

Prijedlog rješenja lukobrana na lučici Zenta

Anđelić, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:123:597163>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-21**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Nikolina Anđelić

Split 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Prijedlog rješenja lukobrana na lučici Zenta

Završni rad

Split 2022.

Prijedlog rješenja lukobrana u lučici Zenta

Sažetak:

Na lokaciji obuhvata, u lučici Zenta planirana je izgradnja lukobrana s ciljem osiguranja zaštite i pružanja povoljnih maritimnih uvjeta plovilima u marini. Na temelju dostupnih podataka o vjetru definira se projektni val koji je polazište za određivanje parametara lukobrana. Predložena je kombinacija nasutog lukobrana i lukobrana tipa zid uz dane proračune i dimenzioniranja.

Ključne riječi:

Nasuti lukobran, lukobran tipa zid, privjetrište, dubokovodni val, vjetar, dimenzioniranje

Proposal for the breakwater solution in the port of Zenta

Abstract:

At the location of Zenta port (the city of Split), the breakwater construction is planned to ensure protection and favorable maritime conditions for the vessels. The significant wave, critical information for breakwater design, has been calculated based on the available wind data and defined fetches. In this thesis, the proposed design is a combined type of partially rubble mound and partially vertical wall breakwater.

Keywords:

Mound breakwater, vertical breakwater, fetch, deepwater wave, wind, design

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Anđelić Nikolina

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0263016293

KATEDRA: **Katedra za privrednu hidrotehniku**

PREDMET: Pomorske građevine

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Prijedlog rješenja lukobrana na lučici Zenta

Opis zadatka: Od kandidatkinje se očekuje da izradi vjetrovalnu klimu, definira projektni val za objekt koji je od primarnog interesa Završnog rada. Također se očekuje da na razini idejnog rješenja predloži koncept i definira parametre lukobrana s ciljem osiguranja zaštite akvatorija luke i plovila u luci te ostvarenja povoljnih maritimnih uvjeta.

Rad treba minimalno sadržavati:

- Obradu podataka o vjetru s relevantne mjerne postaje
- Vjetrovalnu klimu područja obuhvata
- Prikaz korištene metodologije u razradi teme rada
- Tekstualni i grafički dio s tehničkim rješenjem lukobrana marine Zenta.
- Zaključke i smjernica s naglaskom na usporedbu s izvedenim stanjem.

U Splitu, 23.03.2022.

Voditelj Završnog rada:



Doc.dr.sc. Veljko Srzić

Komentor Završnog rada:



dr.sc. Morena Galešič

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD I CILJ ZAVRŠNOG RADA..... | 1 |
| 2. OPIS METODOLOGIJE..... | 3 |
| 3. PODLOGE O VJETRU | 4 |
| 3.1. Definicija meteorološke postaje..... | 4 |
| 3.2. Podaci o vjetru | 5 |
| 3.3. Izračunate tablice kontigencije | 7 |
| 4. DUGOROČNA PROGNOZA VANJSKIH POVRŠINSKIH VALOVA ISPRED PREDMETNE LOKACIJE – „Zenta“ | 10 |
| 4.1. Privjetrišta | 10 |
| 4.2. Formiranje uzorka vjetra za dugoročne valne prognoze..... | 19 |
| 4.3. Proračun značajnih valnih visina za duga povratna razdoblja | 21 |
| 5. DEFORMACIJE VALA NA PODRUČJU PREDMETNE LOKACIJE | 26 |
| 5.1. Općenito..... | 26 |
| 5.2. Refrakcija..... | 28 |
| 5.3. Uplićavanje | 33 |
| 5.4. Lom vala | 36 |
| 5.5. Difrakcija | 39 |
| 5.6. Visine mjerodavnih transformiranih valova ispred predmetne lokacije neposredno prije loma..... | 40 |
| 6. PRIJEDLOG RJEŠENJA UREĐENJA LUKOBRANA | 41 |
| 6.1. Dimenzioniranje nasutog lukobrana | 41 |
| 6.1.1. Visina krune lukobrana..... | 43 |
| 6.1.2. Težina kamenog bloka školjere..... | 45 |
| 6.1.3. Debljina slojeva:..... | 50 |
| 6.2. Dimenzioniranje unutarnjeg dijela lukobrana..... | 51 |

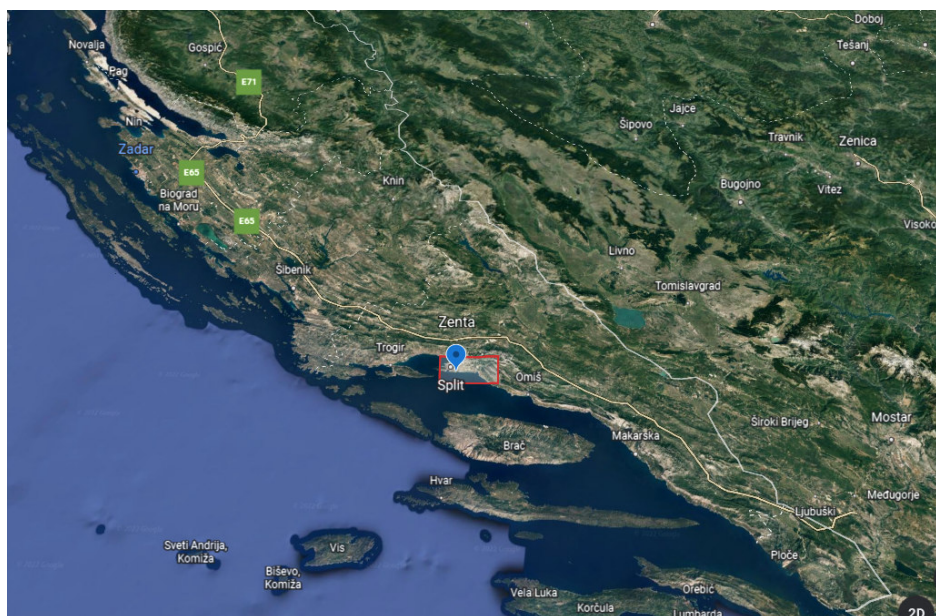
| | |
|--|-----------|
| 7. PRILOZI..... | 58 |
| 7.1. Situacija..... | 58 |
| 7.2. Presjek A-A..... | 59 |
| 8. ZAKLJUČAK | 60 |
| 9. LITERATURA..... | 63 |
| 10. POPIS SLIKA I TABLICA | 64 |

1. UVOD I CILJ ZAVRŠNOG RADA

Na lokaciji obuhvata na teritoriju lučice Zenta planirana je 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. Nužno je odrediti mjerodavni val za projektiranje istog.

Objekti zaštitnog tipa predviđeni su kao kombinacija nasutog lukobrana i lukobrana tipa zid. Lukobran je objekt koji je planiran kao obavezan s obzirom na višenamjensko korištenje; Lukobrani ovog tipa su masivne konstrukcije, najčešće izvođene armirano betonskom konstrukcijom ispunjenom prirodnim materijalom. S vanjske strane služe za zaštitu luke od valovanja, dok unutrašnja strana može služiti u operativnom i funkcionalnom smislu te za privez brodova.

Lokacija obuhvata smještena je na južnom dijelu splitskog poluotoka. S obzirom na razvedenost obale u akvatoriju ispred obale, lokacija obuhvata nije otvorena vjetrovima duljeg privjetrišta.



Slika 2.1.1. Prikaz šireg područja lokacije obuhvata s naznakom užeg područja

(Google Maps)

Na površini mora interakcija zračne i morske mase rezultira vjetrovalnim valovima. Val je osnovna ulazna veličina pri dimenzioniranju obalnih konstrukcija: luka i marina, lukobrana, gatova, pristana, obaloutvrda i različitih objekata za zaštitu plaža. Upravo sprega vode i vjetra, koja se ubraja u najsloženije prirodne sile i ima golemu razornu snagu, ima jak utjecaj na pomorske građevine. Stoga će se daljnja razmatranja odnositi na vjetrovne valove.

U ovom radu će se obaviti postupak procjene vala za projektiranje potencijalnog lukobrana na navedenoj lokaciji. Potrebni lukobran, marina i plaža već su projektirani, no na temelju cjelokupne analize dati će se prijedlog novog rješenja kao i usporedba s postojećim stanjem.



