

# Osvrt na rješenje luke Krilo s obzirom na svojstva valnog polja i izmjenu mase mora u akvatoriju luke

---

Klarić, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2019

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:114154>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ante Klarić**

**Split, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Ante Klarić**

**Osvrt na rješenje luke Krilo s obzirom na svojstva  
valnog polja i izmjenju mase mora u akvatoriju luke**

**Diplomski rad**

**Split, 2019.**

## **Osvrt na rješenje luke Krilo s obzirom na svojstva valnog polja i izmjenu mase mora u akvatoriju luke**

### ***Sažetak:***

U radu je provedena analiza valnog polja u akvatoriju buduće luke Krilo temeljena na refleksijskim svojstvima obalne konstrukcije. Provedenom analizom utvrđeno je kako je potrebna konceptualna izmjena rješenja luke s ciljem osiguranja valnih visina unutar propisanog intervala. Za predloženo konceptualno rješenje provedena je indikativna analiza izmjene mase mora iz akvatorija luke. Istom je utvrđeno kako je u konačnom rješenju potrebno predvidjeti propuste u tijelu lukobrana.

***Ključne riječi:*** luka Krilo, valno polje, refleksijska svojstva, izmjena mase mora

## **Comment on new Krilo harbour technical design with emphasis on wave features and sea volume exchange**

### ***Abstract:***

This work deals with the analysis of the planned Krilo harbour based on the wave heights field inside the harbour. Variable harbour infrastructure reflection values have been analysed to determine potential solution. Since no appropriate combination of the coastal reflection coefficient have been determined, a new conceptual solution has been designed. Finally, indicative analysis of sea water exchange has been conducted with final recommendation to plan for subsea outlets in final design procedure.

***Keywords:*** *Krilo harbour, wave agitation, construction reflection, sea volume exchange*



*Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Veljku Srziću i komentorici Petri Krnić na pruženoj pomoći i podršci te na razumijevanju i uloženom trudu da ovaj rad zadovolji formu i suštinu. Također se zahvaljujem mojoj zaručnici Tihani i obitelji na potpori koju su mi pružili kroz moje školovanje.*

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: Ante Klarić  
BROJ INDEKSA: 658  
KATEDRA: **Katedra za privrednu hidrotehniku**  
PREDMET: Obalno inženjerstvo

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Osvrt na rješenje luke Krilo s obzirom na svojstva valnog polja i izmjenu mase mora u akvatoriju luke

Opis zadatka: Od kandidata se očekuje:

- Prikupiti i analizirati tehničko rješenje nove luke Krilo;
- Izraditi vjetrovalnu klimu za predmetni akvatorij s definicijom dubokovodnih valnih parametara;
- Postaviti i implementirati geometriju te rubne uvjete u software-u CGWAVE;
- Provesti analizu valnog polja u akvatoriju luke za varijabilne tipove obalne konstrukcije s obzirom na refleksijska svojstva;
- Ukoliko se utvrdi neprikladnost rješenje, potrebno je predložiti novi koncept;
- Indikativno provesti analizu izmjene mase mora i predložiti eventualnu potrebu izrade propusta u daljnjim fazama projektne dokumentacije.

U Splitu, 12.03.2019.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc.dr.sc. Veljko Srzić

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Doc. dr. sc. Ivo Andrić

# S a d r Ź a j

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PRIJEDLOG RJEŠENJA NOVOPLANIRANE LUKE KRILO IZ UPU-A OPĆINE DUGI RAT .....</b>	<b>4</b>
2.1. Infrastruktura .....	9
<b>3. VJETROVALNE KARAKTERISTIKE NA LOKACIJI OBUHVATA .....</b>	<b>11</b>
3.1. Privjetrišta .....	14
3.2. Parametri dubokovodnog vala.....	21
3.3. Dugoročna prognoza.....	25
3.3.1. Gumbelova distribucija .....	26
3.3.2. Pareto distribucija .....	27
<b>4. SVOJSTVA VALNOG POLJA U PODRUČJU OBUHVATA .....</b>	<b>42</b>
4.1. Prikaz rezultata za simulacije karakteristične u području obuhvata .....	43
4.2. Prijedlog rješenja planirane luke Krilo .....	75
<b>5. EKOLOŠKO DIMENZIONIRANJE .....</b>	<b>80</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>88</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>89</b>

## 1.UVOD

U luci Krilo na vezu su turistički brodovi u vlasništvu članova Hrvatske udruge privatnih brodara koji u ljetnim mjesecima prevoze turiste na rutama srednjeg i južnog Jadrana. Iznimna atraktivnost i popularnost ovakve turističke ponude rezultira stalnim povećanjem broja brodova jer ih se svake godine izgradi desetak zbog povećanog interesa i većeg broja turista. U postojeću luku Krilo već danas bi se trebalo smjestiti 120 brodova, koliko ih je trenutno u vlasništvu članova HUPB. Planirana luka će nakon uređenja moći primiti oko 70 brodova te je već sad upitan smještaj za 50 brodova. Uzevši u obzir povećanje broja brodova proširenja luke planira se za vez 120 brodova većeg gabarita. Sadašnja luka smještena u centru mjesta nije dovoljna za prihvat svih brodova te je potrebno pronaći rješenje za njihov siguran vez (Slika 1.) [1].



*Slika 1. Popunjenost luke Krilo u zimskom periodu*

U počecima ti brodovi bili su drveni i veličine do dvadesetak metara (Slika 2.).



*Slika 2. Motorni brod drvene konstrukcije „Sagena“*

Danas se grade željezni brodovi do 50 metara (Slika 3.).



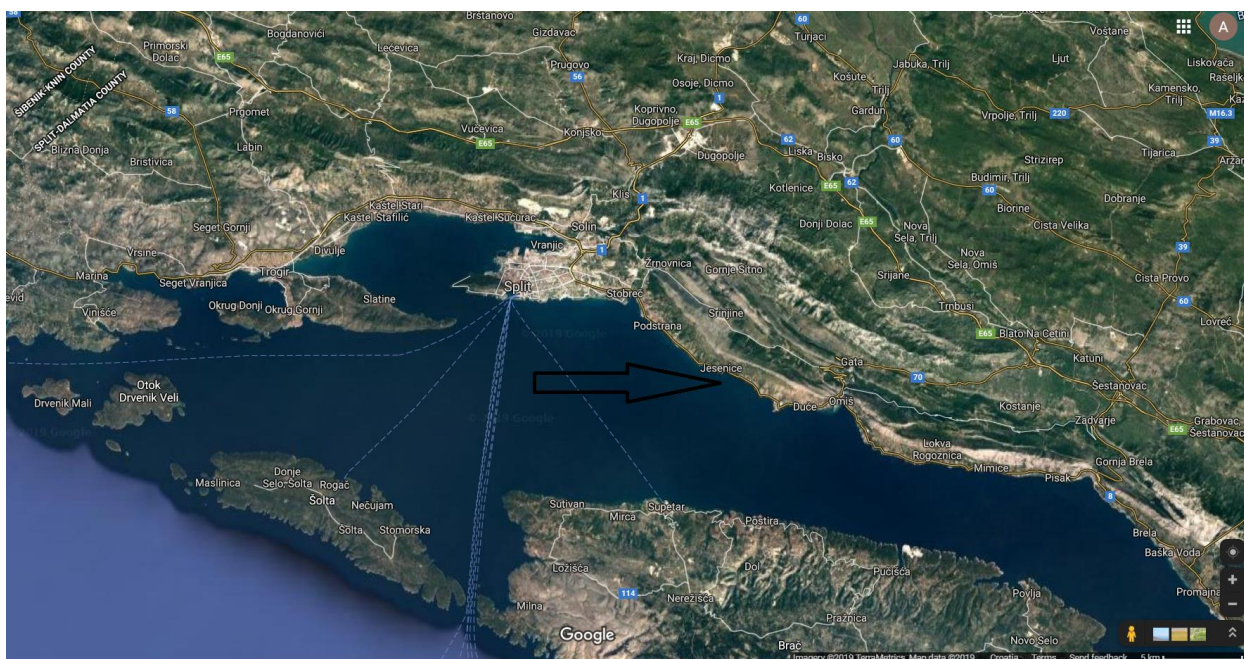
*Slika 3. Moderni brodovi*



Područje obuhvata za lukobran obalni je potez dijela naselja Jesenice u općini Dugi Rat, točnije jugoistočno od mjesta s dugogodišnjom tradicijom u pomorstvu – Krilo Jesenice (Slika 4. i 5.).



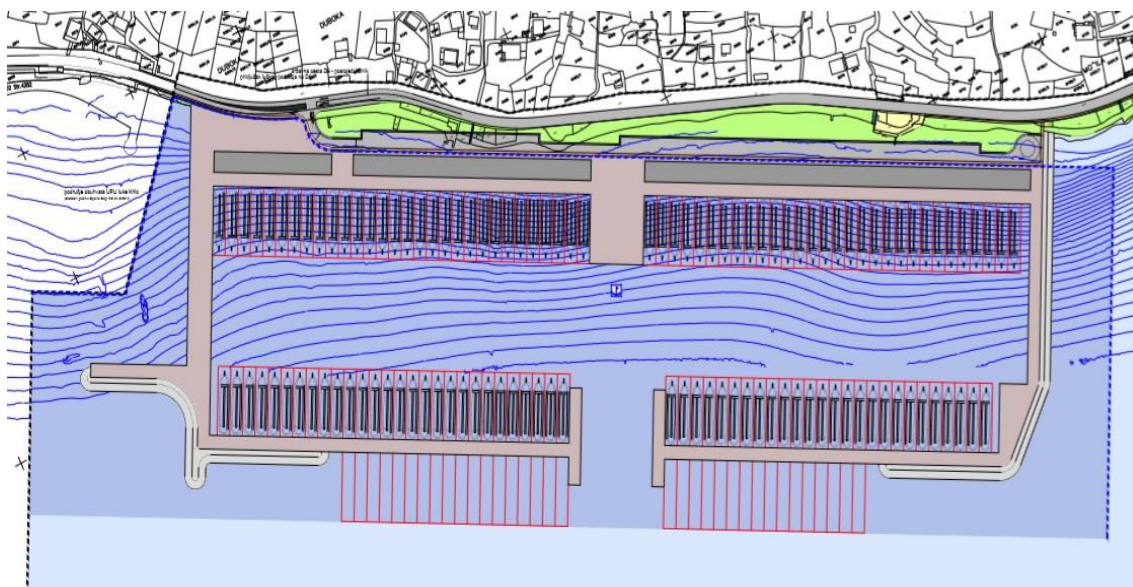
*Slika 4. Geografski položaj planirane luke na makro skali*



*Slika 5. Geografski položaj planirane luke na mikro skali*

## 2. PRIJEDLOG RJEŠENJA NOVOPLANIRANE LUKE KRILO IZ UPU-A OPĆINE DUGI RAT

Jedno od mogućih rješenja je gradnja nove luke otvorene za javni promet jugoistočno od postojeće koja se nalazi uz državnu cestu D8 odnosno Jadransku magistralu (dalje u tekstu: magistrala) na potezu između Splita i Omiša (Slika 6.).



*Slika 6. Planirana nova luka Kriilo Jesenice*

Akvatorij luke štiti se bočnim lukobranima i glavnim lukobranom. Uz akvatorij planirana je operativna obala u širini 50 m na kojoj će se moći graditi građevine u funkciji luke. Uz operativnu obalu planirana je pješačka staza koja se nadovezuje na obalnu šetnicu na istoku i zapadu. Uz šetnicu planirana je prometnica za pristup do lučkog područja. U zapadnom dijelu obuhvata planiran je priključak nove prometnice na državnu cestu D8. Rješenje luke je jednostavno i funkcionalno, a njenim uređenjem konačno će se riješiti dugogodišnji problemi Hrvatske udruge privatnih brodara i osigurati prostor za smještaj svih postojećih ali i novih brodova.

Planirani gabariti luke su:

- obalni zid planiran je na udaljenosti cca 25.00 do 50.00 m od postojeće obalne crte
- akvatorij luke je duljine 680.00 m u smjeru paralelnom s obalom, te 180.00m u smjeru okomitom na obalu



- zapadni lukobran je širine 20.00 m, južni i sjeverni lukobrani su širine 10.00 m
- pozicija nasipa na morskom dnu ovisi o tehničkom rješenju gradnje lukobrana; uz primjenu standardnog rješenja zidanog lukobrana na kamenom nasipu s pokosom 1:2 nožica nasipa se nalazi na cca 30.00 m do 35.00 m od vanjske linije lukobrana.

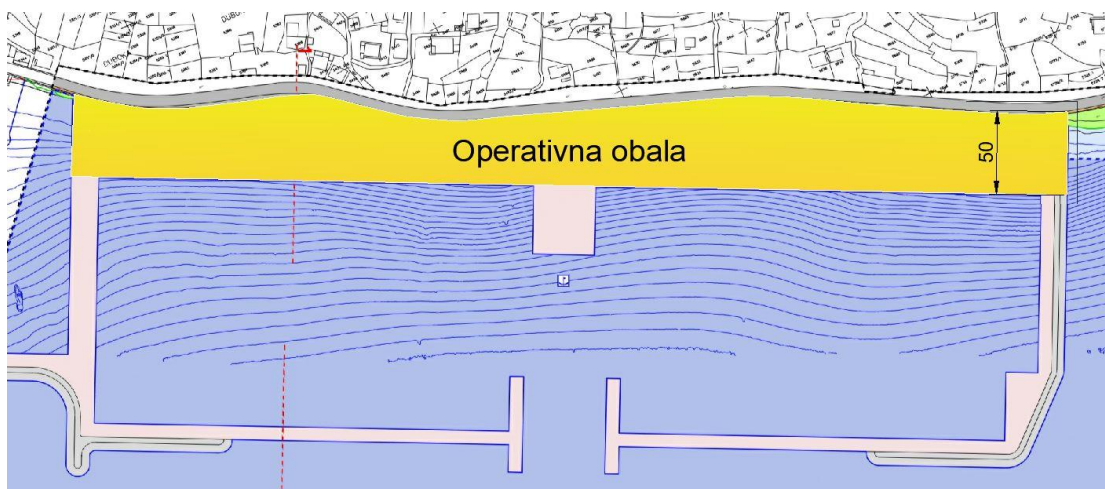
Obala na kojoj se planira izgradnja luke uglavnom je neizgrađena i neuređena te se na njoj nalaze samo dvije građevine od kojih je jedna stambene namjene. Telekomunikacijska, vodovodna i elektroenergetska mreža izgrađena je u zemljišnom pojasu magistrale, a plinovodna i mreža odvodnje otpadnih voda nisu izgrađene. Na tom uskom obalnom potezu, u neposrednoj blizini same magistrale, nalaze se plaže koje nemaju valjani pristup za njihovo korištenje. Kota nivelete magistrale je 4.50 m n. m. Na toj dionici cesta prati obalnu liniju, koja je izgrađena uz potporni kameni zid koji se nalazi na samoj obali (Slika 7.).



*Slika 7. Magistrala*

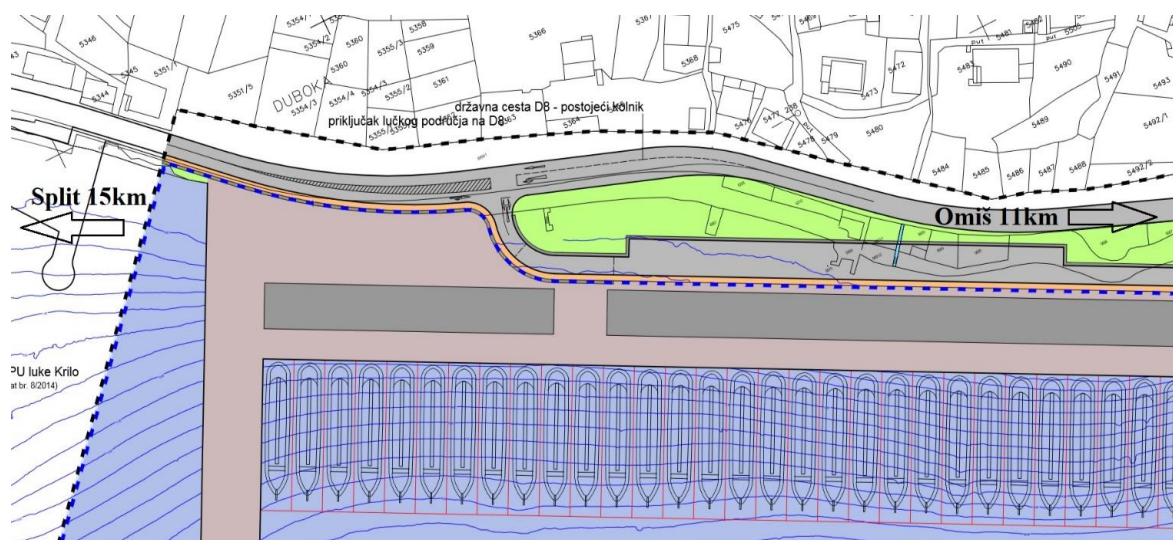


Uz magistralu u novoj luci planirana je operativna obala od otprilike 50.00 m okomito na obalnu liniju na kojoj će biti moguće graditi građevine koje su pod urbanističkim planom općine Dugi rat (Slika 8.).



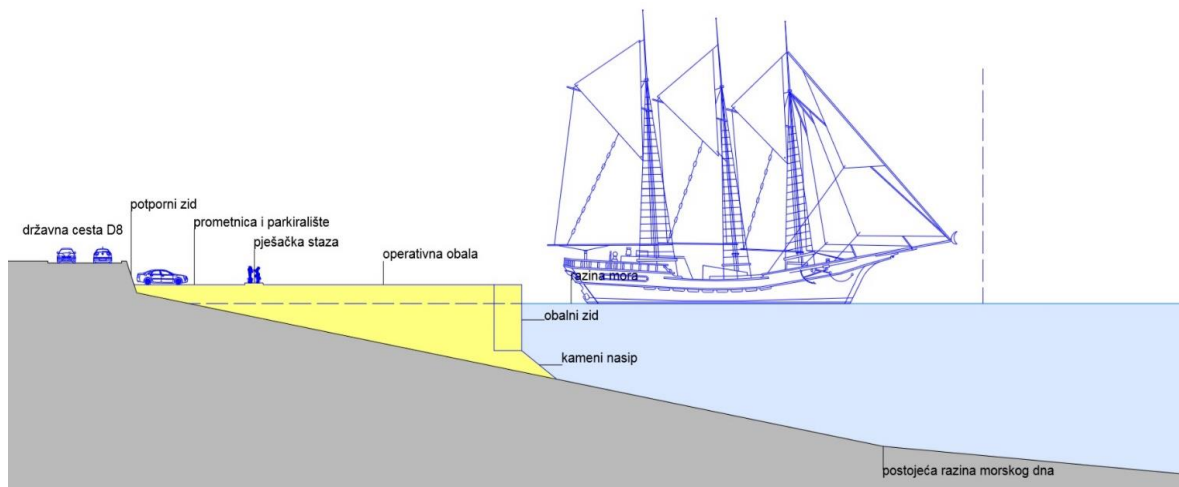
*Slika 8. Prikaz operativne obale*

U odnosu na magistralu operativna obala bit će upuštena za otprilike 3.00 m. Luka je priključena na magistralu na sjevernom dijelu za smjer iz Splita, a na mjestu priključka nove lučne prometnice kolnik magistrale proširuje se radi izgradnje trake za desno skretanje (Slika 8.1.). Planirana je i izgradnja potpornog zida koji omogućuje da se prilazni trak u nagibu od 7 % spusti sa kote otprilike 4.50 m n. m. na razinu obalnog pojasa tj. na kotu 1.50 m n. m.



*Slika 8.1. Priključak lučne prometnice na magistralu*

Obalni zid planiran je na udaljenosti od otprilike 25.00 do 50.00 metara od postojeće obalne crte (Slika 9.).



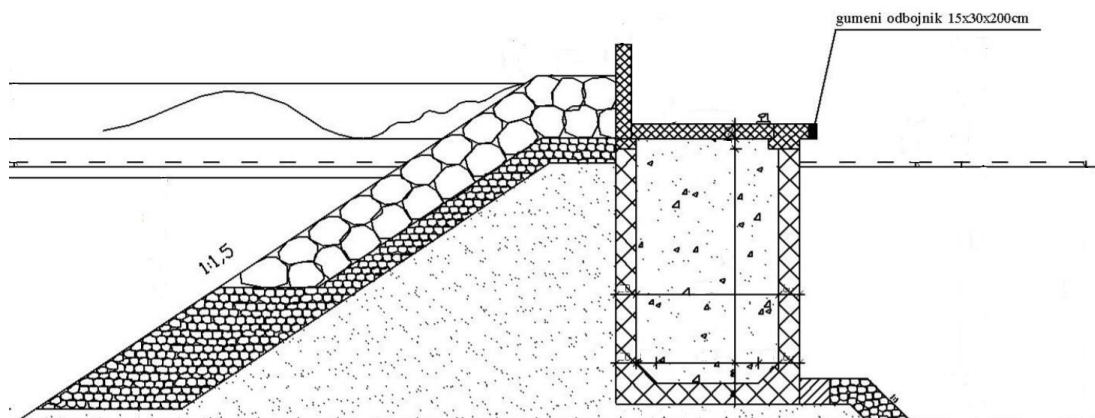
Slika 9. Presjek dijela planirane luke

S obzirom na praksu izvođenja luka na Jadranu, a posebno uzimajući u obzir kategoriju plovila koja su planirana za privez unutar predmetne luke, može se reći kako je u pogledu ostvarenih dubina unutar akvatorija luke, luka izrazito duboka što za sobom povlači specifične karakteristike tehničkog rješenja i izvođenja (Slika 10.).



Slika 10. Batimetrija područja lukobrana [9]

Akvatorij luke štiti se bočnim i glavnim lukobranima, a u središtu akvatorija nalazi se gat koji je priključen operativnoj obali. Unutarnja strana lukobrana planirana je kao AB vertikalni zid. Širina bočnog (zapadnog) lukobrana je 20 m, a glavni (južni) i bočni (istočni) lukobran širok je 10 m. Zapadni lukobran ima pero koje omogućava siguran vez broda bez ulaska u luku, pogodno za smjenu gostiju ili za ukrcaj na izletničke brodove. Na spoju između glavnog i zapadnog lukobrana s vanjske strane je kamena školjera koja se proteže do trećine glavnog lukobrana, a u nastavku je AB vertikalni zid (Slika 11.). Istočni lukobran je u cijelosti s vanjske strane zaštićen školjerom. Spoj istočnog i južnog lukobrana projektiran je sa dva loma, također s vanjske strane zaštita od propinjanja vala je kamena školjera, dok je s unutarnje strane planirano proširenje (plato) za jednostavniji vez. Ulaz u akvatorij luke je širine 60 metara. Ulaz štite dva kraća AB lukobrana položena okomito na glavni lukobran.

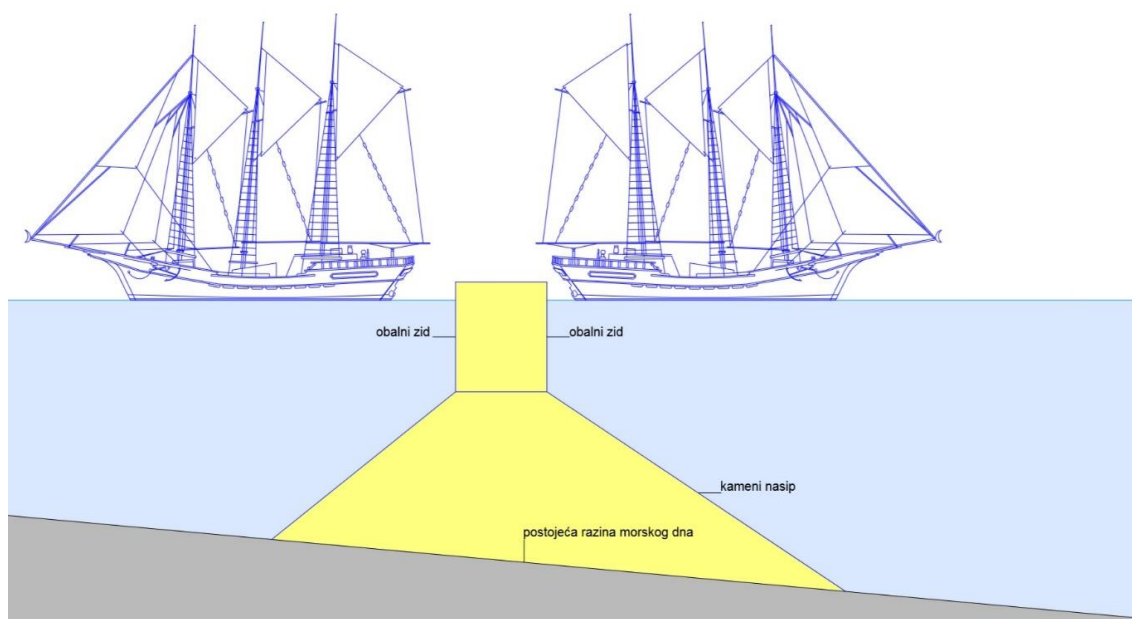


*Slika 11. Presjek lukobrana s vanjskom školjerom*

Lukobran je kombinacija kamena i betona. Kamena školjera nalazi se na pojedinim vanjskim stranicama lukobrana dok je s unutarnje strane AB vertikalni zid do dubine od 8 metara nakon čega počinje nasip do samog dna. Nasipni dio izvodi se od sitnijeg kamenog materijala, a obloga pokosa od krupnih kamenih blokova mase do 500 kg. Obalni zid izvodi se od prefabriciranih armirano betonskih elemenata.

Pozicija nasipa na morskom dnu ovisi o tehničkom rješenju gradnje lukobrana. Uz primjenu standardnog rješenja zidanog lukobrana na kamenom nasipu s pokosom 1:1,5 s obzirom da je dubina na mjestu planiranog lukobrana do 32.00 metra i s određenim nagibom dolazimo do zaključka da bi se nožica nasipa nalazila na otprilike 48 metara od vanjske linije lukobrana (Slika 12.). Površina zahvata iznosila bi otprilike 20 hektara dok bi površina akvatorija luke iznosila otprilike 12 hektara.





**Slika 12.** Poprečni presjek vanjskog lukobrana

Na operativnu obalu nadovezuje se pješačka staza koja se spaja na obalnu šetnicu s istoka i zapada. Pješačka staza prvotno je osmišljena kao prevencija od urušavanja magistrale na pojedinim mjestima duž Jesenica do koje dolazi zbog starosti, ali i zbog agresivnog djelovanja mora na stare kamene potporne zidove.

## 2.1. Infrastruktura

Telekomunikacijska mreža izgrađena je u zemljišnom pojasu državne ceste D8 te se ovim planom ne predviđaju novi koridori za gradnju iste. Za interpolaciju osnovnih postaja pokretnih komunikacija mogu se koristiti krovni antenski prihvatili uz primjenu odgovarajućih maskirnih rješenja.

Elektroenergetska mreža izgrađena je u zemljišnom pojasu državne ceste D8. U obuhvatu plana planirana je izgradnja javne rasvjete uz šetnicu i prometnicu te je u tu svrhu u zemljišnom pojasu planirane prometnice za elektroenergetsku mrežu i javnu rasvjetu rezerviran pojas širine 1.00 m. Planom je predviđena izgradnja nove trafostanice u lučkom području.

Za gradnju plinovodne mreže rezerviran je pojas širine 1.00 m u zemljišnom pojasu državne ceste D8.

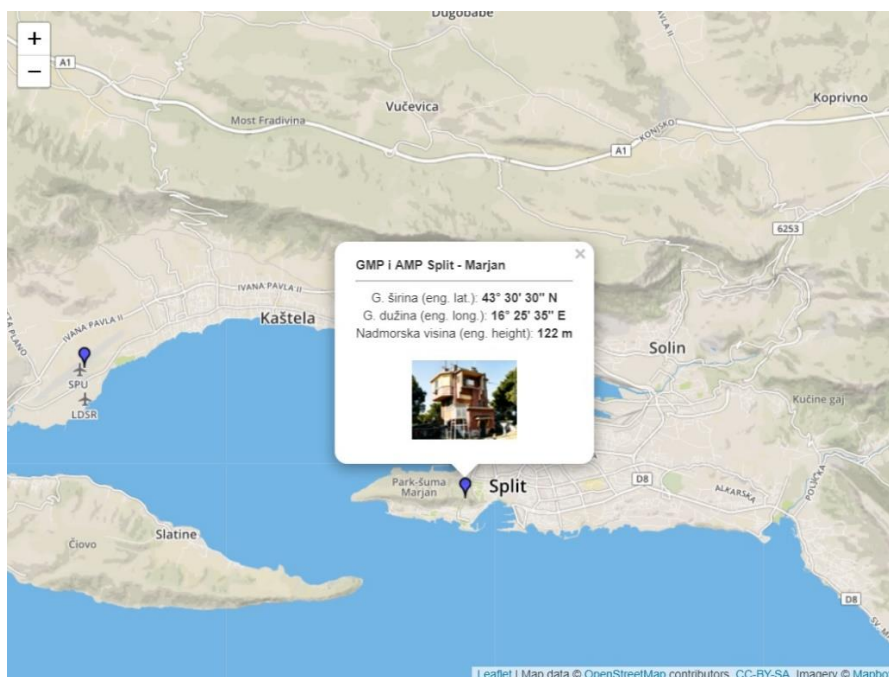
Vodovodna mreža izgrađena je u zemljišnom pojasu državne ceste D8. U zemljišnom pojasu planirane prometnice rezerviran je pojas širine 1.00 m u kojem se može graditi vodovodna mreža

za planirane sadržaje (tuševi, montažni plažni ugostiteljski objekti i slično). Vodovodna mreža osim sanitarne vode propisane kvalitete treba osigurati i protupožarnu vodu i u tu svrhu treba izgraditi odgovarajuću mrežu vanjskih nadzemnih hidranata, sukladno Pravilniku o tehničkim normativima za hidrantsku mrežu za gašenje požara.

Na području obuhvata planiran je razdjelni sustav odvodnje. Otpadne vode iz postojećih i planiranih građevina odvodit će se u sustav javne odvodnje otpadnih voda putem kolektora čija je gradnja planirana u zmljišnom pojasu državne ceste. Oborinske vode sa kolnih površina odvodit će se u more uz prethodnu separaciju ulja i masti [1].

### 3. VJETROVALNE KARAKTERISTIKE NA LOKACIJI OBUHVATA

Podloga na temelju koje se obrađuju podaci dobivena je od Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske. Podaci su sa mjerne postaje Split – Marjan okružene gustom borovom šumom koja se nalazi vrhu brda Marjan, točnije na 122 m n. m. (Slika 13.)



*Slika 13. Položaj glavne meteorološke postaje Split – Marjan*

Vremensko razdoblje je od 01. 01. 2000. do 01. 01. 2010. Podaci su karakteristični po tome što nema uvida u vjetrovne događaje za ostvarenja vjetra manje od 5,60 m/s odnosno 4 Bf, a skaliranje brzina nije izvršeno.

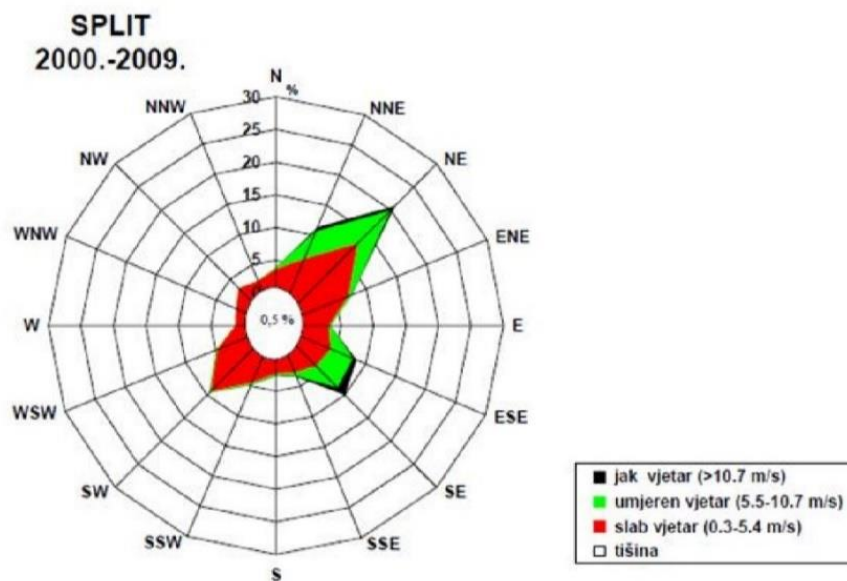
Rapoloživi podaci prikazuju se u tablicama kontigencije (Tablice 1. i 2.) koje sadrže podatke o broju vjetrovnih događaja za pojedini smjer puhanja i razred brzine vjetra, a na Slici 14. prikazane su učestalost i jačine za pojedine smjerove vjetra.

Tablica 1. Absolutna tablica kontigencije

ABSOLUTNA TABLICA KONTIGENCIJE														
Jačina (Bf)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ZBROJ
V (m/s)	0,0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	24,5-28,4	28,5-32,6	32,7-36,9	
N	0	0	0	0	170	54	13	1	0	0	0	0	0	238
NNE	0	0	0	0	2193	1648	563	104	19	10	0	0	0	4537
NE	0	0	0	0	3645	2453	678	172	49	5	2	0	0	7004
ENE	0	0	0	0	391	118	15	3	0	0	0	0	0	527
E	0	0	0	0	210	15	1	2	0	0	0	0	0	228
ESE	0	0	0	0	1902	1248	490	94	1	0	0	0	0	3735
SE	0	0	0	0	1919	2084	1142	294	29	0	0	0	0	5468
SSE	0	0	0	0	227	220	158	42	5	0	0	0	0	652
S	0	0	0	0	115	101	72	43	1	0	0	0	0	332
SSW	0	0	0	0	151	110	56	20	2	0	0	0	0	339
SW	0	0	0	0	219	25	10	1	0	0	0	0	0	255
WSW	0	0	0	0	143	2	0	0	0	0	0	0	0	145
W	0	0	0	0	16	1	0	0	0	0	0	0	0	17
WNW	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5
NW	0	0	0	0	31	3	2	0	0	0	0	0	0	36
NNW	0	0	0	0	45	8	0	0	0	0	0	0	0	53
C (tišina)	24849	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24849
ZBROJ	24849	0	0	0	11381	8091	3200	776	106	15	2	0	0	48420

Tablica 2. Relativna tablica kontigencije

RELATIVNA TABLICA KONTIGENCIJE														
Jačina (Bf)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ZBROJ
V (m/s)	0,0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,6-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	24,5-28,4	28,5-32,6	32,7-36,9	
N					3,51	1,12	0,27	0,03						7,01
NNE					45,29	34,04	11,63	2,15	0,39	0,21				93,70
NE					75,28	50,66	14,00	3,55	1,01	0,10	0,04			144,65
ENE					8,08	2,44	0,31	0,06						10,88
E					4,34	0,31	0,02	0,04						4,71
ESE					39,28	25,77	10,12	1,94	0,02					77,14
SE					39,63	43,04	23,59	6,07	0,60					112,93
SSE					4,69	4,54	3,26	0,87	0,10					13,47
S					2,38	2,09	1,49	0,89	0,02					6,86
SSW					3,12	2,27	1,16	0,41	0,04					7,00
SW					4,52	0,52	0,21	0,02						5,27
WSW					2,95	0,04								2,99
W					0,33	0,02								0,35
WNW					0,08	0,02								0,10
NW					0,64	0,06	0,04							0,74
NNW					0,93	0,17								1,09
C (tišina)	513,19													513,19
ZBROJ	513,19				235,05	167,10	66,09	16,04	2,19	0,31	0,04			1000,00



*Slika 14. Ruža vjetrova na mjernoj postaji Split-Marjan za odabrano razdoblje*

Mjerodavni smjerovi vjetra za planiranu luku su SE (Jugo), SSE, S (Oštro), SSW, SW (Lebić), SWS, W (Pulenat) te je za navedene smjerove napravljen proračun privjetrišta (Slika 15.-20. i Tablica 4.-9.).



### 3.1. Privjetrišta

Privjetrište predstavlja dužinu otvorenog morskog područja na kojem vjetar prenosi svoj utjecaj, a definiran je položajem obalne linije kao i lokacijom za koju vršimo projektiranje.

