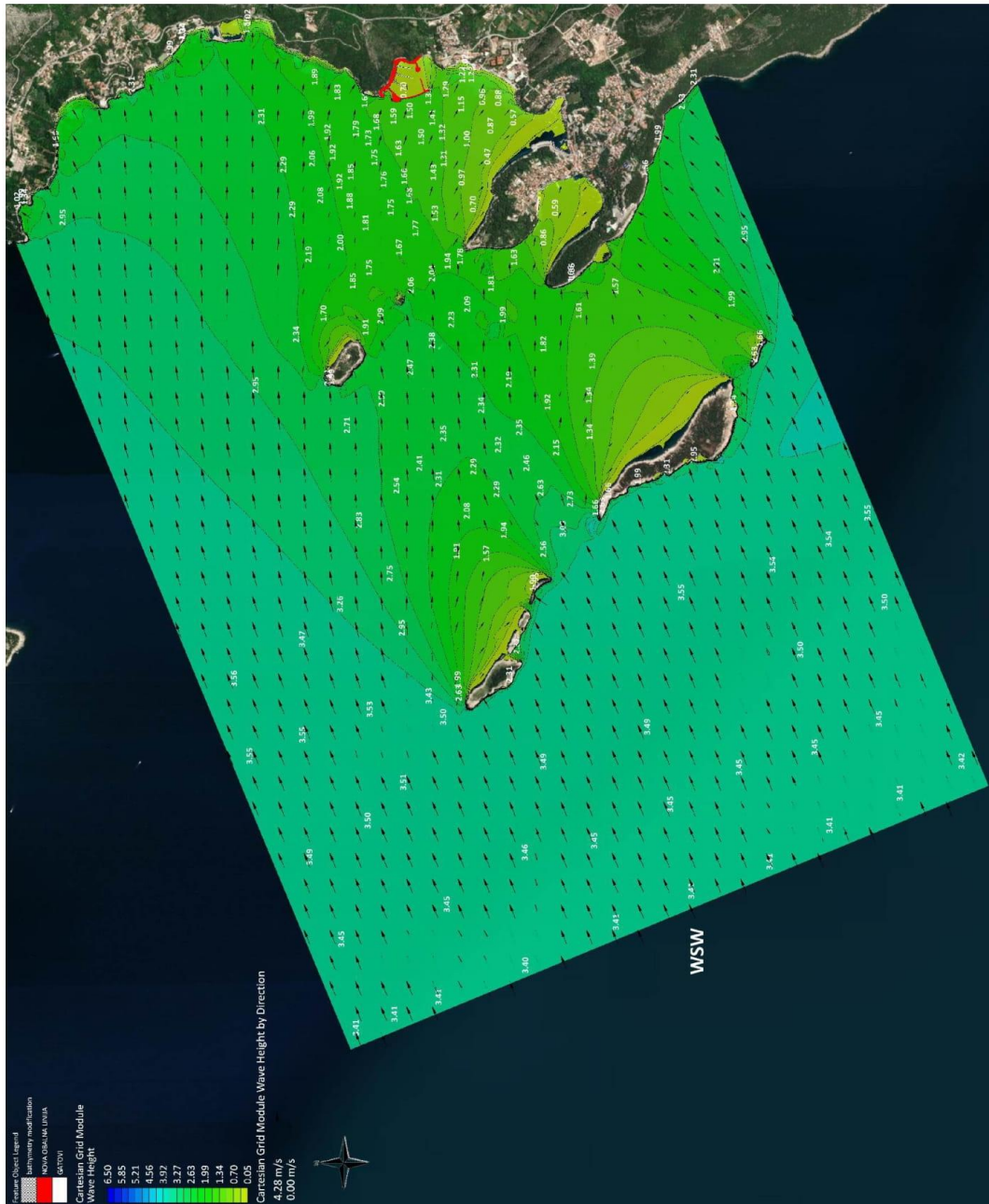


Slika 29. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WSW (247,5°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 30. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WSW (247,5°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

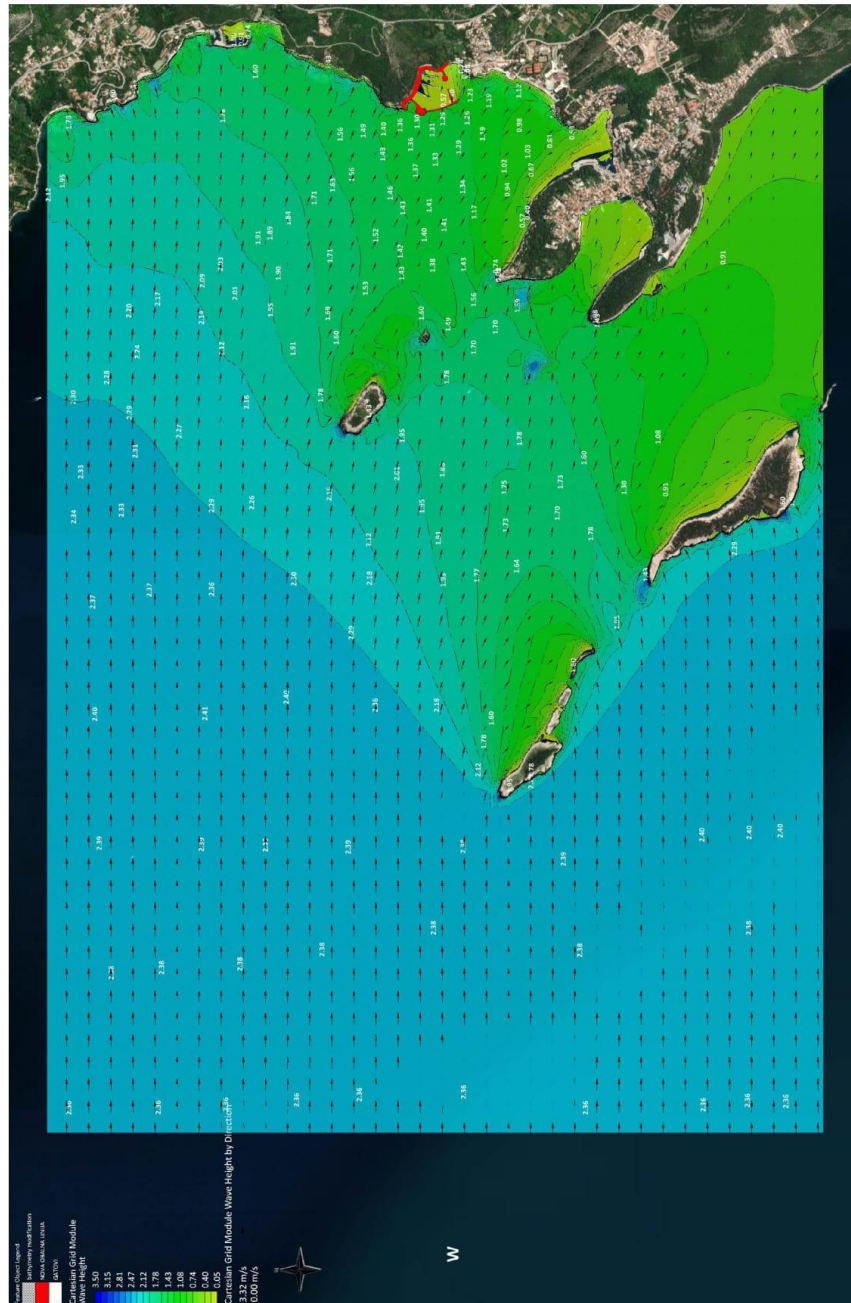


Slika 31. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WSW (247,5°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 32. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer W (270°) i povratni period 100 godina

**VJetrovna studija za Marinu „PRAHIVAC“**

-52-

Tehnički dio

Split, prosinac 2025.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
			
<b>GRAĐEVINA: MARINA „PRAHIVAC“</b>		<b>ZOP/MAPA: MP / M1</b>	
<b>STRUKOVNA ODREDNICA: GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		<b>OZNAKA PROJEKTA: T.D. 912/2025</b>	

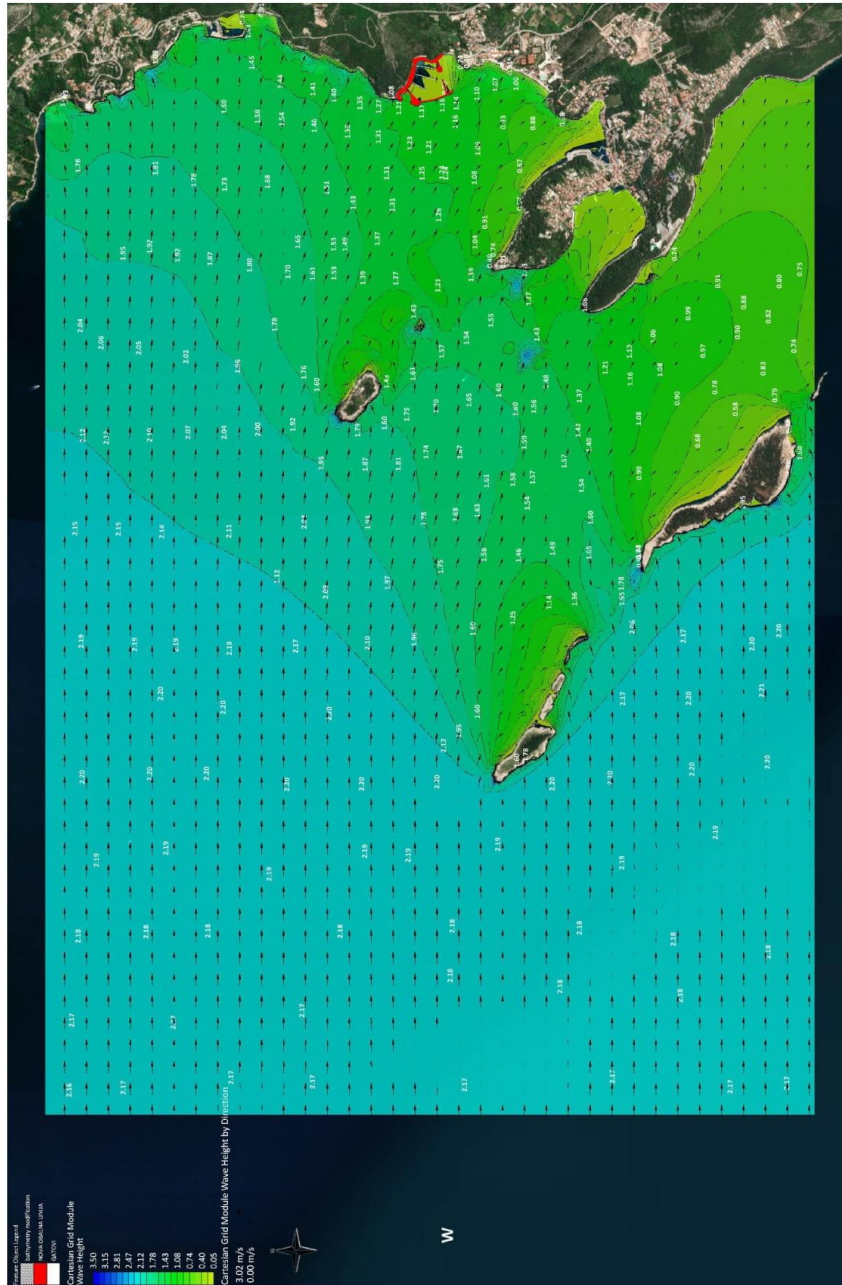


Slika 33. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer W (270°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 34. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer W (270°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
			
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>

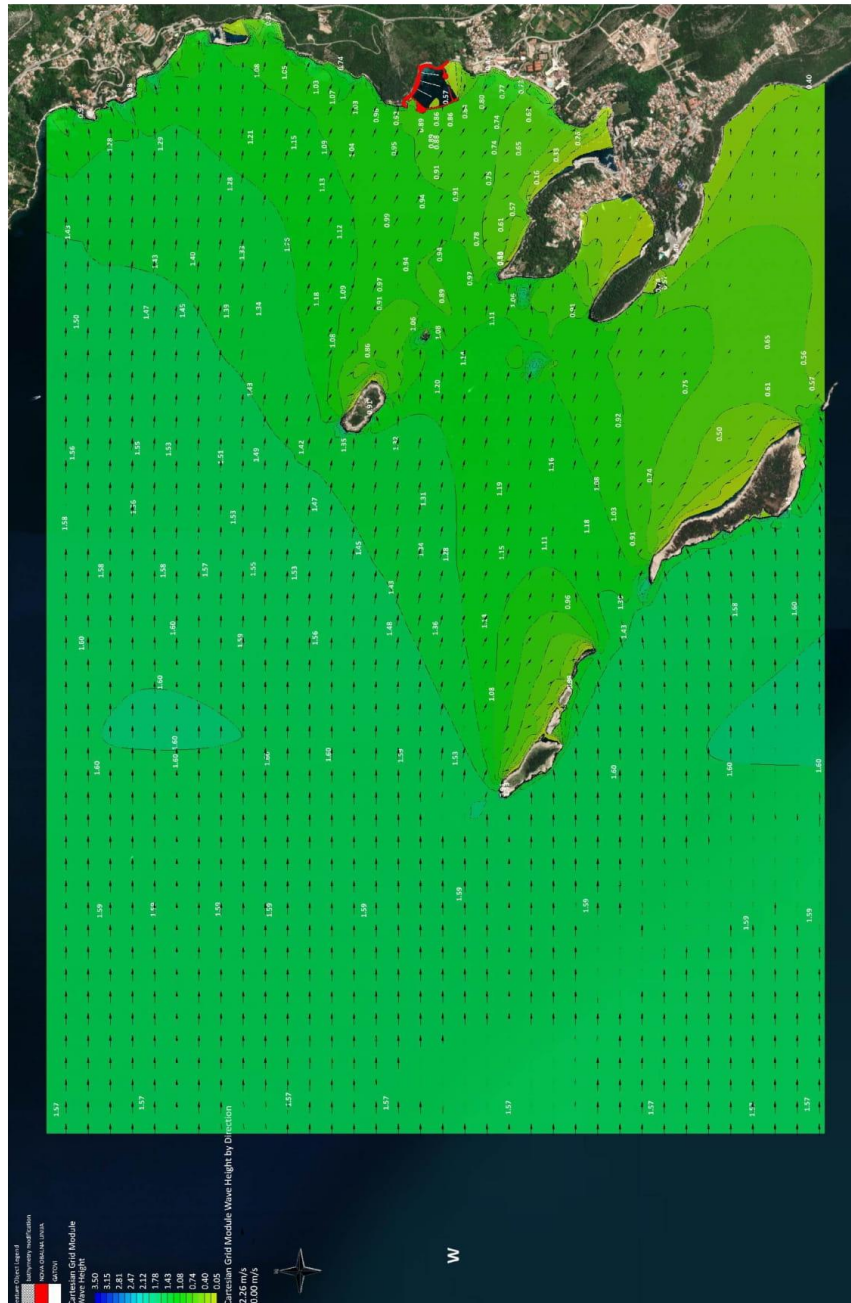


Slika 35. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer W (270°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRADEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 36. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer W (270°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>	



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

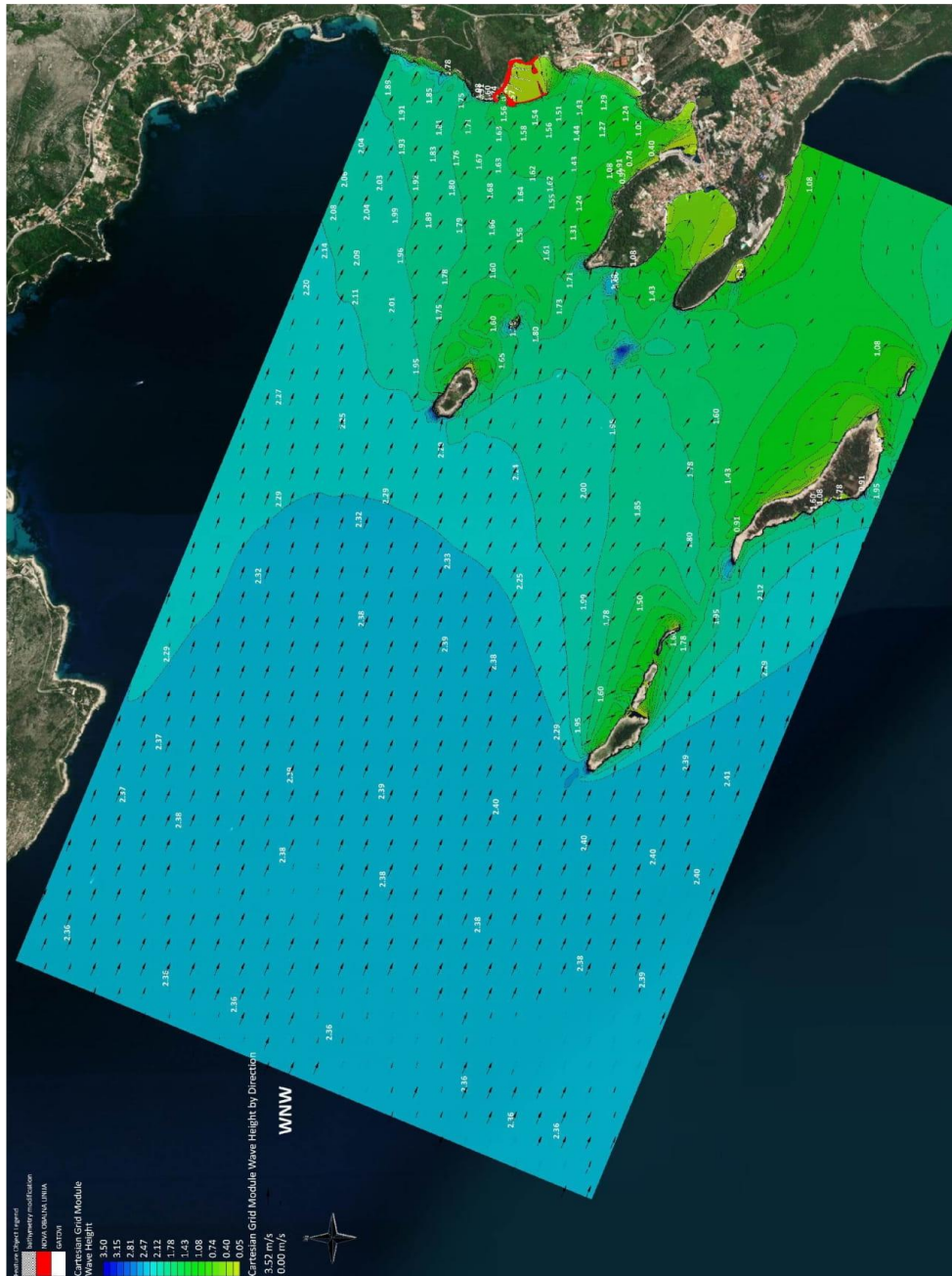


Slika 37. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer W (270°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

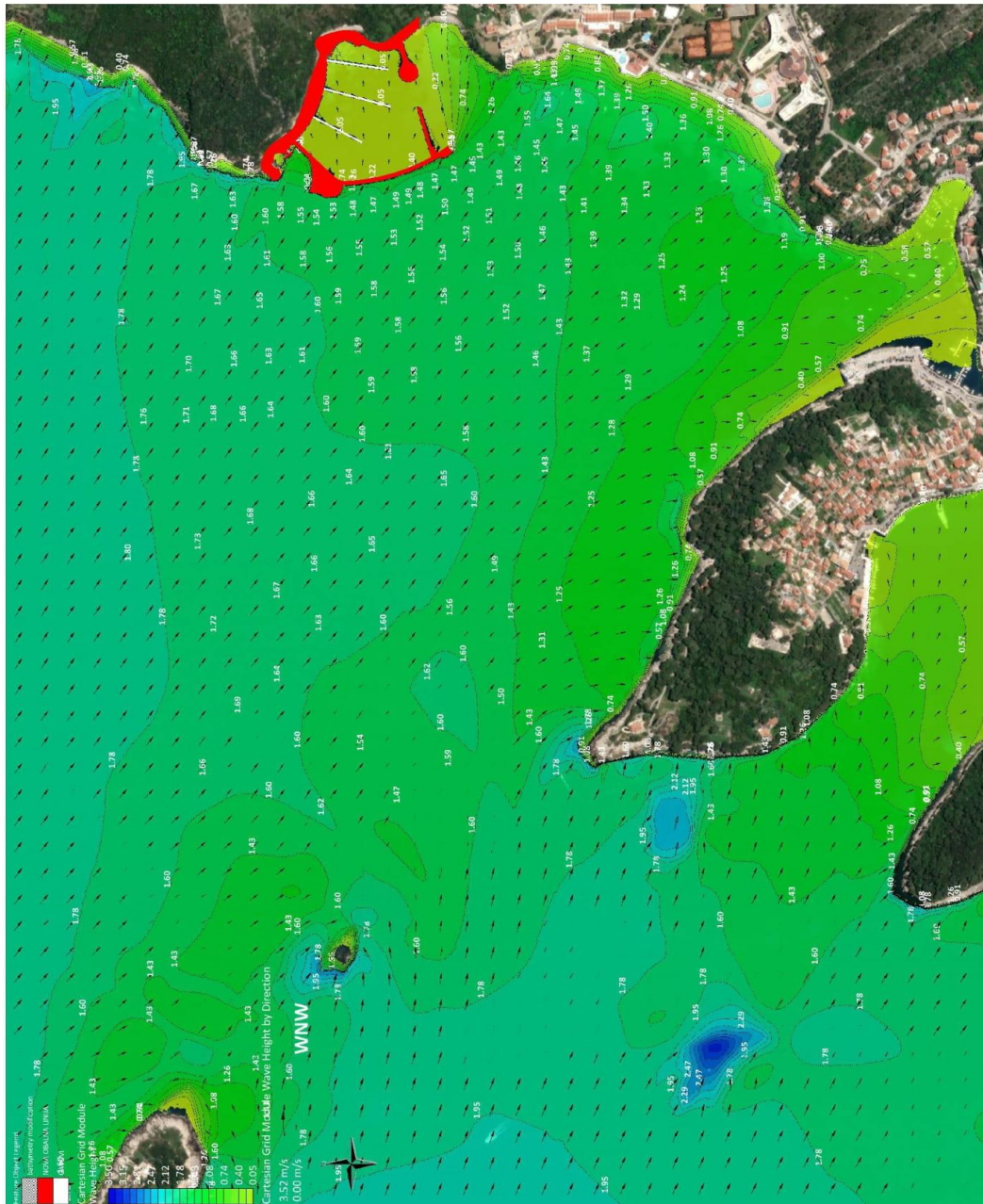


Slika 38. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WNW (292.5°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
<b>GRAĐEVINA: MARINA „PRAHIVAC“</b>		<b>ZOP/MAPA: MP / M1</b>	
<b>STRUKOVNA ODREDNICA: GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		<b>OZNAKA PROJEKTA: T.D. 912/2025</b>	



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

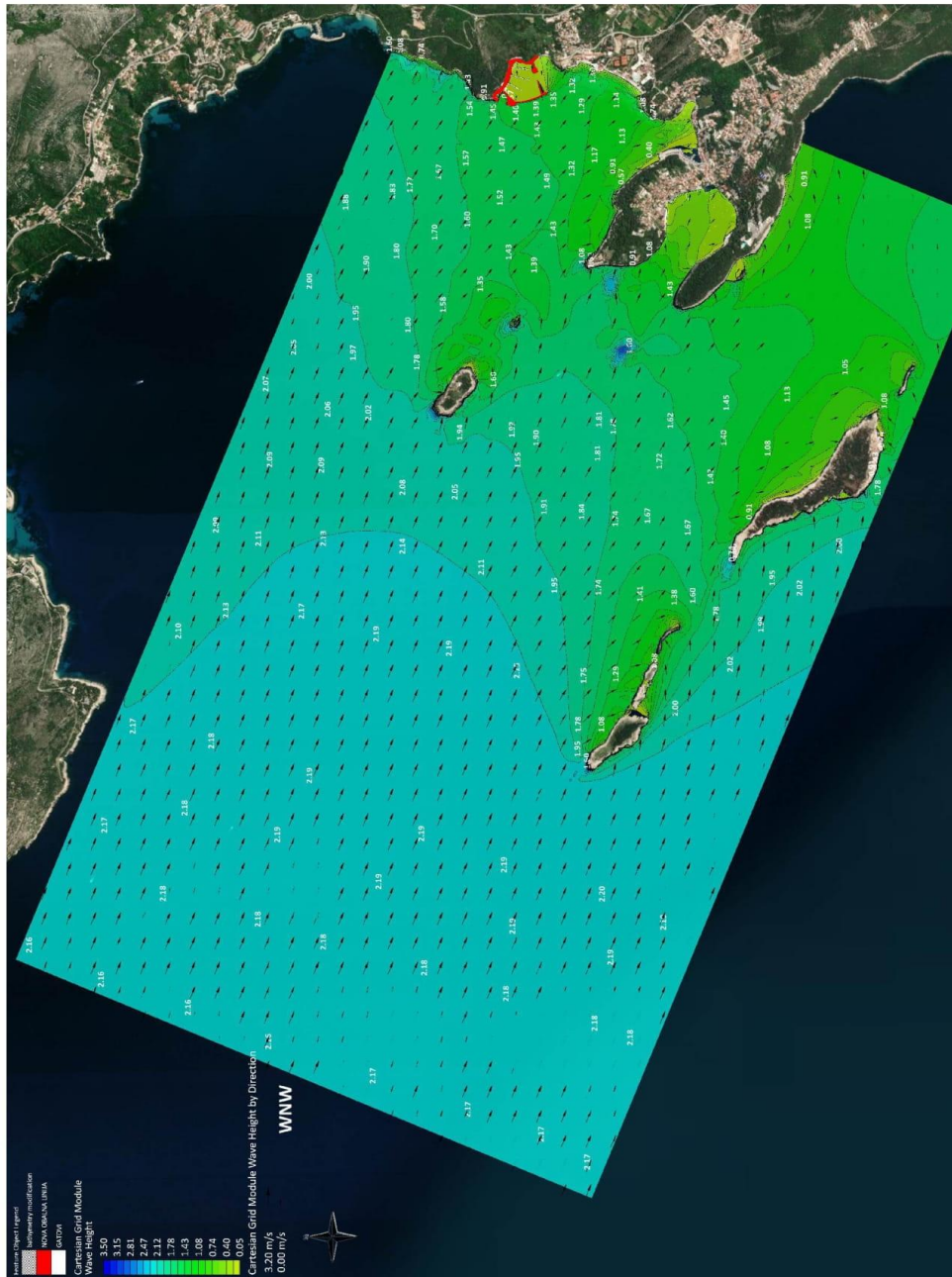


Slika 39. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WNW (292.5°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>	



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 40. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WNW (292.5°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>	



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

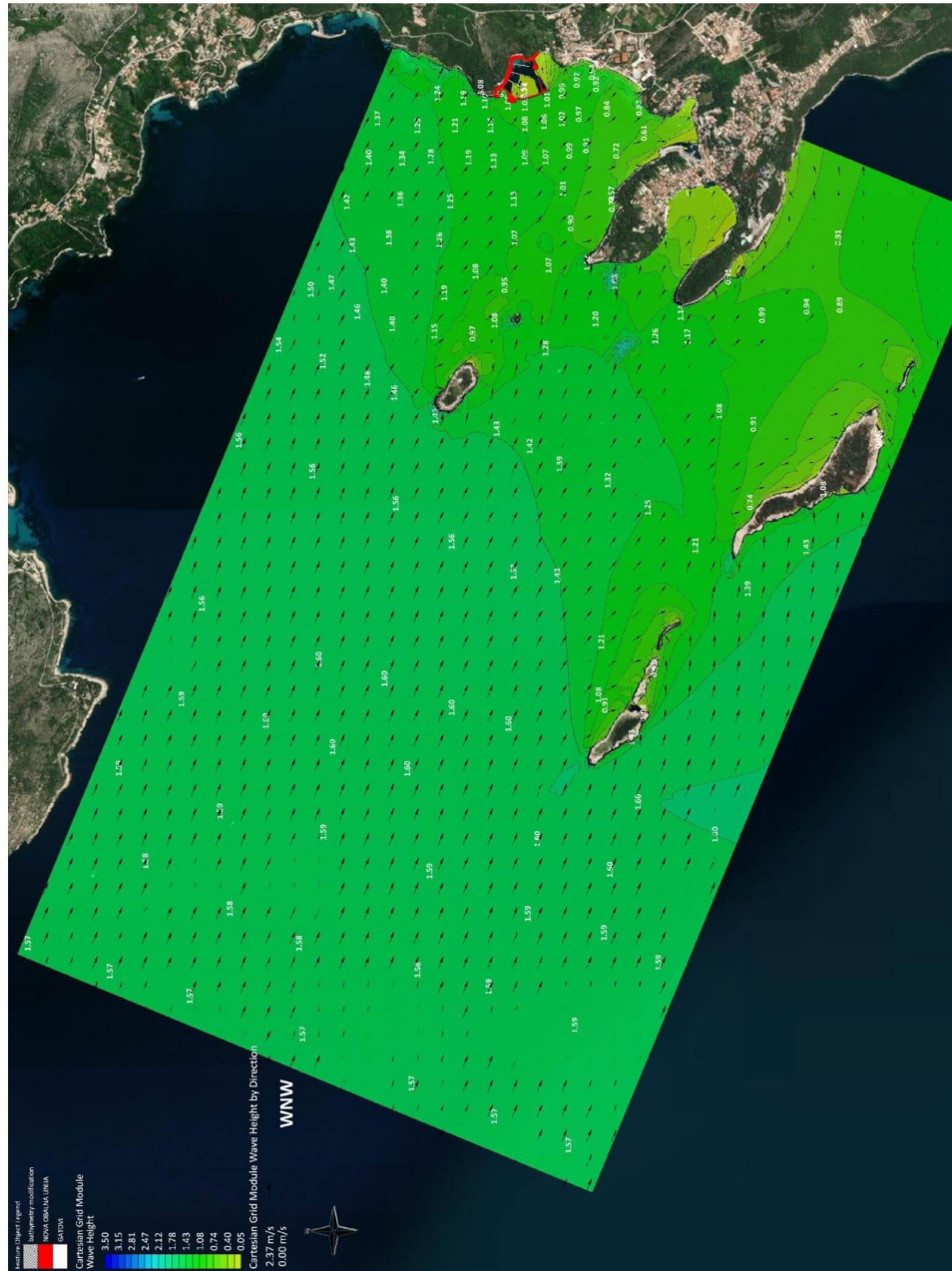


Slika 41. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WNW (292.5°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