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

2. OPIS METODOLOGIJE

U radu će se prvo iz sirovih podataka o vjetru (satni srednjaci) odrediti tablica kontigencije na razini godine, a zatim će se na istoj provesti dugoročna valna prognoza. Određivanje mjerodavnih valova za projektiranje se najkvalitetnije može napraviti na temelju mjerenja visine valova. Ukupno djelovanje vjetra je grupirano u 2 sektora, s obzirom na izloženost lokacije istima se te postupak dugoročne valne analize dalje odvija na njima.

Valne transformacije uključujući refrakciju, uplićavanje, difrakciju i lom vala su potom izračunate za parametre valova povratnih perioda od 5 i 100 godina, za dva mjerodavna sektora. Proračun je izvršen u programu RSBWave primjenom numeričke integracije diferencijalne jednadžbe zrake vala, te iterativne provjere uplićavanja i kriterija loma vala. RSBWave koristi batimetriju i granice područja kao osnovu geometrije sustava. Batimetrijska svojstva područja obuhvata temelje se na dostupnom servisu Navionics.

Proračun za refrakciju će biti izvršen grafički korištenjem Snellovog zakona. Dana je procjena očekivanih visina valova za mjerodavne sektore te područje loma valova. Završno je dan prijedlog rješenja lukobrana za navedeno područje.

3. PODLOGE O VJETRU

3.1. Definicija meteorološke postaje

Kod generiranja podataka o vjetru u pravilu se odabire mjerna postaja geografski najbliža lokaciji od interesa te se naručuju podaci za željeno razdoblje.

Mjerodavna meteorološka postaja za predmetnu lokaciju, područje istočne obale Splita, je glavna meteorološka stanica Marjan. Meteorološka postaja Marjan geografskih koordinata: $\varphi = 43^{\circ} 31' N$, $\lambda = 16^{\circ} 26' E$, smještena je sjeverozapadno od grada na brdu Marjan, na nadmorskoj visini od $h = 122$ m. Teren se sa SW-W-NW-N strane spušta ka moru. Na sjeveru je područje Kaštelanskog zaljeva, a na istoku se nalazi grad Split. Na udaljenosti od 7 km zračne udaljenosti na sjever uzdiže se Kozjak s najvišim vrhom od 779 m nadmorske visine.



Slika 3.1.1. Meteorološka postaja Marjan

3.2. Podaci o vjetru


Vjetar je pretežno vodoravno strujanje zraka, relativno prema Zemljinoj površini, određeno smjerom (stranom svijeta odakle vjetar puše) i brzinom, odnosno jakošću (Wikipedia). S obzirom na brzinu i smjer, vjetar se znatno razlikuje od mjesta do mjesta i njegov mikroklimatski efekt može imati vrlo jako djelovanje. Vektorska je veličina jer je definiran brzinom i smjerom. Apsolutna vrijednost vektora vjetra izražava se brzinom.

Vjetar na nekom području funkcija je geografskih i topografskih uvjeta. Lokalna topografija može izazvati posebni odraz vjetra, zbog čega je nužno skupljati podatke o odrazu vjetra za razdoblje i od nekoliko godina. Integriranjem takvih podataka o lokalnim vjetrovima s vrijednostima meteorološke postaje dobije se prava osnova za procjenu utjecaja vjetra na promatrano područje. Najčešće u pojedinim područjima dominantno jak vjetar djeluje u jednom ili dva smjera koji mogu biti značajni za određivanje kretanja broda pa je poželjno da se pravac pristana postavi paralelno sa smjerom kretanja vjetra. Djelovanje vjetra na brodove u luci prenosi se na konstrukcije obala i gatova te privezišta. Zbog toga je djelovanje vjetra vrlo značajno pri dimenzioniranju lučkih građevina.

U ovom radu korištene su srednje satne brzine vjetra s pripadajućim prevladavajućim smjerom, a koje su računalno generirane za razdoblje od 2009-2018.godine. Integriranjem takvih podataka o lokalnim vjetrovima s vrijednostima meteorološkog centra dobije se prava osnova za procjenu utjecaja vjetra na nekoj lokaciji. (Kirinčić: Luke i terminali)

Jačina vjetra procjenjuje se vizualno prema učincima vjetra na predmete u prirodi u tri klimatološka termina (7, 14 i 21 h) i izražava se u stupnjevima Beaufortove ljestvice. Ta ljestvica sadrži 0 – 12 stupnjeva, kojima su pridružene odgovarajuće srednje brzine vjetra (tablica 3.2.1.)

Tablica 3.2.1. Beaufortova ljestvica za vjetar

| 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 do 1 km/h |

| | | | | | |
|----|---------------------|--|--|---|-------------------------------|
| 1 | lahor | vjetrulja se ne pokreće, može mu se razaznati smjer prema dimu koji se podiže | mreškanje vode |  | 0.4 - 1.5 m/s 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 6 - 11 km/h |
| 3 | slab vjetar | lišće zajedno s grančicama se neprekidno njiše i šušti, zastava leprša | veći valići, kreste valića se počinju lomiti |  | 3.4 - 5.4 m/s 12 - 19 km/h |
| 4 | umjeren vjetar | diže prašinu, suho lišće i papir s tla; zastavu drži ispruženu, njiše manje grane | mali valovi, bijele krijeste na vrhovima valova |  | 5.5 - 7.9 m/s 20 - 28 km/h |
| 5 | umjereno 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 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 39 - 49 km/h |
| 7 | vrlo jak vjetar | njiše se neprekidno veće lisnato drveće, hodanje protiv vjetra je otežano | vjetar počinje otpuhivati pjenu sa valova niz vjetar |  | 13.9-17.1m/s 50 - 61 km/h |
| 8 | olujni vjetar | njiše čitava stabla i lomi velike grane; sprečava svako hodanje protiv vjetra. | umjereno visoki valovi velike dužine, krijeste valova se lome kružno, vjetar nosi pjenu |  | 17.2-20.7m/s 62 - 74 km/h |
| 9 | oluja | pomiče manje predmete i baca crijep, čini manje štete na kućama i drugim objektima | visoki valovi, guste pruge pjene niz vjetar, smanjena vidljivost |  | 20.8-24.4m/s 75 - 88 km/h |
| 10 | jaka oluja | obara drveće i čupa ga s korijenjem; čini znatne štete na zgradama | vrlo visoki valovi sa velikim visećim krijestama, skoro cijela površina je bijela |  | 24.5-28.4m/s 88-102 km/h |
| 11 | teška oluja | čini teške štete, na većem području djeluje razorno | ekstremno visoki valovi, sva površina bijela od pjene, vidljivost jako smanjena |  | 28.5-32.6m/s 103-117km/h |
| 12 | orkan | opustoši čitav jedan kraj | zrak je ispunjen sa kapljicama vode i pjenom, cijela površina bijena, jako mala vidljivost |  | 32.7-36.9m/s 118-133km/h |

3.3. Izračunate tablice kontigencije

Na osnovu raspoloživog niza srednjih satnih podataka izrađene su tablice kontigencije koje su prikazane u nastavku u Tablici 3.3.1. i Tablici 3.3.2.

Tablica 3.3.1. Tablica apsolutne kontigencije za meteorološku postaju Marjan za razdoblje

1.1.2009.-31.12.2018.

| jač. (Bf) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | zbroj |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| brz. (m/s) | 0,0- 0,2 | 0,3- 1,5 | 1,6- 3,3 | 3,4- 5,4 | 5,5- 7,9 | 8,0- 10,7 | 10,8- 13,8 | 13,9- 17,1 | 17,2- 20,7 | 20,8- 24,4 | 24,5- 28,4 | 28,5- 32,6 | 32,7- 36,9 | |
| NNE | | 1147 | 1343 | 741 | 543 | 348 | 152 | 60 | 27 | 13 | 3 | 0 | 0 | 4377 |
| NE | | 2010 | 4586 | 4409 | 4623 | 3282 | 1235 | 291 | 86 | 31 | 5 | 0 | 0 | 20558 |
| ENE | | 1450 | 3857 | 2000 | 485 | 146 | 34 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7975 |
| E | | 1078 | 1474 | 700 | 142 | 28 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3427 |
| ESE | | 838 | 1160 | 1175 | 1067 | 598 | 167 | 40 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5058 |
| SE | | 972 | 1150 | 1594 | 2682 | 2265 | 1517 | 412 | 64 | 9 | 3 | 0 | 0 | 10668 |
| SSE | | 712 | 520 | 196 | 148 | 162 | 132 | 73 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1952 |
| S | | 1227 | 1039 | 211 | 168 | 152 | 72 | 31 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2909 |
| SSW | | 1191 | 1185 | 220 | 114 | 101 | 67 | 29 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2910 |
| SW | | 2656 | 5056 | 1719 | 154 | 38 | 19 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9645 |
| WSW | | 1461 | 1830 | 1336 | 166 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4795 |
| W | | 320 | 463 | 138 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 942 |
| WNW | | 325 | 531 | 78 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 939 |
| NW | | 864 | 1537 | 392 | 33 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2827 |
| NNW | | 575 | 484 | 159 | 33 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1269 |
| N | | 1179 | 974 | 308 | 114 | 23 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2606 |
| C | 1052 | | | | | | | | | | | | | 1052 |
| zbroj | 1052 | 18005 | 27189 | 15376 | 10497 | 7163 | 3410 | 942 | 210 | 54 | 11 | 0 | 0 | 83909 |