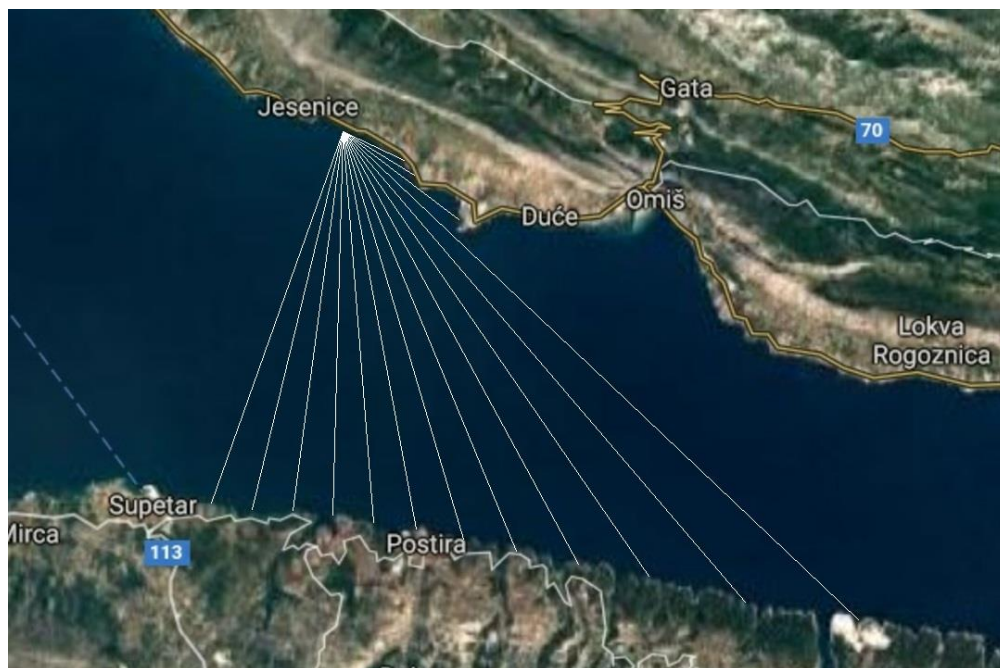
Postoji više metoda i modela za definiranje dužine privjetrišta. U ovom radu odabrana je Modificirana Saville-ova metoda. Ona se temelji na pretpostavci da širina doprinosa vjetra u prijenosu energije iznosi +/- 42°. Postavi se glavna zraka u smjeru puhanja vjetra, zatim se rotacijom od 6° u smjeru kazaljke na satu (do -42°) i suprotno od smjera kazaljke na satu (do +42°) postavljaju pravci kroz istu ishodišnu točku. Određuju se duljine svake zrake od ishodišta do prve točke prepreke te se proračunava suma njihovih projekcija na centralnu zraku. Ta suma se dijeli sa sumom kosinusa kuteva centralne zrake i ostalih rotiranih zraka, čime se dobiva vrijednost duljine efektivnog privjetrišta [2].

$$F_{EFF} = \frac{\sum_{i=1}^{15} f_i \times \cos^2 \theta_i}{\sum_{i=1}^{15} \cos \theta_i}$$

$F_{EFF}$ = efektivno privjetrište (km)

$\theta_i$ = kut odklona zrake vala u odnosu na zraku smjera za koji se izračunava efektivno privjetrište (°)

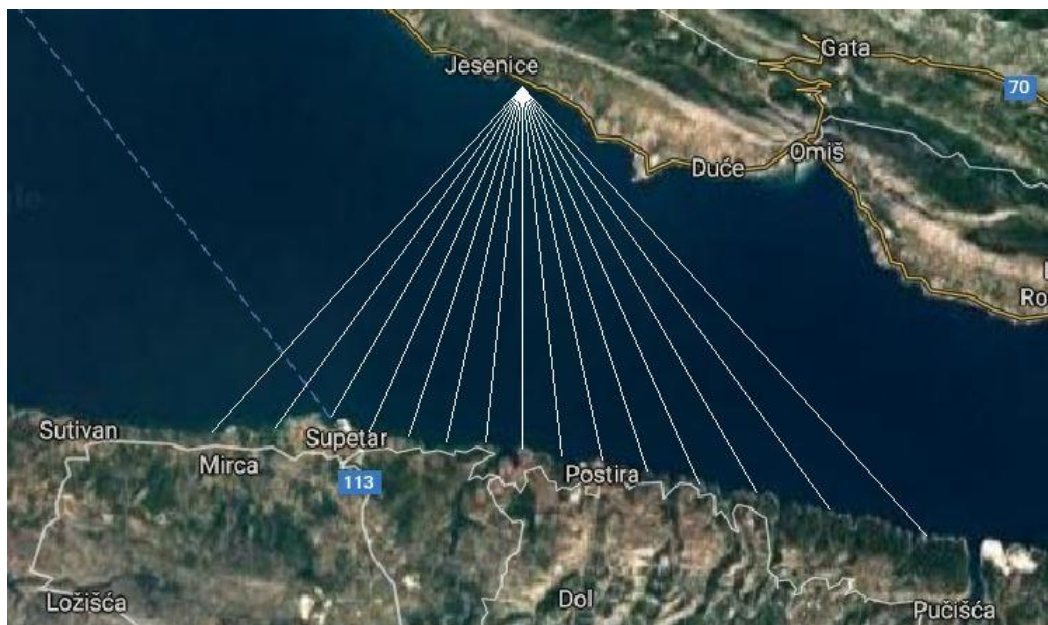
$f_i$ = duljina privjetrišta zrake otklonjene za kut  $\theta_i$



Slika 15. Privjetrište za SSE smjer vjetra

Tablica 4. Proračun efektivnog privjetrišta za smjer vjetra SSE

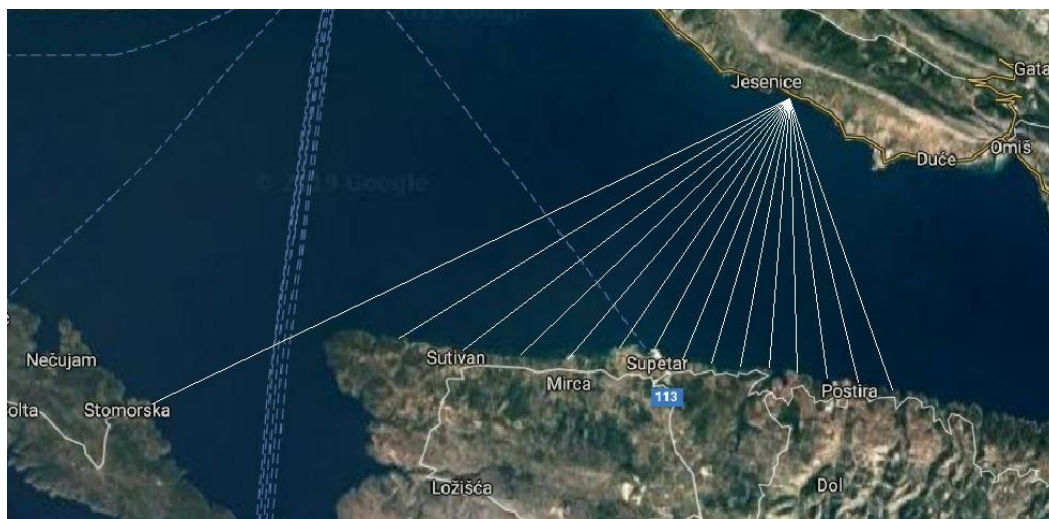
Kut (°)	fi (km)	cos (α)	fi*cos <sup>2</sup> (α)
42,00	1,50	0,74	0,83
36,00	1,84	0,81	1,21
30,00	3,22	0,87	2,42
24,00	15,69	0,91	13,09
18,00	13,67	0,95	12,37
12,00	11,92	0,98	11,41
6,00	10,88	0,99	10,76
0,00	10,04	1,00	10,04
-6,00	9,39	0,99	9,29
-12,00	8,93	0,98	8,54
-18,00	8,67	0,95	7,84
-24,00	8,49	0,91	7,08
-30,00	8,44	0,87	6,33
-36,00	8,59	0,81	5,62
-42,00	8,71	0,74	4,81
	Σ=	13,51	111,64
	Feff (km)	8,26	



*Slika 16. Privjetrište za S smjer vjetra*

*Tablica 5. Proračun efektivnog privjetrišta za smjer vjetra S*

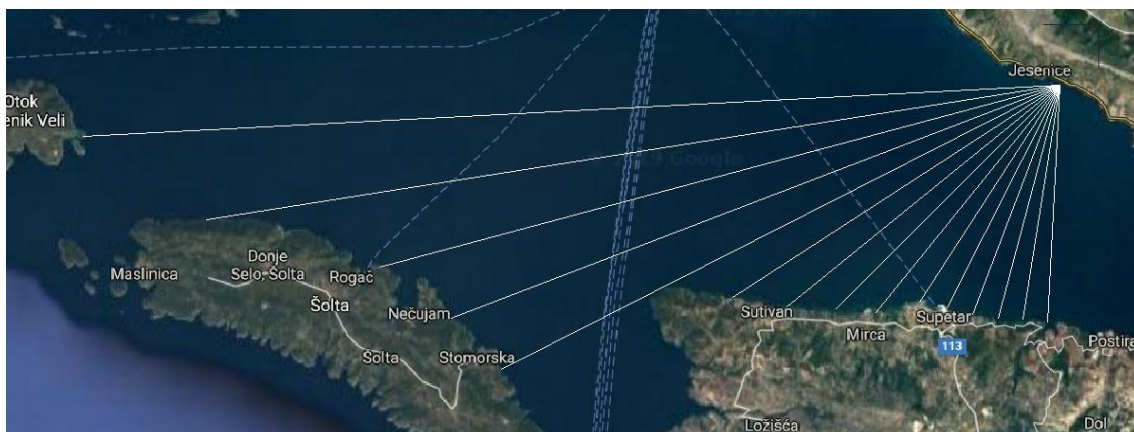
Kut (°)	$f_i$ (km)	$\cos(\alpha)$	$f_i \cdot \cos^2(\alpha)$
42,00	14,22	0,74	7,85
36,00	12,31	0,81	8,05
30,00	11,04	0,87	8,28
24,00	10,25	0,91	8,56
18,00	9,52	0,95	8,61
12,00	9,00	0,98	8,61
6,00	8,73	0,99	8,64
0,00	8,53	1,00	8,53
-6,00	8,42	0,99	8,33
-12,00	8,56	0,98	8,19
-18,00	8,66	0,95	7,83
-24,00	8,92	0,91	7,44
-30,00	8,99	0,87	6,74
-36,00	9,95	0,81	6,51
-42,00	10,92	0,74	6,03
	$\Sigma=$	13,51	118,19
	<b>Feff (km)</b>	<b>8,75</b>	



*Slika 17. Privjetrište za SSW smjer vjetra*

*Tablica 6. Proračun efektivnog privjetrišta za smjer vjetra SSW*

Kut (°)	fi (km)	cos (α)	fi*cos <sup>2</sup> (α)
42,00	9,66	0,74	5,34
36,00	9,12	0,81	5,97
30,00	8,80	0,87	6,60
24,00	8,57	0,91	7,15
18,00	8,44	0,95	7,63
12,00	8,51	0,98	8,14
6,00	8,63	0,99	8,54
0,00	8,84	1,00	8,84
-6,00	8,88	0,99	8,78
-12,00	9,47	0,98	9,06
-18,00	10,71	0,95	9,69
-24,00	11,62	0,91	9,70
-30,00	12,93	0,87	9,70
-36,00	14,39	0,81	9,42
-42,00	22,19	0,74	12,26
	Σ=	13,51	126,80
	<b>Feff (km)</b>	<b>9,39</b>	

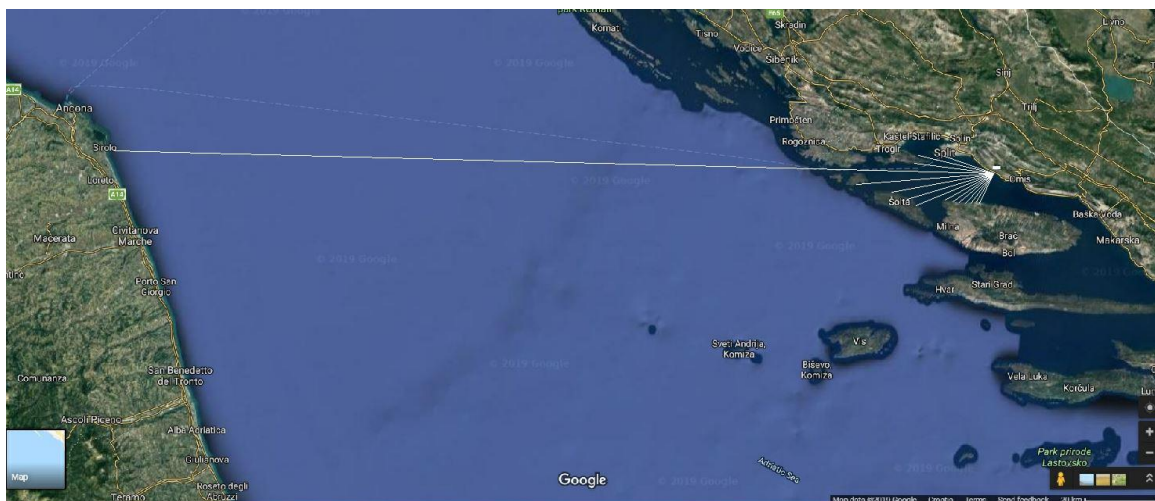


*Slika 18. Privjetrište za SW smjer vjetra*

*Tablica 7. Proračun efektivnog privjetrišta za smjer vjetra SW*

Kut (°)	$f_i$ (km)	$\cos(\alpha)$	$f_i \cdot \cos^2(\alpha)$
42,00	8,46	0,74	4,67
36,00	8,47	0,81	5,55
30,00	8,61	0,87	6,46
24,00	8,77	0,91	7,32
18,00	8,91	0,95	8,06
12,00	9,24	0,98	8,84
6,00	10,44	0,99	10,32
0,00	11,31	1,00	11,31
-6,00	12,56	0,99	12,43
-12,00	13,91	0,98	13,31
-18,00	22,36	0,95	20,23
-24,00	23,27	0,91	19,42
-30,00	25,12	0,87	18,84
-36,00	30,81	0,81	20,17
-42,00	34,87	0,74	19,26
	$\Sigma=$	13,51	186,17
	<b>Feff (km)</b>	<b>13,78</b>	

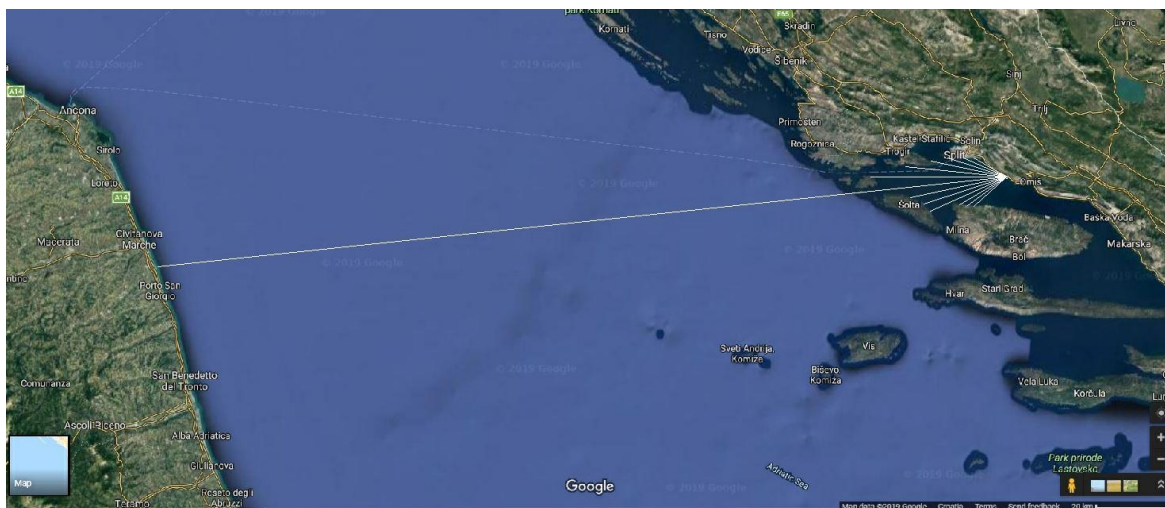




Slika 19. Privjetrište za WSW smjer vjetra

Tablica 8. Proračun efektivnog privjetrišta za smjer vjetra WSW

Kut (°)	fi (km)	cos (α)	fi*cos <sup>2</sup> (α)
42,00	8,97	0,74	4,95
36,00	9,10	0,81	5,96
30,00	10,18	0,87	7,64
24,00	11,11	0,91	9,27
18,00	12,31	0,95	11,14
12,00	13,59	0,98	13,00
6,00	15,23	0,99	15,06
0,00	23,00	1,00	23,00
-6,00	24,65	0,99	24,38
-12,00	28,29	0,98	27,07
-18,00	37,67	0,95	34,07
-24,00	241,05	0,91	201,17
-30,00	21,84	0,87	16,38
-36,00	21,20	0,81	13,87
-42,00	14,26	0,74	7,87
	Σ=	13,51	414,82
	<b>Feff (km)</b>	<b>30,70</b>	



Slika 19. Privjetrište za W smjer vjetra

Tablica 9. Proračun efektivnog privjetrišta za smjer vjetra W

Kut (°)	fi (km)	cos (α)	fi*cos <sup>2</sup> (α)
42,00	11,95	0,74	6,60
36,00	13,22	0,81	8,65
30,00	14,82	0,87	11,12
24,00	22,71	0,91	18,95
18,00	23,52	0,95	21,28
12,00	26,71	0,98	25,55
6,00	231,07	0,99	228,54
0,00	36,98	1,00	36,98
-6,00	27,51	0,99	27,21
-12,00	20,96	0,98	20,06
-18,00	16,72	0,95	15,13
-24,00	12,71	0,91	10,60
-30,00	10,34	0,87	7,75
-36,00	1,20	0,81	0,79
-42,00	0,60	0,74	0,33
	Σ=	13,51	439,54
	<b>Feff (km)</b>	<b>32,53</b>	

### 3.2. Parametri dubokovodnog vala

Prvi korak u određivanju parametara dubokovodnog vala je provjera stanja potpuno razvijenog mora.

Takvo stanje znači da pri povećanju brzine vjetra ili trajanja puhanja neće doći do promjene parametara vala. Ako se utvrdi da je došlo do tog stanja koristi se Groen-Dorrenstein nomogram na osnovu duljine privjetrišta i brzine puhanja vjetra.

Provjeru stanja potpuno razvijenog mora vršimo s Goda-inom metodom [6].

$$t_{min} = X^{0.73} \times U^{-0.46}$$

$$X_{min} = t^{1.37} \times U^{0.63}$$

$t_{min}$  = minimalno vrijeme puhanja vjetra [h]

X = duljina privjetrišta [km]

U = brzina vjetra [m/s]

T = stvarno vrijeme puhanja vjetra [h]

Kod Goda-ine metode potrebno je paziti na mjerne jedinice te je njena prednost što je izračun nešto jednostavniji, a ne odstupa previše od rješenja s Wilsonov-om metodom.

Nakon provjere stanja potpuno razvijenog mora postoje dva uvjeta za određivanje značajne valne visine i perioda dubokovodnog vala.

Prvi uvjet je „**val ograničen trajanjem puhanja**“ (**duration limited wave**)

Vrijedi kada je vrijeme puhanja kraće od minimalnog potrebnog, odnosno kada se ukupna energija koju generira vjetar ne može prenijeti na otvoreno more ograničeno efektivnim privjetrištem. Za mjerodavnu duljinu privjetrišta kada se postiže stanje potpuno razvijenog mora usvaja minimalna potrebna duljina:

$$t < t_{min} \rightarrow X(F) = X_{MIN}(F_{MIN})$$



**Drugi uvjet je „val ograničen duljinom privjetrišta“ (fetch limited wave)**

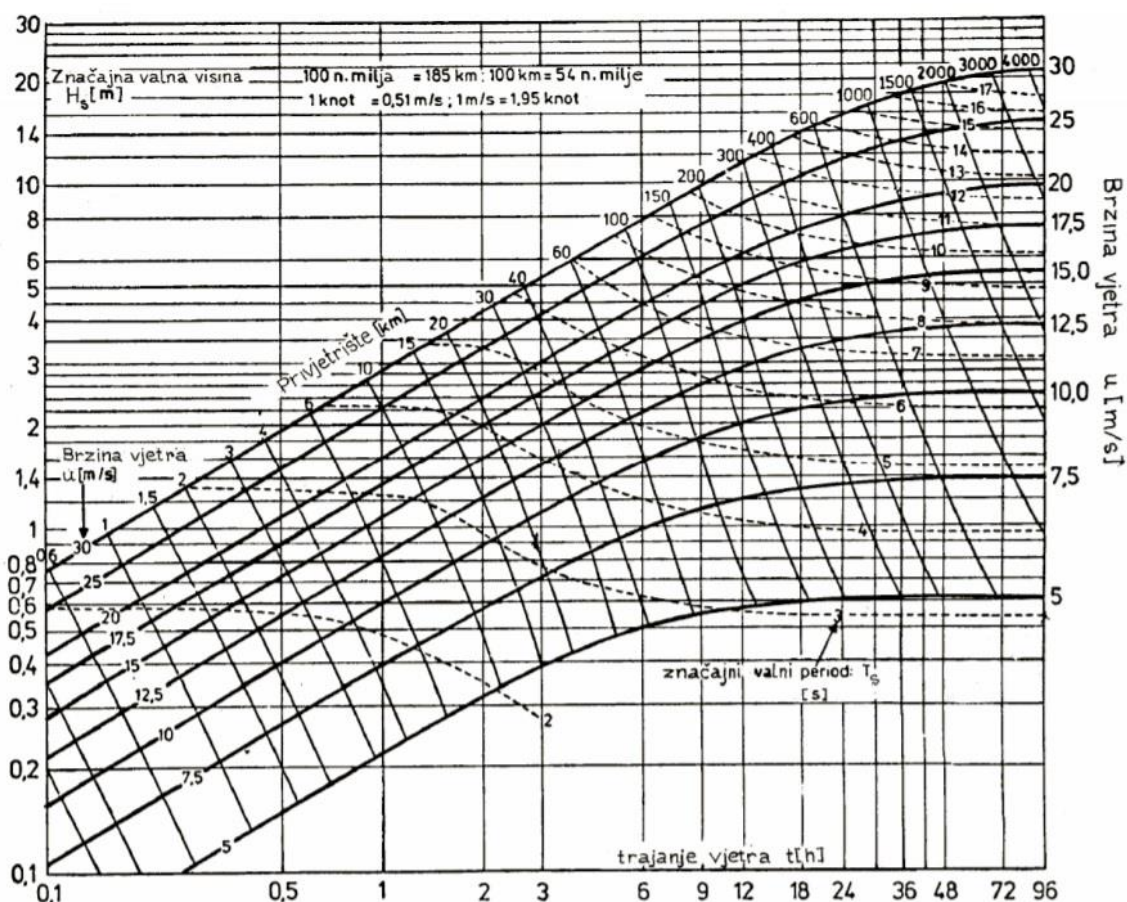
Kada je vrijeme puhanja veće od minimalnog potrebnog, stanje potpuno razvijenom mora se nikada neće postići jer privjetrište na kojem se generira vjetar nije dovoljne duljine da bi se prenijela cijela energija vjetra. Za mjerodavnu duljinu privjetrišta za postizanje stanja potpuno razvijenog mora usvaja se efektivna duljina privjetrišta.

$$t > t_{min} \rightarrow X(F) = X_{EFF}(F_{EFF})$$

Posljednji korak k određivanju valnih parametara je Groen- Dorrenstein nomograma (Slika 20.) iz kojeg se očitava za pojedino privjetrište i brzinu puhanja vjetra karakteristike vala (značajnu valnu visinu i period vala), a valna duljina ( $L_o$  [m]) dobije se uvrštavanjem perioda vala ( $T$  [s]) u formulu:

$$L_o = \frac{g \times T^2}{2\pi}$$

Za svaki smjer vjetra koji se promatra utvrđeno je maksimalno vrijeme puhanja za jedan vjetrovni događaj (Tablica 10. i 11.) [2].



Slika 20. Groen- Dorrenstein nomogram [3]

Tablica 10. Vrijeme kontinuiranog puhanja vjetra za pojedine smjerove

Smjer puhanja vjetra	SSE	S	SSW	SW	WSW	W
Max. vrijeme puhanja (h)	7	6	5	5	5	2

Tablica 11. Parametri dubokovodnog vala za smjer SSE

V (m/s)	7,90	10,70	13,80	17,10	20,70
Feff (km)	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26
tmin (h)	1,81	1,57	1,40	1,27	1,16
n (pojavljivanja)	227,00	220,00	158,00	42,00	5,00
Fmin (km)	52,88	64,02	75,15	86,01	97,02
F (km)	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26
Hs (m)	0,55	0,80	1,10	1,35	1,65
Ts (s)	2,30	2,55	2,85	3,05	3,25
Lo (m)	8,26	10,16	12,69	14,53	16,50

**Tablica 12. Parametri dubokovodnog vala za smjer S**

V (m/s)	7,90	10,70	13,80	17,10	20,70
Feff (km)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
tmin (h)	1,88	1,64	1,46	1,32	1,16
n (pojavljivanja)	115,00	101,00	72,00	43,00	1,00
Fmin (km)	42,81	51,83	60,84	69,64	97,02
F (km)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Hs (m)	0,55	0,80	1,12	1,35	1,80
Ts (s)	2,35	2,60	2,90	3,05	3,60
Lo (m)	8,63	10,56	13,14	14,53	20,24

**Tablica 13. Parametri dubokovodnog vala za smjer SSW**

V (m/s)	7,90	10,70	13,80	17,10	20,70
Feff (km)	9,39	9,39	9,39	9,39	9,39
tmin (h)	1,98	1,72	1,53	1,32	1,16
n (pojavljivanja)	151,00	110,00	56,00	20,00	2,00
Fmin (km)	33,35	40,37	47,39	69,64	97,02
F (km)	9,39	9,39	9,39	9,39	9,39
Hs (m)	0,59	0,83	1,10	1,35	1,80
Ts (s)	2,40	2,70	2,93	3,05	3,65
Lo (m)	9,00	11,39	13,41	14,53	20,81

**Tablica 14. Parametri dubokovodnog vala za smjer SW**

V (m/s)	7,90	10,70	13,80	17,10
Feff (km)	13,78	13,78	13,78	13,78
tmin (h)	2,62	2,28	2,03	1,32
n (pojavljivanje)	219,00	25,00	10,00	1,00
Fmin (km)	33,35	40,37	47,39	69,64
F (km)	13,78	13,78	13,78	13,78
Hs (m)	0,69	1,00	1,32	1,80
Ts (s)	2,75	3,00	3,30	3,80
Lo (m)	11,81	14,06	17,01	22,56

**Tablica 15. Parametri dubokovodnog vala za smjer WSW**

V (m/s)	7,90	10,70
Feff (km)	30,70	30,70
tmin (h)	4,71	4,09
n (pojavljivanja)	143,00	2,00
Fmin (km)	33,35	40,37
F (km)	30,70	30,70
Hs (m)	0,95	1,38
Ts (s)	3,45	3,90
Lo (m)	18,59	23,76

**Tablica 16.** Parametri dubokovodnog vala za smjer W

V (m/s)	7,90	10,70
Feff (km)	32,53	32,53
tmin (h)	4,91	4,27
n (pojavljivanja)	16,00	1,00
Fmin (km)	9,50	11,51
F (km)	9,50	11,51
Hs (m)	0,58	0,90
Ts (s)	2,40	2,80
Lo (m)	9,00	12,25

### 3.3. Dugoročna prognoza

Temelj za dugoročnu valnu prognozu je dovoljan niz podataka u kojima su ostvarene sve moguće realizacije prognozirane varijable odnosno valne visine i period vala. Za provedbu prognoze potreban je uzorak valnih visina i perioda vala za karakteristične smjerove vjetra i tražene povratne periode. Povratni period ovisi o važnosti same građevine. Za luke je mjerodavan povratni period od 100 godina.

Za rezultat se dobije prognozirana vrijednost valnog parametra (odnosno perioda vala) za mjerodavan povratni period s pripadajućom vjerojatnošću valnog događaja.

$$P = \frac{1}{T} \cdot \frac{T_m}{n}$$

P- funkcija prekoračenja

T- vrijednost povratnog perioda za koji se traži značajna valna visina (godina)

T<sub>m</sub>- vremenski period mjerenja (godina)

n- ukupan broj valnih događaja za pojedini smjer vjetra

Uzorak značajne valne visine kao i uzorak perioda vala varira od smjera do smjera jer ovise o duljini privjetrišta i o broju ponavljanja valnog događaja.

Za opis uzorka najčešće korištene teorijske distribucije su Gumbelova i Pareto. Odgovarajuće distribucije moguće je izabrati koristeći Hi- kvadrat ili Kolmogorov- Smirnov test, ali i vizualnom usporedbom teorijske i uzoračke distribucije koja je korištena u ovom radu.

### 3.3.1. Gumbelova distribucija

Gumbelova distribucija dobila je ime po njemačkom matematičaru E. J. Gumbel-u. Njegov glavni fokus bio je prvenstveno na primjeni teorije ekstremnih vrijednosti u inženjerskim problemima, posebno u modeliranju meteoroloških fenomena poput godišnjih tokova poplava. Gumbelova distribucija poznata je kao i log-Weibullova odnosno dvostruka eksponencijalna distribucija.

$$\beta = \sqrt{\frac{\sigma_{H_s}^2 \cdot 6}{\pi^2}}$$

$$f(H_s) = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-(z+e^{-z})}$$

$$F(H_s) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)}}$$

$f(H_s)$ - funkcija gustoće

$F(H_s)$ - funkcija distribucije

$\beta$ - parametar Gumbelove distribucije

### 3.3.2. Pareto distribucija

Pareto distribucija nazvana je po talijanskom inženjeru Vilfredu Paretu, koristila se u opisivanju društvenih, znanstvenih i geofizičkih problema. Pareto je jednoparametarska distribucija s eksponencijalnim repom, koja se inače koristi za predviđanje ekstremnih događaja. Jedini parametar je parametar oblika  $\alpha$ , a vrijednost  $H_m$  najmanja pozitivna vrijednost značajne valne visine. Izrazi za potpunu definicije Pareto distribucije prikazani su u nastavku:

$$E(H) = \frac{\alpha \cdot H_m}{\alpha - 1}$$

$$H_m = \frac{(\alpha - 1) \cdot E(H)}{\alpha}$$

$$\sigma^2(H) = \frac{H_m^2 \cdot \alpha}{(\alpha - 1)^2 \cdot (\alpha - 2)}$$

$$f(H) = \frac{H_m^\alpha \cdot \alpha}{H^{\alpha+1}}$$

$$F(H) = 1 - \left(\frac{H_m}{H}\right)^\alpha$$

$f(H)$ - funkcija gustoće

$F(H)$ - funkcija distribucije

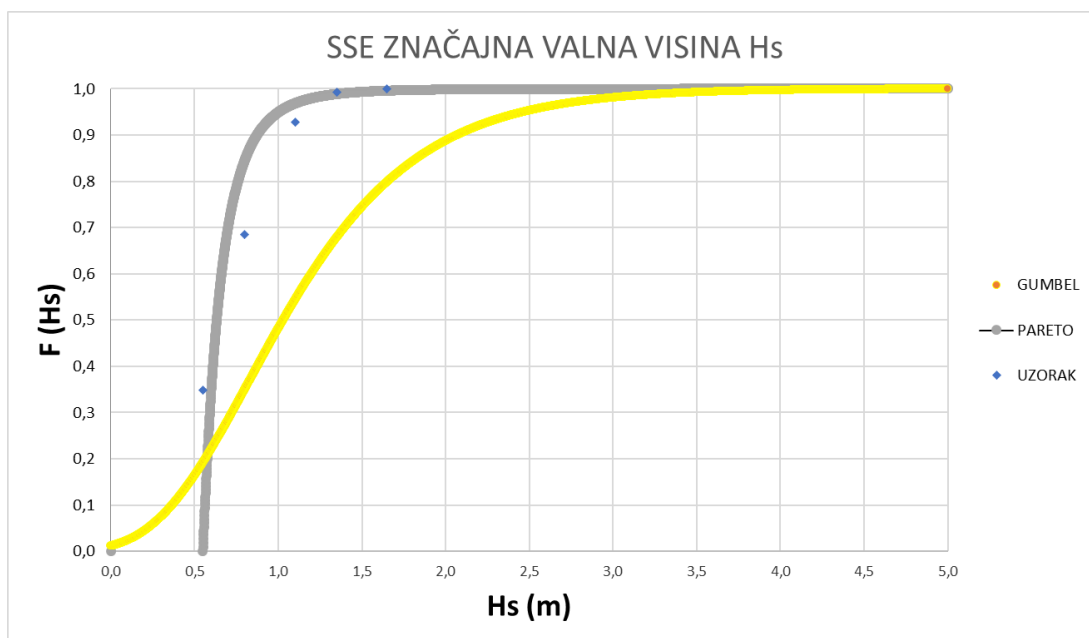
$\alpha$ - parametar Pareto distribucije

Na slikama od 21. do 32. prikazane su teorijske funkcije distribucije Gumbel i Pareto za valne visine i periode vala te uzoračka distribucija za svaki od mjerodavnih smjerova. Za što pouzdaniju prognozu dubokovodnih parametara vala vrijednosti parametara se korigiraju s ciljem da teorijska distribucija što bolje opiše uzoračku distribuciju (2).

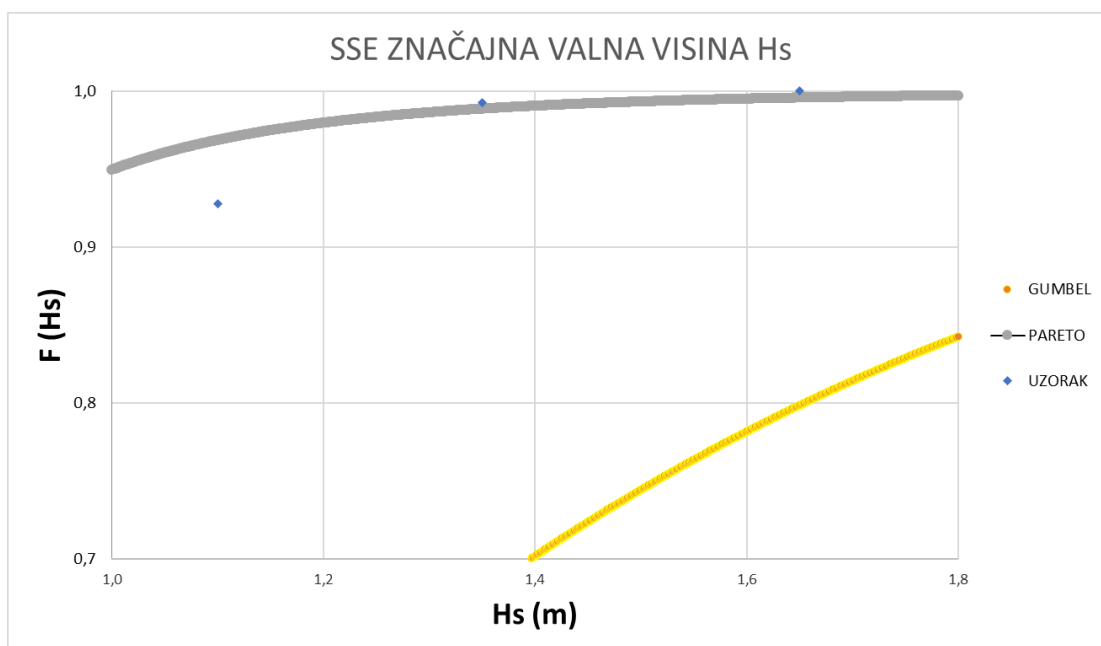
## Smjer SSE

Srednja vrijednost značajne valne visine iznosi 0,83m, a standardna devijacija 0,26.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 5, dok je  $H_m$  0,55m.



Slika 21.1. Prikaz funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra SSE ( $H_s$ )



Slika 21.2. Prikaz repa funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra SSE ( $H_s$ )

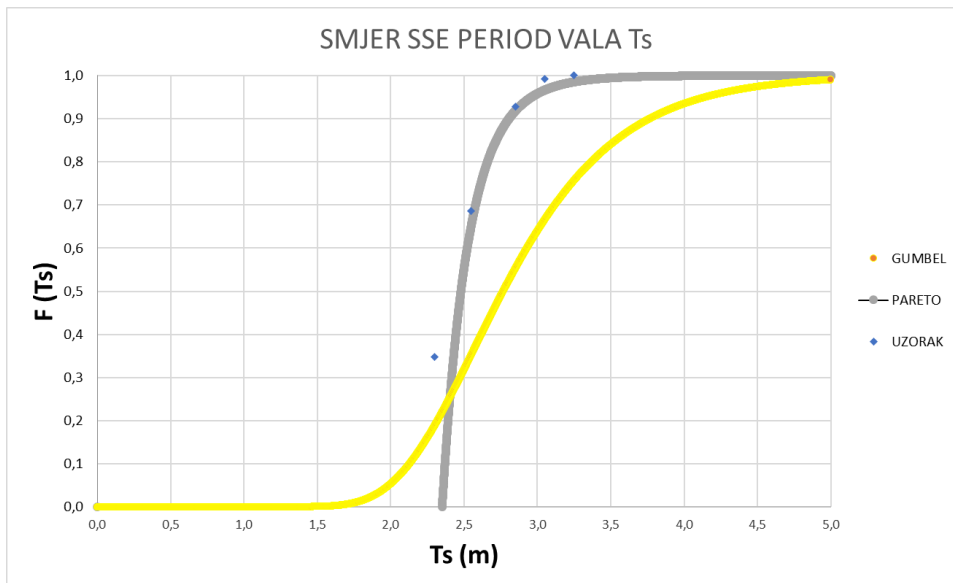
Tablica 17. Prikaz značajnih valnih visina za povratne periode

T (godina)	Q	F( $H_s$ )	$H_s$ (Gumbel)	$H_s$ (Pareto)
5	0.003067	0.996933	4.050	1.766
50	0.000307	0.999693	5.315	2.786
100	0.000153	0.999847	5.691	3.222

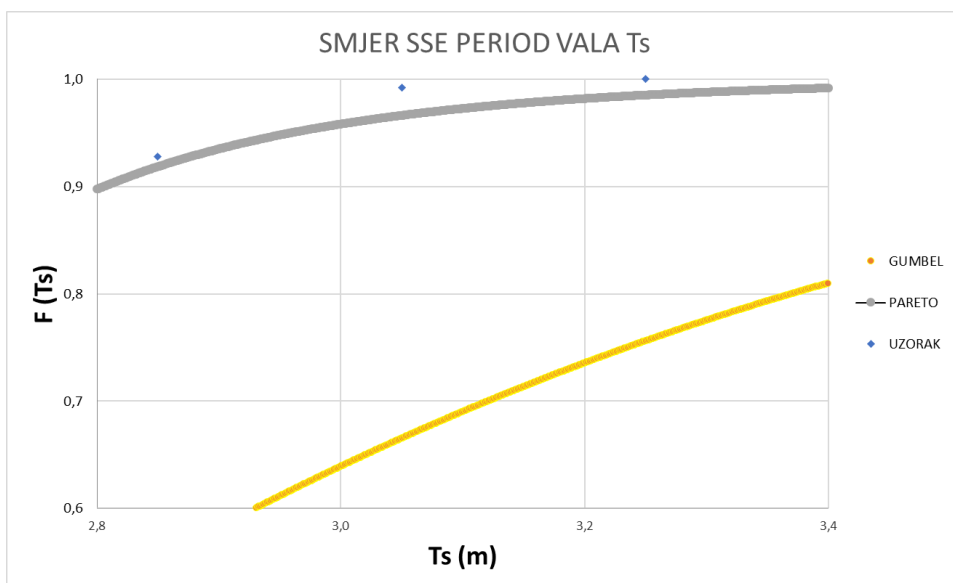


Srednja vrijednost perioda vala iznosi 2,57 sek, a standardna devijacija 0,25.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 13, dok je  $T_m = 2,30$  sek.



Slika 22.1. Prikaz funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra SSE ( $T_s$ )



Slika 22.2. Prikaz repa funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra SSE ( $T_s$ )

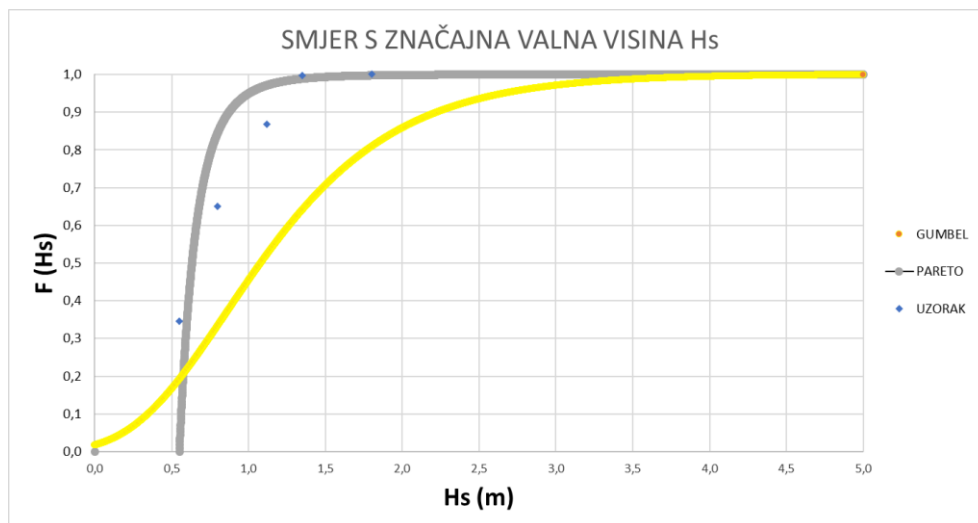
Tablica 18. Prikaz perioda vala za povratne periode

T (godina)	Q	F(Ts)	Ts (Gumbel)	Ts (Pareto)
5	0.003067	0.996933	5.676	3.674
50	0.000307	0.999693	6.885	4.386
100	0.000153	0.999847	7.254	4.627

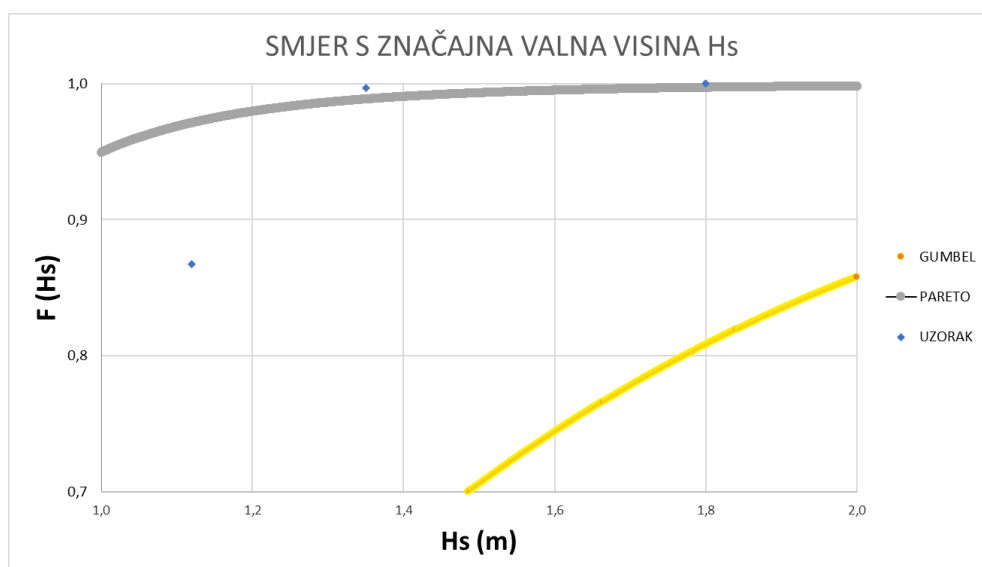
### Smjer S

Srednja vrijednost značajne valne visine iznosi 0,86m, a standardna devijacija 0,29.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 5, dok je  $H_m$  0,55m.