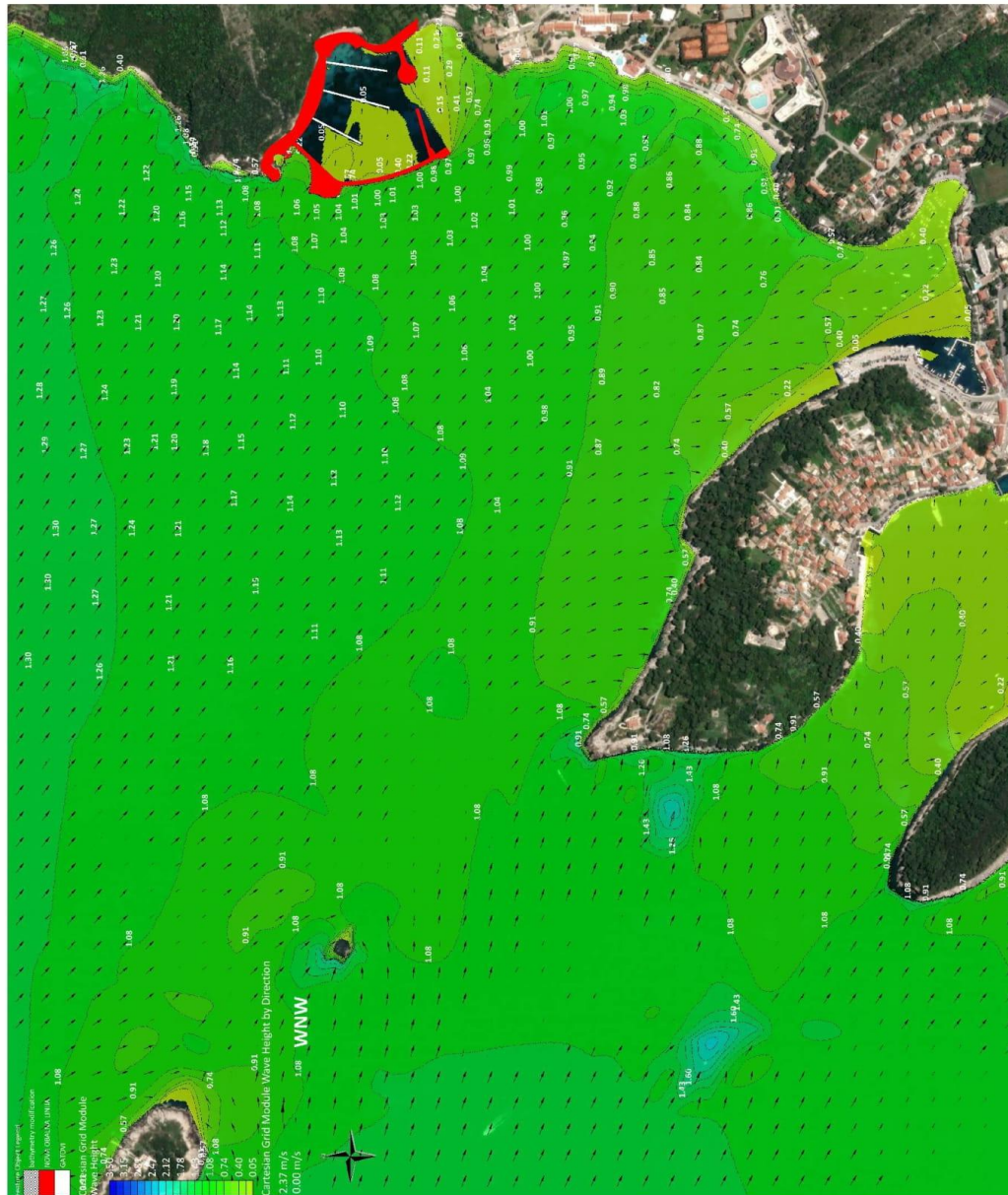


Slika 42. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WNW (292.5°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

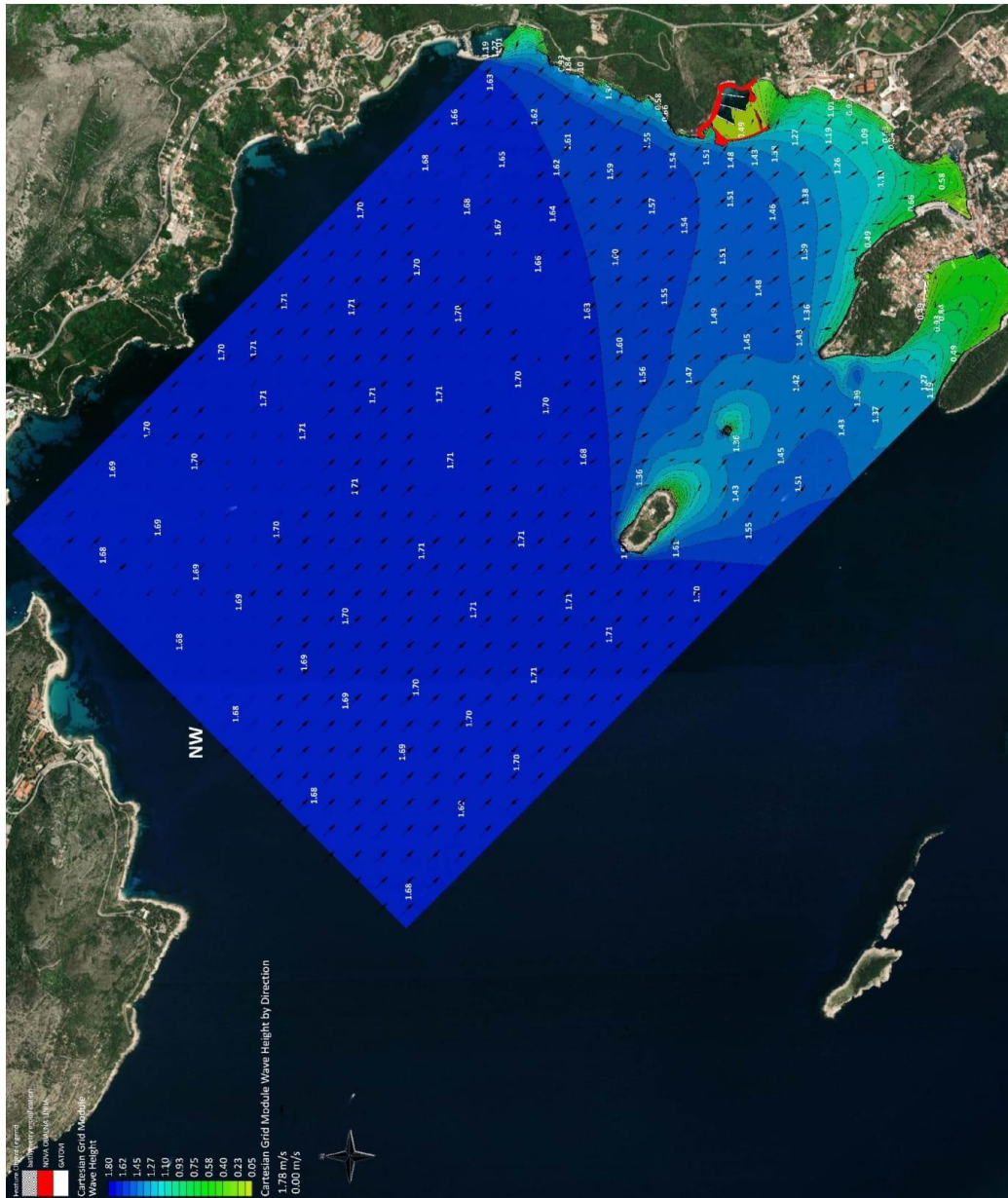


Slika 43. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer WNW (292.5°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>	



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

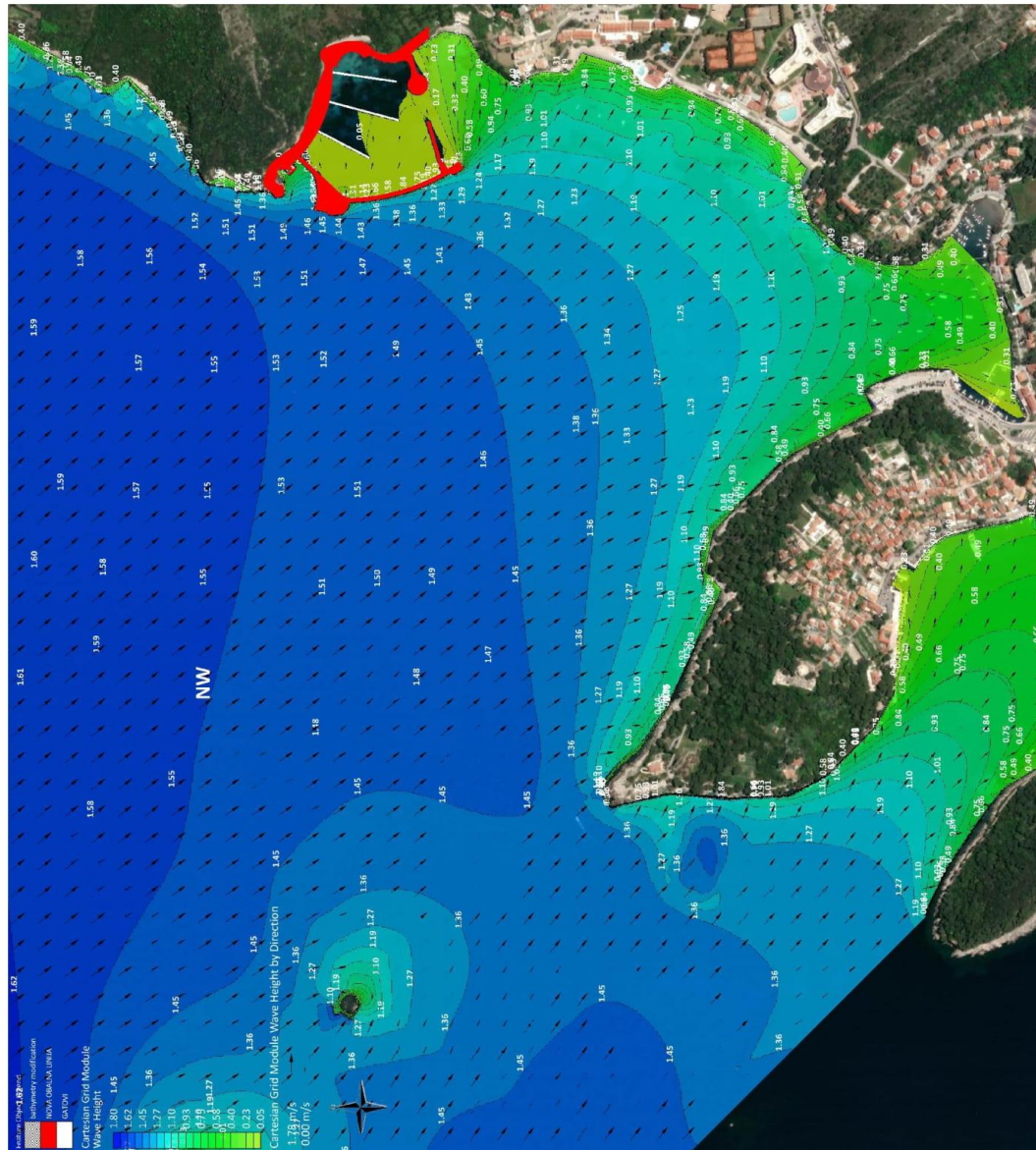


Slika 44. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer NW (315°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b> STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b> OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>	

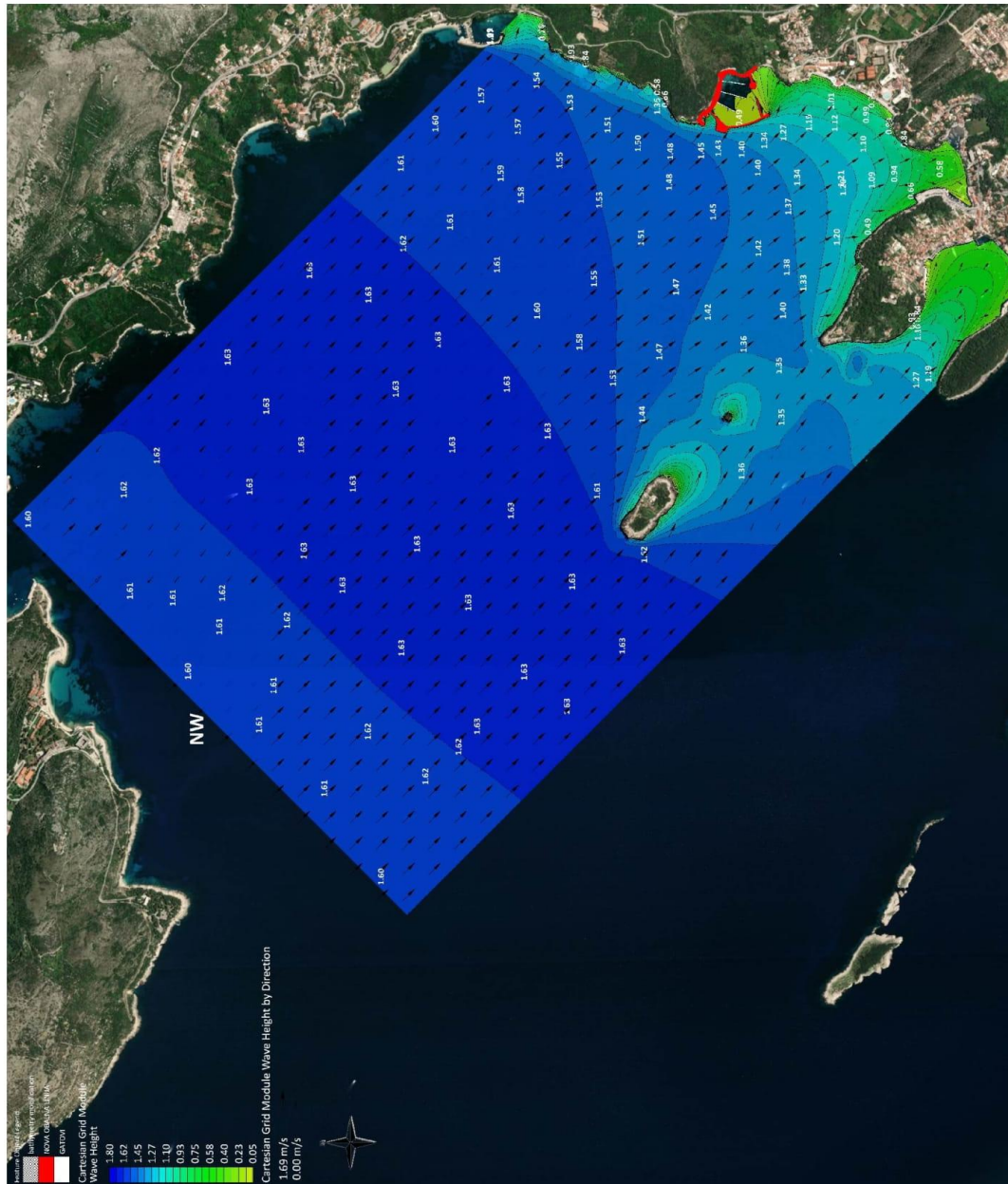


**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 45. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer NW (315°) i povratni period 100 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
			
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>

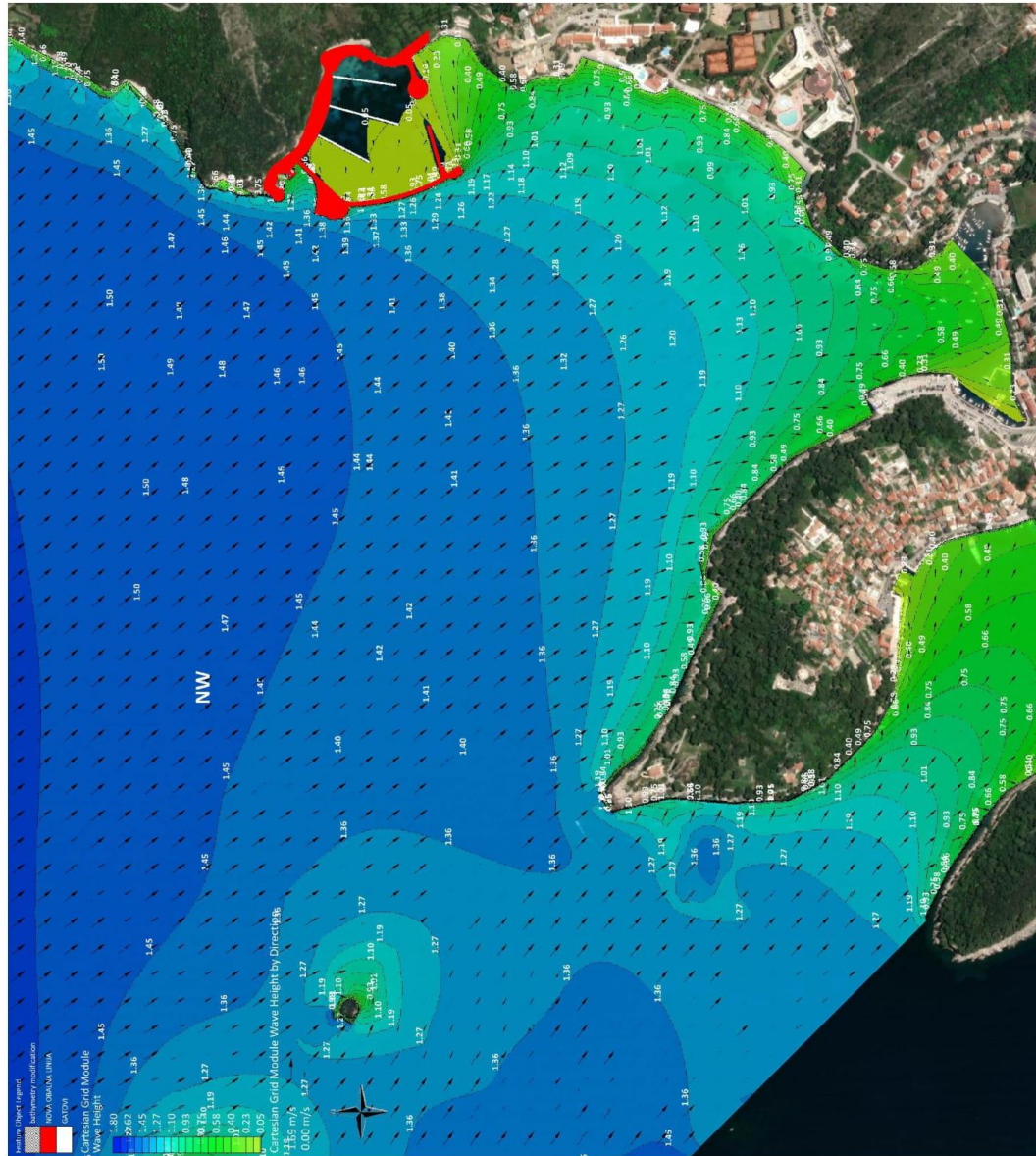


Slika 46. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer NW (315°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

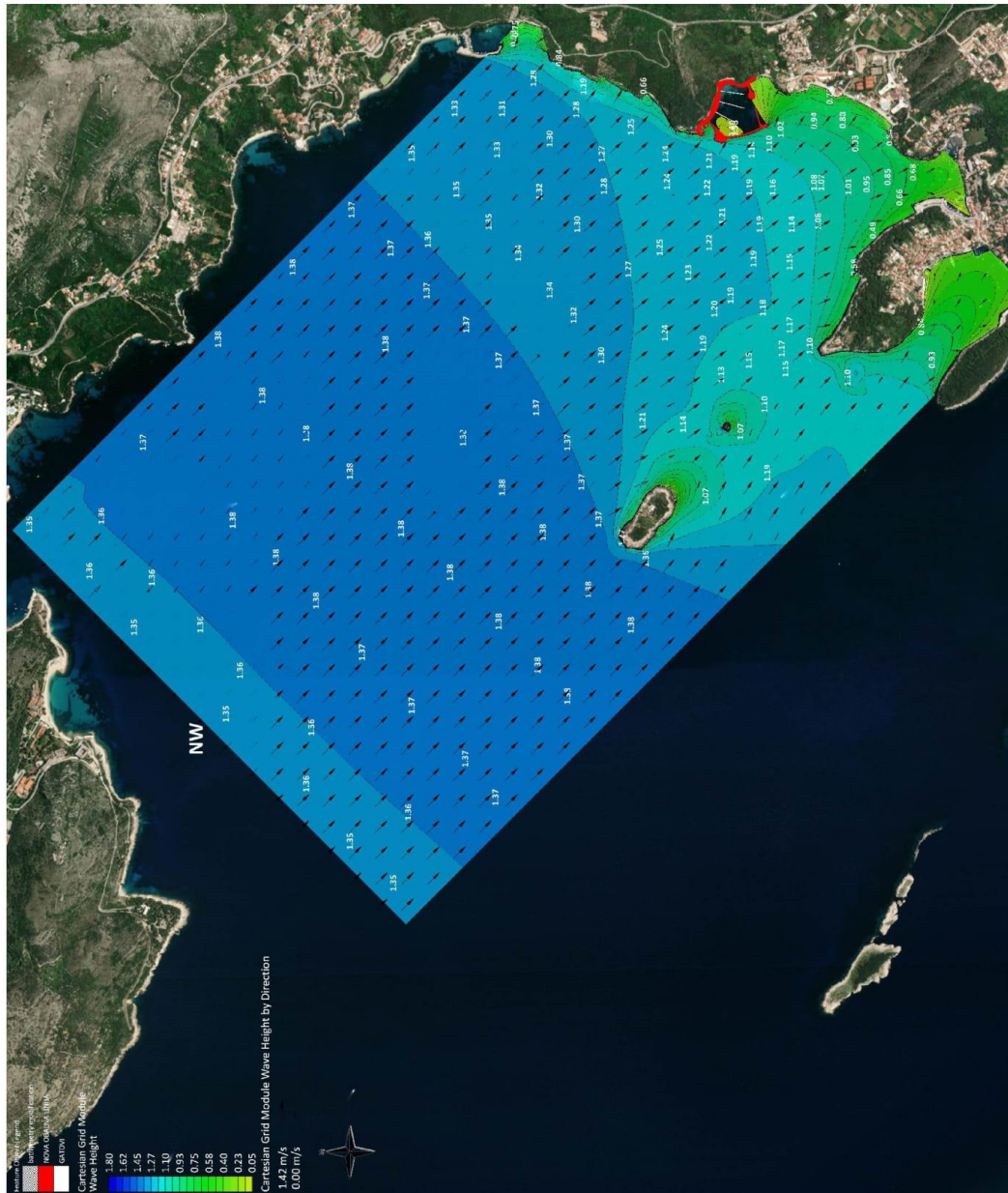


Slika 47. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer NW (315°) i povratni period 50 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRADEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

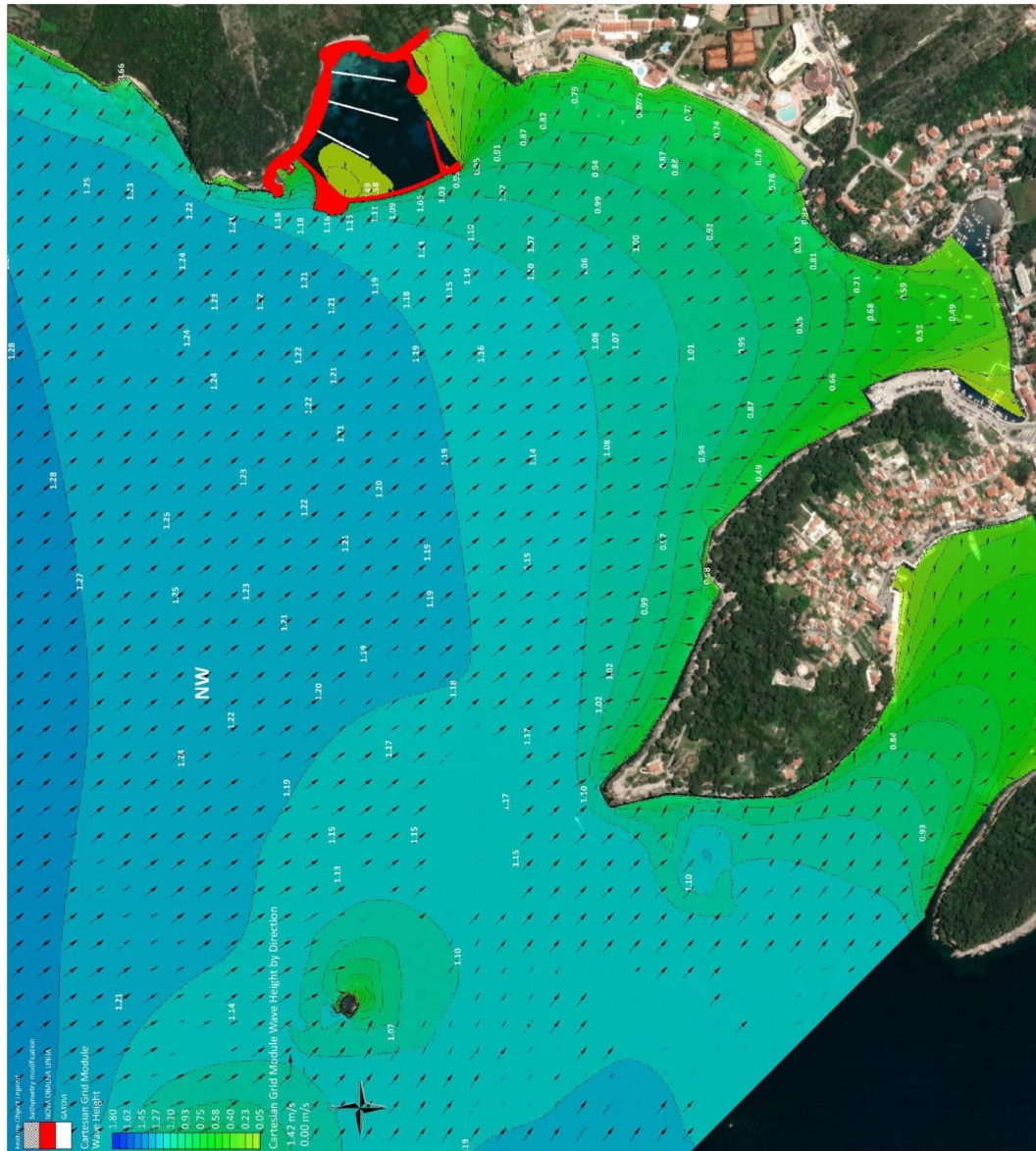


Slika 48. Polje značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer NW (315°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 49. Detaljni prikaz polja značajnih valnih visina na lokaciji marine Prahivac za smjer NW (315°) i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

## **8 ZAKLJUČAK O KARAKTERISTIKAMA VALNOG REŽIMA ISPRED MARINE PRAHIVAC KAO ULAZNIH VELIČINA ZA DIMENZIONIRANJE I OBLIKOVANJE POMORSKIH OBJEKATA**

U ovom elaboratu analizirane su značajne valne visine (srednjaci) 100-godišnjeg, 50-godišnjeg i 5-godišnjeg povratnog perioda te su načinjene analize valova koji dolaze iz različitih smjerova iz sektora 1., 2. i 3. na predmetni lokalitet.

Rezultati analiza za pojedine povratne periode i sektore ispred marine Prahivac mogu se vidjeti u priloženim grafičkim priložima.

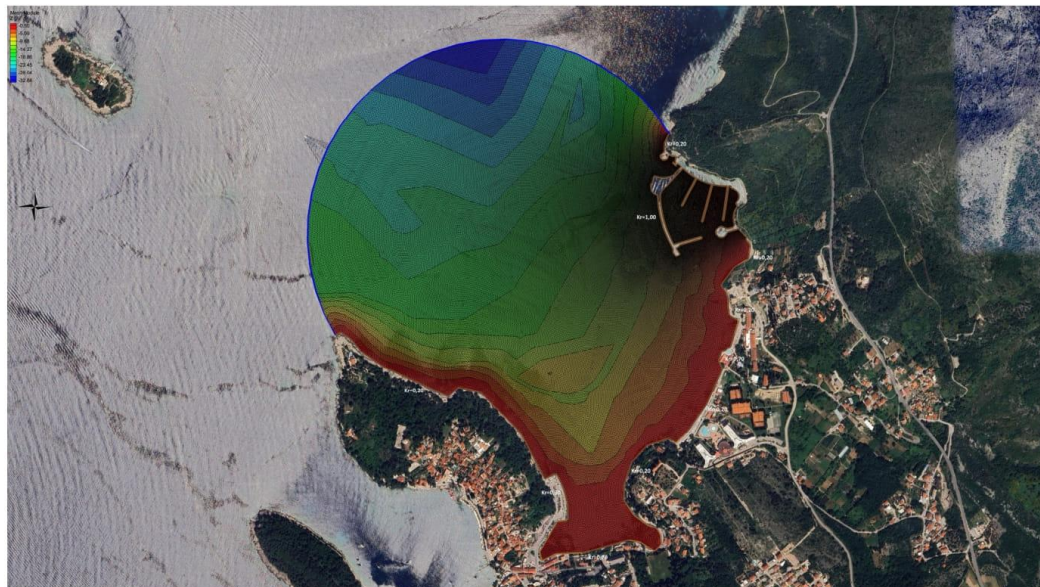
<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>		
Stinice	26/B,	21000 Split,	TEL:			+385 (0)21 / 340-740
OIB:	31765830203		FAX:			+385 (0)21 / 340-750
MB:	1707396		E-MAIL:			pomgrad@pomgrad.com
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>				ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>	
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>				OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>	

## 9 ANALIZA UTJECAJA MARINE PRAHIVAC NA VALNU SLIKU ŠIREG AKVATORIJA

### Općenito

Analiza je provedena numeričkim 2D modelom (AQUAVEO CGWAVE 13.3.12) baziranom na iterativnom rješavanju modificirane eliptične parcijalne diferencijalne jednačbe blagog nagiba, metodom konačnih elemenata. Model ima mogućnost spektralnog prikaza valova (direkcijski valni spektri sa direkcijskom disperzijom) preko energetskog spektra, te uvažava sve procese transformacija valova koji se pojavljuju u priobalju (difrakcija, refrakcija, refleksija), stanje mora izvan same luke, a može uključiti i cijeli niz drugih valnih čimbenika poput nelinearnih procesa loma vala, trenja po dnu i nelinearnog raspršenja valova.