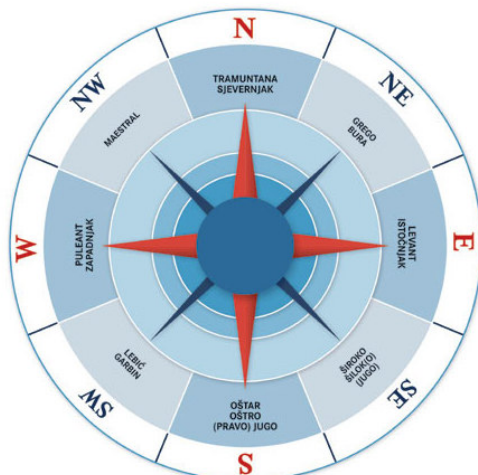
Tablica 3.3.2. Tablica relativne kontigencije za meteorološku postaju Marjan za razdoblje

1.1.2009.-31.12.2018.

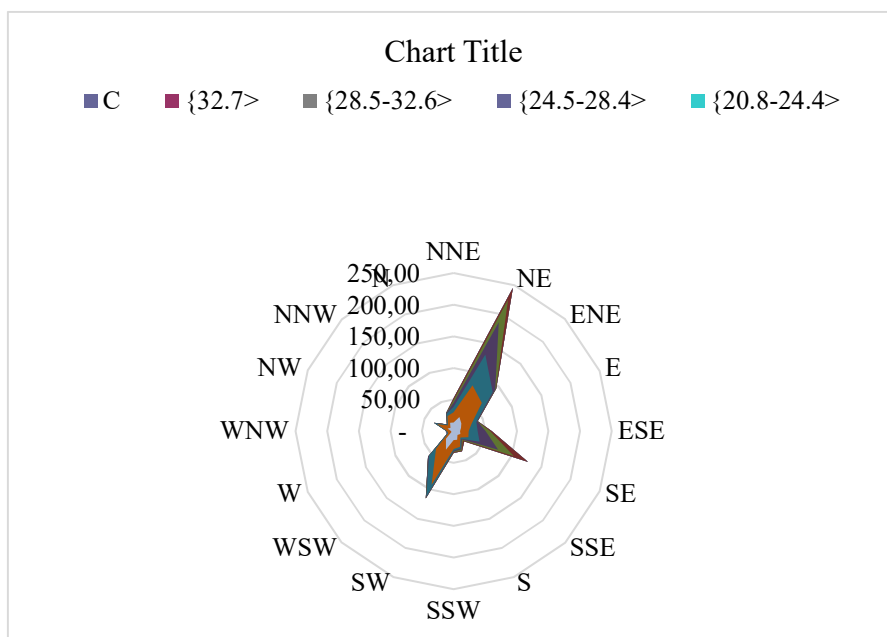
| jač. (Bf) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | zbroj |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|----------|
| brz. (m/s) | 0 | 0,3 | 1,6 | 3,4 | 5,5 | 8 | 10,8 | 13,9 | 17,2 | 20,8 | 24,5 | 28,5 | 32,7 | |
| | {0.0- 0.2> | {0.3- 1.5> | {1.6- 3.3> | {3.4-5.4> | {5.5-8.0> | {8.0- 10.7> | {10.8- 13.8> | {13.9- 17.1> | {17.2- 20.7> | {20.8- 24.4> | {24.5- 28.4> | {28.5- 32.6> | {32.7> | |
| NNE | - | 13,67 | 16,01 | 8,83 | 6,47 | 4,15 | 1,81 | 0,72 | 0,32 | 0,15 | 0,04 | - | - | 52,16 |
| NE | - | 23,95 | 54,65 | 52,55 | 55,10 | 39,11 | 14,72 | 3,47 | 1,02 | 0,37 | 0,06 | - | - | 245,00 |
| ENE | - | 17,28 | 45,97 | 23,84 | 5,78 | 1,74 | 0,41 | 0,04 | - | - | - | - | - | 95,04 |
| E | - | 12,85 | 17,57 | 8,34 | 1,69 | 0,33 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | 40,84 |
| ESE | - | 9,99 | 13,82 | 14,00 | 12,72 | 7,13 | 1,99 | 0,48 | 0,15 | - | - | - | - | 60,28 |
| SE | - | 11,58 | 13,71 | 19,00 | 31,96 | 26,99 | 18,08 | 4,91 | 0,76 | 0,11 | 0,04 | - | - | 127,14 |
| SSE | - | 8,49 | 6,20 | 2,34 | 1,76 | 1,93 | 1,57 | 0,87 | 0,10 | 0,01 | - | - | - | 23,26 |
| S | - | 14,62 | 12,38 | 2,51 | 2,00 | 1,81 | 0,86 | 0,37 | 0,11 | - | - | - | - | 34,67 |
| SSW | - | 14,19 | 14,12 | 2,62 | 1,36 | 1,20 | 0,80 | 0,35 | 0,04 | - | - | - | - | 34,68 |
| SW | - | 31,65 | 60,26 | 20,49 | 1,84 | 0,45 | 0,23 | 0,04 | - | - | - | - | - | 114,95 |
| WSW | - | 17,41 | 21,81 | 15,92 | 1,98 | 0,02 | - | - | - | - | - | - | - | 57,15 |
| W | - | 3,81 | 5,52 | 1,64 | 0,24 | 0,01 | - | - | - | - | - | - | - | 11,23 |
| WNW | - | 3,87 | 6,33 | 0,93 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | - | - | 11,19 |
| NW | - | 10,30 | 18,32 | 4,67 | 0,39 | 0,01 | - | - | - | - | - | - | - | 33,69 |
| NNW | - | 6,85 | 5,77 | 1,89 | 0,39 | 0,19 | 0,02 | - | - | - | - | - | - | 15,12 |
| N | - | 14,05 | 11,61 | 3,67 | 1,36 | 0,27 | 0,10 | - | - | - | - | - | - | 31,06 |
| C | 12,54 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 12,54 |
| zbroj | 12,54 | 214,58 | 324,03 | 183,25 | 125,10 | 85,37 | 40,64 | 11,23 | 2,50 | 0,64 | 0,13 | - | - | 1.000,00 |

Tablica kontigencije sadrži informacije o apsolutnim/relativnim učestalostima različitih brzina i smjerova vjetra. Relativna učestalost je prikazana u postotku (%), dok je apsolutna učestalost realni broj. 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, mph (mile per hour), prema Beaufortovoj ljestvici, 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.



Slika 3.3.1. Glavni i sporedni smjerovi vjetra sa nazivima



Slika 3.3.2. Ruža učestalosti smjera i brzine vjetra za postaju Marjan

Ukoliko usporedimo tablicu relativne kontigencije sa ružom vjetrova sa slike 3.3.2. (ruža vjetrova odgovara desetogodišnjem nizu u razdoblju od 1.1. 2009. do 31.12. 2018. godine) uočava se sličnost što upućuje na potencijalno dovoljno dugo razdoblje unutar kojeg su podaci

o vjetru na raspolaganju. S obzirom na geografski položaj obuhvata, najveći utjecaj imaju vjetrovi drugog i trećeg kvadranta.

