

# Izbor projektnih parametara nasutog lukobrana u uvjetima dugih privjetrišta

---

Pažanin, Tea

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*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:123:041879>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

**ZAVRŠNI RAD**

**Tea Pažanin**

**Split, 2021.**

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

**Izbor projektnih parametara nasutog lukobrana u  
uvjetima dugih privjetrišta**

**Završni rad**

**Split, 2021.**

## **Izbor projektnih parametara nasutog lukobrana u uvjetima dugih privjetrišta**

### ***Sažetak:***

Ovim radom, na temelju dostupnih podataka o vjetru, definira se projektni val koji je polazište za određivanje parametara lukobrana. Zadatkom je definirana potrebna težina betonskog Cubipod bloka, nagib pokosa, debljina slojeva te kota krune lukobrana. Potrebno je osigurati minimalnu dubinu za privez 9 plovila u rasponu 20-65 m duljine sa unutarnje strane lukobrana.

### ***Ključne riječi:***

nasuti lukobran, privjetrište, potrebna dubina, Cubipod element, dimenzioniranje, dubokovodni val, valno polje

## **Selection of design parameters of a mound breakwater in conditions of long fetch**

### **Abstract:**

With available information on wind, this paper defines project wave that is a starting point for breakwater parameters determination. The task defines the required weight of concrete Cubipod block, slope, layer thickness, and grade level of the breakwater. It is necessary to provide a minimum anchorage depth for 9 vessels in the range of 20-65 m length from the inside of the breakwater.

### **Keywords:**

mound breakwater, fetch, required depth, Cubipod armors, dimensioning, deepwater wave, wave agitation

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Tea Pažanin

MATIČNI BROJ (JMBAG): **1914**

KATEDRA: **Katedra za privrednu hidrotehniku**

PREDMET: Pomorske građevine

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Izbor projektnih parametara nasutog lukobrana u uvjetima dugih privjetrišta

Opis zadatka: U sklopu zadatka potrebno je:

- Dati pregled lokacije obuhvata;
- Izraditi obradu podataka o vjetru;
- Definirati mjerodavne projektne valne parametre;
- Dati prijedlog rješenja nasutog lukobrana u skladu s postavljenim zahtjevima za smještaj i privez plovila.

U Splitu, 16.04.2021.

Voditelj Završnog rada:

Doc. dr. sc. Veljko Srzić

## SADRŽAJ:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. OPIS LOKACIJE .....</b>                                   | <b>2</b>  |
| 2.1. OPĆENITO O LOKACIJI.....                                   | 2         |
| 2.2. PODACI O VJETRU.....                                       | 8         |
| 2.3. DEFINIRANJE PRIVJETRIŠTA .....                             | 12        |
| 2.4. DEFINIRANJE PARAMETARA DUBOKOVODNOG VALA.....              | 16        |
| 2.5. ZAKLJUČAK VJETROVALNE ANALIZE.....                         | 19        |
| <b>3. MODELSKA ANALIZA VALNOG POLJA .....</b>                   | <b>20</b> |
| 3.1. IDENTIFIKACIJA MJERODAVNIH INCIDENTNIH SMJEROVA VALA ..... | 20        |
| 3.2. VALNE TRANSFORMACIJE .....                                 | 20        |
| 3.3. NUMERIČKI MODEL ZA ANALIZU VALNOG POLJA .....              | 24        |
| 3.4. REZULTATI.....   | 24        |
| 3.4.1. Incidentni smjer S.....                                  | 25        |
| 3.4.2. Incidentni smjer SW .....                                | 28        |
| 3.5. ZAKLJUČAK ANALIZE VALNOG POLJA.....                        | 32        |
| <b>4. IZBOR PARAMETARA LUKOBRANA .....</b>                      | <b>39</b> |
| 4.1. OPĆENITO O LUKOBRANU .....                                 | 39        |
| 4.2. ULAZ U LUKU .....  | 39        |
| 4.3. PROMJER MANEVARSKJE KRUŽNICE .....                         | 40        |
| 4.4. IZBOR DUBINE ZA PRIVEZ PLOVILA .....                       | 40        |
| 4.5. DULJINA GATA ZA PRIVEZ PLOVILA SA UNUTRAŠNJE STRANE.....   | 45        |
| 4.6. PRORAČUN POVRŠINE AKVATORIJA MARINE .....                  | 47        |
| 4.7. IZBOR TIPSKOG ELEMENTA PRIMARNE OBLOGE.....                | 47        |
| 4.8. PRORAČUN TEŽINE BLOKA PRIMARNE OBLOGE .....                | 49        |
| 4.9. VISINA KRUNE LUKOBRANA .....                               | 53        |
| <b>5. ZAKLJUČAK .....</b>                                       | <b>59</b> |
| <b>6. LITERATURA .....</b>                                      | <b>60</b> |

## **1. UVOD**

Zahvat koji se analizira ovim završnim radom je izgradnja objekta zaštitnog tipa na obali na teritoriju Crne Gore za potrebe priveza plovila sa unutrašnje strane te zaštitu obalne crte.

Na osnovu dostupnih podataka o postojećem stanju, nužno je zaštititi akvatorij od vjetrovnih valova generiranih na izrazito velikom privjetrištu te je nužno podizanje razine zaštite od nailazećih valova.

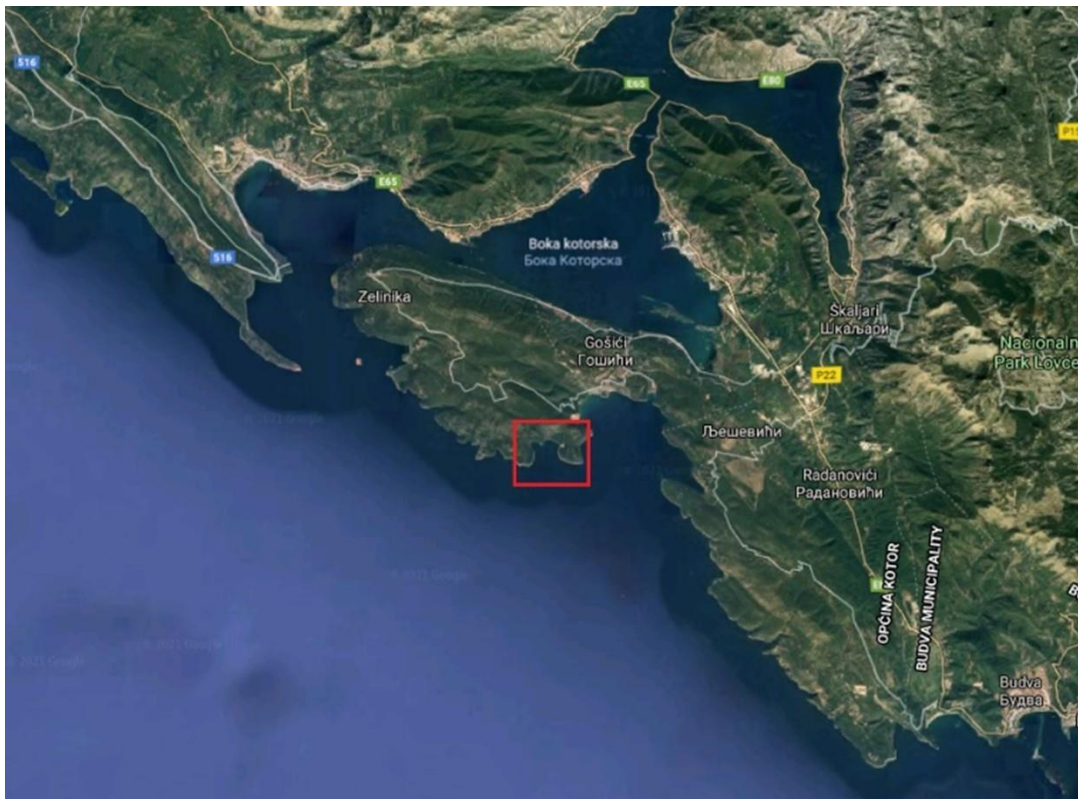
Izrađena je analiza vjetrovalne klime s dugoročnom prognozom vjetrovnih valova. Predloženo rješenje u potpunosti zadovoljava kriterije provedenih analiza te omogućava siguran cjelogodišnji privez 9 plovila raspona duljina 20-65 m.

## 2. OPIS LOKACIJE

### 2.1. Općenito o lokaciji

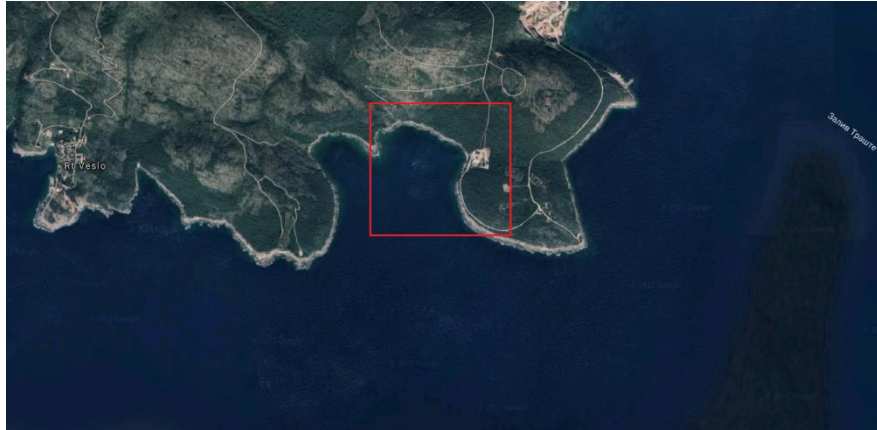
Na lokaciji obuhvata na teritoriju Crne Gore, planiran je zahvat u sklopu kojeg se želi osigurati:

- Izgradnja objekta zaštitnog tipa koji će osim za potrebe priveza plovila s unutrašnje strane pružiti zaštitu obalne crte i osigurati povoljne vjetrovalne te maritimne uvjete;
- Objekti zaštitnog tipa predviđeni su kao kombinacija podmorskog praga i lukobrana. Lukobran je objekt koji je planiran kao obavezan s obzirom na višenamjensko korištenje;
- U pogledu izbora trase lukobrana s operativnim pristanom s unutrašnje strane kreće se od potrebnog kapaciteta privezišta za plovila:
  - 7-8 plovila duljine 20 – 25 m;
  - 1 plovilo duljine 30 – 35 m;
  - 1 plovilo duljine do 65 m.



Slika 2.1.1. Prikaz šireg područja lokacije obuhvata s naznakom užeg područja (Google Maps)





*Slika 2.1.2. Prikaz užeg područja lokacije obuhvata (Google Maps)*

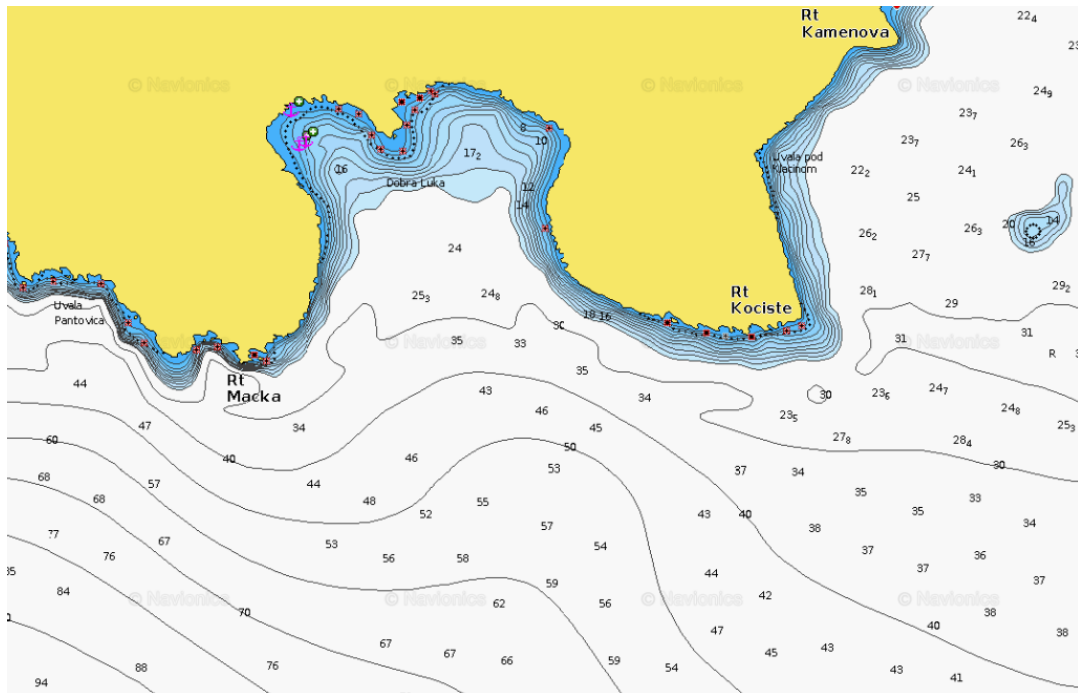
Zona obuhvata smještena je u prirodnoj uvali na sjeverozapadnom dijelu Crne Gore. Uvala je sa sjeverne, zapadne i istočne strane oblikovana vapnenačkom stijenom u svom prirodnom stanju. S obzirom na otvorenost prema jugu, lokacija obuhvata otvorena je na vjetar i vjetrovom generirane valove trećeg i četvrtog kvadranta. U akvatoriju ispred uvale nema kopnenih struktura te je očigledno postojanje privjetrišta velike duljine i a-priori su pretpostavljeni uvjeti ograničenja stanja potpuno razvijenog mora duljinom trajanja vjetra. Ova stavka posebno je razrađena u nastavku ove Studije.

Batimetrijska podloga je geodetska podloga u moru koju izrađuje ovlaštenu geodet. Ona daje grafički prikaz dubina u nekom akvatoriju te daje informacije o količini radova koje ćemo imati obuhvatom, kolike su dimenzije budućeg objekta, kolike će biti sile koje će djelovati na sam objekt (dubina definira visinu objekta, a visina pomnožena sa širinom objekta je površina za prihvat sile). Linije koje povezuju mjesta istih dubina nazivaju se izobate. Izmjera dubina u moru vrši se brodovima koji na svojem dnu imaju ugrađen mjerni uređaj koji emitira i prima signale odbijene od dna. Brod putem GPS-a definira putanju, dok snima prikuplja podatke te se kasnije priključuju podaci obrađuju softverski.

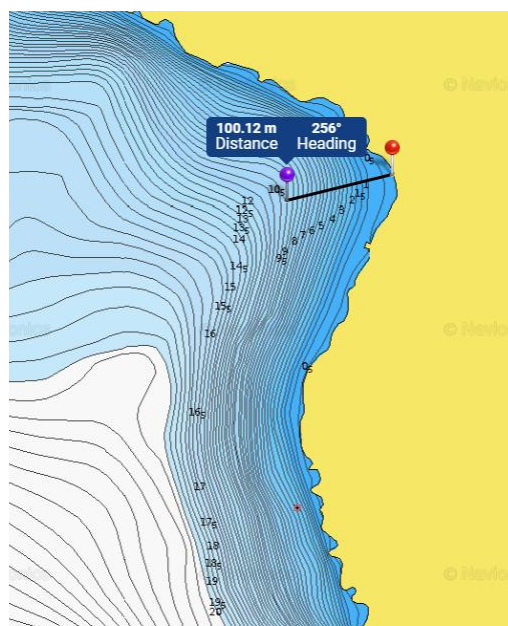
Batimetrijska svojstva šireg područja obuhvata, mjerodavnog u segmentu definicije projektnog vala do uključivo zone dubokog mora, temelje se na dostupnom servisu Navionics (Slike 2.1.3 i 2.1.4.). U užem dijelu obuhvata izobate su položene paralelno s linijom obalne crte i prate geomorfologiju same obale. Ovo najčešće ukazuje na prisustvo monolitne kamene (vapnenačke) strukture bez dominacije antropogenog učinka. U konkretnom slučaju za očekivati je tanje slojeve rasutog materijala na dnu, položenih na čvrstu stijenu. Potvrdu ovog treba potražiti u rezultatima geomehaničkih istražnih radova i sondažnih bušotina na lokaciji obuhvata što je neophodno za izradu projektne dokumentacije u daljnjim fazama. Izobate prate

obalnu crtu uključivo konkavan i konveksan oblik. U zoni obuhvata na području plaže nagib dna iznosi 10 % do dubine od 10 m nakon čega se nagib smanjuje na 6 % do izobate s oznakom 15 m. Prosječan nagib morskog dna iznosi oko 10 % (Slika 2.1.4.). Referentan visinski datum za iskaz dubina u navedenoj podlozi jest „Nula Trsta“. Iz slike se može izračunati nagib dna:

$$\tan^{-1}(10/100.12) = 5.703793797 \rightarrow \tan(\text{ans}) = 0.09988 * 100 = 9.988\% \approx 10\%$$

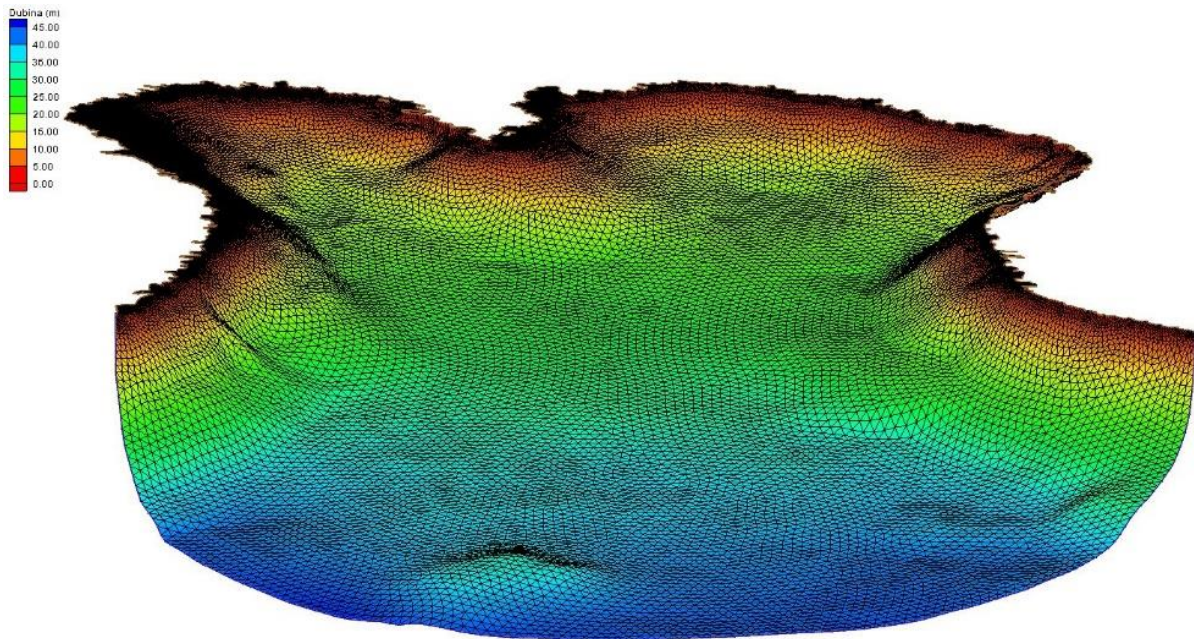


Slika 2.1.3. Batimetrijska svojstva zone obuhvata (Navionics)



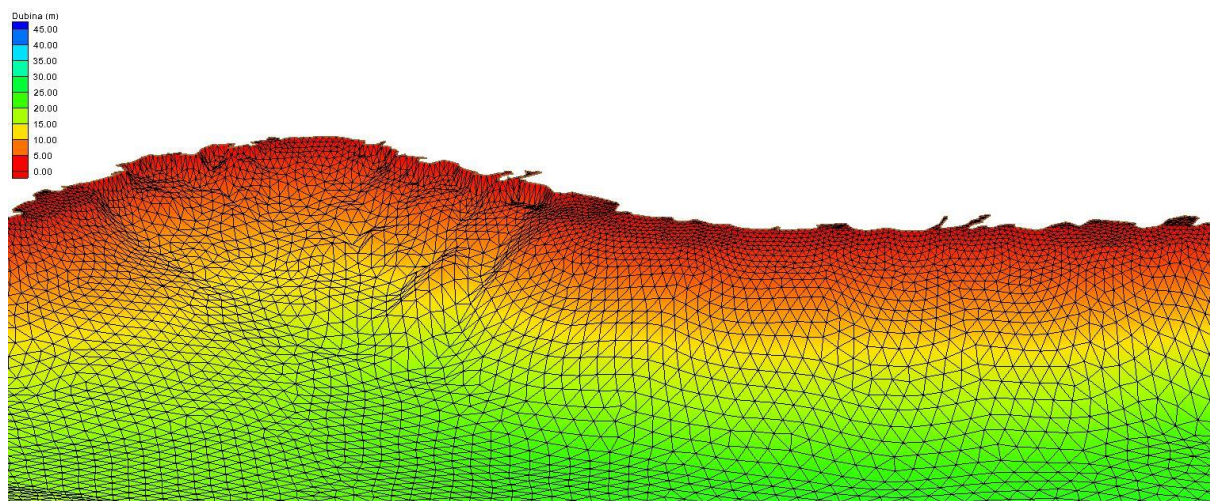
Slika 2.1.4. Batimetrijska svojstva zone obuhvata (Navionics)

Kombiniranjem dostavljene batimetrijske podloge (uži dio obuhvata) i informacije iz Navionics servisa, generiran je 3D model morskog dna za potrebe modelskih analiza (Slika 2.1.5.), a situacijski prikaz dubina prikazan je na Slici 2.1.8.. Uski obalni pojas karakteriziraju izrazito male vrijednosti dubina što je i očekivano. Uočava se kako je istočni dio uvale karakteriziran manjim dubinama i blažim nagibima u odnosu na zapadni dio uvale. Utjecaj dna na valne parametre očekivano je prisutan u području obalnog pojasa do cca. 250-320 m od obalne crte. Ova stavka posebno je ispitana u dijelu modelskih analiza valnog polja. Dubina postepeno raste prema središnjem dijelu uvale, do vrijednosti od 30 m. S gledišta sigurnosti plovidbe i manevarskih preduvjeta za plovila ovo predstavlja povoljnu situaciju. Sa gledišta preduvjeta za razvoj vala, akvatorij s ovim dubinama predstavlja preduvjet za nepovoljne valne uvjete. S obzirom na vrijednosti dubine, ostvareni su preduvjeti zone dubokog mora za dominantan period učestalosti realno ostvarenih valnih visina u krivulji trajanja istih. Dalje prema jugu do uključivo linije incidentnog vala, vrijednost dubine kreće se do 45 m.