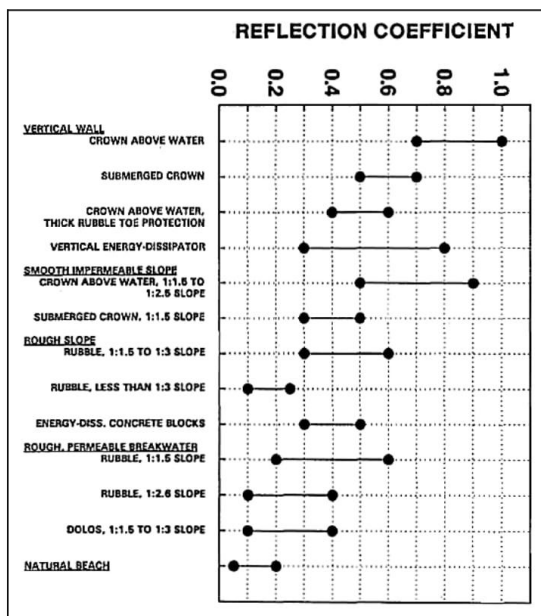
### Prikaz rubnih uvjeta



Slika 50. Prikaz rubnih uvjeta te mreže konačnih elemenata

Obalni rubni uvjeti, za numerički model CGWAVE, zadaju se u obliku koeficijenata refleksije ( $K_r$ ), kojim se definiraju karakteristike pojedinih poteza obalne linije.

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>				 <b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740		
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750		
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com		
GRADEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA: <b>MP / M1</b>		
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRADEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA: <b>T.D. 912/2025</b>		



Slika 50. Prikaz uobičajenih koeficijenata refleksije za različite tipove obala

#### Parametri incidentnih valova

Razmatrani su valne incidencije iz sektora 1. i 3. kao kritične za predmetnu lokaciju. Na linijama stvaranja valova numeričkog modela definirani su kao dubokovodni nadolazeći monokromatski valovi PP=5 godina.

#### Popis simulacija

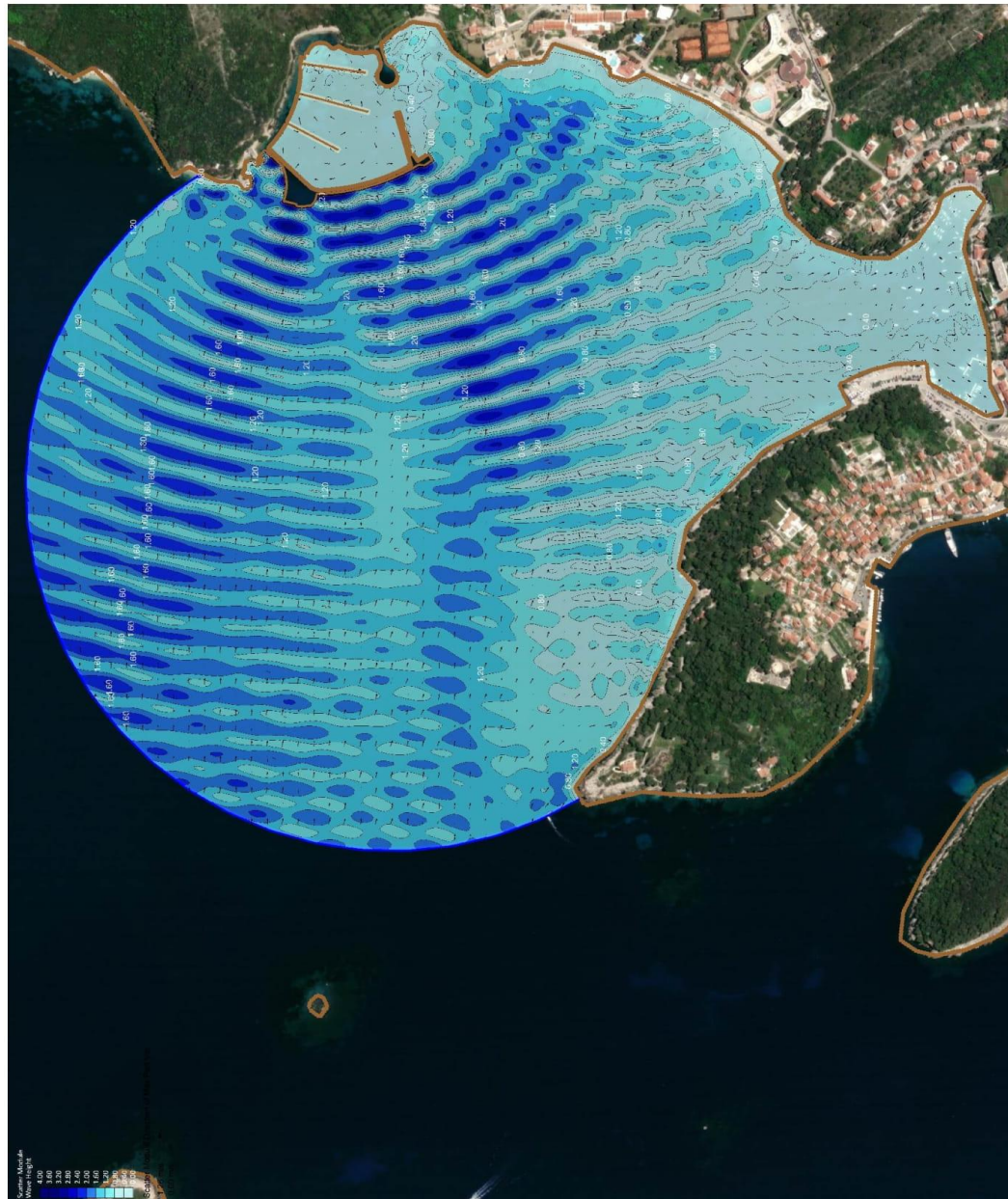
Plan numeričkih simulacija koje su provedene u svrhu analize valovanja predmetnog akvatorija za projektno rješenje s različitim postavkama rubnih uvjeta i drugih valnih parametara dan je tablicom:

N	PP	Vjetar u domeni		Val na rubnom uvjetu	
		Brzina vjetra (m/s)	Smjer vjetra	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]
1.	5	0	WSW	1,80	8,13
2.	5	0	NW	1,25	3,38

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRADEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**

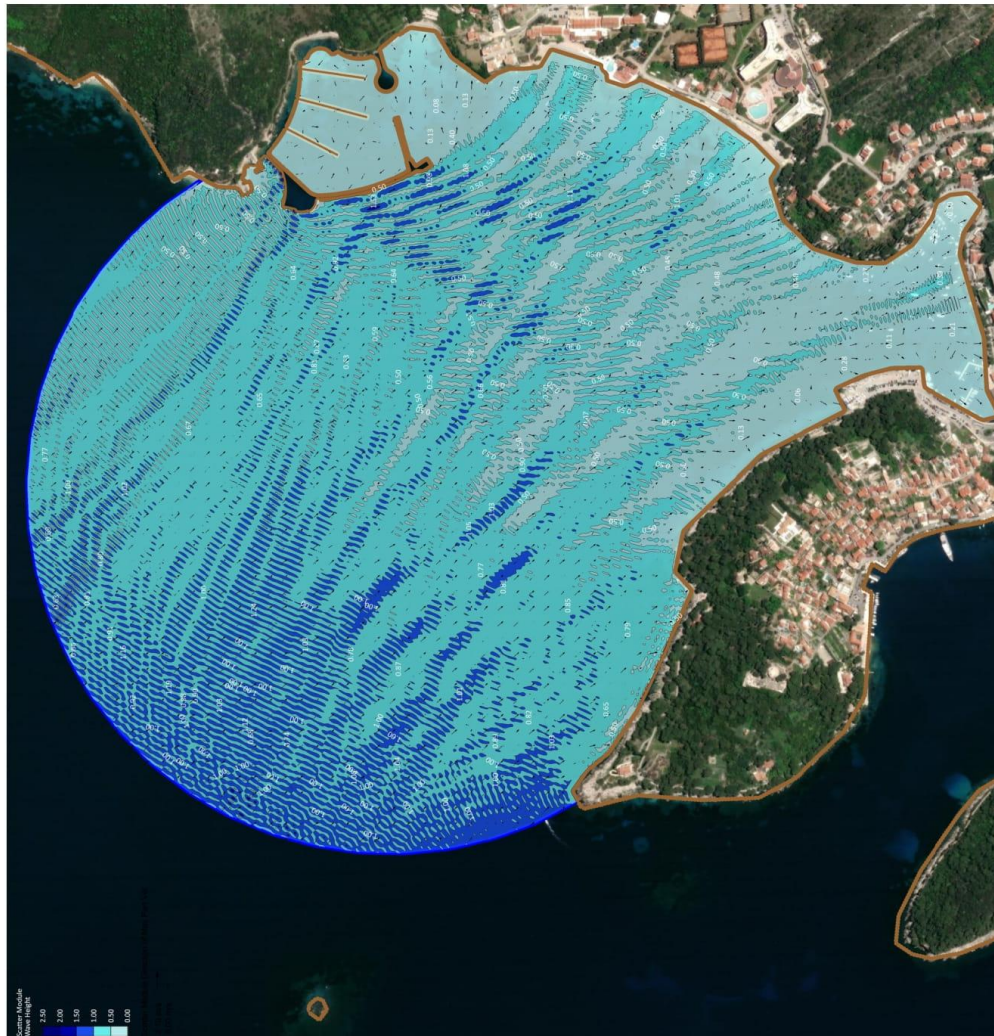


Slika 51. Polje značajnih valnih visina u akvatoriju ispred marine Prahivac za smjer WSW i povratni period 5 godina

<b>POMGRAD INŽENJERING d.o.o.</b>			
Stinice 26/B, 21000 Split,	TEL:	+385 (0)21 / 340-740	
OIB: 31765830203	FAX:	+385 (0)21 / 340-750	
MB: 1707396	E-MAIL:	pomgrad@pomgrad.com	
GRAĐEVINA: <b>MARINA „PRAHIVAC“</b>		ZOP/MAPA:	<b>MP / M1</b>
STRUKOVNA ODREDNICA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>		OZNAKA PROJEKTA:	<b>T.D. 912/2025</b>



**POMGRAD INŽENJERING d.o.o.**



Slika 52. Polje značajnih valnih visina u akvatoriju ispred marine Prahivac za smjer NW i povratni period 5 godina

Projektant:

Dalibor Crnac, dipl.ing.građ.

HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA  
**Dalibor Crnac**  
dipl. ing. građ.  
Ovlašten inženjer građevinarstva  
**G 4292**

## 2 Stručno izvješće o provedenom arheološkom pregledu i sondažnom istraživanju na prostoru buduće marine „luka nautičkog turizma“ u Cavtatu



### STRUČNO IZVJEŠĆE O PROVEDENOM PODVODNOM ARHEOLOŠKOM PREGLEDU I SONDAŽNOM ISTRAŽIVANJU NA PROSTORU BUDUĆE MARINE "LUKA NAUČIKOG TURIZMA" U CAVTATU

Sastavio:


Roko Surić



Zadar, veljača 2021.

Ravnatelj:

dr.sc. Mladen Pešić



## Uvod

Međunarodni centar za podvodnu arheologiju u Zadru (MCPA Zadar) proveo je u razdoblju od 1. do 6. prosinca 2020. godine na području uvala Rogač i Čista luka u Cavtatu arheološko istraživanje koje podrazumijeva arheološki pregled i sondažno iskopavanje.

Istraživanje se sastojalo od podmorskog pregleda, odnosno arheološkog rekognosciranja uvala Rogač i Čista luka te sondažnog iskopavanja na pozicijama s najviše arheološkog potencijala i na prostoru budućih čvrstih struktura. Svrha istraživanja bila je utvrditi postojanje arheološkog potencijala na području buduće izgradnje.

Na osnovu ugovora (Ugovor br: U - 016/2020, od 28. listopada 2020.) između investitora Marina Cavtat & Resort d. o. o. (Vukovarska 22, 20 000 Dubrovnik) i Međunarodnog centra za podvodnu arheologiju u Zadru (Božidara Petranovića 1, 23 000 Zadar) izvršeni su naručeni radovi. U skladu s navedenim ugovorom, osigurana su i financijska sredstva. Dozvola za ova istraživanja izdana je od strane Ministarstva kulture i medija, Uprave za zaštitu kulturne baštine, Konzervatorskog odjela u Dubrovniku (Klasa: UP/I 612-08/20-08/0498, Ur.broj: 532-04-02-17/8-20-5., od 23. studenog 2020.).

Arheološka istraživanja provodio je Međunarodni centar za podvodnu arheologiju u Zadru. Voditelj istraživanja bio je Roko Surić, a zamjenica voditelja Maja Kaleb. Ostatak stručne i tehničke ekipe činili su podvodni arheolozi Luka Bekić i Zdenka Vrgoč iz MCPA Zadar, te Borna Krstulović i Marko Lete kao vanjski suradnici. Za potrebe istraživanja korištene su usluge ronilačkog centra "Epidaurum" iz Cavtata.

### Podvodni arheološki pregled uvala Rogač i Čista luka

Podvodno arheološko rekognosciranje (pregled) predmetnog područja proveden je sustavnim vizualnim pregledom morskog dna u uvalama Rogač i Čista luka, te na prostoru rta Prahivac na zapadu predmetnog područja. Ovaj način rekognosciranja pokazao se kao najbolji sustav prepoznavanja arheoloških nalaza ili potencijalnih arheoloških lokaliteta na morskome dnu. Površina pregledanog područja iznosi preko 6 hektara. Dubina mora na pregledanom području u najdubljem dijelu iznosi 11 m, a u najplićem dijelu, uz obalu, manje od 2 m. Pošto se radi o velikoj površini, za pregled su korištene DPV ronilice (podvodni skuteri), što je omogućilo brži i efikasniji pregled morskog dna. Velik dio uvale pokriven je poljem guste morske trave posidonije, što je otežalo pregled pa se veća pažnja posvetila prostorima na kojima je trava rjeđa ili dijelovima morskog dna na kojima je uopće nema.



Podvodno arheološko rekognosciranje pomoću DPV ronilice (foto: R. Surić)

Cilj pregleda bio je lociranje arheoloških nalaza i definiranje postojanja eventualnih arheoloških lokaliteta na predmetnom području. Detaljnim pregledom uočen je tek jedan arheološki nalaz trbuha kasnoantičke amfore s narebrenom stijenkom. S obzirom na veličinu pregledanog područja i na blizinu važnog središta kao što je Cavtat (antički *Epidaurum*) svakako je iznenađujuće da se nije pronašlo više arheoloških nalaza. Možda se razlog

krije u izloženosti ove uvale zapadnim vjetrovima koji najčešće pušu za vrijeme ljetnih mjeseci, a s obzirom da se kroz povijest najveći dio plovidbe i odvijao ljeti, to područje je bilo nepogodno za sidrenje.



Ulomak trbuha amfore nedefiniranog tipa (foto: R. Surić)

### Podvodno arheološko sondažno iskopavanje

Kako bi se na predmetnom području utvrdio potpuni arheološki potencijal, na četiri pozicije postavljene su arheološke sonde. Cilj sondažnog iskopavanja bio je utvrditi postojanje arheoloških slojeva u dubljim dijelovima sedimenta.

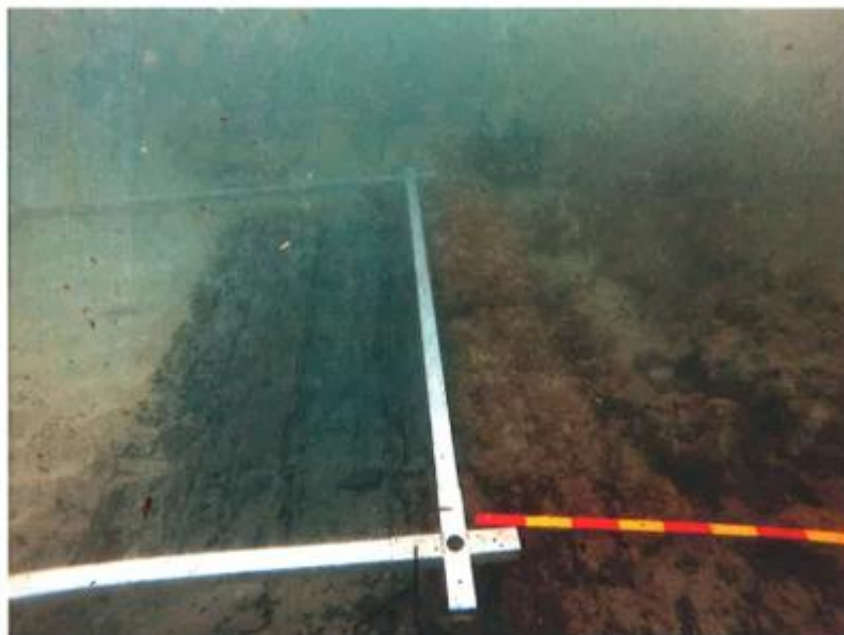
Sonde A i B postavljene su u uvali Rogač uz strukture koje su prepoznate na njenom istočnom dijelu<sup>1</sup>. Dimenzija svake sonde iznosi 1 x 2 m. Locirane strukture su pravocrtne, široke između 30 i 40 cm, a na mjestima se iz morskog dna izdižu i preko 50 cm. Niz od 5 struktura koje se pružaju u smjeru jugoistok - sjeverozapad nalazi se na južnom dijelu uvale. Sonde su postavljene uz strukture jer se nije moglo na osnovu vizualnog pregleda ustanoviti da li se radi o zidanim, arheološkim strukturama ili o geološkoj formaciji.

<sup>1</sup> Pozicija središnjeg dijela sonde A: 42°35'28.658"N 18°13'35.486" E;  
Pozicija središnjeg dijela sonde B: 42°35'28.554"N 18°13'35.648" E



Pozicija sondi A i B (označene crvenim kvadratima) u uvali Rogač  
(Izradila: M. Kaleb; podloga "Arkod preglednik";  
plan marine "Pomgrad inženjering d. o. o." )

Sonda A postavljena je uz sjeverni profil najduže strukture, a sonda B uz sjeverni profil najsjevernije strukture koja se pruža do dubine od 2 m. Iskopavanjem ovih sondi ustanovljeno je da se ispod plitkog sloja pijeska i kamenja nalazi sterilna geološka stijena koja se sastoji od pravilnog niza paralelnih slojeva mekanog kamena (tvrde gline?) i tvrdog kamena. Otkriveni slojevi nisu horizontalni, već vertikalni i pružaju se u smjeru jugoistok - sjeverozapad. Ustanovljeno je da su strukture zapravo sastavni dio geološke stijene, odnosno da je mekši sloj erodirao, a ostao je samo sloj tvrdog kamena.



Sonda B uz sjeverni profil kamene strukture:

Na lijevoj strani slike se nalazi sonda B s vidljivim sivim geološkim slojevima, a na desnoj strani se vidi smeđa kamena struktura uz rub sonde (foto: R. Surić)

Sonda C postavljena je na prostoru između uvale Rogač i Čiste luke<sup>2</sup>. Na toj poziciji planira se u sklopu buduće marine napraviti čvrsta struktura koja bi zatvarala južni dio ulaza u marinu. Na pješčano morsko dno, na dubinu od 2,5 m, postavljena je sonda dimenzija 2 x 2 m. Sonda je iskopana do dubine od 50 cm nakon čega je otkriven kompaktni sloj sterilnog pijeska. Iskopavanjem nije otkriven niti jedan arheološki nalaz.

<sup>2</sup> Pozicija središnjeg dijela sonde C: 42°35'25.242"N 18°13'33.034" E



Pozicija sonde C (označena crvenim kvadratom) u odnosu na čvrstu strukturu u budućoj marini (Izradila: M. Kaleb; podloga "Arkod preglednik"; plan marine "Pomgrad inženjering d. o. o." )

Posljednja sonda postavljena je u blizini rta Prahivac. Sonda D pozicionirana je na pješčano dno na dubini od 10,5 do 11 m<sup>3</sup>. Na tom mjestu planirana je izgradnja čvrste strukture lukobrana buduće marine. Iskopavanjem sedimenta u ovoj sondi nije pronađen niti jedan arheološki nalaz.



Pozicija sonde D (označena crvenim kvadratom) u odnosu na čvrstu strukturu buduće marine (Izradila: M. Kaleb; podloga "Arkod preglednik"; plan marine "Pomgrad inženjering d. o. o." )

<sup>3</sup> Pozicija središnjeg dijela sonde D: 42°35'30.663"N 18°13'25.154" E



Pozicije sondi u odnosu na plan izgradnje buduće marine (Izradila: M. Kaleb;  
podloga "Arkod preglednik"; plan marine "Pomgrad inženjering d. o. o." )

## Zaključak

Podvodno arheološko rekognosciranje i sondiranje na prostoru uvala Rogač i Čista luka te rta Prahivac provedeno je u svrhu planiranja i projektiranja buduće marine "Luka nautičkog turizma" u Cavtatu. Cilj ovog podvodnog arheološkog istraživanja bio je utvrditi arheološki potencijal na predmetnom području.

Podvodni arheološki pregled proveden je na čitavom prostoru buduće marine. Vizualnim pregledom obuhvaćeno je morsko dno od 2 do 11 m dubine na površini od preko 6 hektara. Pregledom je uočen tek jedan arheološki nalaz ulomka trbuha amfore nedefiniranog tipa.

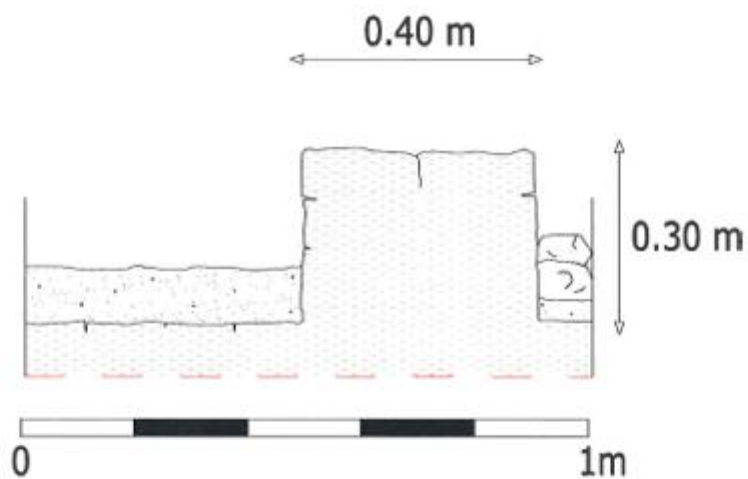
Uz pregled se za definiranje arheološkog potencijala na predmetnom području istražilo i četiri sonde. Sonde A i B postavljene su na istočnom dijelu uvala Rogač, na prostoru gdje su uočene pravocrtne strukture na morskom dnu. Istraživanjem tih dviju sondi nije uočen niti jedan arheološki nalaz, a ustanovljeno je da se u slučaju struktura ne radi o arheološkom nalazu, već o geološkoj formaciji. Sonde C i D postavljene su na pozicijama na kojima se u budućnosti planira izgradnja čvrstih struktura u sklopu planirane marine.

Arheološkim istraživanjem na predmetnom području nisu uočene arheološke lokacije, a nalaz tek jednog arheološkog nalaza na području većem od 6 hektara ostavlja dojam da je ljudska aktivnost na prostoru uvala Rogač i Čista luka bila neznčajna. Pozicioniranjem arheoloških sondi na prostor planirane izgradnje čvrstih struktura u sklopu buduće marine definirana je stratigrafska situacija i isključena je mogućnost da se u dubljim slojevima morskog dna nalaze slojevi s arheološkim nalazima.

**Nacrti stratigrafskih situacija u sondama**

Sonda A:

**UVALA ROGAČ A**  
**SONDA A - 1x2 m - zapadni profil**



**LEGENDA:**

 PIJESAK

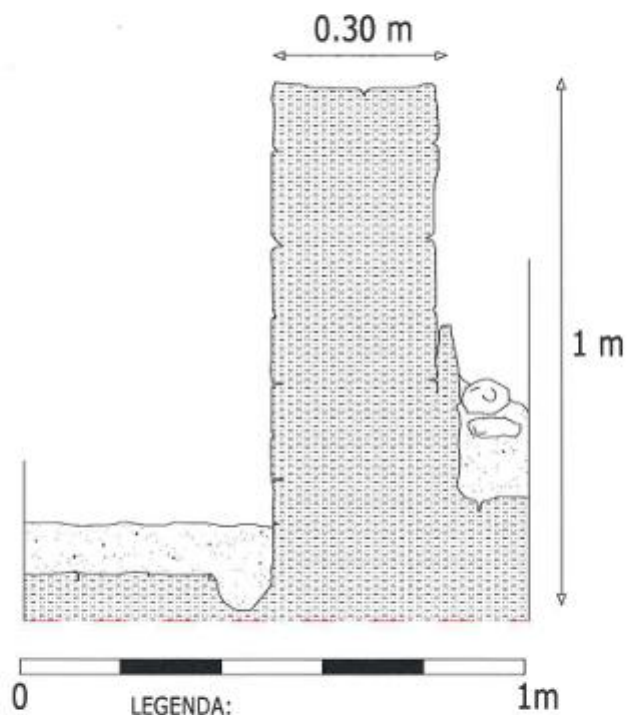
 KOMPAKTNI SLOJ (STIJENA)

Sonda B:


UVALA ROGAČ

B

SONDA B - 1x2 m - zapadni profil

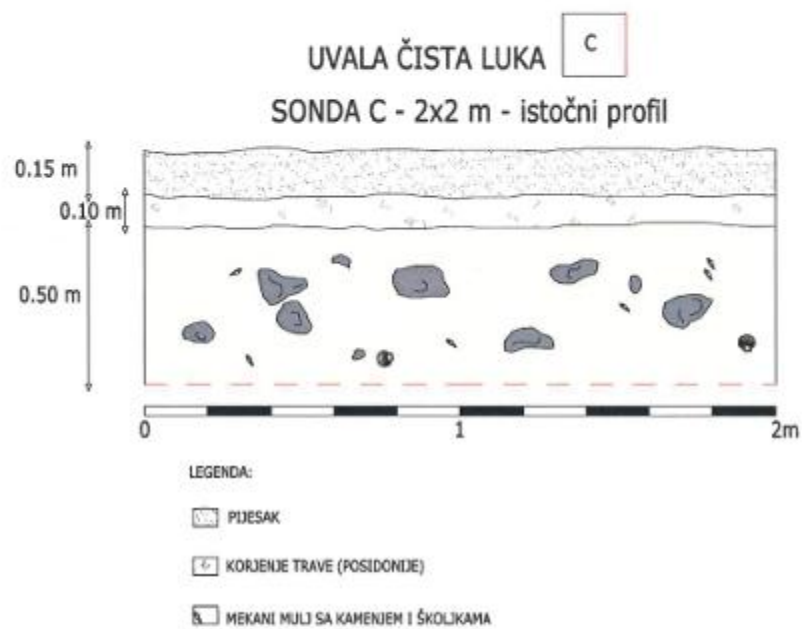


LEGENDA:

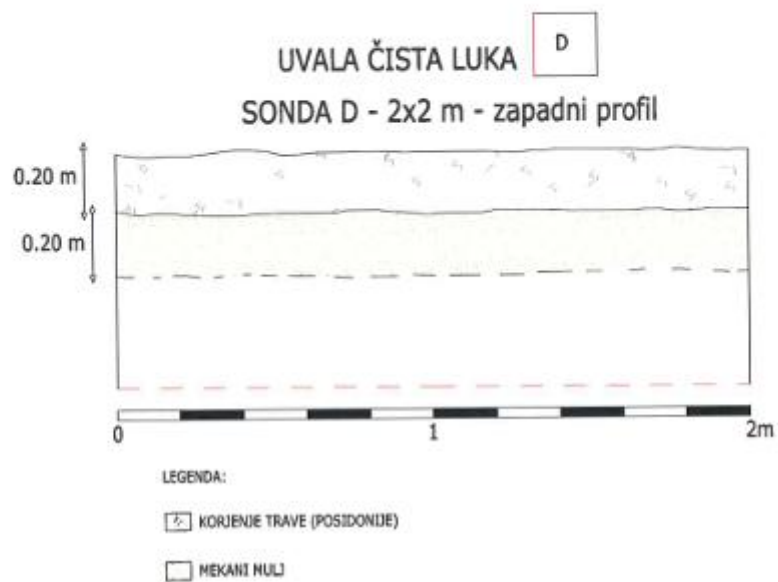
 PIJESAK

 KOMPAKTNI SLOJ (STIJENA)

Sonda C:



Sonda D:



### 3 Elaborat – Procjena trenutnog stanja livade morske cvjetnice „*Posidonia oceanica*“ na lokaciji luka Cavtat – planirana luka posebne namjene – luka nautičkog turizma Cavtat i procjena utjecaja izgradnje i budućeg korištenja predmetne luke otvorene za javni promet Cavtat

Institut za oceanografiju i ribarstvo

Elaborat

Procjena trenutnog stanja livade morske cvjetnice „*Posidonia oceanica*“ na lokaciji luka Cavtat – planirana luka posebne namjene – luka nautičkog turizma Cavtat i procjena utjecaja izgradnje i budućeg korištenja predmetne luke posebne namjene u odnosu na lučko područje luke otvorene za javni promet Cavtat

Split, kolovoz 2024. godine

Procjena trenutnog stanja livade morske cvjetnice „Posidonia oceanica“ na lokaciji luka Cavtat – planirana luka posebne namjene – luka nautičkog turizma Cavtat i procjena utjecaja izgradnje i budućeg korištenja predmetne luke posebne namjene u odnosu na lučko područje luke otvorene za javni promet Cavtat

Izvješće sukladno Ugovoru: KLASA 406-01/24-02/70  
URBROJ 2117-01-24-7

Izvješće izradili:

Dr. sc. Ivan Cvitković

Dr. sc. Ante Žuljević

Dr. sc. Marija Despalatović

---

**Institut za oceanografiju i ribarstvo**

Šetalište I. Meštrovića 63

21000 SPLIT

Tel: 021/408-000

Ravnateljica: Dr. sc. Živana Ninčević Gladan


**SADRŽAJ:**

1. Uvod.....	1
2. Opis trenutnog stanja livade na području planirane luke nautičkog turizma.....	4
3. Opis trenutnog stanja livade u akvatoriju oko planirane luke nautičkog turizma.....	10
4. Zaključci i mišljenje .....	14

## 1. UVOD

Svrha ovog elaborata je procijeniti utjecaj izgradnje i budućeg korištenja planirane morske luke posebne namjene – luke nautičkog turizma, koja je predviđena Urbanističkim planom uređenja „Cavtat sa Zvekovicom“, na morsku cvjetnicu *Posidonia oceanica*. Osim utjecaja luke, procijenit će se i trenutni utjecaj sidrenja plovila na posidoniju na širem području oko planirane luke. Predviđena predmetna luka dio je projekta izgradnje kopnenog ugostiteljsko-turističkog sadržaja koji je 2022. godine odlukom Vlade proglašen strateškim projektom RH.