4. DUGOROČNA PROGNOZA VANJSKIH POVRŠINSKIH VALOVA ISPRED PREDMETNE LOKACIJE – „Zenta“

Dugoročna prognoza se radi iz uzoraka dobivenih mjerenjem valova za kratkoročna stacionarna stanja mora. Kako se ne raspolaže ovim mjerenjima, napraviti će se uzorak valova na temelju podataka o mjerenju vjetra (uzorka vjetra za kratkoročne situacije iz dugog razdoblja opažanja).

Raspolaže se s tablicom kontigencije vjetra iz koje se može načiniti uzorak vjetra po kriteriju prekoračenja praga. Koristiti će se Gumbelova distribucija jer se raspolaže s tablicom kontigencije vjetra iz koje se može indirektno korištenjem metode Groen Dorrestein dobiti dugogodišnji niz podataka o značajnoj visini pojavljivanih valova te pripadajućih perioda.

Obzirom da uzorak H_s za dugoročnu prognozu trebaju predstavljati pojedinačne kratkoročne valne situacije sa većim valovima (odnosno vjetrom koji ih generira) odabran je prag brzine vjetra od 3 Bf (3,4 – 5,4 m/s). Službeni podaci sa meteorološke postaje Marjan ukazuju da su pojavljivanja vjetra u višim razredima brzine rijetka. U skladu s tim a za potrebe bolje definicije teorijske distribucije vjerojatnosti pojave vala određene visine uzeti su svi razredi brzina u obzir (kao što je prikazano u poglavlju 4.2.)

4.1. Privjetrišta

Već na samom početku spomenuto je da interakcija zračne i vodene mase rezultira vjetrovnim valovima. Naime, na dodirnoj plohi dvaju medija različitih gustoća (zrak- more), koji se gibaju različitom brzinom, dolazi do trenja te prenošenja energije među njima. Vjetar brzine do 1,1 m/s praktički ne stvara vidne valove, no već pri brzini većoj od 1,1 m/s počinju se stvarati valovi od 6- 8 cm koji se pružaju paralelno. Ako vjetar poveća brzinu, najprije dolazi

do poremećenja pravilnosti valova, a tek kod daljnjeg povećanja brzine, valovi ponovo poprime određeni smjer i pravilno pružanje, ali nesimetričan presjek (Babić, Pomorski objekti u betonu)

Valna visina osim o brzini vjetra, velikim djelom ovisi o duljini privjetrišta ili Fetch-a. Privjetrište se meteorološki definira kao udaljenost na velikoj vodenoj površini uzduž koje puše vjetar jednake brzine i smjera. Ako slabiji vjetar puše trajnije na privjetrištu veće duljine, može razviti veće valove od jačeg vjetra koji puše kraće vrijeme na kraćem privjetrištu.

Lokacija Zenta je izložena vjetrovnim valovima s različitim duljinama privjetrišta. S obzirom na to, prema kriteriju dužine privjetrišta i sličnosti smjerova čestine pojavljivanja vjetra za pojedini smjer, formirani su pojedini sektori izloženosti. Ako gledamo po položaju, potencijalne valove na ulazu u akvatorij Zente mogu stvoriti vjetrovi u rasponu od WSW do ESE. Navedeni smjerovi su grupirani u 2 sektora: sektor I (SE) i sektor II (SW). Računa se duljina privjetrišta za svaki od ovih smjerova te njihova dva susjedna smjera. Za daljnji proračun uzima se najdulje privjetrište u sektoru.

Sektor I definiran je djelovanjem vjetrova i posljedičnih površinskih vjetrovnih valova nastalih za susjedne smjerove SSE, SE i ESE. Najduže efektivno privjetrište izračunato je za smjer SE i iznosi 15,43 km.

Sektor II definiran je djelovanjem vjetrova i posljedičnih površinskih vjetrovnih valova nastalih za susjedne smjerove WSW, SW i SSW. Najduže efektivno privjetrište izračunato je za smjer WSW i iznosi 27,58 km.

Za rješavanje problematike privjetrišta, odnosno definiranje dužine privjetrišta, postoji nekoliko različitih metoda. Jedna od njih je metoda Saville. Pretpostavka metode je da vjetar prenosi energiju na vodenu površinu u smjeru dominantnog puhanja te u smjerovima otklona od glavnog smjera za $\pm 45^\circ$. 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.

Tablica 4.1.1. Formula za izračun efektivnog privjetrišta

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

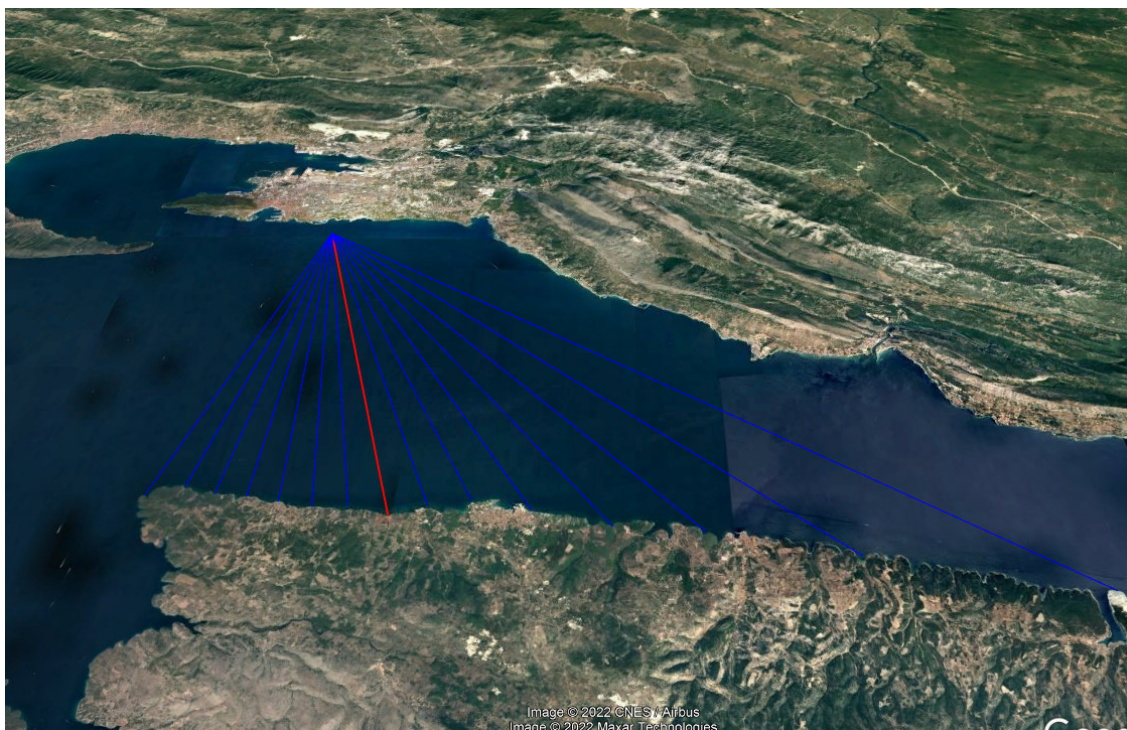
Na sljedećim slikama dani su grafički prikazi postavljanja centralne zrake kroz analizirane smjerove te zrake sa korekcijom rotacije $\pm 6^\circ$ od centralne zrake. Proračunske vrijednosti opisanog postupka, kao i očitane pojedinačne vrijednosti za sve navedene smjerove dane su grafički i analitički.