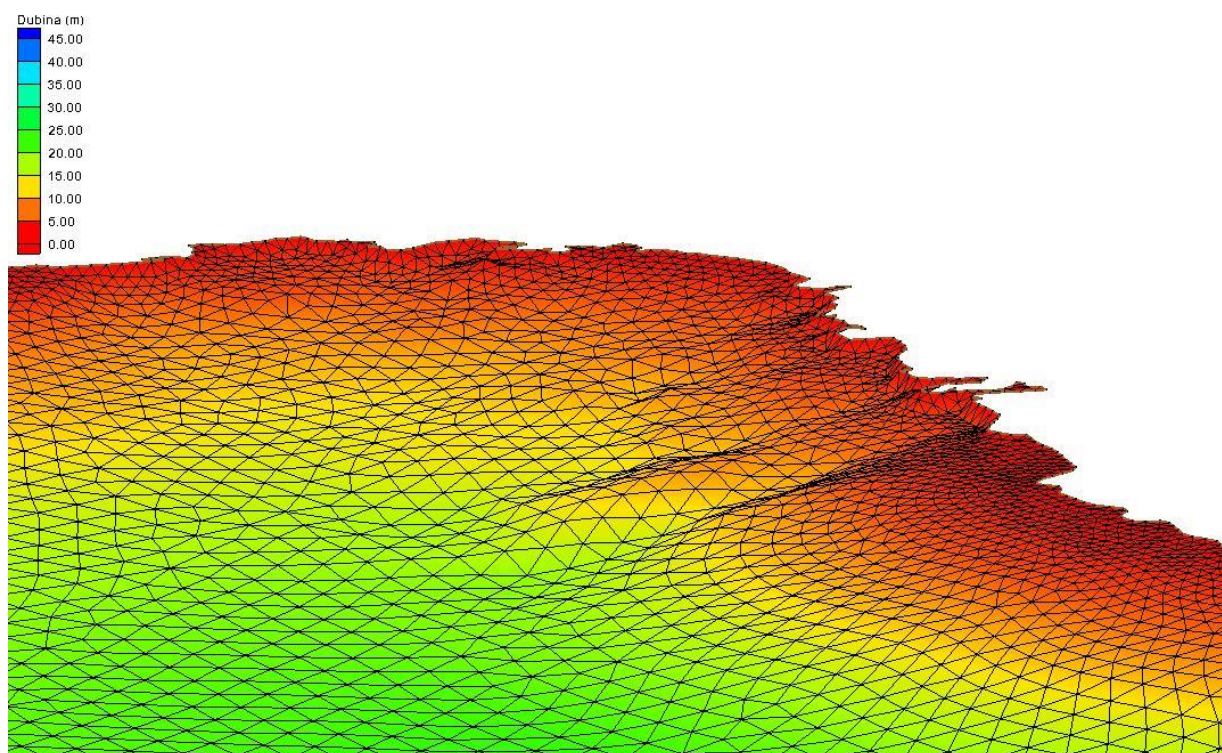


*Slika 2.1.5. 3D model dubina šire zone obuhvata*

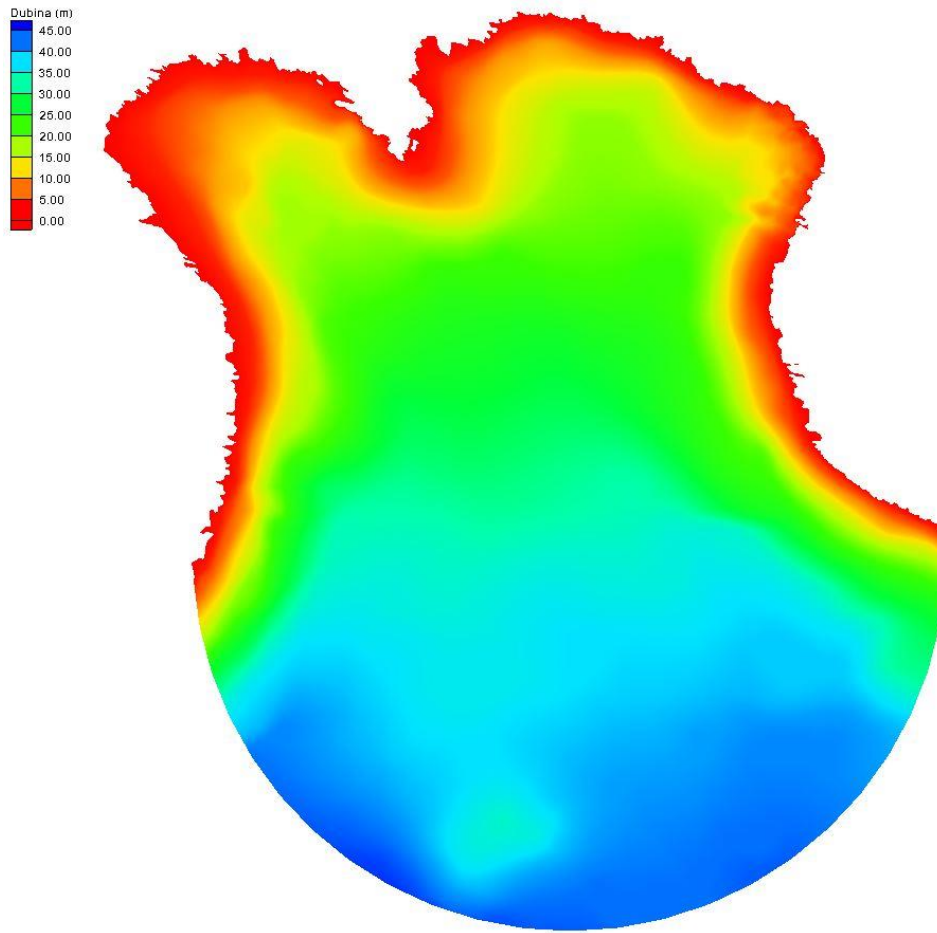




*Slika 2.1.6. Izometrijski prikaz dna s diskretizacijom na užem području obuhvata*

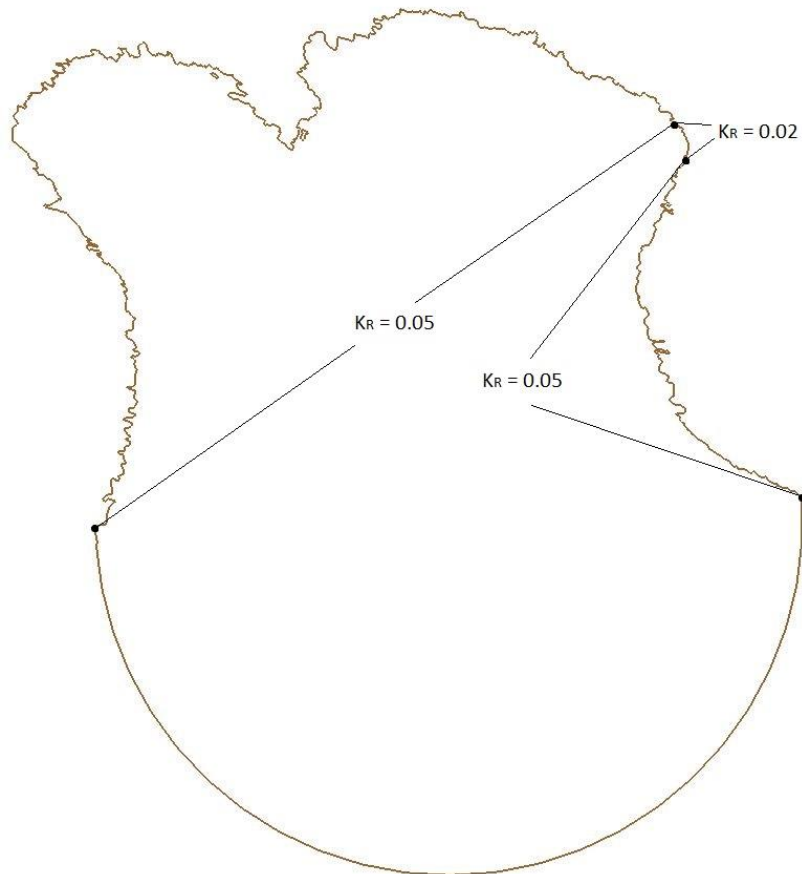


*Slika 2.1.7. Izometrijski prikaz dna s diskretizacijom na užem području obuhvata*



*Slika 2.1.8. Prikaz polja dubina šire zone obuhvata*

Obala je u prirodnom stanju oblikovana vapnenačkim sikama i hridima koje su uslijed vanjskog djelovanja nepravilne geometrije, što za posljedicu ima malu vrijednost koeficijenta refleksije. Područje na kojem je smještena plaža karakterizira zanemariv koeficijent refleksije što je posljedica činjenice o tome kako su plaže idealan apsorber u kombinaciji s blagim nagibom dna. Duž obalne crte, na Slici 2.1.9. definirana su refleksijska svojstva obale. Uvidom u sliku vidljivo je kako izostaju zone sa većim vrijednostima koeficijenta refleksije što je odlika prirodnog stanja obale.



Slika 2.1.9. Definicija obalne crte s incidentnom linijom vala i definicijom refleksijskih svojstava obale

## 2.2. Podaci o vjetru

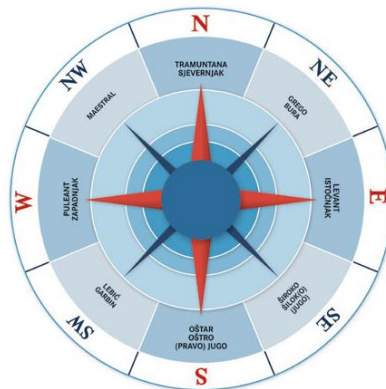
Vjetar je vodoravno strujanje zraka koje nastaje zbog nejednakosti tlaka u Zemljinoj atmosferi. Vektorska je veličina: ima skalarnu vrijednost (intezitet, snaga, odnosno brzina puhanja) te je određen smjerom puhanja što ga čini vektorskom veličinom. Mjeri se u m/s, km/h, čvor, mph (mile per hour) ili prema Beaufortovoj ljestvici. Smjer je određen engleskim kraticama strana svijeta (N, E, S, W itd.). Anemometar je mjerni instrument za mjerenje jačine vjetra i brzine strujanja zraka. Uloga anemometra je mjerenje nekoliko ili svih komponenta vektora vjetra. Idealni mjerni senzor vjetra trebao bi reagirati na najmanji povjetarac i vjetrove poput uragana, imati linearni izlaz i trenutno reagirati na turbulentne fluktuacije. U stvarnosti mjerni senzori ne mogu reagirati na vjetrove male snage, a ni izdržati jake vjetrove. Mjerenje vjetra vrši se na visini od 10 metara iznad tla kako bi se izbjegli negativni utjecaji od miješanja vjetra pri samom tlu uzrokovani od raznih čimbenika. Duljina, brzina i trajanje vjetra utječu na veličinu vala. Veće privjetrište daje veću valnu visinu ( $H$ ) i veći valni period ( $T$ ).

Za potrebe analize i izrade projektne dokumentacije, na raspolaganju su službeni podaci Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore sa dviju postaja (Bar–sinoptička postaja i Budva–klimatološka postaja).



Slika 2.2.1. Pregled lokacija glavnih meteoroloških, klimatoloških i kišomjernih stanica Crne Gore

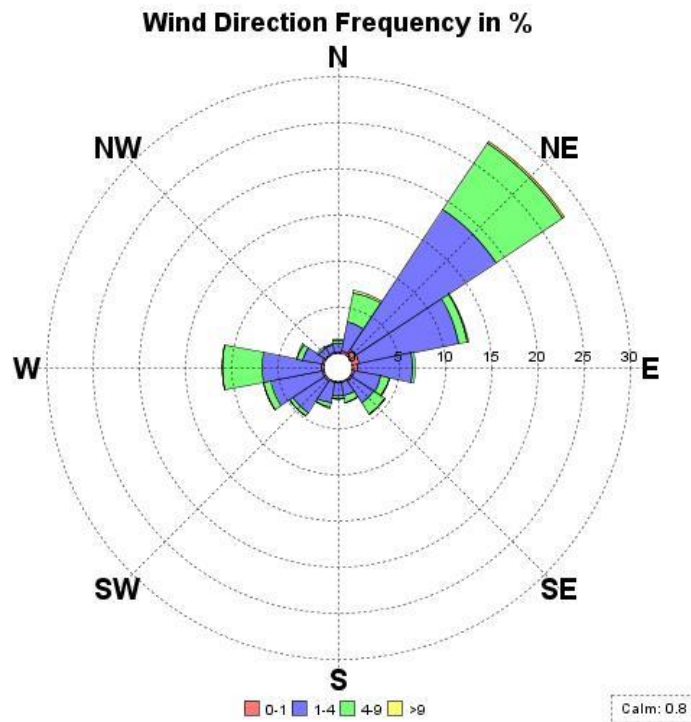
Srednji satni podaci o brzini i prevladavajućem smjeru sa sinoptičke postaje Bar raspoloživi su za razdoblje 1.1.2008. do 31.12.2011..



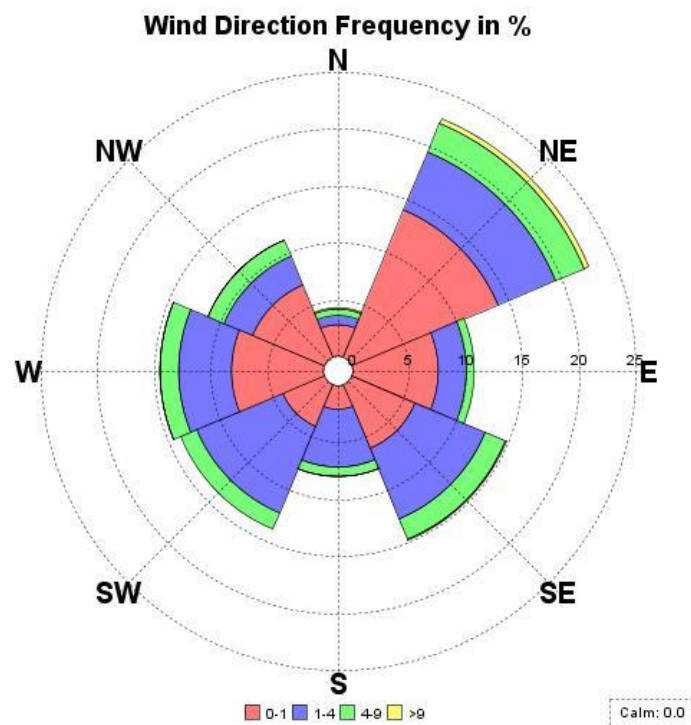
Slika 2.2.2. Glavni i sporedni smjerovi vjetra sa nazivima

Temeljem deset minutnih podataka referiranih na 7, 14 i 21 sati u danu, za postaje Bar i Budva, za razdoblje 1.1. 2006. do 31.12. 2015. godine izrađene su ruže učestalosti smjera i brzine vjetra na Slikama 2.2.3. i 2.2.4. za glavne i sporedne smjerove vjetra (Slika 2.2.2.).





Slika 2.2.3. Ruža učestalosti smjera i brzine vjetra za postaju Bar



Slika 2.2.4. Ruža učestalosti smjera i brzine vjetra za postaju Budva

Iako je lokacija obuhvata geografski smještena bliže lokaciji mjerne postaje Budva, kao mjerodavan usvaja se podatak o vjetru mjerenom na mjernoj postaji Bar zbog prisustva veće učestalosti razreda većih brzina vjetra. Na ovaj način gornji dio funkcije gustoće vjerojatnosti



translatira se prema desno čime se u prognozama osigurava veći koeficijent sigurnosti u postupku determinacije projektnog vala.

Na osnovu raspoloživog niza srednjih satnih podataka izrađene su tablice kontigencije koje su prikazane u nastavku u Tablici 2.2.1. i Tablici 2.2.2..

Tablica kontigencije sadrži informacije o apsolutnim/relativnim učestalostima različitih brzina i smjerova vjetra. Relativna učestalost je prikazana u postotku (%), dok je apsolutna učestalost realni brojevi. Podijeljena je na 16 smjerova (plus tišina - razdoblje bez vjetra ili ispod praga osjetljivosti mjernog uređaja) i 12 razreda Beaufortove. Relativna učestalnost osnova je za izradu ruže vjetrova. Ruža vjetrova podijeljena je na 16 smjerova, no vjetar se većinom prikazuje u osnovnih 8 (sjever, sjeveroistok, istok, jugoistok, jug, jugozapad, zapad, sjeverozapad). Brzina vjetra iskazuje se u metrima po sekundi (m/s), no često se upotrebljava i kilometar na sat, dok su pomorci skloniji čvorovima. Ruža vjetrova daje uvid u varijacije iznosa brzine i smjera vjetra. Brzina vjetra prikazuje se u zadanom omjeru na skali uz Ružu vjetrova. Smjer vjetra ukazuje na smjer iz kojeg puše vjetar i prikazan je u obliku relativne učestalosti pojedinog smjera u razdoblju mjerenja.

Usporedbom tablice relativne kontigencije sa ružom vjetrova sa Slike 2.2.3. (ružom vjetrova odgovara desetogodišnjem nizu u razdoblju od 1.1. 2006. do 31.12. 2015. godine) uočava se sličnost što upućuje na potencijalno dovoljno dugo razdoblje unutar kojeg su podaci o vjetru na raspolaganju. U pogledu učestalosti, prisutna je dominacija vjetrova pravog kvadranta (bura) i vjetra zapadnog smjera. U pogledu ostvarenja najvećih brzina vjetra ističu se smjerovi S (jugo) i SW (garbin). Udio tišine u ukupnom uzorku iznosi 3.99 %.

*Tablica 2.2.1. Tablica apsolutne kontigencije za sinoptičku postaju Bar i razdoblje 1.1.2008.*

*– 31.12.2011.*

| V(m/s)      | 0,0-0,3 | 0,3-1,5 | 1,5-3,3 | 3,3-5,5 | 5,5-8,0 | 8,0-10,8 | 10,8-13,9 | 13,9-17,2 | 17,2< | Suma  |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------|-------|
| <b>N</b>    | 0       | 84      | 474     | 450     | 217     | 38       | 0         | 0         | 0     | 1263  |
| <b>NE</b>   | 0       | 389     | 8881    | 3116    | 1898    | 188      | 0         | 0         | 0     | 14472 |
| <b>E</b>    | 0       | 259     | 3446    | 319     | 72      | 4        | 0         | 0         | 0     | 4100  |
| <b>SE</b>   | 0       | 95      | 1131    | 1050    | 220     | 10       | 0         | 0         | 0     | 2506  |
| <b>S</b>    | 0       | 101     | 769     | 559     | 156     | 29       | 2         | 0         | 0     | 1616  |
| <b>SW</b>   | 0       | 120     | 2257    | 524     | 66      | 44       | 18        | 0         | 0     | 3029  |
| <b>W</b>    | 1       | 148     | 3138    | 2096    | 296     | 16       | 3         | 0         | 0     | 5698  |
| <b>NW</b>   | 1       | 84      | 687     | 189     | 14      | 0        | 1         | 1401      |       | 976   |
| <b>Suma</b> | 2       | 1280    | 20783   | 8303    | 2939    | 329      | 24        |           |       | 35061 |

Tablica 2.2.2. Tablica relativne kontigencije za sinoptičku postaju Bar i razdoblje 1.1.2008. – 31.12.2011.

| V(m/s) | 0,0-0,3 | 0,3-1,5 | 1,5-3,3 | 3,3-5,5 | 5,5-8,0 | 8,0-10,8 | 10,8-13,9 | 13,9-17,2 | 17,2< | Suma     |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------|----------|
| N      | 0,000   | 2,396   | 13,519  | 12,835  | 6,189   | 1,084    | 0,000     | 0,000     | 0,000 | 36,023   |
| NE     | 0,000   | 11,095  | 253,301 | 88,874  | 54,134  | 5,362    | 0,000     | 0,000     | 0,000 | 412,766  |
| E      | 0,000   | 7,387   | 98,286  | 9,098   | 2,054   | 0,114    | 0,000     | 0,000     | 0,000 | 116,939  |
| SE     | 0,000   | 2,710   | 32,258  | 29,948  | 6,275   | 0,285    | 0,000     | 0,000     | 0,000 | 71,475   |
| S      | 0,000   | 2,881   | 21,933  | 15,944  | 4,449   | 0,827    | 0,057     | 0,000     | 0,000 | 46,091   |
| SW     | 0,000   | 3,423   | 64,374  | 14,945  | 1,882   | 1,255    | 0,513     | 0,000     | 0,000 | 86,392   |
| W      | 0,029   | 4,221   | 89,501  | 59,782  | 8,442   | 0,456    | 0,086     | 0,000     | 0,000 | 162,517  |
| NW     | 0,029   | 2,396   | 19,594  | 5,391   | 0,399   | 0,000    | 0,029     | 39,959    |       | 27,837   |
| Suma   | 0,057   | 36,508  | 592,767 | 236,816 | 83,825  | 9,384    | 0,685     |           |       | 1000,000 |

S obzirom na geografski položaj i otvorenost obuhvata očigledan je dominantan utjecaj vjetra i vala trećeg i četvrtog kvadranta na obalnu crtu.

### 2.3. Definiranje privjetrišta

Postoji širok spektar metoda i proračunskih modela namijenjenih rješavanju problematike definiranja dužine privjetrišta za razvoj vala. Jednu od metoda korištenu za proračun efektivnih privjetrišta razvio je Saville (1954. g.). Pretpostavka je da vjetar prenosi energiju na vodenu površinu ne samo u smjeru njegovog dominantnog puhanja, već i u smjerovima koji imaju otklon od glavnog smjera za +/- 45°.

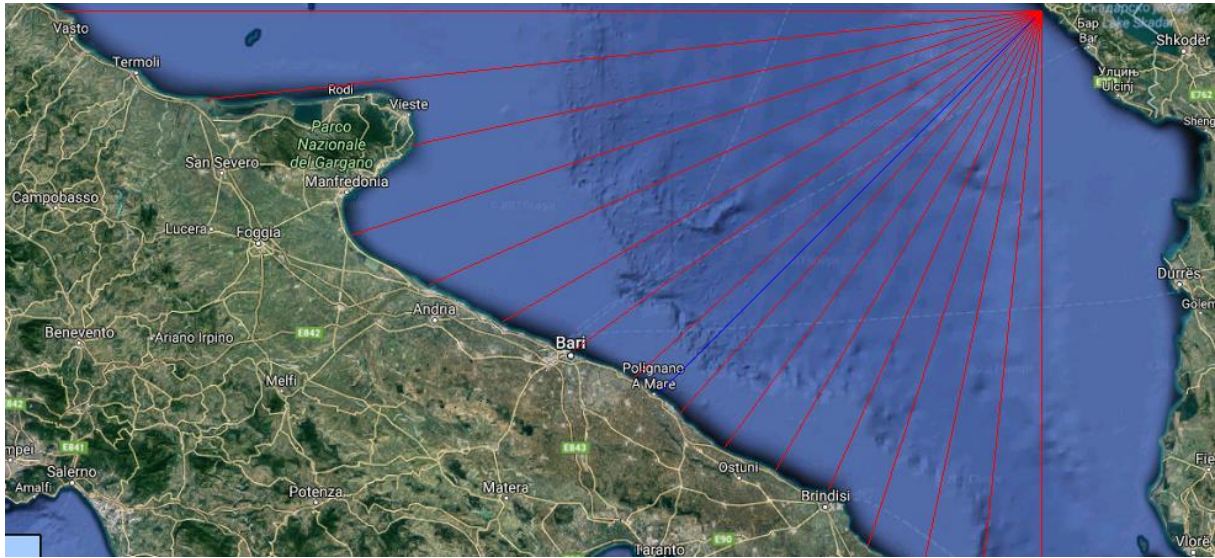
Postupak definiranja duljine privjetrišta provodi se na način da se postavi glavna zraka u smjeru puhanja vjetra, zatim se rotacijom od po 6° u smjeru kazaljke na satu (u prvom koraku 3° a potom svaka ostala po 6°) i suprotno od smjera kazaljke na satu postavljaju pravci kroz istu ishodišnu točku. Određuju 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.

|   |   |
|---|---|
| $F_{EFF}$ = efektivno privjetrište [km]   | $F_{EFF} = \frac{\sum_i f_i \cdot \cos^2 \theta_i}{\sum_i \cos \theta_i}$ |
| $\Theta_i$ = kut otklona zrake vale u odnosu na zraku smjera za koji se izračunava efektivno privjetrište [°] |   |
| $f_i$ = duljina privjetrišta zrake otklonjene za kut $\Theta_i$   |   |

Definirana su tri mjerodavna smjera za koje su definirana privjetrišta:

- SW;
- S;
- SE.

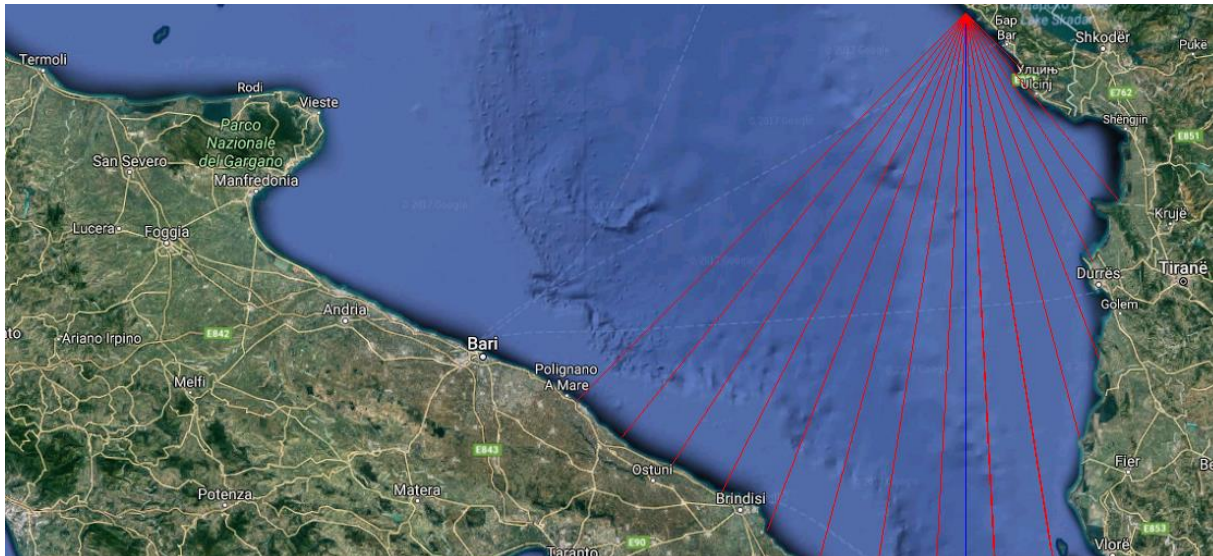
Grafički prikaz izračuna efektivnog privjetrišta za svaki od navedenih smjerova prikazan je grafički (Slika 2.3.1. - 2.3.3.) i analitički (Tablice 2.3.1. - 2.3.3.).