Slika 23.1. Prikaz funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra S ( $H_s$ )



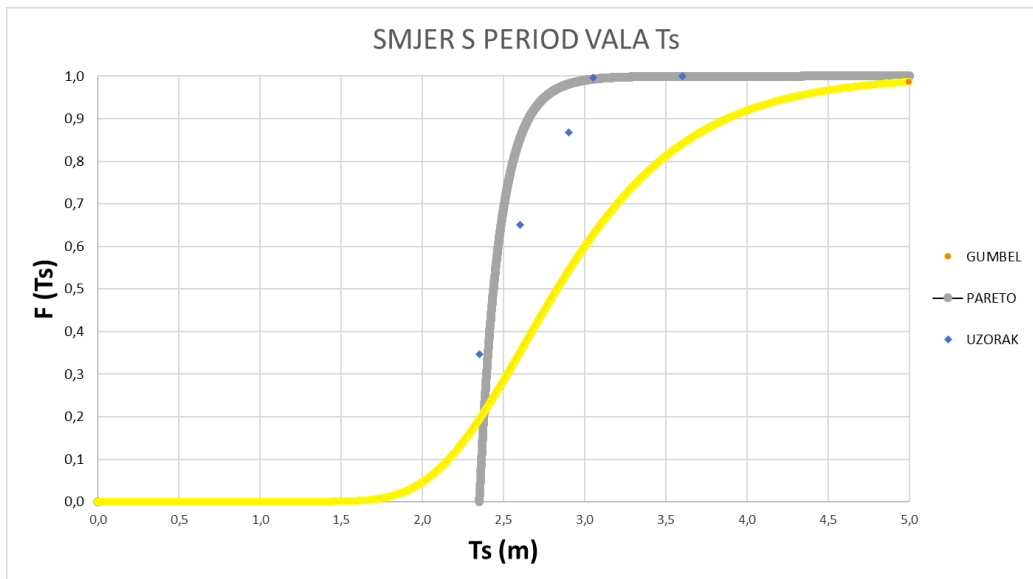
Slika 23.2. Prikaz repa funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra S ( $H_s$ )

Tablica 19. Prikaz značajnih valnih visina za povratne periode

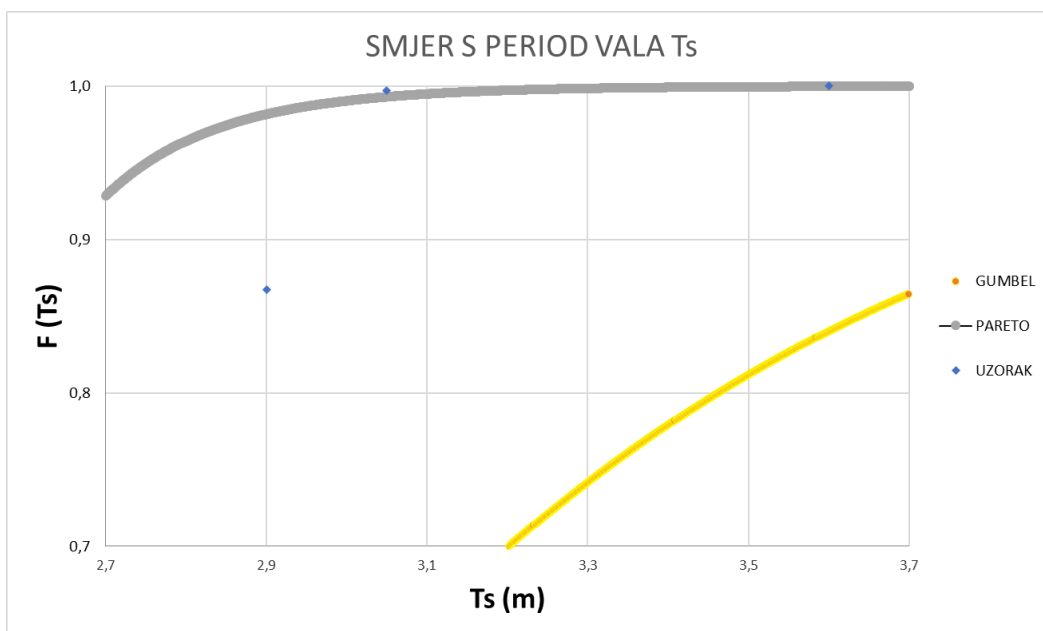
T (godina)	Q	F(Hs)	Hs (Gumbel)	Hs (Pareto)
5	0.006024	0.993976	3.976	1.531
50	0.000602	0.999398	5.381	2.426
100	0.000301	0.999699	5.803	2.786

Srednja vrijednost perioda vala iznosi 2,63 sek, a standardna devijacija 0,26.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 19, dok je  $T_m$  2,3 sek.



Slika 24.1. Prikaz funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra S ( $T_s$ )



Slika 24.2. Prikaz repa funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra S ( $T_s$ )

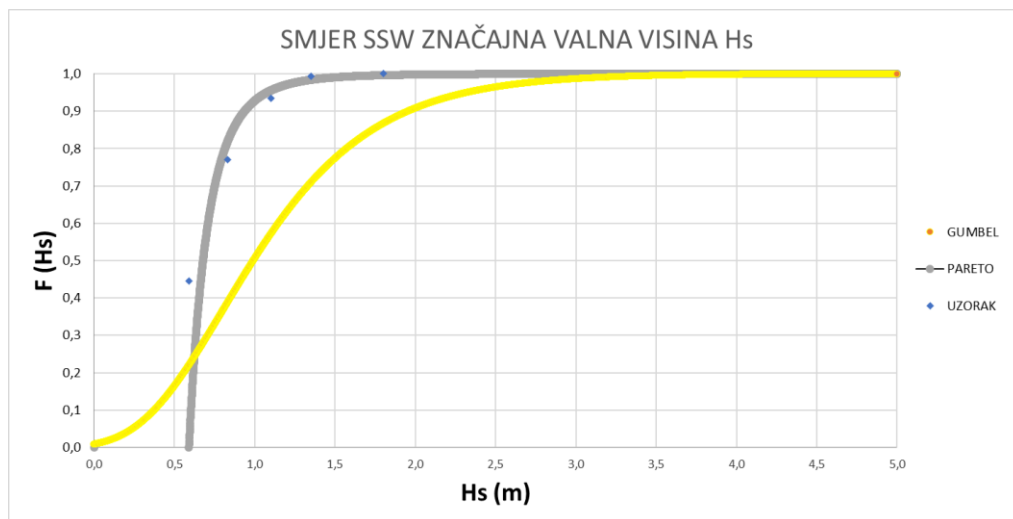
Tablica 20. Prikaz perioda vala za povratne periode

T (godina)	Q	F(Ts)	Ts (Gumbel)	Ts (Pareto)
5	0.006024	0.993976	5.416	3.077
50	0.000602	0.999398	7.510	3.473
100	0.000301	0.999699	8.240	3.602

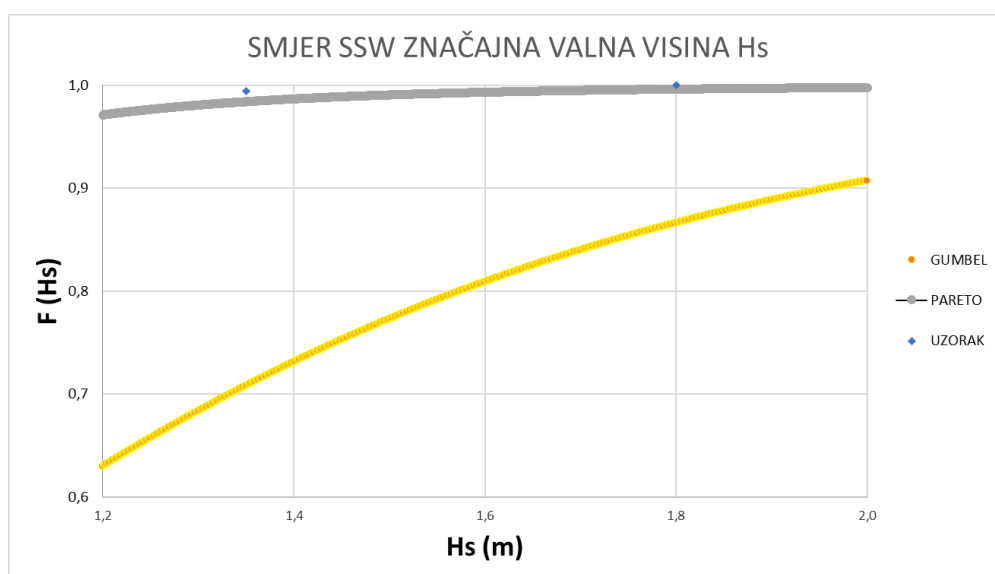
### Smjer SSW

Srednja vrijednost značajne valne visine iznosi 0,80m, a standardna devijacija 0,24.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 5, dok je  $H_m$  0,59m.



Slika 25.1. Prikaz funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra SSW ( $H_s$ )



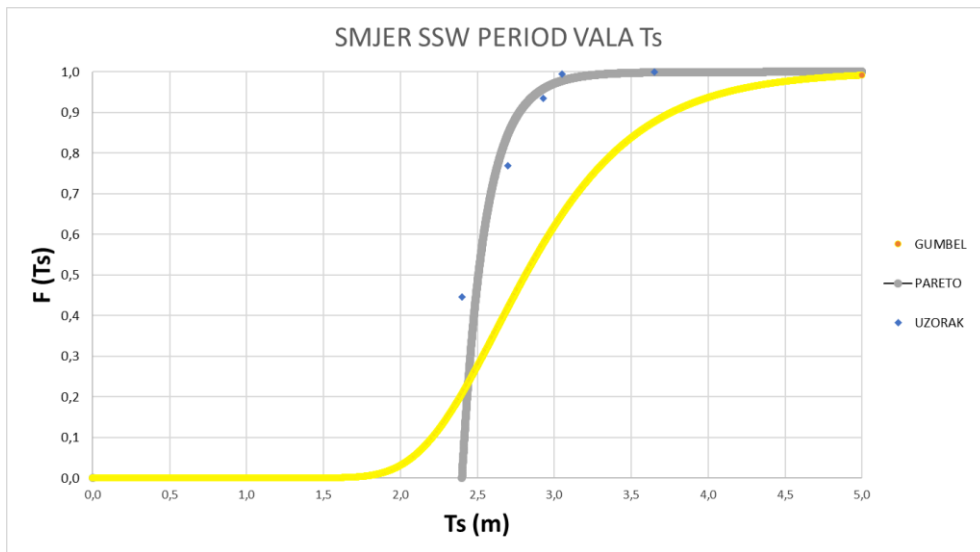
Slika 25.2. Prikaz repa funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra SSW ( $H_s$ )

Tablica 21. Prikaz značajnih valnih visina za povratne periode

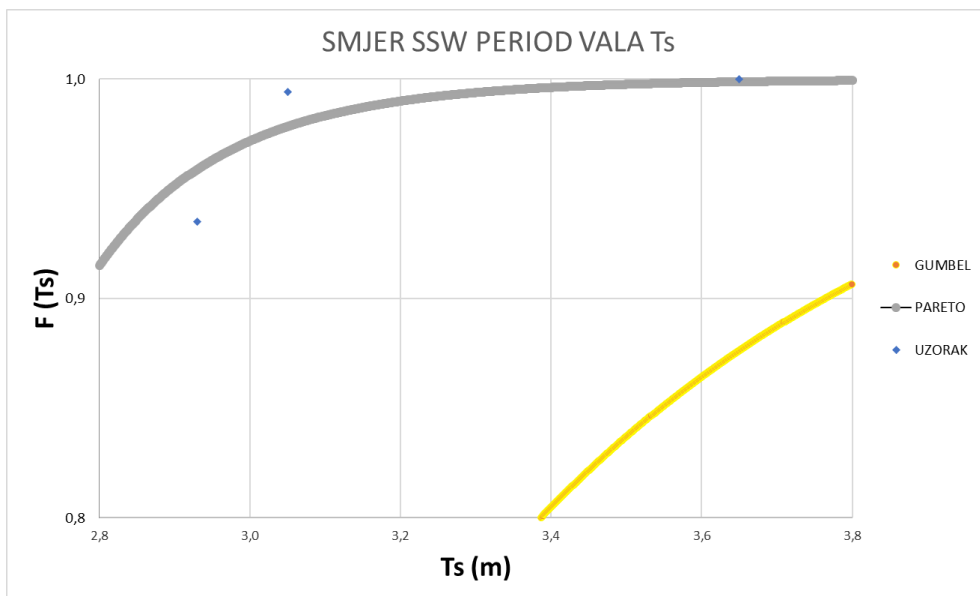
T (godina)	Q	F(Hs)	Hs (Gumbel)	Hs (Pareto)
5	0.005900	0.994100	3.435	1.647
50	0.000590	0.999410	4.617	2.611
100	0.000295	0.999705	4.973	2.989

Srednja vrijednost perioda vala iznosi 2,63 sek, a standardna devijacija 0,24.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 16, dok je  $T_m$  2,40 sek.



Slika 26.1. Prikaz funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra SSW ( $Ts$ )



Slika 26.2. Prikaz repa funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra SSW ( $Ts$ )

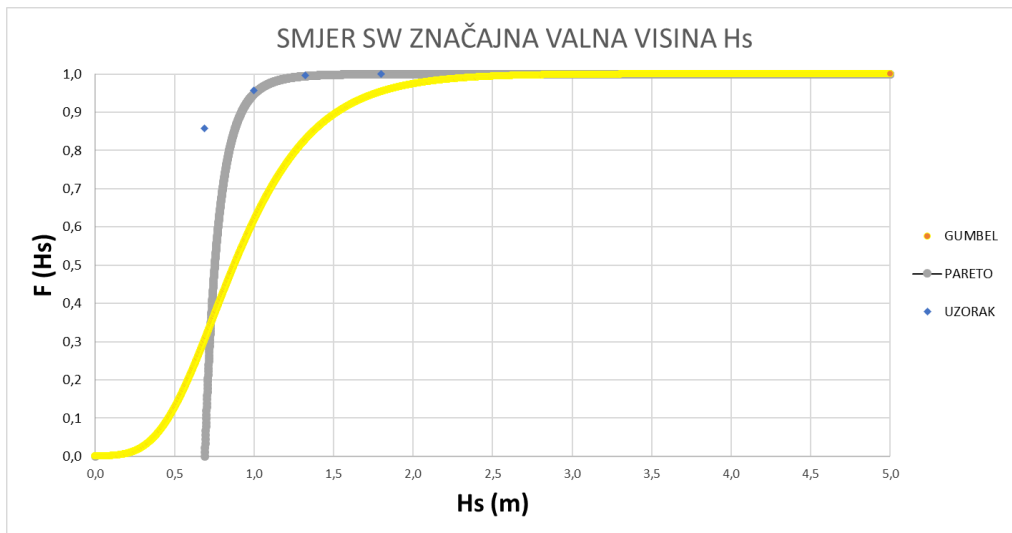
Tablica 22. Prikaz perioda vala za povratne periode

T (godina)	Q	F(Ts)	Ts (Gumbel)	Ts (Pareto)
5	0.00590	0.99410	5.217	3.308
50	0.00059	0.99941	6.379	3.820
100	0.00029	0.99971	6.728	3.989

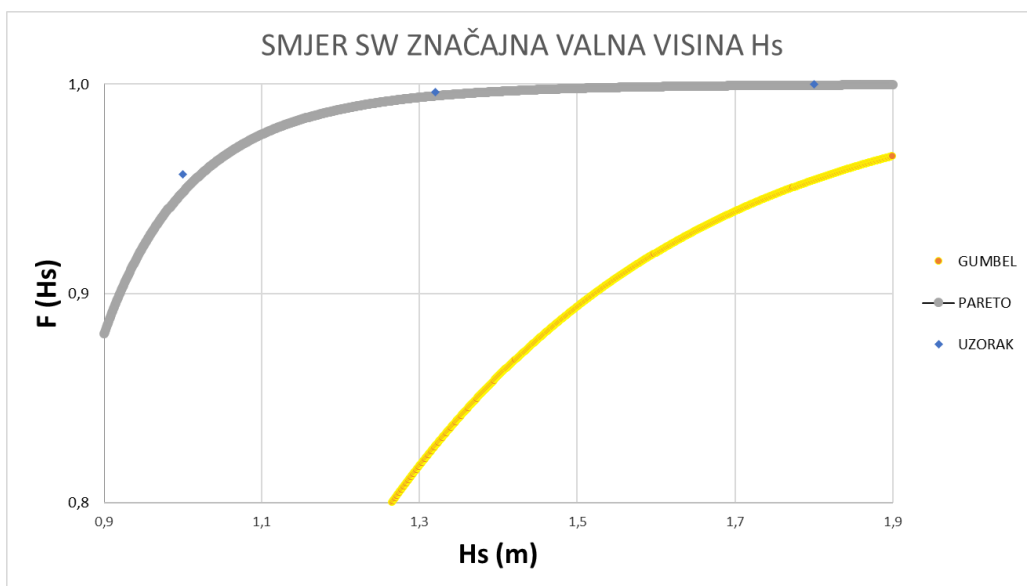
### Smjer SW

Srednja vrijednost značajne valne visine iznosi 0,75m, a standardna devijacija 0,16.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 8, dok je  $H_m$  0,69m.



Slika 27.1. Prikaz funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra SW ( $H_s$ )



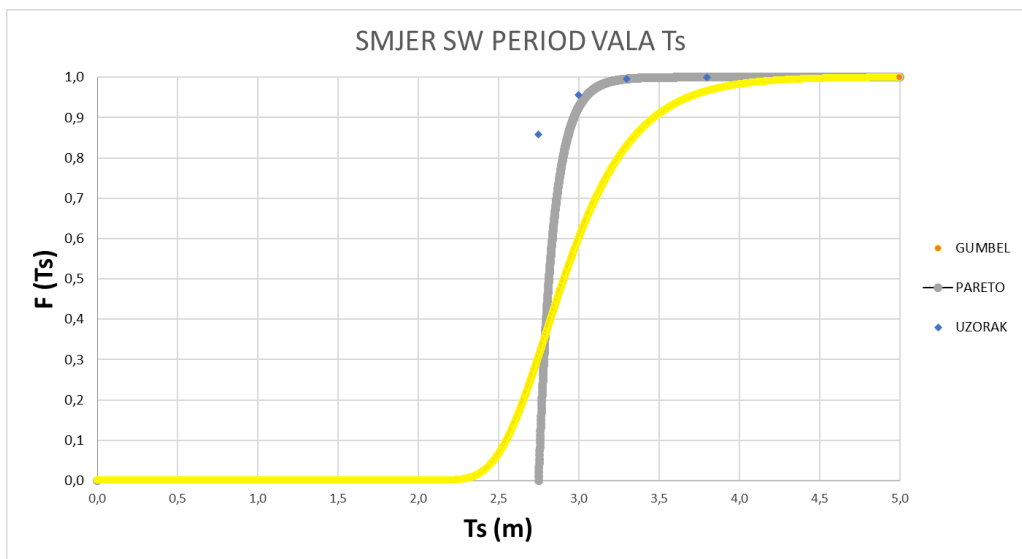
Slika 27.2. Prikaz repa funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra SW ( $H_s$ )

Tablica 23. Prikaz značajnih valnih visina za povratne periode

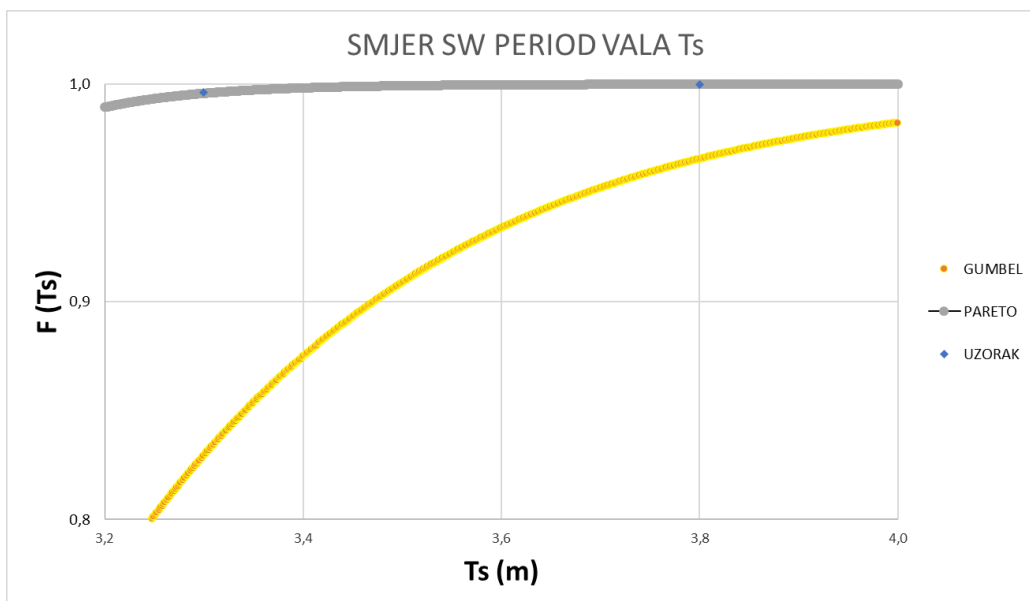
T (godina)	Q	F(Hs)	Hs( Gumbel)	Hs( Pareto)
5	0.007843	0.992157	2.416	1.265
50	0.000784	0.999216	3.209	1.687
100	0.000392	0.999608	3.447	1.840

Srednja vrijednost perioda vala iznosi 2,80 sek, a standardna devijacija 0,14.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 30, dok je  $T_m$  2,75 sek.



Slika 28.1. Prikaz funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra SW ( $T_s$ )



Slika 28.2. Prikaz repa funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra SW ( $T_s$ )

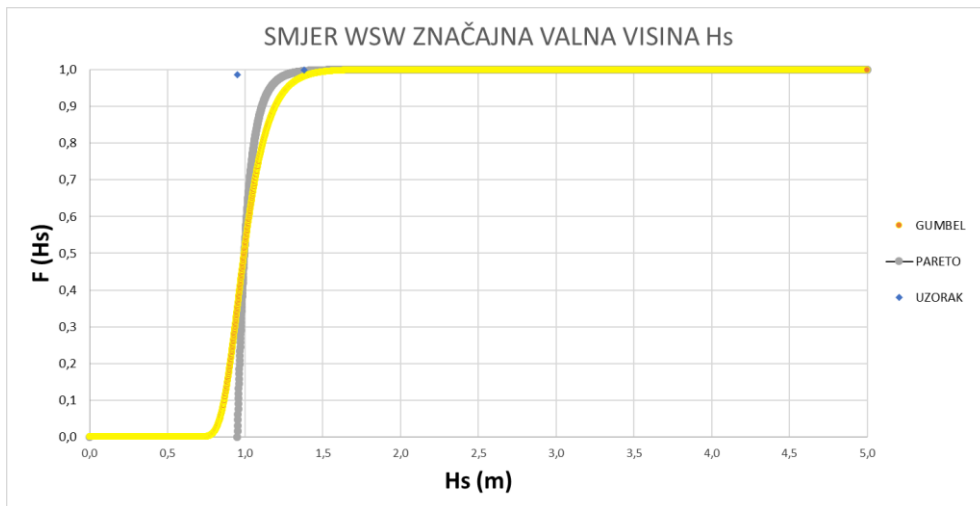
Tablica 24. Prikaz perioda vala za povratne periode

T (godina)	Q	F( $T_s$ )	$T_s$ (Gumbel)	$T_s$ (Pareto)
5	0.007843	0.992157	4.245	3.233
50	0.000784	0.999216	4.933	3.490
100	0.000392	0.999608	5.141	3.572

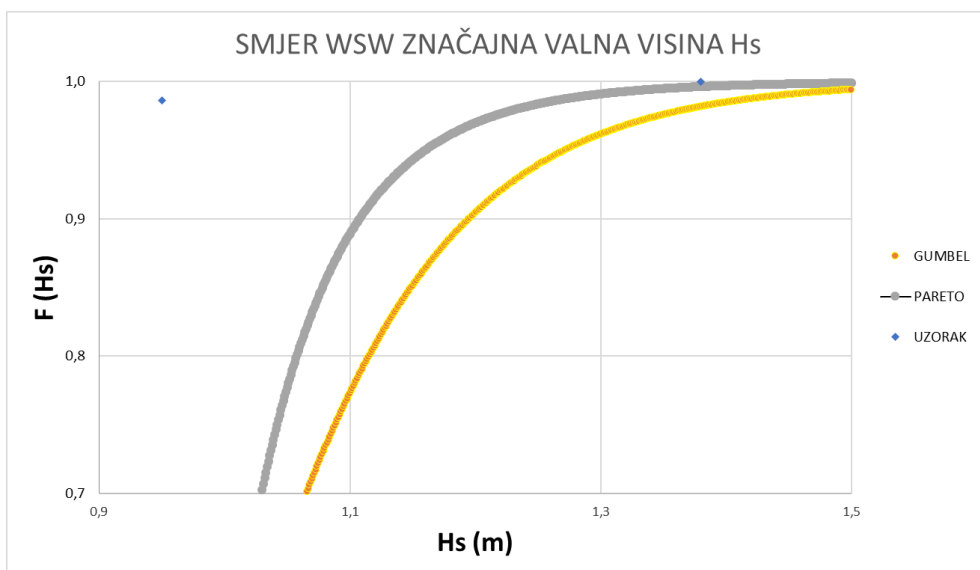
### Smjer WSW

Srednja vrijednost značajne valne visine iznosi 0,96m, a standardna devijacija 0,05.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 15, dok je  $H_m$  0,95m.



Slika 29.1. Prikaz funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra WSW ( $H_s$ )



Slika 29.2. Prikaz repa funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra WSW ( $H_s$ )

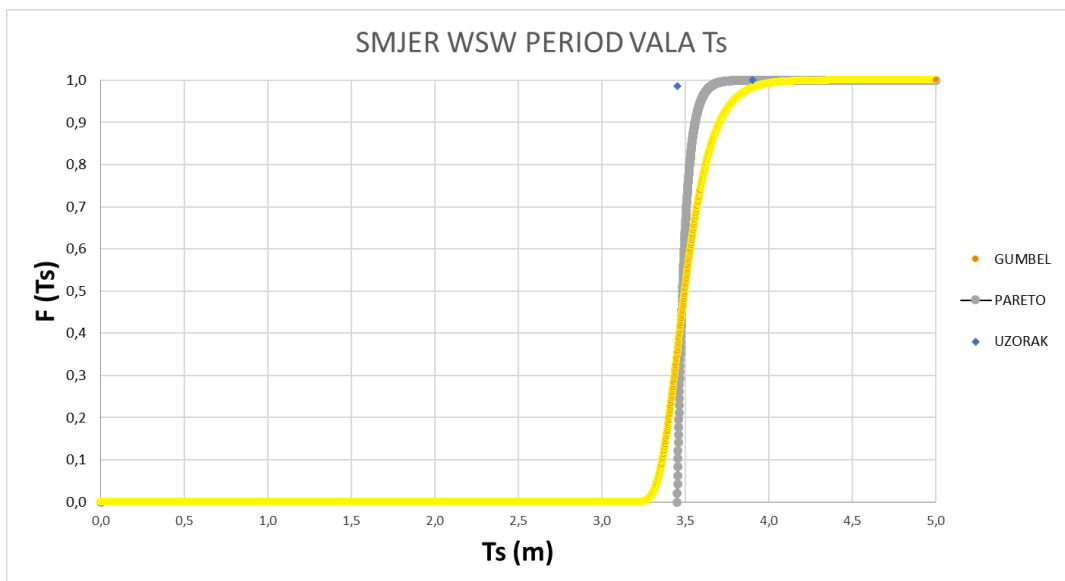
Tablica 25. Prikaz značajnih valnih visina za povratne periode

T (godina)	Q	F(Hs)	Hs (Gumbel)	Hs (Pareto)
5	0.013793	0.986207	1.411	1.264
50	0.001379	0.998621	1.656	1.474
100	0.000690	0.999310	1.485	1.544

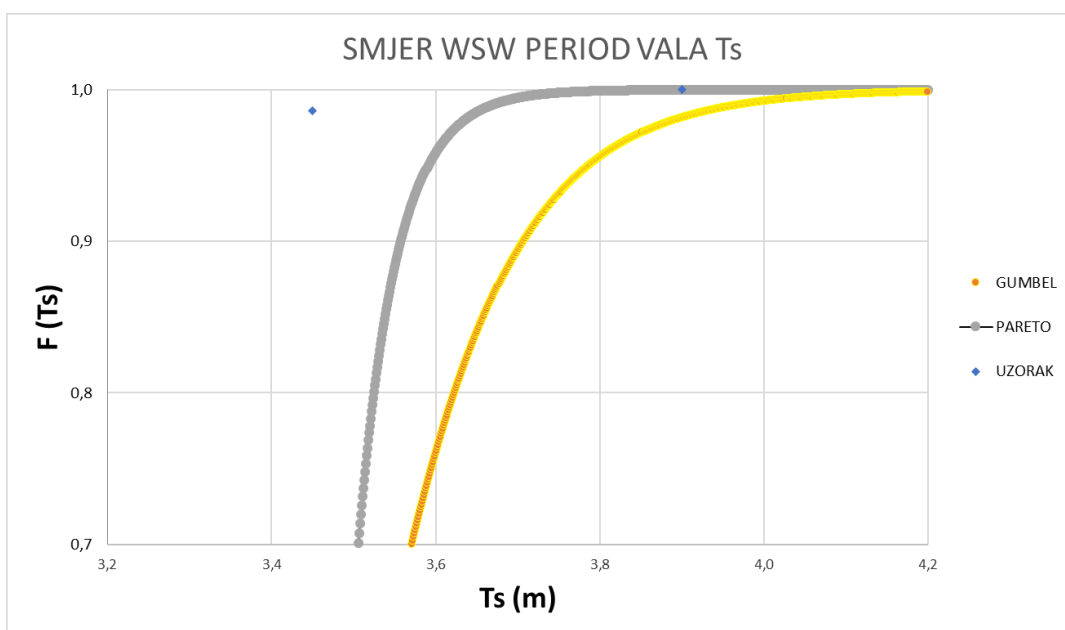


Srednja vrijednost perioda vala iznosi 3,46 sek, a standardna devijacija 0,05.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 75, dok je  $T_m$  3,45 sek.



Slika 30.1. Prikaz funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra WSW ( $T_s$ )



Slika 30.2. Prikaz repa funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra WSW ( $T_s$ )

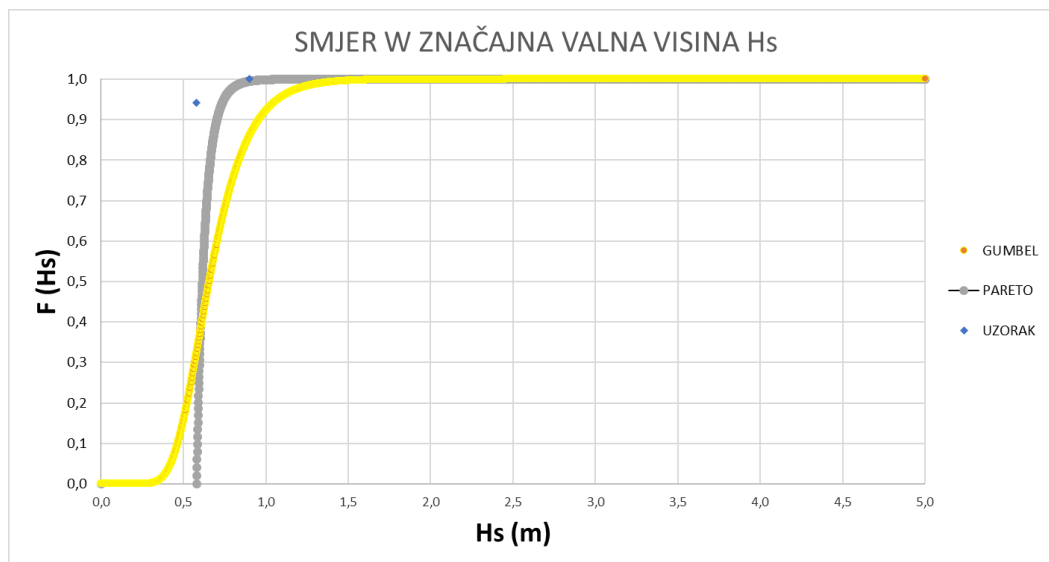
Tablica 26. Prikaz perioda vala za povratne periode

T (godina)	Q	F( $T_s$ )	$T_s$ (Gumbel)	$T_s$ (Pareto)
5	0.01379	0.98621	3.932	3.654
50	0.00138	0.99862	4.118	3.767
100	0.00069	0.99931	4.266	3.802

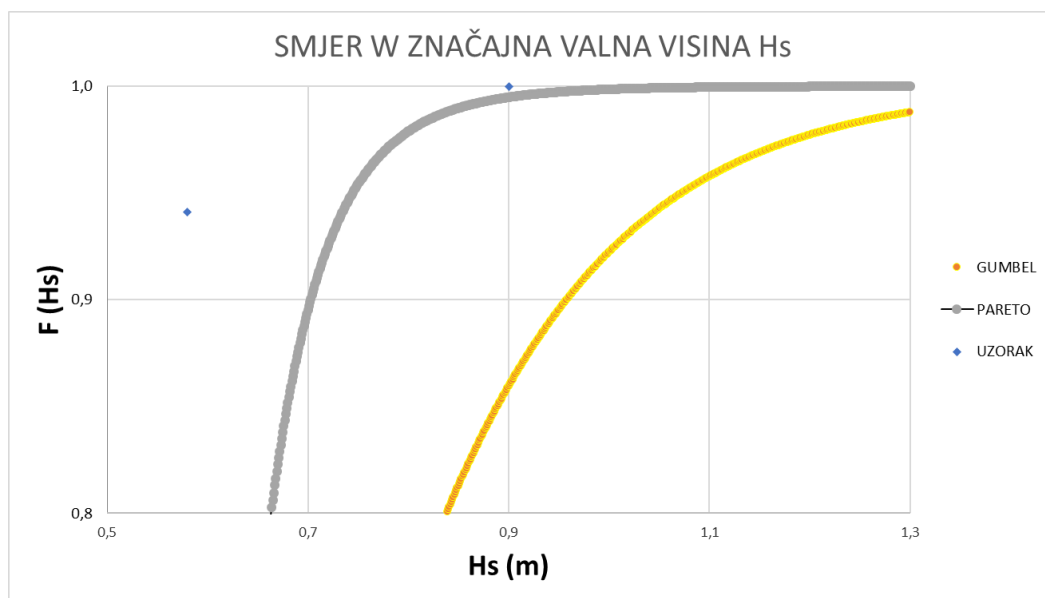
### Smjer W

Srednja vrijednost značajne valne visine iznosi 0,60m, a standardna devijacija 0,08.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 12, dok je  $H_m$  0,58m.



Slika 31.1. Prikaz funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra W (Hs)



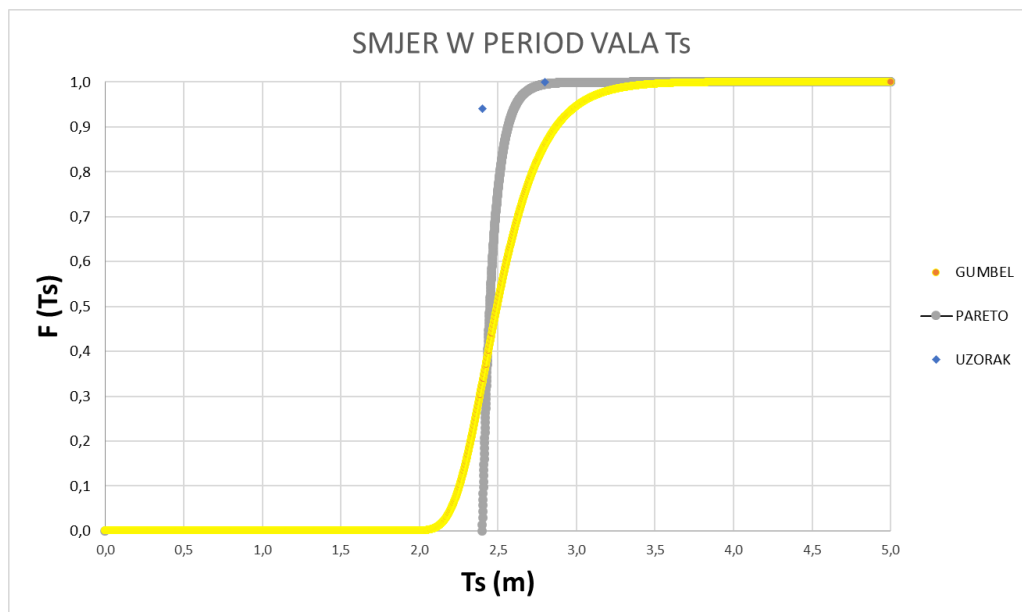
Slika 31.2. Prikaz repa funkcija distribucije značajne valne visine za smjer vjetra W (Hs)

Tablica 27. Prikaz značajnih valnih visina za povratne periode

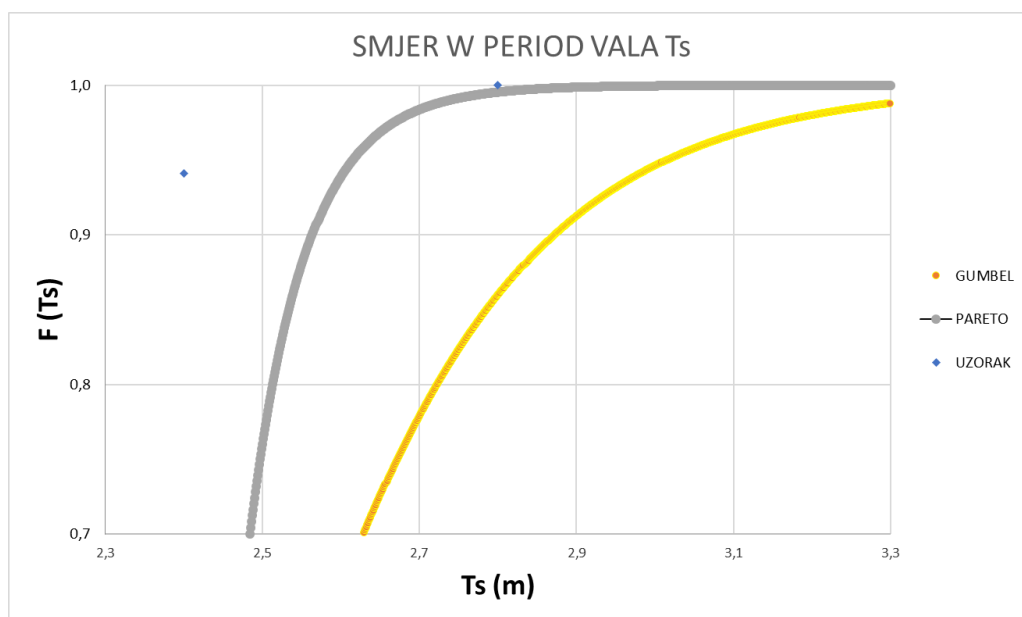
T (godine)	Q	F(Hs)	Hs (Gumbel)	Hs (Pareto)
5	0.117647	0.882353	0.931	0.694
50	0.011765	0.988235	1.308	0.841
100	0.005882	0.994118	1.418	0.891

Srednja vrijednost perioda vala iznosi 2,42 sek, a standardna devijacija 0,09.

Parametar Pareto distribucije  $\alpha$  je 35, dok je  $T_m$  2,40 sek.