Slika 4.1.1. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE

Tablica 4.1.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE

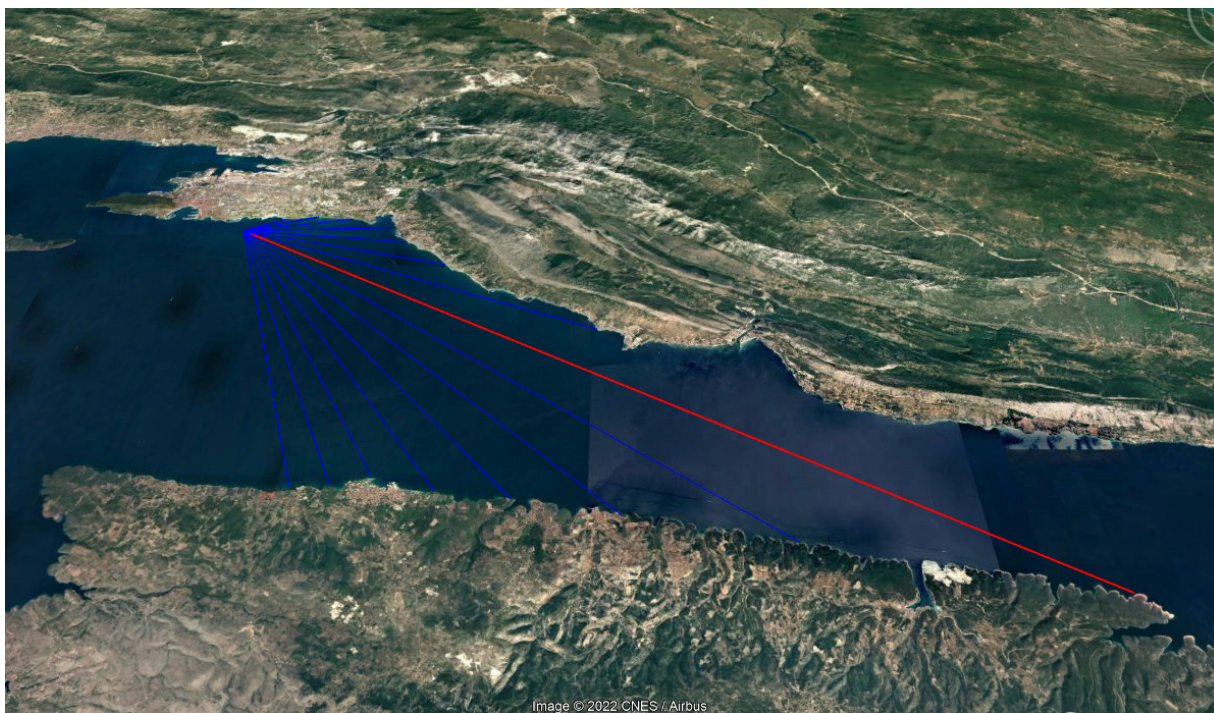
| | SEZENTAfetch | | | |
|--------|------------------|--------------|---------|---------------------|
| | Kut | cos | Fikm | Ficos2 |
| Number | Number | Number | Number | Number |
| 1 | Smjer SE ZE... | | | |
| 2 | Kut α [°] | $\cos\alpha$ | Fi [km] | $Fi*(\cos\alpha)^2$ |
| 3 | 42 | 0.7430 | 12.1000 | 6.6800 |
| 4 | 36 | 0.8090 | 12.3700 | 8.1000 |
| 5 | 30 | 0.8660 | 12.5700 | 9.4300 |
| 6 | 24 | 0.9140 | 12.9200 | 10.7900 |
| 7 | 18 | 0.9510 | 13.0900 | 11.8400 |
| 8 | 12 | 0.9780 | 13.6100 | 13.0200 |
| 9 | 6 | 0.9950 | 14.2400 | 14.0800 |
| 10 | 0 | 1 | 15.8400 | 15.8400 |
| 11 | -6 | 0.9950 | 17.2100 | 17.0200 |
| 12 | -12 | 0.9780 | 20.1900 | 19.3200 |
| 13 | -18 | 0.9510 | 25.9700 | 23.4900 |
| 14 | -24 | 0.9140 | 52.2300 | 43.5900 |
| 15 | -30 | 0.8660 | 9.6600 | 7.2400 |
| 16 | -36 | 0.8090 | 7.3600 | 4.8200 |
| 17 | -42 | 0.7430 | 5.7500 | 3.1800 |
| 18 | Σ | 13.5120 | | 208.4400 |
| 19 | Feff = | 15.4300 | | |



Slika 4.1.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SSE

Tablica 4.1.3. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SSE

| SSEZENTafetch | | | | |
|---------------|------------------|---------|---------|-------------|
| | Kut | cos | Fikm | Ficos2 |
| Number | Number | Number | Number | Number |
| 1 | Smjer SSE Z... | | | |
| 2 | Kut α [°] | cosa | Fi [km] | Fi*(cosa)^2 |
| 3 | 42 | 0.7430 | 17.9500 | 9.9200 |
| 4 | 36 | 0.8090 | 11.6300 | 7.6100 |
| 5 | 30 | 0.8660 | 11.7300 | 8.8000 |
| 6 | 24 | 0.9140 | 11.8900 | 9.9200 |
| 7 | 18 | 0.9510 | 12.0900 | 10.9400 |
| 8 | 12 | 0.9780 | 12.3500 | 11.8100 |
| 9 | 6 | 0.9950 | 12.6400 | 12.5000 |
| 10 | 0 | 1 | 13.0800 | 13.0800 |
| 11 | -6 | 0.9950 | 13.2300 | 13.0900 |
| 12 | -12 | 0.9780 | 13.5200 | 12.9300 |
| 13 | -18 | 0.9510 | 14.6300 | 13.2300 |
| 14 | -24 | 0.9140 | 16.1000 | 13.4400 |
| 15 | -30 | 0.8660 | 18.3700 | 13.7800 |
| 16 | -36 | 0.8090 | 21.4700 | 14.0500 |
| 17 | -42 | 0.7430 | 27.4300 | 15.1500 |
| 18 | Σ | 13.5120 | | 180.2400 |
| 19 | Feff = | 13.3400 | | |

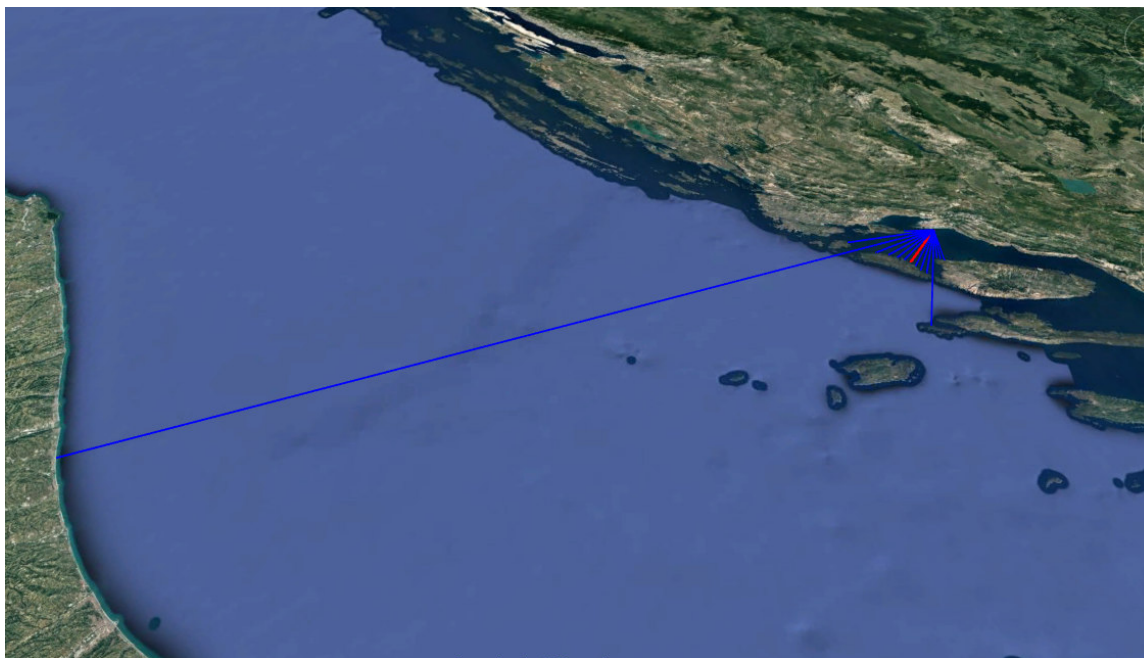


Slika 4.1.3. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer ESE

Tablica 4.1.4. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer ESE

| | Kut | cos | Fikm | Ficos2 |
|----|------------------|--------------|------------|-----------------------|
| | Number | Number | Number | Number |
| 1 | Smjer ESE Z... | | | |
| 2 | Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i^*(\cos\alpha)^2$ |
| 3 | 42 | 0.7430 | 13.1600 | 7.2700 |
| 4 | 36 | 0.8090 | 13.4900 | 8.8300 |
| 5 | 30 | 0.8660 | 14.1400 | 10.6000 |
| 6 | 24 | 0.9140 | 15.2900 | 12.7600 |
| 7 | 18 | 0.9510 | 17.0700 | 15.4400 |
| 8 | 12 | 0.9780 | 19.4400 | 18.6000 |
| 9 | 6 | 0.9950 | 24.1400 | 23.8700 |
| 10 | 0 | 1 | 34.6800 | 34.6800 |
| 11 | -6 | 0.9950 | 14.1500 | 14 |
| 12 | -12 | 0.9780 | 7.8000 | 7.4600 |
| 13 | -18 | 0.9510 | 5.9200 | 5.3600 |
| 14 | -24 | 0.9140 | 4.6100 | 3.8500 |
| 15 | -30 | 0.8660 | 3.1000 | 2.3200 |
| 16 | -36 | 0.8090 | 1.4100 | 0.9200 |
| 17 | -42 | 0.7430 | 1.3600 | 0.7500 |
| 18 | Σ | 13.5120 | | 166.7100 |
| 19 | $F_{eff} =$ | 12.3400 | | |