Slika 2.3.1. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SW

Tablica 2.3.1. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SW

| $\alpha$ [°]                     | $f_i$ [km]     | $\cos(\alpha)$ | $f_i * \cos^2(\alpha)$ |
|----------------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| -45                              | 1319,520       | 0,707          | 659,760                |
| -39                              | 219,551        | 0,777          | 132,599                |
| -33                              | 202,948        | 0,839          | 142,747                |
| -27                              | 196,916        | 0,891          | 156,330                |
| -21                              | 183,675        | 0,934          | 160,086                |
| -15                              | 186,047        | 0,966          | 173,584                |
| -9                               | 188,904        | 0,988          | 184,281                |
| -3                               | 189,707        | 0,999          | 189,187                |
| 3                                | 192,023        | 0,999          | 191,497                |
| 9                                | 202,052        | 0,988          | 197,107                |
| 15                               | 217,683        | 0,966          | 203,101                |
| 21                               | 235,108        | 0,934          | 204,913                |
| 27                               | 254,343        | 0,891          | 201,921                |
| 33                               | 225,452        | 0,839          | 158,576                |
| 39                               | 294,963        | 0,777          | 178,145                |
| 45                               | 342,997        | 0,707          | 171,498                |
| <b><math>F_{EFF}</math> [km]</b> | <b>232,778</b> | 14,200         | 3305,334               |

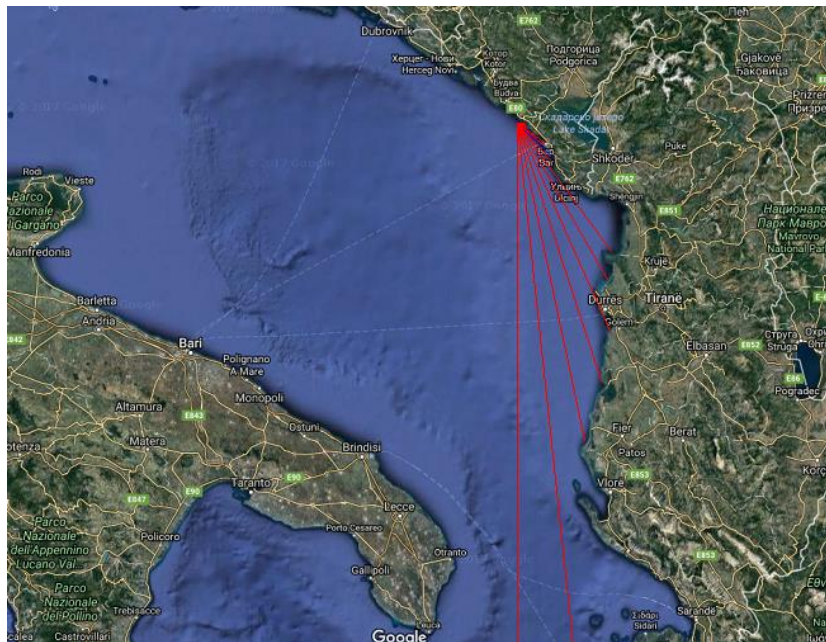


Slika 2.3.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer S

Tablica 2.3.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer S

| $\alpha$ [°]                | $f_i$ [km]     | $\cos(\alpha)$ | $f_i * \cos^2(\alpha)$ |
|-----------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| -45                         | 28,252         | 0,707          | 14,126                 |
| -39                         | 85,344         | 0,777          | 51,544                 |
| -33                         | 82,838         | 0,839          | 58,265                 |
| -27                         | 97,951         | 0,891          | 77,763                 |
| -21                         | 130,721        | 0,934          | 113,933                |
| -15                         | 155,024        | 0,966          | 144,639                |
| -9                          | 213,940        | 0,988          | 208,705                |
| -3                          | 1239,950       | 0,999          | 1236,554               |
| 3                           | 1116,790       | 0,999          | 1113,731               |
| 9                           | 1084,870       | 0,988          | 1058,321               |
| 15                          | 202,319        | 0,966          | 188,766                |
| 21                          | 195,522        | 0,934          | 170,412                |
| 27                          | 189,807        | 0,891          | 150,687                |
| 33                          | 189,769        | 0,839          | 133,478                |
| 39                          | 192,370        | 0,777          | 116,183                |
| 45                          | 194,250        | 0,707          | 97,125                 |
| <b>F<sub>EFF</sub> [km]</b> | <b>347,493</b> | 14,200         | 4934,231               |





Slika 2.3.3. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE

Tablica 2.3.3. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE

| $\alpha$ [°]                | $f_i$ [km]     | $\cos(\alpha)$ | $f_i * \cos^2(\alpha)$ |
|-----------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| -45                         | 2,678          | 0,707          | 1,339                  |
| -39                         | 2,932          | 0,777          | 1,771                  |
| -33                         | 3,255          | 0,839          | 2,290                  |
| -27                         | 3,717          | 0,891          | 2,951                  |
| -21                         | 4,410          | 0,934          | 3,843                  |
| -15                         | 6,256          | 0,966          | 5,837                  |
| -9                          | 16,992         | 0,988          | 16,576                 |
| -3                          | 17,661         | 0,999          | 17,613                 |
| 3                           | 26,780         | 0,999          | 26,707                 |
| 9                           | 82,581         | 0,988          | 80,560                 |
| 15                          | 94,009         | 0,966          | 87,711                 |
| 21                          | 120,143        | 0,934          | 104,713                |
| 27                          | 141,175        | 0,891          | 112,077                |
| 33                          | 168,740        | 0,839          | 118,686                |
| 39                          | 1089,770       | 0,777          | 658,173                |
| 45                          | 1322,960       | 0,707          | 661,480                |
| <b>F<sub>EFF</sub> [km]</b> | <b>133,971</b> | <b>14,200</b>  | <b>1902,328</b>        |








Duljine privjetrišta variraju u rasponu od 133.971 km za smjer SE do 347.493 km za smjer S. Po pitanju smjera S, zrake se protežu sve do obala Libije u Africi, sa ukupnom duljinom od 1250 -1300 km. Na tako velikim duljinama privjetrišta postizanje stanja potpuno razvijenog mora uvjetovano je trajanjem puhanja vjetra i postojanošću smjera. Ostvarenje duljina ekeftivnog privjetrišta za smjer S moguće je u uvjetima puhanja juga čime je opravdano korištenje privjetrišta duljine 347.493 km.

## 2.4. Definiranje parametara dubokovodnog vala

Za potrebe definiranja mjerodavnih ulaznih podataka na osnovu srednje satne brzine vjetra, potrebno je doći do minimalnih vremena trajanja puhanja vjetra za definiranu duljinu privjetrišta, a s ciljem detekcije eventualnog postizanja stanja potpuno razvijenog mora. Za probleme ovog tipa može poslužiti Godin izraz:

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| $t_{\min}$ = minimalno vrijeme puhanja vjetra [h] | $t_{\min} = X^{0,73} \cdot U^{-0,46}$ |
| X = duljina privjetrišta [km]                     | $X_{\min} = t^{1,37} \cdot U^{0,63}$  |
| U = brzina vjetra [m/s]                           |                                       |

Brzina v (m/s) u vrijednosti 1.50 m/s – 13.90 m/s su zapravo vrijednosti brzina prema Beaufort-ovoj ljestvici.

| bofora | naziv vjetra       | učinak vjetra na kopnu  | učinak vjetra na moru                                     | slika   | brzina vjetra                 |
|--------|--------------------|---|---|---|-------------------------------|
| 0      | tišina             | Dim se diže vertikalno u vis, zastave i lišće su nepomični                        | površina vode kao ogledalo                                |    | do 0.3 m/s<br>do 1 km/h       |
| 1      | lahor              | vjetrulja se ne pokreće, može mu se razaznati smjer prema dimu koji se podiže     | mrežkanje vode  |   | 0.4 - 1.5 m/s<br>1 - 5 km/h   |
| 2      | povjetarac         | vjetrulja se pokreće, lišće treperi, svilena zastava leprša                       | mali valići, kreste valića su još prozirne i ne lome se   |  | 1.6 - 3.3 m/s<br>6 - 11 km/h  |
| 3      | slab vjetar        | lišće zajedno s graničicama se neprekidno njiše i šušti, zastava leprša           | veći valići, kreste valića se počinju lomiti              |  | 3.4 - 5.4 m/s<br>12 - 19 km/h |
| 4      | umjeren vjetar     | diše prašinu, suho lišće i papir s dna; zastavu drži ispruženu, njiše manje grane | mali valovi, bijele krijeste na vrhovima valova           |  | 5.5 - 7.9 m/s<br>20 - 28 km/h |
| 5      | umjeren jak vjetar | njiše veće lisnate grane a i čitava mala stabla                                   | umjereni valovi, puno bijelih krijesti na vrhovima valova |  | 8.0-10.7 m/s<br>29 - 38 km/h  |
| 6      | jak vjetar         | svijaju se velike grane, teško je nositi otvoren kišobran, telefonske žice zvižde | veliki valovi se formiraju, bijele krijeste su posvuda    |  | 10.8-13.8m/s<br>39 - 49 km/h  |

Slika 2.4.1. Beaufort-ova ljestvica

- $F_{EFF}$  je efektivno privjetrište za određeni smjer dobiven u prethodnim proračunima (SW, S, SE).
- $t_{\min}$  je minimalno potrebno vrijeme trajanja puhanja vjetra za postizanje stanja potpuno razvijenog mora.
- $X_{\min}$  ili  $F_{\min}$  je minimalna duljina privjetrišta.
- Kod F se usvaja manja vrijednost od dvije navedene ( $F_{EFF}$  ili  $F_{\min}$ ).
- $H_s$  i  $T_s$  se očitava iz Groen-Dorrenstein dijagrama te su to dubokovodni parametri.
- $L_0$  se izračunava prema formuli:  $L_0 = gT^2/2\pi$
- n je broj pojave vjetra SW, S ili SE u brzinama od 1.5-13.9 m/s iz tablice kontingencije

Za definiranje minimalnog privjetrišta koristit će se brzine vjetra prikazane u prethodnim tablicama kontigencije za mjerodavne smjerove vjetra sa trajanjem koje se dobiva na osnovu pojave uzastopnog ponavljanja smjera vjetra u raspoloživom nizu.

Za smjer puhanja SW utvrđeno je trajanje puhanja od po 18 h, za smjer S trajanje je iznosi 30 h, dok je najduže trajanje zabilježeno za smjer SE u iznosi 30 h.

U pogledu mjerodavnih smjerova, za daljnje analize usvojeni su SW, S i SE, za koje su na osnovu raspoloživih podataka o vjetru definirani mjerodavni uzorci dubokovodnih parametara vala.

*Tablica 2.4.1. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer SW*

|                             |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>V [m/s]</b>              | 1.50   | 3.30   | 5.50   | 8.00   | 10.80  | 13.90  |
| <b>F<sub>EFF</sub> [km]</b> | 232.78 | 232.78 | 232.78 | 232.78 | 232.78 | 232.78 |
| <b>t<sub>min</sub> [h]</b>  | 44.35  | 30.86  | 24.40  | 20.53  | 17.89  | 15.93  |
| <b>F<sub>min</sub> [km]</b> | 67.71  | 111.27 | 153.52 | 194.39 | 234.84 | 275.31 |
| <b>F [km]</b>               | 67.71  | 111.27 | 153.52 | 194.39 | 232.78 | 232.78 |
| <b>H<sub>S</sub> [m]</b>    |        |        | 0.71   | 1.6    | 2.61   | 3.89   |
| <b>T<sub>S</sub> [s]</b>    |        |        | 3.35   | 4.99   | 6.17   | 7.6    |
| <b>L<sub>0</sub> [m]</b>    |        |        | 17.52  | 38.88  | 59.44  | 90.18  |
| <b>n</b>                    | 120    | 2257   | 524    | 66     | 44     | 18     |

*Tablica 2.4.2. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer S*

|                             |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>V [m/s]</b>              | 1.50   | 3.30   | 5.50   | 8.00   | 10.80  | 13.90  |
| <b>F<sub>EFF</sub> [km]</b> | 347.49 | 347.49 | 347.49 | 347.49 | 347.49 | 347.49 |
| <b>t<sub>min</sub> [h]</b>  | 59.41  | 41.34  | 32.68  | 27.51  | 23.96  | 21.34  |
| <b>F<sub>min</sub> [km]</b> | 136.33 | 224.04 | 309.09 | 391.38 | 472.84 | 554.31 |
| <b>F [km]</b>               | 136.33 | 224.04 | 309.09 | 347.49 | 347.49 | 347.49 |
| <b>H<sub>S</sub> [m]</b>    |        |        | 0.75   | 1.65   | 2.61   | 3.98   |
| <b>T<sub>S</sub> [s]</b>    |        |        | 3.5    | 5.1    | 6.26   | 7.55   |
| <b>L<sub>0</sub> [m]</b>    |        |        | 19.13  | 40.61  | 61.18  | 89.00  |
| <b>n</b>                    | 101    | 769    | 559    | 156    | 29     | 2      |

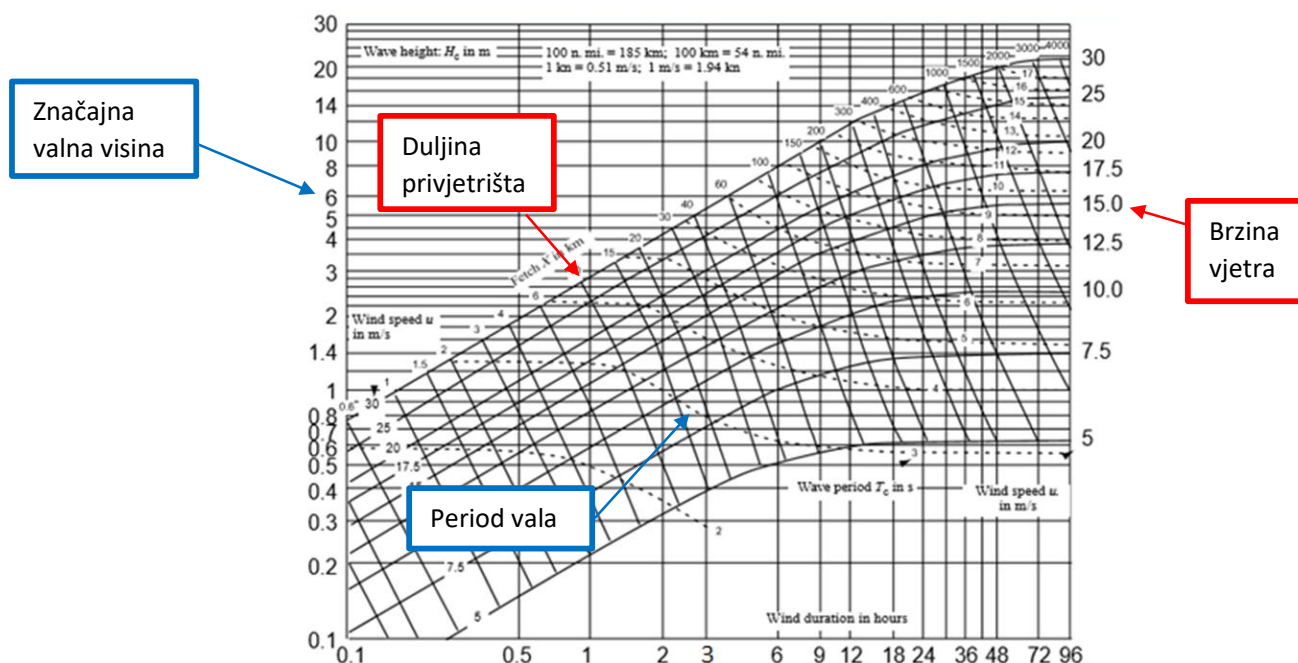
*Tablica 2.4.3. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer SE*

|                             |        |        |        |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>V [m/s]</b>              | 1.50   | 3.30   | 5.50   | 8.00   | 10.80  |
| <b>F<sub>EFF</sub> [km]</b> | 133.97 | 133.97 | 133.97 | 133.97 | 133.97 |
| <b>t<sub>min</sub> [h]</b>  | 29.63  | 20.62  | 16.30  | 13.72  | 11.95  |
| <b>F<sub>min</sub> [km]</b> | 136.33 | 224.04 | 309.09 | 391.38 | 472.84 |
| <b>F [km]</b>               | 133.97 | 133.97 | 133.97 | 133.97 | 133.97 |
| <b>H<sub>S</sub> [m]</b>    |        |        | 0.72   | 1.45   | 2.17   |
| <b>T<sub>S</sub> [s]</b>    |        |        | 3.45   | 4.75   | 5.5    |
| <b>L<sub>0</sub> [m]</b>    |        |        | 8.33   | 10.96  | 13.87  |
| <b>n</b>                    | 95     | 1131   | 1050   | 220    | 10     |

Za vrijednosti srednjih satnih brzina definirane su minimalna potrebna trajanja puhanja za postizanje stanja potpuno razvijenog mora. Za slučaj kada je vrijeme puhanja kraće od minimalnog potrebnog, ukupna energija vjetra ne može se prenijeti na površinu mora u duljini efektivnog privjetrišta, pa se za mjerodavnu duljinu privjetrišta do postizanja stanja potpuno razvijenog mora usvaja minimalna potrebna duljina. Za slučaj kada je vrijeme puhanja duže od minimalnog potrebnog, stanje potpuno razvijenog mora nije postignuto jer je efektivna duljina privjetrišta manja od minimalne. Za mjerodavnu duljinu privjetrišta do postizanja stanja potpuno razvijenog mora u ovom slučaju usvaja se efektivna duljina privjetrišta.

Prema prikazanim rezultatima u Tablicama 2.4.1.-1.4.2., uočava se da je prisutno ograničenje trajanjem puhanja vjetra osim u slučaju smjera SE i brzina vjetra do uključivo 1.50 m/s.

Za određivanje karakteristika dubokovodnog vala i ostalih parametara korišten je Groen-Dorrestein nomogram koji je nastao na osnovu mjerenja na području Mediterana. Brzina vjetra, duljina privjetrišta i trajanja vjetra na ovom nomogramu međusobno su zavisni. Na temelju već određene duljine privjetrišta te smjera i brzine vjetra, iz dijagrama Groen-Dorrestein (Slika 2.4.2.) očitavaju se parametri vala u dubokom moru. Očitani parametri su period -  $T$  i visina vala –  $H_s$ .



Slika 2.4.2. Groen - Dorrestein nomogram



## 2.5. Zaključak vjetrovalne analize

Temeljem provedenih analiza parametara dubokovodnog vala za potrebe zahvata unutar obuhvata definirane su karakteristične valne visine i periodi za povratne periode od 5 do 100 godine za tri incidentna smjera: SW, S i SE kako je prikazano u Tablicama 2.5.1.-2.5.3.. Odabirom triju mjerodavnih smjerova (SW, S i SE) obuhvaćene su sve mogućnosti pojave valova ekstremnih valnih visina unutar povratnog perioda koji odgovara vijeku trajanja objekta. Incidentni smjer SE zbog manje duljine privjetrišta, u odnosu na incidentne smjerove SW i S, rezultira manjim vrijednostima valnih parametara, primarno značajne valne visine i perioda. Bez obzira na duljinu privjetrišta, incidentni smjer SE nije mjerodavan u slučaju predmetnog zahvata zbog smjera pružanja poluotoka na istočnom rubu zone obuhvata (rt Kočište), koji svojim oblikom pruža prirodnu zaštitu području plaže u postojećem stanju. S obzirom na činjenicu kako je jugo popraćeno barotropnom pojavom izdizanja razine mora, isto je u pogledu utjecaja na srednju razinu mora uzeto u obzir pri definiciji mjerodavne razine mora za potrebe definicije parametara lukobrana.

$$H_{1/10}=1.27*H_s ; H_{1/100}=1.67*H_s ; H_{max}=1.8*H_s ; T_p=1.1*T$$

Tablica 2.5.1. Rezultati dugoročne prognoze karakterističnih valnih visina i perioda za smjer

SW

| T   | H <sub>s</sub> [m] | H <sub>1/10</sub> [m] | H <sub>1/100</sub> [m] | H <sub>MAX</sub> [m] | T [s] | T <sub>p</sub> [s] |
|-----|--------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-------|--------------------|
| 5   | 3.390              | 4.31                  | 5.66                   | 6.10                 | 6.990 | 7.689              |
| 20  | 4.130              | 5.25                  | 6.90                   | 7.43                 | 7.860 | 8.646              |
| 50  | 4.590              | 5.83                  | 7.67                   | 8.26                 | 8.370 | 9.207              |
| 100 | 4.950              | 6.29                  | 8.27                   | 8.91                 | 8.810 | 9.691              |

Tablica 2.5.2. Rezultati dugoročne prognoze karakterističnih valnih visina i perioda za smjer

S

| T   | H <sub>s</sub> [m] | H <sub>1/10</sub> [m] | H <sub>1/100</sub> [m] | H <sub>MAX</sub> [m] | T [s] | T <sub>p</sub> [s] |
|-----|--------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-------|--------------------|
| 5   | 2.730              | 3.47                  | 4.56                   | 4.91                 | 6.910 | 7.601              |
| 20  | 3.540              | 4.50                  | 5.91                   | 6.37                 | 7.730 | 8.503              |
| 50  | 4.210              | 5.35                  | 7.03                   | 7.58                 | 8.270 | 9.097              |
| 100 | 4.790              | 6.08                  | 8.00                   | 8.62                 | 8.700 | 9.57               |

Tablica 2.5.3. Rezultati dugoročne prognoze karakterističnih valnih visina i perioda za smjer

SE

| T   | H <sub>s</sub> [m] | H <sub>1/10</sub> [m] | H <sub>1/100</sub> [m] | H <sub>MAX</sub> [m] | T [s] | T <sub>p</sub> [s] |
|-----|--------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-------|--------------------|
| 5   | 2.070              | 2.63                  | 3.46                   | 3.73                 | 5.590 | 6.149              |
| 20  | 2.510              | 3.19                  | 4.19                   | 4.52                 | 6.070 | 6.677              |
| 50  | 2.870              | 3.64                  | 4.79                   | 5.17                 | 6.390 | 7.029              |
| 100 | 3.180              | 4.04                  | 5.31                   | 5.72                 | 6.630 | 7.293              |

### 3. MODELSKA ANALIZA VALNOG POLJA

#### 3.1. Identifikacija mjerodavnih incidentnih smjerova vala

Provedena je analiza privjetrišta i svojstava vjetra sa referentne mjerne postaje, koji rezultiraju definicijom dubokovodnih valnih parametara na lokaciji obuhvata koji su mjerodavni u pogledu budućeg zahvata. Kao mjerodavni, identificirani su vjetrom generirani valovi trećeg i četvrtog kvadranta. Kombiniranjem duljina mjerodavnih privjetrišta i mjerenih podataka o vjetru generirani su uzorci valnih parametara za tri referentna incidentan smjera: SW, S i SE. S tako dobivenim podacima pristupilo se definiciji karakterističnih valnih visina za sva tri smjera. Uvidom u rezultate zaključuje se kako su u pogledu relevantnosti istaknuti incidentni smjerovi vala SW i S.

Smjer SE koji parcijalno koincidira s smjerom juga, u kombinaciji manje duljine privjetrišta i izostajanja učestalosti pojave većih razreda brzina vjetra, ne daje vrijednosti valnih parametara koje se nameću kao mjerodavni u postupku planiranja i trasiranja objekata u zoni obuhvata i procesu dokazivanja mehaničke otpornosti i stabilnosti objekta kao jednog od temeljnih zahtjeva građevine. Osim toga, zbog konfiguracije obalne crte na predjelu južno i jugoistočno od budućeg zahvata, valno polje u zoni utjecaja bit će značajno pod utjecajem refrakcije i difrakcije što će za posljedicu imati redukciju valne visine u užoj zoni budućeg zahvata. Za potrebe modelske analize kao mjerodavni usvajaju se vjetrom generirani valovi smjera S i SW.

#### 3.2. Valne transformacije

Kada se dubokovodni val približava obali, sve je veći utjecaj dna koji se očituje kroz promjene parametara vala i smjera gibanja valnih zraka. Dubokovodnom valu sa smanjenjem dubine smanjuje se valna duljina  $L$  i valna brzina  $c$ , dok je period vala  $T$  konstantan. Valna visina ovisit će o valnim transformacijama koje je mogu povećati ili smanjiti. Na uplićavanje, refrakciju i lom vala utječe morsko dno, dok defrakcija i refleksija isključivo ovise o prepreci koja se može nalaziti u dubokom ili u zoni utjecaja dna. U nastavku su opisani mehanizmi valnih transformacija u zoni utjecaja morskog dna.

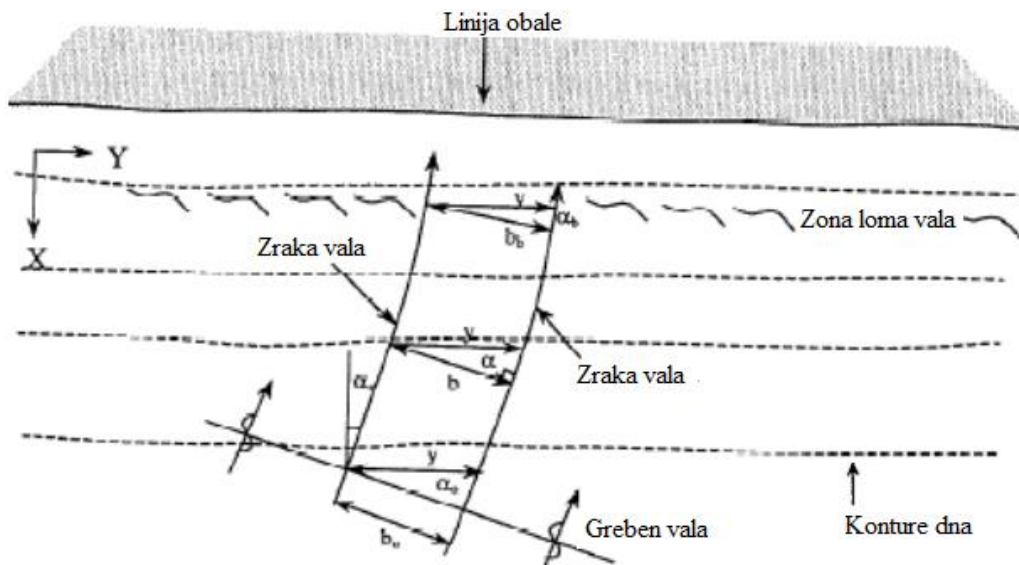
Uplicavanje je pojava koja se javlja kada val nailazi okomito na ravnu obalu čije su izobate paralelne s linijom obale.

Općenito, pomoću valne visine u dubokom moru  $H_0$  je moguće dobiti valnu visinu  $H$  na bilo kojoj dubini:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 C_0}{n C}} = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{n} \frac{1}{\operatorname{tg} h(kd)}} = \frac{H}{H_0'} = K_S$$

gdje je  $K_S$  koeficijent uplićavanja koji u dubokom moru iznosi 1.0, a s dubinom se smanjuje do vrijednosti 0.91, nakon čega raste do beskonačnosti kako dubina mora ide u nulu.

Refrakcija se događa kada valovi kao posljedica promjene dubine nailaze na obalu pod nekim kutem (Slika 3.2.1.). Valna brzina je funkcija dubine i opada proporcionalno smanjenju dubine, stoga greben vala iz dubljeg mora sustigne greben u plićem moru zbog veće valne brzine pa su za posljedicu grebeni vala u neposrednoj blizini obale paralelni s obalom, a valne zrake se poklapaju s normalama na obalnu liniju. Pretpostavlja se da se sva energija prenosi uzduž zrake vala i da nema gubitka energije okomito na zraku.