Slika 32.1. Prikaz funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra W (Ts)



Slika 32.2. Prikaz repa funkcija distribucije perioda vala za smjer vjetra W (Ts)

Tablica 28. Prikaz perioda vala za povratne periode

T (godina)	Q	F(Ts)	Ts (Gumbel)	Ts (Pareto)
5	0.117647	0.882353	2.839	2.552
50	0.011765	0.988235	3.308	2.725
100	0.005882	0.994118	3.448	2.780

**Tablica 29.** Prikaz značajnih valnih visina i perioda vala za sve smjerove i povratne periode

SMJER	Hs <sup>5</sup> (m)	Hs <sup>50</sup> (m)	Hs <sup>100</sup> (m)	Ts <sup>5</sup> (s)	Ts <sup>50</sup> (s)	Ts <sup>100</sup> (s)
SSE	1.766	2.786	3.222	3.674	4.386	4.627
S	1.531	2.426	2.786	3.077	3.473	3.602
SSW	1.647	2.611	2.986	3.308	3.820	3.989
SW	1.265	1.687	1.840	3.233	3.490	3.572
WSW	1.264	1.474	1.544	3.654	3.767	3.802
W	0.694	0.841	0.891	2.552	2.725	2.780

#### 4. SVOJSTVA VALNOG POLJA U PODRUČJU OBUHVATA

CGWAVE (Panchang & Xu 1995) je model 2D konačnih elemenata temeljen na eliptičnoj valnoj jednadžbi blagog nagiba. To je slično valnim modelima HARBD (Chen i Mei 1974) i PHAROS (Kostense et al. 1986).

CGWAVE može simultano simulirati učinke loma, difrakcije, refleksije batimetrijom i strukturama, disipacije zbog trenja i loma, te nelinearne disperzije amplitude. Računalne mogućnosti CGWAVE modela dopuštaju modeliranje velikih obalnih područja. Upravljačke jednadžbe CGWAVE-a prelaze, u granicama, na jednadžbe duboke i plitke vode, čineći ovaj model primjenjivim na širok raspon frekvencija, uključujući kratke vjetrove, valove i valove infracrvenosti [4], [7], [8].

Prilikom započinjanja novog projekta, prvo se mora stvoriti domena za izvođenje izračuna. Ova domena dolazi od kombinacije obale (kopnena strana domene) i batimetrijske izmjere.

Zatim slijedi zadavanje koeficijenata refleksije ovisno o vrsti obale odnosno preprekama na koje val nailazi. Potrebno je također definirati domenu koja je u ovom slučaju s jedne strane određena obalnom linijom i konturama lukobrana, a s druge strane polukrugom radijusa 905.30m.

Veličina diskretiziranog elementa ovisi o valnoj duljini koja se obično uzima između 1/12 do 1/6 valne duljine (vidi Sliku 35.2.). U ovom radu odabrana je veličina elementa od 1/6 valne duljine što daje nešto veće elemente. Zatim slijedi zadavanje parametara vala.

Kao referentni smjerovi vjetra odabrani su SSE, S i SSW s povratnim periodima pet i sto godina (Tablica 30.).

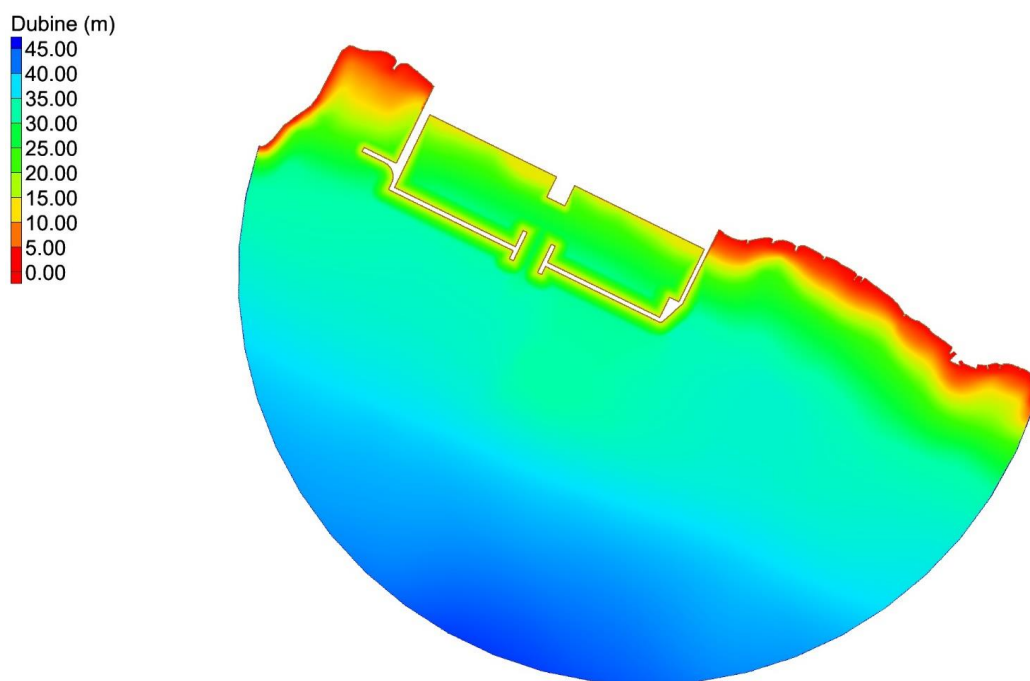
**Tab. 30.** Prikaz vrijednosti značajne valne visine i perioda vala

SMJER	Hs <sup>5</sup> (m)	Hs <sup>100</sup> (m)	Ts <sup>5</sup> (s)	Ts <sup>100</sup> (s)
SSE	1,766	3,222	3,674	4,627
S	1,531	2,786	3,077	3,602
SSW	1,647	2,986	3,308	3,989

Koeficijent  $\gamma$  se uzima 3.3. Osim  $\gamma$  postoji još i koeficijent  $n_n$  s kojim se ulazi također u proračun i to jednom verzijom gdje je  $n_n=4$  te s drugom kada je  $n_n=10$ . On opisuje koliko se široki spektar zraka uzima u proračun. Širi spektar je kod modela s manjim  $n_n$  koeficijentom. S većim spektrom dobije se veće polje valnih visina iz razloga što se za istu energiju vjetrovnog vala ona usmjeri na manje područje i samim time manje energije se izgubi.

#### 4.1. Prikaz rezultata za simulacije karakteristične u području obuhvata

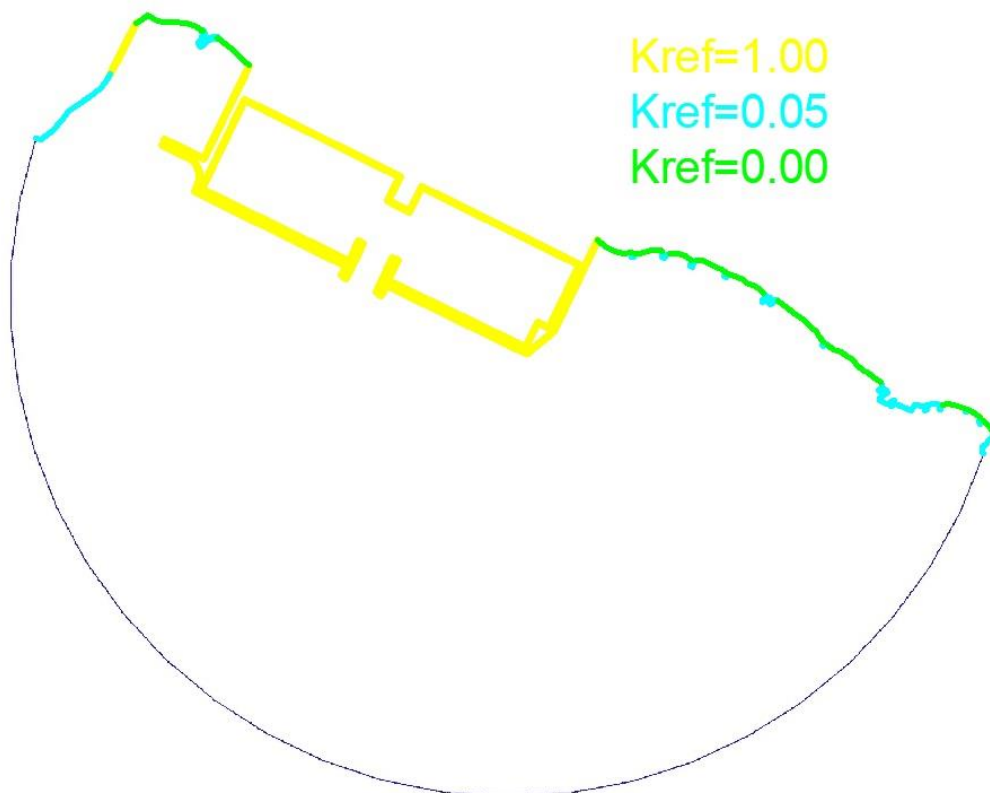
Na slici 33. je prikaz batimetrije za područje domene. Koja je uzeta kao sudjelujuća u propagiranju valova za planiranu novu luku Krilo.



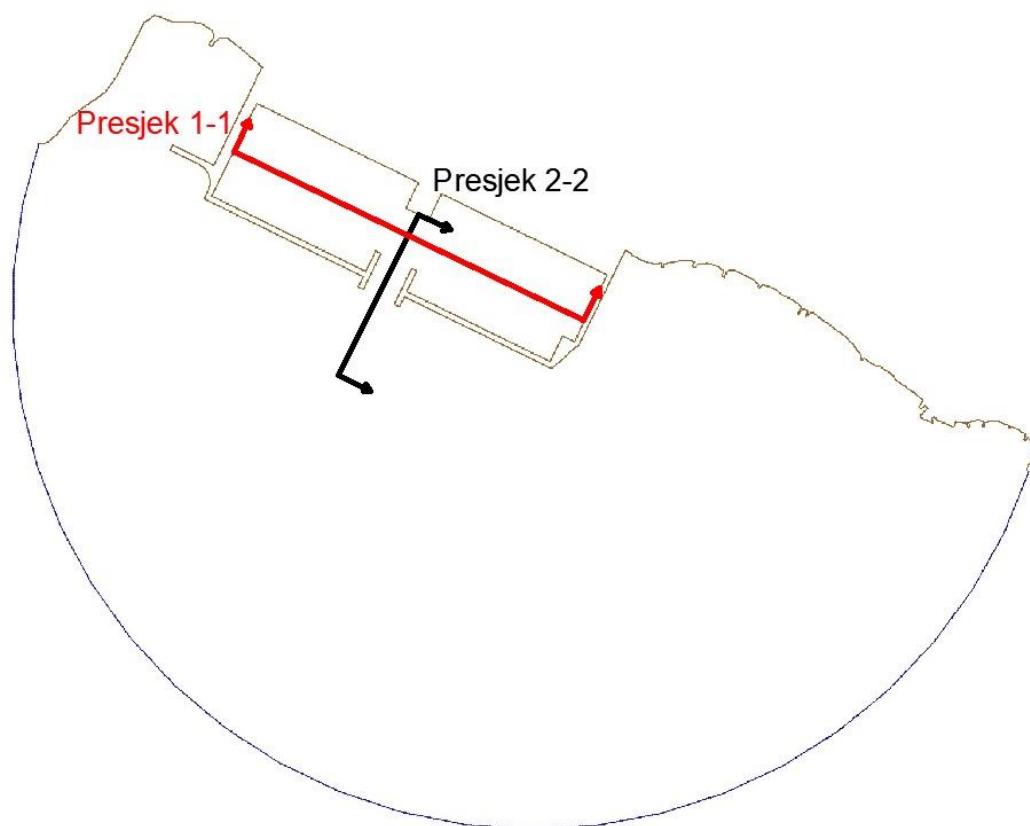
*Slika 33. Batimetrija*

U modelu su za koeficijente refleksije uzete tri vrijednosti. Koeficijent refleksije za vertikalni obalni zid je 1.00, a u to spada dio postojećeg lukobrana te cijeli planirani lukobran. Koeficijent refleksije 0.05 za sve dijelove u domeni gdje je postavljena kamena školjera kao na primjer pera. Te koeficijent refleksije 0.00 za plaže.

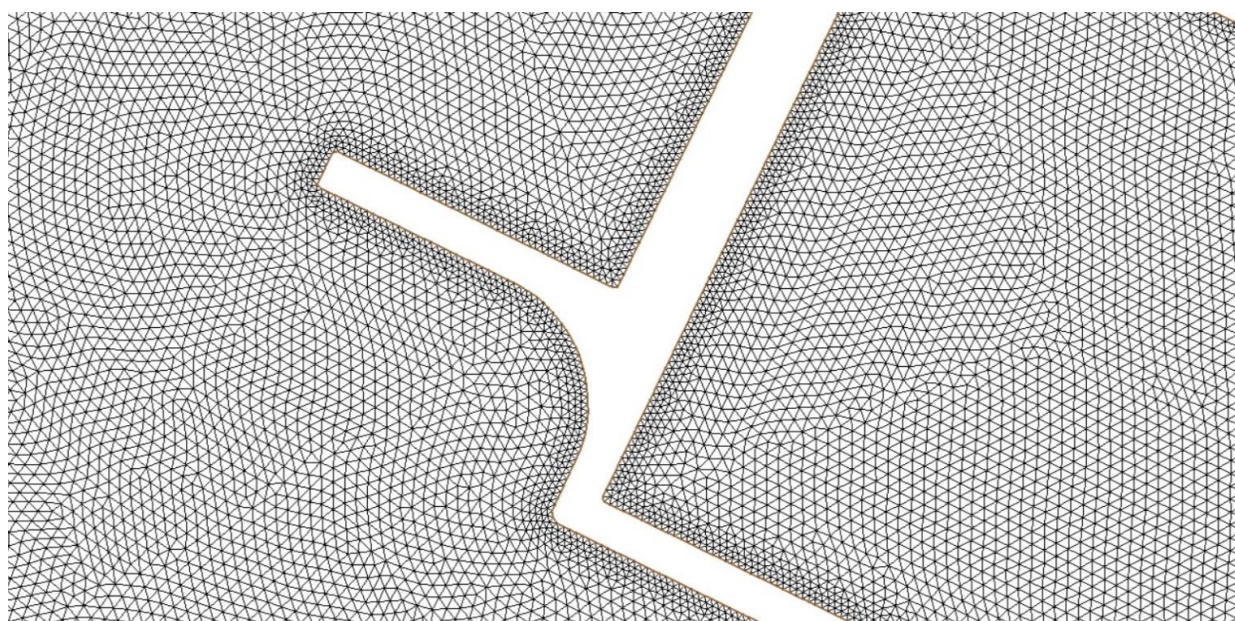




Slika 34. Koeficijenti refleksije



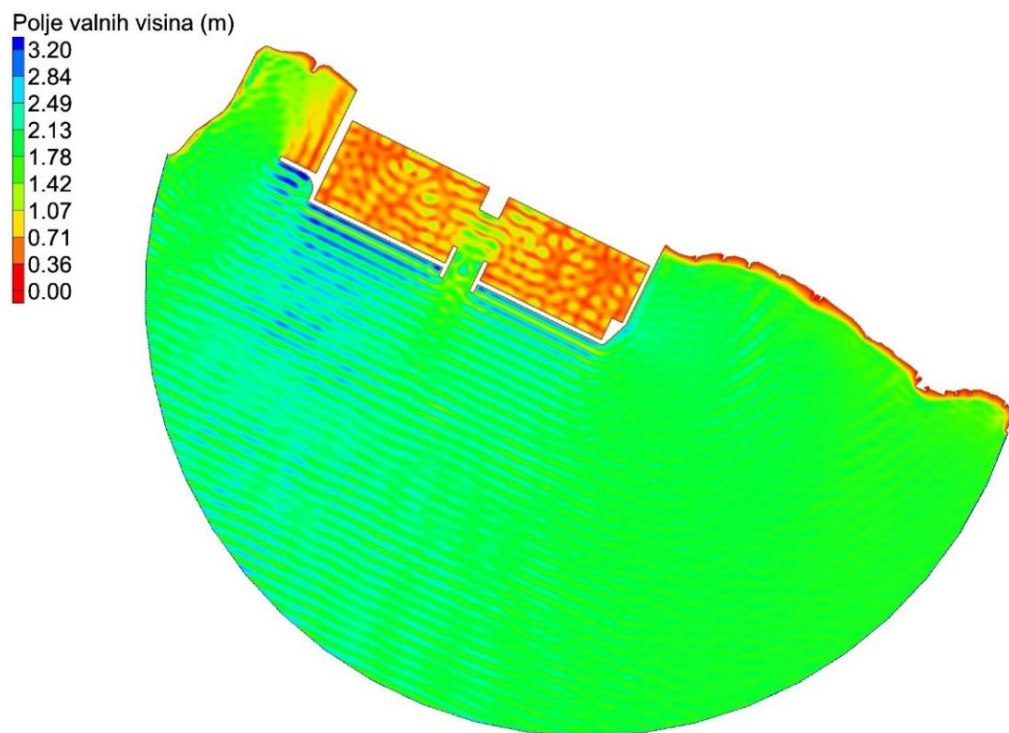
Slika 35.1. Prikaz položaja presjeka



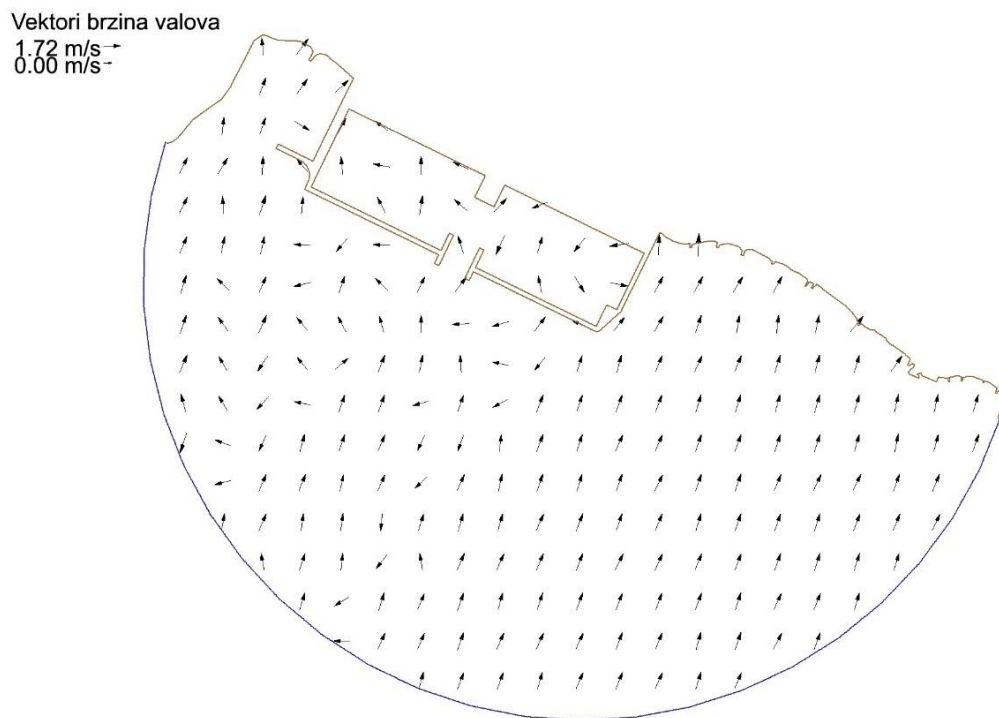
*Slika 35.2. Prikaz diskretizacije dijela domene*

## Rezultati proračuna za smjer SSW

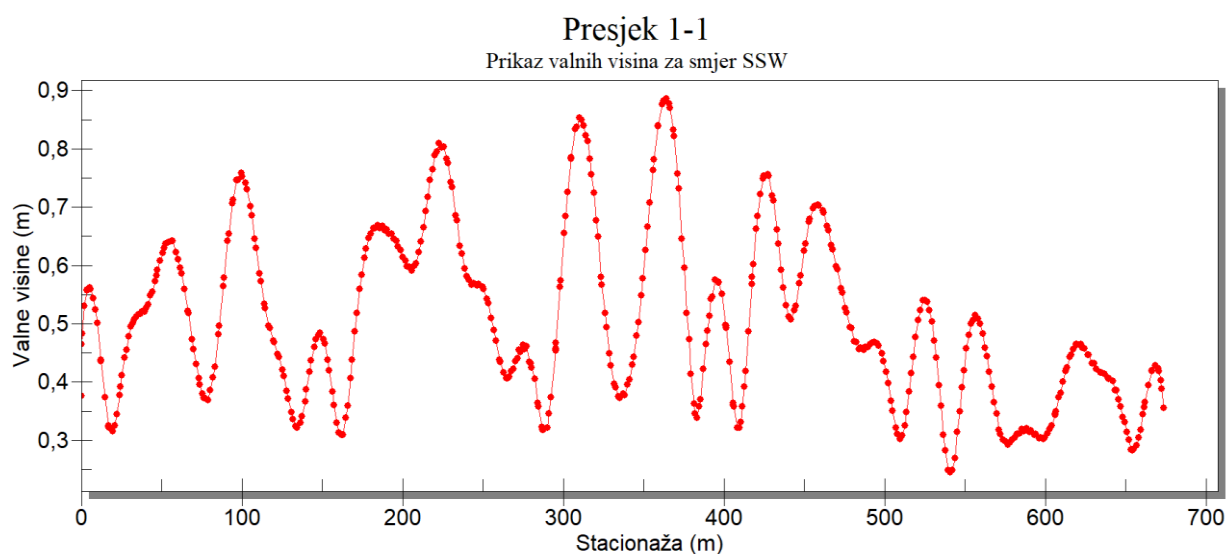
Petogodišnji povratni period,  $H_s=1.647\text{m}$ ,  $T_s=3.308\text{s}$ ,  $nn=4$



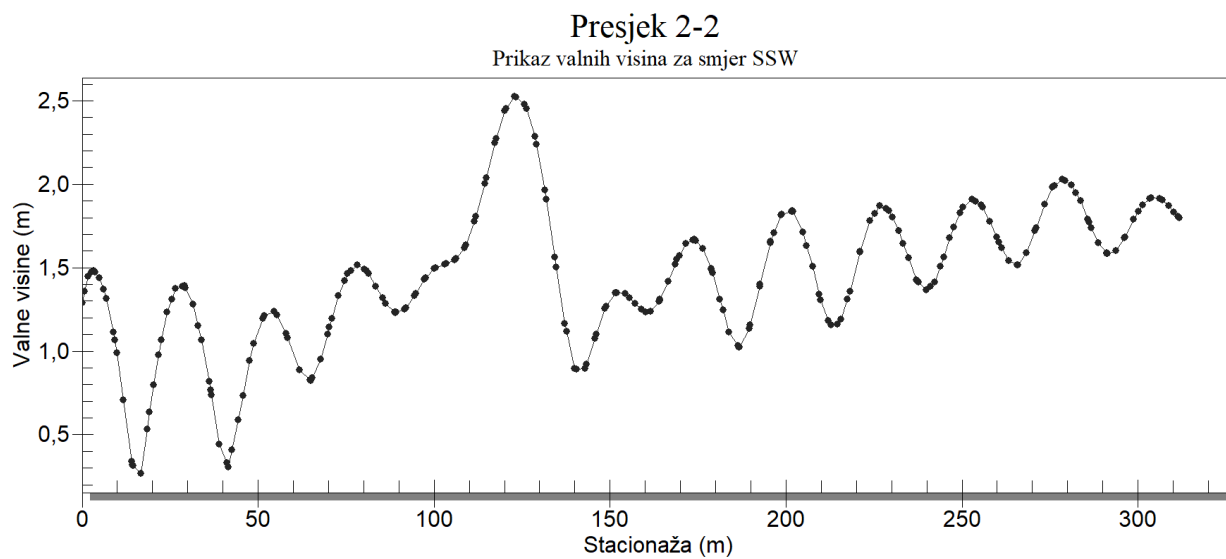
*Slika 36. Prikaz polja valnih visina za smjer SSW*



*Slika 37. Vektori valnih brzina za smjer SSW*



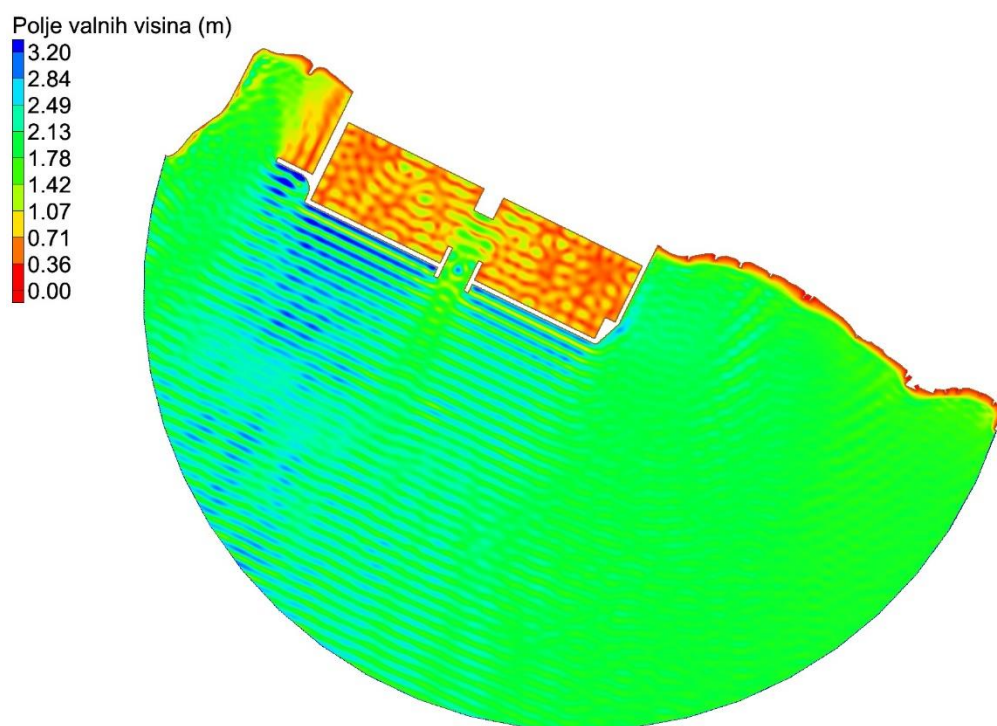
*Slika 38. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*



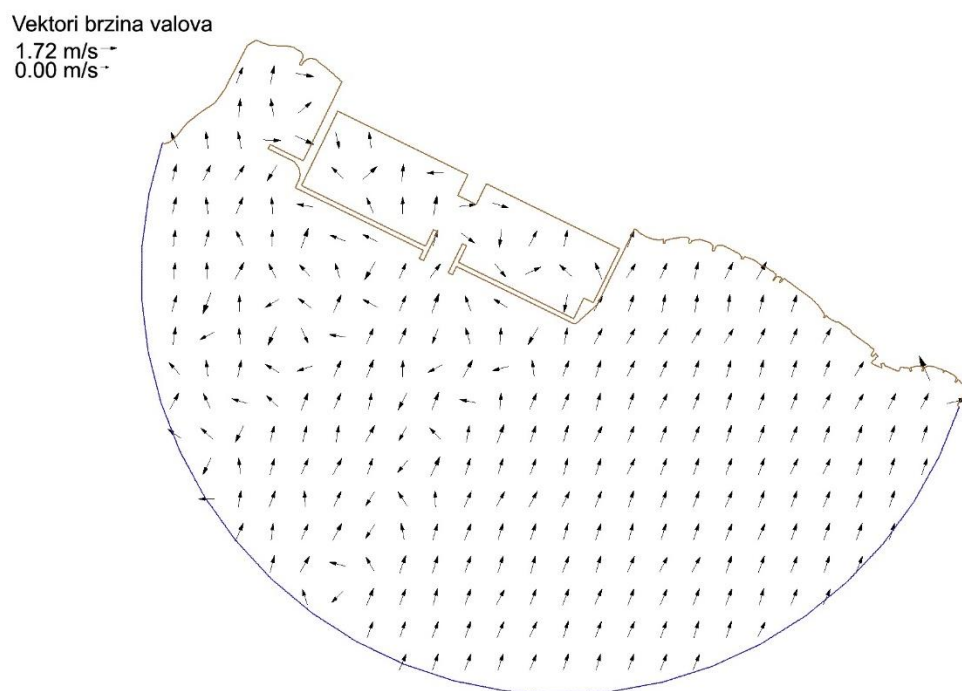
*Slika 39. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*



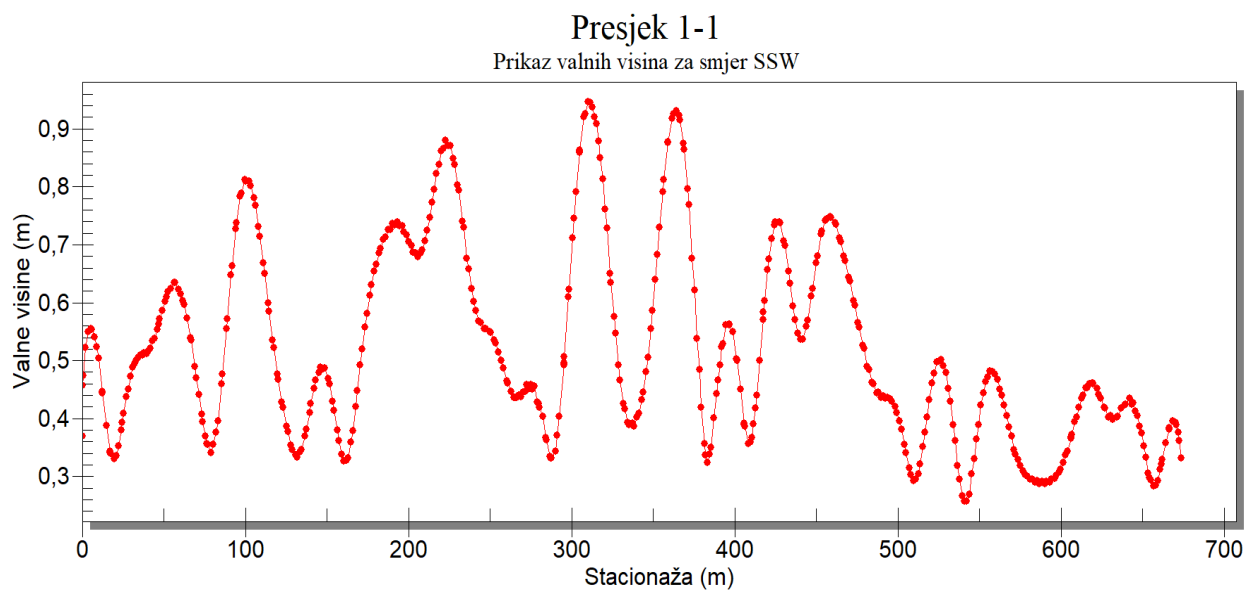
Petogodišnji povratni period,  $H_s=1.647\text{m}$ ,  $T_s=3.308\text{s}$ ,  $nn=10$



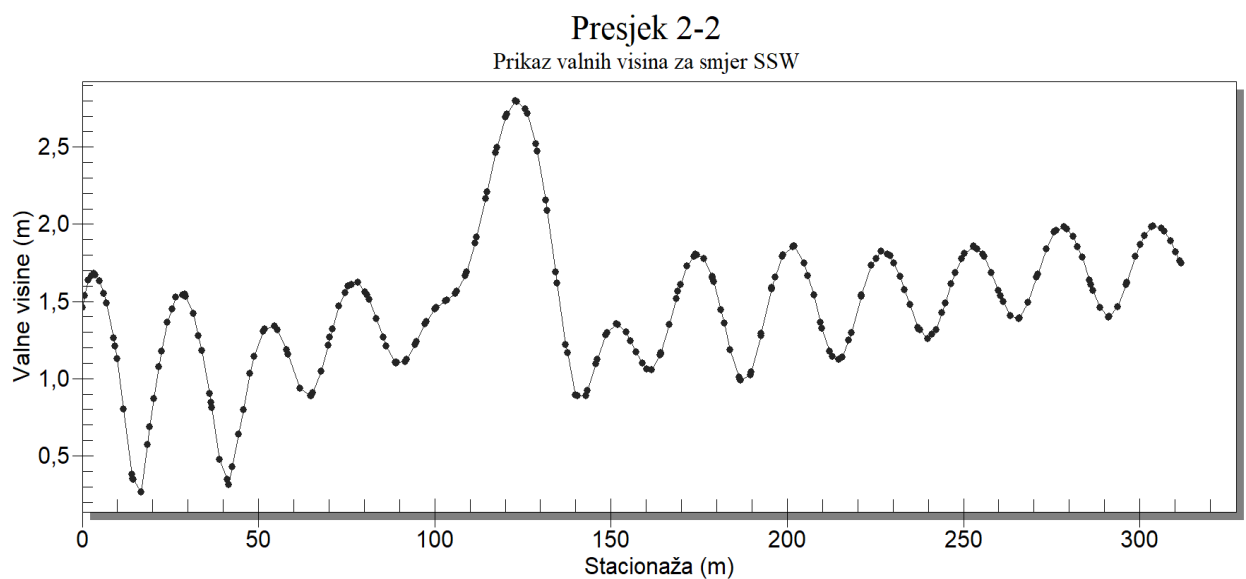
*Slika 40. Prikaz polja valnih visina za smjer SSW*



*Slika 41. Vektori valnih brzina za smjer SSW*



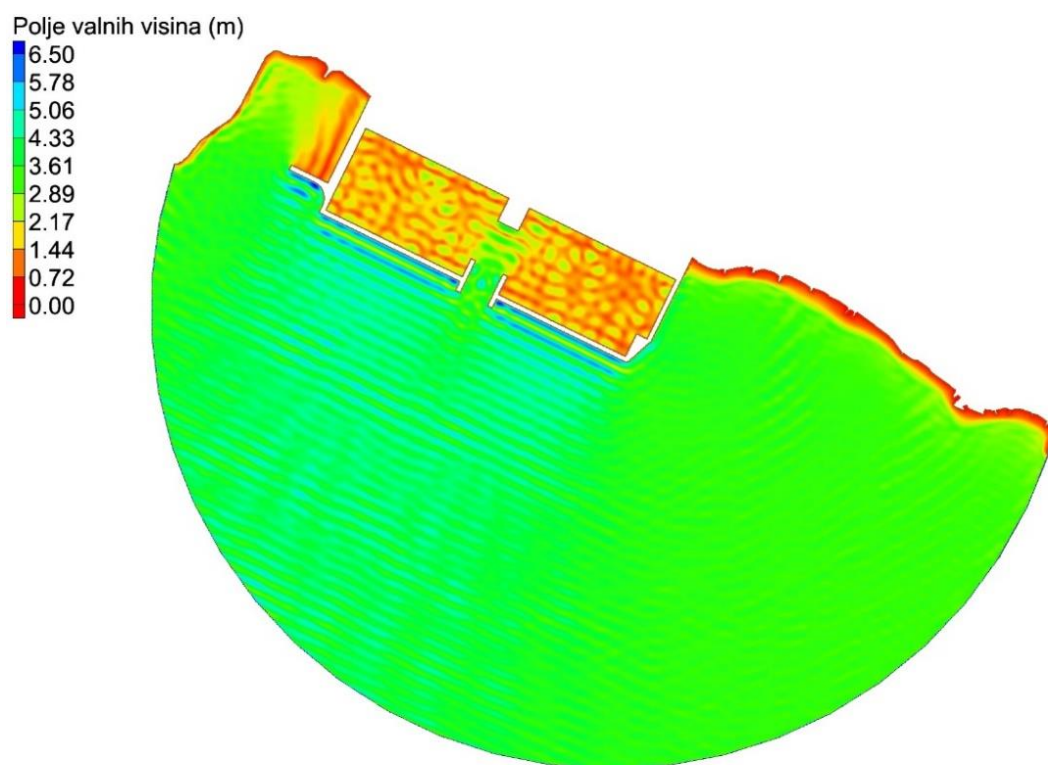
*Slika 42. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*



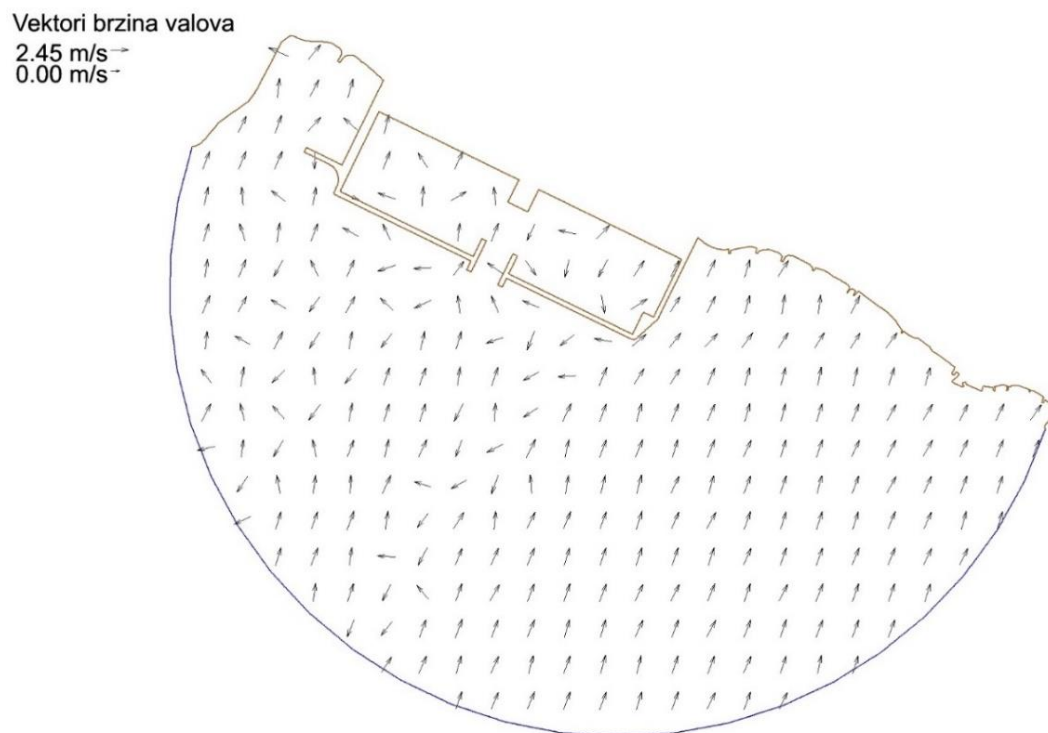
*Slika 43. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*



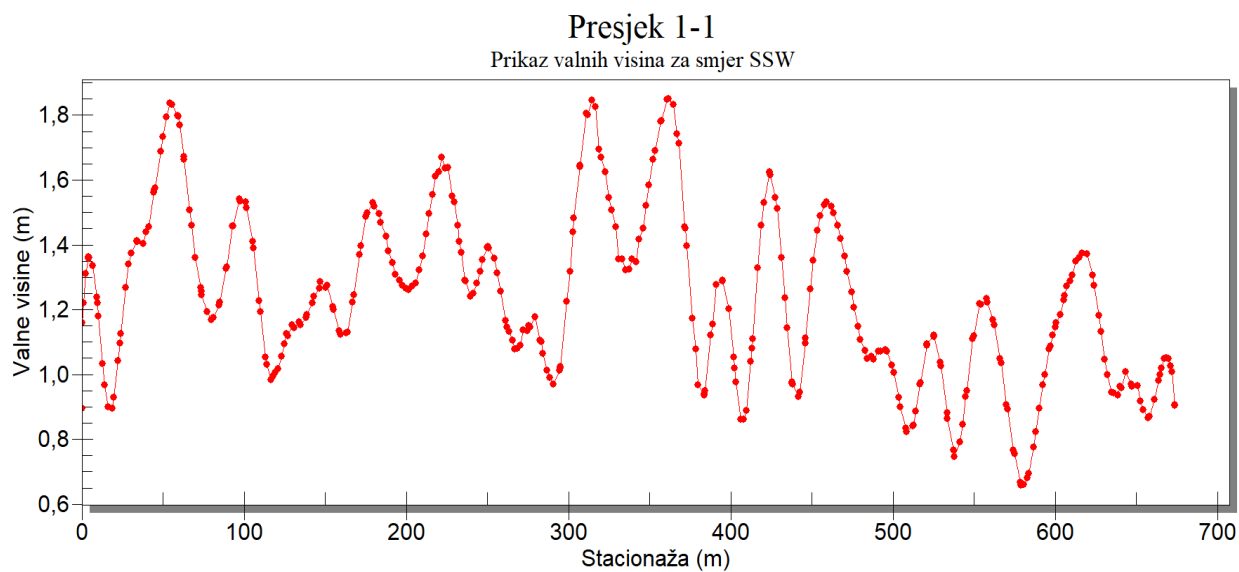
Stogodišnji povratni period,  $H_s=2.986\text{m}$ ,  $T_s=3.989\text{s}$ ,  $n_n=4$