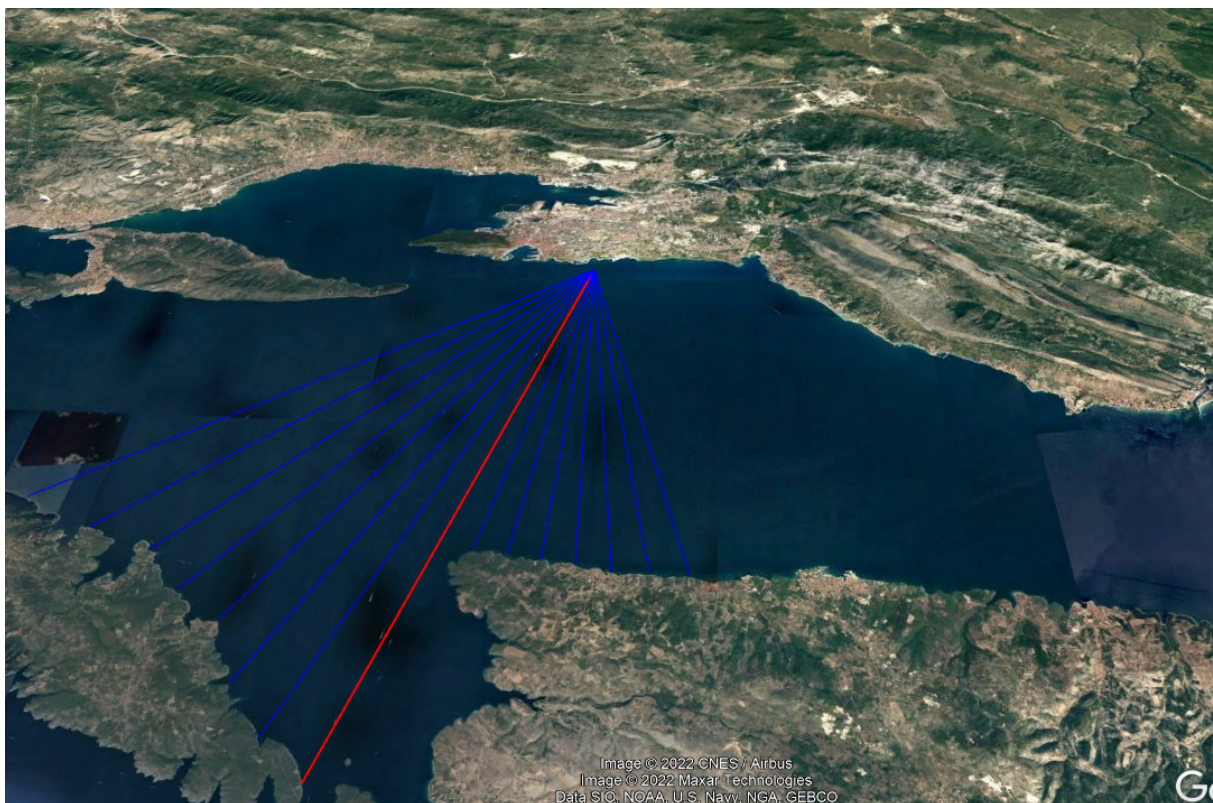
Kao mjerodavno privjetrište ovog sektora uzet je smjer SE (jugo).



Slika 4.1.4. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SW

Tablica 4.1.5. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SW

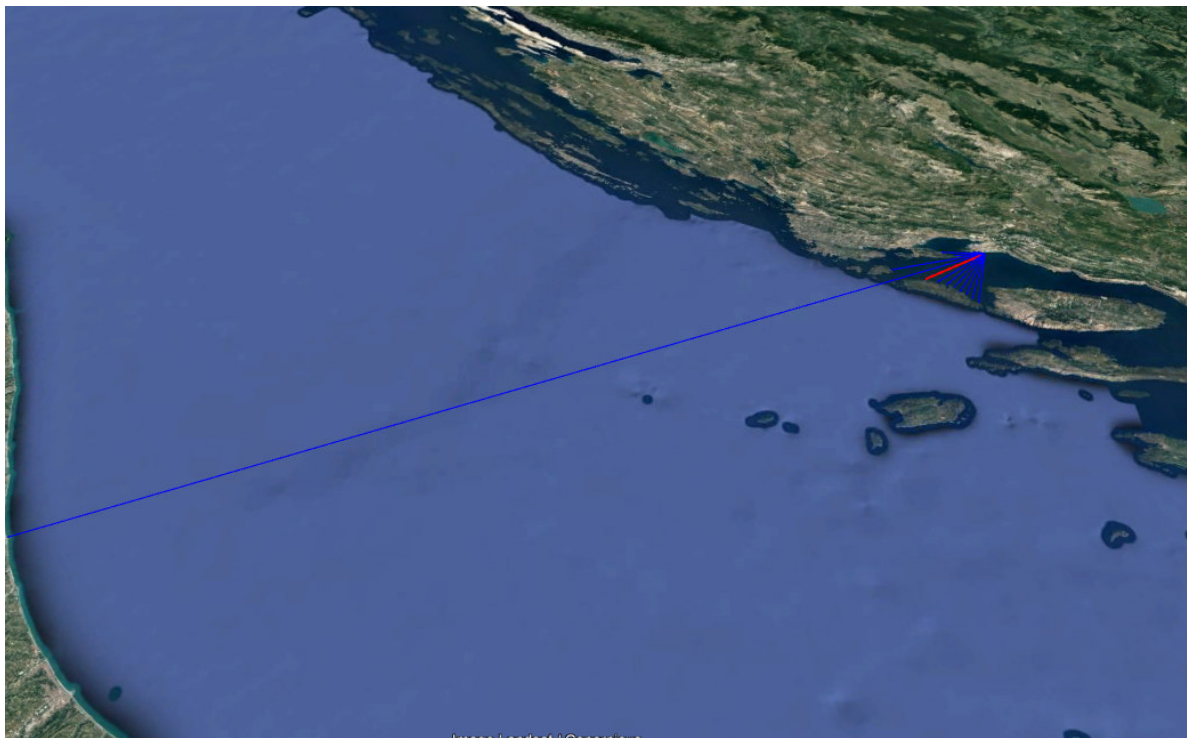
| | SWZENTAFetch | | | |
|--------|------------------|--------------|----------|----------------------|
| | Kut | cos | Fikm | Ficos2 |
| Number | Number | Number | Number | Number |
| 1 | Smjer SW Z... | | | |
| 2 | Kut α [°] | $\cos\alpha$ | Fi [km] | $Fi^*(\cos\alpha)^2$ |
| 3 | 42 | 0.7430 | 8.0200 | 4.4300 |
| 4 | 36 | 0.8090 | 24.2100 | 15.8400 |
| 5 | 30 | 0.8660 | 218.7500 | 164.0600 |
| 6 | 24 | 0.9140 | 19.5600 | 16.3200 |
| 7 | 18 | 0.9510 | 17.5100 | 15.8400 |
| 8 | 12 | 0.9780 | 16.4600 | 15.7500 |
| 9 | 6 | 0.9950 | 15.9900 | 15.8100 |
| 10 | 0 | 1 | 16.1400 | 16.1400 |
| 11 | -6 | 0.9950 | 16.5400 | 16.3600 |
| 12 | -12 | 0.9780 | 17.6300 | 16.8700 |
| 13 | -18 | 0.9510 | 18.0600 | 16.3300 |
| 14 | -24 | 0.9140 | 37.1600 | 31.0100 |
| 15 | -30 | 0.8660 | 11.8100 | 8.8600 |
| 16 | -36 | 0.8090 | 11.8200 | 7.7400 |
| 17 | -42 | 0.7430 | 11.8800 | 6.5600 |
| 18 | Σ | 13.5120 | | 367.9300 |
| 19 | Feff = | 27.2300 | | |