Slika 3.2.1. Refrakcija vjetrovnog vala

Općenito, pomoću valne visine u dubokom moru  $H_0$  je moguće dobiti valnu visinu  $H$  na bilo kojoj dubini:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 C_0}{n C}} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{n} \frac{1}{\operatorname{tg} h(kd)}} \sqrt{\frac{b_0}{b}} = K_S K_R$$

S obzirom da se svaka zraka vala refraktira po istom zakonu, međusobna udaljenost zraka u smjeru pružanja obale ostaje konstanta:

$$\frac{b}{\cos \alpha} = \text{const.}$$

$$\sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_2}}$$

gdje je  $K_R$  koeficijent refrakcije

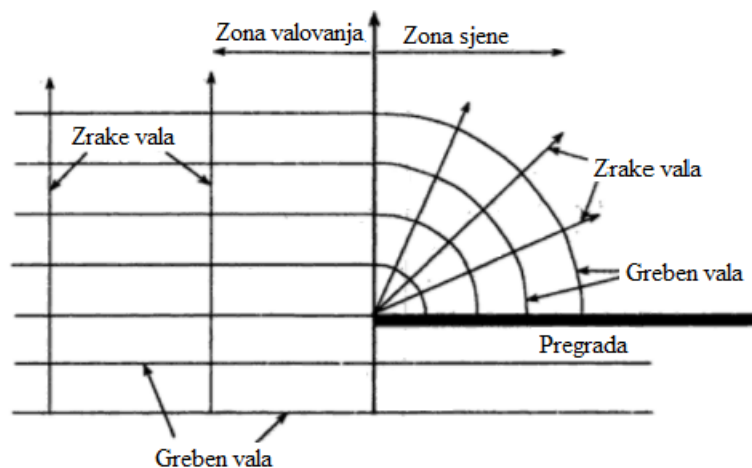
$$K_R = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha}}$$

Difrakcija ili ogib nastaje kada valovi naiđu na prepreku i rezultat je bočnog rasprostiranja energije koje se javlja iza prepreke. Iako se u prirodi uglavnom odvija istovremeno s refrakcijom, radi potrebe razmatranja uzima se da nema promjene dubine pa refrakcija nije prisutna. Radi se o slučaju čiste difrakcije prikazanom na Slici 3.2.2. gdje incidentni dubokovodni val nailazi na pregradu na vrhu koje je razdjelnica područja sjene i zone incidentnog vala. Zrake vala se lome i usmjeravaju prema zoni sjene, gdje dolazi do prijenosa energije. Koeficijent difrakcije  $K_D$  se očitava iz nomograma, a pomnožen s valnom visinom incidentnog vala rezultira valnom visinom u zoni sjene pregrade:

$$K_D = \frac{H}{H_S}$$

Proračun valne visine uslijed istovremenog djelovanja uplićavanja, refrakcije i difrakcije moguće je provesti prema:

$$\frac{H}{H_0} = K_S K_R K_D$$



Slika 3.2.2. Primjer čiste jednostrane difrakcije

**Refleksija:** kada val naiđe na kruti, nepropusni vertikalni zid događa se totalna refleksija ukupne energije nadolazećeg vala, koja se superponira s energijom nadolazećeg incidentnog vala formirajući potpuni stojni val kojeg karakterizira maksimalna visina  $2H$ .

Koeficijent refleksije  $C_R$  je u rasponu od nula do jedan i predstavlja udio ukupne količine energije dolaznog vala koji se reflektira od konstrukcije, čiji se reflektirani val superponira sa dolaznim valom, a opterećenje vala na konstrukciju se povećava:

$$C_R = \frac{H_R}{H_I}$$

gdje je:

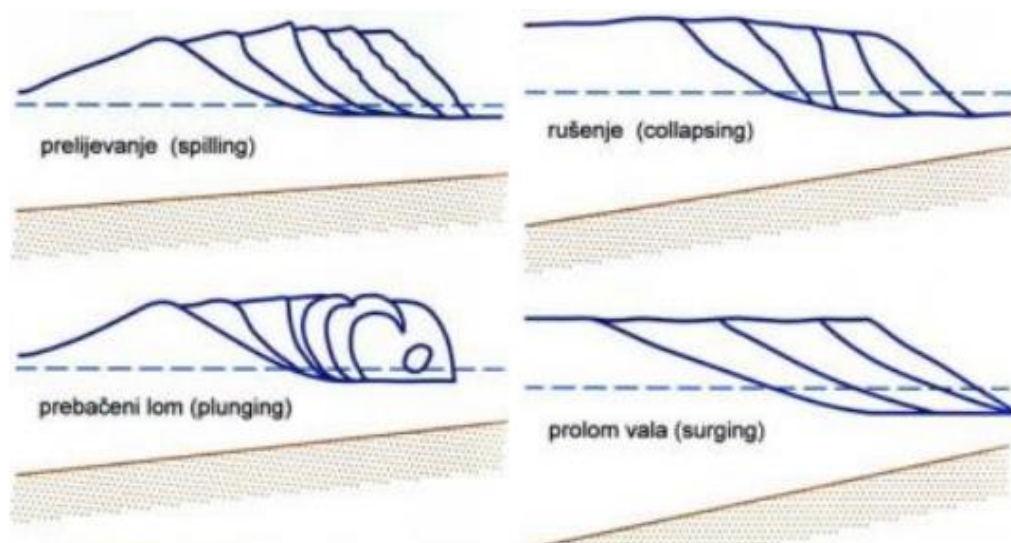
$H_R$  - visina reflektiranog vala (m),

$H_I$  - visina incidentnog vala (m).

Plaže su zbog prirodnog položaja i materijala jako dobri disipatori energije incidentnog vala pa imaju jako male vrijednosti koeficijenta refleksije.

**Lom vala** će se dogoditi kada se prekorači strmost vala - omjer valne visine i valne duljine ( $H/L$ ). Prema Galvinu postoje četiri tipa loma vala (Slika 3.2.3.):

- prelijevanje kod vrlo blagog nagiba dna (prebačeni lom),
- lom guranjem s obuhvaćenim mjehurom zraka kod strmog nagiba dna,
- propadajući lom kao prijelazna forma i prolom vala,
- izdizanje kod vrlo strmog nagiba.



Slika 3.2.3. Vrste loma vala prema Galvinu

Kriterij loma vala ovisi o maksimalnoj strmosti vala:

|                     |  |
|---------------------|--|
| za duboko more:     | $\left(\frac{H_0}{L_0}\right)_{max} = \frac{1}{7} = 0,142$                                     |
| za plitko more:     | $\left(\frac{H}{L}\right)_{max} = \frac{1}{7} \frac{2\pi d}{L}$                                |
| Micheov opći izraz: | $\left(\frac{H}{L}\right)_{max} = \frac{1}{7} \operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$ |

### 3.3. Numerički model za analizu valnog polja

Tablica 3.3.1. Ulazni parametri valova za model

| Smjer(meteorološki) | Hs(m) | T(s) | $\gamma$ | nn |
|---------------------|-------|------|----------|----|
| SW(215°)            | 4.95  | 8.81 | 3.3      | 10 |
| S(180°)             | 4.79  | 8.70 | 3.3      | 4  |

Koeficijent  $\gamma$  se uzima 3.3 za sve valove koji imaju period manji od 10 s, a koeficijent nn prilagođava uvidom u rezultate valnog polja. S obzirom na oblik domene i nemogućnost proračuna valova koji na otvorenoj granici mora svojim smjerom izlaze iz domene i idu od obale prema otvorenom moru potrebno je povećati koeficijent  $nn$  kako bi se smanjila direkcijska disperzija.

### 3.4. Rezultati

Razultati su prikazani u nastavku, zasebno za incidentne smjerove S i SW s ciljem jasne i pregledne identifikacije svojstava valnog polja u zoni utjecaja morskog dna, a u zoni zahvata. Posebno je dan prikaz:

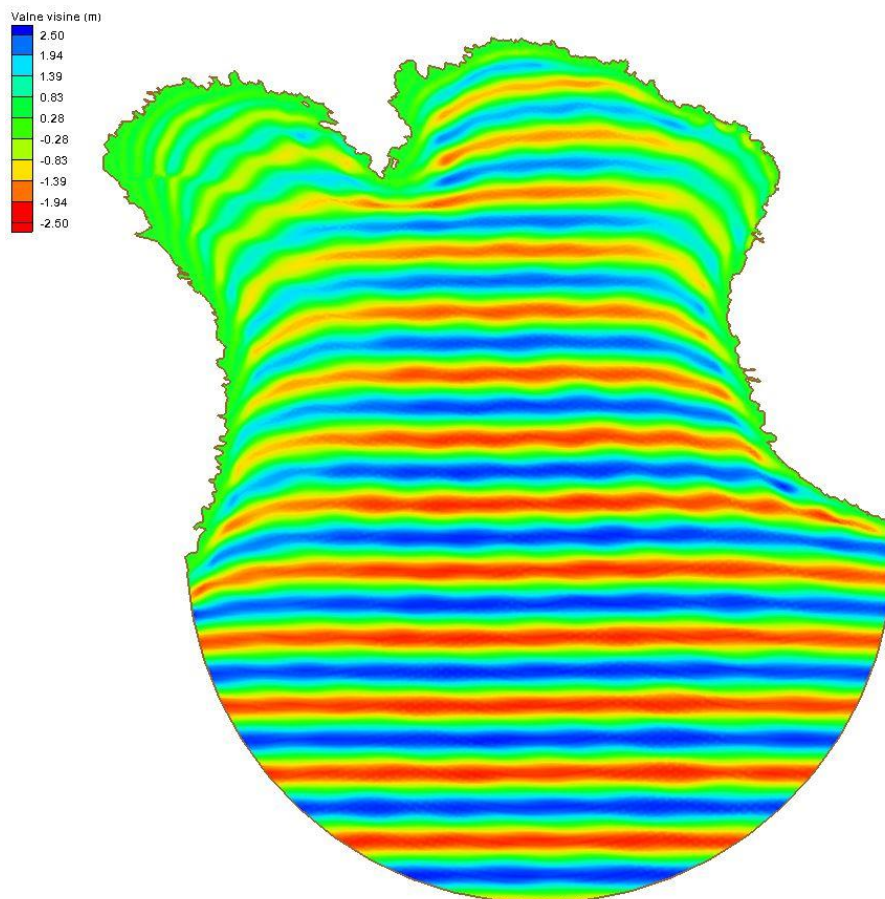
- Valnog polja;
- Polja valnih visina;
- Vektora gibanja valova;
- Područja loma vala.

Na ovaj način u potpunosti su definirana svojstva valnog polja s karakteristikama u narednim poglavljima.

### 3.4.1. Incidentni smjer S

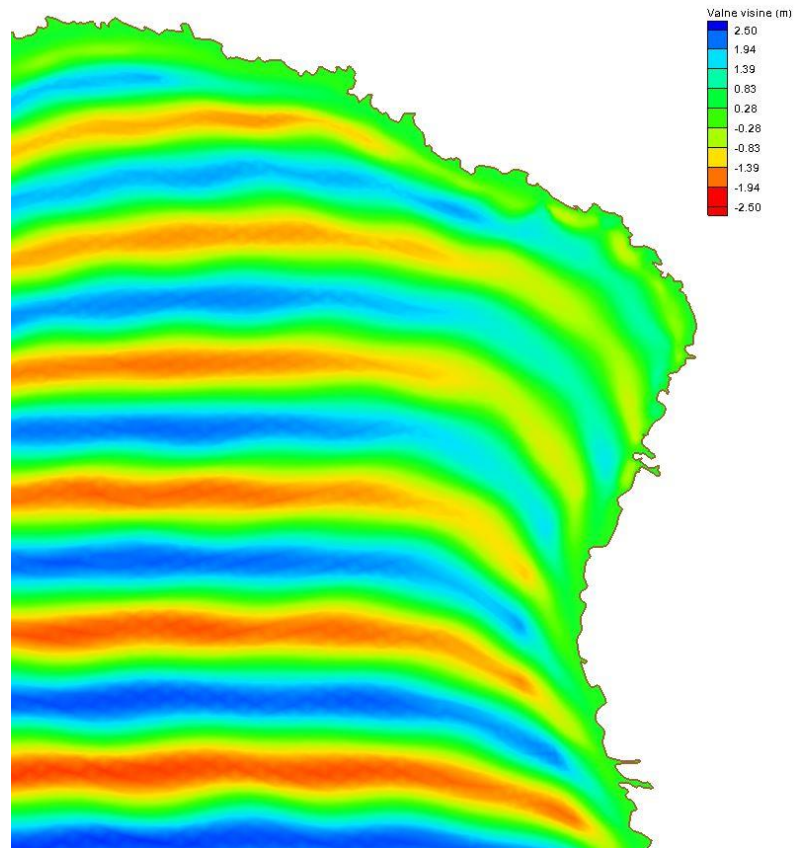
Svojstva valnog polja unutar domene obuhvata za incidentni smjer S u cijelosti su definirana u nastavku na Slikama 3.4.1.-3.4.6.. Uvidom se uočava izostanak značajne transformacije vala u akvatoriju ispred uvale i u njezinom središnjem dijelu. Značajan utjecaj refrakcije prisutan je na istočnoj i zapadnoj obali uvale, isključivo u akvatoriju koji je karakteriziran manjim vrijednostima dubina mora. U područjima s konveksnim oblikom obalne crte bilježi se efekt smanjenja valne visine, dok je područje s konkavnim oblikom obale karakterizirano većim valnim visinama. S obzirom na male vrijednosti koeficijenta refleksije obale, izostaje efekt prisustva povratnog vala unutar domene (Slika 3.4.1 i 3.4.2.).

Uvidom u svojstva valnog polja u području budućeg zahvata, očita je dominacija refrakcije kao mehanizma transformacije vala za znatnim efektom zakretanja valnih zraka i prisustvo ortogonalnosti s obalnom crtom (Slika 3.4.2. i 3.4.4.). Lom vala u području budućeg zahvata ostvaruje se vrlo plitko, u području dubine do 6 m.

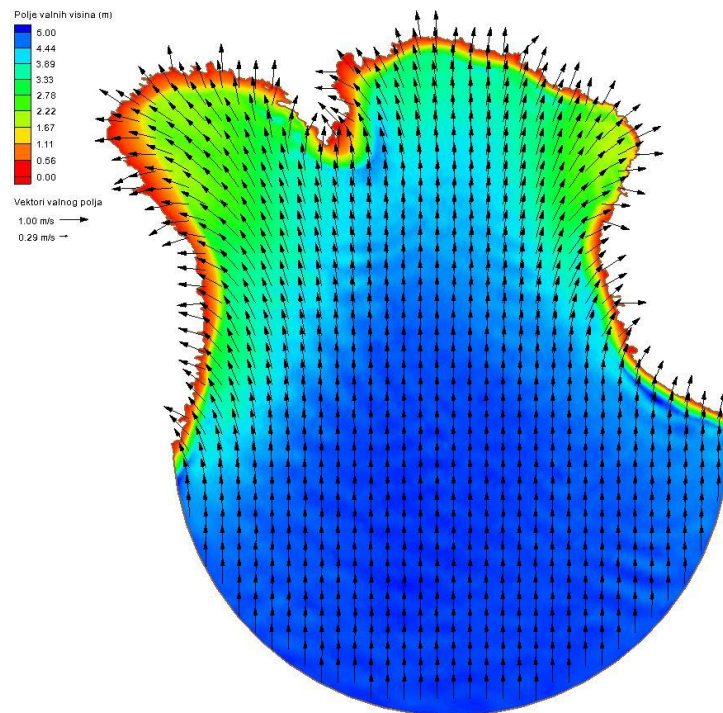


*Slika 3.4.1. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer S i povratni period 100 godina*



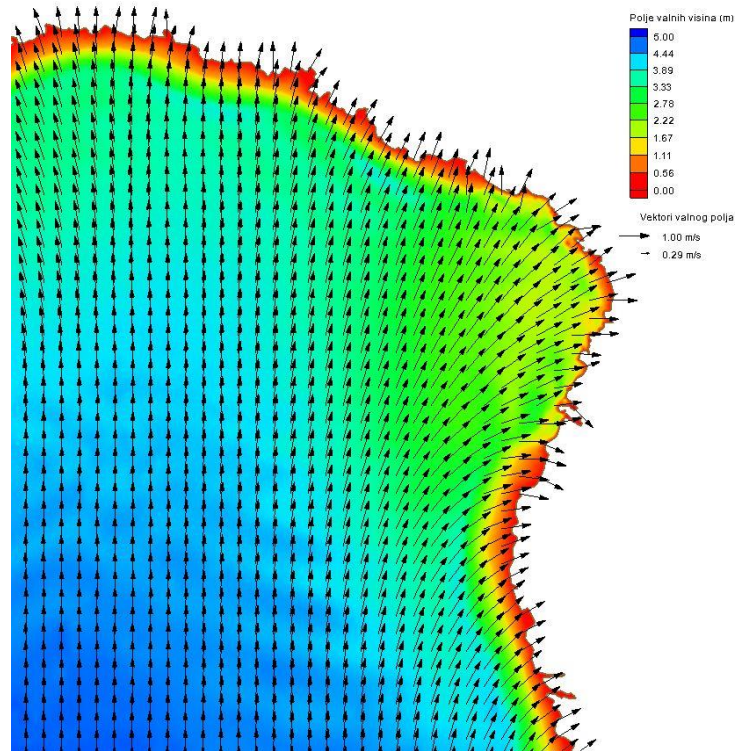


Slika 3.4.2. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer  $S$  i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata

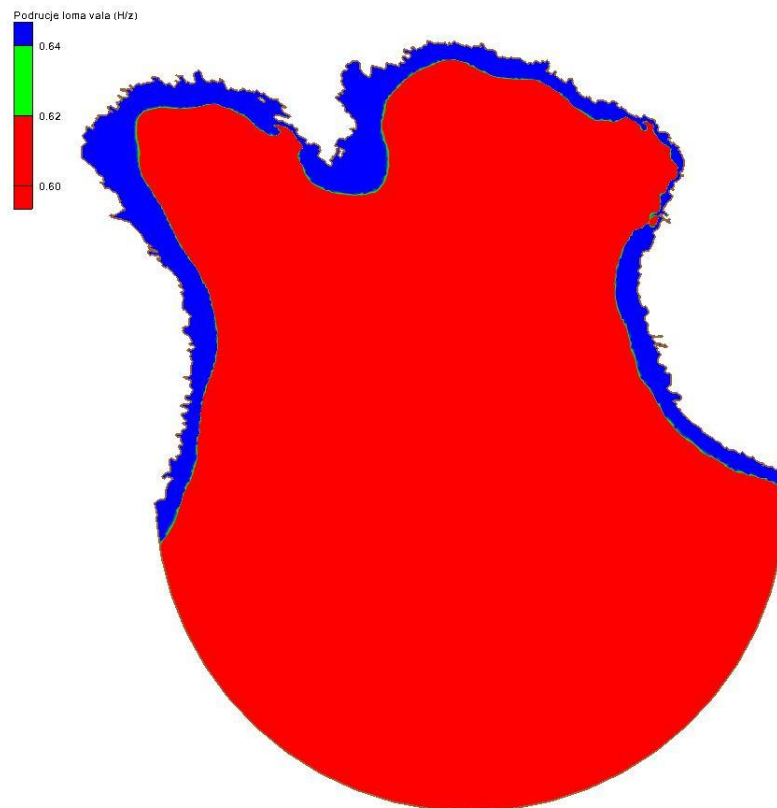


Slika 3.4.3. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer  $S$  i povratni period 100 godina

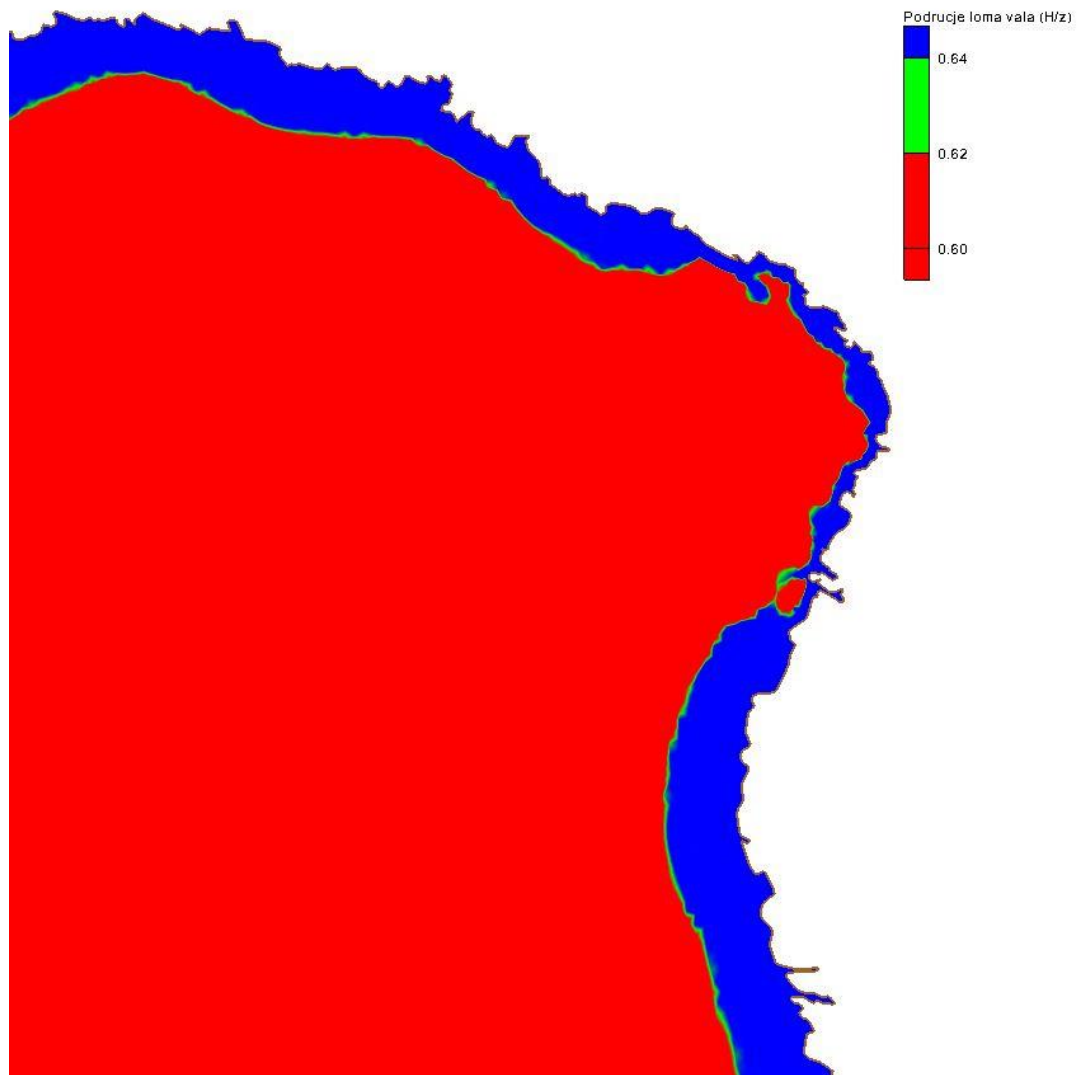




Slika 3.4.4. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer  $S$  i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata



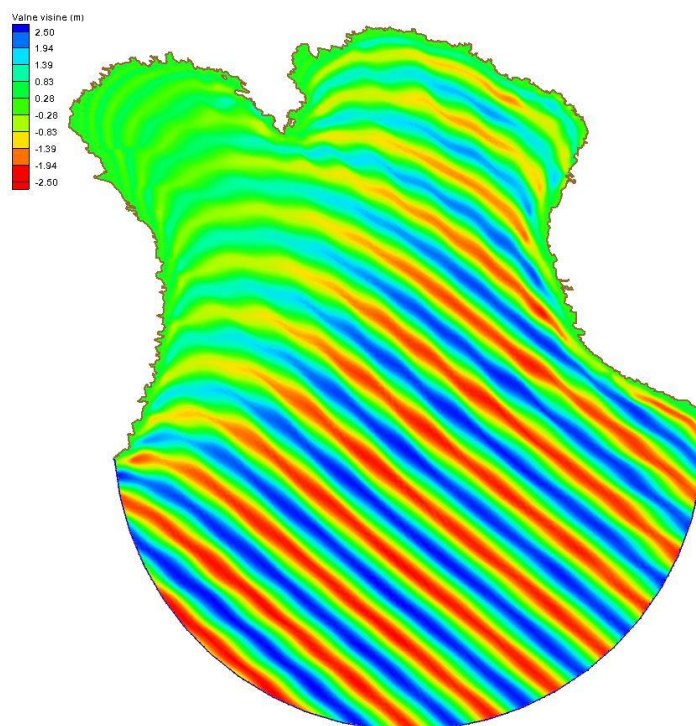
Slika 3.4.5. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer  $S$  i povratni period 100 godina



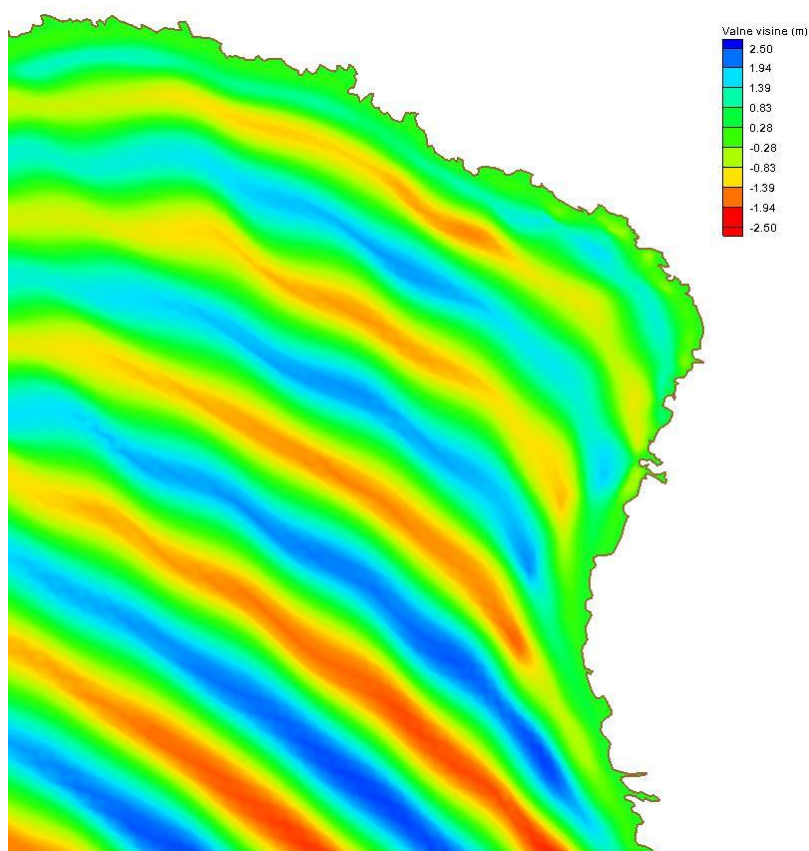
*Slika 3.4.6. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer S i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata*

### **3.4.2. Incidentni smjer SW**

Incidentni smjer vala SW ne ukazuje na značajnije razlike u podnosu na smjer S. S obzirom na kut upada, očit je manji utjecaj transformacije u užem području obuhvata budućeg zahvata (Slike 3.4.7.-3.4.12.). Zapadni dio uvale pod dominantnim je utjecajem difrakcije, dok je zona obuhvata pod utjecajem uplićavanja i refrakcije, ali manjim u usporedbi s incidentnim smjerom S zbog povoljnijeg incidentnog kuta vala. Lom vala ostvaruje se plitko, u području s dubinama od 4-6 m.