Slika 1. Nacrt planirane luke nautičkog turizma.

Morska cvjetnica *Posidonia oceanica* endemska je vrsta za Sredozemno more. U hrvatskom dijelu Jadrana široko je rasprostranjena, osim u najsjevernijim dijelovima te u Velebitskom kanalu. Raste u plićim područjima, gdje ima dovoljno svjetla, od najplićih dijelova morskog dna do dubine od oko 35 m. Vrsta gradi livade koje su bitne za očuvanje bioraznolikosti u morskom ekosustavu, sudjeluju u primarnoj proizvodnji, skladište velike količine ugljika te sprječavaju eroziju najplićih dijelova mora. Posidonija pripada strogo zaštićenim organizmima prema Pravilniku o strogo zaštićenim vrstama.

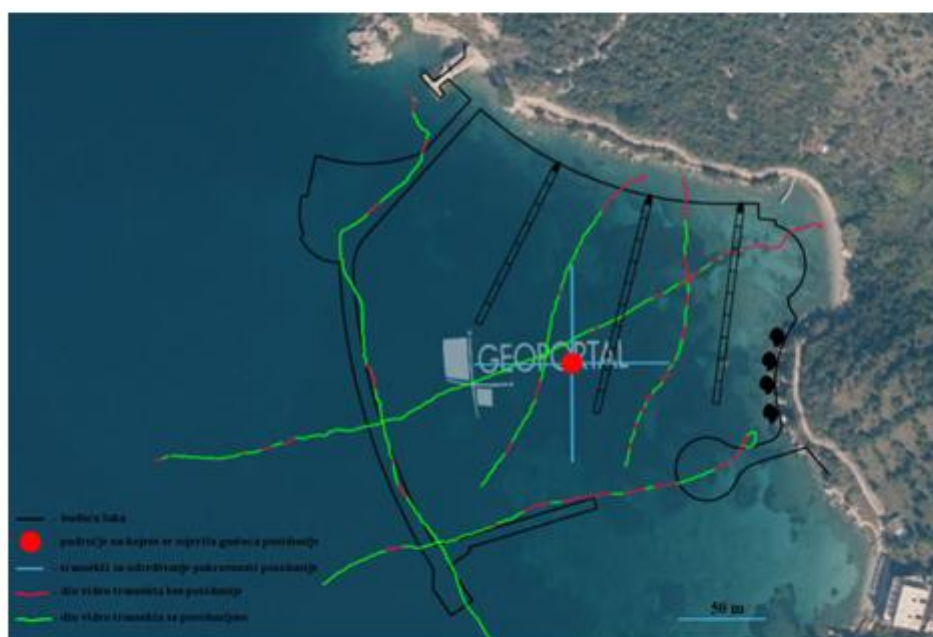
Prema idejnom rješenju luka koja bi se gradila na području Cavtata imala bi kapacitet od 151 veza, a ukupna površina morskog dijela iznosila bi 76246 m<sup>2</sup>. Planirano je da se građevine na moru temelje na pilotima kako bi se zauzelo što manje morskog dna te kako bi se osigurala dobra cirkulacija mora unutar luke (Slika 1). Planirano je postavljanje ukupno 180 pilota *benotto* metodom korištenjem vanjske čelične obloge promjera 1.5 m. Ovom se metodom kopanje i sakupljanje iskopanog materijala odvija unutar vanjske čelične obloge, čime dolazi do minimalnog prisustva suspendiranih čestica u okolnom moru. Sakupljeni se materijal prikuplja na radnoj platformi te se odnosi s gradilišta. Strojevi za postavljanje pilota nalazili bi se na plutajućoj platformi koja bi se pozicionirala sa četiri noge profila 0.6 m x 0.6 m. Na taj bi se način smanjio utjecaj radova na morsko dno jer bi se izbjeglo klasično pozicioniranje platformi betonskim blokovima i lancima koji bi dijelom prelazili i preko morskoga dna te na taj način značajno dodatno negativno utjecali na organizme koji tu obitavaju.

Budući da je morska cvjetnica *Posidonia oceanica* prisutna na području gdje je planirana izgradnja buduće luke, očekuje se negativan utjecaj na nju, a do kojeg bi došlo tijekom gradnje i tijekom budućeg korištenja luke. Najveći negativni utjecaj bio bi tijekom gradnje uslijed ubušavanja pilota u dno, pozicioniranja radnih plovila tijekom rada te uslijed povećavanja suspendiranih čestica u stupcu mora zbog iskapanja i ostalih radova na morskom dnu. Ako bi se koristila prije navedena tehnologija postavljanja pilota, očekivano je da će cca 600 m<sup>2</sup> morskoga dna biti pod najintenzivnijim utjecajem. Takvo stanje na dnu rezultiralo bi gubitkom posidonije ako je ona prisutna na mjestu budućeg pilota ili na mjestu gdje će noga plutajuće platforme stati na morsko dno. Postavljanje sustava za privezivanje plovila također će dovesti do trajnog gubitka posidonije. Ukoliko će se koristiti moderne metode sidrenja, odnosno trajni ekološki sustavi sidrenja poput Manta Ray sistema, Helix vijka, sidra Harmony i slično, utjecaj se može značajno smanjiti.

Infrastruktura koja će trajno biti postavljena iznad livade posidonije, kao što su pontoni i lukobrani koji će biti postavljeni na pilotima, dovest će do njenog trajnog zasjenjenja. Poznato je da je zasjenjenje jedan od bitnijih faktora koji utječu na degradaciju livada budući da je posidonija biljka kojoj je svjetlost neophodna za život. U prirodnom okolišu svjetlost je najbitniji faktor njezine vertikalne distribucije pa se tako povećanjem dubine, odnosno smanjenjem količine svjetlosti, smanjuje i gustoća livade. U blizini područja planirane luke, prirodna donja granica rasprostranjenosti posidonije je na dubini od oko 20 metara, što je manje nego u okolnom otvorenijem moru izvan Župskog zaljeva, gdje je donja granica rasprostranjenosti posidonije na dubini od oko 30 metara. Najvjerojatniji razlog tome je veliki dotok slatke vode uslijed čega se smanjuje prozirnost mora. Smanjenje svjetlosti može dovesti do potpunog uništenja livade, pogotovo ukoliko se radi o dijelovima livade koji su bliži donjoj granici njezine dubinske rasprostranjenosti. Ukoliko dođe do zasjenjenja livade na manjim dubinama, gdje je ona inače vrlo gusta, vjerojatno će doći do njene degradacije, ovisno o jačini zasjenjenja. Drugim riječima, zasjenjena livada u plitkom moru, najvjerojatnije će imati gustoću koja je na razini gustoće koju livade imaju bliže donjoj granici rasprostranjenosti. Do zasjenjivanja posidonije može doći i posredno povećanjem hranjivih soli u moru koje mogu dovesti do lokalne eutrofikacije koja može dovesti do prekomjernog razvoja epifitskih alga na listovima cvjetnice. Budući da se u budućoj predmetnoj luci ne planiraju kanalizacijski ispusti te ukoliko je planirano unutar luke provoditi prikupljanje otpadnih voda s plovila prema važećim zakonima i pravilnicima, do eutrofikacije unutar i oko luke ne bi trebalo doći. Planirana gradnja lukobrana na pilotima trebala bi osigurati dovoljno dobru izmjenu mora unutar luke s okolnim morem što bi spriječilo nastanak eutrofnih uvjeta u luci.

## 2. OPIS TRENUTNOG STANJA LIVADE NA PODRUČJU PLANIRANE LUKE NAUTIČKOG TURIZMA

S ciljem procjene stanja i detaljne rasprostranjenosti livade morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na području koje bi bilo obuhvaćeno planiranom lukom nautičkog turizma, napravljeni su i analizirani video transekti te je izmjerena pokrovnost i gustoća livade (Slika 2). Cijelo podmorje na kojem se planira izgradnja buduće luke detaljno je pregledano ronjenjem te je stanje livade dokumentirano podvodnim fotografijama.

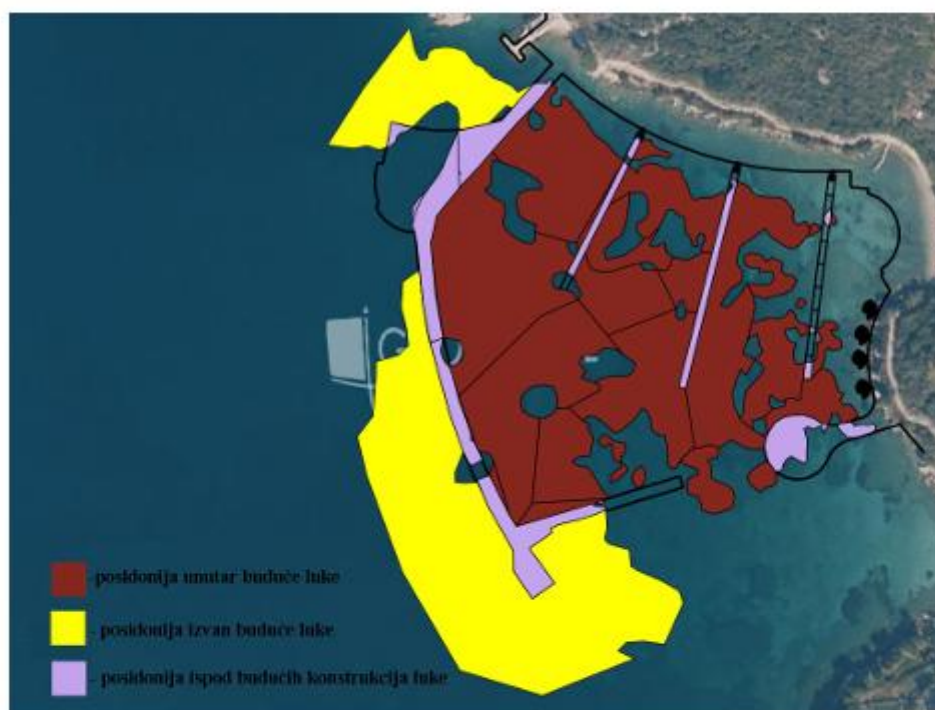


Slika 2. Konture planirane luke s prikazanim video transektima, područjem na kojem se mjerila gustoća livade te transektima uzduž kojih je određena pokrovnost livade posidonije.

Na području na kojem je planirana gradnja luke nautičkog turizma napravljeno je ukupno 5 video transekata s ciljem utvrđivanja detaljnije rasprostranjenosti livade unutar područja obuhvata (Slika 2). Video transekti su napravljeni uz pomoć gumenjaka s kojeg se povlačila

kamera neposredno iznad morskoga dna. Kamera je bila zaštićena metalnim kavezom, a georeferenciranost video snimke je osigurana GPS uređajem koji je bio na gumenjaku. Kamera se povlačila što bliže gumenjaku da bi se osigurala što je moguće veća točnost pozicije. Nakon snimanja, video snimke su prebačene u aplikaciju uz pomoć koje se snimka georeferencirala i analizirala na način da su unutar nje izdvojena područja s posidonijom. Kao podloga za detaljno određivanje rasprostranjenosti posidonije korištena je ortofoto snimka Državne geodetske uprave iz 2019/2020 godine.

Uz pomoć alata QGIS, ortofoto snimke te georeferenciranih transekata koji su služili kao „ground-proof“ napravljen je detaljan prikaz rasprostranjenosti posidonije na području na kojem je planirana luka nautičkog turizma (Slika 3).



Slika 3. Rasprostranjenost livade posidonije na području planirane izgradnje luke nautičkog turizma.

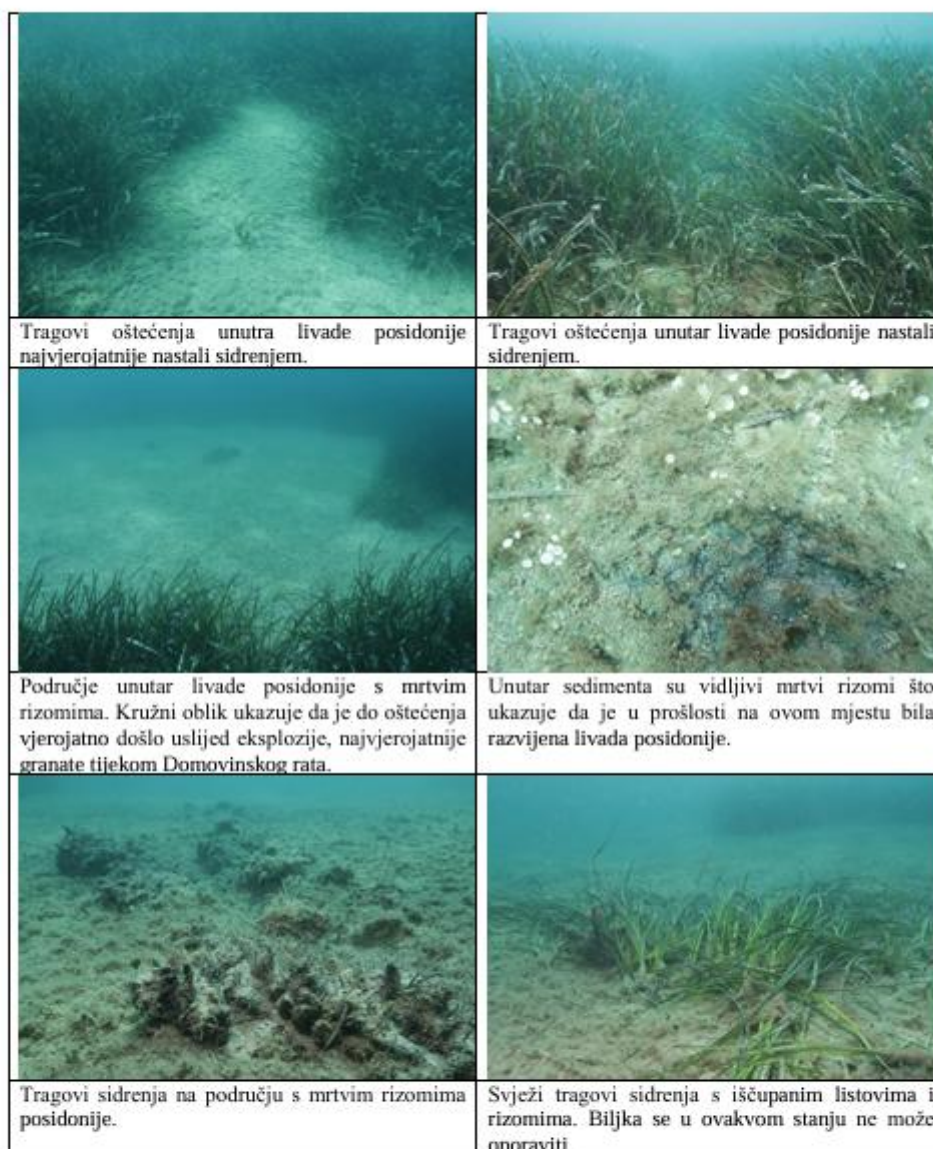
Posebno su označeni dijelovi livade koji bi bili direktno ispod planiranih konstrukcija luke (lukobran i pontonski mulovi), dijelovi livade koji bi bili unutar luke te dijelovi livade koji bi ostali izvan luke, ali bi vjerojatno bili pod direktnim utjecajem luke tijekom gradnje i njenog budućeg korištenja. Ekspertnom procjenom određena je udaljenost od cca 50 m od vanjskih lukobrana kao udaljenost na kojoj se očekuje negativan utjecaj na livadu tijekom gradnje i korištenja.

Površina livade koja bi bila direktno prekrivena planiranom konstrukcijom luke iznosi cca 6000 m<sup>2</sup>, površina livade koja bi bila unutar luke iznosi cca 35435 m<sup>2</sup>, dok je površina livade koja bi bila u neposrednoj blizini i pod utjecajem luke (udaljenost od 50 m) cca 22120 m<sup>2</sup>.

Manja površina livade koja će u budućnosti biti unutar luke bit će trajno prekrivena sustavima za privezivanje plovila. Ako je planirano korištenje nekog od ekoloških tipova trajnih sidrišta, ova bi površina trebala biti jako mala.

Osim obavljenih video transekata na području gdje je planirana izgradnja luke nautičkog turizma, dva su znanstvenika Instituta za oceanografiju i ribarstvo ronjenjem pregledala predmetno područje s ciljem prikupljanja foto dokumentacije i ekspertne procjene stanja livade. Prilikom pregleda primijećene su veće površine sedimentnog morskoga dna bez posidonije. Unutar sedimenta su utvrđeni mrtvi rizomi, što ukazuje da su ove površine u prošlosti također bile prekrivene morskom cvjetnicom. Uzrok nestanka posidonije dijelom je sidrenje koje je inače jedan od glavnih uzroka uništenja livada. Tijekom terenskog istraživanja primijećeno je više manjih brodova koji su se sidrili unutar livade. Dokaz da je sidrenje jedan od razloga nestanka posidonije na tom području su i svježi brojni tragovi sidrenja na morskom dnu koji su primijećeni tijekom ronjenja. Prilikom pregleda su primijećene „rupe“ u livadi promjera desetak metara, također s mrtvim rizomima, koje su nastale vjerojatno tijekom Domovinskog rata eksplozijama granata (Slika 4). U plicem su dijelu uvale također česta područja s mrtvim rizomima, ali razlog nestanka posidonije na ovim mjestima nije poznat.

Obala unutar uvale gdje je planirana gradnja luke uglavnom je stjenovita, osim u dnu uvale gdje se nalazi šljunčana plaža. Sedimentno dno počinje na dubini od 2 do 4 m te se uglavnom sastoji od zamuljenog pijeska u kojem se često nalaze mrtvi rizomi posidonije. Na cijelom se području morsko dno lagano spušta. Na području koje odgovara vanjskom dijelu zapadnog lukobrana dubina je oko 10 m.



Slika 4. Podvodne fotografije livade posidonije na području na kojem je planirana gradnja luke nautičkog turizma.

Na području na kojem je planirana izgradnja luke napravljena su 4 transektu dužine od 50 m uzduž kojih se mjerila pokrovnost livade posidonije. Pokrovnost se mjerila LIT metodom. Ovom metodom ronilac uz pomoć autonomne ronilačke opreme razvlači metar po transektu u dužini od 50 m te na pločicu za pisanje bilježi prisutnost/odsutnost morske cvjetnice ispod metra, odnosno bilježi na kojim je dužinskim dijelovima transektu cvjetnica prisutna, a na kojim je nema. Na taj se način dobije postotna vrijednost pokrovnosti livade uzduž transektu (Tablica 1). Pokrovnost livade na istraživanom području bila je od minimalno 53.6% do maksimalno 76.4%. U prosjeku je pokrovnost livade iznosila 67.85%. Prema konzervacijskom indeksu ova livada ima umjereni konzervacijski status.

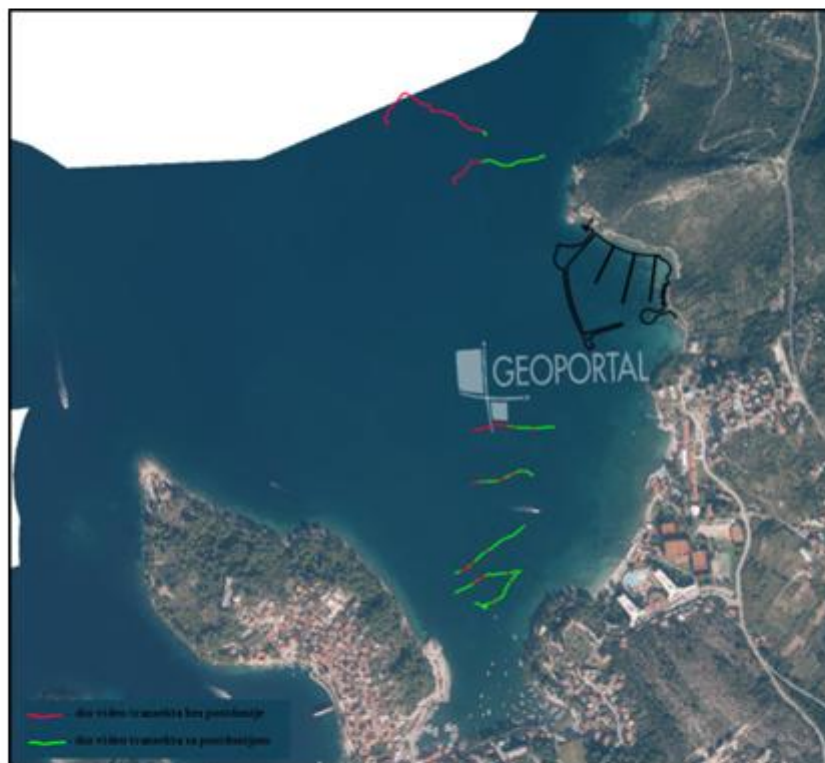
Tablica 1. Pokrovnost (%) i gustoća livade posidonije (broj čuperaka po m<sup>2</sup>) na području gdje je planirana gradnja luke nautičkog turizma. Promjena pokrova (P-posidonija, MR-mrtvi rizomi) bilježena je duž transektu dužine 50 m.

Transekt I		Transekt II		Transekt III		Transekt IV		GUSTOĆA	
Duljina	Pokrov	Duljina	Pokrov	Duljina	Pokrov	Duljina	Pokrov	Dubina	Broj čuperaka po m <sup>2</sup>
0	P	0	P	0	P	0	P	8.3	563
2	MR	0.5	MR	11.3	MR	9.5	MR	8.2	538
2.8	P	1	P	11.7	P	10	P	8.1	550
5.1	MR	5.1	MR	16.5	MR	14.2	MR	8	581
5.7	P	6.5	P	20.8	P	25	P	8.3	544
7.6	MR	8.3	MR	21	MR	29.4	MR		
10.2	P	8.6	P	21.5	P	30.4	P		
14.1	MR	9.9	MR	23	MR	35	MR		
17.5	P	10.3	P	30.6	P	35.5	P		
25	MR	13.2	MR	33.3	MR	40	MR		
25.5	P	20	P	34.6	P	41	P		
33.3	MR	24.3	MR	46.8	MR	44	MR		
33.6	P	29.7	P	47.2	P	45	P		
35.4	MR	34.5	MR						
39	P	35	P						
		38	MR						
		45	P						
		46.4	MR						
		47	P						
		48.6	MR						
		48.9	P						
<b>Pokrovnost</b>		<b>Pokrovnost</b>		<b>Pokrovnost</b>		<b>Pokrovnost</b>		<b>Srednja gustoća</b>	
<b>76.40%</b>		<b>53.60%</b>		<b>71.00%</b>		<b>70.40%</b>		<b>555.00</b>	

Osim pokrovnosti, na području na kojem je planirana izgradnja luke nautičkog turizma izmjerena je i gustoća livade posidonije (Tablica 1). Gustoća je mjerena pomoću plastičnog kvadrata dimenzija 0.4 m x 0.4 m korištenjem autonomne ronilačke opreme. Obrađeno je 5 replikatnih uzoraka na dijelu livade koji je u središnjem dijelu predmetne luke. Minimalni broj čuperaka po m<sup>2</sup> iznosio je 538, a maksimalni 581 čuperak po m<sup>2</sup>. Srednja vrijednost gustoće livade iznosila je 555 čuperaka po m<sup>2</sup>. Prema UNEP-RAC/SPA vodiču za monitoring morskih cvjetnica u Sredozemnom moru, gustoća izmjerena u ovoj livadi svrstava je u umjereno razvijene.

## 2. OPIS TRENUTNOG STANJA LIVADE U AKVATORIJU OKO PLANIRANE LUKE NAUTIČKOG TURIZMA

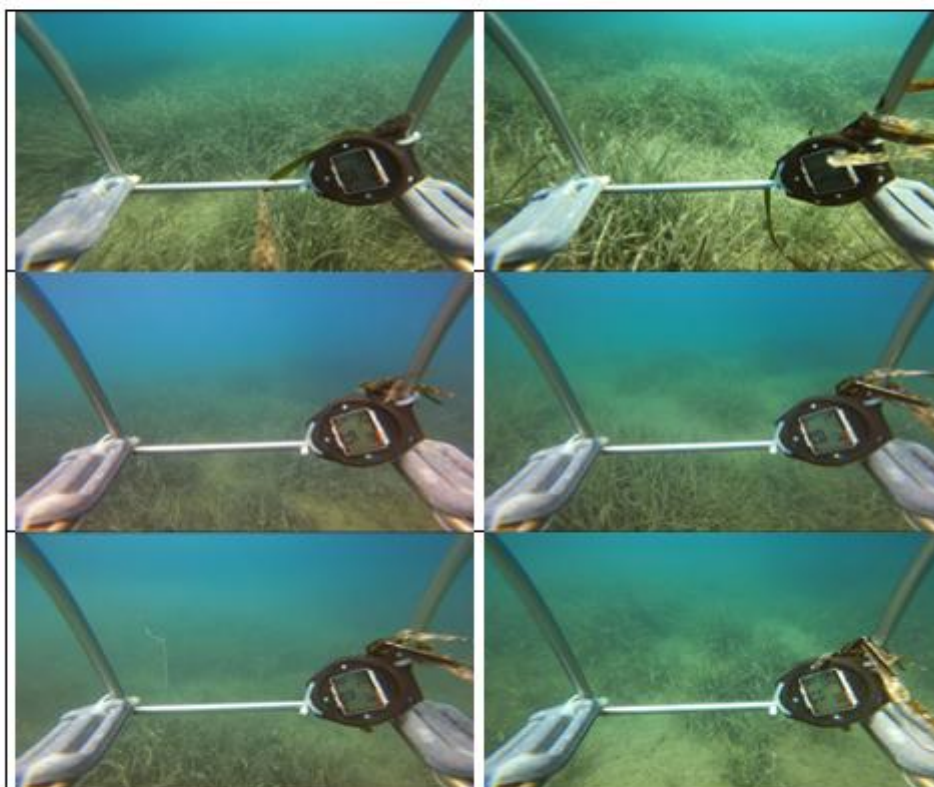
Osim video transekata koji su napravljeni na području gdje je planirana gradnja luke, 7 video transekata napravljeno je i na širem području, odnosno izvan područja koje bi bilo obuhvaćeno izgradnjom luke nautičkog turizma (Slika 5). Video transekti su napravljeni na isti način na koji su napravljeni i na području na kojem je planirana gradnja luke.



Slika 5. Položaj video transekata u akvatoriju izvan područja gdje je planirana gradnja luke nautičkog turizma.

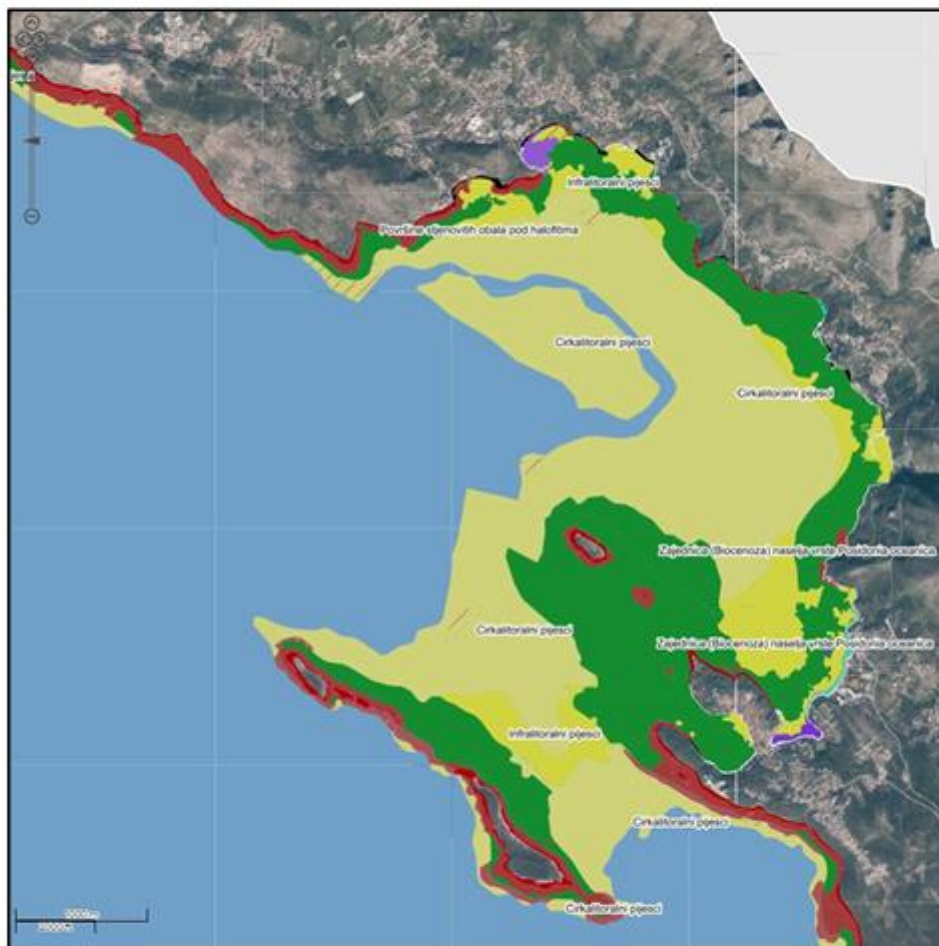
Pet transekata smješteno je ispred sjeverne uvale Cavtata gdje se plovila u ljetnoj sezoni intenzivno sidre, odnosno južno od područja gdje je planirana gradnja luke nautičkog turizma, a

dva su transekta smještena sjeverno od tog područja gdje sidrenje nije toliko intenzivno. Na svim su transektima primijećena oštećenja livade nastala sidrenjem, a najintenzivnija su na transektima bliže Cavtatu. Na Slici 6. prikazani su primjeri oštećenja koja su primijećena pregledom video transekata. Analizom najsjevernijeg transekta, koji je počinjao na dubini od 22 m sa smjerom prema obali, utvrđeno je da je donji rub livade posidonije na 20 m dubine. Manja dubina donjeg ruba nego na području izvan Župskog zaljeva vjerojatno je uvjetovana većim dotokom slatke vode u ovaj zaljev uslijed čega je smanjena prozirnost vodenog stupca.