Slika 4.1.5. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SSW

Tablica 4.1.6. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SSW

| SSWZENTAFetch | | | | |
|---------------|------------------|--------------|------------|-----------------------|
| | Kut | cos | Fikm | Ficos2 |
| Number | Number | Number | Number | Number |
| 1 | Smjer SSW ... | | | |
| 2 | Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i^*(\cos\alpha)^2$ |
| 3 | 42 | 0.7430 | 17.7300 | 9.7900 |
| 4 | 36 | 0.8090 | 16.6800 | 10.9200 |
| 5 | 30 | 0.8660 | 15.8600 | 11.8900 |
| 6 | 24 | 0.9140 | 16.1000 | 13.4400 |
| 7 | 18 | 0.9510 | 16.1200 | 14.5800 |
| 8 | 12 | 0.9780 | 17.3100 | 16.5600 |
| 9 | 6 | 0.9950 | 18.2700 | 18.0700 |
| 10 | 0 | 1 | 18.8700 | 18.8700 |
| 11 | -6 | 0.9950 | 11.7700 | 11.6400 |
| 12 | -12 | 0.9780 | 11.7900 | 11.2900 |
| 13 | -18 | 0.9510 | 11.8700 | 10.7400 |
| 14 | -24 | 0.9140 | 12 | 10.0100 |
| 15 | -30 | 0.8660 | 12.2800 | 9.2100 |
| 16 | -36 | 0.8090 | 12.3900 | 8.1100 |
| 17 | -42 | 0.7430 | 12.7600 | 7.0500 |
| 18 | Σ | 13.5120 | | 182.1700 |
| 19 | Feff = | 13.4800 | | |



Slika 4.1.6.. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer WSW

Tablica 4.1.7. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer WSW

| Number | WSWZENTAFetch | | | |
|--------|------------------|---------|----------|-------------|
| | Kut | cos | Fikm | Ficos2 |
| Number | Number | Number | Number | Number |
| 1 | Smjer WSW... | | | |
| 2 | Kut α [°] | cosa | Fi [km] | Fi*(cosa)^2 |
| 3 | 42 | 0.7430 | 0.5900 | 0.3300 |
| 4 | 36 | 0.8090 | 1.6600 | 1.0800 |
| 5 | 30 | 0.8660 | 2.8500 | 2.1400 |
| 6 | 24 | 0.9140 | 10.1900 | 8.5100 |
| 7 | 18 | 0.9510 | 7.5400 | 6.8200 |
| 8 | 12 | 0.9780 | 24.1400 | 23.0900 |
| 9 | 6 | 0.9950 | 219.0600 | 216.6700 |
| 10 | 0 | 1 | 18.7500 | 18.7500 |
| 11 | -6 | 0.9950 | 17.2100 | 17.0200 |
| 12 | -12 | 0.9780 | 16.3200 | 15.6200 |
| 13 | -18 | 0.9510 | 16.0300 | 14.5000 |
| 14 | -24 | 0.9140 | 16.5600 | 13.8200 |
| 15 | -30 | 0.8660 | 16.7600 | 12.5700 |
| 16 | -36 | 0.8090 | 17.8400 | 11.6800 |
| 17 | -42 | 0.7430 | 18.1500 | 10.0300 |
| 18 | Σ | 13.5120 | | 372.6300 |
| 19 | Feff = | 27.5800 | | |

Kao mjerodavno privjetrište ovog sektora uzet je smjer WSW.

4.2. Formiranje uzorka vjetra za dugoročne valne prognoze

Dugoročna prognoza značajne valne visine H_s^{PR} s povratnim periodima $PP = 5, 10, 20, 50$ i 100 godina radi se na temelju uzorka značajne valne visine H_s .

Uzorak značajnih valnih visina za dugoročnu valnu prognozu dobiva se iz uzorka vjetra dobivenih prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda. Uzorak vjetra formira se iz tablice kontigencije vjetra s apsolutnim čestinama za razdoblje 2009.-2018. za meteorološku postaju Marjan (tablica 3.3.1.). S obzirom na odabranu sektorizaciju, uzorak vjetra se formira na način prikazan u tablici.

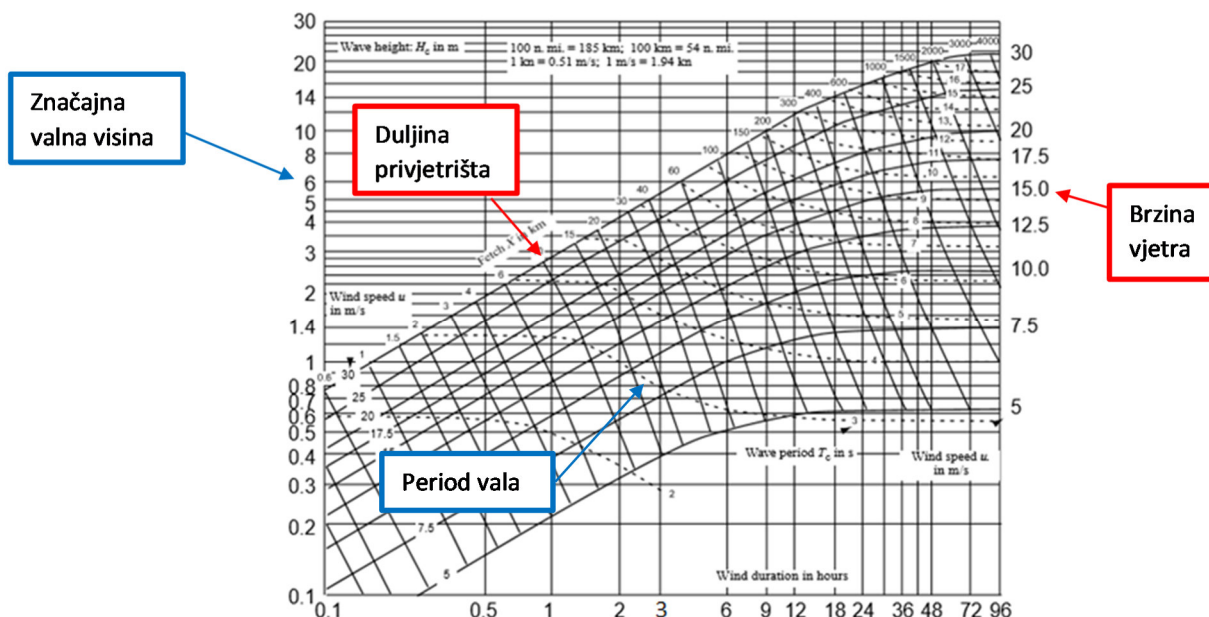
Tablica 4.2.1. Tablica kontigencije vjetra sa apsolutnim frekvencijama vjetra za Split, za period od 2009.-2018. podijeljena na sektore izloženosti: I i II.