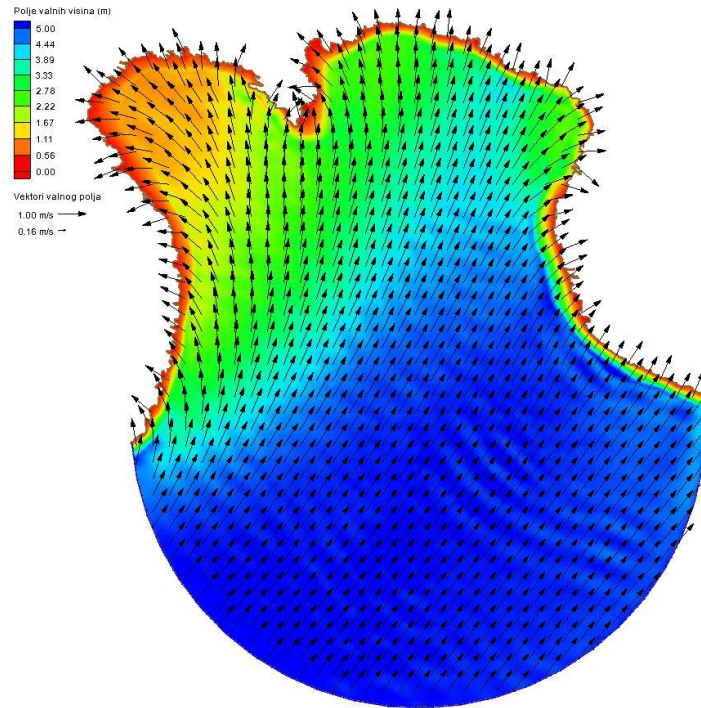


*Slika 3.4.7. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina*

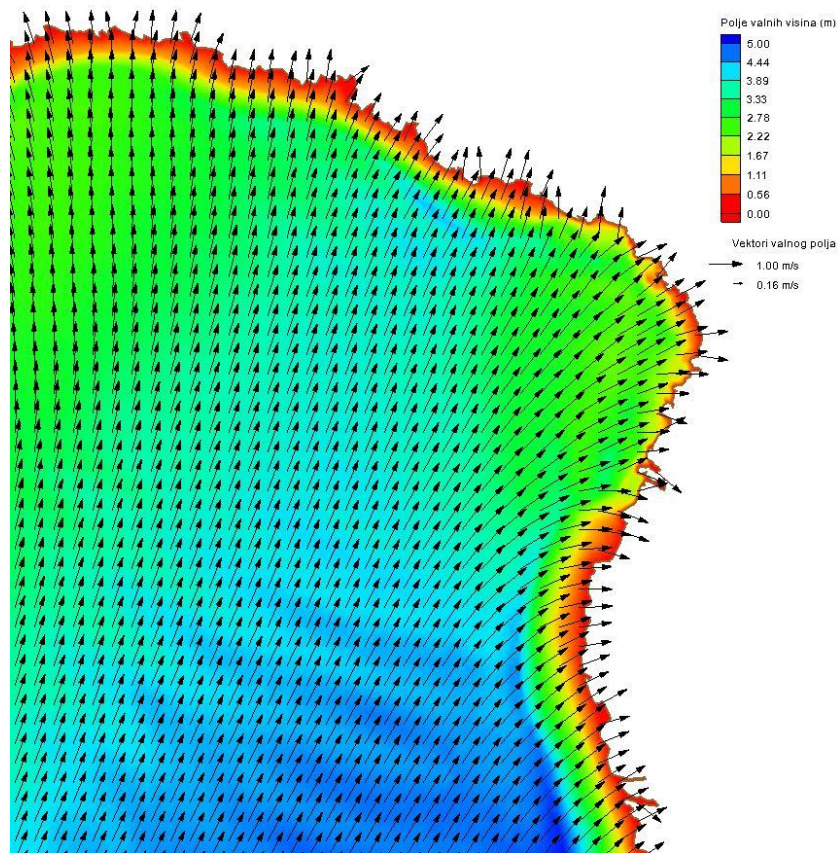


*Slika 3.4.8. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata*

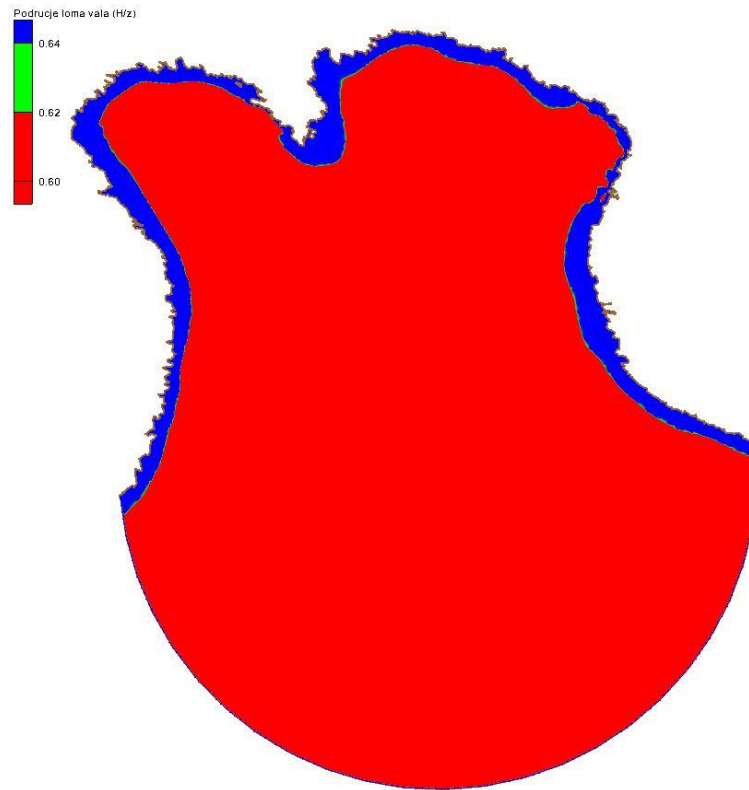




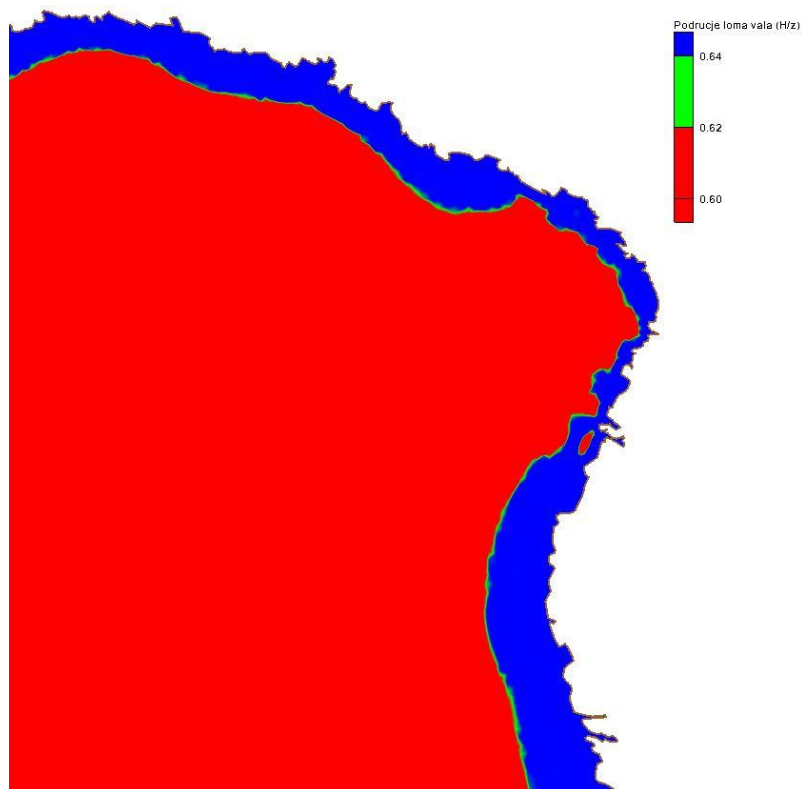
Slika 3.4.9. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina



Slika 3.4.10. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata



*Slika 3.4.11. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina*



*Slika 3.4.12. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata*

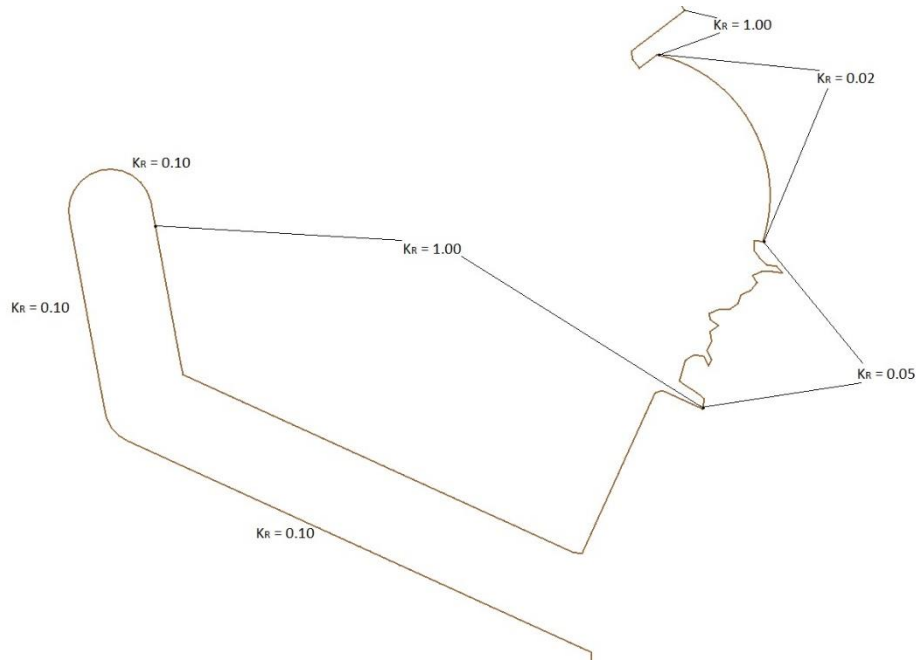
### 3.5. Zaključak analize valnog polja

Provedbom modelske analize vala za incidentne smjerove S i SW zaključuje se:

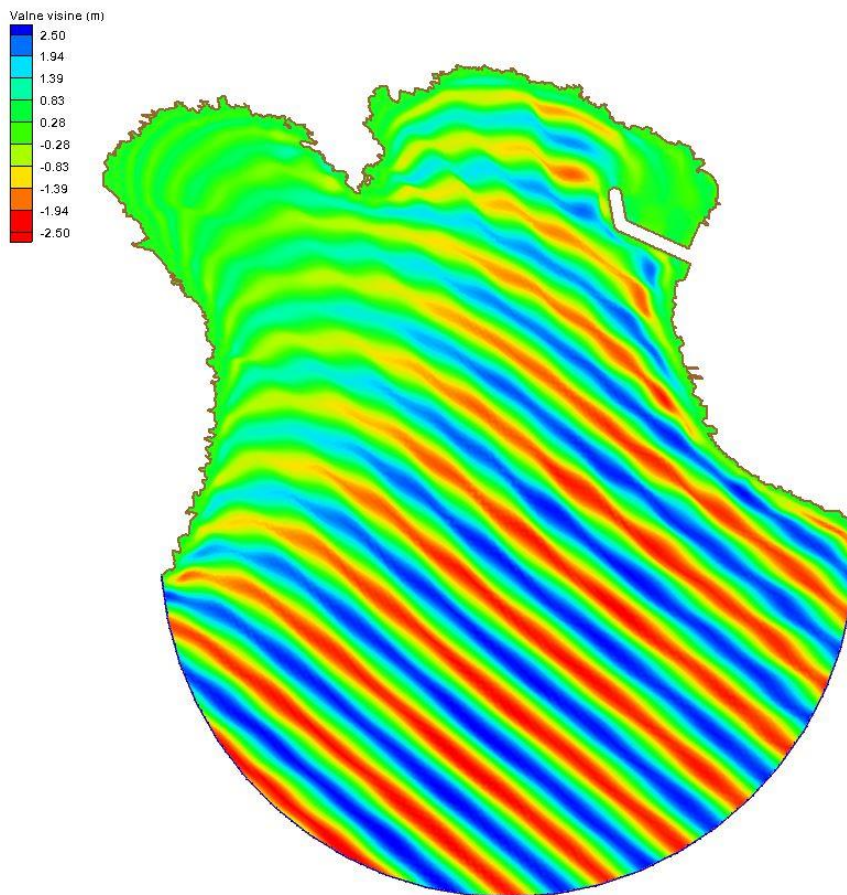
- U usporedbi vala smjera S i SW, smjer SW definira se kao dominantan iz dva razloga. Prvi razlog leži u činjenici kako se radi o valu čiji je incidentni kut upada nepovoljniji zbog smanjenog efekta transformacija vala na valnu visinu. Drugi razlog jest položaj obalne crte i budućeg zahvata;
- Na prethodnim slikama prikazano je polje valnih visina u kombinaciji s vektorima propagacije valnog polja za incidentne smjerove SW (Slika 3.4.9.) i S (Slika 3.4.3.) odgovarajućeg povratnog perioda u iznosu od 100 godina. Val incidentnog smjera SW ima otvorenu propagaciju u sjeveroistočni dio uvale koji koincidira sa zonom obuhvata. Zbog činjenice kako su valni parametri dubokovodnog vala veliki, a izostaje drastično smanjenje dubina, ne evidentira se značajan učinak dubine i morskog dna na valne parametre te se u zoni postavljanja lukobrana detektira značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda u iznosu 4.12 m. Za slučaj incidentnog smjera S, valno polje s većim vrijednostima valnih visina translaticirano je prema središnjem dijelu uvale, točnije na lokaciji konveksne obalne crte. U ovom slučaju incidentnog smjera vala, na lokaciji položaja trupa lukobrana, značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda iznosi 4.00 m

U pogledu osiguranja globalne stabilnosti objekata u uvjetima dominacije inercijalnih sila prikladno je rješenje prihvata opterećenja masom objekta. U tom smislu, a u skladu sa prethodno obrađenim kriterijima koji vode ka odabiru tipskog rješenja lukobrana odabire se nasuti lukobran s operativnom obalom za privez s unutrašnje strane.

Detaljna definicija valnog polja u planiranom stanju s definicijom projektnog vala na profilu nožice pokosa nasutog lukobrana provedena je za usklađenu definiciju trase i parametara objekata u obuhvatu napravljena je u nastavku za incidentni smjer SW i značajnu valnu visinu (Slike 3.5.1. -3.5.13.).

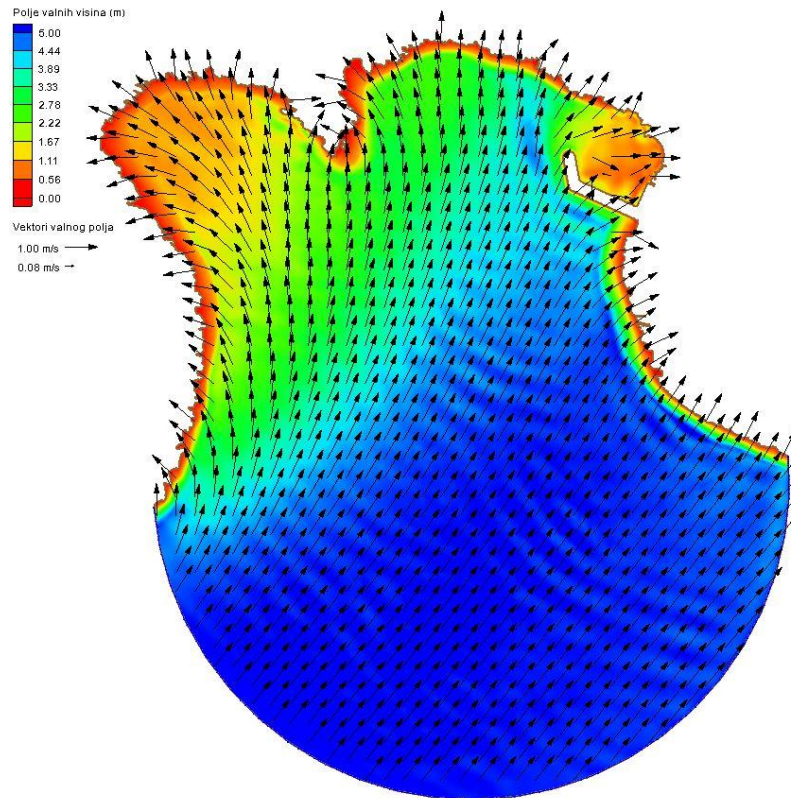


Slika 3.5.1. Geometrija i položaj planiranih pomorskih objekata u obuhvatu s definicijom refleksijskih svojstava

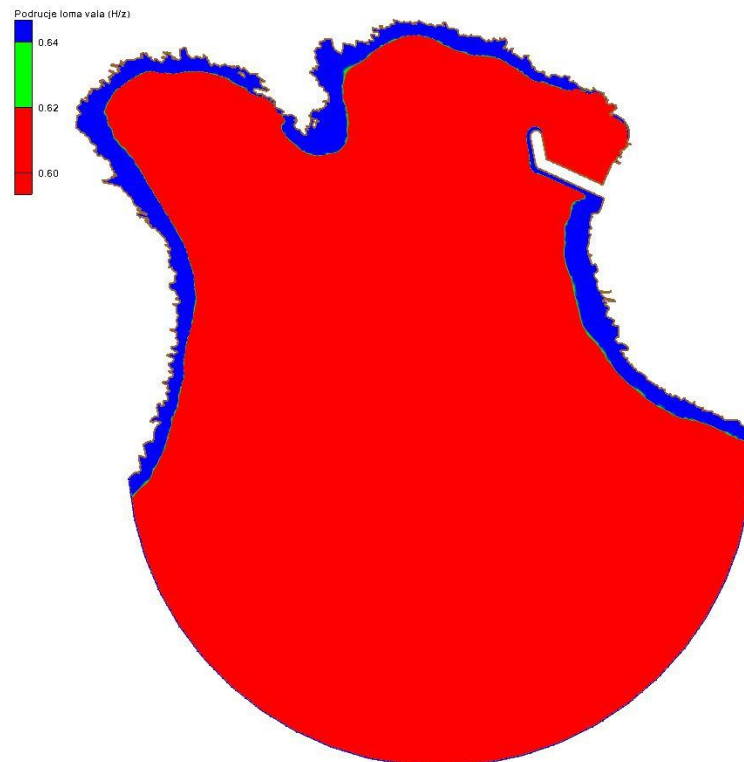


Slika 3.5.2. Valne visine u obuhvatu za planirano stanje izgrađenosti i stogodišnju značajnu valnu visinu incidentnog smjera SW



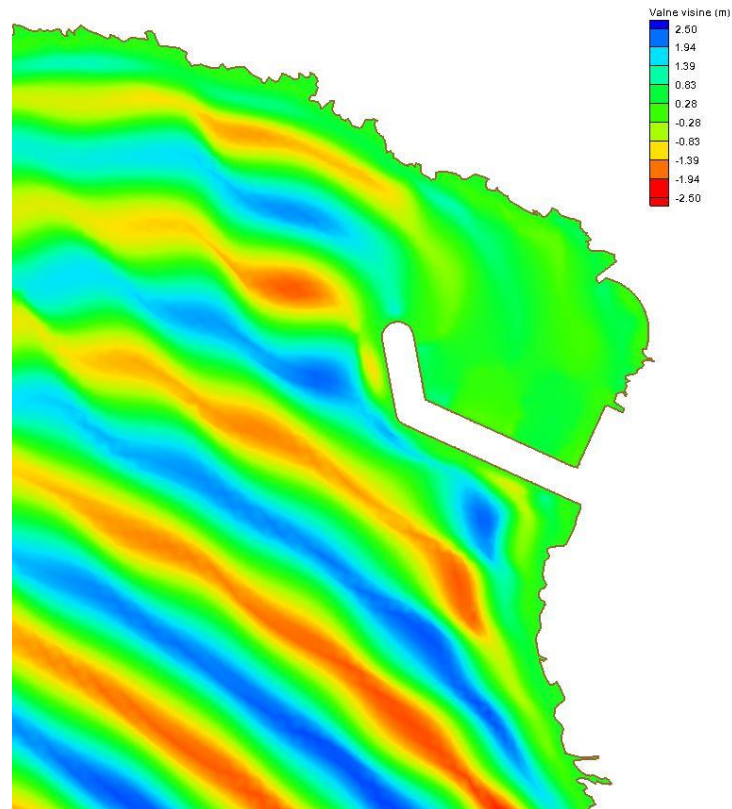


Slika 3.5.3. Polje valnih visina i vektori valnog polja za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW

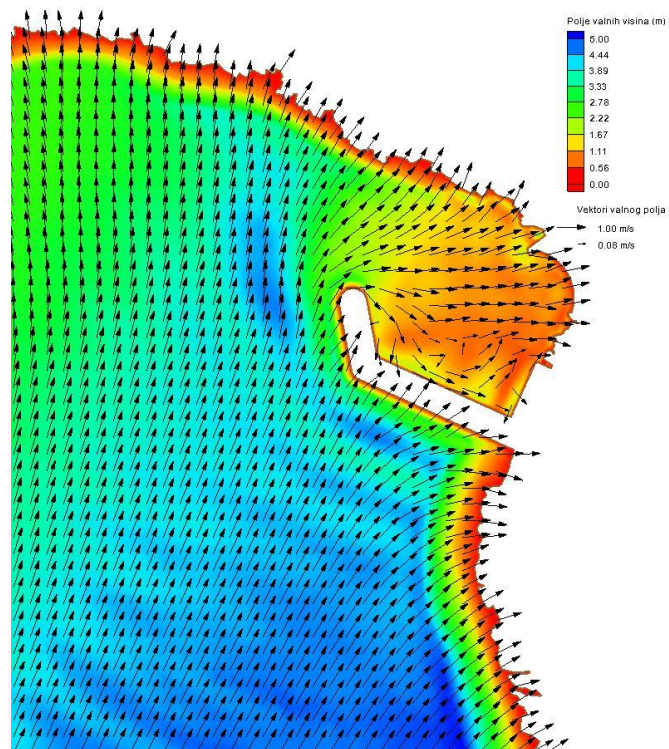


Slika 3.5.4. Definicija loma vala za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW

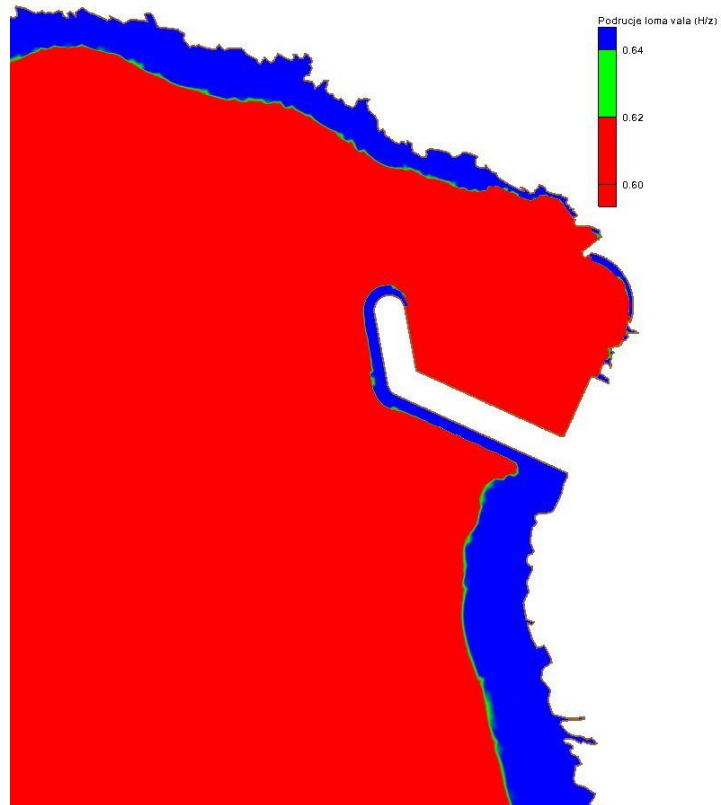




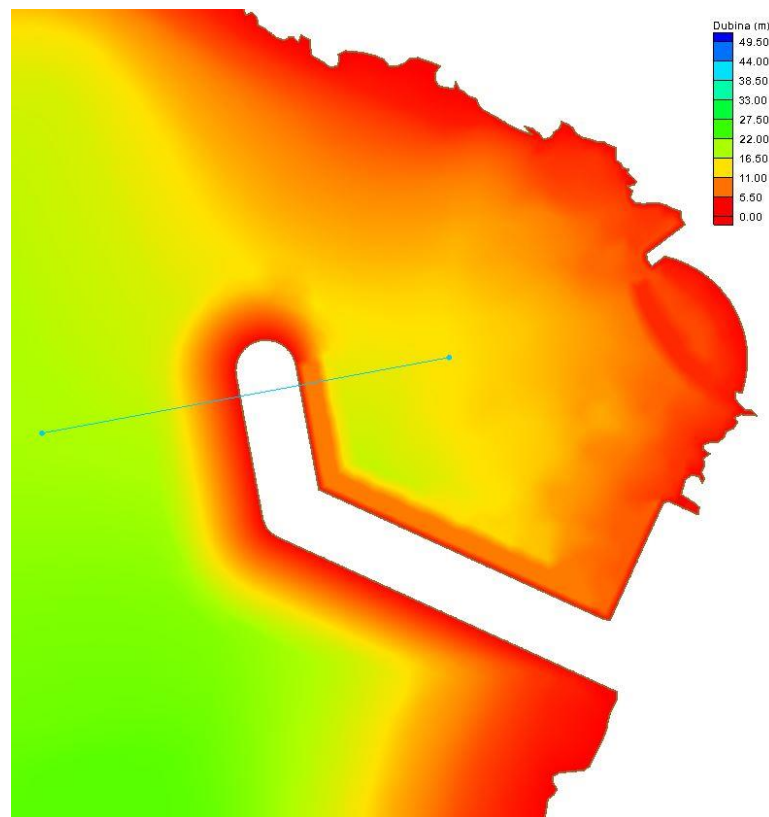
Slika 3.5.5. Valne visine u užem području obuhvata za planirano stanje izgrađenosti i stogodišnju značajnu valnu visinu incidentnog smjera SW



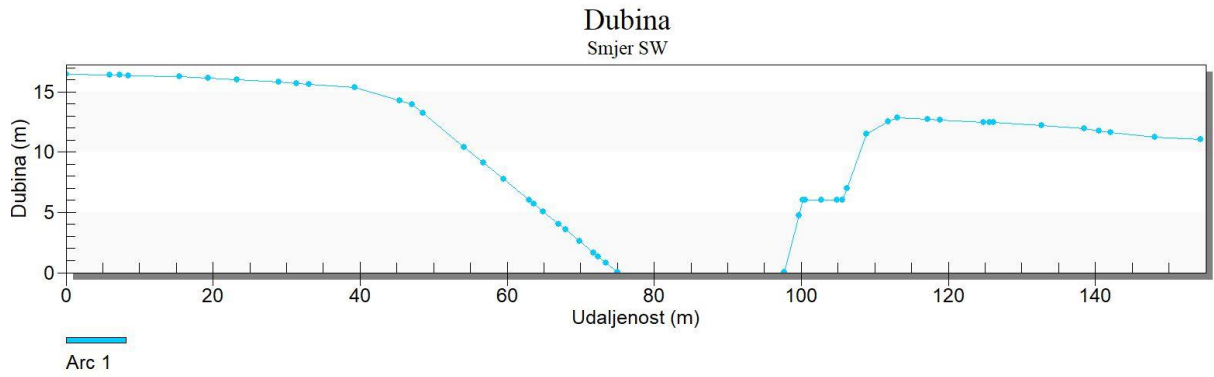
Slika 3.5.6. Polje valnih visina i vektori valnog polja za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW – uža zona obuhvata



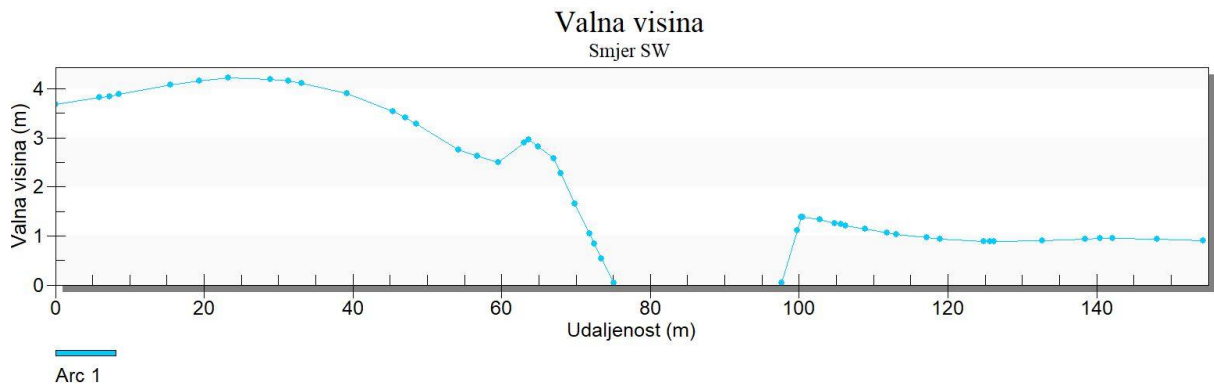
Slika 3.5.7. Definicija loma vala za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW – uže područje obuhvata



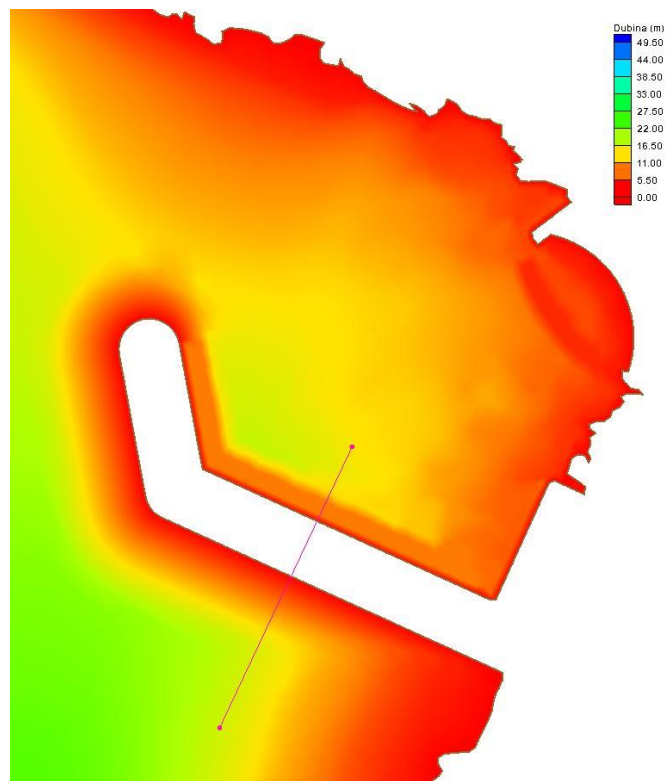
Slika 3.5.8. Identifikacija kontrolnog presjeka na glavi lukobrana



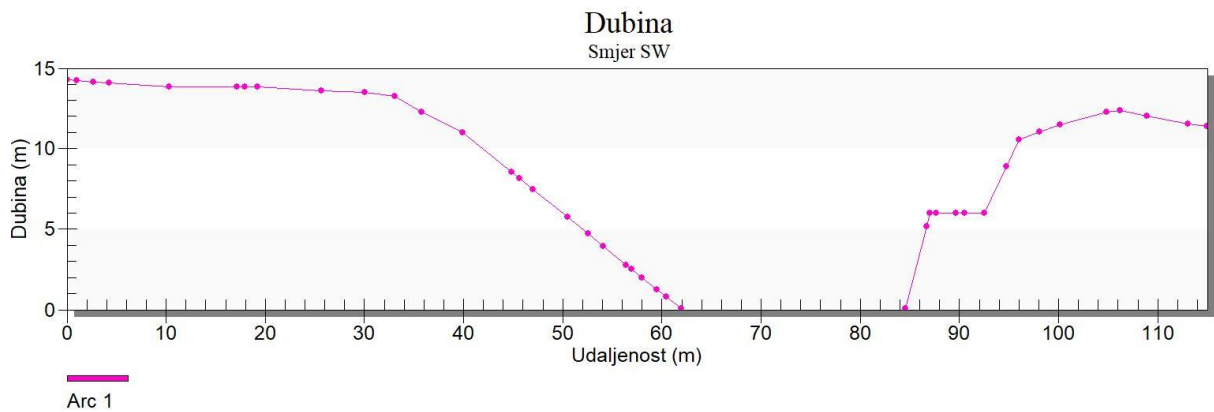
Slika 3.5.9. Prikaz dubina na kontrolnom presjeku na glavi lukobrana



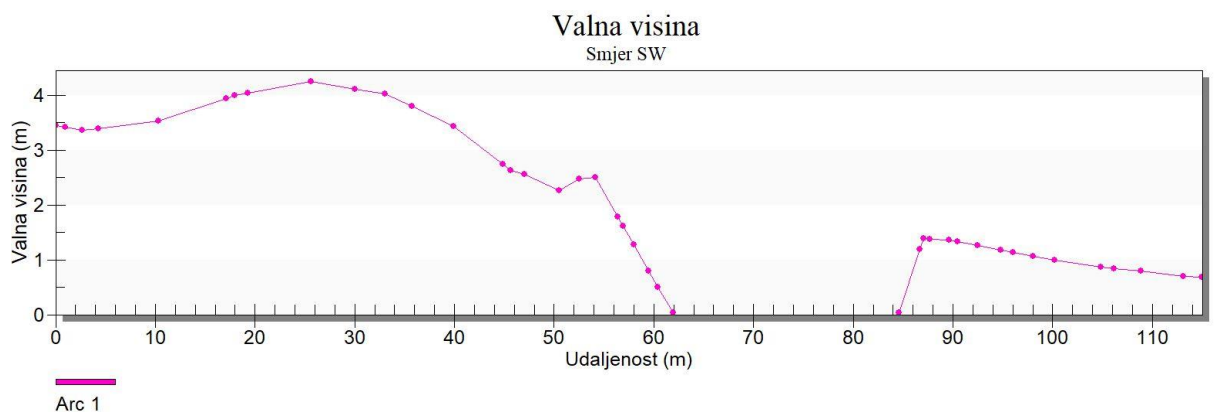
Slika 3.5.10. Značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda incidentnog smjera SW na kontrolnom presjeku na glavi lukobrana



Slika 3.5.11. Identifikacija kontrolnog presjeka na trupu lukobrana



Slika 3.5.12. Prikaz dubina na kontrolnom presjeku na trupu lukobrana



Slika 3.5.13. Značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda incidentnog smjera SW na kontrolnom presjeku na trupu lukobrana

Provedenom analizom valnog polja za planirano stanje izgrađenosti i rješenja pomorskih objekata zaključuje se:

- Lom vala ostvaruje se neposredno uz pokos lukobrana tako da je u postupku dimenzionirana primarnog sloja lukobrana potrebno uzeti u obzir činjenicu o pojavi lomljenog vala;
- Značajna valna visina na profilu lukobrana iznosi nešto više od 4.00 m i ne pokazuje značajne oscilacije uzduž lukobrana
- U pogledu stabilnosti objekta i izbora težine elementa primarne obloge za projektni val usvaja se vrijednosti gornje desetine valna visine stogodišnjeg povratnog perioda na profilu nožice nasipa.
- U pogledu izbora kote krune lukobrana za projektni val usvaja se vrijednosti značajne valne visine stogodišnjeg povratnog perioda na profilu nožice nasipa.

Tablica 3.5.1. Parametri dubokovodnog vala i odabrane visine valova

| Parametar/smjer                  | S      | SW     | Jedinica |
|----------------------------------|--------|--------|----------|
| $H_s^{100}$                      | 4.79   | 4.95   | (m)      |
| $H_{sd}^{100}$                   | 4.00   | 4.12   | (m)      |
| $H_{proj} (1.27 * H_{sd}^{100})$ | 5.08   | 5.23   | (m)      |
| T                                | 8.70   | 8.81   | (s)      |
| $L_0 = gT^2 / 2\pi$              | 118.18 | 121.18 | (m)      |
| $c_0 = gT / 2\pi$                | 13.58  | 13.76  | (m/s)    |
| $c_{go} = 0.5 * c_0$             | 6.79   | 6.88   | (m/s)    |

$H_s$  – dubokovodni val

$H_{sd}^{100}$  – transformirani val pred lukobranom, tj. značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda

$H_{proj} = 1.27 * H_{sd}^{100}$  – projektni val; koristimo ga kod proračuna elementa primarne obloge

## 4. IZBOR PARAMETARA LUKOBRANA

### 4.1. Općenito o lukobranu

U pogledu izbora trase lukobrana s operativnim pristanom s unutrašnje strane kreće se od potrebnog kapaciteta privezišta za plovila:

- 7-8 plovila duljine 20 – 25 m;
- 1 plovilo duljine 30 – 35 m;
- 1 plovilo duljine do 65 m.

Odabrani tip luke je nautička luka te je potrebno odrediti širinu ulaza u luku, promjer manevarske kružnice, kapacitet za privez plovila sa unutarnje strane, duljinu gata te površinu akvatorija marine.

### 4.2. Ulaz u luku

Širina koridora za uplovljavanje i isplovljavanje ne smije biti manja od 30 m, a potrebno je osigurati minimalnu širinu  $B_{min} \geq 5 \times B_{broda}$ . Najveći brod koji će biti smješten u predmetnoj luci je duljine 65 m, a njegova širina iznosi 12.5 m. Stoga, ulaz u luku mora biti osiguran u minimalnoj širini od 62.5 m.

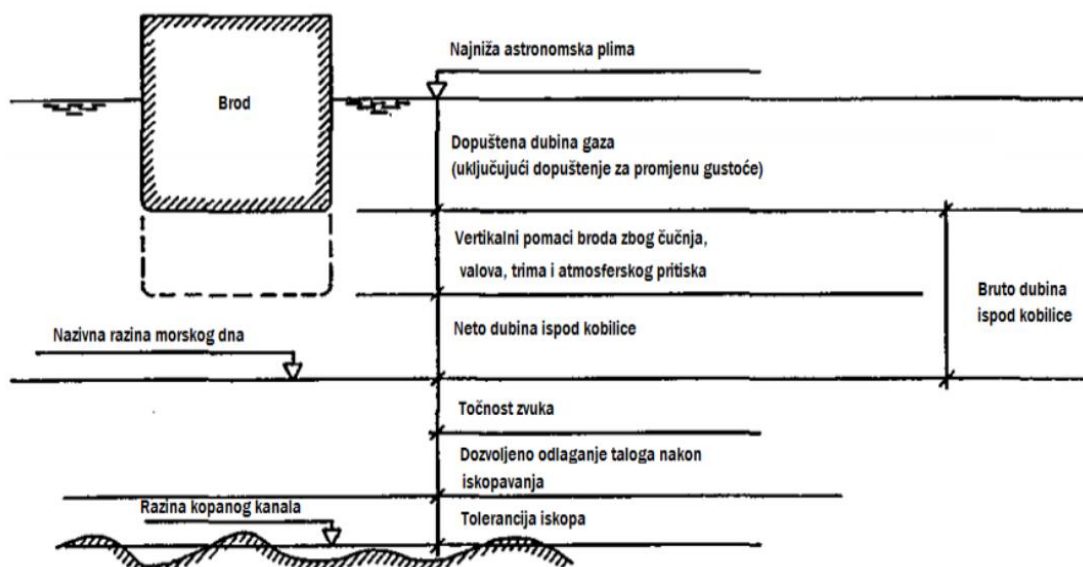


### 4.3. Promjer manevarske kružnice

Potrebno je osigurati manevarski radijus, tj. kružnicu koja se, kod plovila sa pramčanim "thruster" pogonom, može usvojiti da je jednaka duljini najvećeg broda koji će koristiti predmetnu luku za uplovljavanje/isplovljavanje i privez. Za manje brodove bez pramčanog thruster pogona usvaja se minimalni manevarski promjer od 2 dužine broda. Pramčani thruster je dodatni propeler koji služi za manevar (okretanje) ili pristan broda te je postavljen u njegovom pramcu ili po sredini.

- Promjer manevarske kružnice za plovila do 20 metara iznosi 40 m;
- Promjer manevarske kružnice za plovila do 25 metara iznosi 50 m;
- Promjer manevarske kružnice za plovilo do 35 metara iznosi 70 m;
- Promjer manevarske kružnice za plovilo do 65 metara iznosi 65 m. Razlozi nesrazmjera u promjerima manevarskih kružnica leži u činjenici da nisu sva plovila manjih razreda duljina opremljena trusterima čime se zahtjeva veća površina akvatorija za potrebe manevra okretanja.
- Usvojeni promjer manevarske kružnice iznosi 70 m.

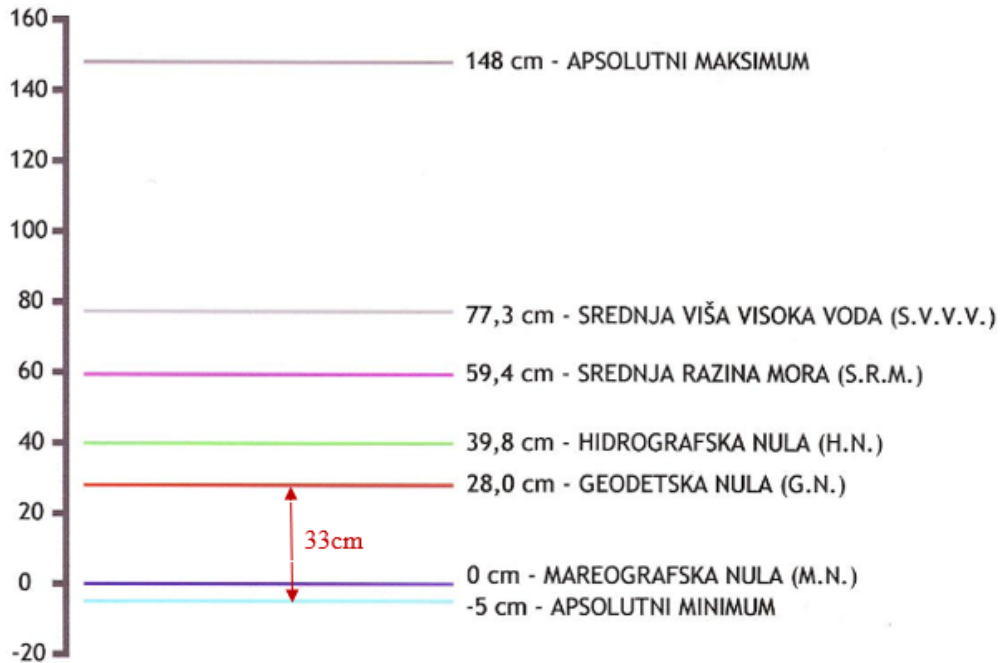
### 4.4. Izbor dubine za privez plovila



Slika 4.4.1. Iskaz dubine za privez plovila

Pri odabiru dubine za privez plovila u obzir su uzete: najniža astronomska plima, dopuštena dubina gaza, vertikalni pomak broda zbog valova te neto dubina ispod kobilice.

→ Najniža astronomska plima je najveća oseka karakteristična za to područje. Zbog nedostatka informacija o najvećoj oseci za Crnogorsko primorje, uzete su poznate informacije mjerene na mareografu u Splitu. Za područje Splita, minimalna razina mora (oseka + porast tlaka zraka) iznosi 33 cm relativno u odnosu na Nulu Trsta.



*Slika 4.4.2. Prikaz najveće oseke mjerene na mareografu u Splitu*

→ Dopuštena dubina gaza je tehnička karakteristika svakoga broda. U nastavku se prikazuju tipska plovila navedenih razreda dužine sa tehničkim specifikacijama (duljina, širina, gaz).



*Slika 4.4.3. Prikaz tipskog plovila duljine 20 m*

#### GENERAL INFORMATION

|            |                         |                |                        |
|------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| Brand      | Marquis                 | Fresh water    | 965 liters             |
| Model      | Marquis 630 Sport Yacht | Cruising speed | 27,00 kn               |
| Production | 2013                    | Max speed      | 31,00 kn               |
| Length     | 20,00 m / 65,62 ft      | Categories     | Planing with flybridge |
| Beam       | 5,20 m / 17,06 ft       | Cabin          | 4                      |
| Draft      | 1,40 m / 4,59 ft        | Bed            | 8                      |
| Fuel       | 3 899 liters            |                |                        |

Slika 4.4.4. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine 20 m

izvor: <https://2yachts.com/boat/527617-marquis-630-sport-yacht>, (pristupljeno 15.6.2021.)



Slika 4.4.5. Prikaz tipskog plovila duljine 25 m

#### GENERAL INFORMATION

|              |                    |                |            |
|--------------|--------------------|----------------|------------|
| Production   | 1998               | Location       | Greece     |
| Name of boat | TARQUIN 85' TRADER | Cruising speed | 24,00 kn   |
| Length       | 25,00 m / 82,02 ft | Max speed      | 31,00 kn   |
| Beam         | 5,75 m / 18,86 ft  | Material       | Fiberglass |
| Draft        | 1,75 m / 5,74 ft   | Cabin          | 4          |
| Displacement | 245,00 tonne       | Bed            | 8          |
| Fuel         | 0 liters           |                |            |

Slika 4.4.6. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine 25 m

izvor: <https://2yachts.com/boat/189283-tarquin-85-trader>, (pristupljeno 15.6.2021.)



Slika 4.4.7. Prikaz tipskog plovila duljine do 35 m



#### Tehnički podaci

|                    |                |                      |   |
|--------------------|----------------|----------------------|---|
| Godište:           | 1980.          | Tip plovila:         | sa posadom (6 članova)                  |
| Obnovljen:         | 2020.          | Duljina preko svega: | 35 m (114,8 ft)                         |
| Materijal trupa:   | željezo        | Širina:              | 7,62 m (25 ft)                          |
| Gaz:               | 1,9 m (6,2 ft) | Motor:               | 2 CAT 3408 diesel engines (total 760hp) |
| Gorivo:            | Dizel          | Potrošnja:           | 100 Litres/Hr                           |
| Brzina krstarenja: | 10 knots       | Spremnik goriva:     | 56,800 l                                |
| Spremnik vode:     | 13,600 l       | Kabine:              | 4                                       |
| Ležajeva:          | 9              | Tuš / WC:            | 4/4                                     |
| Zastava:           | HR             |                      |   |

Slika 4.4.8. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine do 35 m

izvor: [https://www.croatia-yacht-charter.com/hr/mega-jahte/Benetti-Classic-35-ptg\\_yacht/](https://www.croatia-yacht-charter.com/hr/mega-jahte/Benetti-Classic-35-ptg_yacht/),

(pristupljeno 15.6.2021.)



Slika 4.4.9. Prikaz tipskog plovila duljine do 65 m



## GENERAL INFORMATION

|                |                     |            |              |
|----------------|---------------------|------------|--------------|
| Production     | 2006                | Max speed  | 16,00 kn     |
| Length         | 65,00 m / 213,25 ft | Material   | Steel        |
| Beam           | 12,50 m / 41,01 ft  | Type       | Displacement |
| Draft          | 3,65 m / 11,98 ft   | Passengers | 12           |
| Fresh water    | 43 000 liters       | Crew       | 20           |
| Cruising speed | 12,00 kn            | Cabin      | 6            |

Slika 4.4.10. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine do 65 m

izvor: <https://2yachts.com/boat/155392-ambrosia-iii>, (pristupljeno 15.6.2021.)

Za brod duljine 20 m ona iznosi 1.4 m, za brod duljine 25 m dubina gaza je 1.75 m, za brod duljine 35 m dubina gaza je 1.9 m i za brod duljine 65 m dubina gaza je 3.65 m.

→Dopuštna stanja valovanja unutar marine su:

- $H_s=0.15$  m, ne više od 5 dana godišnje
- $H_s=0.3$  m, jednom u razdoblju ne kraćem od 5 godina
- $H_s=0.5$  m, jednom u razdoblju ne kraćem od 50 godina

gdje je  $H_s$  značajna visina valova.

Mjerodavno i odabrano stanje valovanja unutar marine uzeto je  $H_s=0.15$  m.

→Neto dubina ispod kobilice je rezerva koja ovisi o vrsti morskog dna. Ona može iznositi 20-30 cm rezerve ako se radi o mekanom prirodnom materijalu kao što su marinski sedimenti, glina, pijesak, sitni šljunak i drugi što nije karakteristično za naš slučaj. Tlo karakteristično za predmetnu luku je vapnenačka stijena tako da se mora osigurati rezerva od minimalno 50 cm zato što se radi o stjenovitom dnu koje može uzrokovati oštećenje broda prilikom nasjedanja. Odabrana neto dubina ispod kobilice uzeta je od 1 m.

| DUBINA ZA PRIVEZ PLOVILA:   |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|
| Duljina plovila   | 20   | 25   | 35   | 65   |
| Najniža astronomska plima (oseka + porast tlaka zraka)  | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Dopuštena dubina gaza (tehnička karakteristika svakog broda)  | 1.4  | 1.75 | 1.9  | 3.65 |
| Vetrikalni pomak broda zbog valova  | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Neto dubina ispod kobilice (rezerva o vrsti morskog dna)  | 1    | 1    | 1    | 1    |
| $\sum D_{potrebno}$   | 2.88 | 3.23 | 3.38 | 5.13 |
| → Neto dubina ispod kobilice: 1 m za kameno dno (uzeta je malo veća rezerva)  |      |      |      |      |
| → Za područje Splita, minimalna razina mora (oseka + porast tlaka zraka) iznosi 0.33 m relativno u odnosu na Nulu Trsta |      |      |      |      |
| → Dopušteno stanje valovanja unutar marine: $H_s=0.15$ m, ne više od 5 dana godišnje                                    |      |      |      |      |

Slika 4.4.11. Potrebna dubina za privez plovila



Minimalne potrebne dubine za nesmetan i siguran privez plovila su:

- plovilo duljine 20 m: 2.88 m
- plovilo duljine 25 m: 3.23 m
- plovilo duljine 35 m: 3.38 m
- plovilo duljine 65 m: 5.13 m

Na trasi koridora usvojena minimalna potrebna dubina za nesmetan i siguran privez plovila je 5.20 m.