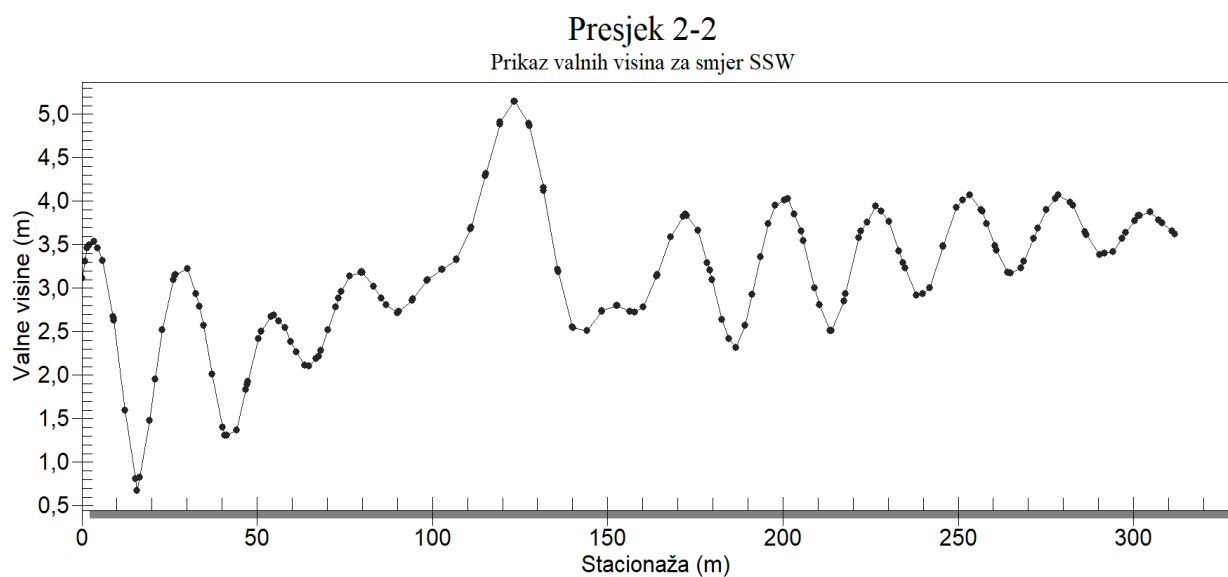
*Slika 44. Prikaz polja valnih visina za smjer SSW*



*Slika 45. Vektori valnih brzina za smjer SSW*

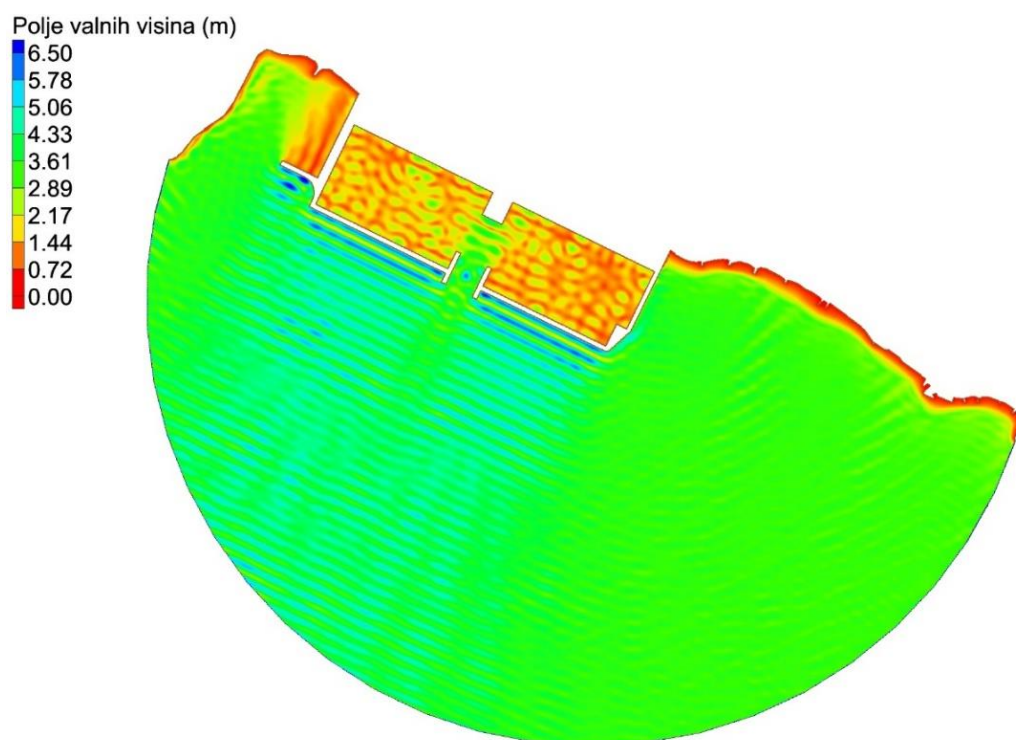


*Slika 46. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*

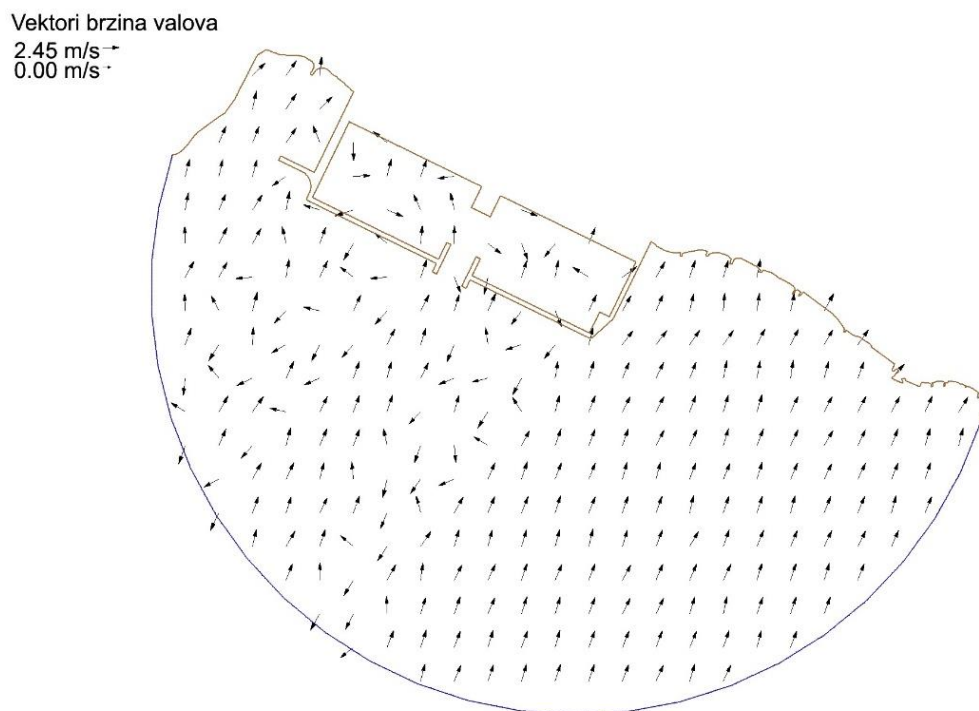


*Slika 47. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

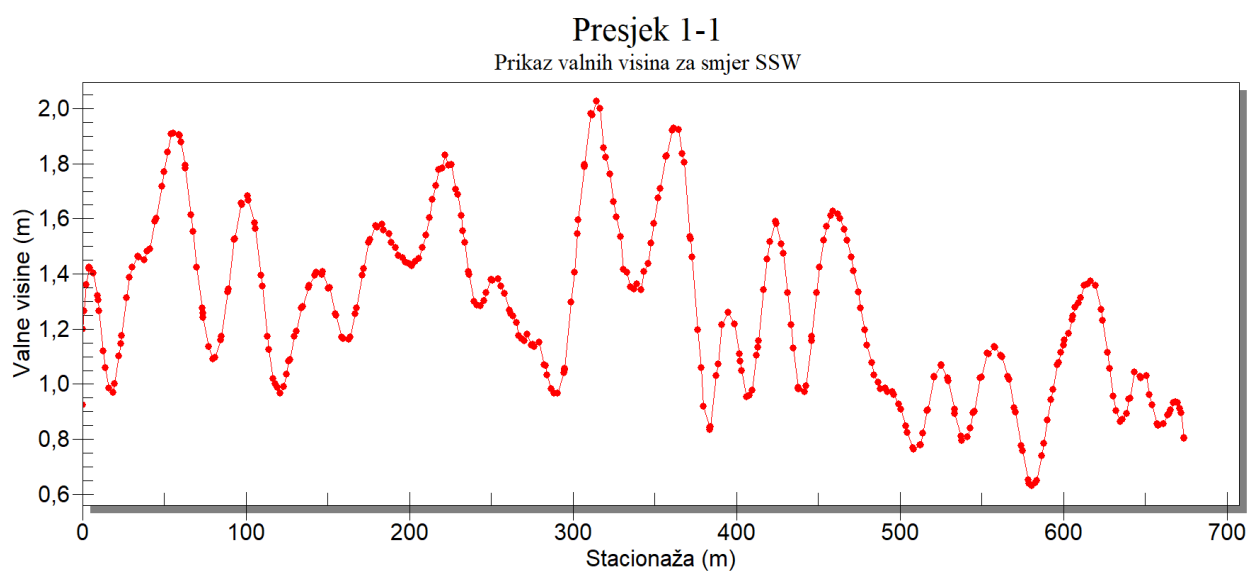
Stogodišnji povratni period,  $H_s=2.986\text{m}$ ,  $T_s=3.989\text{s}$ ,  $nn=10$



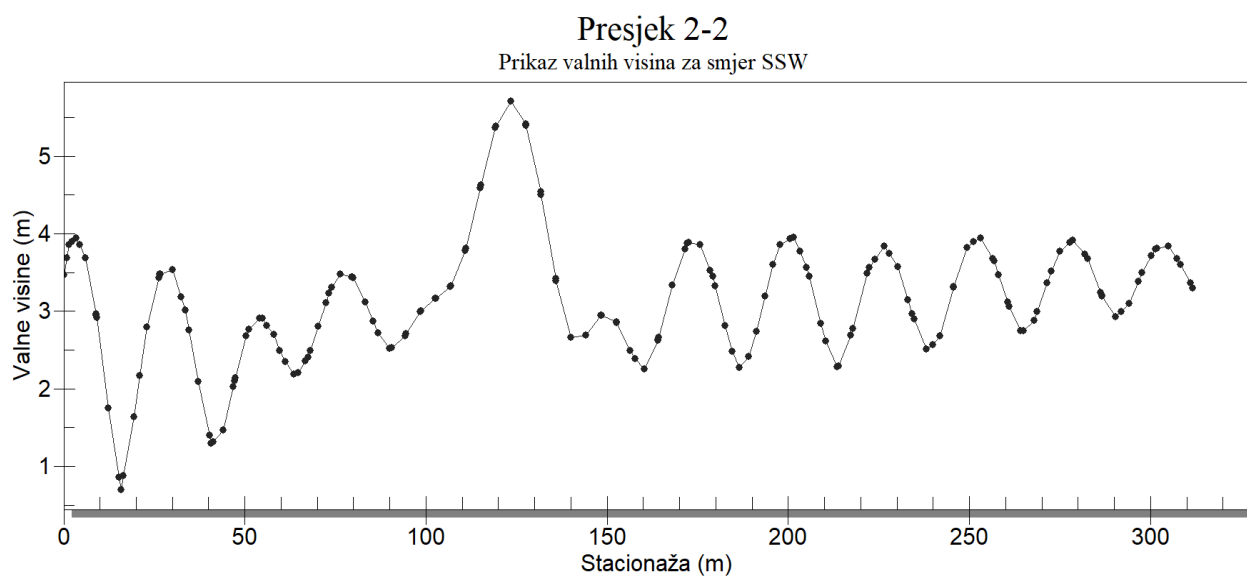
*Slika 48. Prikaz polja valnih visina za smjer SSW*



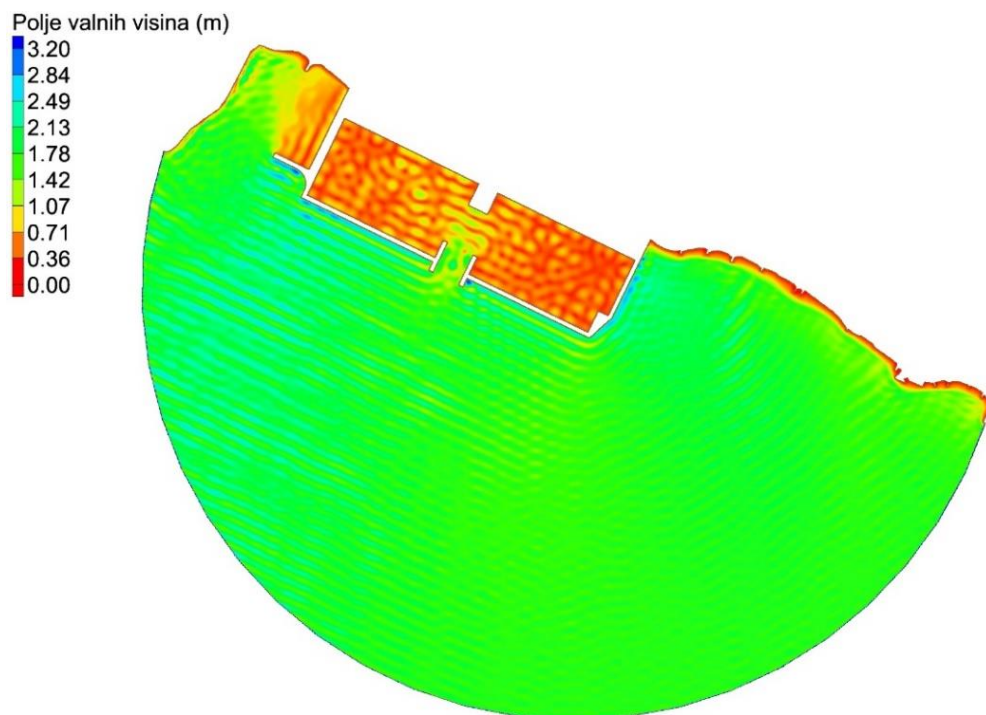
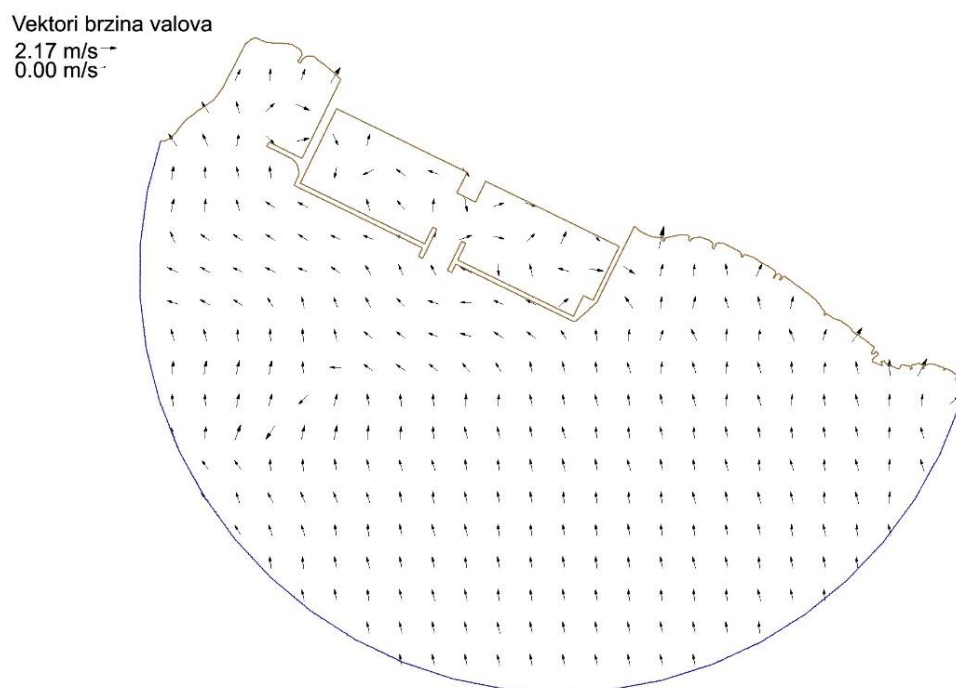
*Slika 49. Vektori valnih brzina za smjer SSW*

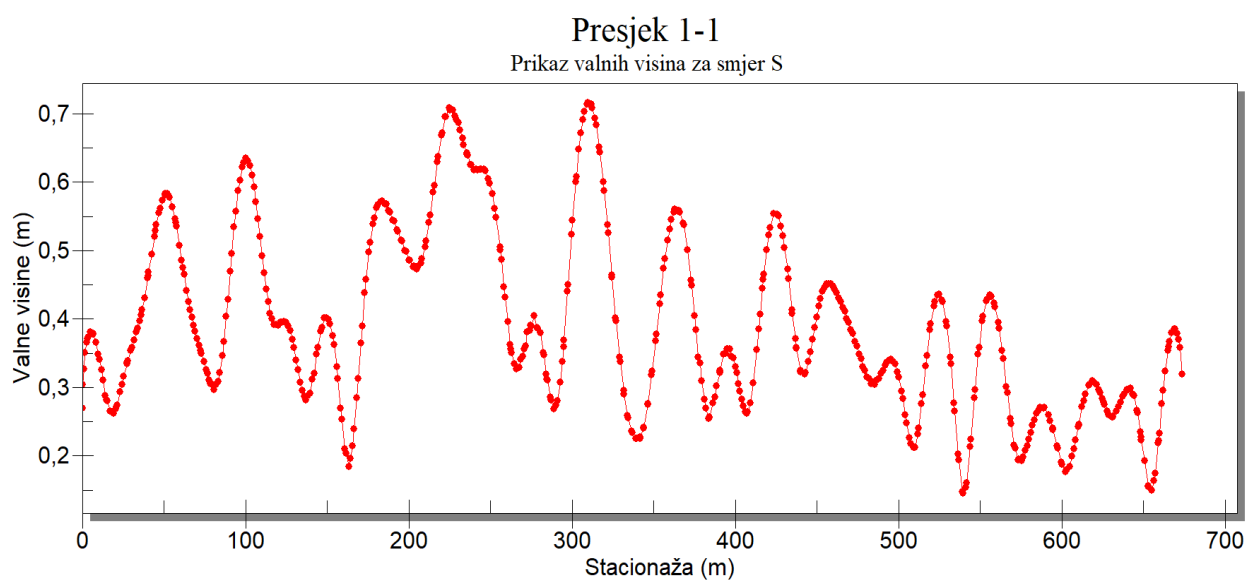


*Slika 50. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*

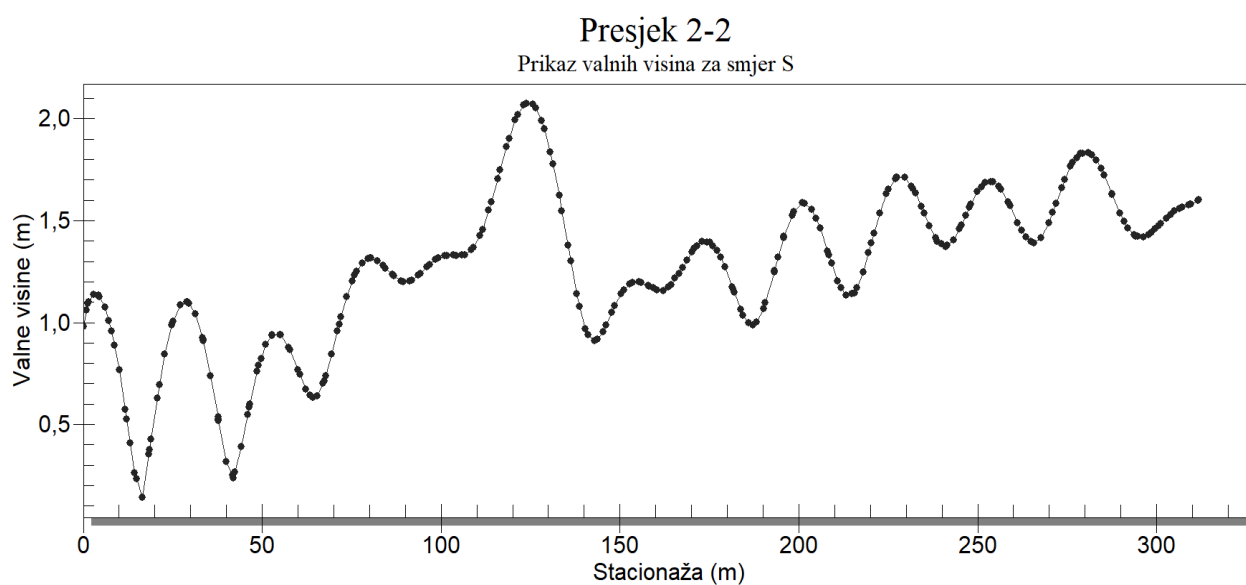


*Slika 51. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

**Rezultati proračuna za smjer S**Petogodišnji povratni period,  $H_s=1.531\text{m}$ ,  $T_s=3.077\text{s}$ ,  $nn=4$ *Slika 52. Prikaz polja valnih visina za smjer S**Slika 53. Vektori valnih brzina za smjer S*



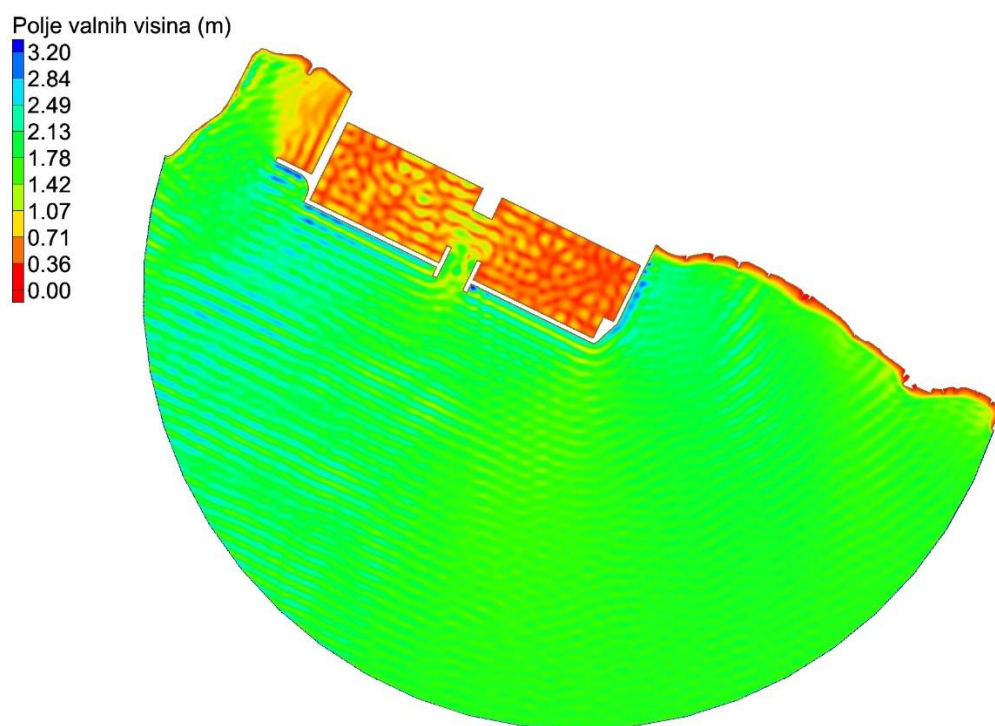
*Slika 54. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*



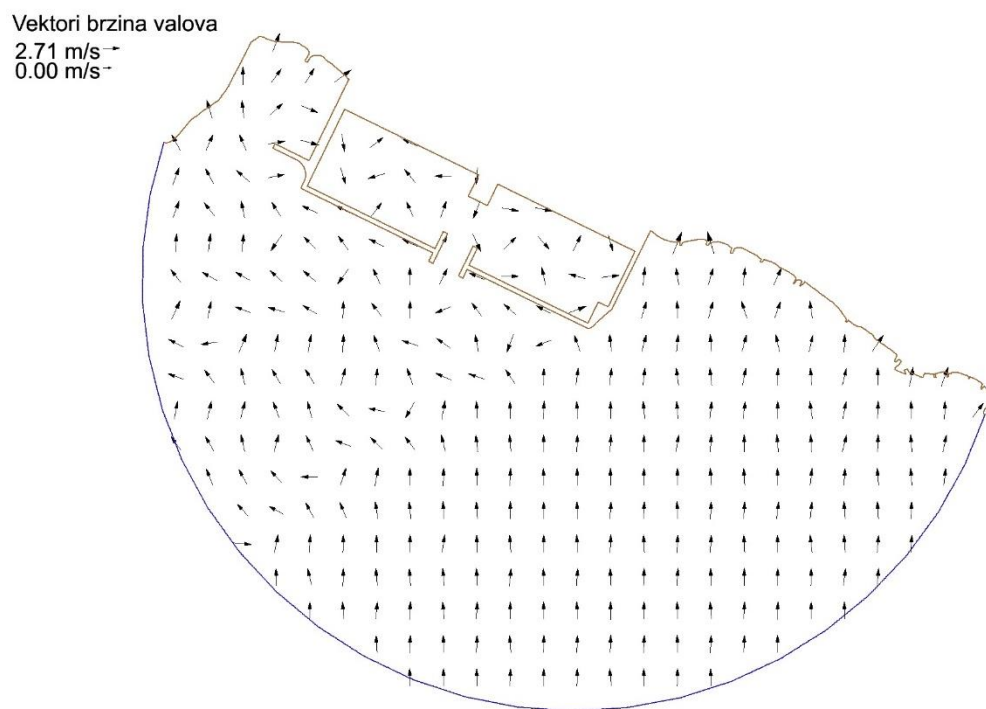
*Slika 55. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*



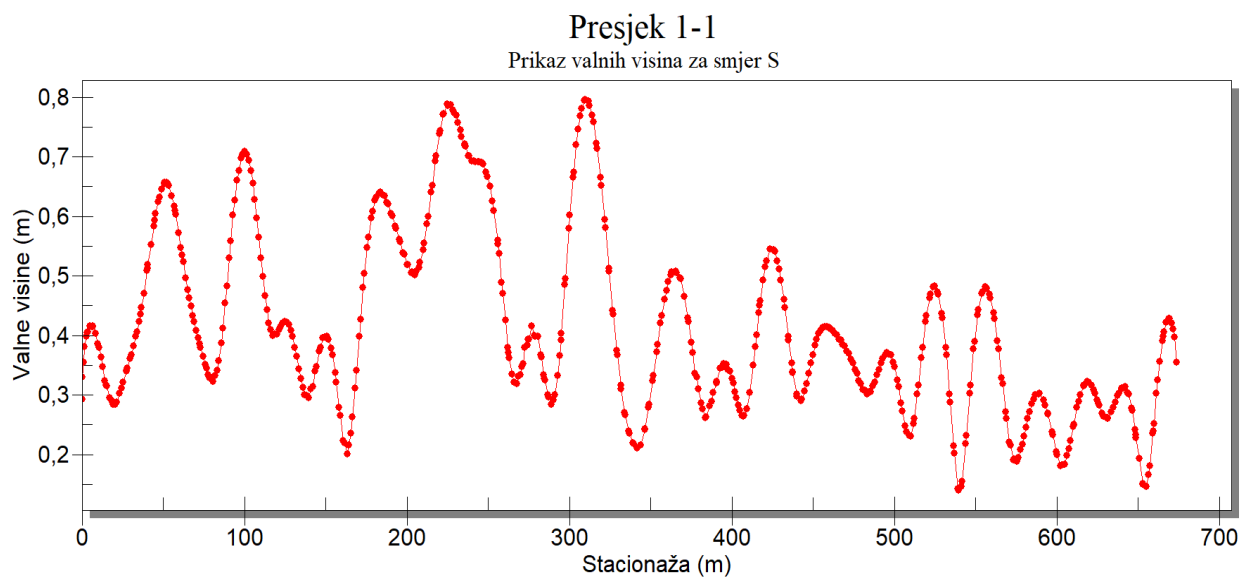
Petogodišnji povratni period,  $H_s=1.531\text{m}$ ,  $T_s=3.077\text{s}$ ,  $nn=10$



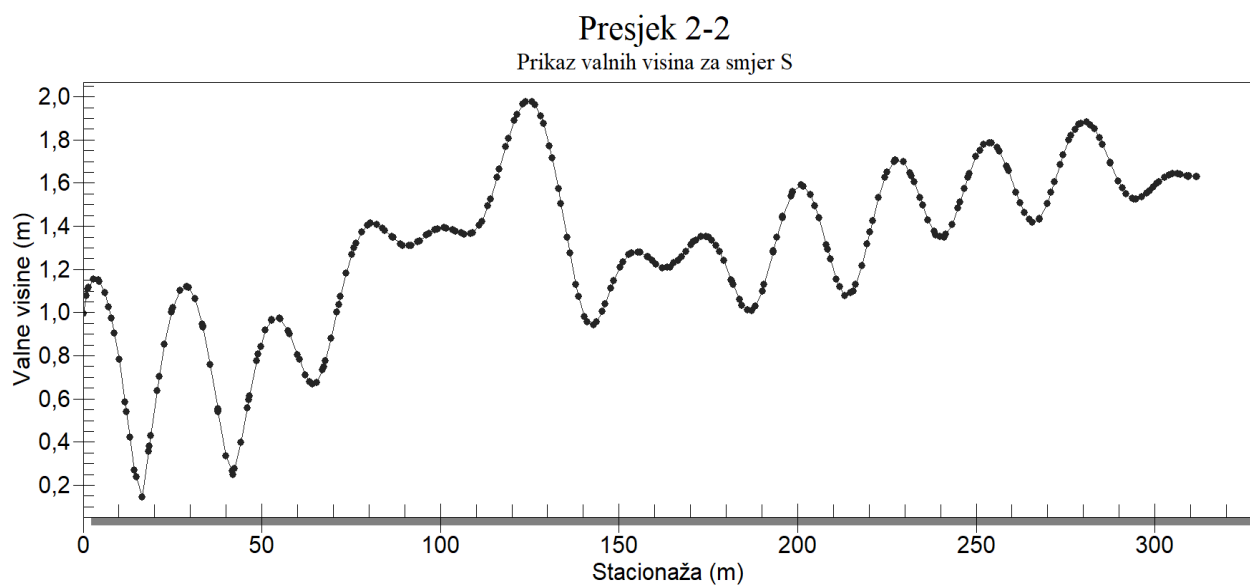
*Slika 56. Prikaz polja valnih visina za smjer S*



*Slika 57. Vektori valnih brzina za smjer S*

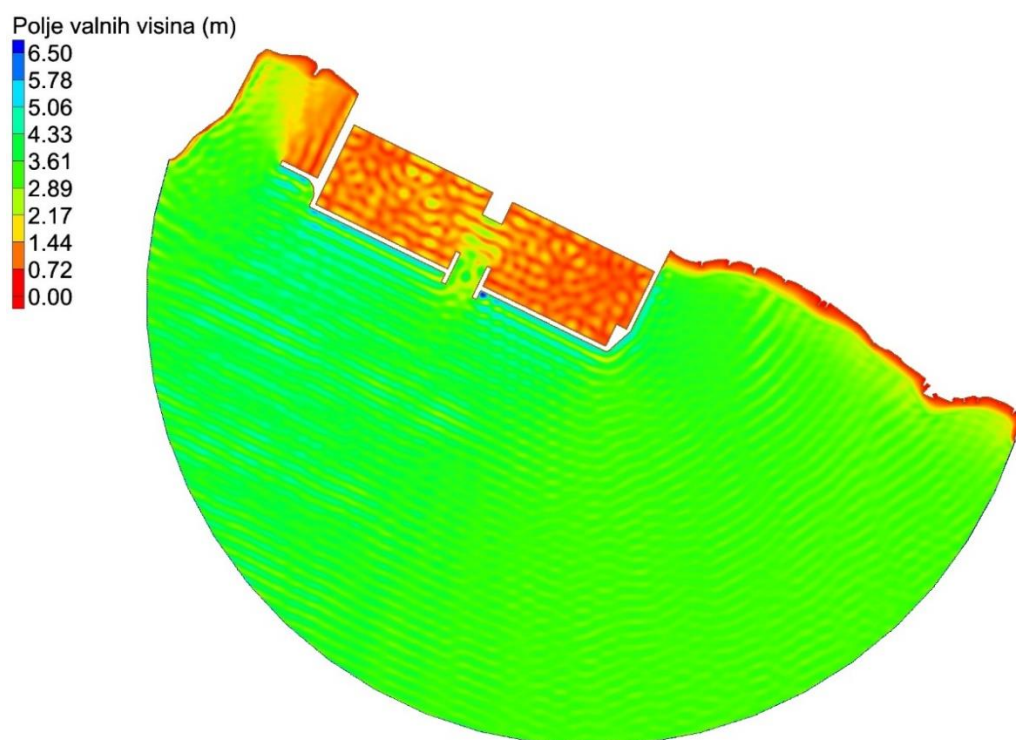


*Slika 58. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*

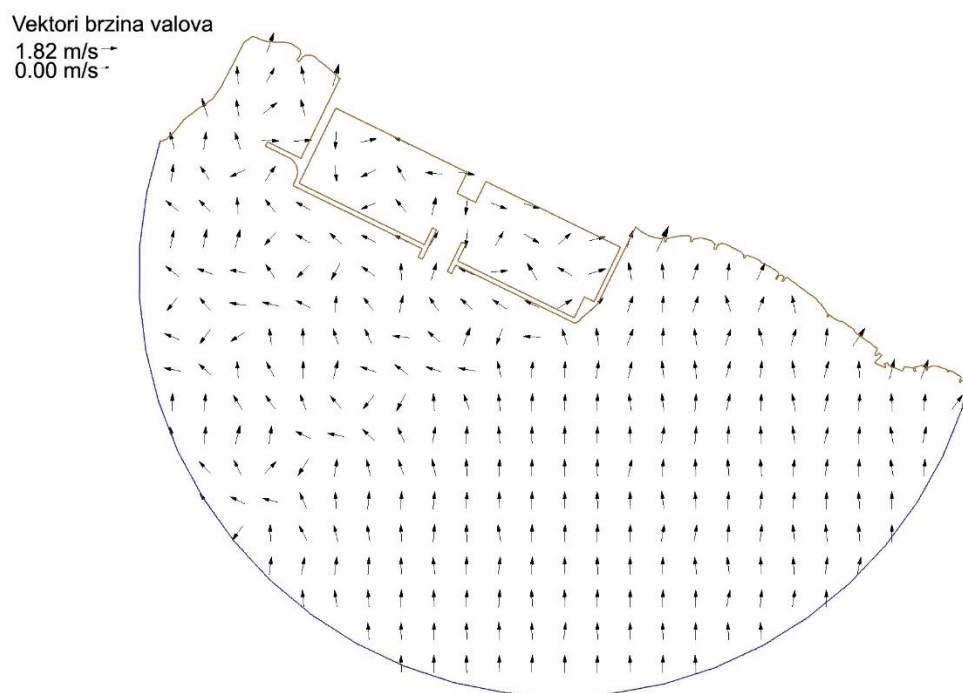


*Slika 59. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

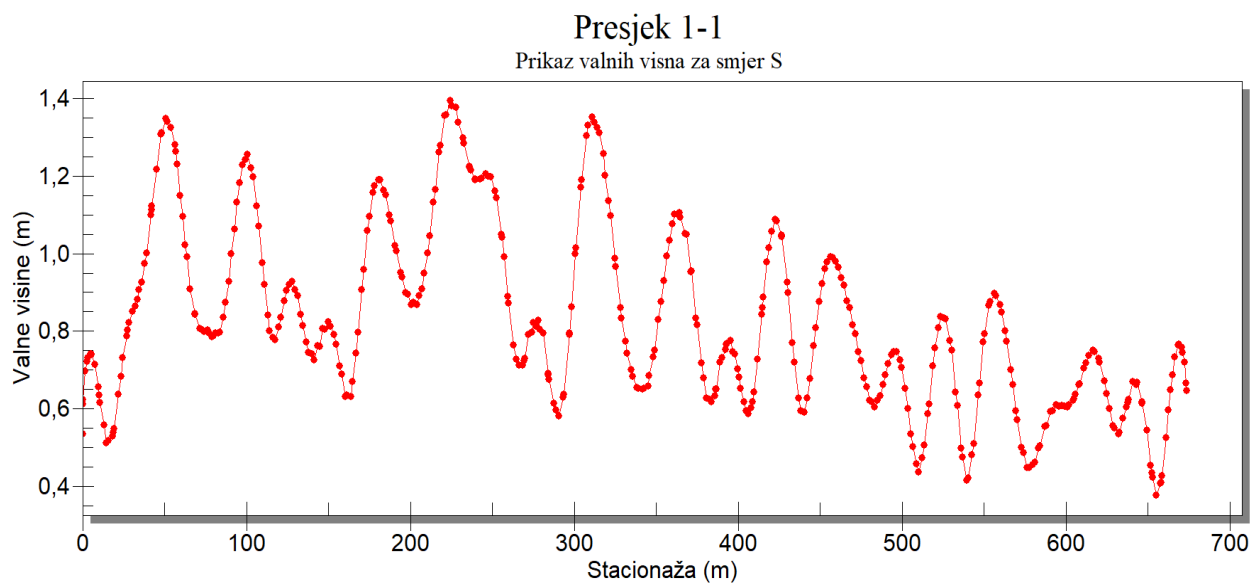
Stogodišnji povratni period,  $H_s=2.786\text{m}$ ,  $T_s=3.602\text{s}$ ,  $n_n=4$



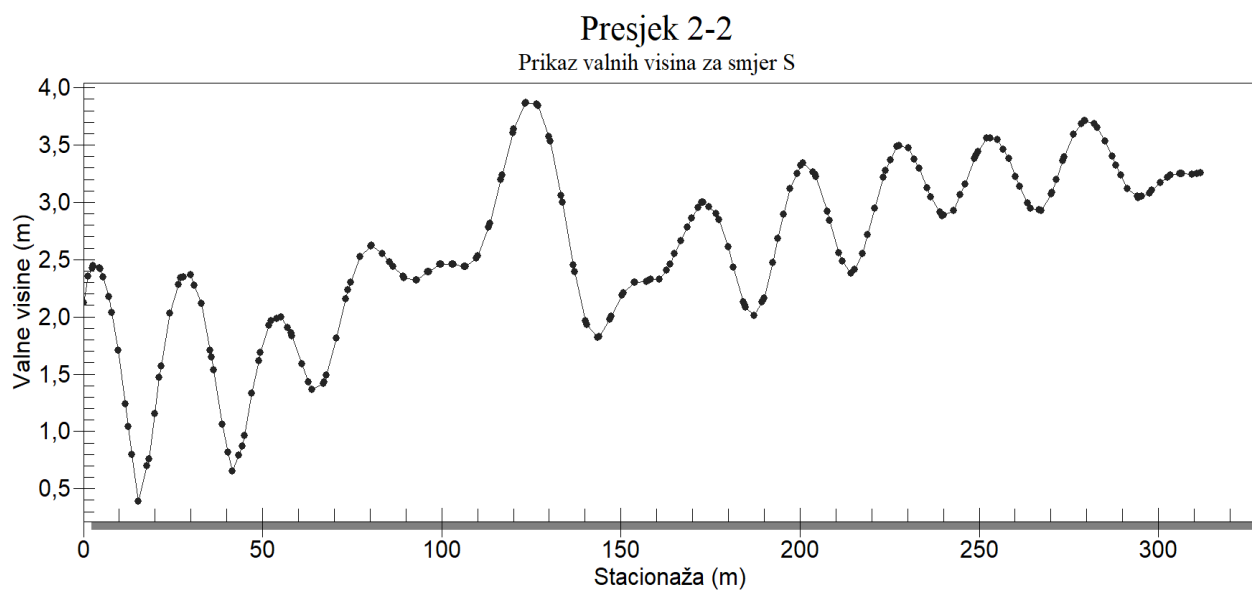
*Slika 60. Prikaz polja valnih visina za smjer S*