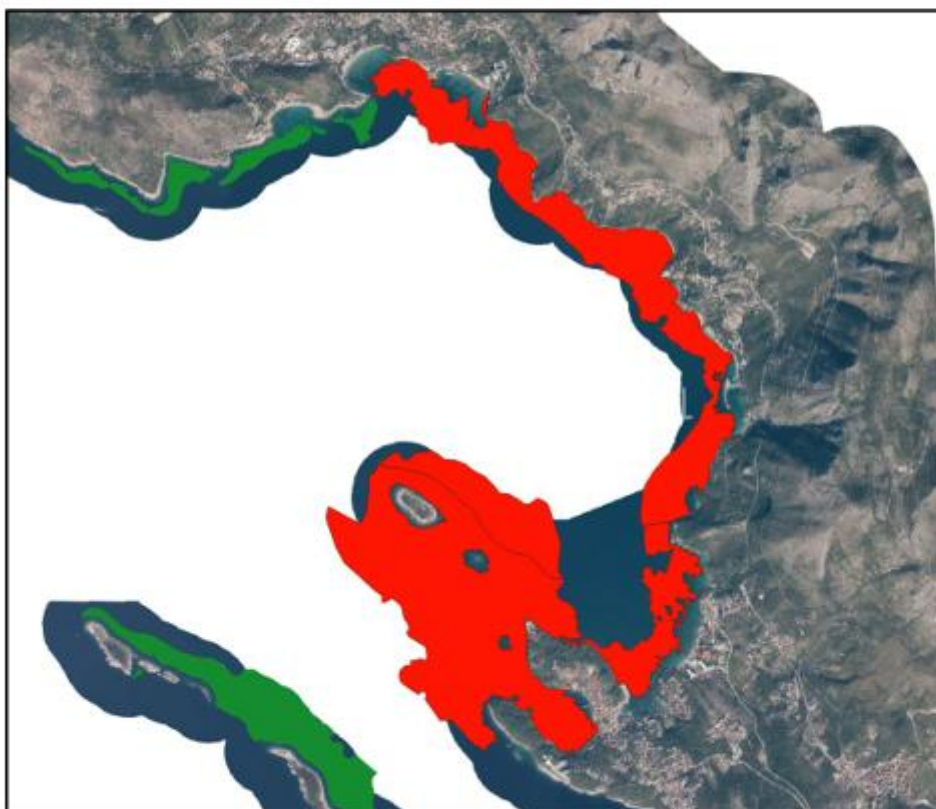
Slika 6. Fotografije preuzete iz video transekata snimljenih ispred Cavtata gdje se plovila intenzivno sidre. Na fotografijama su vidljiva oštećenja unutar livade posidonije nastala uslijed sidrenja.

S ciljem utvrđivanja rasprostranjenosti livada morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na širem području Župskog zaljeva analizirana je karta morskih staništa iz 2023. godine objavljena na Bioportalu ([www.bioportal.hr](http://www.bioportal.hr)). Na karti je vidljivo da je posidonija široko rasprostranjena u ovom akvatoriju (Slika 7).



Slika 7. Karta morskih staništa iz 2023. godine, preuzeta s Bioportala, za akvatorij u kojem je planirana izgradnja luke nautičkog turizma ([www.bioportal.hr/gis/](http://www.bioportal.hr/gis/)).

Posidonija koja se nalazi na području na kojem je planirana gradnja luke nautičkog turizma pripada livadi koja se u kontinuitetu (prema karti s Bioportala) proteže od uvale Srebreno kod mjesta Mlini uz istočnu obalu Župskog zaljeva, oko Cavtata i otoka Supetar te izlazi u otvoreni je vode oko rta Sustjepan (Slika 8). Površina ove livade u kontinuitetu iznosi 3.394 km<sup>2</sup>. Procijenjena površina livade koja bi bila pod utjecajem izgradnje i korištenja luke nautičkog turizma iznosi 0.064 km<sup>2</sup>, što predstavlja 1.9% od te livade u kontinuitetu. Ukoliko se u obzir uzme i posidonija prisutna u sjeverozapadnom dijelu zaljeva te oko otoka Mrkana i Bobare, taj postotak je manji (1.5%).



Slika 8. Livada posidonije (u crvenom) koja se kontinuirano proteže unutar Župskog zaljeva (prema Bioportalu, 2023).

#### 4. MIŠLJENJE I ZAKLJUČCI

Istraživanja na području na kojem je planirana izgradnja luke nautičkog turizma pokazuju da će određeni dio trenutno prisutne livade morske cvjetnice *Posidonia oceanica* biti uništen, a dio degradiran. Procijenjeno je da će ukupno 0.06 km<sup>2</sup> livade biti pod negativnim utjecajem gradnje i korištenja. U usporedbi s površinom kontinuirane livade površine od 3.394 km<sup>2</sup> kojoj pripada i posidonija na lokaciji planirane luke ta površina je cca 1.9%, a planirani radovi ne bi trebali značajno utjecati na široko prisutnu posidoniju unutar Župskog zaljeva.

Nemoguće je pouzdano reći kolika će površina posidonije biti izgubljena, a kolika degradirana. Prema našoj procjeni najveći negativni utjecaj imali bi radovi izgradnje luke. Tada se očekuje povećanje suspendiranih čestica u vodenom stupcu i intenzivan fizički utjecaj na morsko dno na kojem je posidonija.

Izravan i trajan utjecaj na morsko dno, a time i na posidoniju, imalo bi postavljanje pilota na kojima će biti postavljeni lukobrani i mulovi za privez plovila. Također, značajne negativne, ali potencijalno reverzibilne promjene, nastale bi tijekom pozicioniranja radnih plovila. Korištenjem *benotto* metode postavljanja pilota u kombinaciji s plutajućim platformama koje se pozicioniraju nogama te korištenjem trajnih ekoloških sidrišta za privez plovila, gubitak posidonije mogao bi se svesti na najmanju moguću mjeru. Procjena je da bi u tom slučaju gubitak posidonije iznosio maksimalno 600 m<sup>2</sup> što predstavlja 0.02% kontinuirane livade u Župskom zaljevu, a koje je ova livada, na kojoj je planirana gradnja luke, dio.

Dio posidonije (0.006 km<sup>2</sup>) ostat će trajno zasjenjen infrastrukturom buduće luke. Budući da se radi o relativno plitkom području, očekujemo da će doći do degradacije livade na području zasjenjenja te da će ona najvjerojatnije poprimiti obilježja livade bliže donjem dubinskom rubu rasprostranjenosti te će joj se smanjiti gustoća.

Slično se zasjenjenje očekuje i na području livade iznad kojeg bi bila privezana plovila, ali ipak s manjim intenzitetom budući da takvo zasjenjenje nije trajno.

Na ostatku livade iznad kojega neće biti trajna infrastruktura luke te privezana plovila, degradacija će prije svega ovisiti o mjerama koje se mogu poduzeti tijekom gradnje s ciljem očuvanja morskog dna, a time i livade posidonije.

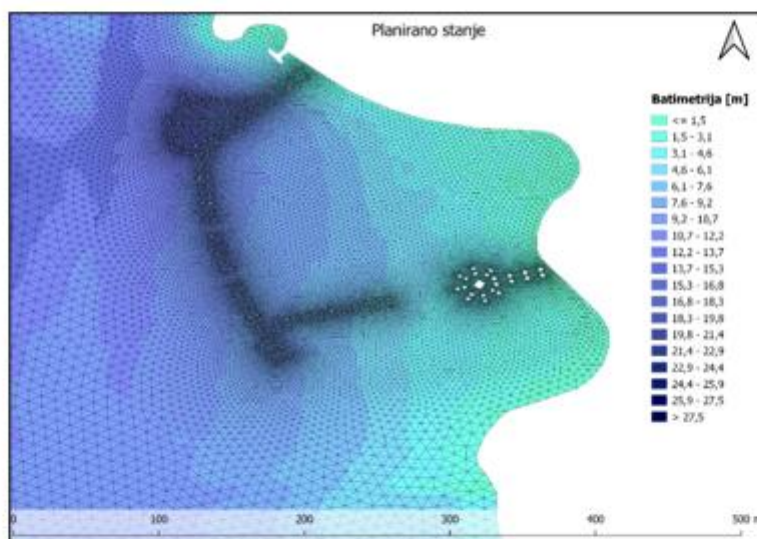
S obzirom na sve navedeno, mišljenja smo da predmetna planirana luka neće značajno negativno utjecati na livadu posidonije u Župskom zaljevu budući da bi negativni utjecaj trebao biti lokalni i na relativno maloj površini.

Ovo istraživanje pokazalo je da je u akvatoriju Cavtata, kao i na području cijelog obalnog područja RH, izražen negativan utjecaj sidrenja nautičkih plovila na livade posidonije. Zabilježena su mnogobrojna oštećenja na području na kojem se planira izgradnja luke nautičkog turizma kao i u okolnom akvatoriju. Oštećenja su drastično vidljiva posebno na ulazu u uvalu Tiha, sjeverno od Cavtata. Daljnja nekontrolirana sidrenja na tom području mogla bi u budućnosti uništiti taj dio livade. Uređenjem sidrišta, postavljanjem priveznih plutača s trajnim ekološkim sidrima pa i pomno planiranom gradnjom luka nautičkog turizma, ovaj negativni utjecaj može se značajno smanjiti u budućnosti.

## 4 Numeričko modeliranje hidrodinamičkih parametara za potrebe SUO za izgradnju luke nautičkog turizma „Prahivac“

## ***Numeričko modeliranje hidrodinamičkih parametara za potrebe SUO za izgradnju luke nautičkog turizma „Prahivac“***

### **Elaborat**



Rujan, 2024



NARUČITELJ:	CAVTAT MARINA D.O.O.
BROJ UGOVORA:	03/06-24
VRSTA DOKUMENTA:	ELABORAT
IZRAĐIVAČ:	GEOFIZIKALNO I EKOLOŠKO MODELIRANJE d.o.o. FALLEROVO ŠETALIŠTE 22, 10000 ZAGREB, OIB: 96884271017
BROJ ELABORATA:	03/06-24
DATUM IZRADE ELABORATA:	30.09.2024.
VODITELJ IZRADE ELABORATA	Sanja Grgurić, mag.phys et.geophys, MSc 
ELABORAT IZRADILI:	Dr.sc. Ivica Janeković  Melita Burić, mag.phys.et geophys. 
ODGOVORNA OSOBA, IME, POTPIS:	Za Geofizikalno i ekološko modeliranje d.o.o. Sanja Grgurić 

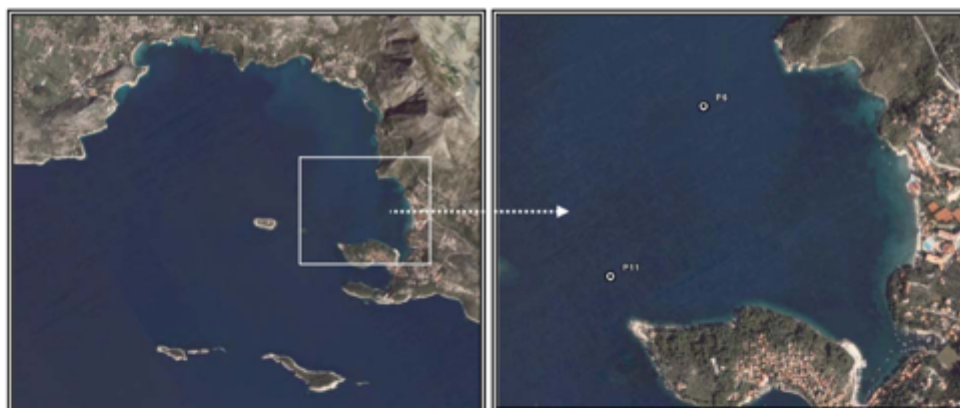
## SADRŽAJ

<b>1. DINAMIKA MORA, MORSKE RAZINE I STRUJE TEMELJEM PRETHODNIH STUDIJA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CIRKULACIJA MORA: USPOSTAVA HIDRODINAMIČKOG MODELA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Karakteristike i konfiguracija hidrodinamičkog modela.....	4
2.2. Formulacija modela .....	4
2.3. Mreža modela.....	6
2.4. Ulazni podaci korišteni za pokretanje modela .....	8
2.5. Rezultati modela: morske struje .....	9
<b>3. UTJECAJ GRADNJE LUKE „PRAHIVAC“ NA VRIJEME ZADRŽAVANJA MORA UNUTAR AKVATORIJA LUKE13</b>	
3.1. Vrijeme zadržavanja mora.....	13
3.2. Vrijeme zadržavanja mora unutar akvatorija za postojeće stanje.....	13
3.3. Vrijeme zadržavanja mora unutar akvatorija za planirano stanje .....	17
3.4. Rezultati simulacija .....	21
3.5. Zaključak .....	21
<b>4. UTJECAJ ANTIVEGETATIVNIH PREMAZA S BRODOVA NA VEZU U LUCI .....</b>	<b>22</b>
4.1. Model bakra.....	22
4.2. Parametri za luku „Prahivac“.....	25
4.3. Rezultati modela.....	26
<b>5. UTJECAJ NA TOPLINSKE KARAKTERISTIKE MORA OD DIZALICE TOPLINE MORE-MORE .....</b>	<b>30</b>
5.1. Ulazni parametri .....	30
5.2. Opis modela .....	32
5.3. Rezultati modela .....	34
<b>6. IZVORI PODATAKA .....</b>	<b>36</b>

## 1. DINAMIKA MORA, MORSKE RAZINE I STRUJE TEMELJEM PRETHODNIH STUDIJA

Podaci o fizikalnim značajkama morskog prostora na području planiranog zahvata preuzeti su iz provedenih istraživanja za izradu dokumenta *Podloge za izradu studije o utjecaju na okoliš "Uređenje turističke zone Prahivac u Cavtatu"*, (IZOR, 2009). Istraživanjima su osim fizikalnih svojstva (termohalina svojstva, prozirnost mora, morske struje) obuhvaćeni i kemijski i biološki pokazatelji kao najvažniji pokazatelji stanja kakvoće mora. Unutar studije također su napravljene i simulacije dinamike mora na širem području oko predmetnog zahvata u kojima je korišten nelinearni hidrodinamički model „Adria“.

Mjerenja morskih struja izvršena su u dva razdoblja: 1) ljetnom razdoblju (14.7.2008. - 26.8.2008.) kada je najveće opterećenje morskog okoliša i 2) zimskom razdoblju (23.1.2009. - 23.2.2009.) kad su dinamički utjecaji na objekte u moru i u neposrednoj blizini obale najveći. Mjerenja su obavljena automatskim Doppler strujomjerima AWAC-600 Nortek s definiranom vertikalnom rezolucijom od 2 m (prva 2 do 3 sloja odnosno 4 do 8 m od površine nisu korištena zbog velike refleksije od površine). Strujomjeri su postavljeni na dvije lokacije: P6 i P11 (Slika 1-1). Postaja P6 na sjeveru uvale nalazi se na dubini od 22,5 m zapadno od planirane luke, a postaja P11 nalazi na južnom izlaznom dijelu uvale na dubini od 19,5 m (Slika 1-1).



Slika 1-1 Područje cavtatskog zaljeva s postajama P6 i P11 na kojima su mjerene morske struje (preuzeto iz studije: *Podloge za izradu studije o utjecaju na okoliš „Uređenje turističke zone Prahivac u Cavtatu“*, (IZOR, 2009.)

Analiza statistike struja za postaje P6 (Tablica 1-1) i P11 (Tablica 1-2) pokazuje jasne sezonske i vertikalne razlike u jačini i smjeru strujanja. Podaci obuhvaćaju površinske, srednje i pridnene slojeve tijekom ljetnog (14.07.2008. - 26.08.2008.) i zimskog razdoblja (23.1.2009. - 23.2.2009.). Prikazane su prosječne brzine ( $V_{avg}$ ) i standardne devijacije brzina (SD), minimalne i maksimalne vrijednosti brzina te dominantni smjerovi i stabilnost strujanja po dubini.

Tablica 1-1 Zbirna statistika struja po slojevima vodenog stupca na postaji P6 za ljetno i zimsko razdoblje

Razdoblje	Dubina (m)	V <sub>avg</sub> (cm/s)	SD (cm/s)	V <sub>min</sub> (cm/s)	V <sub>max</sub> (cm/s)	Dominantan smjer	Stabilnost (%)
Ljeto	6	1,6	3,0	0	29,3	166	36,1
	8	1,6	3,8	0	28	164,6	33,6
	10	1,2	3,4	0	23,4	170,3	29,9
	12	0,7	3,0	0	20,2	173,4	18,4
	14	0,1	2,4	0	16,4	198,8	3,1
	16	0,4	2,1	0	17,9	342,3	13,7
	18	0,8	2,0	0	15,5	355	25,8
	20	0,9	2,0	0	20,5	7,5	30,5
	22	0,9	2,1	0,1	24,9	7,6	30,1
Zima	6	7,5	4,9	0,2	33,6	172,7	82,5
	8	5,2	4,6	0,1	27,4	175,3	69,5
	10	5,2	4,5	0,1	22,5	183,2	70,6
	12	4,7	4,1	0	22,7	186,2	69,5
	14	3,8	3,9	0	23,6	186	64,6
	16	2,8	3,5	0	20,1	183,1	55,3
	18	2,1	3,2	0	17,9	177,2	44,4
	20	1,3	2,9	0	17,3	166,2	28,9
	22	0,4	2,8	0	20,2	136	10,5

Tablica 1-2 Zbirna statistika struja po slojevima vodenog stupca na postaji P11 za ljetno i zimsko razdoblje

Razdoblje	Dubina (m)	V <sub>avg</sub> (cm/s)	SD (cm/s)	V <sub>min</sub> (cm/s)	V <sub>max</sub> (cm/s)	Dominantan smjer	Stabilnost (%)
Ljeto	3	3,8	13,1	0,3	57,9	252,8	24,2
	5	4,8	9,9	0	49,7	259	50
	7	2,8	4,5	0,2	33,8	247	41,4
	9	2,1	3,9	0,1	25,4	243,8	38,2
	11	1,8	3,3	0,2	22,6	236,3	38,9
	13	1,5	2,9	0,2	21,2	227,7	36,8
	15	1,3	2,8	0,1	22,1	219	35,1
	17	1,2	2,7	0,2	24,2	211	33,7
	19	1,6	2,2	0	16,9	237,9	31,3
Zima	5	8,2	6,9	0,1	39,8	238,6	76,8
	7	7,4	5,4	0,1	31,7	235,4	72,7
	9	6,4	4,7	0,1	26,2	231,5	70,6
	11	5,8	4,3	0,2	24,1	228,7	69,4
	13	5,1	4,3	0	23,3	228,5	66,0
	15	4,3	4,1	0,1	21,1	228,9	59,4
	17	3,2	3,7	0	20,3	233,7	50,1
	19	1,8	3,2	0	19	238	34,9

Na postaji P6 u ljetnom razdoblju zabilježene su vrlo slabe struje kroz cijeli vodeni stupac. Prosječne brzine kretale su se između 0,1 i 1,6 cm/s, s iznimno niskom stabilnošću (< 40%), što upućuje na promjenjivo i neregularno gibanje mora. Dominantni smjer strujanja bio je prema jugu (160° - 200°) prateći izobate tj. paralelno s obalom u većini slojeva, dok se u dubljim slojevima smjer povremeno mijenjao prema sjeveru i sjeverozapadu (340°–360°), što može upućivati na lokalne turbulencije i povratne tokove unutar Cavtatske uvale. Maksimalne brzine dosezale su do 29 cm/s u površinskom sloju, ali su to bile kratkotrajne pojave. U zimskom razdoblju situacija se bitno mijenja, prosječne brzine su veće (do 7,5 cm/s), uz maksimalne vrijednosti na površini do 33,6 cm/s. Smjer strujanja je konzistentno prema jugu (165° - 185°) kroz čitav vodeni stupac, što ukazuje na barotropno strujanje (isti smjer duž dubine). Stabilnost strujanja raste prema površini (od 10,5% na 22 m do 82,5% na 6 m), što znači da su struje u zimskom razdoblju bile znatno jače, ali i stabilnije u gornjim slojevima, s postepenim slabljenjem prema dnu.

Na postaji P11 u ljetnom razdoblju prosječne brzine kretale su se između 1,2 i 4,8 cm/s, uz dominantno strujanje prema jugozapadu (220°–260°). Stabilnost strujanja je bila niska do umjerena (30 - 50%), a maksimalne vrijednosti brzine zabilježene su u površinskim slojevima (oko 58 cm/s na 3 m dubine). S porastom dubine brzine i stabilnost se smanjuju, što pokazuje vertikalnu stratifikaciju i veću osjetljivost površinskog sloja na meteorološke uvjete (vjetrove). Tijekom zimskog razdoblja na P11 se jasno uočava pojačano strujanje i veća ujednačenost profila. Prosječne brzine dosežu 8,2 cm/s u površini i smanjuju se na 1,8 cm/s pri dnu. Smjer strujanja je stabilno usmjeren prema jugozapadu (210°–250°), što potvrđuje da se cijeli vodeni stupac gibao gotovo paralelno s obalom, u smjeru prema otvorenom moru. Stabilnost je viša nego ljeti (do 77%), što ukazuje na dominantno anticiklonalno strujanje (u smjeru kazaljke na satu), na način da je strujanje ulazilo na sjevernom dijelu i izlazilo na južnom djelu Cavtatske uvale.

Spektar snage morskih struja ukazuje na dominantnu energiju na plimnim i dugo periodičkim frekvencijama. Oscilacije razine su bile do 46 cm te su rezultat miješanih glavnih dnevnih i poludnevnih konstituenata (M2 i K1). Slično kao i u ljetnom razdoblju, tijekom zimskog mjerenja zabilježene su morske struje anticiklonalnog smjera homogene po vertikali i s većim faktorom stabilnosti.

Dobiveni rezultati o prostornoj i vremenskoj raspodjeli struja u Cavtatskoj važni su kod planiranja i projektiranja lukobrana. Rezultati mjerenja pokazuju da su struje na postaji P6 relativno slabe, s prosječnim brzinama od svega 1 - 2 cm/s ljeti, te 3 - 8 cm/s zimi, uz izraženu sezonsku promjenjivost i slojevitost strukturu. Ljeti je strujanje u površinskom sloju usmjereno pretežno prema jugu, dok se u dubljim slojevima javlja povratno strujanje prema sjeveru i sjeverozapadu, što ukazuje na dvoslojnu cirkulaciju i sporu izmjenu vodenih masa. Suprotno tome, u zimskom razdoblju strujanje je jače i barotropno, kroz čitav vodeni stupac struje teku konzistentno prema jugu, s prosječnim brzinama od 5 - 8 cm/s u površini, što značajno poboljšava hidrodinamičku izmjenu mora u uvali. Zimske struje, iako snažnije, podložne su utjecaju atmosferskih procesa (bura, jugo), koji mogu privremeno mijenjati smjer strujanja. U uvjetima bure, koja potiče strujanje prema jugozapadu i otvorenom moru, polupropusni lukobran bi dodatno olakšao izmjenu vodenih masa i prozračivanje uvale. U slučaju juga, koji potiče strujanje prema obali i sjeverozapadu, propusna konstrukcija bi spriječila nakupljanje vode i zadržavanje u unutarnjem dijelu marine.

Zaključak dokumenta je da je područje karakterizirano dobrom izmjenom vodenih masa s okolnim morem. Polupropusni lukobran bi mogao omogućiti nastavak prirodne cirkulacije unutar zaljeva i zadržati povoljnu razmjenu voda između unutarnjeg dijela Cavtatskog zaljeva i otvorenog mora, čime bi se spriječilo zadržavanje i stagnacija voda u području unutar marine.

Za potrebe ovog dokumenta i istraživanja o utjecaju luke na cirkulaciju mora i vrijeme zadržavanja mora, u prvom koraku izvršene su simulacije morskog strujanja pomoću hidrodinamičkog modela. Rezolucija primijenjenog modela je reda 10 m, s najmanjim elementima ispod 1 m što predstavlja dovoljno visoku rezoluciju te se dobiveno strujanje može koristiti u svrhu procjene utjecaja luke na cirkulaciju mora. Numerički model „Adria“ korišten u gore spomenutoj studiji (IZOR, 2009) imao je prostornu rezoluciju 100 m, koja je relativno gruba i nije dovoljno detaljna za prikaz same luke, stoga se model iz navedene studije nije mogao koristiti u svrhu određivanja izmjene vodenih masa.

## 2. CIRKULACIJA MORA: USPOSTAVA HIDRODINAMIČKOG MODELA

U cilju procjene utjecaja na cirkulaciju mora nakon izgradnje planirane luke u odnosu na postojeće stanje uspostavljen je hidrodinamički model SCHISM za šire područje luke, kako je opisano u nastavku.

### 2.1. Karakteristike i konfiguracija hidrodinamičkog modela

Za potrebe ispitivanja utjecaja planiranog zahvata na cirkulaciju mora, korišten je hidrodinamički model SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) koji uključuje razvijene module za određivanje starosti morske vode (AGE) te isto tako i izračun koncentracije pasivnog obilježivača koristeći se pritom poljima varijabli unutar modela (morske struje, difuzija, turbulencija).

SCHISM je konstruiran za simulacije 3D barokline/barotropne cirkulacije na različitim prostorno-vremenskim skalama (Zhang i sur., 2016). SCHISM rješava jednadžbe plitke vode koje se temelje na klasičnim formulacijama očuvanja mase i količine gibanja u plitkom fluidu, kao i jednadžbe transporta soli i topline, uz uključene module za izmjenu topline s atmosferom i isparavanje/oborinu. Jednadžbe mogu biti pojednostavljene uvažavanjem hidrostatske i Boussinesqove aproksimacije. Model koristi polu-implicitni (eng. semi-implicit) Euler-Lagrangeov algoritam za rješavanje Navier-Stokesovih jednadžbi i jednadžbi transporta soli i topline na konačnim elementima, kako bi se što realnije opisao širok spektar fizikalnih procesa, atmosferskog i hidrološkog forsiranja.

Model je pogodan za rješavanje zahtjevnijih problema, odnosno u slučaju velike promjenjivosti unutar prostorne domene, kada se zahtijeva visoka prostorna rezolucija. Vremenski korak unutar modela nije direktno ovisan o CFL (Courant–Friedrichs–Lewy) vremenskom kriteriju što omogućuje korištenje relativno velikog vremenskog koraka integracije na području velike prostorne rezolucije. U našem slučaju koristili smo vremenski korak od 1 s.

### 2.2. Formulacija modela

Hidrodinamički model (HD model) rješava 3D jednadžbe plitke vode koje se temelje na klasičnim formulacijama očuvanja mase i količine gibanja u plitkom fluidu, kao i jednadžbe transporta soli, topline i koncentracija otopljenje ili suspendirane tvari uz uključene module za izmjenu topline s atmosferom i isparavanje/oborinu. Pravilno definiranje rubnih graničnih uvjeta, posebice površinskih tokova topline, pokazalo se ključno u simulacijama hidrodinamike i termalne dinamike. Stoga je kao ulaz u model potrebno što točnije definirati početno stanje sustava, te rubne uvjete u vidu vremenskih nizova koji prikazuju tokove na svim otvorenim granicama i atmosfersko forsiranje na cijeloj površini nestrukturirane mreže.

Jednadžbe su pojednostavljene uvažavanjem hidrostatske i Boussinesqove aproksimacije. Modelom je također moguće simulirati i nehidrostatske uvjete, ali takvo modeliranje zahtjeva povećanje prostorne i vremenske razlučivosti pa je računalno zahtjevnije i dugotrajnije.

Kako je proveden postupak Reynoldsovog osrednjavanja, varijable su rastavljene na srednji tok i turbulentne fluktuacije i potom usrednjene. Zbog toga se u jednadžbama pojavljuju dodatni, nelinearni, turbulentni članovi koji se parametriziraju klasičnim modelima turbulencije, kako bi se sustav parcijalnih diferencijalnih jednadžbi zatvorio. Iz modela zatvaranja turbulencije proizlaze vertikalni koeficijenti miješanja; turbulentna viskoznost i turbulentna difuzivnost, koji određuju jačinu miješanja slojeva različitih brzina i temperatura. Model turbulencije predložen od Umlafa i Burcharda (*J. Marine Research*, 2003.), koji sadrži dvije jednadžbe (jednu za TKE – turbulentnu kinetičku energiju i drugu za generičku

turbulentnu prostornu skalu) implementiran je u 3D hidrodinamički model. Ove dvije jednačbe uz nekoliko funkcija stabilnosti predstavljaju standardne modele turbulentnoga zatvaranja:  $k-\epsilon$  (Rodi, 1984),  $k-\omega$  (Wilcox, 1998) i  $k-l$  (Mellor i Yamada, 1982.) sheme.