#### 4.5. Duljina gata za privez plovila sa unutrašnje strane

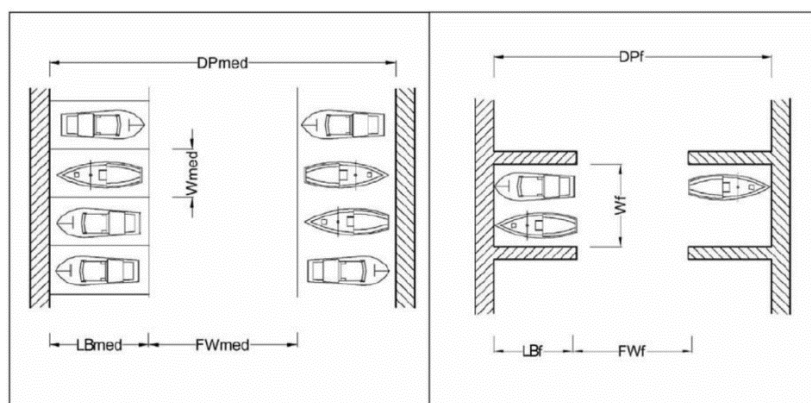
Postoje 2 načina priveza plovila: preko gata i plutače te gata i stupa. Odabrani način priveza za plovila razreda 20 – 25 m je preko gata i plutače s tim da se privezuju u četverovezu, dok se plovila duljine 30-35 m i plovilo do 65 m privezuju u dvovez. Za odabrane načine priveza postoje formule izračuna širine i duljine markice plovila, duljine od pristana do pristana (gata) te širine koridora između 2 reda plovila.

Za četverovez:

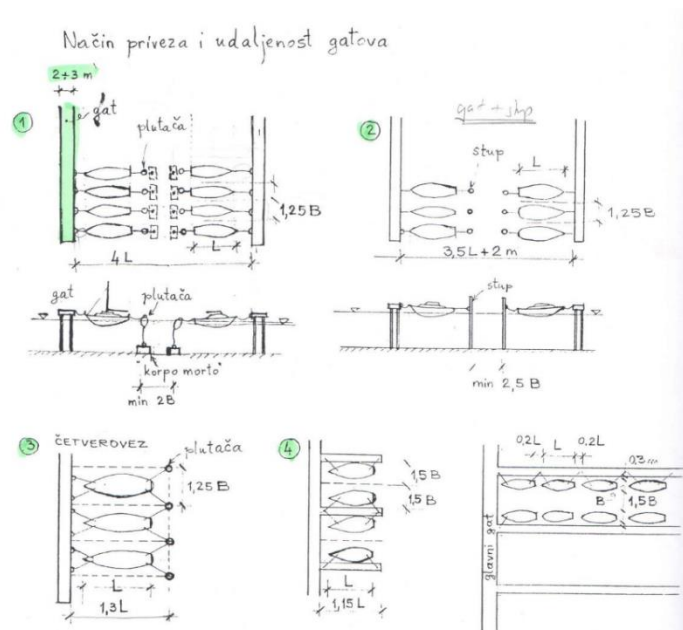
- $LB_{med}$  (duljina markice plovila):  $1.3 \times L$  (duljina broda)
- $W_{med}$  (širina markice plovila):  $1.25 \times B$  (širina broda)
- $DP_{med}$  (duljina od pristana do pristana):  $4 \times L$
- $FW_{med}$  (širina koridora između 2 reda plovila):  $\min 2 \times B$

Za dvovez:

- $LB_{med}$  (duljina markice plovila):  $1.15 \times L$  (duljina broda)
- $W_{med}$  (širina markice plovila):  $1.5 \times B$  (širina broda)
- $DP_{med}$  (duljina od pristana do pristana):  $4.5 \times B$
- $FW_{med}$  (širina koridora između 2 reda plovila):  $1.5 \times B$



Slika 4.5.1. Širine i duljine potrebnog mjesta za brod



Slika 4.5.2. Način priveza i udaljenost gatova

- Plovila najnižeg razreda duljine 20 – 25 m predviđena su za privez u četverovezu sa dvama vezama na krmi plovila i dvije veze na pramčanoj strani. Veze se ostvaruju užadima privezom za obalu (krmena strana) i na plutače sidrenog sustava sa pramčane strane. Duljina markice za odabranu duljinu broda od 25 m iznosi 32.5 m, a širina markice iznosi 7.1875 m što je približno jednako 7.5 m.
- Plovilo duljine 30 – 35 m privezuje se u dvovez sa minimalno dvama vezama na krmi plovila i na pramčanoj strani. Veze se ostvaruju užadima privezom za obalu (krmena i pramčana strana) kako je prikazano u grafičkom dijelu. Duljina markice za odabranu duljinu broda od 35 m iznosi 40.25 m što je približno jednako 40.5 m, a širina markice za privez u dvovez iznosi 11.43 m što je približno jednako 11.5 m.
- Plovilo duljine 65 m privezuje se u dvovez sa minimalno dvama vezama na krmi plovila i na pramčanoj strani. Veze se ostvaruju užadima privezom za obalu (krmena strana) kako je prikazano u grafičkom dijelu. Duljina markice iznosi 74.75 m što je približno jednako 75.0 m, a širina markice za privez u dvovez iznosi 18.75 m što je približno jednako 19.0m.

Na ovaj način utvrđuje se da je za privez sedam plovila dužine do 25 m u četverovez potrebno osigurati operativni privez duljine 52.5 m, dok je za privez preostala dva plovila dužine 35 m i 65 m u dvovez na potezu operativne obale potrebno osigurati operativni privez duljine 115.0 m. Ukupna duljina operativne obale za privez s unutrašnje strane lukobrana iznosi 167.50 m.

#### 4.6. Proračun površine akvatorija marine

| Proračun površine akvatorija marine:  |          |         |          |                           |  |          |
|---|----------|---------|----------|---------------------------|--|----------|
| Duljina broda (m)   | 25       | 35      | 65       |                           |  |          |
| Duljina priveza (m)   | 7.1875   | 11.43   | 18.75    |                           |  |          |
| Ai broda (m <sup>2</sup> )  | 269.5313 | 600.075 | 1828.125 |                           |  |          |
| Ni brodova (kom)  | 7        | 1       | 1        |                           |  |          |
| A (i-tih brodova) (m <sup>2</sup> )   | 1886.719 | 600.075 | 1828.125 |                           |  |          |
| Potrebna površina akvatorija marine (m <sup>2</sup> )   | 7546.875 | 2400.3  | 7312.5   | UKUPNO (m <sup>2</sup> ): |  | 17259.68 |
| Ai (broda): $1.5 \times L_{broda} \times L_{priveza}$<br>A (i-tih brodova): $A_i \times N_i$<br>Amarine: $A(i-tih\ brodova) \times 4$<br>-minimalna površina akvatorija koju je potrebno osigurati je<br>AA=17259.68 m <sup>2</sup> |          |         |          |                           |  |          |

Slika 4.6.1. Proračun površine akvatorija marine

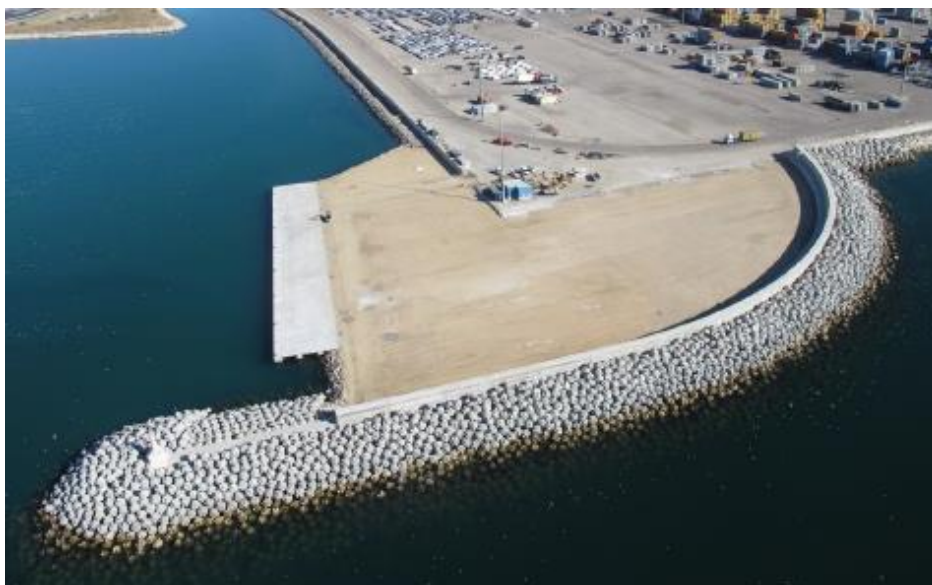
#### 4.7. Izbor tipskog elementa primarne obloge

Tipsko rješenje nasutog lukobrana zahtijeva manje rigorozne uvjete temeljenja dok monolitni armirano betonski tip zbog veće specifične težine zahtijeva veću nosivost temeljnog tla ili poboljšanje temeljnog tla. Lokalni vjetrovalni uvjeti definiraju projektni val i osiguravaju definiciju trase lukobrana kao i projektne parametre istog. S obzirom na izbor nasutog tipa konstrukcije lukobrana s operativnom obalom s unutrašnje strane u nastavku je prikazan postupak izbora prikladnog elementa primarne obloge trupa nasutog lukobrana.

Kriteriji koji su uzeti u obzir pri izboru geometrije/tipa elementa primarne obloge su:

- Ošupljenost primarnog sloja odnosno prostor među elementima kako bi se smanji run-up vala i optimizirala visina krune nasutog lukobrana;
- Hrapavost sloja na skali elementa obloge s ciljem smanjenje energije vala na profilu pokosa;
- Koeficijent uklještenja u kombinaciji s nagibom pokosa s ciljem definicije minimalne težine elementa obloge;
- Relativan odnos suficita/deficita utrošenog materijala u odnosu na druge analizirane tipske blokove;

S obzirom na utvrđena svojstva vjetrom generiranog vala na mikrolokaciji budućeg lukobrana za element sloja primarne obloge odabran je Cubipod (slike 4.7.1.-4.7.4.) zbog svojih karakteristika koje doprinose na prvom mjestu stabilnosti trupa lukobrana a onda i funkcionalnosti u pogledu visinske kote krune i zaštitnih elemenata.



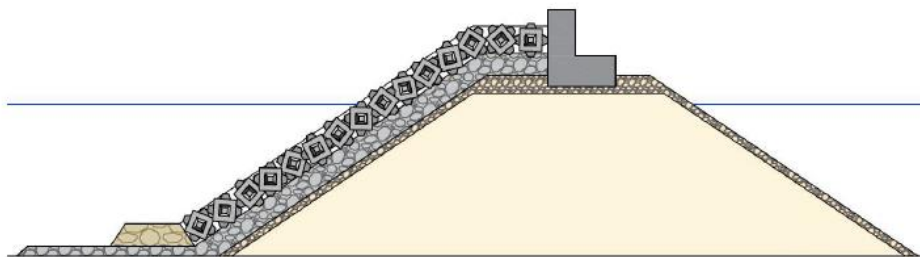
*Slika 4.7.1. Izvedba trupa lukobrana s Cubipod primarnom zaštitom*



*Slika 4.7.2. Pokos trupa lukobrana s Cubipod primarnom zaštitom*



*Slika 4.7.3. Detalj Cubipod elementa*



Slika 4.7.4. Karakteristični poprečni presjek lokobrana od Cubipod elemenata

#### 4.8. Proračun težine bloka primarne obloge

Uobičajena procedura definicije minimalne težine blok temelji se na Hudson-ovom izrazu. Istim se definira minimalne težina bloka u ovisnosti o nagibu pokosa, projektnoj valnoj visini, razlikama gustoća betona i morske vode. Uvjeti slaganja elemenata i faktor djelovanja lomljenog vala uzeti su u obzir kroz koeficijent uklještenja elemenata primarne obloge.

| Tip elementa/nagib | 1:n | $K_D$ [-] | $V$ [m <sup>3</sup> ] | $m$ [kg] | $V/V_{MAX}$ | $m/m_{MAX}$ |
|--------------------|-----|-----------|-----------------------|----------|-------------|-------------|
| Lomljeni kamen     | 1:2 | 2.5       | 6715.61               | 24680.71 | 0.68        | 1.00        |
|                    | 1:3 | 2.5       | 8296.66               | 16453.81 | 0.84        | 0.67        |
|                    | 1:4 | 2.5       | 9828.37               | 12340.36 | 1.00        | 0.50        |
| Cubipod            | 1:2 | 10        | 3695.74               | 4113.45  | 0.38        | 0.17        |
|                    | 1:3 | 10        | 4565.83               | 2742.30  | 0.46        | 0.11        |
| Tetrapod           | 1:2 | 5         | 5330.18               | 12340.36 | 0.54        | 0.50        |
|                    | 1:3 | 5         | 6585.07               | 8226.90  | 0.67        | 0.33        |
| Tribar             | 1:2 | 9         | 4381.79               | 6855.75  | 0.45        | 0.28        |
|                    | 1:3 | 9         | 5413.39               | 4570.50  | 0.55        | 0.19        |

Tablica 4.8.1. Pregled odnosa relativnih volumena i masa elementa primarnog sloja

Proračun je proveden korištenjem Hudson-ovog izraza pri čemu je odabran nagib pokosa 1:2 prema prethodnoj analizi temeljenoj na utrošku materijala i koeficijenta stabilnosti sloja primarne obloge. Za projektni val usvaja se gornja desetina stogodišnjeg povratnog perioda. Kao mjerodavan usvojen je lomljeni val na profilu pokosa koji je uzet u obzir kroz vrijednost koeficijenta uklještenja.

→ **Hudsonov izraz:**

$$G_A = G_A^{50\%} = \frac{\rho_b \cdot g \cdot H_{proj}^3}{K_d \cdot \left(\frac{\rho_b}{\rho_m} - 1\right)^3 \cdot ctg\alpha}$$

$$G_A = G_A^{50\%} = \frac{2400 \cdot 9.81 \cdot (1.27 \cdot 4.12)^3}{10 \cdot \left(\frac{2400}{1030} - 1\right)^3 \cdot 2} = 71664.3287 \text{ N}$$



Tablica 4.8.2. Hudsonov izraz

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $\rho_b = 2400 \text{ kg/m}^3$                        | gustoća materijala (betona)        |
| $\rho_m = 1030 \text{ kg/m}^3$                        | gustoća mora                       |
| $g = 9.81 \text{ m/s}^2$                              | ubrzanje sile teže                 |
| $H_{proj} = 1.27 * H_S^{100} = 1.27 * 4.12 \text{ m}$ | visina projektnog vala             |
| $K_d = 10$  | eksperimentalni koeficijent obloge |
| $ctg\alpha = 2$ ili $tg\alpha = 0.5$ (u brojniku)     | nagib vanjskog pokosa              |

Težina Cubipod elementa primarne obloge:  $G_A = 71664.3287 \text{ (N)} \rightarrow G_A = 7305.23 \text{ (kg)} \rightarrow G_A = 7.305 \text{ (t)}$

Odabrana vrijednost težine Cubipod elementa primarne obloge:  $G_A = 7500 \text{ (kg)} \rightarrow G_A = 7.5 \text{ (t)}$

Sekundarna obloga:  $\frac{G_A}{10} - \frac{G_A}{2}$

Odabrana vrijednost težine sekundarne obloge: 700kg – 1200 kg

Za sekundarnu oblogu najčešće se uzima vrijednost  $\frac{G_A}{2}$  kod slaganja kamena na kamen, ali kako se ovdje radi o betonskom prefabriciranom Cubipod elementu koji ima bridove dominantne geometrije idealno ih je uglaviti u sloj ispod ako je frakcija nešto manja.

Filtarski sloj:  $\frac{G_A}{6000} - \frac{G_A}{200}$

Odabrana vrijednost težine filtarskog sloja: 5kg – 7kg

Jezgra: 5kg – 500kg

Kako nije bitno o kakvom se granulatu radi, vrijednost težina granulata jezge je dosta velikog raspona.

Tablica 4.8.3. Težine slojeva nasutog lukobrana

|                       |                |
|-----------------------|----------------|
| Primarni sloj         | 7500kg         |
| Sekundarni sloj       | 700kg – 1200kg |
| Filterski sloj        | 5kg – 7kg      |
| Jezgra                | 5kg – 500kg    |
| Geotekstil i geomreža | /              |

U Hudsonovoj formuli za gustoću betona je odabrana vrijednost od  $2400\text{kg/m}^3$  iako raspon može biti  $2400\text{-}2600\text{kg/m}^3$ . Za gustoću mora odabrana je vrijednost  $1030\text{kg/m}^3$  iako raspon može biti  $1020\text{-}1030\text{kg/m}^3$ . Razlog zbog kojeg je odabrana manja gustoća betona, a veća gustoća mora je to što smo na takav način na strani sigurnosti. Veća gustoća mora daje veći uzgon, a manja gustoća betonskog elementa ide u prilog uzgonu mora koji lakše „podigne“ betonski blok. Što je val veći potreban je teži betonski blok jer je veća sila kojom val djeluje na primarnu oblogu pa je i potrebna veća masa za preuzimanje inercijalnih sila. U interesu nam je imati što veći koeficijent  $K_d$ , jer dijeljenjem sa što većim brojem dobit ćemo manju težinu kamena. Na koeficijent  $K_d$  možemo drastično utjecati u fazi projektiranja. Koeficijent  $K_d$  je eksperimentalno utvrđen i ovisi isključivo o geometriji elementa školjere i načinu slaganja istih te o njihovoj međusobnoj povezanosti. Što je nagib pokosa manji, potrebna je manja težina bloka te obrnuto (veći nagib, veća težina kamena). Projektni nagib pokosa iznosi 1:2. Primarna obloga sa strane prema moru postavlja se do zaštitnog nasipa nožice primarnog pokosa, a s unutrašnje strane oslanja se na armirano betonski parapetni zid. U cijeloj dužini trupa lukobrana elemente je potrebno postaviti u dva sloja bez prekida.

→ **Debljina slojeva:**

Minimalna debljina slojeva nasutog lukobrana dobiva se slaganjem najmanje dva bloka u sloju, s tim da je za primarni, sekundarni i filtarski sloj odabrano  $n=2$ , a za krunu je  $n=3$ . Razlog zbog kojeg se minimalno ide sa dva bloka u sloju je zbog direktnog oslanjanja sloja na sloj čime se ostvaruje uklještenje elemenata. Što je više slojeva to je bolje, međutim veći je volumen.

$$t_s = n * k_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{G}{(\rho_b * g)}}$$

Tablica 4.8.4. Debljina slojeva obloge nasutog lukobrana

|  |                            | ODABRANO:                 |
|--|----------------------------|---------------------------|
| Debljina sloja primarne obloge (n=2)   | $t_{s(A)}=1.434 \text{ m}$ | $t_{s(A)}=2.80 \text{ m}$ |
| Debljina sloja sekundarne obloge (n=2) | $t_{s(B)}=0.779 \text{ m}$ | $t_{s(B)}=1.20 \text{ m}$ |
| Debljina filtarskog sloja (n=2)        | $t_{s(C)}=0.140 \text{ m}$ | $t_{s(C)}=1.0 \text{ m}$  |

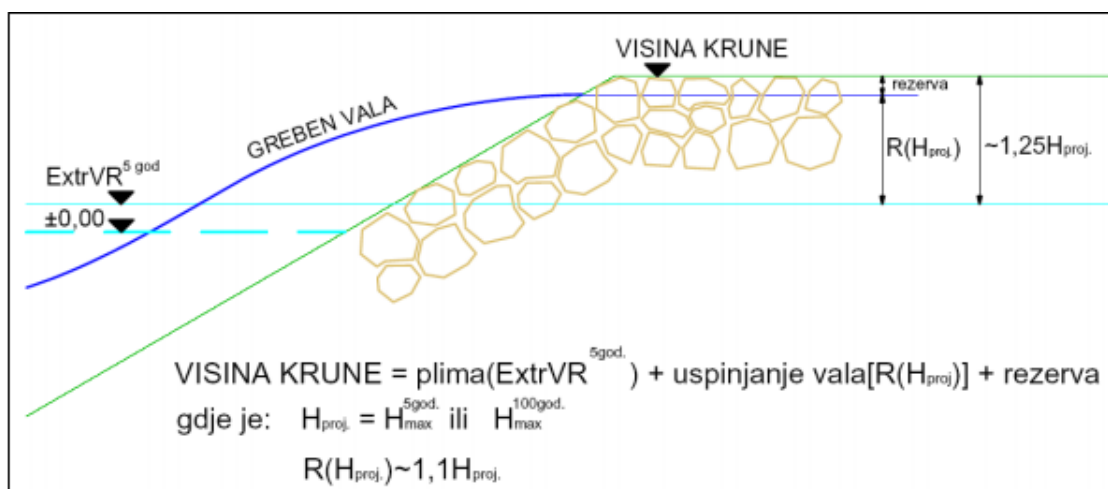
| Armor Unit                                | n      | Placement | Layer Coefficient $k_{\Delta}$ | Porosity (P) % |
|---|--------|-----------|--------------------------------|----------------|
| Quarrystone (smooth) <sup>1</sup>         | 2      | Random    | 1.02                           | 38             |
| Quarrystone (rough) <sup>2</sup>          | 2      | Random    | 1.00                           | 37             |
| Quarrystone (rough) <sup>2</sup>          | >3     | Random    | 1.00                           | 40             |
| Quarrystone (parallelepiped) <sup>6</sup> | 2      | Special   | —                              | 27             |
| Cube (modified) <sup>1</sup>              | 2      | Random    | 1.10                           | 47             |
| Tetrapod <sup>1</sup>                     | 2      | Random    | 1.04                           | 50             |
| Quadripod <sup>1</sup>                    | 2      | Random    | 0.95                           | 49             |
| Hexipod <sup>1</sup>                      | 2      | Random    | 1.15                           | 47             |
| Tribar <sup>1</sup>                       | 2      | Random    | 1.02                           | 54             |
| Dolos <sup>4</sup>                        | 2      | Random    | 0.94                           | 56             |
| Toskane <sup>5</sup>                      | 2      | Random    | 1.03                           | 52             |
| Tribar <sup>1</sup>                       | 1      | Uniform   | 1.13                           | 47             |
| Quarrystone <sup>7</sup>                  | Graded | Random    | —                              | 37             |

<sup>1</sup> Hudson (1974).  
<sup>2</sup> Carver (1983).  
<sup>3</sup> Hudson, (1961a).  
<sup>4</sup> Carver and Davidson (1977).  
<sup>5</sup> Carver (1978).  
<sup>6</sup> Layer thickness is twice the average long dimension of the parallelepiped stones. Porosity is estimated from tests on one layer of uniformly placed modified cubes (Hudson, 1974).  
<sup>7</sup> The minimum layer thickness should be twice the cubic dimension of the  $W_{50}$  riprap. Check to determine that the graded layer thickness is  $\geq 1.25$  the cubic dimension of the  $W_{max}$  riprap (see eqs. 7-123 and 7-124 below).

Tab. 6.8.3.3::III Koeficijenti sloja  $k_{\Delta}$  i poroziteti  $p[\%]$  raznih primarnih obloga CERC II, 7-234Slika 4.8.1. Koeficijenti sloja  $k_{\Delta}$  i poroziteti ( $p\%$ )

Kako u tablici ne postoji koeficijent sloja  $k_{\Delta}$  i porozitet  $p(\%)$  za Cubipod element, uzima se aritmetička sredina vrijednosti od Quadripod i Hexipod elementa jer su geometrijski najbliži traženom obliku. ( $k_{\Delta} = 1.05$ ;  $p=0.48$  ili 48%)

#### 4.9. Visina krune lukobrana



Slika 4.9.1. Odabir visine krune lukobrana

$$h_{\text{lukobrana}} = \text{plima}(\text{ExtrVR}^{5\text{god}}) + \text{uspinjanje vala } [R(H_{\text{proj}})] + \text{rezerva}$$

Za mjerodavnu maksimalnu razinu izdizanja mora, kao posljedica superpozicije utjecaja tlaka zraka i plimotvornih sila za potrebe definicije kote krune lukobrana usvaja se + 1.30 m u odnosu na Nulu Trsta kao referentan visinski datum.

#### → Visina uspinjanja vala:

Visinu uspinjanja vala možemo odrediti pomoću dijagrama, kojim je zadana ovisnost  $H_0'/gT^2$  i  $R/H_0'$  za različite hrapavosti obale (smooth slope i rubble-mound slope), ovisno o nagibu obale (1:2).