*Slika 61. Vektori valnih brzina za smjer S*

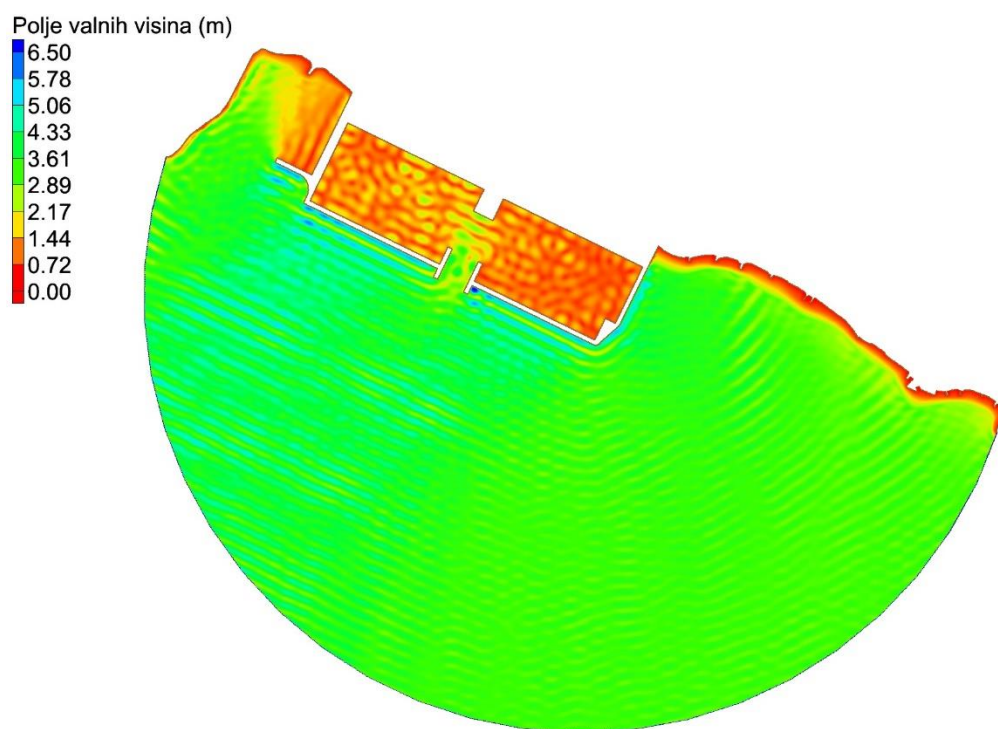


*Slika 62. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*

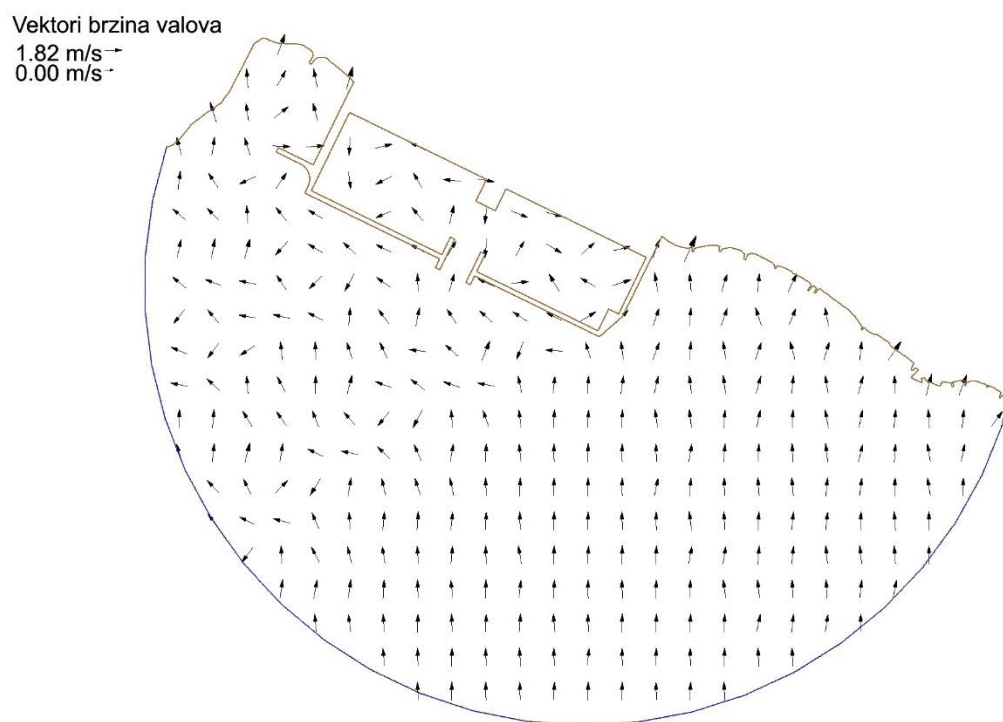


*Slika 63. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

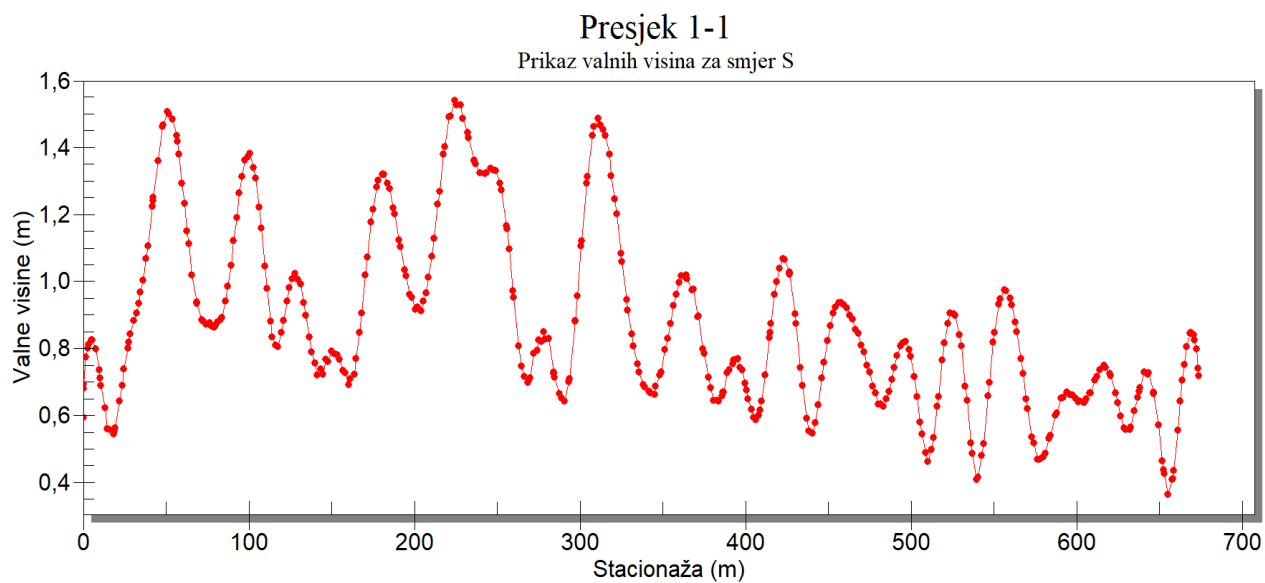
Stogodišnji povratni period,  $H_s=2.786\text{m}$ ,  $T_s=3.602\text{s}$ ,  $n_n=10$



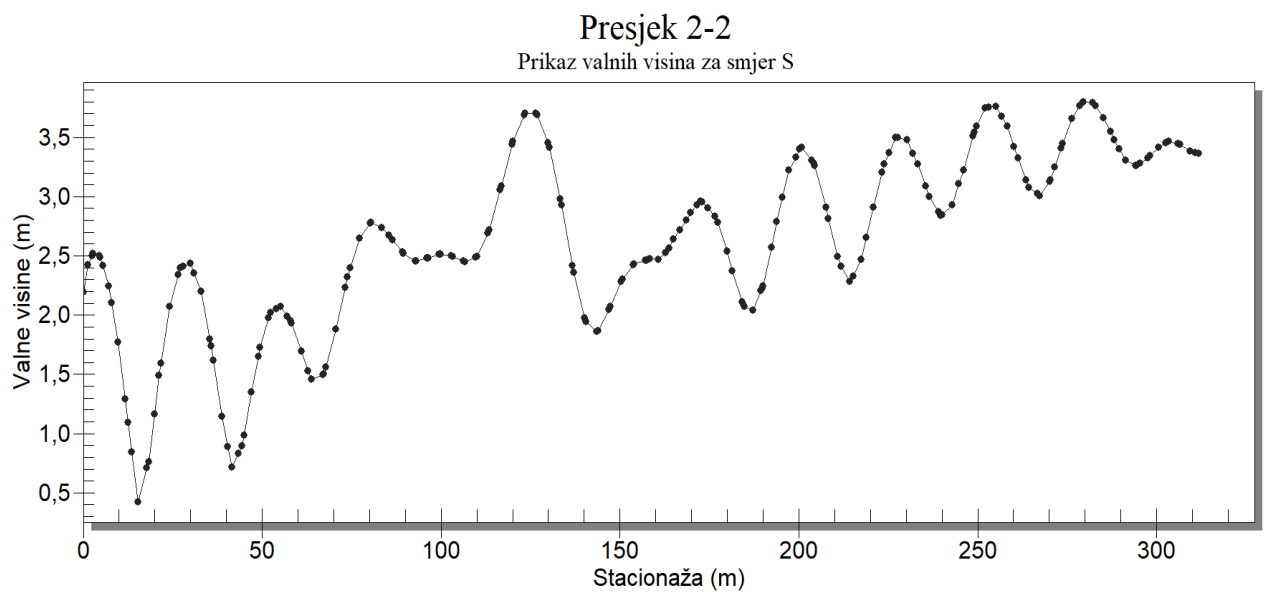
*Slika 64. Prikaz polja valnih visina za smjer S*



*Slika 65. Vektori valnih brzina za smjer S*



*Slika 66. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*

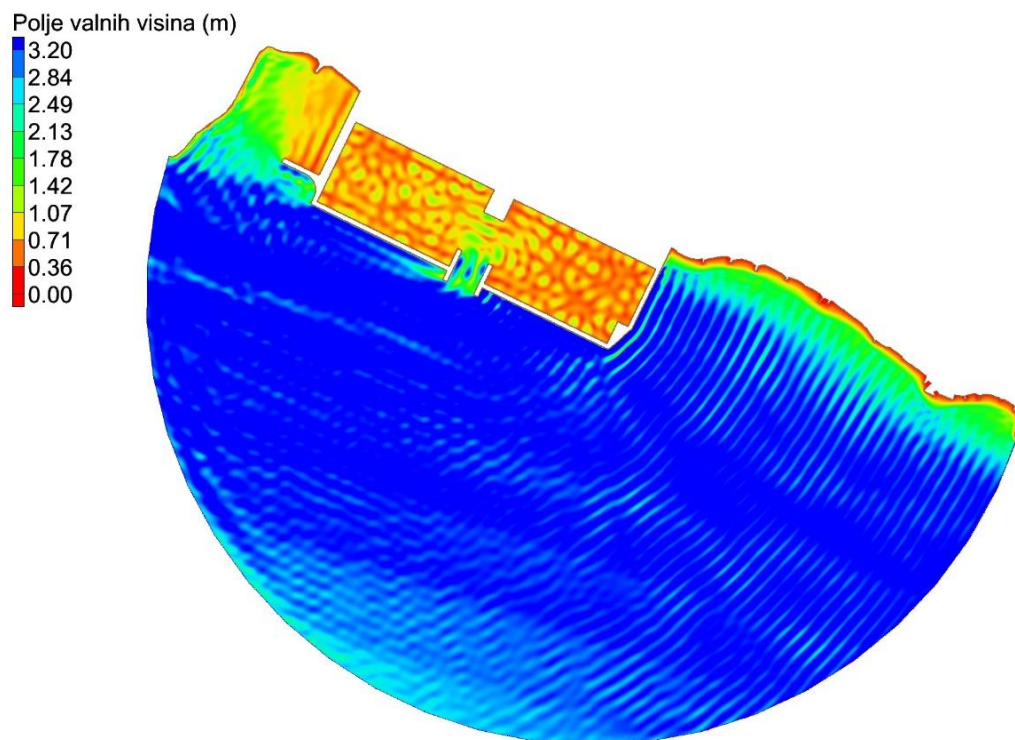


*Slika 67. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

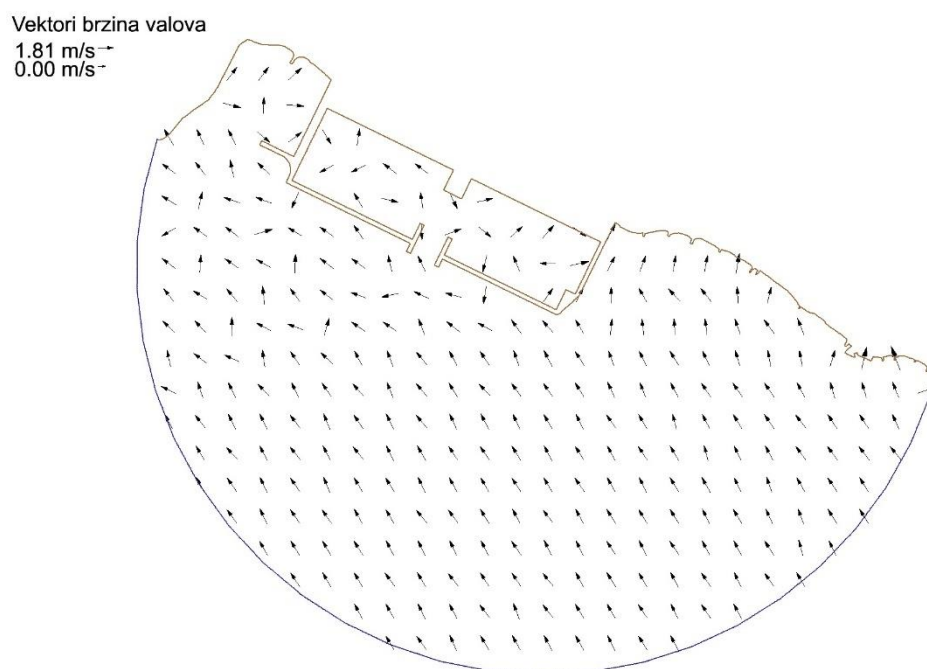


## Rezultati proračuna za smjer SSE

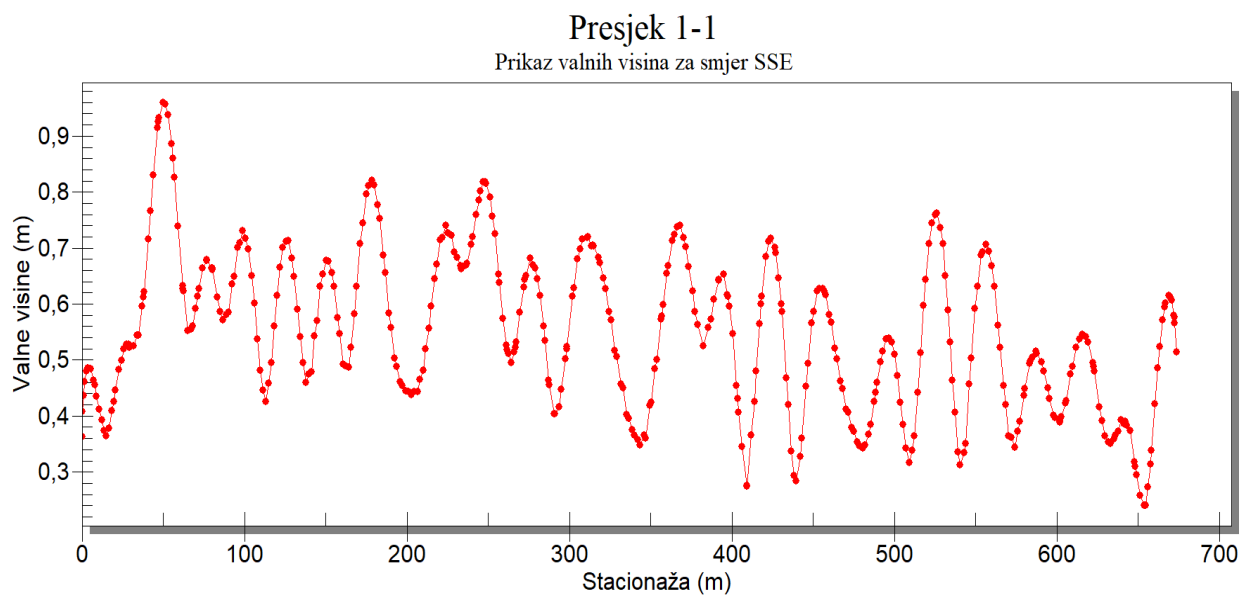
Petogodišnji povratni period,  $H_s=1.766\text{m}$ ,  $T_s=3.674\text{s}$ ,  $n_n=4$



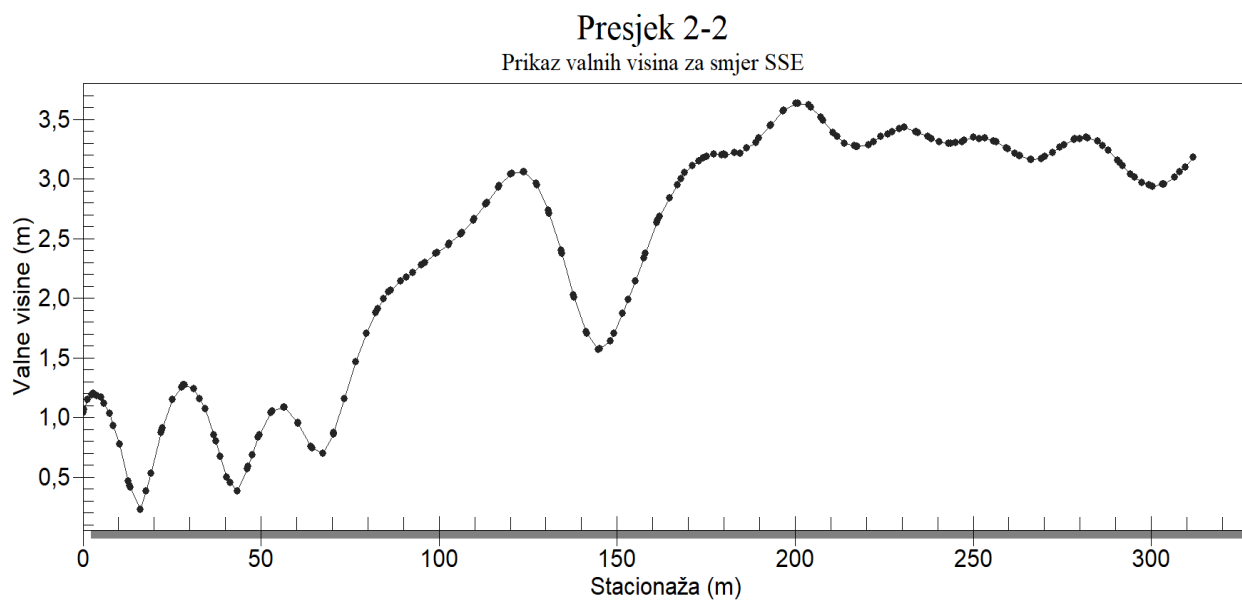
*Slika 68. Prikaz polja valnih visina za smjer SSE*



*Slika 69. Vektori valnih brzina za smjer SSE*

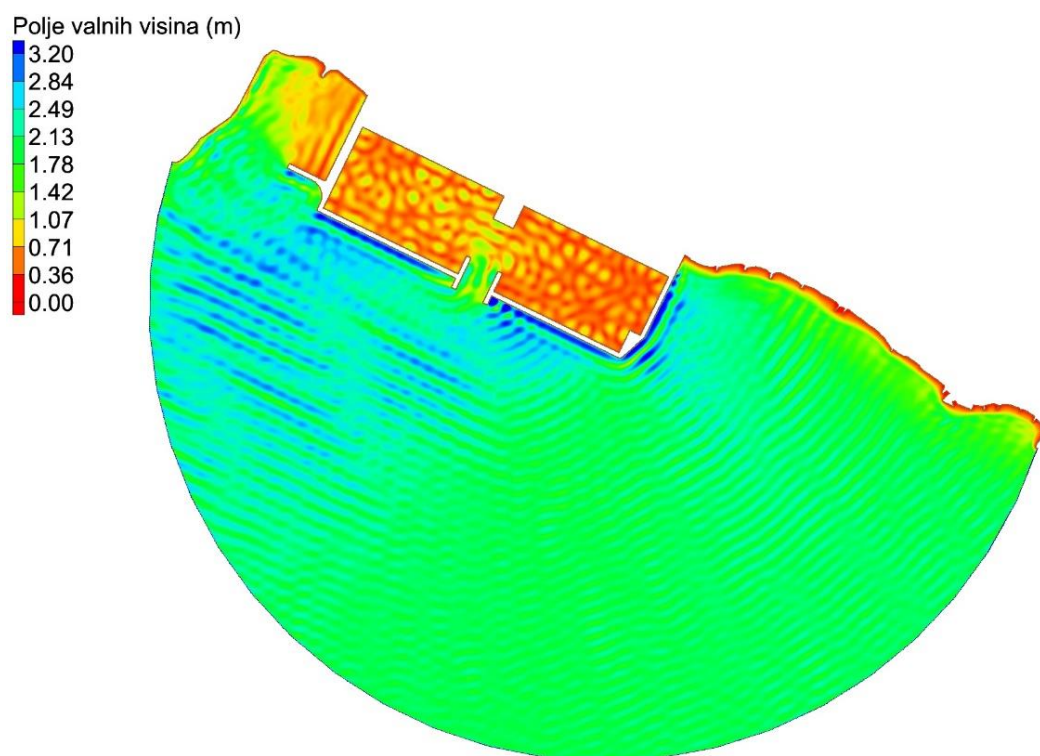


*Slika 70. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*

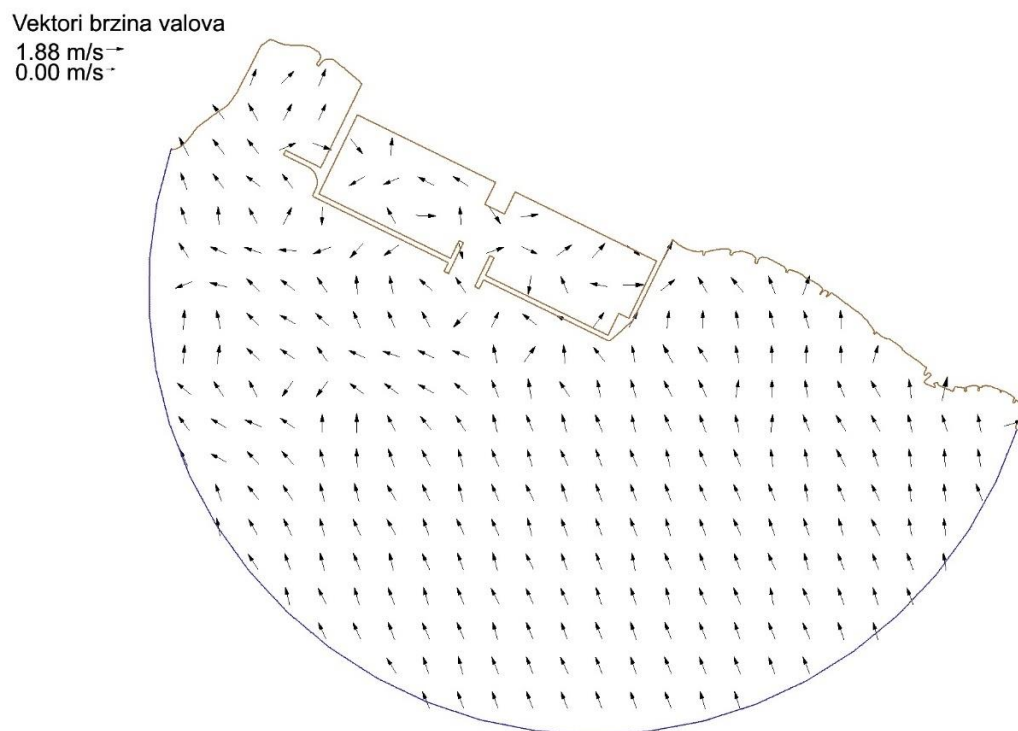


*Slika 71. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

Petogodišnji povratni period,  $H_s=1.766\text{m}$ ,  $T_s=3.674\text{s}$ ,  $nn=10$



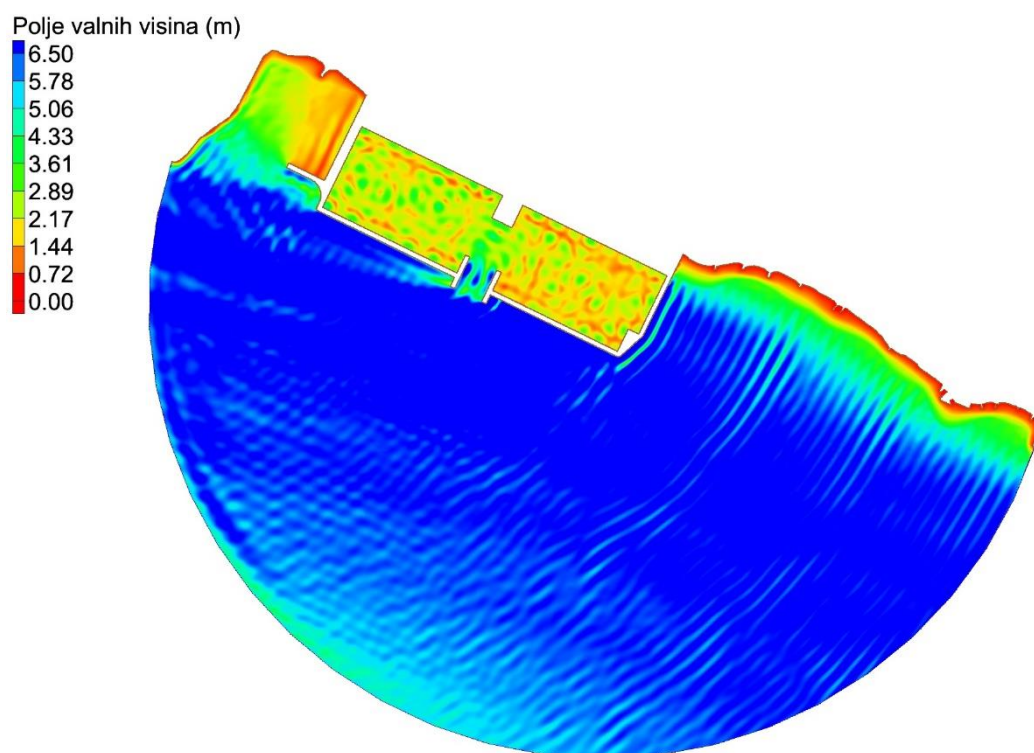
Slika 72. Prikaz polja valnih visina za smjer SSE



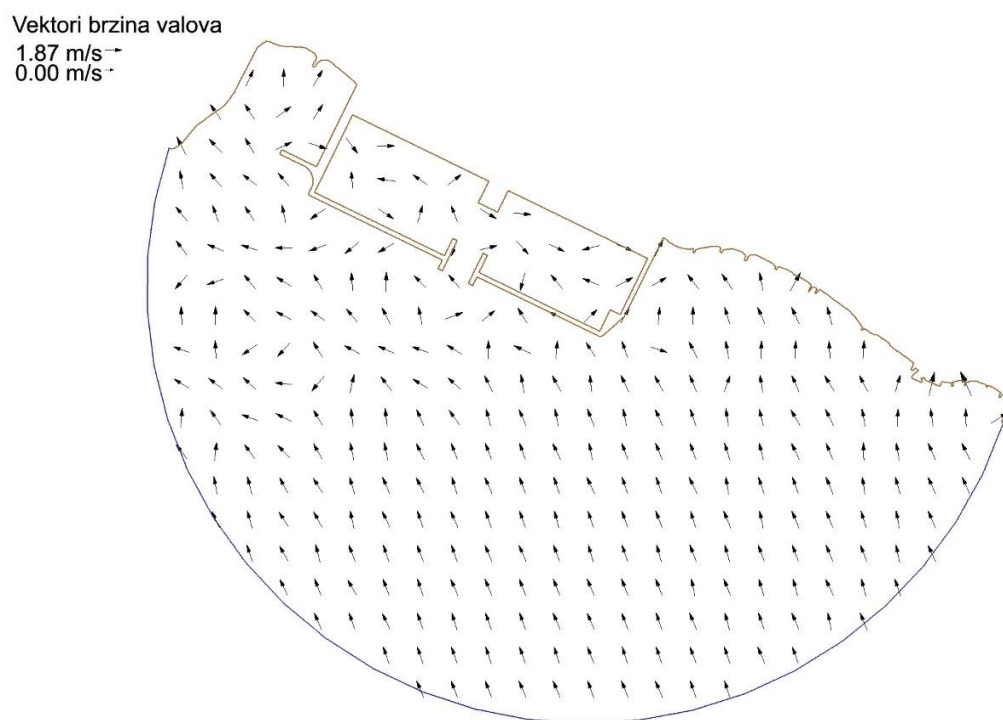
Slika 73. Vektori valnih brzina za smjer SSE



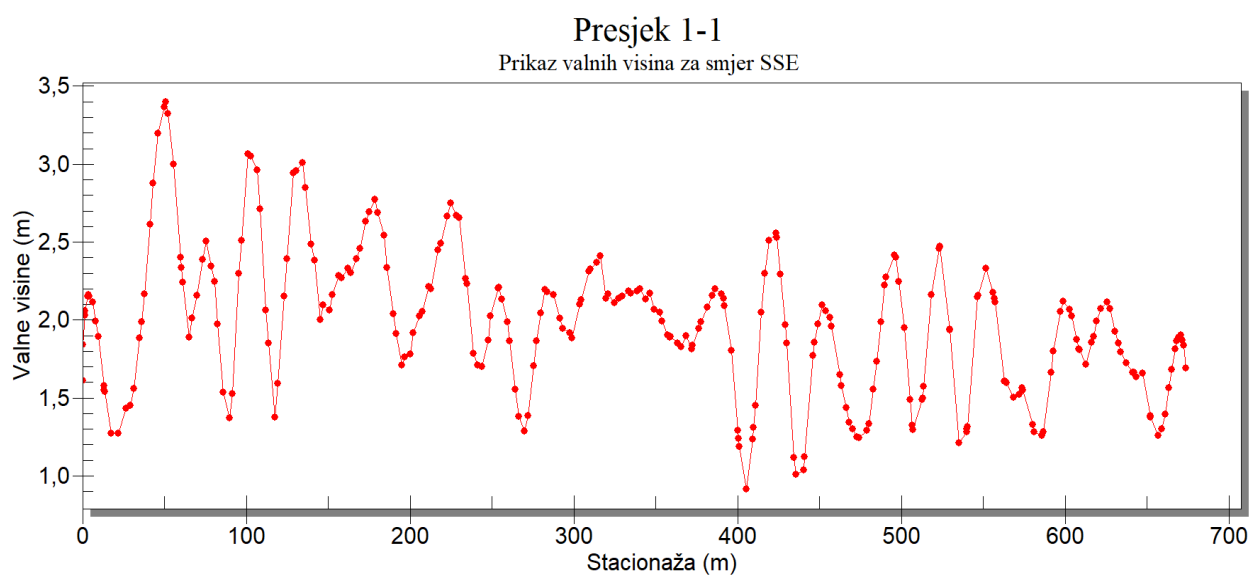
Stogodišnji povratni period,  $H_s=3.222\text{m}$ ,  $T_s=4.627\text{s}$ ,  $n_n=4$



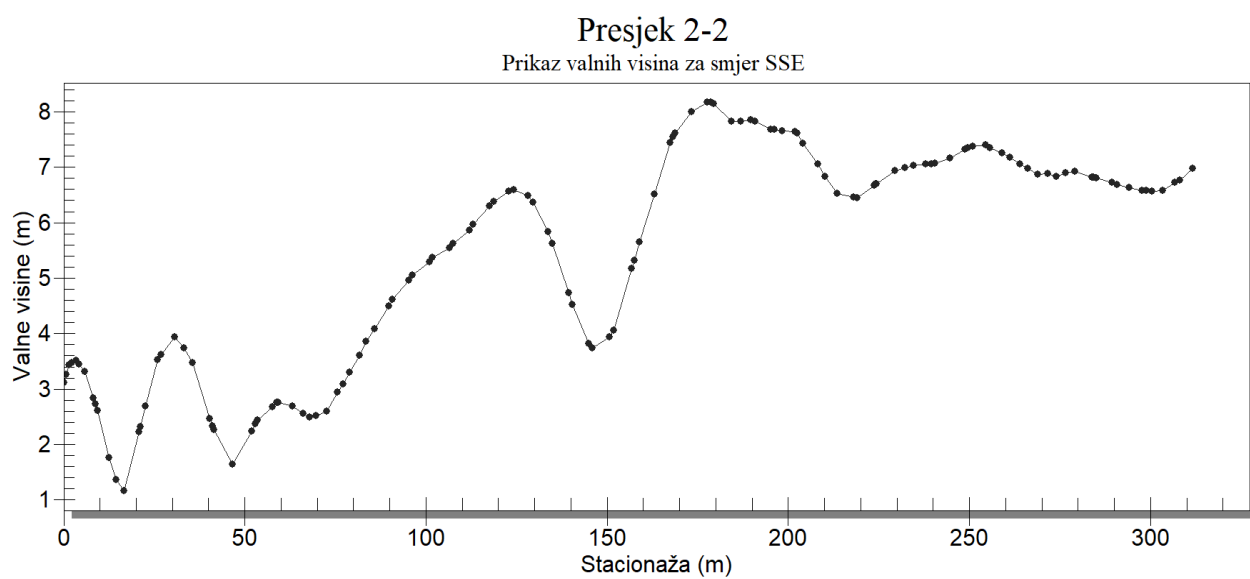
*Slika 76. Prikaz polja valnih visina za smjer SSE*



*Slika 77. Vektori valnih brzina za smjer SSE*



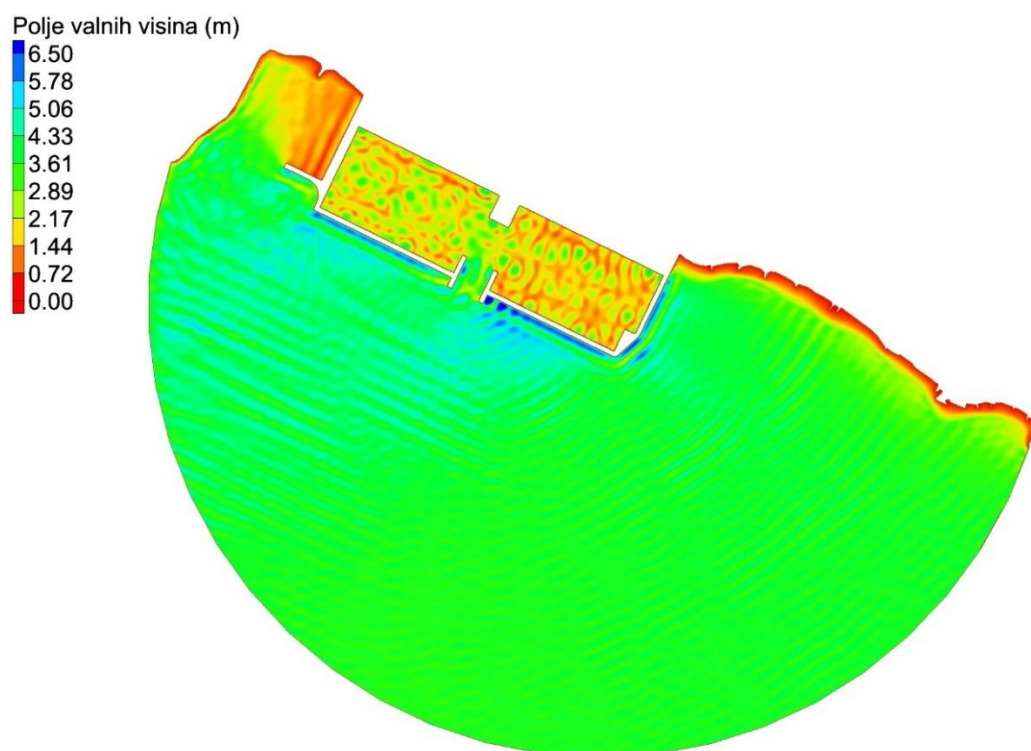
*Slika 78. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*



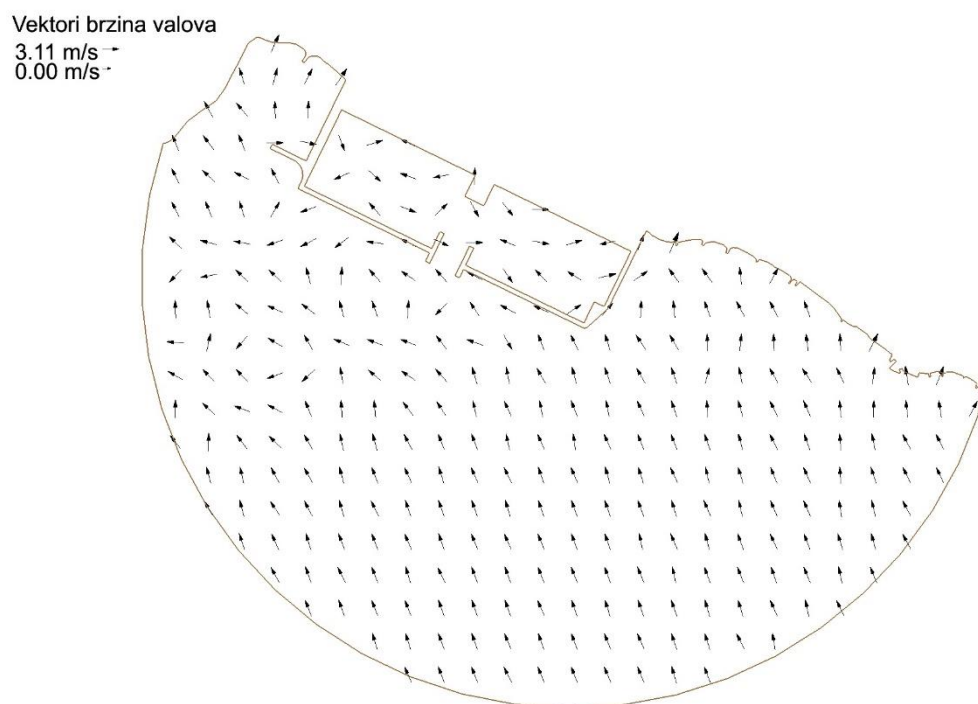
*Slika 79. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*



Stogodišnji povratni period,  $H_s=3.222\text{m}$ ,  $T_s=4.627\text{s}$ ,  $n_n=10$

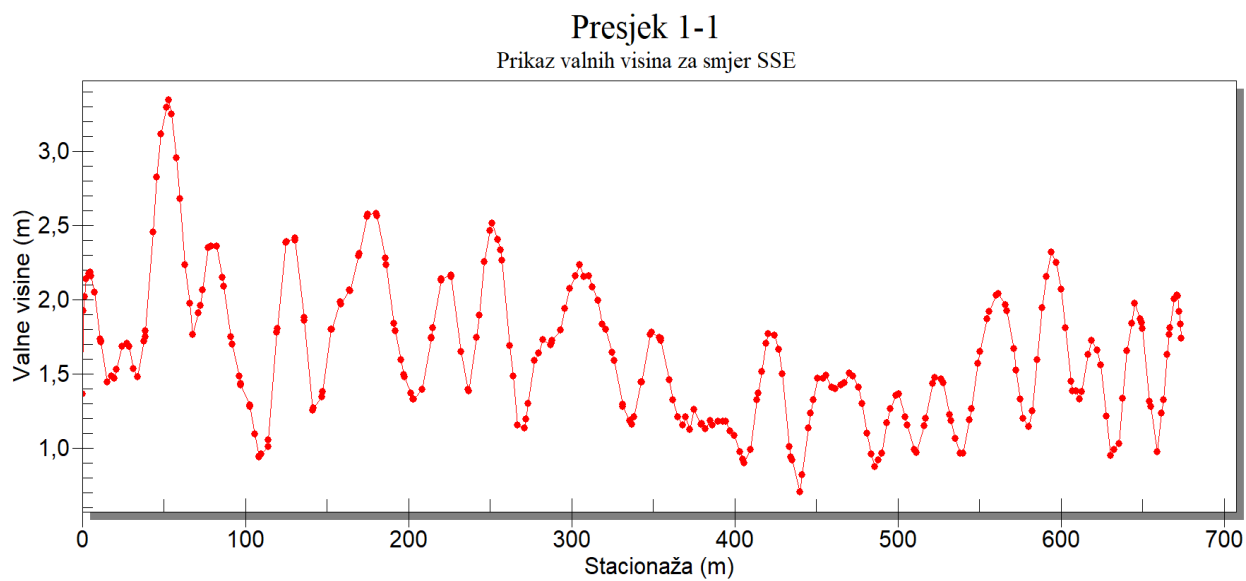


*Slika 80. Prikaz polja valnih visina za smjer SSE*

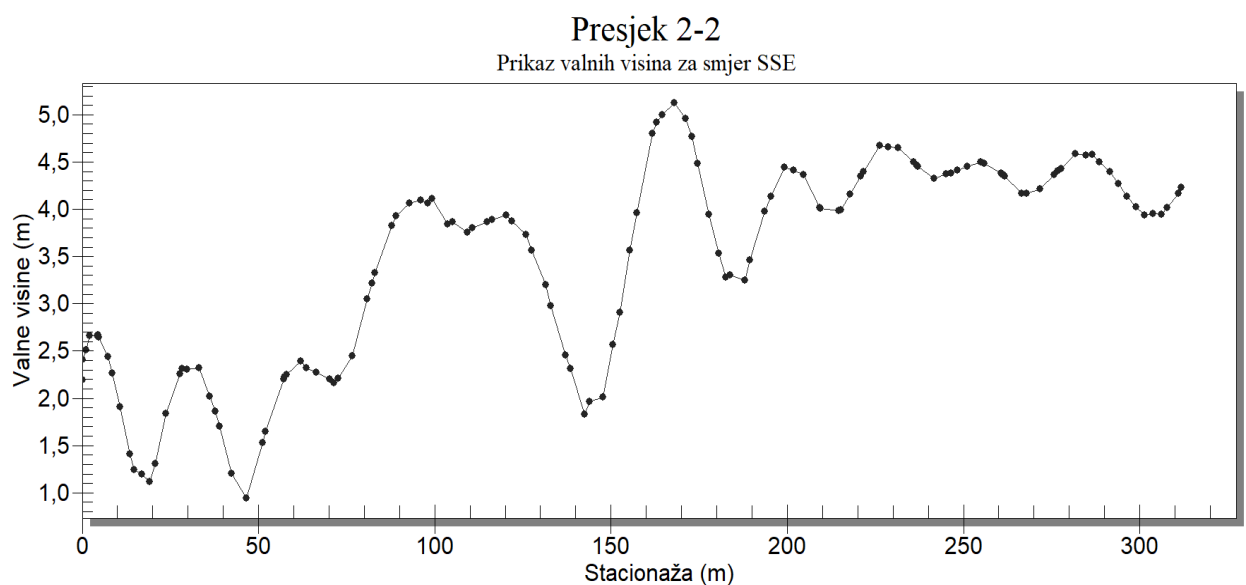


*Slika 81. Vektori valnih brzina za smjer SSE*





*Slika 82. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*



*Slika 83. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

Na temelju napravljenih proračuna vidljivo je da su valovi u akvatoriju luke značajno veći u odnosu na dozvoljene koje su propisane od strane Hrvatskog registra brodica.