1. *Jednačba gibanja:*

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} \right) - g\nabla\eta + \mathbf{F}$$

2. *Jednačba kontinuiteta:*

$$\nabla \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \int_{-h}^{\eta} \mathbf{u} dz = 0$$

3. *Jednačba transporta soli i topline:*

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u}C) + \frac{\partial wC}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial C}{\partial z} \right) + F_h + Q$$

gdje su:

- $x, y$  - horizontalne kartezijeve koordinate
- $z$  - vertikalna koordinata
- $t$  - vrijeme
- $\eta(x, y, t)$  - promjena razine mora
- $h(x, y)$  - dubina
- $\mathbf{u}(x, y, z, t)$  - horizontalna brzina s kartezijevim komponentama ( $u, v$ )
- $w$  - vertikalna brzina
- $\mathbf{F}$  - ostali parametri forsiranja u jednačbi gibanja (baroklinost, horizontalna viskoznost, atmosferski tlak, plimni potencijal, radiation stress)
- $g$  - akceleracija sile teže ( $m/s^2$ )
- $C$  - koncentracija pasivnog obilježivača (salinitet, temperatura)
- $\nu$  - vertikalna vrtložna viskoznost ( $m^2/s$ )
- $\kappa$  - vertikalna vrtložna difuzivnost ( $m^2/s$ )
- $F_h$  - horizontalna difuzija
- $Q$  - izvori/ponori mase

Sustav navedenih diferencijalnih jednačbi zatvoren je zadavanjem odgovarajućih početnih i rubnih uvjeta, parametrizacijom horizontalnoga i vertikalnog miješanja te jednačbom stanja koja opisuje gustoću vode kao funkciju tlaka, saliniteta i temperature:

$$\rho = \rho(p, S, T)$$

Na površini vode zadan je vertikalni rubni uvjet u jednačbama gibanja pomoću formulacije:

$$\nu \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_w \text{ za } z = \eta,$$

gdje je  $\tau_w$  napetost vjetra na površini vode, koja se u modelu može parametrizirati preko dva pristupa (Zeng *et al.*, 1998.) ili (Pond&Pickard, 1998.). Na dnu, tzv. „no-slip“ rubni uvjet u kojem vrijedi pretpostavka da brzine iščezavaju ( $u = v = w = 0$ ) zamijenjen je s ravnotežom između unutarnje napetosti i pridnenoga trenja:

$$v \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_b \text{ za } z = -h,$$

gdje pridneno trenje ovisi o tipu korištenoga graničnog sloja:

$$\tau_b = C_D |u_b| u_b.$$

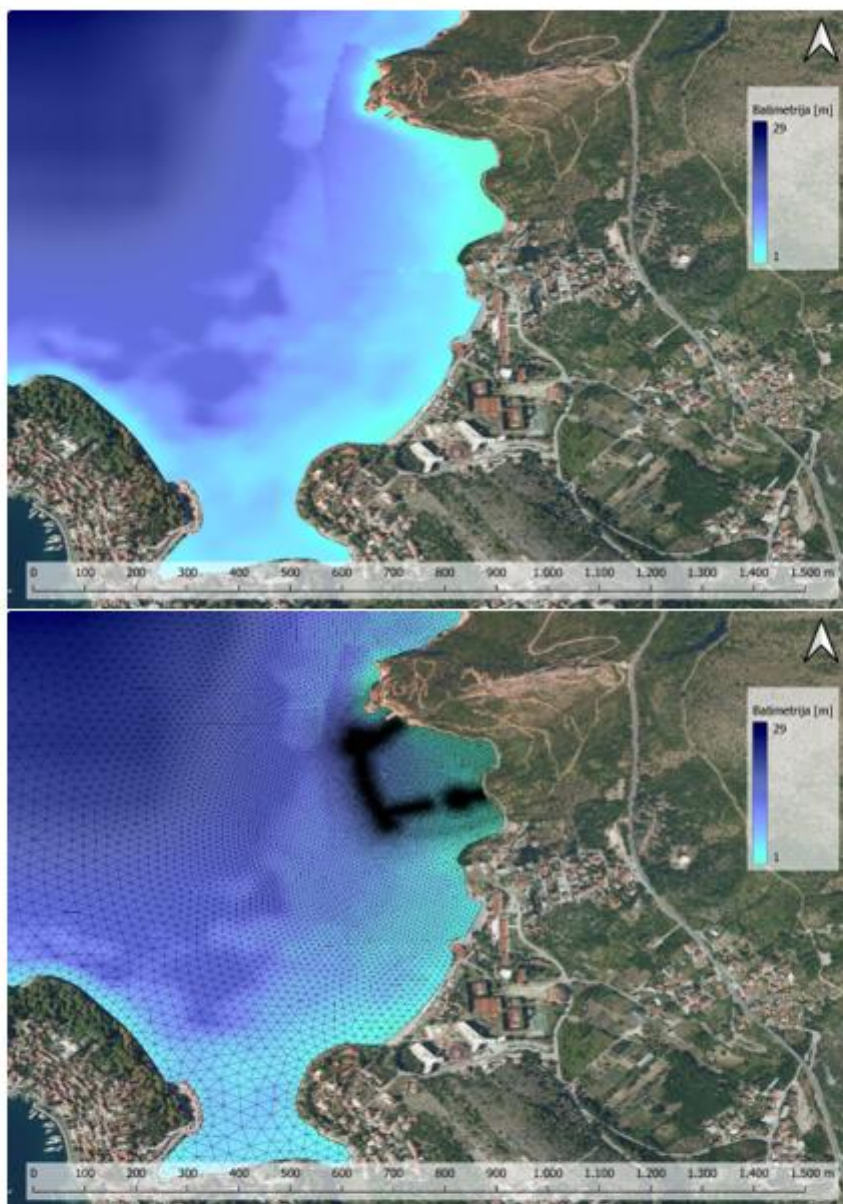
Promjena brzine s dubinom unutar pridnenoga graničnog sloja je aproksimirana logaritamskim profilom u kojem se koristi hrapavost dna kao jedan od parametara.

### 2.3. Mreža modela

U svrhu pokretanja hidrodinamičkog modela za izračun strujnog polja i izmjenu vodenih masa, izrađena je numerička mreža koja je u horizontali sastavljena od triangularnih konačnih elemenata različite prostorne rezolucije, u čijim čvorovima se vrše proračuni modelskih vrijednosti. Numerička mreža modela izgrađena je postupkom prostorne diskretizacije fizičke domene akvatorija na konačan broj točaka temeljem digitalizirane obalne linije iz topografskih karata 1:25.000 i pripadne batimetrije. Mreža pokriva širi akvatorij te je dodatno profinjena unutar interesnog područja luke. Ovakve mreže se nazivaju nestrukturiranima jer je povezanost trokuta slobodna i neograničena, odnosno prostorna rezolucija je na cijeloj domeni promjenjiva, tako da s velikom točnošću može predstavljati složenu topografiju.

Kako hidrodinamički model zahtijeva podatke o dubini u svakom čvoru mreže, postojeća batimetrija akvatorija u širem području planirane luke napravljena temeljem detaljne izmjere na području predmetnog zahvata (Glavni projekt, 2023) i topografskih karata 1:25.000. Promatrano područje karakterizirano je malim dubinama posebice u blizini obalnog područja, a unutar same luke dubine ne prelaze vrijednosti od 10,5 metara. Veće dubine javljaju se na izlazu iz uvale, odnosno prema otvorenom moru.

Horizontalna mreža i pripadne dubine, izražene u metrima, prikazane su na Slika 2-1.

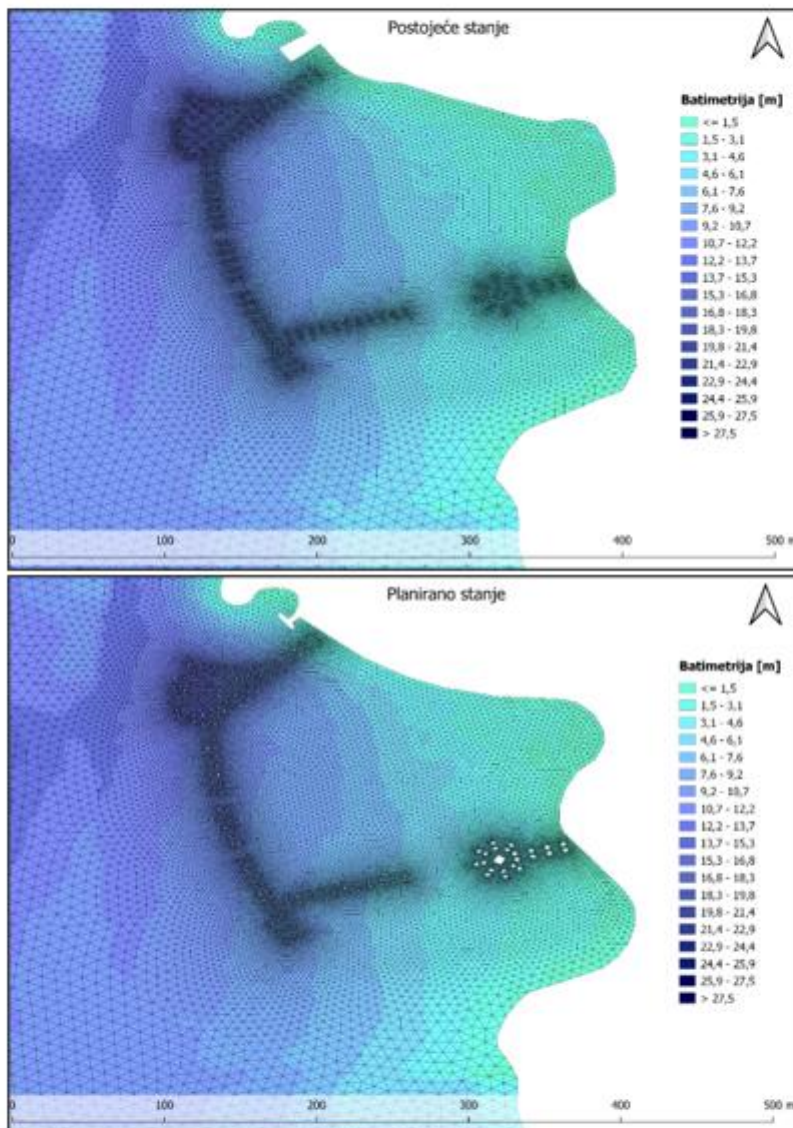


Slika 2-1 Batimetrija akvatorija (gornji prikaz) i pripadna numerička mreža konačnih elemenata (donji prikaz) šireg područja predmetnog zahvata

Za potrebe pokretanja hidrodinamičkog modela, izrađene su dvije mreže: za postojeće i planirano stanje. Prilikom konstruiranja mreže za postojeće stanje na lokacijama budućih objekta (pilota) dodani su čvorovi, odnosno mreža je profinjena kako bi se mogli usporediti rezultati modela za slučajeve prije i poslije izgradnje. Minimalna stranica elementa unutar mreže je postavljena na 0,5 m.

Konačna mreža za **postojeće stanje** sastavljena je od 30.977 čvorova (vrhova trokuta), te 61.521 elemenata (trokut) dok je najmanji element bio stranice od 0,6 m (Slika 2-2). U slučaju **planiranog stanja**

numerička mreža sastavljena je od 37934 čvora i 74285 elemenata s najmanjom stranicom trokuta 0,3 m oko pilota pontona (Slika 2-2).



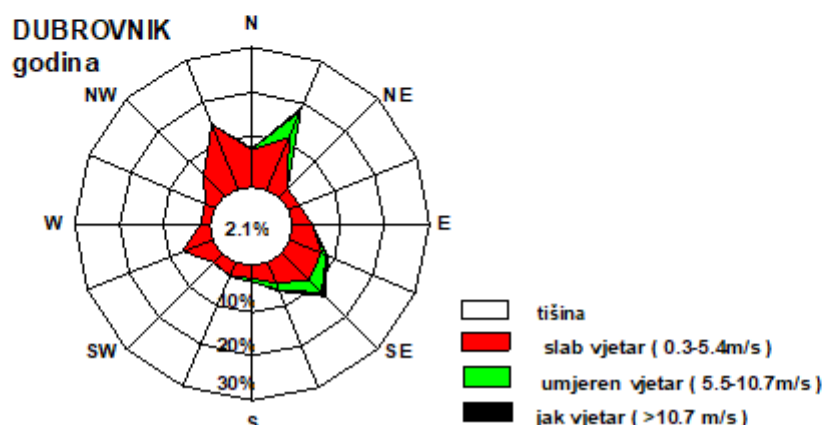
Slika 2-2 Numerička mreža konačnih elemenata i pripadna batimetrija na užem području planirane luke u postojećem (gornji prikaz) i planiranom stanju (donji prikaz)

#### 2.4. Ulazni podaci korišteni za pokretanje modela

Zadovoljavajuća točnost modela postiže se definiranjem što boljih rubnih uvjeta. Forsiranje na otvorenoj granici modela je uključivalo glavne plimne konstituyente za dnevne i poludnevne oscilacije (M2 i K1). Amplitude i faze su određene iz jadranskog modela visoke prostorne rezolucije koji je validiran i objavljen u časopisima (Janeković i Kuzmić, 2005).

Dodatno je uz plimnu dinamiku uključeno i forsiranje vjetrom iz dominantnih/najčešćih vjetrova, određenih mjerenjima, a temeljem tablica kontingencije vjetra za postaju Dubrovnik (Vjetrovna klima za Marinu „Prahivac“). Prema tablici kontingencije, najčešći vjetrovi pušu iz smjerova (Slika 2-3):

- NNE u klasi 3,4 - 5,4 m/s (slab povjetarac),
- SE u klasi 5,5 – 7,9 m/s (umjeren vjetar)
- NNW u klasi 1,6 – 3,3 m/s (povjetarac).



Slika 2-3 Godišnja ruža vjetra za Dubrovnik u razdoblju 1997. - 2006.

Analize mjerenih podataka o vjetru pokazala je da u 76 % slučajeva pušu slabi vjetrovi do maksimalne jačine od 5,4 m/s. Umjereni vjetar puše u 19 % slučajeva, dok jaki vjetar (jači od 10,7 m/s) puše svega u 3 % slučajeva, a tišina je prisutna u manje od 2 % slučajeva. S obzirom na statistiku vjetra, za procjenu utjecaja luke na cirkulaciju mora, najgori slučaj bi bio kada je prisutno samo plimno strujanje bez vjetra, no s obzirom da je to vrlo rijetko, procijenjen je utjecaj u slučaju puhanja slabog vjetrova najčešćih brzina i smjerova. Za svaki od navedenih najčešćih smjerova napravljene su zasebne simulacije u navedenim klasama jačine vjetra.

## 2.5. Rezultati modela: morske struje

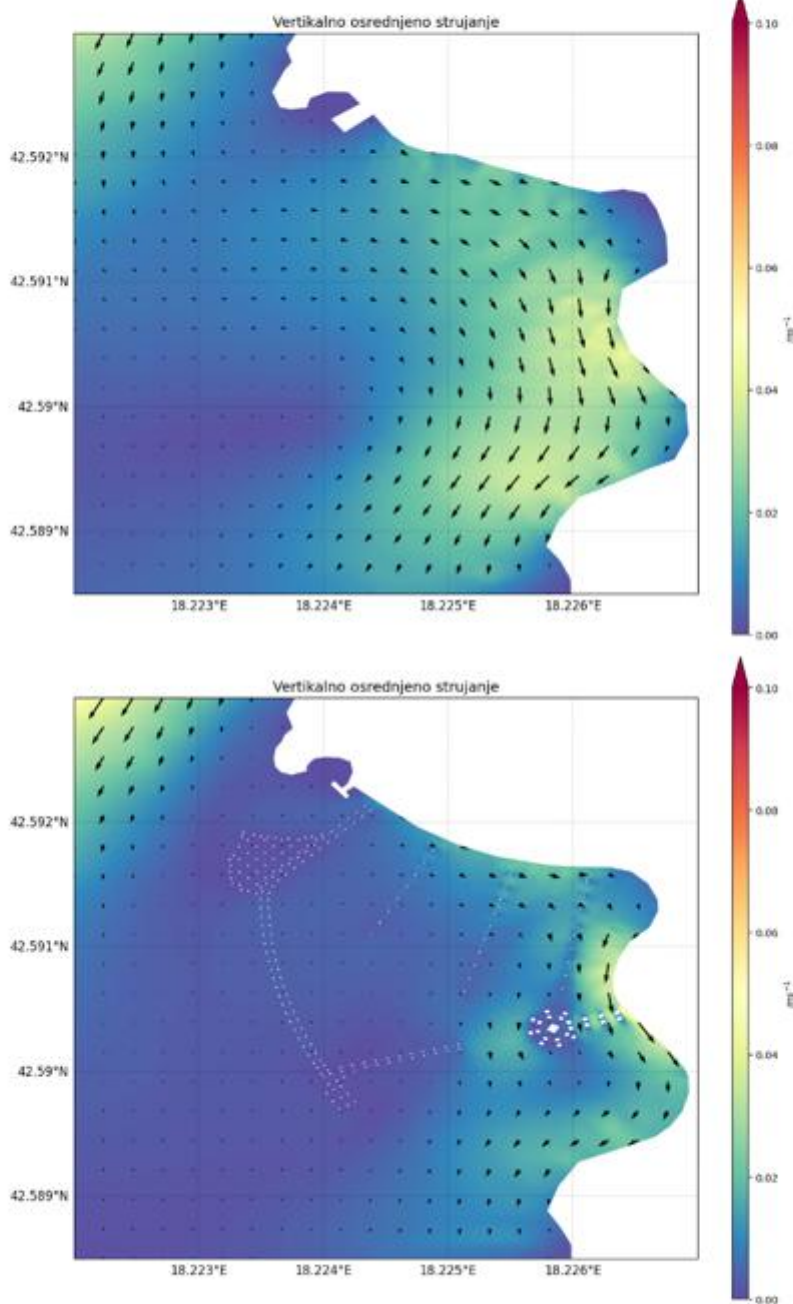
Hidrodinamičkim modelom napravljena je dijagnostika prevladavajućih strujanja promatranog područja odnosno simulirano je stacionarno strujanje koje bi se uspostavilo nakon višednevnog puhanja vjetra iz gore navedenih smjerova. S obzirom da je predmetno područje planirane luke karakterizirano malim dubinama, model SCHISM pokrenut je u 2D barotropnom modu, te su u nastavku prikazano vertikalno osrednjeno stacionarno strujanje za tri različite situacije, u skladu s gore navedenim smjerovima vjetra.

Slika 2-4, Slika 2-5 i Slika 2-6 prikazuju prostornu raspodjelu vertikalno osrednjenih morskih struja (transport vodenih masa) na području planirane luke, u slučajevima puhanja vjetra iz smjerova NNE, SE i NNW, redom, a sve uz stalno prisutno plimno strujanje.

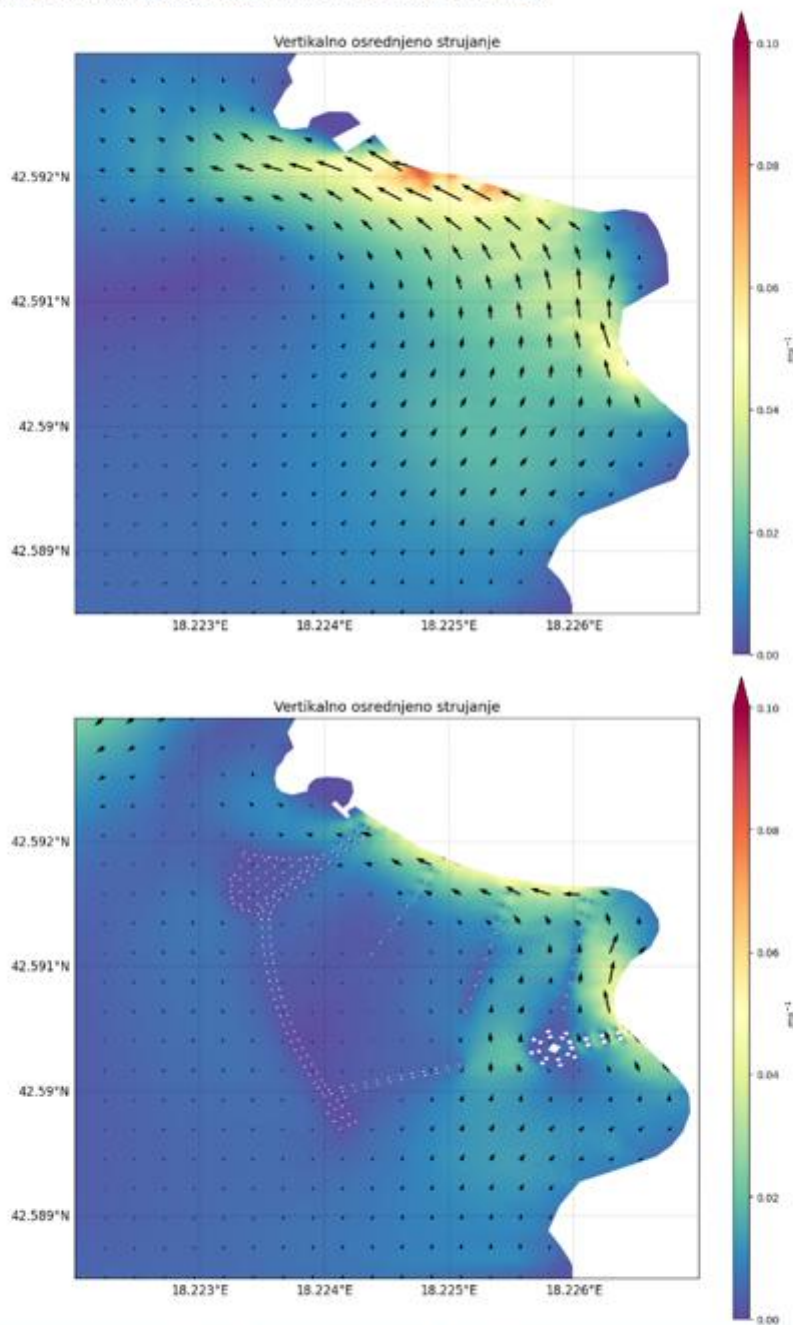
Sa slika se vidi da je u slučaju puhanja vjetra iz smjera NNE i NNW transport masa uglavnom u smjeru kazaljke na satu na području luke, dok je u slučajevima vjetra iz SE smjera u suprotnom smjeru. Vertikalno

osrednjene struje dosežu u slučaju puhanja ovih vjetrova na području ne prelaze 10 cm/s, odnosno uglavnom se kreću u rasponu od 2 do 6 cm/s. Najslabije su u slučaju vjetra iz NNW smjera, s obzirom da je i vjetra iz tog smjera slabiji.

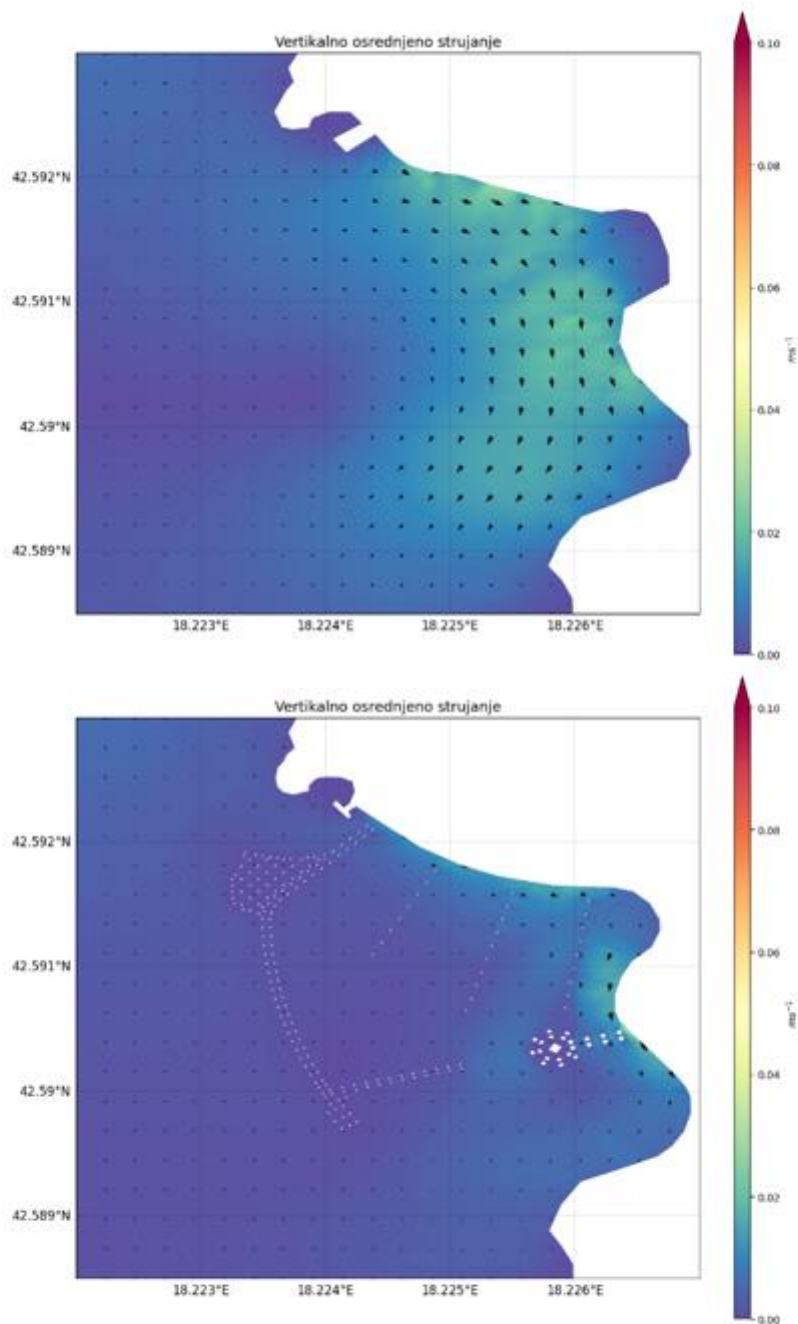
Simulacije strujanja za potrebe ove studije dobro se slažu s mjerenjima na samoj lokaciji (Poglavlje 1).



Slika 2-4 Prostorna raspodjela vertikalno osrednjenih morskih struja slučaj puhanja vjetra iz smjera NNE za područje planirane luke u sadašnjem (gornji prikaz) i planiranom stanju (donji prikaz).



Slika 2-5 Prostorna raspodjela vertikalno osrednjenih morskih struja za slučaj puhanja vjetra iz smjera SE za područje planirane luke (umjereni vjetar) u sadašnjem (gornji prikaz) i planiranom stanju (donji prikaz).



Slika 2-6 Prostorna raspodjela vertikalno osrednjenih morskih struja slučaj puhanja vjetra iz smjera NNW (povjetarac) za područje planirane luke u sadašnjem (gornji prikaz) i planiranom stanju (donji prikaz).

### 3. UTJECAJ GRADNJE LUKE „PRAHIVAC“ NA VRIJEME ZADRŽAVANJA MORA UNUTAR AKVATORIJA LUKE

Prije realizacije zahvata bitno je procijeniti predloženo rješenje utječe na kvalitetu vode u luci. Kvaliteta može biti narušena uslijed nedovoljnog ispiranja i neodgovarajućeg upravljanja. Stoga je od ključne važnosti razumjeti dinamiku ispiranja luke kako bi se očuvala kvaliteta vode. U tu svrhu, napravljena je procjena vremena zadržavanja mora u postojećoj situaciji, te za planirano stanje izgradnje luke i izvedbe novih elemenata u vidu lukobrana, pontona. Vrijeme zadržavanja ovisi o hidrodinamici i o geometriji luke.

U proračunima vremena zadržavanja mora (za postojeće stanje i planirano stanje nakon proširenja luke) korištena su strujanja dobivena modelom SCHISM opisana u prethodnom poglavlju. Model korišten za simulaciju dinamike mora uključuje morske struje i difuziju, koji su odgovorni za izmjenu mora.

#### 3.1. Vrijeme zadržavanja mora

Izračun vremena zadržavanja mora („local residence time“) baziran je na metodi koju daju Cucco i Umgiesser (2006). Unutar domene luke postavlja se polje koncentracije pasivnog obilježivača (onečišćenja) te se prilikom izračuna pretpostavlja da je koncentracija na granici domene jednaka nuli. Točke koje se nalaze na granicama obale i otoka ne ulaze u obzir pri odabiru točaka na koje će biti postavljeno onečišćenje te su brzine u tim točkama postavljene na 0. Koncentracija pasivnog obilježivača će se uslijed procesa advekcije i difuzije smanjiti. Postavljeno je početno polje koncentracije na 1 (odnosno 100%) u svim točkama unutar luke, odnosno domene, te je pušteno da advektivna gibanja i difuzija izmijene more. Advekcija i difuzija simulirane su unutar modela i direktno ulaze u izračun s vremenskim korakom modela.

Vrijeme zadržavanja mora definira se preko relacije:

$$\tau(x, y) = \int_0^{\infty} \frac{C(x, y, t)}{C_0(x, y)} dt \quad (1)$$

gdje  $\tau$  predstavlja lokalno vrijeme zadržavanja („local residence time“) definirano u svakoj točki modela.  $C(x, y, t)$  je prostorno izračunata koncentracija u određenom vremenskom trenutku, a  $C_0(x, y)$  prostorno zadana početna koncentracija. Ovim pristupom se određuje vrijeme zadržavanja za sve točke mreže i time se dobiva predodžba kojim dijelovima akvatorija je potrebno duže vremensko razdoblje da se izvrši izmjena mora, a kojim dijelovima je za to potrebno relativno kratko vrijeme. Polje koncentracije, koje je u početnom trenutku postavljeno na 1 unutar zadane domene koja obuhvaća cijelu luku, djelovanjem struja i difuzije se smanjuje. Dobivenu koncentraciju kasnije koristimo u računanju vremena zadržavanja mora. S pretpostavkom da se koncentracija smanjuje eksponencijalno ( $C(t) = C_0 e^{-t}$ ) proizlazi da je vrijeme zadržavanja mora zapravo vrijeme potrebno da koncentracija u pojedinoj točki padne na  $1/e$  od početne, odnosno na 37 % od početnih 100 % jedinica. Srednje vrijeme zadržavanja mora odnosi se na prostorni prosjek po svim točkama modela.

#### 3.2. Vrijeme zadržavanja mora unutar akvatorija za postojeće stanje

U okviru postojećeg stanja, na predmetnom je području prisutan jedan manji, nepropusni lukobran, koji se proteže u smjeru sjeveroistok - jugozapad, te je isto tako postavljen i u modelu.

U proračunima vremena zadržavanja mora korišteno je strujanje dobivena modelom SCHISM i to tri različite simulacije koje odgovaraju trima najučestalijim smjerovima vjetrovima koji se javljaju na predmetnom području (SE, NNE, NNW) uz uvijek postojeće plimno strujanje. Model korišten za simulaciju dinamike mora uključuje morske struje i difuziju, koji su zajedno odgovorni za izmjenu mora.

Slika 3-1, Slika 3-2 i Slika 3-3 daju prikaz polja koncentracije pasivnog obilježivača u različitim trenucima simulacije (3, 6, 9, 12, 15 i 18 sati od početka simulacije). Slike prikazuju kako se pasivni obilježivač širi i razrjeđuje u prostoru tijekom vremena, ovisno o strujanju. Sve simulacije za postojeće stanje pokazale su da vjetrovi iz smjera NNE i NNW stvaraju anticiklonalno strujanje te u smjeru kazaljke na satu iznose obilježivač van zaljeva, dok se za vjetar iz smjera SE stvara ciklonalno strujanje koje ga gura prema sjeverozapadu te ga isto zakreće, no za ovaj slučaj u suprotnom smjeru od kazaljke na satu. Unutar prvih 18 sati od početka simulacije vidi se da oblak pasivnog obilježivača izlazi van lokacije planirane luke. Pasivni obilježivač se u postojećem stanju zadržava u prirodno zatvorenim dijelovima akvatorija, odnosno na području ograđenim malim, postojećim lukobranom na sjeveru te unutar uvale na istočnom djelu predmetnog zahvata koja je daleko od otvorene granice. Također rezultati modela pokazuju da treći dan nakon početka simulacije koncentracija pasivnog obilježivača pala na nulu.



Slika 3-1 Polje koncentracije 3, 6, 9, 12, 15 i 18 sati nakon početka simulacije za postojeće stanje uz plimu i vjetar SE smjera



Slika 3-2 Polje koncentracije 3, 6, 9, 12, 15 i 18 sati nakon početka simulacije za postojeće stanje uz plimu i vjetar NNE smjera



Slika 3-3 Polje koncentracije 3, 6, 9, 12, 15 i 18 sati nakon početka simulacije za postojeće stanje uz plimu i vjetar NNW smjera

Prema rezultatima modela sa Slika 3-4, Slika 3-5 i Slika 3-6, koje prikazuju vrijeme zadržavanja za strujanje inducirano vjetrovima redom iz SE, NNE i NNW smjera, vidljivo je da je vrijeme zadržavanja najveće uz postojeći lukobran na sjeveru, gdje je česticama potrebno maksimalnih 48 sati da izađu iz domene. Pri tome strujanje inducirano vjetrom iz SE smjera daje najpovoljnije rezultate te raznosi pasivne obilježivače van zatvorenih dijelova.