$H_0' = H_{\text{sd}}^{100}$  (SW) = 4.12 m (značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda)  
 $T = 8.81$  s (period vala stogodišnjeg povratnog perioda). Rezerva nije točno određena kolika mora biti već je funkcija granulata odnosno dimenzija kamenog (u našem slučaju betonskog) bloka. Njena veličina je najčešće 0.2, 0.3 m do 0.5 m; Rezerva = 0.5 m

$H_{\text{sd}}^{100}/gT^2 = 5.41 \cdot 10^{-3} \rightarrow \text{OČITANO: } R/H_{\text{sd}}^{100} = 0.89 \rightarrow R = 3.667$  m  
 $h_{\text{lukobrana}} = 1.30 + 3.667 + 0.5 = 5.467$  m (visina krune lukobrana iz dijagrama)

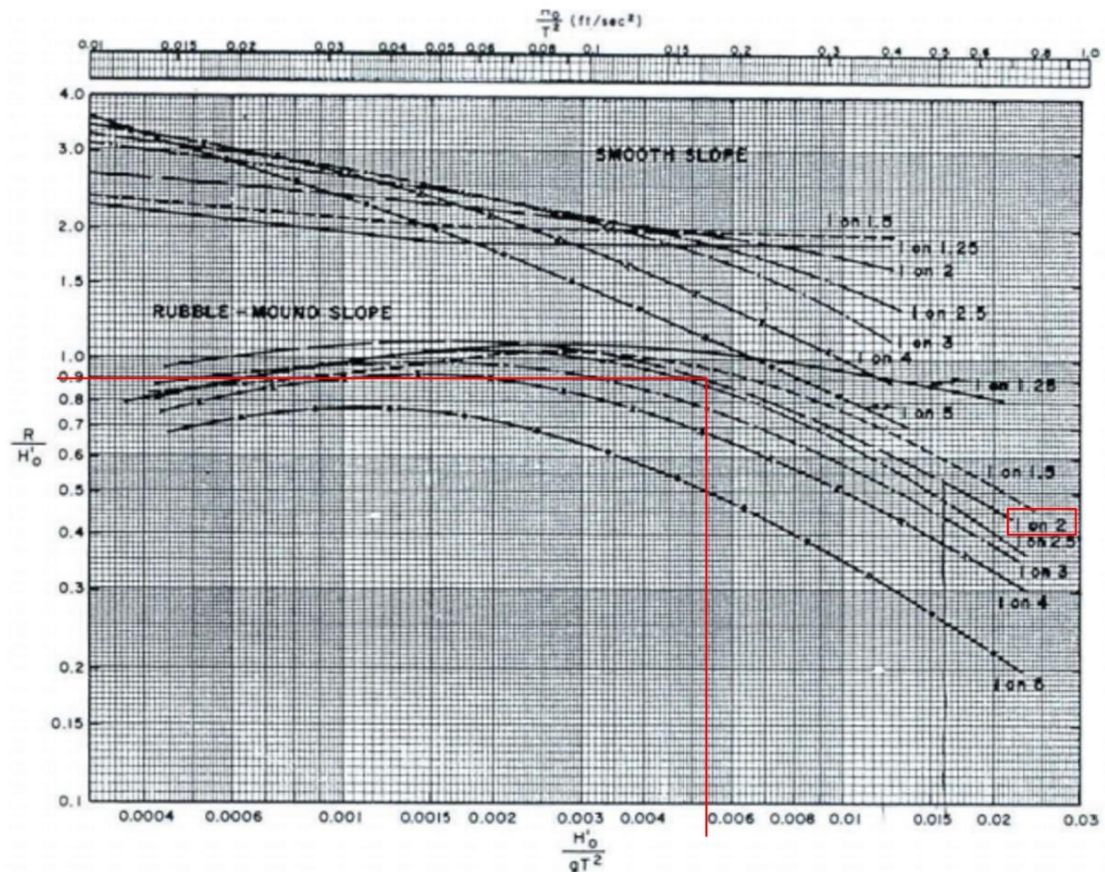


Figure 7-20. Comparison of Wave Runup on Smooth Slopes with Runup on Permeable Rubble Slopes ( data for  $d_s/H'_0 > 3.0$  )

*Slika 4.9.2. Dijagram uspinjanja vala na glatkim i hrapavim podlogama*

Kako se primarna obloga ne sastoji od školjere već od Cubipod betonskih elemenata, visina uspinjanja vala na pokos primarne obloge definira se uzimajući u obzir:

- Značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog perioda na profilu nožice lukobrana;
- Utjecaj berme zaštitnog nasipa nožice primarne obloge na vanjskom pokosu lukobrana;
- Poroznost primarnog sloja od Cubipod elemenata;
- Faktor oblika vala;
- Utjecaj kuta nailaska vala u odnosu na liniju trupa lukobrana;
- Strmost vala

Visinu uspinjanja vala odrediti ćemo iz formule:

$$\frac{R_{2\%}}{H_{sd}^{100}} = 1 * \gamma_B * \gamma_{surging} * \gamma_\beta * \left( 4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_{m-1.0}}} \right)$$



Tablica 4.9.1. Parametri formule za odabir visine uspinjanja vala

|                                |          |     |
|--------------------------------|----------|-----|
| $\gamma_B$                     | 1.0      | (-) |
| $\gamma_f$                     | 0.4      | (-) |
| $\gamma_{surging}$             | 0.466585 | (-) |
| $\gamma_\beta$                 | 0.8      | (-) |
| $\xi_{m-1.0}$                  | 2.71     | (-) |
| $H_{sd}^{100}$                 | 4.12     | (m) |
| $\frac{R_{2\%}}{H_{sd}^{100}}$ | 1.15     | (-) |
| $R_{2\%}$                      | 4.738    | (m) |

$$\gamma_{surging} = \gamma_f + (\xi_{m-1.0} - 1.8) * \frac{(1 - \gamma_f)}{8.2} = 0.466585$$

$$\xi_{m-1.0} = \frac{T_m * \tan\alpha}{\sqrt{2\pi H_S/g}}$$

$$\xi_{m-1.0} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{s}}$$

$\xi_{m-1.0}$  – Iribarrenov parametar ili parametar loma vala

$T_m$  - srednja vrijednost valnog perioda  $\rightarrow T_m = 8.81$  (s)

$\tan\alpha = 0.5$

$H_S = 4.12$  (m)

$s$  – strmost

$h_{lukobrana} = R_{2\%} + plima(ExtrVR^{5god}) = 4.738 + 1.3 = 6.038$  (m)  $\rightarrow$  ODABRANO:  $h_{lukobrana} = +6.0$  (m)

$\rightarrow$  **Minimalna širina krune:**

$$B = n * k_\Delta * \left( \frac{G}{\rho_B * g} \right)^{\frac{1}{3}} = n * k_\Delta * \left( \frac{G}{\gamma_B} \right)^{\frac{1}{3}}$$

B-širina krune

n-broj elemenata obloge (n=min 3)

$k_\Delta$  – koeficijent sloja

## G-težina pojedinačnog elementa primarne obloge

$\rho_B$ - gustoća betona  $\rightarrow \rho_B \cdot g = \gamma_B$ -jedinična težina elementa obloge

### 15.2.2. Wave run-up on rock-armored slopes

Figure 15.4 gives 2% wave run-up heights for various rock slopes with  $\cot \alpha = 1.5, 2, 3, \text{ and } 4$ , and for an impermeable and permeable core of the rubble mound. These run-up measurements were performed during the stability tests on rock slopes of van der Meer.<sup>11</sup> First of all, the graph gives values for a large range of the breaker parameter  $\xi_{m-1,0}$ , due to the fact that various slope angles were tested, but also with long wave periods (giving large  $\xi_{m-1,0}$ -values). Most breakwaters have steep slopes 1:1.5 or 1:2 only and then the range of breaker parameters is often limited to  $\xi_{m-1,0} = 2-4$ . The graph gives rock slope information outside this range, which may be useful also for slopes with concrete armor units.

The highest curve in Fig. 15.4 gives the prediction for smooth straight slopes ( $\gamma_f = 1$ ). A rubble mound slope dissipates significantly more wave energy than an equivalent smooth and impermeable slope. Not only both the roughness and porosity of the armor layer cause this effect, but also the permeability of the under-layer and core contribute to it. Figure 15.4 shows the data for an impermeable core (geotextile on sand or clay underneath a thin under-layer) and for a permeable core (such as most breakwaters). The difference is most significant for large breaker parameters.

Equation (15.2) includes the influence factor for roughness  $\gamma_f$ . For two layers of rock on an impermeable core,  $\gamma_f = 0.55$ . This reduces to  $\gamma_f = 0.40$  for two layers of rock on a permeable core. This influence factor is used in the linear part of the run-up formula, say, for  $\xi_{m-1,0} \leq 1.8$ . From  $\xi_{m-1,0} = 1.8$ , the roughness factor increases linearly up to 1 for  $\xi_{m-1,0} = 10$ , and it remains 1 for larger values.

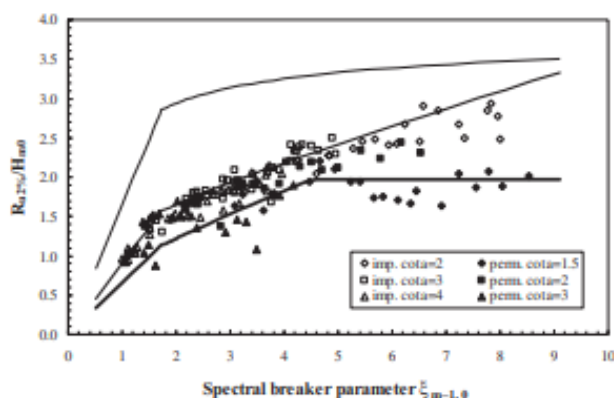


Fig. 15.4. Relative run-up on straight rock slopes with permeable and impermeable core, compared to smooth impermeable slopes.

388

H. Schüttrumpf et al.

The prediction for the 2% mean wave run-up value for rock or rough slopes can be described by

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1.65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_{m-1,0} \quad (15.2)$$

with a maximum of  $\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1.00 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_{f \text{ surging}} \cdot \gamma_\beta \left( 4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right)$ .

From  $\xi_{m-1,0} = 1.8$ , the roughness factor  $\gamma_{f \text{ surging}}$  increases linearly up to 1 for  $\xi_{m-1,0} = 10$ ,

which can be described by

$$\gamma_{f \text{ surging}} = \gamma_f + (\xi_{m-1,0} - 1.8) \cdot (1 - \gamma_f) / 8.2$$

$$\gamma_{f \text{ surging}} = 1.0 \text{ for } \xi_{m-1,0} > 10.$$

Slika 4.9.3. Odabir koeficijenta hrapavosti i formule za uspinjanje vala

→ **Kruna:**

Pretpostavljajući istovremeno ostvarenje barotropne i astronomske plime te pojavu vjetrom generiranog vala stogodišnjeg povratnog perioda, kota krune primarne obloge lukobrana postavlja se na koti +6.00 m n.m.. Treba biti smještena iznad morske razine te na određenoj visini kako bi se omogućila zaštita operativnog dijela. Visina kote krune ovisi o svojstvima vala – što je val veći treba biti viša kruna i obrnuto. Osim toga, treba se omogućiti da se val ne prelijeva preko nje, barem ne u većem dijelu godine. Kruna se izvodi u širini minimalno triju Cubipod elemenata u horizontalnoj ravnini što odgovara širini od 4.50 m (težina elementa primarne obloge iznosi 7500 kg što odgovara volumenu od nešto više od 3 m<sup>3</sup> betona i karakterističnom promjeru elementa primarne obloge  $D=1.40\text{ m} \rightarrow 3 \times 1.4 = 4.2$ ; odabrano: 4.50 m). Na kruni lukobrana vrši se konstruktivan prijelaz iz nagiba 1:2 na 1:1. Visinske kote izražene su relativno u odnosu na visinski datum Nula Trsta.

→ **Primarna obloga:**

Primarna obloga ima funkciju zaštite sitnijih unutarnjih slojeva lukobrana od hidrodinamičkog djelovanja valova. U pravilu je grubo hrapava jer se izvodi od velikih kamenih ili umjetnih (betonskih) elemenata promjera većeg od metara, postavljenih na pokos. Od elemenata vanjske obloge zahtijeva se da im težina bude u skladu s veličinom valova prema Hudsonovoj formuli kako bi ostali stabilni na pokosu te onemogućili oštećenje lukobrana. Zahtijeva se da budu međusobno dobro uklješteni i čvrsti, da budu položeni tako da imaju što manje površine napadnih ploha izloženih valovima te da imaju veliku šupljikavost između elemenata jer val ulaskom u šupljine gubi valnu energiju. Postavlja se na sekundarnu oblogu lukobrana. Izvodi se u konstantnom nagibu 1:2 s vanjske strane od Cubipod elemenata mase 7500 kg slaganjem u dva sloja debljine 2.80 m. Slaganje se vrši teškom mehanizacijom u pravilnom rasporedu uz osiguranje koeficijenta uklještenja 10 u uvjetima lomljenog vala.

→ **Sekundarna obloga:**

Sekundarna obloga položena je ispod primarne obloge, također se izvodi u minimalno dva sloja. Izrađuje se od lomljenog neobrađenog kamena mase 700 – 1200 kg u debljini od 1.20 m u nagibu 1:2 i oslanja se na filtarski sloj.

→ **Filtarski sloj:**

Filtarski sloj nalazi se između jezgre i sekundarne obloge te je složen po filtarskom pravilu. Funkcija mu je da spriječi ispiranje sitnih frakcija jezgre kroz velike šupljine u primarnoj oblozi. Debljina filtra je minimalno 2 zrna, ali debljina sloja ne smije biti manja od

0.7 m. Filtarski sloj izvodi se od kamenog tucanika mase zrna 5-7 kg u debljini od 1.00 m te se ugrađuje na prethodno pripremljenu podlogu geotekstila i geomreže.

→ **Geotekstil i geomreža:**

Geotekstili u smislu općih tehničkih uvjeta su vodopropusni netkani, tkani, šivani i kompozitni materijali koji ne trunu.

Geomreže su polimerne, ravninske strukture koje se koriste u geotehničkim i građevinskim zahvatima, čiji su otvori znatno veći od strukturnih elemenata koji su spajani u čvorovima. Geotekstili i geomreže najviše se koriste za razdvajanje, filtriranje i za zaštitu, a često i za dreniranje.

Geotekstil je propusni materijal (propušta vodu), služi kao razdjelnica više slojeva te da ne dođe do miješanja istih. Projektno ga se definira koliko je gust, odnosno kolika mu je masa na određenom volumenu (100g-500g). Geomreža se postavlja iznad geotekstila. Geomreža preuzima vlačna naprezanja (možemo je zamisliti kao armaturu u betonu) jer bi geotekstil sam puknuo uslijed konsolidacije objekta (zbog toga što je pridržan sa jedne i druge strane fiksnim elementom objekta te uslijed gibanja ili dodatnog slijeganja po sredini doći će do pucanja čime se gubi razdjelna moć). Zbog toga se geotekstil izvodi u kombinaciji sa geomrežom te kao takvi, geotekstil tada služi kao umjetni procjedni sloj, a geomreža preuzima vlačna naprezanja.

→ **Jezgra:**

Jezgra nasutog lukobrana čini najveći dio poprečnog presjeka nasutog lukobrana, ali zato najjeftiniji jer je od neselektiranog kamenog materijala iz kamenoloma. Nije otporna na djelovanje valova i stoga se oblaže. Paralelno sa izgradnjom jezgre mora teći i oblaganje, kako veći valovi ne bi oštetili već završeni dio jezgre. Jezgra se ugrađuje nasipavanjem s plovila ili kopnenom mehanizacijom kod napredovanja s čela. U materijalu jezgre ne smije biti zemlje više od 3% što zbog geoloških što zbog geomehaničkih razloga (kameni materijal nije toliko sklon slijeganju koliko zemljani materijal). Opći kameni nasip izvodi se u skali granulata 5-500 kg, vanjska strana izvodi se u nagibu pokosa 1:2 do kote - 6.0 m n.m.. S unutrašnje strane izvodi se u nagibu 1:1 do kote - 6.0 m n.m. u širini 6.0 m.

## 5. ZAKLJUČAK

Na lokaciji obuhvata, na teritoriju Crne Gore, planirana je izvedba lukobrana s operativnim privezom s unutrašnje strane za kapacitet do 9 plovila raspona dužina od 20 do 65 m.

Koridor za uplovljavanje i isplovljavanje treba biti osiguran u minimalnoj širini od 62.5 m. Na trasi koridora minimalna potrebna dubina za nesmetan i siguran privez plovila je 5.20 m, a usvojena je dubina od -6 m n.m..

Lukobran je konceptualno riješen kao kombinirana građevina koja se u zaštitnom dijelu izvodi kao nasuti objekt, dok se operativni dio izvodi u kombinaciji predgotovljenih i na licu betoniranih AB elemenata koji se monolitiziraju i opremaju infrastrukturom neophodnom za privez plovila.

Po izvedbi općeg kamenog nasipa u nagibu 1:2 pristupa se izvedbi filterskog sloja. Isti se izvodi u nagibu 1:2 tako da se na pokos općeg kamenog nasipa postavlja geomreža te geotekstil. Na tako pripremljenu podlogu izvodi se filterski sloj mase 5-7 kg ukupne debljine od 1.00 m. Na filterski sloj postavlja se sekundarna obloga sa težinom elementa 700 – 1200 kg u nagibu 1:2 ukupne debljine 1.20 m. Završni sloj, primarna obloga izvodi se u dva reda od Cubipod elemenata težine 7500kg . Postavljanje se vrši slaganjem uz osiguranje koeficijenta uklještenja od 10, u uvjetima lomljenog vala. Primarna obloga izvodi se u dva sloja, ukupne debljine 2.80 m s krunom na + 6.00 m n.m.. Širina u kruni iznosi 4.50 m.

S unutrašnje strane lukobrana potrebno je osigurati dubinu na koti – 6.00 m n.m. potrebne za privez predviđenih plovila. Ukupna duljina operativne obale za privez s unutrašnje strane lukobrana iznosi 167.50 m. U korijenu lukobrana, djelomično uklopljen u postojeću obalnu crtu, postavljen je plato za privez koji u naravi predstavlja operativnu obalu. S dužinom od 52.5 m predstavlja operativnu površinu za privez do sedam (7) plovila dužine 20-25 m.



## 6. LITERATURA

[1] Srzić, V. (2020.), Predavanja i vježbe iz kolegija Pomorske građevine, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu

[2] (2017.) Bazna studija i idejno rješenje revitalizacije plaže Mogren, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu

[3] (2017.) Bazna studija i idejno rješenje revitalizacije plaže Pržno, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu

[4] (2018.) Bazna studija i idejno rješenje revitalizacije plaže Petrovac, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu

[5] (2018.) Bazna studija i idejno rješenje revitalizacije plaže Sutomore, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu

[6] Sitarama Sarma, A.V., (2010.), Design & Construction Of Coastal Structures, RO, CWPRS

[7] Schuttrumpf, H., van der Meer, J. W., Kortenhuis, A., Bruce, T., Franco, L. (2010.) Wave Run-Up and Wave Overtopping at Armored Rubble Slopes and Mounds, Chapter 15, EA, UK, ENW, NL, DE, IT

[8] (2007), EurOtop, Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual, EA, UK, ENW, NL, KFKI, DE [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com)

[9] Josep R. Medina, M. Esther Gomez-Martin, (2016.), Cubipod Manual, Universitat Politecnica de Valencia

[10] W.W. Massie, P.E, (1976.), COASTAL ENGINEERING Volume III - Breakwater Design, University of Technology Delft, The Netherlands

## **POPIS SLIKA I TABLICA:**

- Slika 2.1.1. Prikaz šireg područja lokacije obuhvata s naznakom užeg područja (Google Maps)
- Slika 2.1.2. Prikaz užeg područja lokacije obuhvata (Google Maps)
- Slika 2.1.3. Batimetrijska svojstva zone obuhvata (Navionics)
- Slika 2.1.4. Batimetrijska svojstva zone obuhvata (Navionics)
- Slika 2.1.5. 3D model dubina šire zone obuhvata
- Slika 2.1.6. Izometrijski prikaz dna s diskretizacijom na užem području obuhvata
- Slika 2.1.7. Izometrijski prikaz dna s diskretizacijom na užem području obuhvata
- Slika 2.1.8. Prikaz polja dubina šire zone obuhvata
- Slika 2.1.9. Definicija obalne crte s incidentnom linijom vala i definicijom refleksijskih svojstava obale
- Slika 2.2.1. Pregled lokacija glavnih meteoroloških, klimatoloških i kišomjernih stanica Crne Gore
- Slika 2.2.2. Glavni i sporedni smjerovi vjetra sa nazivima
- Slika 2.2.3. Ruža učestalosti smjera i brzine vjetra za postaju Bar
- Slika 2.2.4. Ruža učestalosti smjera i brzine vjetra za postaju Budva
- Slika 2.3.1. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SW
- Slika 2.3.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer S
- Slika 2.3.3. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE
- Slika 2.4.1. Beaufort-ova ljestvica
- Slika 2.4.2. Groen - Dorrestein nomogram
- Slika 3.2.1. Refrakcija vjetrovnog vala
- Slika 3.2.2. Primjer čiste jednostrane difrakcije
- Slika 3.2.3. Vrste loma vala prema Galvinu
- Slika 3.4.1. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer S i povratni period 100 godina
- Slika 3.4.2. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer S i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata
- Slika 3.4.3. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer S i povratni period 100 godina
- Slika 3.4.4. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer S i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata
- Slika 3.4.5. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer S i povratni period 100

godina

Slika 3.4.6. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer S i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata

Slika 3.4.7. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina

Slika 3.4.8. Prikaz značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata

Slika 3.4.9. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina

Slika 3.4.10. Prikaz polja vrijednosti značajne valne visine za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata

Slika 3.4.11. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina

Slika 3.4.12. Prikaz područja ostvarenja loma vala za incidentni smjer SW i povratni period 100 godina – uža zona obuhvata

Slika 3.5.1. Geometrija i položaj planiranih pomorskih objekata u obuhvatu s definicijom refleksijskih svojstava

Slika 3.5.2. Valne visine u obuhvatu za planirano stanje izgrađenosti i stogodišnju značajnu valnu visinu incidentnog smjera SW

Slika 3.5.3. Polje valnih visina i vektori valnog polja za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW

Slika 3.5.4. Definicija loma vala za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW

Slika 3.5.5. Valne visine u užem području obuhvata za planirano stanje izgrađenosti i stogodišnju značajnu valnu visinu incidentnog smjera SW

Slika 3.5.6. Polje valnih visina i vektori valnog polja za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW – uža zona obuhvata

Slika 3.5.7. Definicija loma vala za značajnu valnu visinu stogodišnjeg povratnog period incidentnog smjera SW – uže područje obuhvata

Slika 3.5.8. Identifikacija kontrolnog presjeka na glavi lukobrana

Slika 3.5.9. Prikaz dubina na kontrolnom presjeku na glavi lukobrana

Slika 3.5.10. Značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda incidentnog smjera SW na kontrolnom presjeku na glavi lukobrana

Slika 3.5.11. Identifikacija kontrolnog presjeka na trupu lukobrana

Slika 3.5.12. Prikaz dubina na kontrolnom presjeku na trupu lukobrana

Slika 3.5.13. Značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda incidentnog smjera SW na kontrolnom presjeku na trupu lukobrana

Slika 4.4.1. Iskaz dubine za privez plovila

Slika 4.4.2. Prikaz najveće oseke mjerene na mareografu u Split

Slika 4.4.3. Prikaz tipskog plovila duljine 20 m

Slika 4.4.4. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine 20

Slika 4.4.5. Prikaz tipskog plovila duljine 25 m

Slika 4.4.6. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine 25

Slika 4.4.7. Prikaz tipskog plovila duljine do 35 m

Slika 4.4.8. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine do 35 m

Slika 4.4.9. Prikaz tipskog plovila duljine do 65 m

Slika 4.4.10. Tehničke specifikacije tipskog plovila duljine do 65 m

Slika 4.4.11. Potrebna dubina za privez plovila

Slika 4.5.1. Širine i duljine potrebnog mjesta za brod

Slika 4.5.2. Način priveza i udaljenost gatova

Slika 4.6.1. Proračun površine akvatorija marine

Slika 4.7.1. Izvedba trupa lukobrana s Cubipod primarnom zaštitom

Slika 4.7.2. Pokos trupa lukobrana s Cubipod primarnom zaštitom

Slika 4.7.3. Detalj Cubipod elementa

Slika 4.7.4. Karakteristični poprečni presjek lokobrana od Cubipod elemenata

Slika 4.8.1. Koeficijenti sloja  $k_{\Delta}$  i poroziteti (p%)

Slika 4.9.1. Odabir visine krune lukobrana

Slika 4.9.2. Dijagram uspinjanja vala na glatkim i hrapavim podlogama

Slika 4.9.3. Odabir koeficijenta hrapavosti i formule za uspinjanje vala

Tablica 2.2.1. Tablica apsolutne kontigencije za sinoptičku postaju Bar i razdoblje 1.1.2008. – 31.12.2011.

Tablica 2.2.2. Tablica relativne kontigencije za sinoptičku postaju Bar i razdoblje 1.1.2008. – 31.12.2011.

Tablica 2.3.1. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SW

Tablica 2.3.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer S

Tablica 2.3.3. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE

Tablica 2.4.1. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer SW

Tablica 2.4.2. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer S

Tablica 2.4.3. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer SE

Tablica 2.4.1. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer SW

Tablica 2.4.2. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer S

Tablica 2.4.3. Formiranje uzorka dubokovodnog vala za smjer SE

Tablica 3.3.1. Ulazni parametri valova za model

Tablica 3.5.1. Parametri dubokovodnog vala i odabrane visine valova

Tablica 4.8.1. Pregled odnosa relativnih volumena i masa elementa primarnog sloja

Tablica 4.8.2. Hudsonov izraz

Tablica 4.8.3. Težine slojeva nasutog lukobrna

Tablica 4.8.4. Debljina slojeva obloge nasutog lukobrana

Tablica 4.9.1. Parametri formule za odabir visine uspinjanja vala