Dopuštena stanja valovlja unutar marine su:

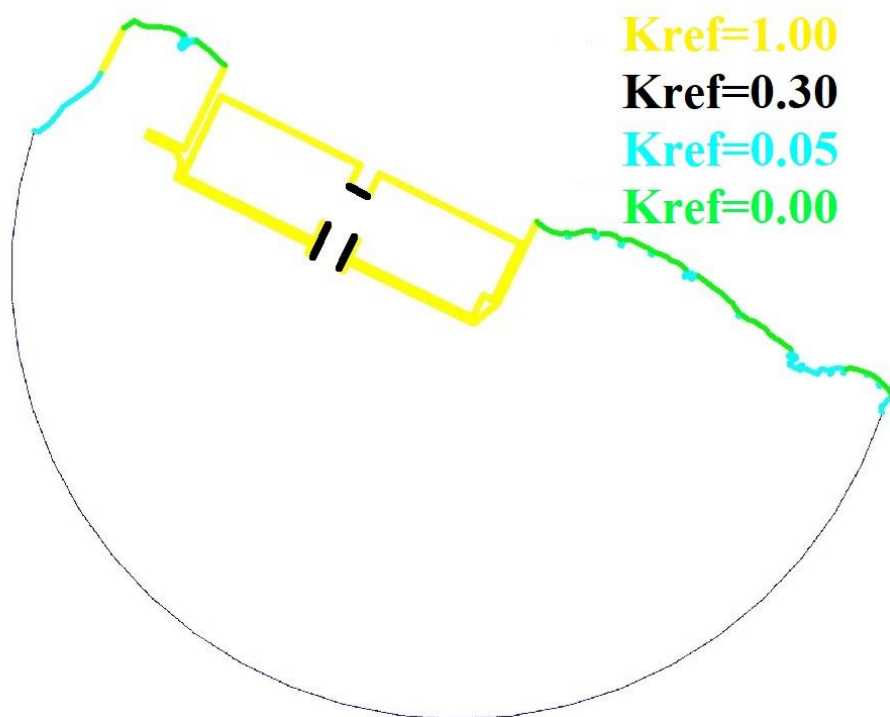
- HS=0,15 m, ne više od 5 dana godišnje;
- HS=0,3 m, jednom u razdoblju ne kraćem od 5 godina;
- HS=0,5 m, jednom u razdoblju ne kraćem od 50 godina;

gdje je HS značajna visina valova [5].

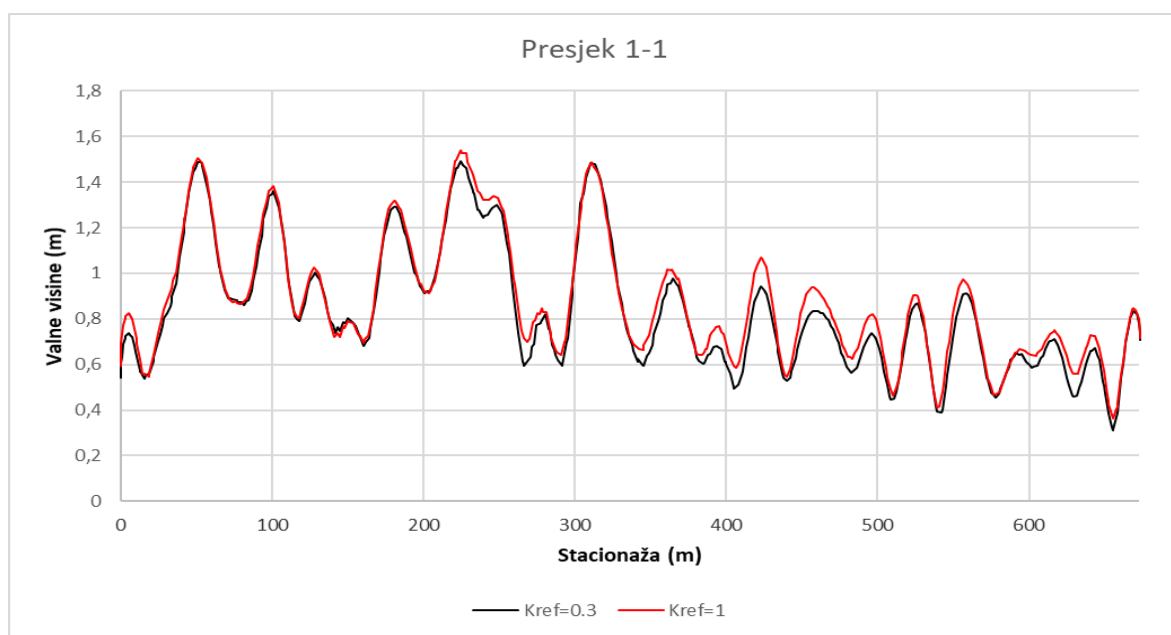
Gledajući presjeke 1-1 i 2-2 za sve simulacije može se iščitati da se valna visina u akvatoriju luke ipak smanjila za razliku od valnih visina izvan luke. Ta pojava rezultat je difrakcije i refleksije valova. Također, utjecaj na smanjenje ima i geometrija samog ulaza u luku koja je zbog toga projektirana na način da smanji spektar ulaza valova u luku, dok s druge strane ima utjecaj na manevriranje brodova prilikom njihovog ulaska odnosno izlaska. Kada bi se promijenio koef. refleksije bar na dijelu lukobrana gdje je ulaz u luku te dijelu operativne obale (slika 84.) valne visine bile bi manje što je vidljivo iz priloženih presjeka na slici 85. i 86. koji su referentni za smjer S s povratnim periodom od sto godina i s  $n_n=10$ .

Presjek 1-1 presjeca akvatorij luke u smjeru paralelno s operativnom obalom. Na slici 85. vidljivo je da su valne visine veće na zapadnoj strani akvatorija što je između ostalog posljedica kuta na koji val nailazi na luku.

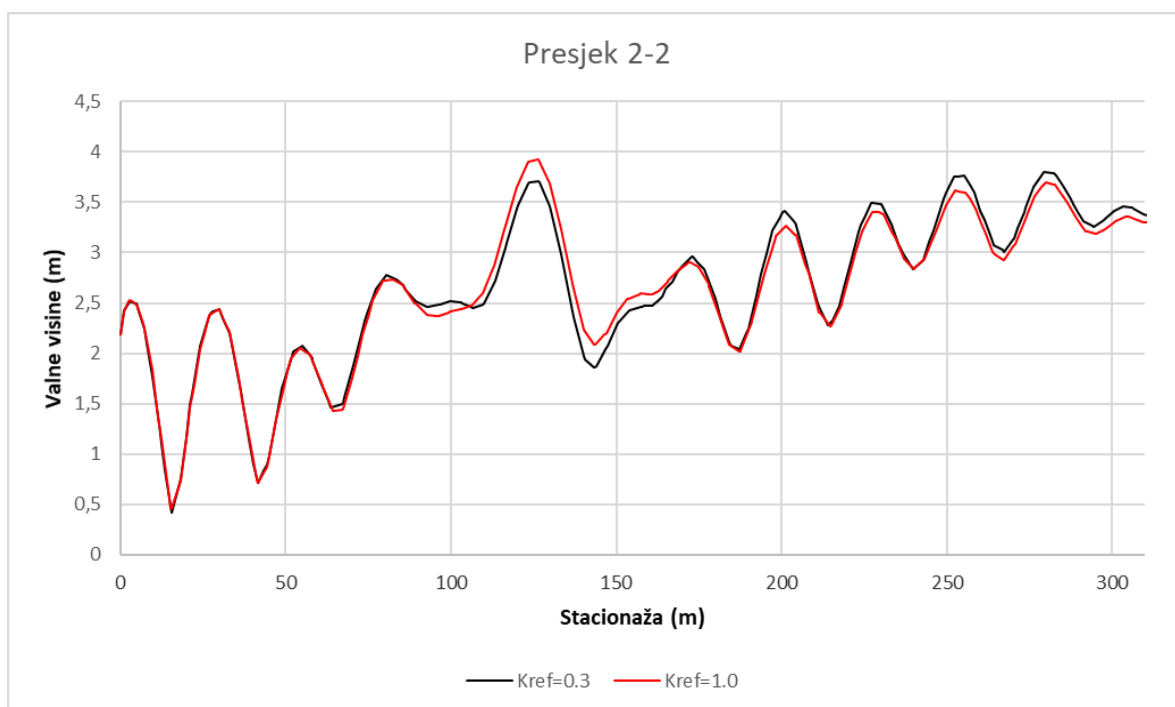
Kroz presjek 2-2 (slika 86.) uočava se visina vala koja je manja kod verzije kada je  $K_{ref}=0.3$  zbog toga što se ne reflektira val u cijelosti već se dio njegove energije disipira pri udaru u lukobran.



Slika 84. Područje s različitim koef. refleksije

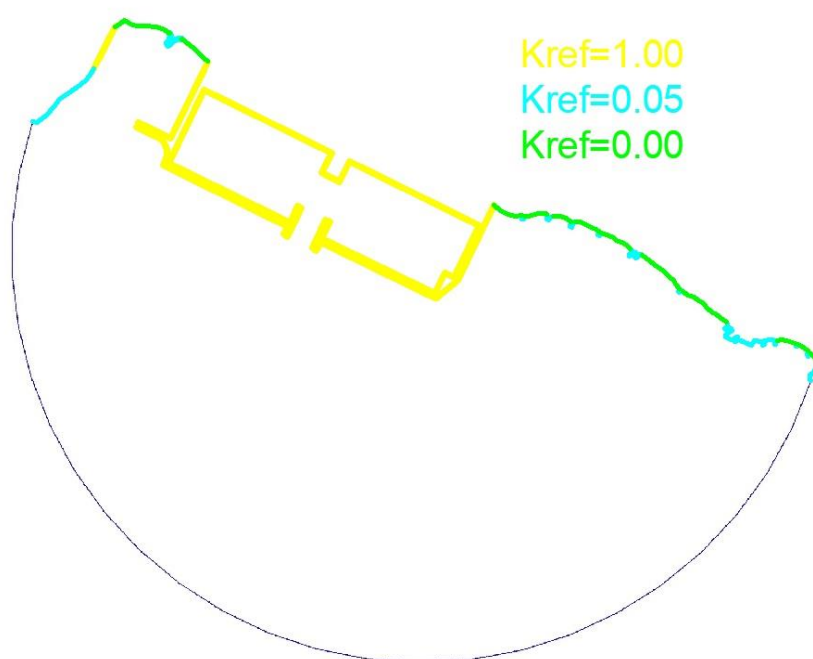


Slika 85. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1

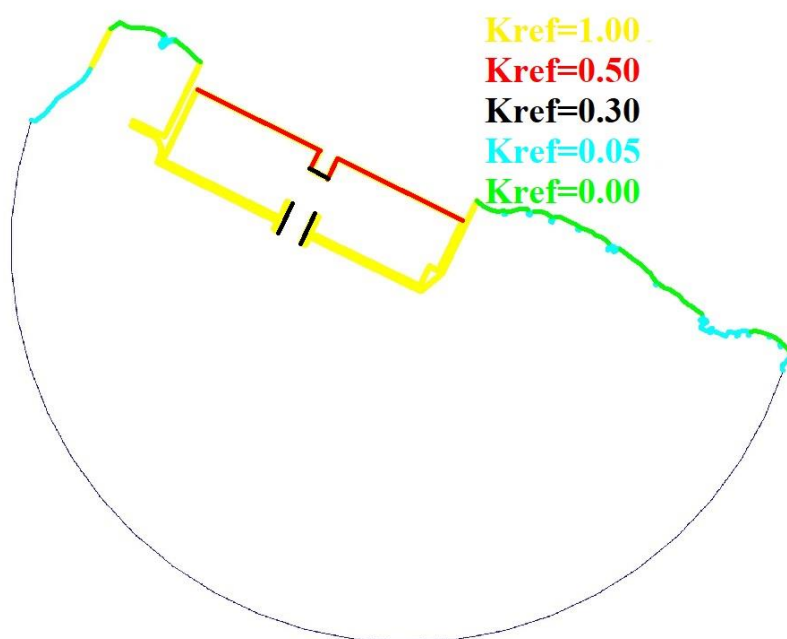


*Slika 86. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

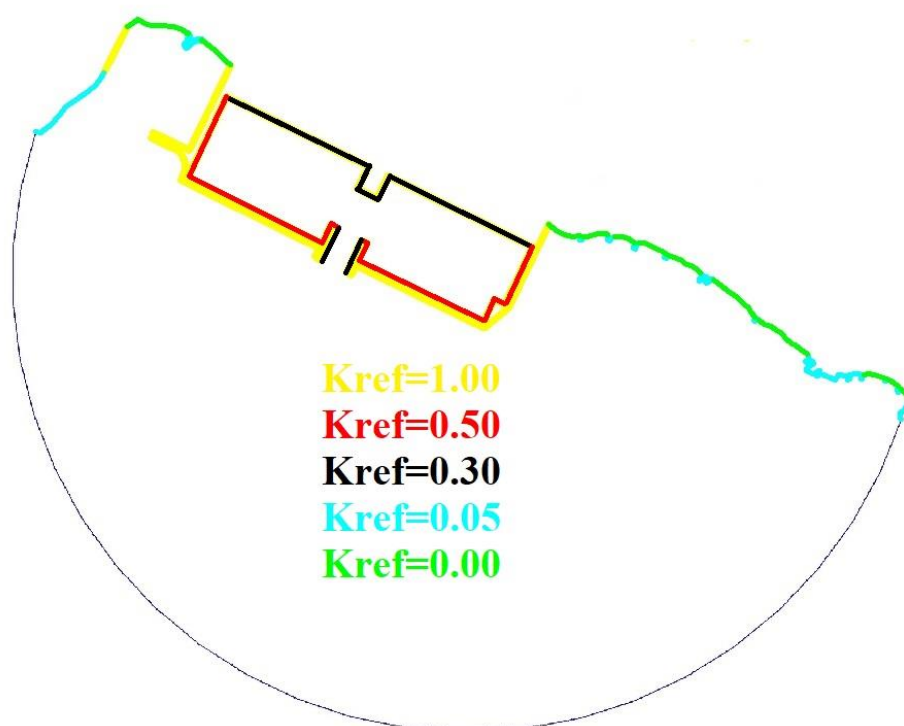
U nastavku je prikazana raspodjela koeficijenata refleksije kroz tri verzije za koje su početni parametri smjer vjetra S te povratni period od 5 godina i  $nn=10$



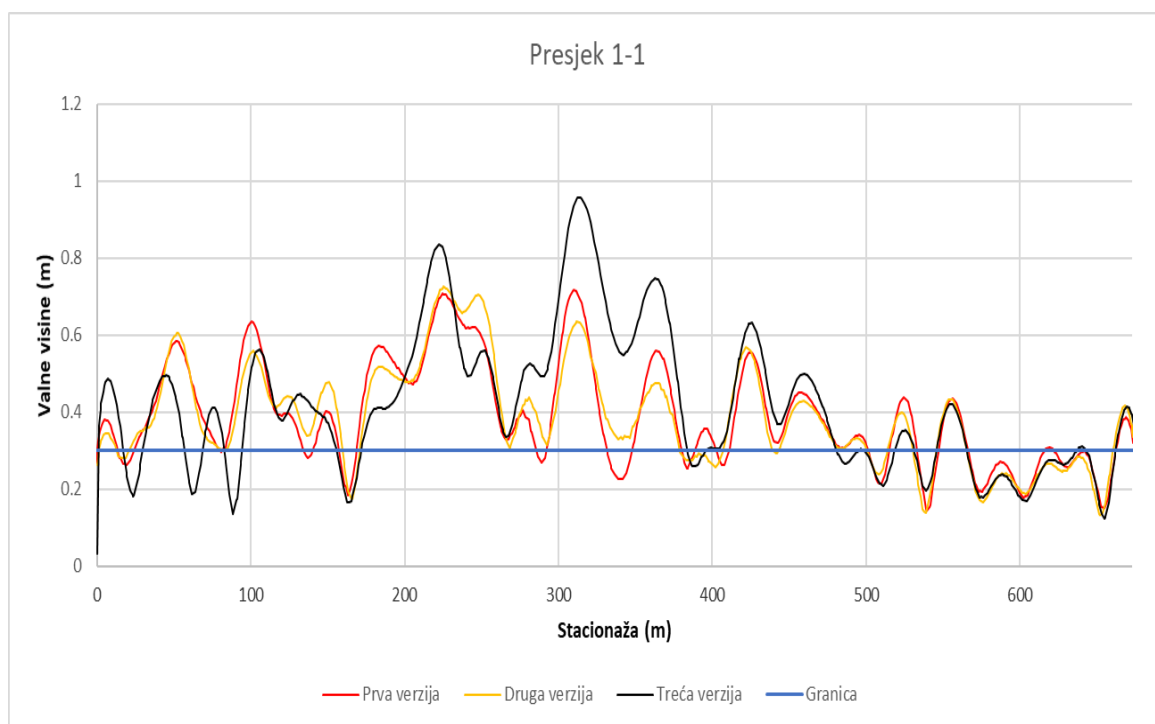
*Slika 87. Prikaz koeficijenata refleksije za prvu verziju*



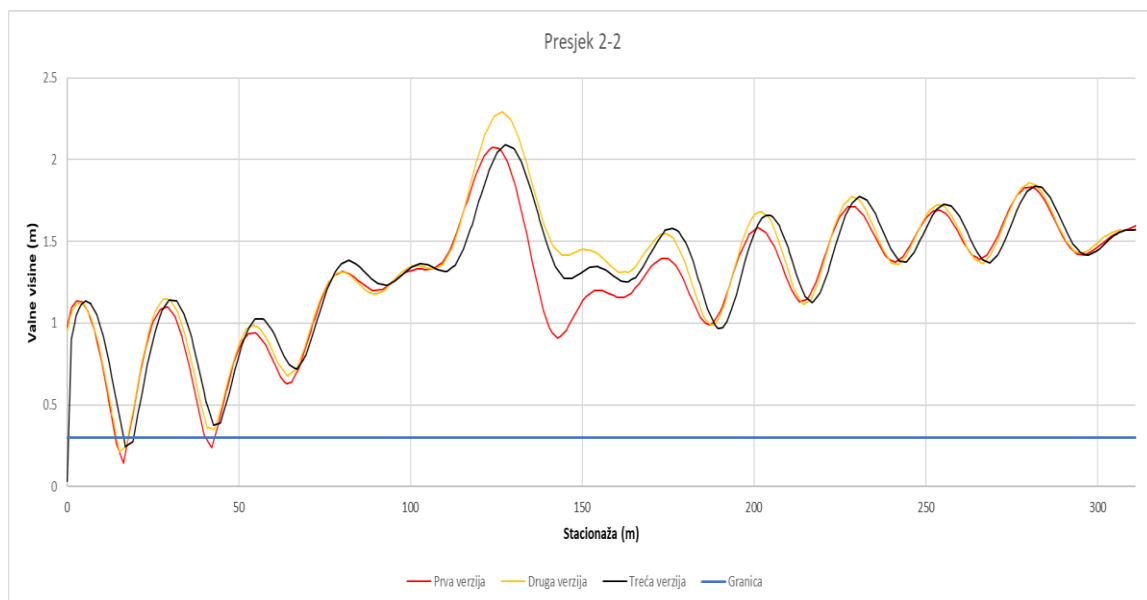
*Slika 88. Prikaz koeficijenata refleksije za drugu verziju*



*Slika 89. Prikaz koeficijenata refleksije za treću verziju*



**Slika 90.** Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1

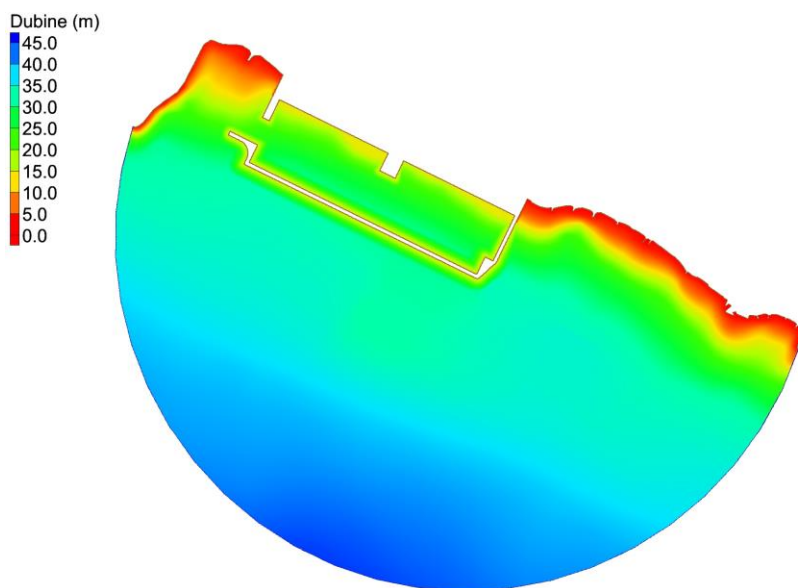


**Slika 91.** Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2

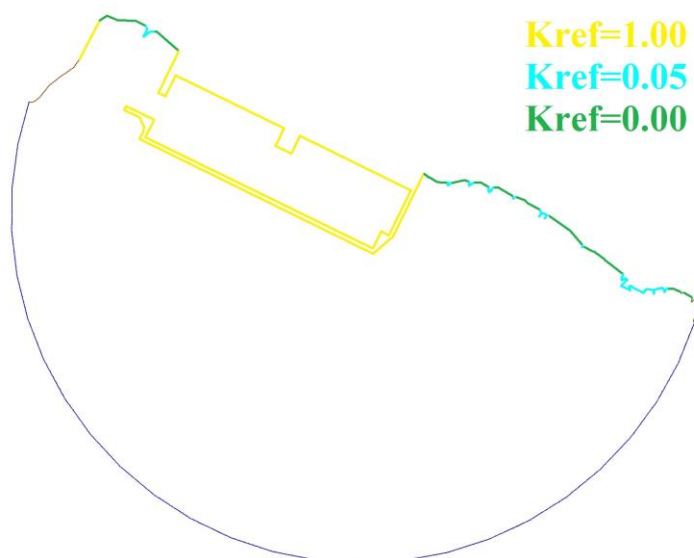
## 4.2. Prijedlog rješenja planirane luke Krilo

Iz prijašnjih verzija koje su obrađene jasno se vidi da planirana geometrija luke nije povoljna zbog toga što dolazni valovi ne izgube svoju energiju na ulasku u luku što se odražava na visinu vala u akvatoriju luke koji je veći nego što je to propisano.

Upravo zbog toga ulazak u luku pomaknut je zapadno što rezultira adekvatnim valnim visinama u akvatoriju luke, dok brodovi i dalje mogu neometano ulaziti i izlaziti iz luke.



*Slika 92. Batimetrija*

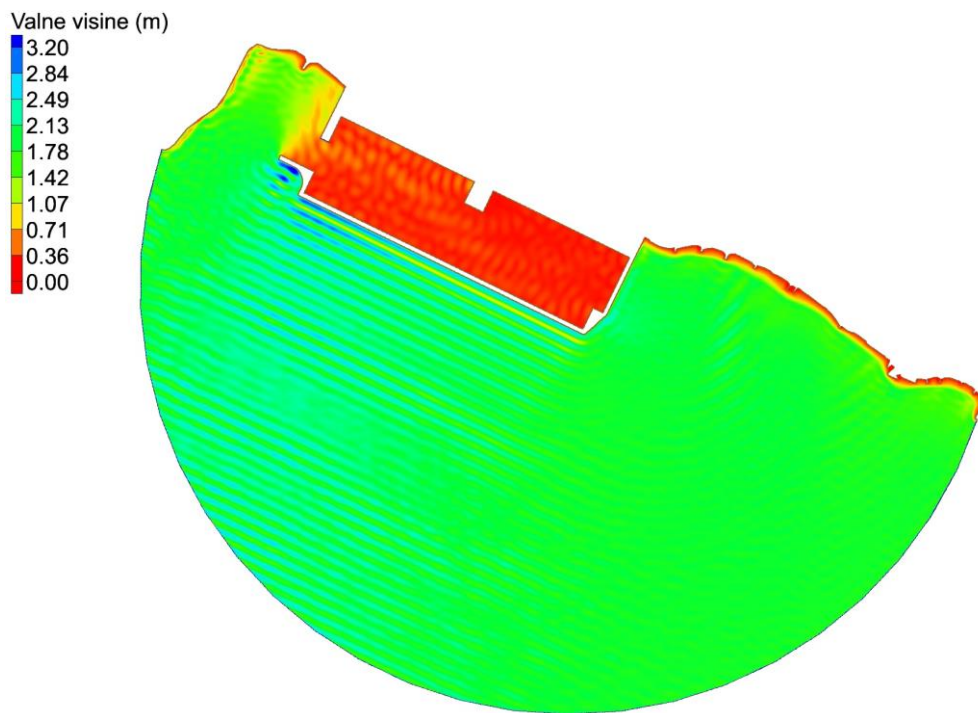


*Slika 93. Prikaz koeficijenata refleksije za prijedlog luke*

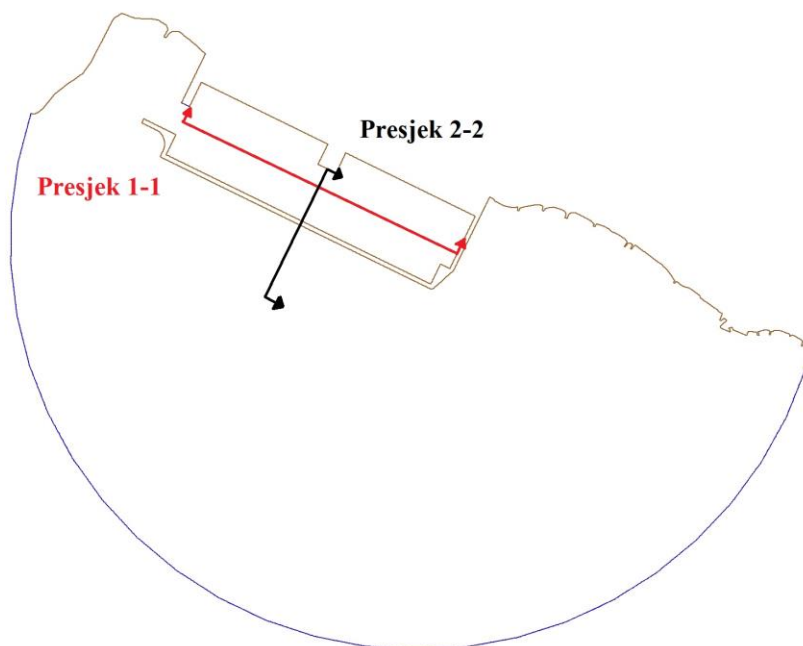


Kao provjera za zadovoljavanje valnih visina u akvatoriju luke odabrana su dva najnepovoljnija smjera vjetra (SSW i SW) te su dobiveni sljedeći rezultati.

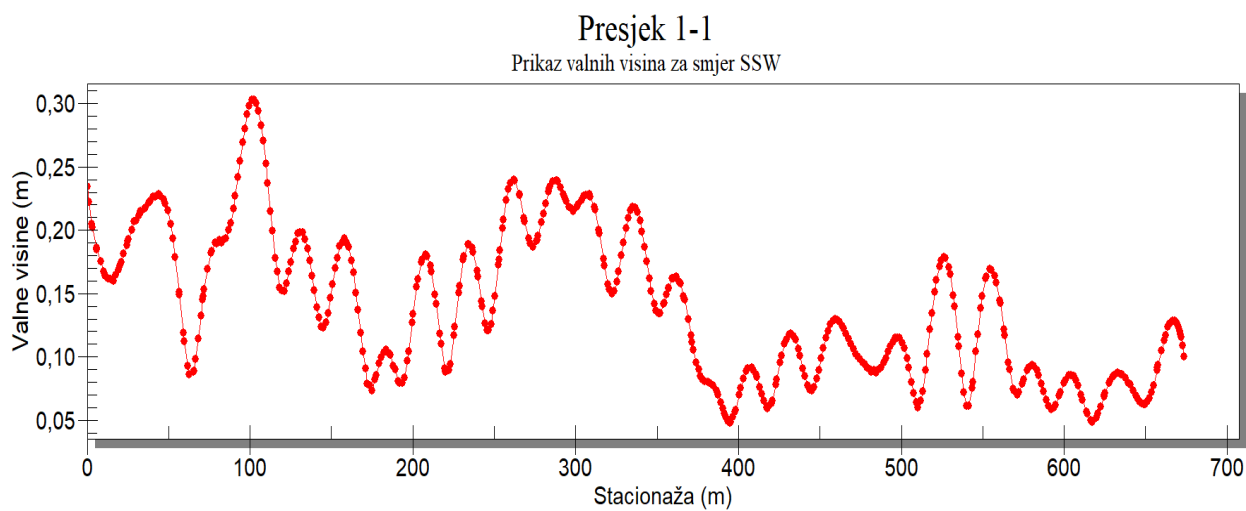
Vjetar smjera SSW sa  $n_n=4$  za petogodišnji povratni period s parametrima  $H_s=1.647\text{m}$  i  $T_s=3.308\text{s}$ .



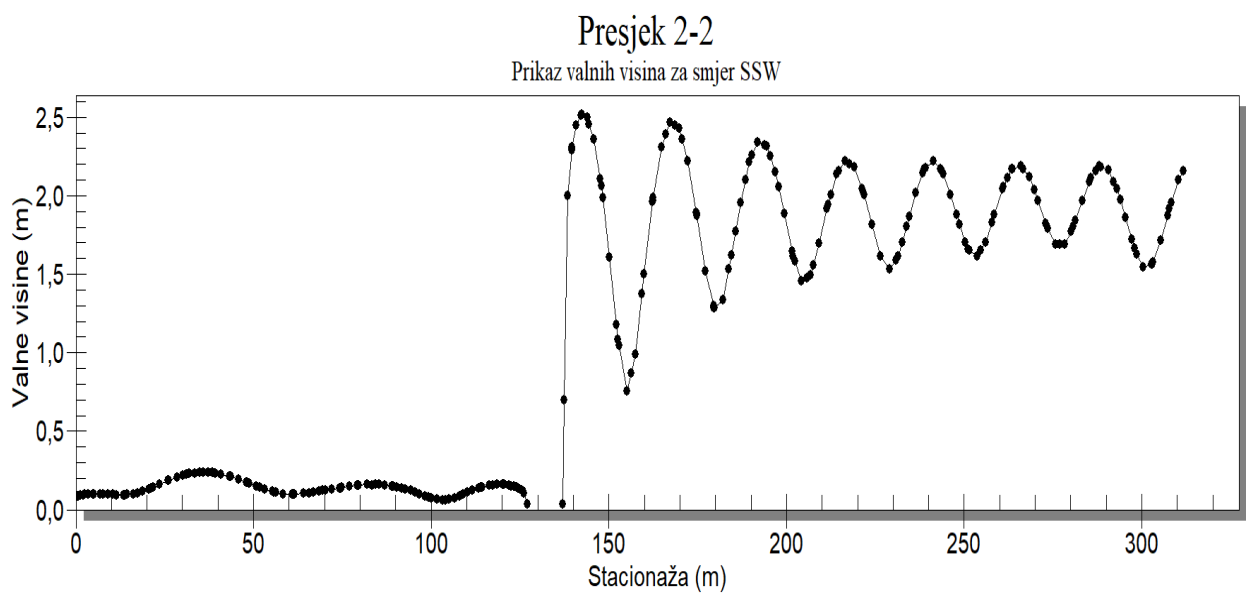
*Slika 94. Prikaz polja valnih visina za smjer SSW*



*Slika 95. Prikaz položaja presjeka*

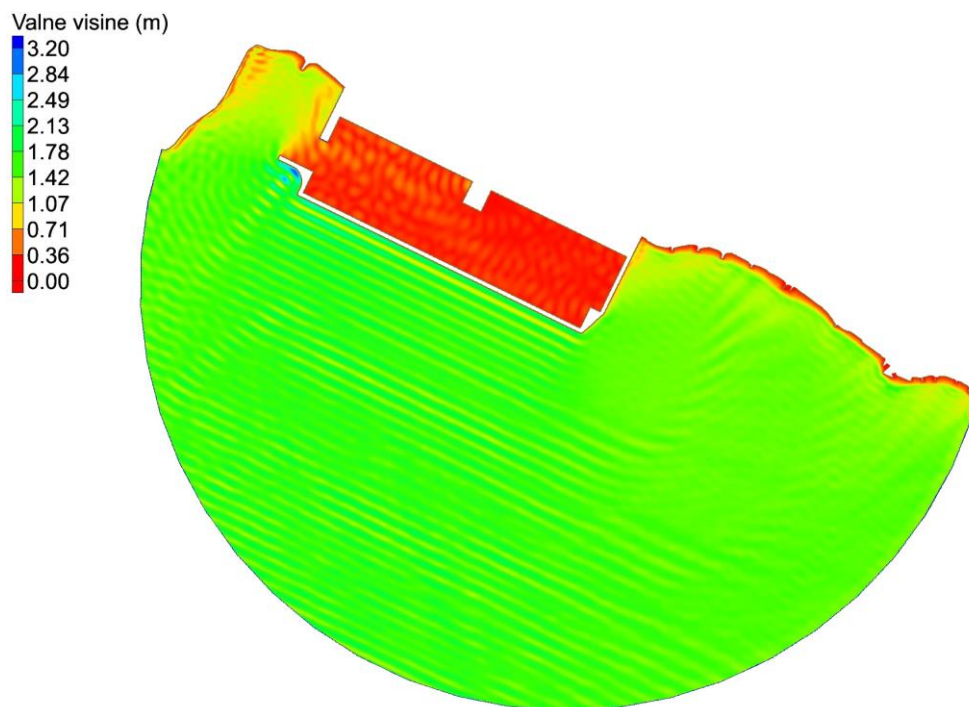


*Slika 96. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1*

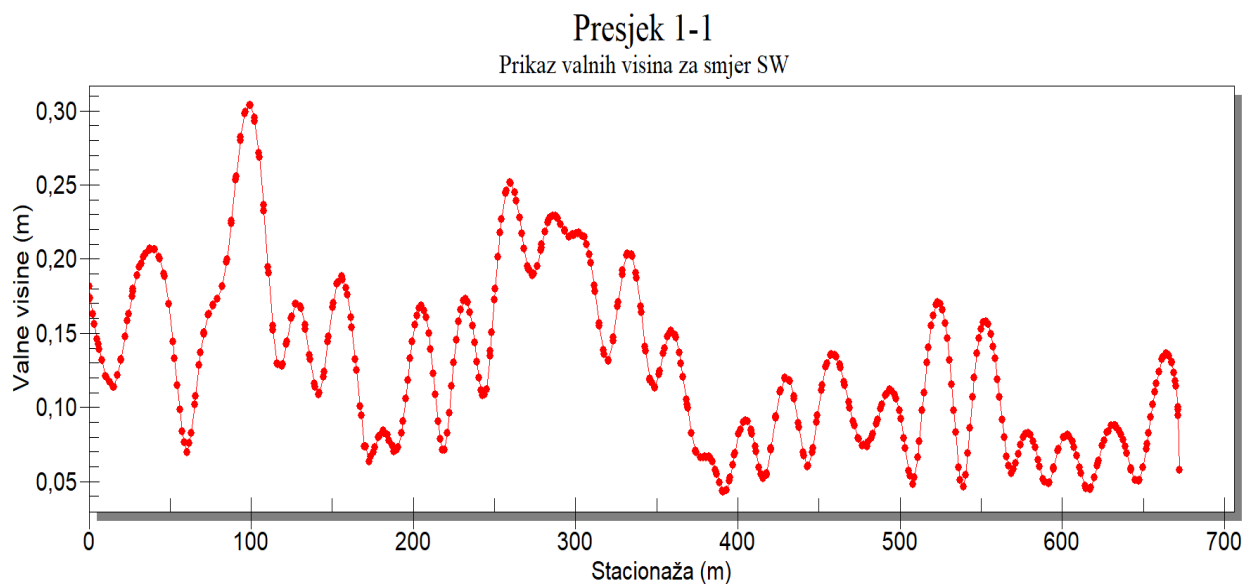


*Slika 97. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

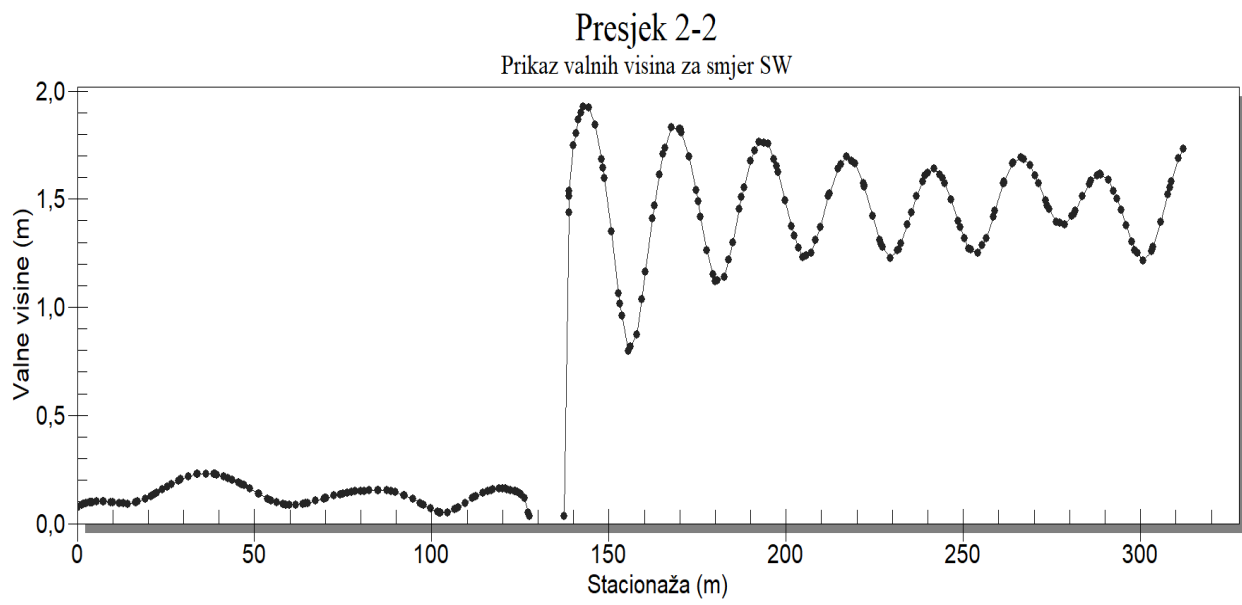
Vjetar smjera SW sa  $n_n=4$  za petogodišnji povratni period s parametrima  $H_s= 1.265\text{m}$  i  $T_s=3.233\text{s}$ .