Slika 3-4 Vrijeme zadržavanja mora za postojeće stanje i strujanje inducirano vjetrom iz SE smjera



Slika 3-5 Vrijeme zadržavanja mora za postojeće stanje i strujanje inducirano vjetrom iz NNE smjera



Slika 3-6 Vrijeme zadržavanja mora za postojeće stanje i strujanje inducirano vjetrom iz NNW smjera

### 3.3. Vrijeme zadržavanja mora unutar akvatorija za planirano stanje

Na predmetnom području planira se izgradnja luke „Prahivac“ ukupne površine planiranog obuhvata od 80.793 m<sup>2</sup>, od čega na morski dio otpada 76.246 m<sup>2</sup>. Idejnim rješenjem planirana je izgradnja glavnog i sekundarnog lukobrana te pontonskih plivajućih gatova. Osnovni cilj izgradnje primarnog i sekundarnih lukobrana je formiranje luke nautičkog turizma, a samim tim i zaštita akvatorija čime se omogućava siguran vez u svim vremenskim uvjetima. Novoplanirani lukobrani i gatovi bit će postavljeni na pilotima, čime će biti omogućena povoljna cirkulacija mora između luke i otvorenog mora.

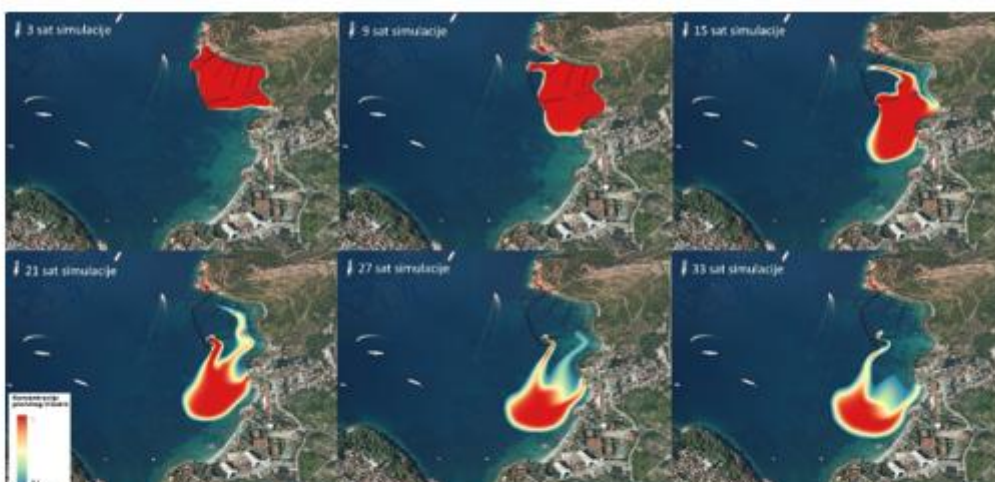
Kako se u studiji razmatra utjecaj luke, za potrebe modela napravljena je i mreža planiranog stanja nakon izgradnje luke. Numerička mreža za buduće stanje gusto je izrađena na području novih građevina zbog uključivanja pilota u model kako bi simulacija bila realna. U proračunima vremena zadržavanja mora, identično kao i za postojeće stanje, korištene su modelirane struje inducirane najčešćim vjetrovima (SE, NNE, NNW) uz plimno strujanje.

Slika 3-7, Slika 3-8 i Slika 3-9 daju prikaz polja koncentracije pasivnog obilježivača u različitim trenucima simulacije (3, 9, 15, 21, 27 i 33 sata od početka simulacije). Prikazani vremenski koraci simulacija su sada veći nego u postojećem stanju jer je pasivnom obilježivaču potrebno više vremena da napusti domenu zbog opstrukcija u prostoru. Simulacije pokazuju da je za strujanje iz NNW smjera situacija najlošija. Razlog tome je i najmanja klasa brzina koja je uzeta pri simulacijama morskih struja, jer se prema vjetrovnim analizama atmosfersko strujanje iz NW smjera javlja s manjim brzinama od strujanja iz smjerova SE i NNE. Pasivni obilježivači se u planiranom stanju sporije ispiru iz područja luke, no slično kao i kod postojećeg

stanja, treći dan nakon početka simulacije koncentracija pasivnog obilježivača na području predmetnog zahvata pada na nulu.



Slika 3-7 Polje koncentracije 3, 9, 15, 21, 27 i 33 sata nakon početka simulacije za planirano stanje uz plimu i vjetar SE smjera

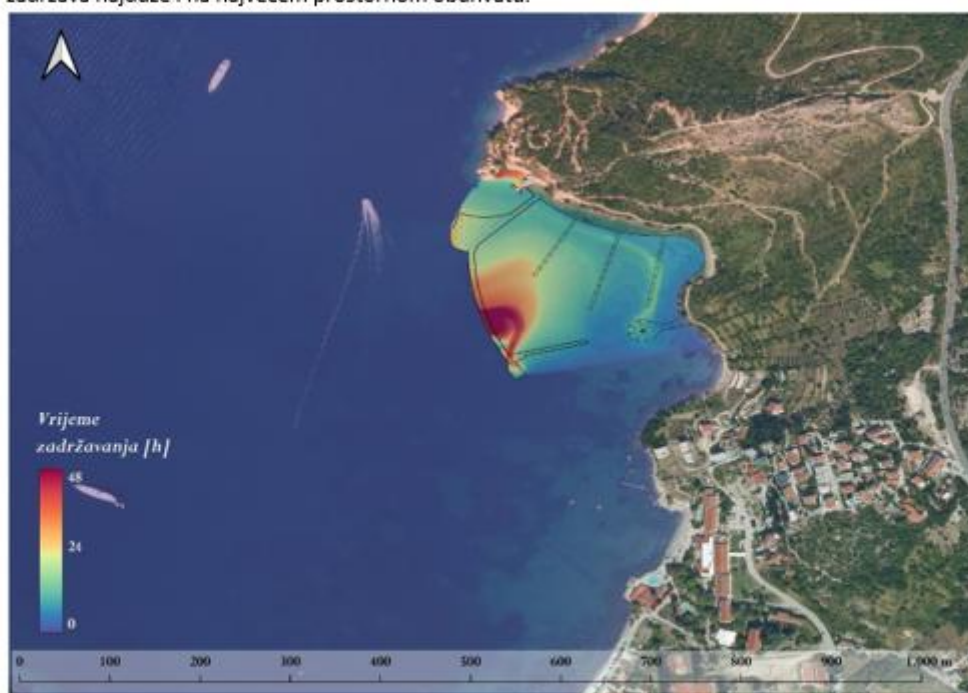


Slika 3-8 Polje koncentracije 3, 9, 15, 21, 27 i 33 sata nakon početka simulacije za planirano stanje uz plimu i vjetar NNE smjera



Slika 3-9 Polje koncentracije 3, 9, 15, 21, 27 i 33 sata nakon početka simulacije za planirano stanje uz plimu i vjetar NNW smjera

Srednje vrijeme zadržavanja mora prikazano je na Slika 3-10, Slika 3-11 i Slika 3-12, za strujanje inducirano vjetrovima redom iz SE, NNE i NNW smjera. Slučaj planiranog stanja bitno se razlikuje od postojećeg stanja jer su piloti unutar modela predstavljeni kao prepreke za morska gibanja (kao mali otoci). Vidljivo je da je vrijeme zadržavanja najveće uz postojeći lukobran na sjeveru (kao i u postojećem stanju), te uz novoplanirani glavni lukobran. Strujanja inducirana vjetrom iz SE i NNE smjera daju jače struje, a time i povoljnije rezultate za morski okoliš. U slučaju strujanja inducirano vjetrom NNW smjera obilježivač se zadržava najduže i na najvećem prostornom obuhvatu.



Slika 3-10 Vrijeme zadržavanja mora za planirano stanje i strujanje inducirano vjetrom iz SE smjera



Slika 3-11 Vrijeme zadržavanja mora za planirano stanje i strujanje inducirano vjetrom iz NNE smjera



Slika 3-12 Vrijeme zadržavanja mora za planirano stanje i strujanje inducirano slabim vjetrom iz NNW smjera

### 3.4. Rezultati simulacija

Pomoću numeričkih modela i simulacija analizirano je vrijeme zadržavanja mora unutar akvatorija planirane luke „Prahivac“. Simulacije su napravljene za postojeće stanje i planiranu idejnu verziju novog glavnog i sekundarnog lukobrana i plutajućih gatova. Simulacije su izvršene pomoću struja dobivenih hidrodinamičkim modelom SCHISM i to za vertikalno osrednjeno strujanje inducirano vjetrovima koji se ukupno najčešće javljaju na predmetnom području (SE, NNE, NNW) uz uvijek prisutne plimne struje.

Modelske simulacije su dale sljedeće rezultate:

1. Vrijeme zadržavanja mora prostorno varira unutar područja luke i različito je za vjetrove iz različitih smjerova.
2. Srednje vrijeme zadržavanja mora unutar luke u postojećem stanju je u rasponu od 7,4 do 14 sati, ovisno o smjeru vjetra, što predstavlja relativno brzu izmjenu mora. Za vjetar iz smjera SE jačine 5,5 m/s i pripadno strujanje, vrijeme zadržavanja iznosi 7,6 h. Za struje inducirane vjetrom iz NE smjera, jačine također 5,5 m/s vrijeme zadržavanja iznosi 7,4 h. Najveće vrijeme zadržavanja od 14 h dobiveno je za struje inducirane vjetrom iz NNW smjera jačine 3,3 m/s. Najduže se zadržavaju čestice kod postojećeg sjevernog lukobrana, i na području istočne uvala, odnosno na dijelovima akvatorija koji su prirodno poluzatvorenog oblika.
3. Izgradnjom luke i dodavanjem planiranih lukobrana i gatova na pontonima, srednje vrijeme zadržavanja mora unutar promatrane domene povećalo se na vrijednosti od 14 do 28 sati. Najveće vrijednosti od 28 sati dobivene su za struje inducirane vjetrom iz NNW smjera (koji puše u 19% vremena), najmanje vrijeme od 14 h dobiveno je za struje inducirane vjetrom iz NNE smjera, dok vrijeme zadržavanja za struje inducirane vjetrom iz SE smjera iznosi 15,8 h. "Dobro" vrijeme zadržavanja vode u lukama obično znači da se voda unutar luke učinkovito izmjenjuje, čime se smanjuje stagnacija i osigurava dobra kvaliteta vode. **Vrijeme zadržavanja kraće od 3 dana** općenito se smatra idealnim za održavanje dobrih okolišnih uvjeta unutar luka (npr. Alkhalidi i Alsulaili, 2024), a to je i slučaj s ovom lukom. U specifičnim slučajevima, vrijeme zadržavanja kraće od 7 dana može biti dovoljno za održavanje prihvatljive kvalitete vode.

### 3.5. Zaključak

Provedene simulacije uz pomoć numeričkog modela SCHISM, omogućile su detaljnu analizu vremena zadržavanja mora unutar akvatorija planirane luke „Prahivac“. Rezultati pokazuju kako je trenutno vrijeme zadržavanja mora unutar luke relativno kratko, u rasponu od 7,4 do 14 sati, što upućuje na dobru izmjenu mora s obzirom na veličinu akvatorija. Najkraće vrijeme zadržavanja zabilježeno je za vjetrove iz SE i NE smjera, dok je najduže zadržavanje (14 sati) zabilježeno za vjetrove iz NNW smjera. Kritična područja, gdje dolazi do najduljeg zadržavanja, uključuju prostor uz sjeverni lukobran i istočnu uvalu, zbog njihovog poluzatvorenog oblika.

Planirana izgradnja luke, uz dodatak novih lukobrana i pontonskih gatova, rezultirat će povećanjem prosječnog vremena zadržavanja mora na 14 do 28 sati. Najveće vrijeme zadržavanja od 28 sati povezano je s vjetrovima iz NNW smjera, dok su najkraća vremena zabilježena za vjetrove iz NNE smjera (14 sati). Iako simulacije ukazuju na povećanje vremena zadržavanja, realna situacija bi mogla rezultirati kraćim

prosjecima zbog češće pojave jačih vjetrova iz I. i II. Kvadranta, dok se slabi vjetar iz NNW smjera javlja u 19% slučajeva.

Važno je napomenuti da, iako će izgradnja luke produljiti vrijeme zadržavanja mora, ono će i dalje biti kraće od 3 dana, te se ne očekuje značajni negativni utjecaj na kvalitetu vode na području luke, niti posljedično utjecaj na naselja posidonije na području luke.

U slučaju izgradnje nepropusnih lukobrana, vrijeme zadržavanja bi bilo znatno dulje, što bi moglo imati negativan utjecaj na izmjenu mora. Ovako, **predloženo rješenje s polupropusnim lukobranama zadržava relativno dobru cirkulaciju i izmjenu mora unutar akvatorija.**

#### 4. UTJECAJ ANTIVEGETATIVNIH PREMAZA S BRODOVA NA VEZU U LUCI

Antivegetativni premazi se koriste za sprječavanje rasta vegetacije na trupu broda. Najčešći glavni sastojak današnjih antivegetativnih premaza je bakar(I) - oksid. Ovisno o proizvođaču, premazi mogu sadržavati i druge metale, uključujući cink, olovo, kadmij, željezo, mangan, magnezij, kobalt, titan i krom. Po nanošenju na brodove, koji se u pravilu premazuju jednom godišnje, boje se otapaju i njihovi sastojci ulaze u morski okoliš. Brzina otapanja prvenstveno ovisi o samim bojama (odnosno kako su aktivne komponente ugrađene u boje), ali i okolišnim čimbenicima kao što su pH, temperatura i salinitet morske vode, brzina strujanja vode, odnosno brzina kretanja broda i sl.

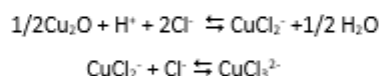
Za procjenu utjecaja otpuštanja bakra iz antivegetativnih premaza u planiranoj luci „Prahivac“, koristi se model iz rada Lončar i sur. (2015). Veličine koje promatramo, odnosno računamo su: koncentracija otopljenog metala, koncentracija metala na česticama, masena koncentracija čestica, tok metala u sedimentu, koncentracija akumulacije metala u sedimentu, količina metala s obzirom na čvrstu frakciju sedimenta. Izračuni su napravljeni za buduće stanje nakon izgradnje luke i područje gdje će biti smješteni brodovi.

##### 4.1. Model bakra

###### Brzina otpuštanja bakra s antivegetativnog premaza brodica

Antivegetativni premazi polako i kontinuirano otpuštaju male koncentracije aktivne tvari u koncentracijama koje su toksične obraštajnim organizmima.

Glavni konstituent protuobraštajnih premaza s bakrom je bakar(I)-oksid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Na površini protuobraštajnog premaza dolazi do sljedećih kemijskih reakcija:



Prva reakcija je reverzibilna ali kinetički usporena, dok je druga reverzibilna i trenutačna. Otopljeni kisik u morskoj vodi oksidira jednovalentni bakar u  $\text{Cu}^{2+}$  koji ima biocidna svojstva (bakar je najtoksičniji u ionskom obliku). Bakar(II) ion u reakcijama kasnije postupno nestaje u anorganske ili organske komplekse. Zbog sudjelovanja  $\text{H}^+$  i  $\text{Cl}^-$  iona u reakcijama, ispiranje boje se povećava s opadanjem pH i povećanjem saliniteta.

Eksperimentalna mjerenja pokazuju da je brzina otpuštanja bakra iz antivegetativnih premaza najveća nakon nanošenja, a zatim se tijekom dva mjeseca spušta na oko 30% početne vrijednosti, nakon čega se ustaljuje (Valkiris i sur., 2003). Mjerenje *in situ* je pokazalo da se bakar na manjim brodovima otpušta brzinom od  $8,2 \mu\text{g cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ , dok je ona na velikim brodovima bila  $3,8 \mu\text{g cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$  (Valkiris i sur., 2003). I drugi autori nalaze da je oslobađanje bakra nakon profesionalnog nanošenja boje od  $3,2$  do  $3,6 \mu\text{g cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$  (Ytreberg i sur., 2010). Korištenjem bakrenih protuobraštajnih premaza na brodovima za rekreaciju oslobađanje bakra je na razini od  $3,7$  do  $4,3 \mu\text{g cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$  (Schiff i sur., 2004).

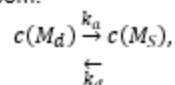
### Raspodjela bakra u moru

Raspodjela bakra u moru procijenjena je jednostavnim modelom (Tudor, 2013) opisanim u nastavku.

Bakar se u vodi nalazi u dvije faze: otopljenoj ( $M_d$ , ionski oblik) i adsorbiran na suspendirane čestice ( $M_s$ ). Otopljeni bakar je dostupniji organizmima nego bakar adsorbiran na česticama, iako bakar ima nisku topljivost u vodi, što znači da ioni otopljenog bakra kojeg ne vežu organizmi brzo adsorbiraju na suspendirane čestice u vodi, te ovisno o hidrodinamici područja, bivaju odnešeni ili tonu na dno, doprinoseći koncentraciji metala u sedimentu (Eriksen i sur. 2001).

Oko 98-99% bakra u morskoj vodi se veže na organsku tvar u vodi, s manje od 0.08% stvarno prisutnog bakra u ionskom obliku (Hall & Anderson, 1999). Ostatak bakra se nalazi u kompleksima s ligandima, poput humusnih sastojaka, klorida ili sulfida (Eriksen i sur., 2001). Kao rezultat, koncentracija slobodnog bakra dostupnog u vodenom stupcu može biti za red veličine manja od ukupne koncentracije bakra koja se otpušta s antivegetativnih premaza.

Pseudo reakcija vezivanja metala na čestice je reverzibilna. Prijelaz metala iz otopljene faze na suspendirane čestice prikazuje se jednadžbom:



gdje su:  $k_d$  i  $k_a$  koeficijenti desorpcije i adsorpcije metala na čestice, a  $c(M_d)$  i  $c(M_s)$  koncentracije metala u otopljenoj fazi i koncentracije metala na suspendiranim česticama. Promjena koncentracije otopljene frakcije metala u idealnoj reakcijskoj posudi opisuje se sljedećom jednadžbom:

$$\frac{dc(M_d)}{dt} = k_d c(M_s) - k_a c(M_d).$$

Koeficijent adsorpcije je proporcionalan površini mjesta izmjene na suspendiranim česticama  $k_a = \chi P_s$ . Jedinica za  $k_a$  je  $\text{dan}^{-1}$ , dok je za brzinu izmjene između otopljene faze metala i čestica  $\chi$   $\text{m dan}^{-1}$ . Specifična površina čestica za izmjenu metala je omjer površine i volumena čestica, pa je  $P_s$  ( $\text{m}^2$ ) za sferne čestice:

$$P_s = \frac{3\gamma(S)}{\rho r},$$

gdje je:  $r$  radijus čestica (m),  $\rho$  gustoća čestica ( $\text{kg m}^{-3}$ ) i  $\gamma(S)$  masena koncentracija čestica ( $\text{kg m}^{-3}$ ). Stoga se gornja jednadžba može napisati kao:

$$\frac{dc(M_d)}{dt} = k_d c(M_s) - k'_a \gamma(S) c(M_d),$$

gdje je  $k'_a = 3\chi/(\rho r)$  ( $\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{ dan}^{-1}$ ). U stacionarnim uvjetima vrijedi:  $dc(M_d)/dt=0$ , iz čega se dobiva koeficijent raspodjele metala između otopljene i faze na česticama:

$$K_D = \frac{k'_a}{k_d} = \frac{c(M_S)}{\gamma(S)c(M_d)} \quad (\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}).$$

$K_D$  i  $k_d$  nisu „prave“ konstante, jer jedna i druga ovise o suspendiranim česticama u morskoj vodi. Međutim, kako je vrijednosti  $c(M_S)$ ,  $c(M_d)$  i  $\gamma(S)$  lako izmjeriti, tada se često osobine metala u moru iskazuju pomoću vrijednosti za  $K_D$  (volumen /masa). Literatura za bakar vezana uz koeficijente adsorpcije/desorpcije je vrlo oskudna. Mjerenjem koncentracija bakra Andrade i sur. (2006) su u obalnim vodama Čilea odredili da se log  $K_D$  vrijednosti kreće od 3.08 do 4.76. Eksperimentalno određene vrijednosti log  $K_D$  su bile 4.0 (Herzl i sur., 2003). Balls (1988, 1989) je pokazao da vrijednosti  $K_D$  za bakar padaju porastom koncentracije suspendiranih čestica. Kada je koncentracija suspendirane tvari mala ( $<5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) tada koeficijent raspodjele  $K_D$  ima vrijednosti oko  $10^5$ .

Kinetički parametri adsorpcije i desorpcije bakra na suspendiranu tvar određeni eksperimentalno imaju vrijednosti za  $k_a$  (adsorpcija)  $0.97 \text{ h}^{-1}$  i  $1.19 \text{ h}^{-1}$  te za  $k_d$  (desorpcija)  $0.37 \text{ h}^{-1}$  i  $0.69 \text{ h}^{-1}$  (Herzl i sur., 2003). U istom mjerenju kinetičkih svojstava bakra određene su vrijednosti konstanti razdiobi  $K_D$  s vrijednostima  $13 \cdot 10^3 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1}$  i  $8.7 \cdot 10^3 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1}$  uz koncentraciju suspendiranih čestica  $200 \text{ mg dm}^{-3}$ . Pomoću vrijednosti za  $K_D$  i  $k_d$  može se izračunati vrijednost  $\chi$  iz formule:

$$K_D = \frac{\chi}{k_d} \cdot \frac{3}{\rho r}.$$

#### **Brzina promjene koncentracije otopljenog metala**

U dobro izmiješanom volumenu mora s mogućnošću unosa i iznosa tvari, promet metala može se jednostavno opisati se nekoliko elementarnih jednadžbi. Promjena otopljene frakcije metala opisuje se sljedećom jednadžbom:

$$\frac{dc(M_d)}{dt} = I(M_d) + k_v c(M_d)_o + k_d c(M_S) - (k'_a \gamma(S) + k_v) c(M_d)$$

#### **Brzina promjene koncentracije metala vezanog na suspendirane čestice**

Uz pretpostavku da nema resuspenzije čestica iz sedimenta, promjena koncentracije metala vezanog na suspendirane čestice se može opisati sljedećom jednadžbom:

$$\frac{dc(M_S)}{dt} = k'_a \gamma(S) c(M_d) + k_v c(M_S)_o - (k_d + k_v + k_s) c(M_S)$$

#### **Brzina promjene koncentracije suspendirane tvari**

Uz pretpostavku da nema dotoka čestica s dna, promjena koncentracije suspendiranih čestica u morskoj vodi je:

$$\frac{d\gamma(S)}{dt} = k_v \gamma(S)_o - (k_v + k_s) \gamma(S).$$

Simboli u gornjim jednadžbama označavaju sljedeće:

- $c(M_d)$  - koncentracija otopljenog metala ( $\text{kg m}^{-3}$  ili  $\text{mol m}^{-3}$ )
- $c(M_S)$  - koncentracija metala na česticama ( $\text{kg m}^{-3}$  ili  $\text{mol m}^{-3}$ )
- $c(M_d)_o$  - "prirodna" koncentracija otopljenog metala ( $\text{kg m}^{-3}$  ili  $\text{mol m}^{-3}$ )
- $c(M_S)_o$  - "prirodna" koncentracija metala na česticama ( $\text{kg m}^{-3}$  ili  $\text{mol m}^{-3}$ )
- $\gamma(S)$  - masena koncentracija čestica ( $\text{kg m}^{-3}$ )
- $\gamma(S)_o$  - prirodna masena koncentracija čestica ( $\text{kg m}^{-3}$ )

- $k_d$  - koeficijent brzine desorpcije ( $\text{dan}^{-1}$ )
- $k'_a$  - koeficijent adsorptivne brzine čestica ( $\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{dan}^{-1}$ )
- $k_v$  - koeficijent brzine izmjene volumena vode ( $\text{dan}^{-1}$ ), recipročna vrijednost e-vremena izmjene vode
- $k_s$  - koeficijent brzine taloženja čestica ( $\text{dan}^{-1}$ ) =
- $w_s/H$ , gdje su:  $w_s$  brzina tonjenja čestica ( $\text{m dan}^{-1}$ ) i  $H$  visina vode (m)
- $I(M_d)$  - brzina unosa otopljenog metala ( $\text{kg m}^{-3}\text{dan}^{-1}$  ili  $\text{mol m}^{-3}\text{dan}^{-1}$ ).

Brzina unosa se može izraziti s obzirom na površinu i dubinu kao  $I_a$  ( $\text{kg}$  ili  $\text{mol m}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ) /  $H$  (m)

#### **Akumulacija u sediment**

Tok metala u sediment ( $F(M_s)$ ,  $\text{kg m}^{-2} \text{dan}^{-1}$ ) opisuje se sljedećom jednačinom:

$$F(M_s) = k_s \cdot c(M_s) \cdot H = \frac{w_s}{H} c(M_s) \cdot H = w_s c(M_s),$$

gdje je  $w_s$  brzina tonjenja čestice ( $\text{m dan}^{-1}$ ). Brzina tonjenja čestica (između ostalog) je funkcija njihova promjera.

Ako se zanemare svi procesi vezani za promjene koncentracije metala u sedimentu, tada je akumulacija do određene dubine sedimenta ( $d$ ):

$$d \frac{dc_s(M_s)}{dt} = F(M_s) = w_s c(M_s).$$

Koncentraciju (množinsku ili masenu) akumulacije metala u debljini sedimenta može se pretvoriti u količinu metala s obzirom na čvrstu frakciju sedimenta formulom:

$$\frac{c_s(M_s)}{(1-\phi)\rho_s} = u(M_s),$$

gdje su:  $\phi$  poroznost sedimenta,  $\rho_s$  gustoća čvrstog sedimenta. Ovisno o upotrijebljenim jedinicama za  $c_s(M_s)$ ,  $u(M_s)$  je masa (kg) ili množina (mol) metala po masi (kg) čvrstog sedimenta koja se to odnosi samo na odabranu debljinu sedimenta  $d$ .

Glavne kontrolne varijable za količine metala su (masena) koncentracija čestica  $\gamma(S)$  i koeficijent brzine izmjene vode odabranog volumena i susjednog mora  $k_v$ . Koeficijent izmjene vode je recipročna vrijednost e-vremena izmjene vode ( $k_v=1/\tau_e$ ).

#### **4.2. Parametri za luku „Prahivac“**

Za numeričko rješavanje sustava jednačbi za model otpuštanja bakra izrađenog od strane Lončar i sur. (2015) potrebno je poznavanje određenih veličina i parametara planirane luke, sedimenta na predmetnoj lokaciji te koeficijenta vezanih uz otpuštanje i taloženje bakra.

Volumen luke nakon izgradnje iznositi će oko 404.103 m<sup>3</sup>. Srednja dubina na području novoplanirane luke kreće se oko 5,32 m. Vrijeme zadržavanja mora određeno je pomoću numeričkog modela opisanog u Poglavlju 3. Promatra se planirano stanje nakon izgradnje luke u kojem srednje vrijeme zadržavanja mora iznosi redom 14 h, 15,8 h i 28 h ovisno o smjeru i jačini vjetra kojim se forsirao model.

Luka „Prahivac“ ukupnog je kapaciteta do 151 vezova, za brodove duljine do 30 m, čiji gazovi iznose do 4 m. Prema planiranom broju i veličini plovila na vezovima luke procijenjena ukupna površina plovila na vezu uronjena u more iznosi u budućem stanju 25.821 m<sup>2</sup>. Uzimajući u obzir procijenjenu površinu i brzinu otpuštanja bakra iz antivegetativnih premaza od 5 µg/cm<sup>2</sup>/dan (Valkiris i sur., 2003, Schiff i sur., 2004, Ytreberg i sur., 2010) procijenjena je ukupna emisija bakra s plovila u luci u iznosu od 1,29 kg/dan u budućem stanju.

Proračuni su izvršeni za sediment sitne frakcije 63 µm (pošto je na promatranoj lokaciji sitni pijesak i mulj), za gustoću sedimenta uzeta je vrijednost 2.600 kg/m<sup>3</sup> (Lončar i sur., 2015), a za poroznost sedimenta vrijednost 0,55. Koncentracije suspendirane tvari u moru za južni Jadran su u normalnim prilikama (kada čestice uslijed jakog vjetrova ili radova nisu podignute s dna) niske, a srednjak za npr. postaju Ploče za razdoblje od 2015. do 2019. kada su dostupna mjerenja<sup>1</sup> iznosi 0,0049 kg/m<sup>3</sup>, stoga je ova vrijednost korištena u simulacijama. Za koeficijent raspodjele bakra KD pretpostavljena je vrijednost od 100 m<sup>3</sup>/kg u skladu s literaturnim vrijednostima (Andrade i sur, 2006; Herzl i sur., 2003; Balls, 1988, 1989), dok je za kinetički parametar desorpcije kd pretpostavljena vrijednost od 8,88 dan<sup>-1</sup> (Lončar i sur., 2015). Brzina tonjenja čestica ( $w_s = 276,88$  m/dan) određena je pomoću jednadžbe Stokesovog zakona za definiranu gustoću čestica i medija, podatke o srednjem promjeru sitnih čestica i viskoznost medija pri temperaturi od 20°C. Koncentracije otopljenog bakra su u južnom dijelu Jadrana u nezagađenom području uglavnom manje od 1,5 µg/dm<sup>3</sup> (Tudor, 2011) i ta vrijednost je postavljena za početnu „prirodnu“ vrijednost otopljenog bakra -  $c(M_s)_0$ . Za početnu koncentraciju bakra u sedimentu  $c(M_s)_0$  uzimamo vrijednost 0 promatrajući tako samo utjecaj otapanja bakra s plovila u luci.

### 4.3. Rezultati modela

Uz navedene postavke modela, izvršena je simulacija za planirano stanje luke „Prahivac“. Simulacije su izvršene za različita vremena zadržavanja mora (koja odgovaraju strujanjima induciranim različitim vjetrovima uz plimnu dinamiku) i različite debljine sedimenta ( $d = 0,02$  m,  $d = 0,05$  m i  $d = 0,5$  m). Rezultati su prikazani po danima simulacije, tablično (Tablica 4-1 i Tablica 4-2) i grafički (Slika 4-1 do Slika 4-6).