Slika 98. Prikaz polja valnih visina za smjer SSW



Slika 99. Prikaz valnih visina kroz presjek 1-1

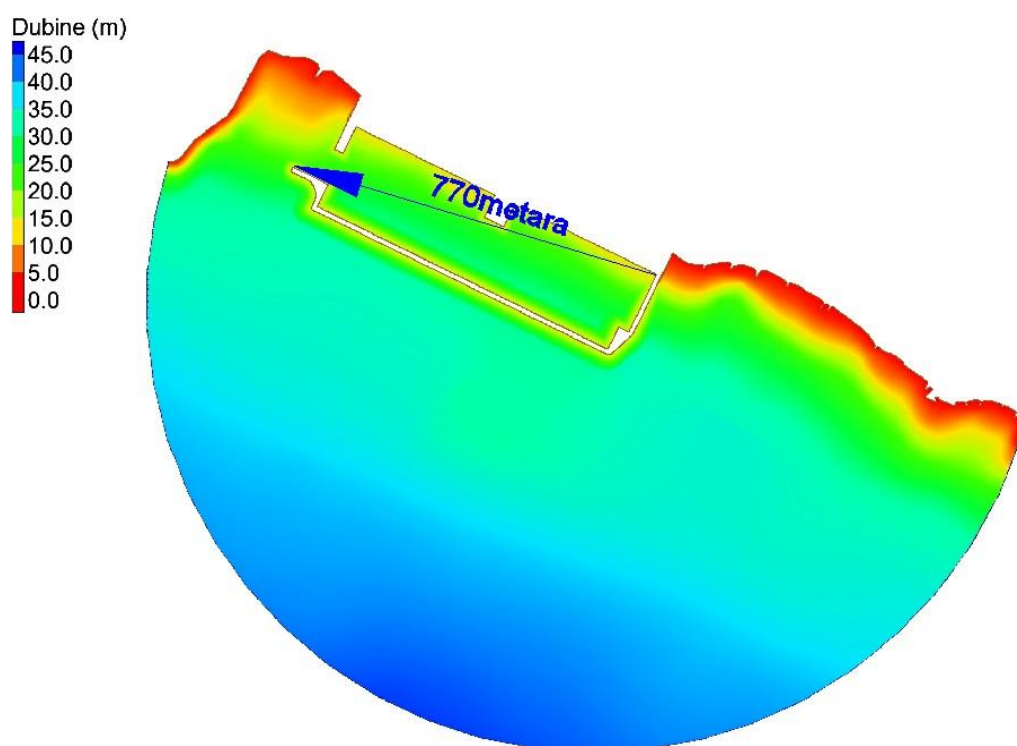


*Slika 100. Prikaz valnih visina kroz presjek 2-2*

## 5. EKOLOŠKO DIMENZIONIRANJE

S ciljem izmjene mora u cijelom akvatoriju luke potrebno je napraviti provjeru da čestica koja prijeđe najduži put u luci izađe u vremenskom periodu od 6 sati koliko je potrebno da plima unese novu svježnu vodu u zatvoreni akvatorij u kojem se događa trenutačno razrjeđenje po čitavom volumenu zatvorenog akvatorija (tzv. tidal prism).

Na slici 101. prikazana je trajektorija čestice koja je najudaljenija od izlaza iz luke. Put koji čestica prođe je dug 770 metara, dok je u proračunu uzeta vrijednost od 800 metara.



*Slika 101. Trajektorija najudaljenije čestice*

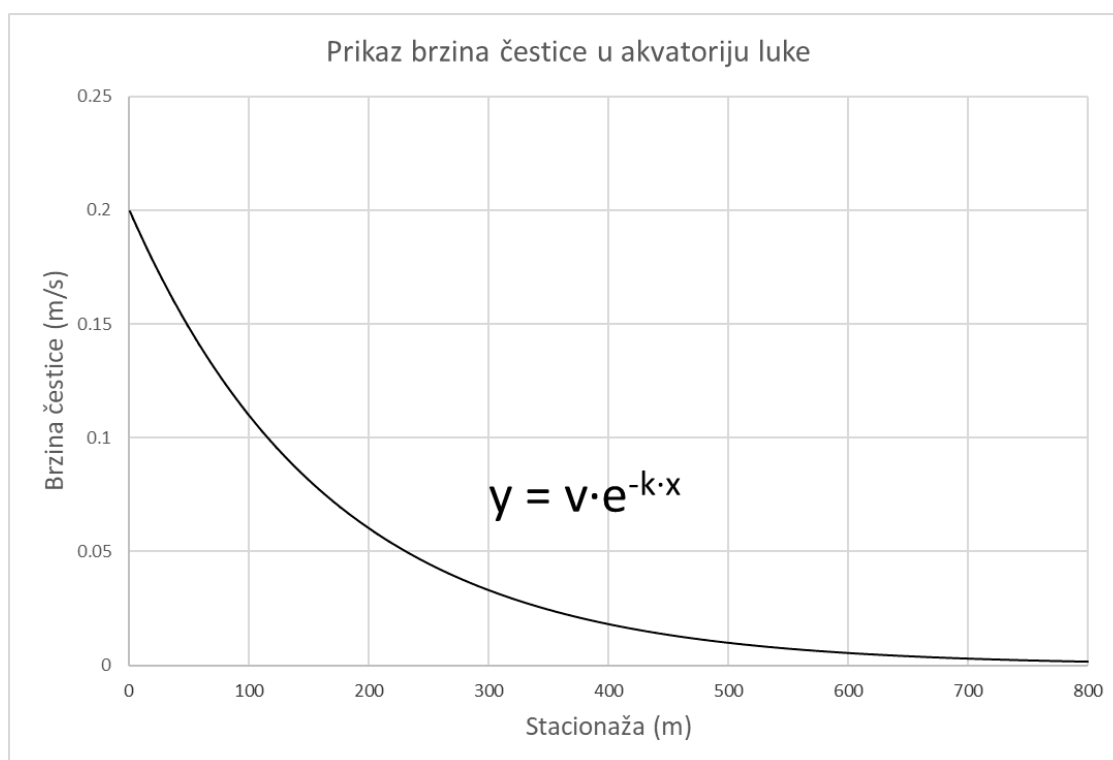
Potrebna brzina koju čestica mora ostvariti na izlasku iz luke je 0.2 do 0.1 m/s dok je u najmirnijem dijelu luke ta brzina od 0.001 do 0.05 m/s.

Brzine kroz akvatorij luke rastu eksponencijalno kako se čestica približava izlazu iz luke.

Iznos brzine je derivacija puta po vremenu:

$$v=ds/dt$$

pri čemu  $s$  označava funkciju  $s(t)$  koja je pređeni put (duljina pređene putanje) do trenutka  $t$ , računajući od nekog početnog trenutka ili položaja. Slovo  $v$  označava iznos brzine, funkciju  $v(t)$ , koja se može mijenjati od trenutka do trenutka, ali ne može biti negativna.



**Slika 102.** Prikaz brzina čestice u akvatoriju luke

$$y = v \cdot e^{-k \cdot x}$$

$v$ = brzina čestice na izlazu iz luke (m/s)

$k$ = koeficijent funkcije

$x$ = udaljenost čestice od izlaza iz luke (m)

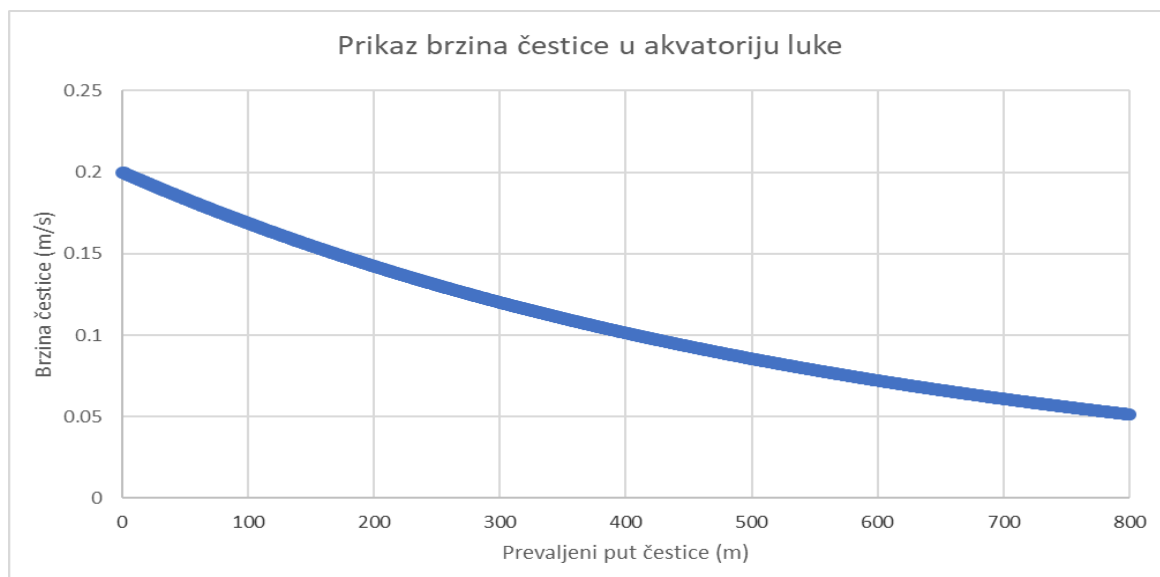
Kod slučaja kada se brzine u akvatoriju luke kreću od 0.001 m/s do 0.2 m/s zbog morskih mijena brzina opada kao što je prikazano na slici 103. Koeficijent nagiba funkcije je 0.006.



**Slika 103.** Prikaz brzina čestice u akvatoriju luke za prvi slučaj

Potrebno vrijeme da se izmjeni more u akvatoriju luke iznosi 27 sati i 52minute što je nezadovoljavajuće za ovaj slučaj.

U drugom slučaju kada su brzine u akvatoriju luke između 0.05 m/s i 0.2 m/s zbog morskih mijena promjena brzine prikazana je na slici 104. Koeficijent nagiba u ovom slučaju je 0.0017.



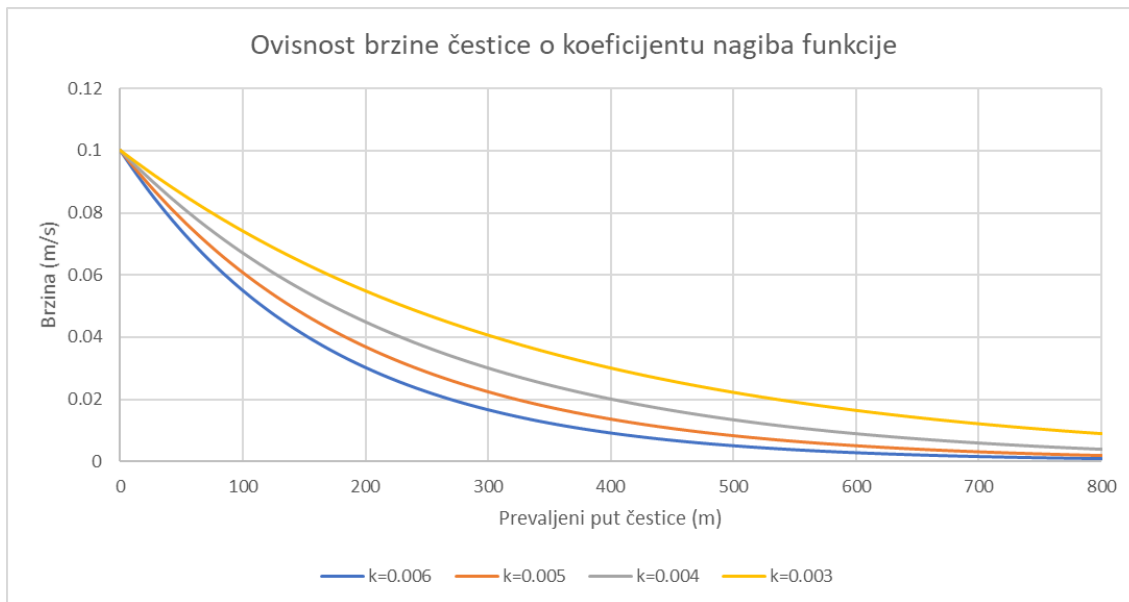
**Slika 104.** Prikaz brzina čestice u akvatoriju luke za drugi slučaj

Potrebno vrijeme da se izmjeni more u akvatoriju luke iznosi 2 sati i 23 minute što je zadovoljavajuće za ovaj slučaj.

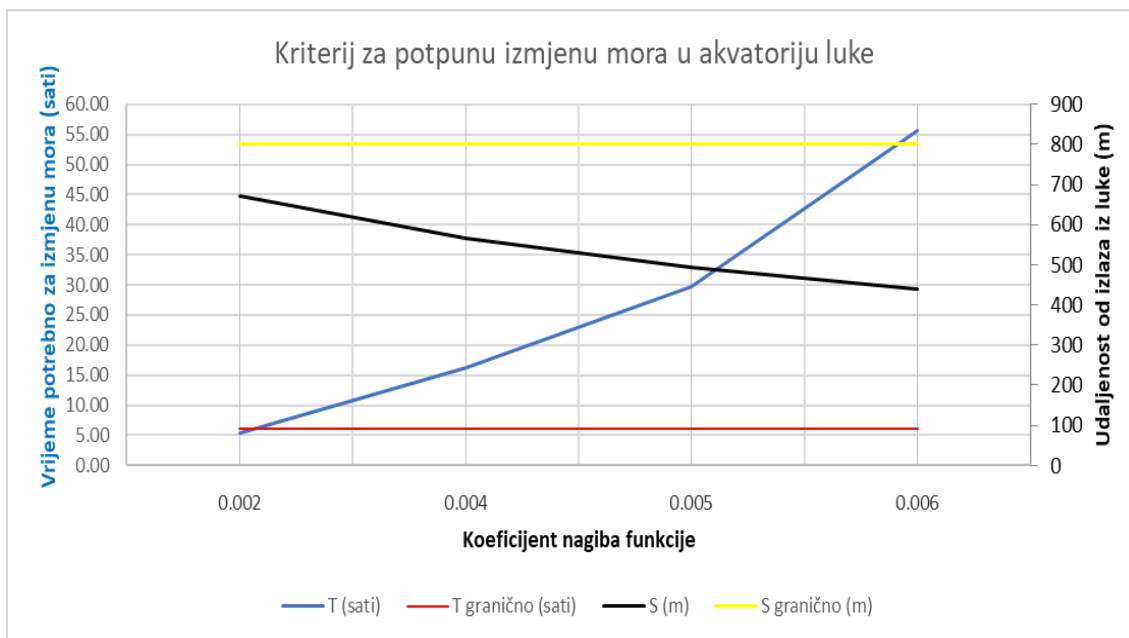


Sukladno s tim na slici 105. vidi se ovisnost brzine čestice o koeficijentu nagiba funkcije.

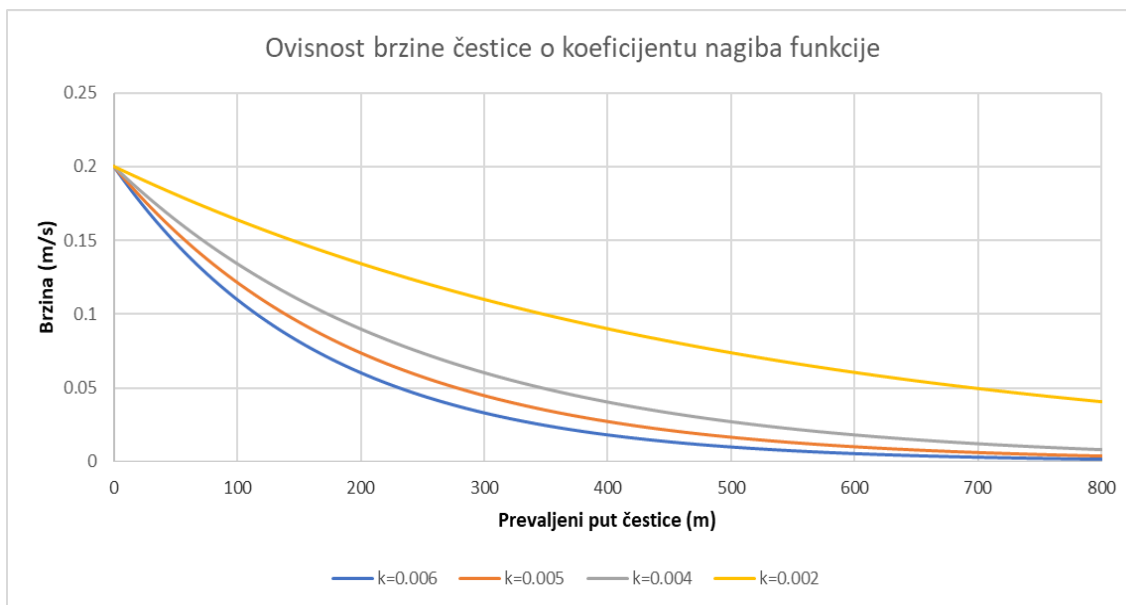
Manji koeficijent nagiba rezultira bržim prirastom brzine čestice kroz akvatorija, a samim time i bržu izmjenu mora.



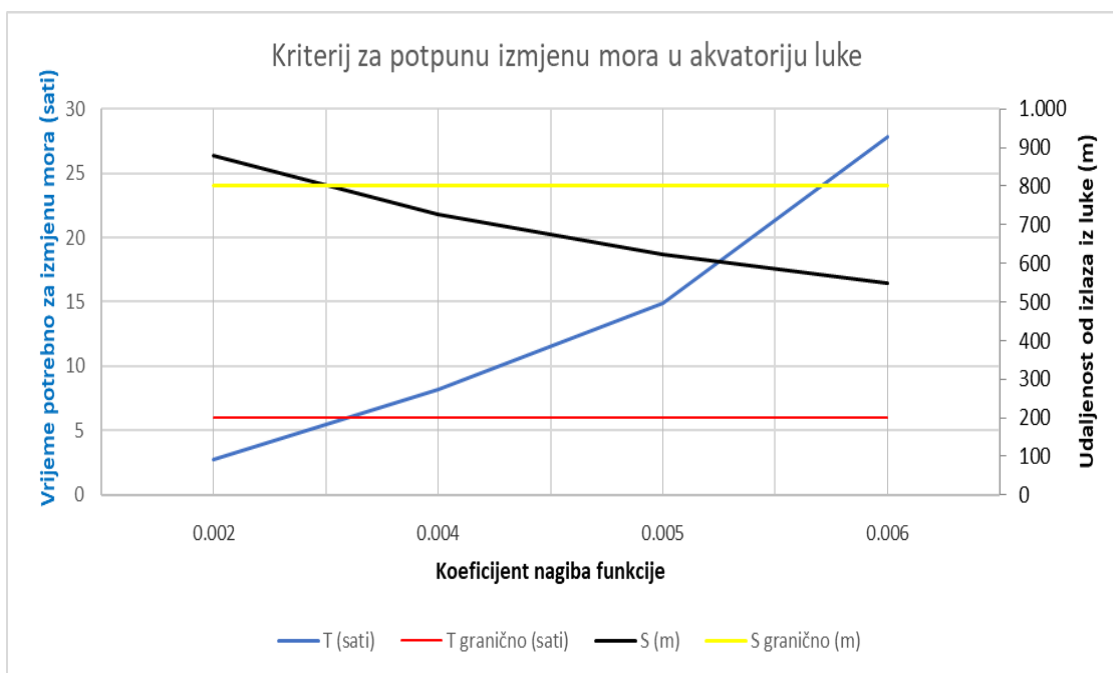
Slika 105. Prikaz brzina čestice za određene koeficijente nagiba



Slika 106. Kriterij za određivanje koeficijenta nagiba funkcije



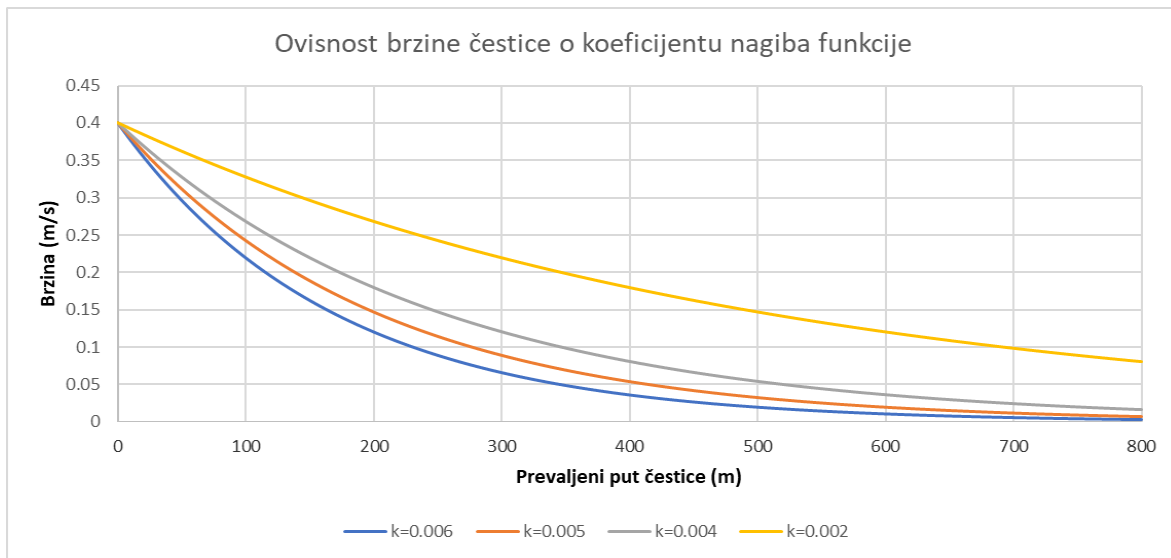
Slika 107. Prikaz brzina čestice za određene koeficijente nagiba



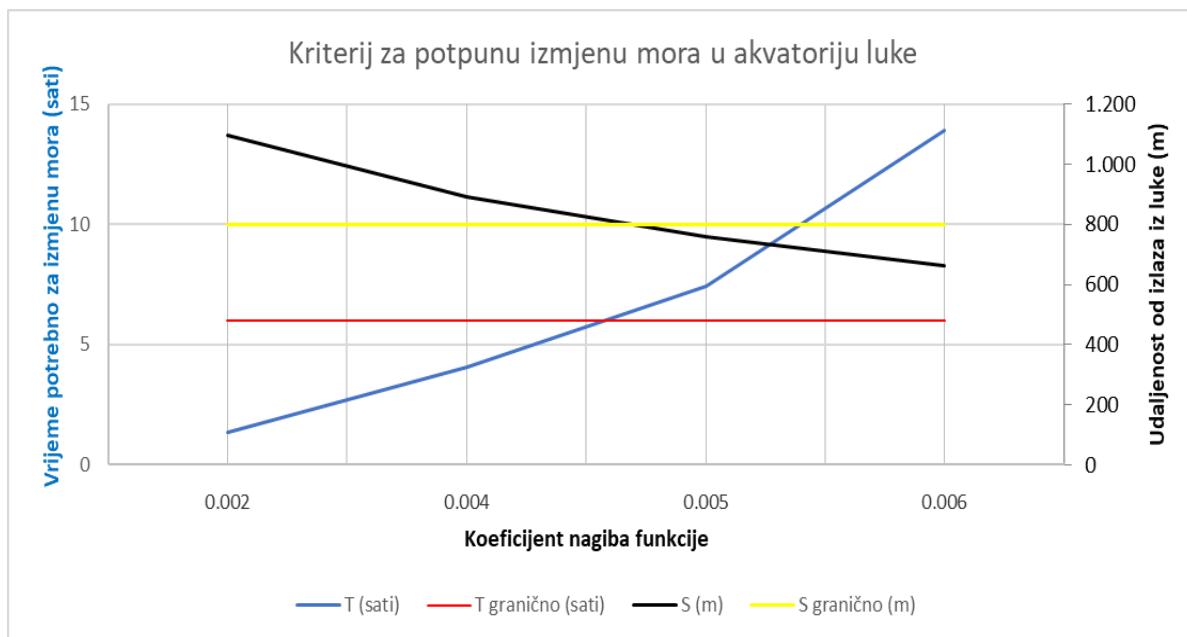
Slika 108. Kriterij za određivanje koeficijenta nagiba funkcije

Provjera izmjene mora uz utjecaj vjetera koji koicidira s morskim mijenama gdje je brzina gibanja mora na izlazu 0.4 m/s pa sve do 0.25 m/s u akvatoriju luke.

Na slici 109. prikazani su kriteriji za potpunu izmjenu mora u akvatoriju luke.



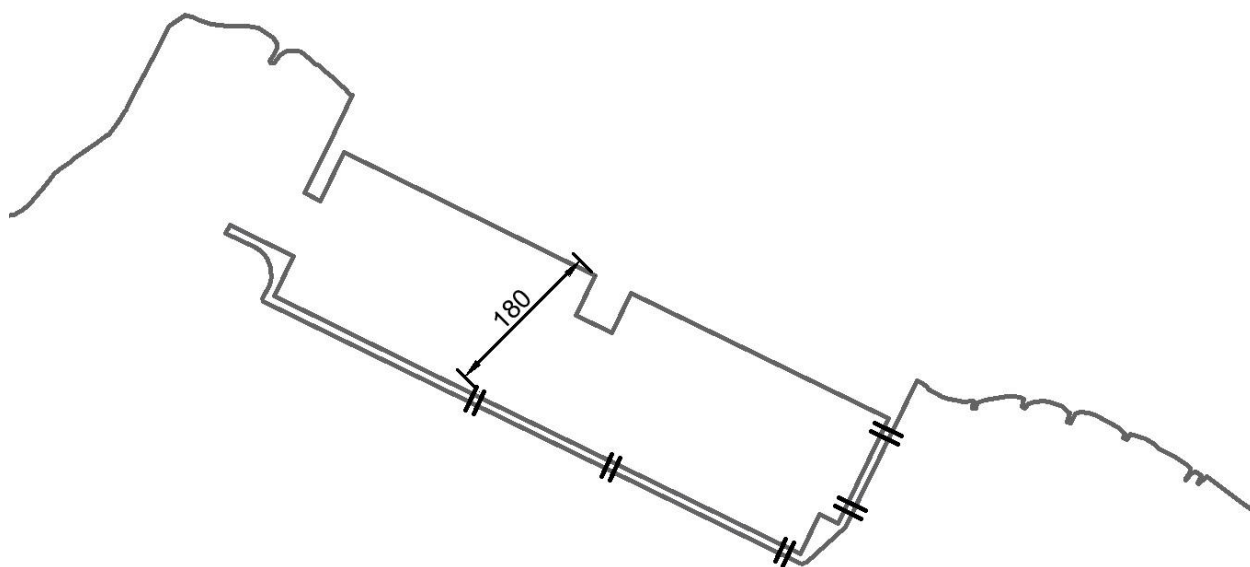
Slika 108. Prikaz brzina čestice za određene koeficijente nagiba



Slika 109. Kriterij za određivanje koeficijenta nagiba funkcije

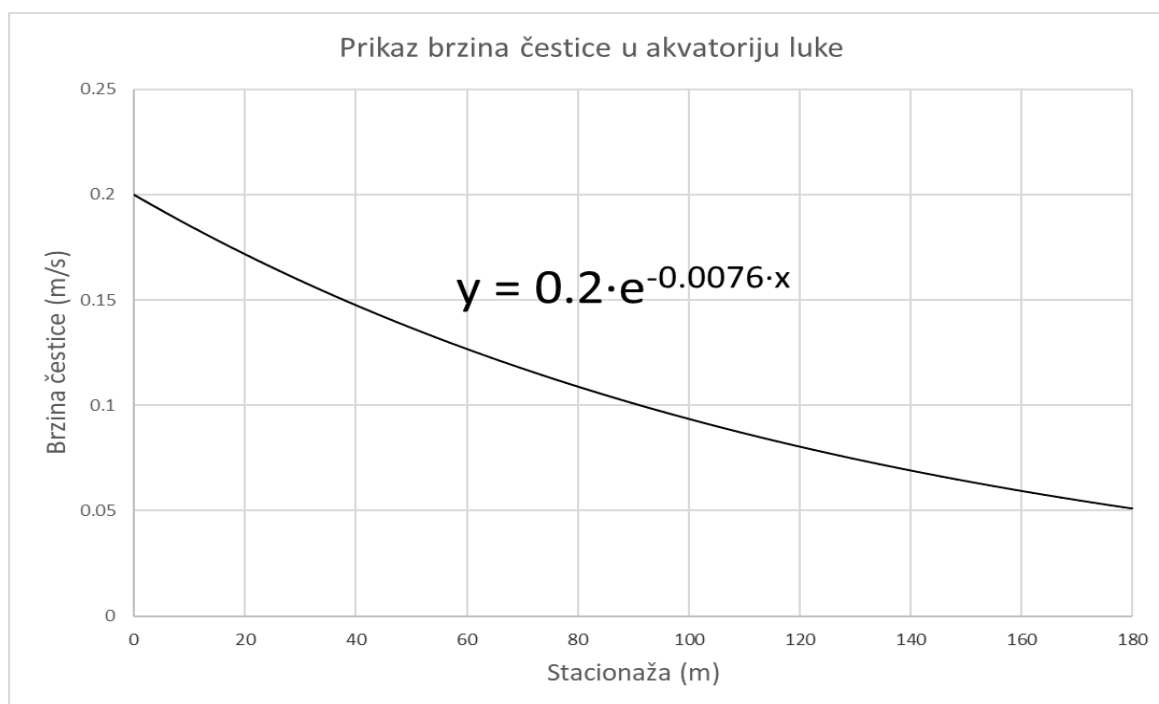
Iz ovih proračuna vidljivo je da su potrebni propusti u tijelu lukobrana i to na pozicijama koje su predložene na slici 110. S ciljem definicije projektnih parametara propusta, nužno je u sljedećoj

fazi projektne dokumentacije modelski ispitati parametra propusta s obzirom na kriterij izmjene mora.

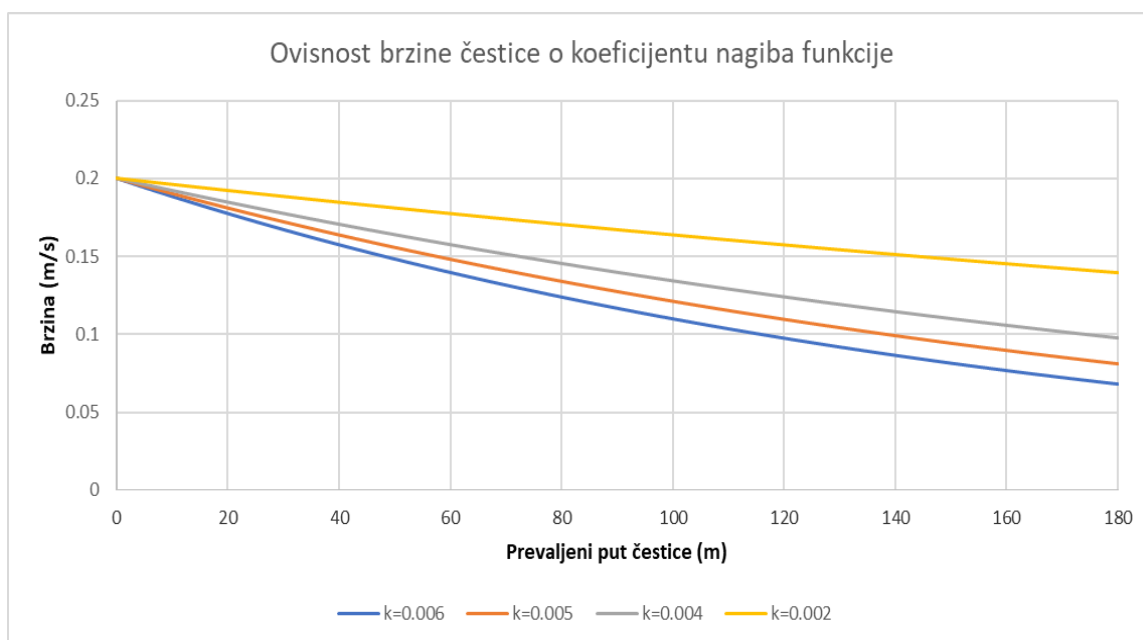


**Slika 110.** Prijedlog pozicija propusta

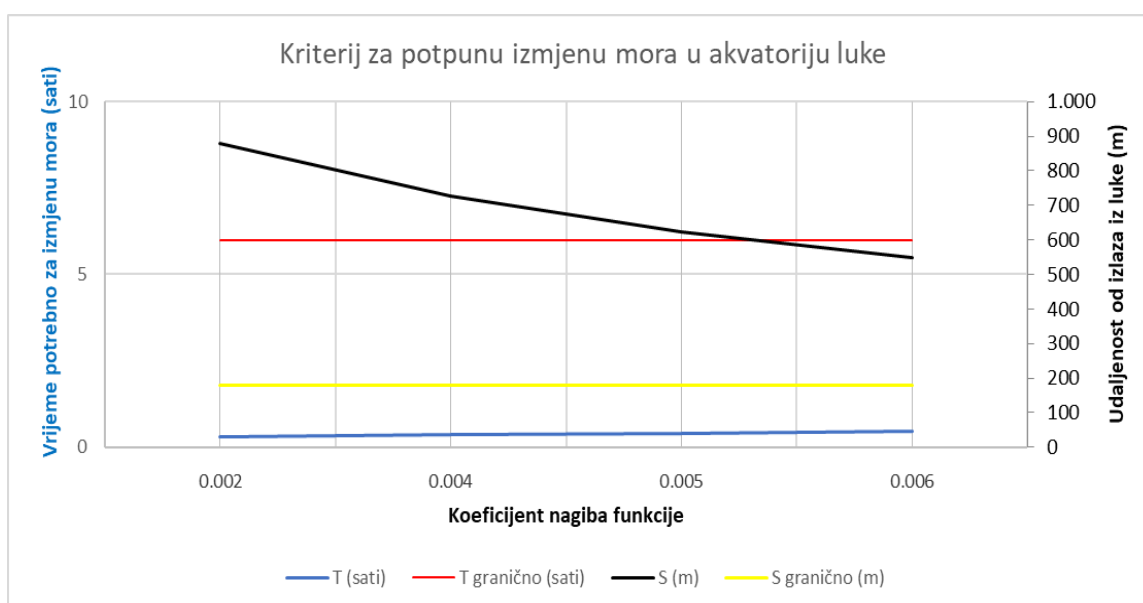
Zbog skraćenog puta čestice za izlaz iz luke skрати se i vrijeme potrebno za izmjenu mora (slike 111.-113.).



**Slika 111.** Prikaz brzina čestice u akvatoriju luke



Slika 112. Prikaz brzina čestice za određene koeficijente nagiba



Slika 113. Kriterij za određivanje koeficijenta nagiba funkcije

## 6. ZAKLJUČAK

Potreba za sigurnim vezom na Jadranu sve je veća budući da raste broj brodica i jahti za nautički turizam čiji su vlasnici većinski iz Krila Jesenica. S ciljem osiguravanja dovoljnog broja vezova, općina Dugi Rat izradila je urbanistički plan uređenja luke javne namjene.

Novoplanirana luka trebala bi biti dovoljna za prihvat 120 brodova te površinom akvatorija od 12.20 ha što predstavlja golemi podhvat. Tehnologija građenja planirana je kao nasuti lukobran do dubine od 11.50m, dok je iznad toga vertikalni zid. Izgradnja adekvatne luke zahtijevala bi posebna tehnička rješenja, ali i velika financijska izdavanja zbog čega izgradnja takve luke predstavlja golemi izazov.

S obzirom na smjer puhanja vjetra, položaj luke dobro je izabran. Duljina privjetrišta varira od 8 pa sve do 32 kilometra. Valne visine u dubokom moru ispred luke su između 1.840 i 3.222 metra za stogodišnji povratni period dok je period vala od 3.572 do 4.627 sekunde.

Zbog velike dubine koja je ispred luke, parametara vala i položaja ulaza u luku valne visine u akvatoriju luke nepovoljne su za prihvat i manevarske kapacitete brodica prema Hrvatskom registru brodova u kojem su točno opisane valne visine za sigurni vez u lukama. Kroz model izrađen u CG wave-u utvrđeno je da ni poznata tehnička rješenja koja imaju za cilj smanjenje koeficijenta refleksije nisu dovoljna da bi se val koji ulazi u akvatorij dovoljno smanjio da zadovolji prethodno spomenute uvjete.

Rješenje koje zadovoljava uvjete valovanja u akvatoriju dobiveno je premještanjem ulaza u luku na sjeverno-zapadnu stranu koja je zaštićena od direktnog ulaska dubokovodnih valova. Ulaz u luku je širine 70 metara što je dovoljno za nesmetani promet brodica kao i njihovo manevriranje. Izmjena mora napravljena je analitički za potrebe diplomskog rada te je potrebna daljna razrada kroz model za odabir širine, oblika i visine propusta dostatnog za potpunu izmjenu mora.

---

## 7. LITERATURA

- [1] UPU općine Dugi rat
- [2] Dr. sc. Veljko Srzić, materijali s kolegija Obalno inženjerstvo 2018. FGAG Split
- [3] Prof. Marko Pršić, Sveučilište u Zagrebu
- [4] <https://www.aquaveo.com/>
- [5] Hrvatski registar brodova [http://crs.hr/Portals/0/docs/hrv/tehnice\\_okruznice/QC-T-191,%20v.00.pdf](http://crs.hr/Portals/0/docs/hrv/tehnice_okruznice/QC-T-191,%20v.00.pdf)
- [6] Goda Y., Random Seas and Design of Maritime Structures, World Scientific, 2000
- [7] Briggs M. J., Donnell B. P., Demirbilek Z., *How to Use CGWAVE with SMS: An Example for Tedious Creek Small Craft Harbor*, US Army Corps of Engineers, 2004
- [8] Conran S.L., *The usage of CGWAVE in SMS: Users guide*, Department of civil and environmental engineering, 2005
- [9] <https://www.navionics.com/fin/>