Tablica 4-1 Rezultati simulacije za koncentraciju otopljenog metala, koncentraciju metala na česticama, masenu koncentraciju čestica i tok metala u sedimentu (ne ovise o promjeni debljine sedimenta)

dan	$\tau_s$ (h)	$c(M_d)$ (µg/ dm <sup>3</sup> )	$c(M_s)$ (µg/ dm <sup>3</sup> )	$\gamma(S)$ (mg/ dm <sup>3</sup> )	$F(M_s)$ (mg/m <sup>2</sup> / dan)
1.	14	2.8640	0.0063	0.1562	1.7377
	15.8	2.9783	0.0058	0.1389	1.6112
	28	3.4871	0.0039	0.0794	1.0866
2.	14	3.0995	0.0068	0.1562	1.8853
	15.8	3.2907	0.0064	0.1389	1.7853
	28	4.3233	0.0049	0.0794	1.3527
10.	14	3.1441	0.0069	0.1562	1.9133
	15.8	3.3673	0.0066	0.1389	1.8280
	28	4.8803	0.0055	0.0794	1.5299
365.	14	3.1441	0.0069	0.1562	1.9133
	15.8	3.3673	0.0066	0.1389	1.8280

<sup>1</sup> <https://vrtlac.izor.hr/ords/bazapokpub/bindex>

dan	$\tau_e$ (h)	$c(M_d)$ ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	$c(M_S)$ ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	$\gamma(S)$ ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	$F(M_S)$ ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dan}$ )
	28	4.8806	0.0055	0.0794	1.5300

Tablica 4-2 Rezultati simulacije za koncentraciju akumulacije metala u sedimentu i količinu metala s obzirom na čvrstu frakciju sedimenta

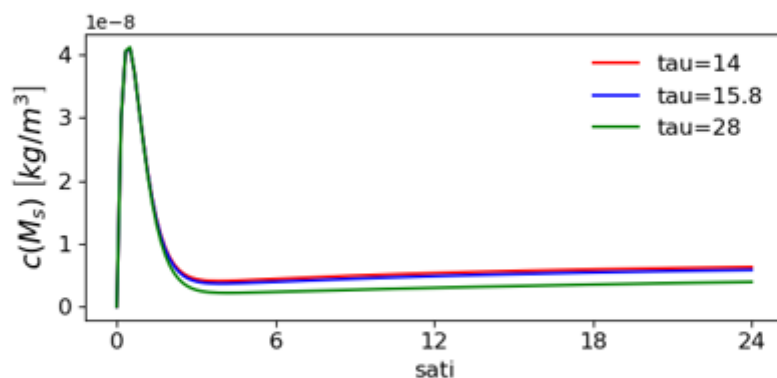
dan	$\tau_e$ (h)	$c_S(M_S)$ ( $\text{g}/\text{m}^3$ )			$u(M_S)$ ( $\text{mg}/\text{kg} = \text{ppm}$ )		
		d=0,02m	d=0,05m	d=0,5m	d=0,02m	d=0,05m	d=0,5m
1.	14	0.0958	0.0383	0.0038	0.0818	0.0327	0.0033
	15.8	0.0898	0.0359	0.0036	0.0767	0.0307	0.0031
	28	0.0669	0.0268	0.0027	0.0572	0.0229	0.0023
2.	14	0.1874	0.0750	0.0075	0.1602	0.0641	0.0064
	15.8	0.1758	0.0703	0.0070	0.1503	0.0601	0.0060
	28	0.1289	0.0516	0.0052	0.1102	0.0441	0.0044
10.	14	0.9520	0.3808	0.0381	0.8136	0.3255	0.0325
	15.8	0.9057	0.3623	0.0362	0.7741	0.3096	0.0310
	28	0.7313	0.2925	0.0293	0.6250	0.2500	0.0250
365.	14	34.9130	13.9652	1.3965	29.8401	11.9361	1.1936
	15.8	33.3522	13.3409	1.3341	28.5061	11.4025	1.1402
	28	27.8891	11.1556	1.1156	23.8368	9.5347	0.9535

Rezultati simulacija pokazuju da u sve tri situacije ( $t_e = 14$  h, 15,8 h i 28 h) do stacionarnog stanja u kojem su koncentracije otopljenog bakra ( $c(M_d)$ ) i bakra adsorbiranog na česticama ( $c(M_S)$ ) u ravnoteži, dolazi unutar prvog dana (Slika 4-1, Slika 4-2, Tablica 4-1). Prosječne koncentracije otopljenog bakra u morskoj vodi kreću se u rasponu od 2,8 do 4,8  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  (Tablica 4-1). S obzirom da su koncentracije otopljenog bakra u moru Jadrana u nezagađenim područjima manje od 1,5  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ , dobivene koncentracije su blago povišene.

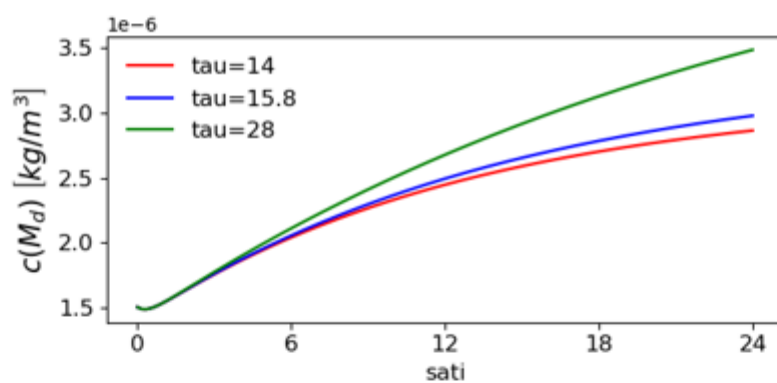
Koncentracija suspendiranih čestica u moru se također ustabili unutar prvog dana (Slika 4-3). Tok bakra u sediment iznosi 1  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dan}$  do 1,9  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dan}$  (Tablica 4-1, Slika 4-4). Akumulacija bakra u sedimentu ( $u(M_S)$ ) za vrijeme od jedne godine razlikuje se u ovisnosti o debljini sedimenta ( $d = 0,02, 0,05$  i  $0,5$  m). Za  $d = 0,02$  m vrijednosti su najveće, do 29,8  $\text{mg}/\text{kg}$ . Kako se povećava debljina sedimenta, na vrijednost od  $d = 0,5$  m, akumulacija se uvelike smanji te u tom slučaju iznosi do 1,2  $\text{mg}/\text{kg}$  (Tablica 4-2, Slika 4-6). Slična je situacija i za koncentraciju bakra na suspendiranoj tvari ( $c_S(M_S)$ ) jer su te dvije varijable proporcionalne (Tablica 4-2, Slika 4-5).

Pošto razlika u vremenu zadržavanja mora za planirano stanje (različiti scenariji s obzirom na smjer i jačinu vjetra) nije velika, većina rezultata je jako slična i na grafovima često dolazi do preklapanja.

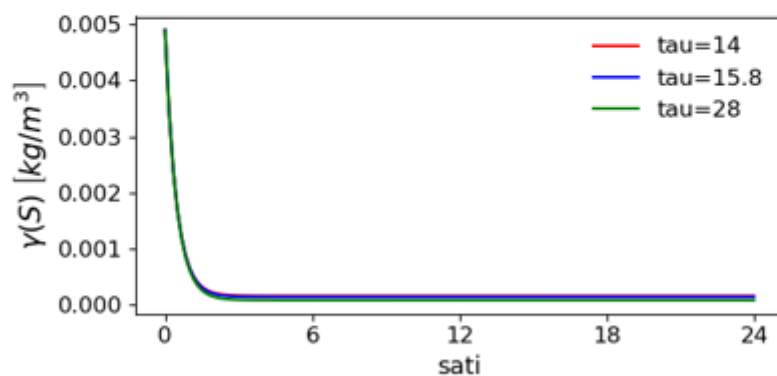
Kako model zanemaruje sve procese vezane za promjene koncentracije bakra u sedimentu (resuspenzija, bioturbacija, itd.), on kao rezultat daje kontinuirani nerealni porast koncentracije bakra u sedimentu (Tablica 4-2, Slika 4-5, Slika 4-6), odnosno rezultati modela predstavljaju najgori slučaj.



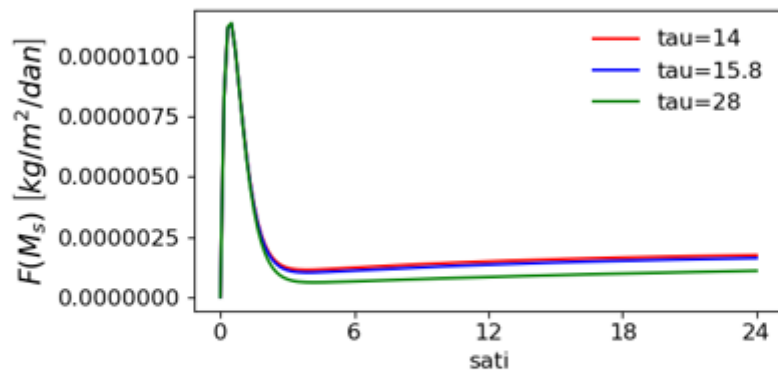
Slika 4-1 Koncentracija bakra na suspendiranim česticama za tri vremena zadržavanja mora



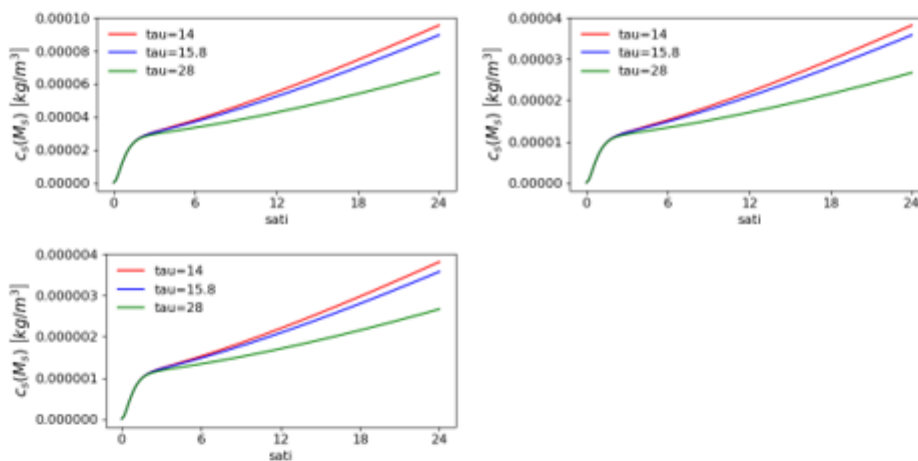
Slika 4-2 Koncentracija otopljenog bakra za tri vremena zadržavanja mora



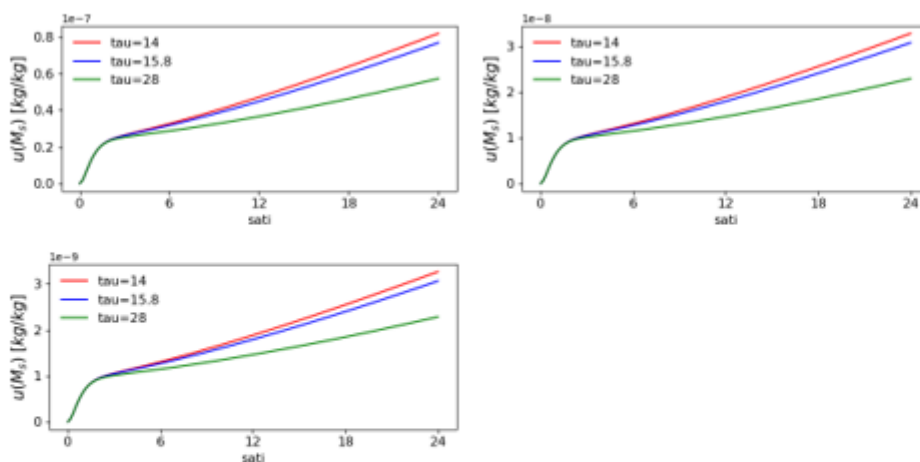
Slika 4-3 Koncentracija suspendiranih čestica u moru za tri vremena zadržavanja mora



Slika 4-4 Tok bakra u sediment za tri vremena zadržavanja mora



Slika 4-5 Koncentracija akumulacije metala u sedimentu za tri vremena zadržavanja mora i za tri različite debljine sedimenta, redom:  $d = 0,02$  m,  $d = 0,05$  m,  $d_s = 0,50$  m



Slika 4-6 Masena koncentracija bakra u sedimentu za četiri vremena zadržavanja mora i za tri različite debljine sedimenta, redom:  $d = 0,02$  m,  $d = 0,05$  m,  $d = 0,50$  m

### Zaključak

Analiza distribucije bakra u moru, nakon otpuštanja bakra iz antivegetativnih premaza s brodica u luci nakon izgradnje, pokazuje da će koncentracije otopljenog bakra u moru biti prihvatljive ili blago povišene od onih koje odgovaraju neonečišćenim područjima na Jadranu. S obzirom na ograničenja modela (zanemareni procesi vezani za promjene koncentracije bakra u sedimentu) u stvarnosti će ove koncentracije biti manje od dobivenih modelom.

## 5. UTJECAJ NA TOPLINSKE KARAKTERISTIKE MORA OD DIZALICE TOPLINE MORE-MORE

### 5.1. Ulazni parametri

U okviru zahvata planira se korištenje morske vode za grijanje i hlađenje turističkog kompleksa u zaleđu luke pomoću dizalica topline (detaljno opisano u Idejnom rješenju zahvata i ispusta morske vode za potrebe grijanja i hlađenja turističkog kompleksa Prahivac).

Morska se voda koristi kao izvor ili ponor topline za zatvoreni sustav tehničke vode unutar kompleksa. Voda cirkulira kroz izmjenjivače topline na primarnoj (okolišnoj) strani, a crpke omogućuju distribuciju morske vode kroz izmjenjivače. Protoci morske vode prilagođavaju se termoenergetskim potrebama objekta, pri čemu prosječni protok iznosi  $592 \text{ m}^3/\text{h}$ , a maksimalni  $860 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Prilikom prolaska kroz sustav, morska voda se ne onečišćuje niti mijenja, ostajući fiziološki, kemijski i mikrobiološki neizmijenjena. Jedini promjenjivi parametar je temperatura, koja varira ovisno o režimu rada, povećavajući se ljeti ili smanjujući zimi za  $1 - 6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Projektni temperaturni režimi sustava morske vode su sljedeći:**

- Režim grijanja (zima):
  - Dovodna temperatura  $\geq 12^{\circ}\text{C}$
  - Povratna temperatura  $7 - 11^{\circ}\text{C}$
- Režim hlađenja (ljetno):
  - Dovodna temperatura  $\leq 24^{\circ}\text{C}$
  - Povratna temperatura  $25 - 30^{\circ}\text{C}$



Slika 5-1. Položaj usisne cijevi (crveno) i položaj 4 ispusta na obalnom zidu (plavo). Zeleno su naselja posidonije. Preuzeto iz Idejnog rješenja za dizalice topline.

Ekstremi dovodne temperature ( $12^{\circ}\text{C}$ ) i povratne temperature ( $30^{\circ}\text{C}$ ) predstavljaju krajnje vrijednosti vezane uz lokaciju i tehnologiju. Veći dio vremena sustav će raditi unutar raspona  $11 - 25^{\circ}\text{C}$ .

**Pozicija usisa i povrata:** Usisna točka nalazi se na udaljenosti od 37 m od obale, na dubini od 6 - 7 m, kako bi se osigurala izotermalnost stupca morske vode. Eventualno odstupanje temperature na usisnoj točki kompenzira se izborom odgovarajuće opreme. Brzina ulaska vode u usisni cjevovod iznosi  $0,24 \text{ m/s}$ , a kroz usisnu rešetku  $0,1 \text{ m/s}$ , što sprječava usisavanje sedimenta ili organizama.

**Povrat vode:** Vraćanje morske vode je gravitacijsko, iz povratne sabirne šahte na kopnu, s tlačnim povratnim cjevovodima u strojarnici koji osiguravaju prolaz vode kroz izmjenjivače topline. Povratna brzina vode na ispusnim otvorima je  $0,1 \text{ m/s}$ , a dubina istjecanja minimalno 1 m ispod najniže kote mora. Morska voda vraća se u okoliš u istim količinama u kojima je i usisana, neutralizirajući utjecaj na količinsku bilancu vode u zahvatu.

Količina morske vode usisana crpkama nakon izmjene topline sa sustavom u istoj se količini vraća u more. Povrat morske vode događa se istovremeno sa usisom morske vode, te je ukupna količinska bilanca u području zahvata neutralna po okoliš.

## 5.2. Opis modela

Utjecaj ljetnog ispuštanja zagrijane morske vode procijenjen je korištenjem numeričkog modela **Effluent** (Lee i sur., 2003., Sævik, 2023.), koji koristi Lagrangeov pristup za simulaciju širenja oblaka ispuštene vode (turbulentni mlazovi i perjanice), uzrokovanih silama momenta i uzgona. Model se često primjenjuje za simulaciju širenja ispuštanja iz dimnjaka, podmorskih ispusta, izvora, termalnih ispusta iz elektrana i sl.

Oblak se dijeli na male računске jedinice - elemente fluida, koji predstavljaju tanke presjeke toka. Svaki se element kreće i širi s oblakom, pri čemu se prate promjene mase, količine gibanja i volumena. U modelu se pretpostavlja da:

- o element fluida nema protok mase kroz poprečne plohe (kreće se s tokom),
- o nema protoka trasera kroz bočne plohe (širi se s oblakom),
- o orijentacija elementa uvijek prati smjer širenja oblaka.

Cilj modela je opisati razrjeđenje, uspon, zakretanje i širenje mlaza pod utjecajem gravitacije i strujanja mora.

Koordinatni sustav poravnat je s osi ispusta. Varijabla  $x$  predstavlja vodoravnu udaljenost od ispusta u smjeru paralelnom s cijevi. Varijabla  $y$  predstavlja vodoravnu udaljenost od ispusta u smjeru neposredno desno od cijevi. Na kraju, varijabla  $z$  označava dubinu ispod morske površine. Brzine oblaka u tim smjerovima su  $u$ ,  $v$  i  $w$ , redom. Položaj središnje linije oblaka i njegova brzina zapisuje se vektorski:

$$\mathbf{x} = xi + yj + zk$$

$$\mathbf{u} = ui + vj + wk$$

Kod presjeka oblaka koristi se top-hat profil, što znači da je pretpostavljena konstantna koncentracija trasera unutar računске jedinice, a nulta koncentraciju izvan nje. Ova aproksimacija je jednostavna i daje ekvivalentne rezultate u odnosu na Gaussovu raspodjelu ako se jednačbe izraze kao prosjeci unutar elementa.

Oblak se širi kako uvlači okolnu vodu zbog razlike brzina između oblaka i ambijentalnog fluida. Širenje se sastoji od tangencijalne i normalne komponente, a formulirano je unutar **stope širenja oblaka**:

$$\frac{dR}{dt} = \beta_t \Delta u_t + \beta_n \Delta u_n$$

gdje su:

- $\beta_t$  - tangencijalni koeficijent uvlačenja
- $\beta_n$  - normalni koeficijent uvlačenja
- $R$  - polumjer elementa
- $\Delta u_t, \Delta u_n$  — razlike brzina oblaka i ambijenta uzduž i okomito na oblak

Promjena mase elementa uzrokovana uvlačenjem okolne vode odnosno **zakon očuvanja mase** može se izraziti kao:

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \rho_a \frac{dV}{dt}$$

gdje su  $\rho$  i  $\rho_a$  gustoće oblaka i ambijenta, a  $V$  volumen elementa.

Promjena horizontalne količine gibanja zbog uvlačenja okolne vode odnosno **očuvanje količine gibanja**:

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho u V)}{dt} &= \rho_a u_a \frac{dV}{dt} \\ \frac{d(\rho v V)}{dt} &= \rho_a v_a \frac{dV}{dt} \end{aligned}$$

gdje je  $u$  brzina u smjeru osi ispusta,  $v$  poprečna brzina s pozitivnim smjerom prema desnoj strani cijevi, a indeks  $a$  označava vrijednosti u okolnom (ambijentalnom) fluidu.

Vertikalna komponenta gibanja pod utjecajem je gravitacije i vrijedi:

$$\frac{d(\rho w V)}{dt} = VK(\rho - \rho_a)g$$

gdje je  $w$  vertikalna brzina (pozitivna prema dolje),  $g$  ubrzanje sile teže, a  $K$  koeficijent dodane mase koji uzima u obzir otpor ambijenta.

Prema jednadžbi kontinuiteta, debljina računске jedinice proporcionalna je brzini u smjeru strujanja. Stoga se volumen elementa može izraziti kao:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{R^2}{R_0^2} \sqrt{\frac{u^2 + v^2 + w^2}{u_0^2 + v_0^2 + w_0^2}}$$

gdje indeks 0 označava početne vrijednosti (pri izvoru). Ovaj izraz također predstavlja omjer razrjeđenja bilo koje tvari koju oblak prenosi.

Diferenciranjem dobivamo ekvivalentnu jednadžbu **očuvanja volumena**:

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = 2 \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} + \frac{u \frac{du}{dt} + v \frac{dv}{dt} + w \frac{dw}{dt}}{u^2 + v^2 + w^2}$$

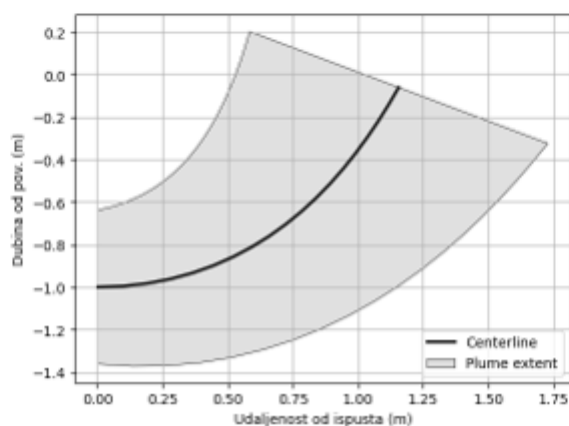
Volumen elementa uvijek bi trebao rasti. Ako izraz iznad postane negativan, to znači da se oblak toliko usporio da pretpostavka o stopi uvlačenja više nije valjana. Drugim riječima, oblak je tada prešao u daleko polje disperzije (*far-field dispersion regime*), te se integracija zaustavlja.

Rješavanjem sustava jednadžbi za pomak, očuvanje količine gibanja, očuvanje mase i stopu širenja oblaka, gdje su  $x$ ,  $u$  i  $r$  primarne varijable **dobivamo vremenski razvoj položaja, brzine i radijusa oblaka**, što omogućuje predviđanje njegove putanje, širenja i razrjeđenja u okolišu.

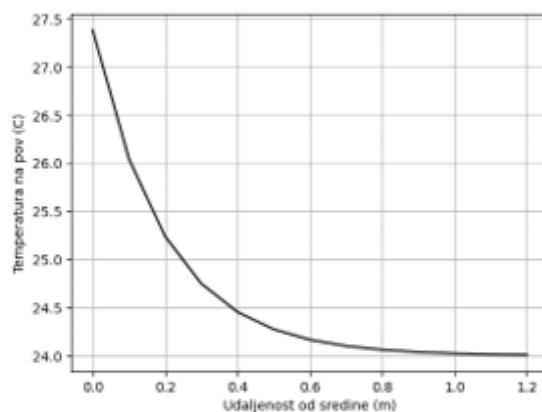
### 5.3. Rezultati modela

U ovoj procjeni, temperatura ispuštene vode postavljena je na 30 °C, dok je temperatura okolnog mora 24 °C.

Geometrija širenja oblaka ispuštene vode iz jednog ispusta prikazana je na Slici 5-2, koja prikazuje doseg i veličinu oblaka. Slika 5-3 prikazuje ovisnost temperature o udaljenosti od središnje linije oblaka ispuštene vode. Na prikazanim slikama vidljivo je da se oblak toplije vode podiže prema površini mora na horizontalnoj udaljenosti od približno 1 m od ispusta, pri čemu temperatura u središtu oblaka na toj udaljenosti iznosi 27,5 °C (Slika 5-3).



Slika 5-2 Geometrija širenja oblaka ispuštene vode iz jednog od četiri ispusta



Slika 5-3 Ovisnost temperature o udaljenosti od sredine

Temperatura oblaka postupno opada na razinu temperature okolnog mora, dostižući 24 °C na maksimalnoj udaljenosti od 1,2 m od ispusta. Već na udaljenosti od 0,5 m od središnje linije oblaka, temperatura se razlikuje samo 0,5 °C u odnosu na temperaturu okolnog mora od 24 °C.

Ovime se pokazuje da je **neposredni temperaturni utjecaj u zoni povrata ograničen na vrlo usko područje oko samog ispusta**, te gotovo trenutno dolazi do izjednačenja temperature oblaka sa okolnom morskom vodom. Ispusti su dovoljno udaljeni jedan od drugog (15 m), tako da ne dolazi do preklapanja oblaka toplije vode.

Usisna šahta te povratni otvori za gravitacijsko istjecanje nalaze se izvan zone prekrivene posidonijom, te se, uzimajući u obzir rezultate numeričkog modela, **utjecaj na livade posidonije u luci ne očekuje**.

## 6. IZVORI PODATAKA

### Projektne podloge:

- Institut za oceanografiju i ribarstvo (2009). Podloge za izradu Studije utjecaja na okoliš „Uređenja turističke zone Prahivac u Cavtatu“
- Idejni građevinski projekt Luka nautičkog turizma „Prahivac“ (2023). Oznaka projekta T.D. 836/2022. Pomgrad inženjering d.o.o.
- Vjetrovna klima za marinu „Prahivac“ (2020). Elaborat.

### Literatura:

- Alkhalidi, M.; Alsulaili, A. Enhancing Marina Sustainability: Water Quality and Flushing Efficiency in Marinas. *J. Mar. Sci. Eng.* 2024, 12, 649. <https://doi.org/10.3390/jmse12040649> (7) (PDF) Enhancing Marina Sustainability: Water Quality and Flushing Efficiency in Marinas.
- Andrade, S., Moffett, J., Correa, J.A. (2006). Distribution of dissolved species and suspended particulate copper in an intertidal ecosystem affected by copper mine tailings in Northern Chile. *Marine Chemistry* 101, 203–212.
- Balls, P. (1988). The control of trace metal concentrations in coastal seawater through partition onto suspended particulate matter. *Netherlands Journal of Sea Research*, 22, 213–218.
- Balls, P. (1989). The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal waters: A compilation of field data and comparison with laboratory studies. *Netherlands Journal of Sea Research* 23, 5–14.
- Cucco, A., Umgiesser, G. (2006). Modeling the Venice Lagoon residence time, *Ecological Modelling*, 193, 34–51.
- Herzl, V.M.C., Millward, G.E., Wollast, R., Achterberg, E.P. (2003). Species of dissolved Cu and Ni and their adsorption kinetics in turbid riverwater. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, 43–52.
- Janeković, I., Kuzmić, M. (2005). Numerical simulation of the Adriatic Sea principal tidal constituents, *Annales Geophysicae*, 23, 3207–3218.
- Lee, J. H. W., and Chu, V. H. (2003). *Turbulent Jets and Plumes - A Lagrangian Approach*. Boston, MA: Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0407-8>.
- Lončar, G., Tudor, M., Beg Paklar, G., Oreščanin, V. (2015). Numerička analiza koncentracije bakra u akvatoriju Puntarskog zaljeva. *Hrvatske vode*, 92, 93–110.
- Sævik, P.N. (2023). Effluent: A Python package for modelling effluent discharge. *Journal of Open Source Software*, 8(89), <https://doi.org/10.21105/joss.05554>.
- Schiff, K., Diehl, D., Valkirs, A. (2004). Copper emissions from antifouling paint on recreational vessels. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 371–377.
- Tudor, M. (2011). Utjecaj na more tijekom korištenja zahvata - poglavlje u Zahtjevu za ocjenu o potrebi PUO za zahvat dogradnja ribarske luke Vela Lamjana.
- Valkirs, A.O., Seligman, P.F., Haslbeck, E., Caso, J.S. (2003). Measurement of copper release rates from antifouling paint under laboratory and in situ conditions: implications for loading estimation to marine water bodies. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 763–779.

- Ytreberg, E., Karlsson, J., Eklund, B. (2010). Comparison of toxicity and release rates of Cu and Zn from anti-fouling paints leached in natural and artificial brackish seawater. *Science of the Total Environment*, 408, 2459–2466.
- Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
- <http://www.izor.hr/azo>

#### Utjecaj antivegetativnih premaza

- Andrade, S., Moffett, J., Correa, J.A. 2006. Distribution of dissolved species and suspended particulate copper in an intertidal ecosystem affected by copper mine tailings in Northern Chile. *Marine Chemistry* 101, 203–212.
- Balls, P. 1989. The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal waters: A compilation of field data and comparison with laboratory studies. *Netherlands Journal of Sea Research* 23, 5-14.
- Balls, P., 1988. The control of trace metal concentrations in coastal seawater through partition onto suspended particulate matter. *Netherlands Journal of Sea Research*, 22, 213-218.
- Eriksen R, Mackey DJ, van Dam R, Nowak B 2001. Copper speciation and toxicity in Macquarie Harbour, Tasmania: an investigation using a copper ion selective electrode. *Marine Chemistry* 74: 99-113.
- Herzl, V.M.C., Millward, G.E., Wollast, R., Achterberg, E.P., 2003. Species of dissolved Cu and Ni and their adsorption kinetics in turbid riverwater. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, 43–52.
- Hall Jr LW, Anderson RD 1999. A deterministic ecological risk assessment for copper in European saltwater environments. *Marine Pollution Bulletin* 38: 207-218.
- Schiff, K., Diehl, D., Valkirs, A., 2004. Copper emissions from antifouling paint on recreational vessels. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 371–377.
- Tudor, M., 2013. Prijedlog modela za raspodjelu bakra u moru u svrhu procjene utjecaja protuobraštajnih boja na morski okoliš, kao prilog Postupku procjene utjecaja na okoliša za zahvat izgradnje sportske luke Podstrana u svojstvu člana stručnog Povjerenstva.
- Valkiris, A.O., Seligman, P. F., Haslbeck, E., Caso, J. S., 2003. Measurement of copper release rates from antifouling paint under laboratory and in situ conditions: implications for loading estimation to marine water bodies. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 763–779.
- Van Hattum, B., A. Baart and J. Boon (2002). Computer model to generate predicted environmental concentrations (PECs) for antifouling products in the marine environment. Report number 2002/E-02-04 / Z 3117. Web-site: [www.cepe.org](http://www.cepe.org); Publications; Antifouling products.
- Ytreberg, E., Karlsson, J., Eklund, B., 2010. Comparison of toxicity and release rates of Cu and Zn from anti-fouling paints leached in natural and artificial brackish seawater. *Science of the Total Environment*, 408, 2459–2466.