| Uzorkovanje 10 godina od 2009 do 2018 stanica MARJAN | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| jač. (Bf) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | zbroj |
| brz. (m/s) | 0,0- 0,2 | 0,3- 1,5 | 1,6- 3,3 | 3,4- 5,4 | 5,5- 7,9 | 8,0- 10,7 | 10,8- 13,8 | 13,9- 17,1 | 17,2- 20,7 | 20,8- 24,4 | 24,5- 28,4 | 28,5- 32,6 | 32,7- 36,9 | |
| NNE | | 1147 | 1343 | 741 | 543 | 348 | 152 | 60 | 27 | 13 | 3 | 0 | 0 | 4377 |
| NE | | 2010 | 4586 | 4409 | 4623 | 3282 | 1235 | 291 | 86 | 31 | 5 | 0 | 0 | 20558 |
| ENE | | 1450 | 3857 | 2000 | 485 | 146 | 34 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7975 |
| E | | 1078 | 1474 | 700 | 142 | 28 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3427 |
| ESE | | 838 | 1160 | 1175 | 1067 | 598 | 167 | 40 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5058 |
| SE | | 972 | 1150 | 1594 | 2682 | 2265 | 1517 | 412 | 64 | 9 | 3 | 0 | 0 | 10668 |
| SSE | | 712 | 520 | 196 | 148 | 162 | 132 | 73 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1952 |
| S | | 1227 | 1039 | 211 | 168 | 152 | 72 | 31 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2909 |
| SSW | | 1191 | 1185 | 220 | 114 | 101 | 67 | 29 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2910 |
| SW | | 2656 | 5056 | 1719 | 154 | 38 | 19 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9645 |
| WSW | | 1461 | 1830 | 1336 | 166 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4795 |
| W | | 320 | 463 | 138 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 942 |
| WNW | | 325 | 531 | 78 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 939 |
| NW | | 864 | 1537 | 392 | 33 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2827 |
| NNW | | 575 | 484 | 159 | 33 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1269 |
| N | | 1179 | 974 | 308 | 114 | 23 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2606 |
| C | 1052 | | | | | | | | | | | | | 1052 |
| zbroj | 1052 | 18005 | 27189 | 15376 | 10497 | 7163 | 3410 | 942 | 210 | 54 | 11 | 0 | 0 | 83909 |

Tablica 4.2.2.. Tablica relativne kontigencije za meteorološku postaju Marjan za razdoblje
1.1.2009.-31.12.2018.

| jač. (Bf) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|----------|
| brz. (m/s) | 0 | 0,3 | 1,6 | 3,4 | 5,5 | 8 | 10,8 | 13,9 | 17,2 | 20,8 | 24,5 | 28,5 | 32,7 | |
| | {0.0- 0.2> | {0.3- 1.5> | {1.6- 3.3> | {3.4-5.4> | {5.5-8.0> | {8.0- 10.7> | {10.8- 13.8> | {13.9- 17.1> | {17.2- 20.7> | {20.8- 24.4> | {24.5- 28.4> | {28.5- 32.6> | {32.7> | |
| NNE | - | 13,67 | 16,01 | 8,83 | 6,47 | 4,15 | 1,81 | 0,72 | 0,32 | 0,15 | 0,04 | - | - | 52,16 |
| NE | - | 23,95 | 54,65 | 52,55 | 55,10 | 39,11 | 14,72 | 3,47 | 1,02 | 0,37 | 0,06 | - | - | 245,00 |
| ENE | - | 17,28 | 45,97 | 23,84 | 5,78 | 1,74 | 0,41 | 0,04 | - | - | - | - | - | 95,04 |
| E | - | 12,85 | 17,57 | 8,34 | 1,69 | 0,33 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | 40,84 |
| ESE | - | 9,99 | 13,82 | 14,00 | 12,72 | 7,13 | 1,99 | 0,48 | 0,15 | - | - | - | - | 60,28 |
| SE | - | 11,58 | 13,71 | 19,00 | 31,96 | 26,99 | 18,08 | 4,91 | 0,76 | 0,11 | 0,04 | - | - | 127,14 |
| SSE | - | 8,49 | 6,20 | 2,34 | 1,76 | 1,93 | 1,57 | 0,87 | 0,10 | 0,01 | - | - | - | 23,26 |
| S | - | 14,62 | 12,38 | 2,51 | 2,00 | 1,81 | 0,86 | 0,37 | 0,11 | - | - | - | - | 34,67 |
| SSW | - | 14,19 | 14,12 | 2,62 | 1,36 | 1,20 | 0,80 | 0,35 | 0,04 | - | - | - | - | 34,68 |
| SW | - | 31,65 | 60,26 | 20,49 | 1,84 | 0,45 | 0,23 | 0,04 | - | - | - | - | - | 114,95 |
| WSW | - | 17,41 | 21,81 | 15,92 | 1,98 | 0,02 | - | - | - | - | - | - | - | 57,15 |
| W | - | 3,81 | 5,52 | 1,64 | 0,24 | 0,01 | - | - | - | - | - | - | - | 11,23 |
| WNW | - | 3,87 | 6,33 | 0,93 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | - | - | 11,19 |
| NW | - | 10,30 | 18,32 | 4,67 | 0,39 | 0,01 | - | - | - | - | - | - | - | 33,69 |
| NNW | - | 6,85 | 5,77 | 1,89 | 0,39 | 0,19 | 0,02 | - | - | - | - | - | - | 15,12 |
| N | - | 14,05 | 11,61 | 3,67 | 1,36 | 0,27 | 0,10 | - | - | - | - | - | - | 31,06 |
| C | 12,54 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 12,54 |
| zbroj | 12,54 | 214,58 | 324,03 | 183,25 | 125,10 | 85,37 | 40,64 | 11,23 | 2,50 | 0,64 | 0,13 | - | - | 1.000,00 |

Za odabrane razrede brzina i njihovu višu granicu te pripadajuće privjetrište pojedinog sektora, metodom Groen Dorrestein očitavaju se parametri vala u dubokom moru- značajne valne visine H_s , te pripadajući periodi vala- T za promatranu situaciju.



Slika 4.2.1. Groen Dorrestein dijagram

4.3. Proračun značajnih valnih visina za duga povratna razdoblja

Tablica 4.3.1. Uzorak značajnih valnih visina i pripadajućih perioda na lokaciji obuhvata

| OPIS | Brzina vjetra [m/s] | 5,4 | 7,9 | 10,7 | 13,8 | 17,1 | 20,7 | 24,4 | 28,4 | 32,6 | 36,9 |
|-----------|---------------------|----------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Vjetar [Bf] | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Sektor I | Privjetrište [km] | Feff1=15,43 km | | | | | | | | | |
| | Učestalost | 2965 | 3897 | 3025 | 1816 | 525 | 85 | 10 | 3 | 0 | 0 |
| | Ts[s] | 2,23 | 2,72 | 3,09 | 3,39 | 3,65 | 4,01 | 4,4 | 4,78 | 5,16 | 5,5 |
| | Hs [m] | 0,43 | 0,7 | 1,022 | 1,39 | 1,76 | 2,22 | 2,7 | 3,17 | 3,66 | 4,15 |
| Sektor II | Privjetrište [km] | Feff2=27,58 km | | | | | | | | | |
| | Učestalost | 3275 | 434 | 141 | 86 | 32 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Ts[s] | 2,64 | 3,22 | 3,67 | 4,13 | 4,44 | 4,79 | 5,16 | 5,47 | 5,65 | 6,2 |
| | Hs [m] | 0,51 | 0,87 | 1,27 | 1,75 | 2,25 | 2,83 | 3,48 | 4,08 | 4,7 | 5,34 |

Za uzorak valova iz tablice 4.3.1. radi se metoda dugoročne valne analize uz primjenu Gumbelove distribucije i izraza **Error! Reference source not found.** za ekstrapolaciju valne visine za pojedina povratna razdoblja ($T_R=5, 10, 20, 50, 100$).

$$P(H' \leq H) = 1 - \frac{1}{\lambda T_R}$$

$$H_{T_R} = \gamma - \beta \ln \left(\ln \left[\frac{\lambda T_R}{\lambda T_R - 1} \right] \right) ;$$

gdje su:

T_R – traženi povratni period

H_{T_R} – značajna visina vala za traženi povratni period ekstrapolirana uz pomoć distribucije definirane na mjerenjima od 30 godina (1982.-2012.)

λ - parametar koji predstavlja odnos ukupnog broja pojavljivanja valova iznad odabrane granične visine vala i broja godina u kojem je promatran uzorak

$$\lambda = \frac{\sum N(H > H_{gr})}{N_{godina}}$$

Parametar λ je drugačiji za svaki ranije definirani sektor u ovisnosti o učestalosti, a H_{gr} je pojedinom smjeru pripadajuća visina vala za jačinu vjetra od 3 Bf.

Definiranje pripadajućih perioda za dobivene značajne visine vala odrađen je na isti način, statističkom obradom uz upotrebu Gumbelove distribucije i korištenjem iste formule za ekstrapolaciju .

Da bi se na postojeći uzorak valova mogla primjeniti teorijska Gumbelova distribucija vjerojatnosti, potrebno je prvo odrediti empirijsku distribuciju vjerojatnosti. Za to se proračunavaju vjerojatnosti prekoračenja prema kompromisnoj Hazenovoj formuli:

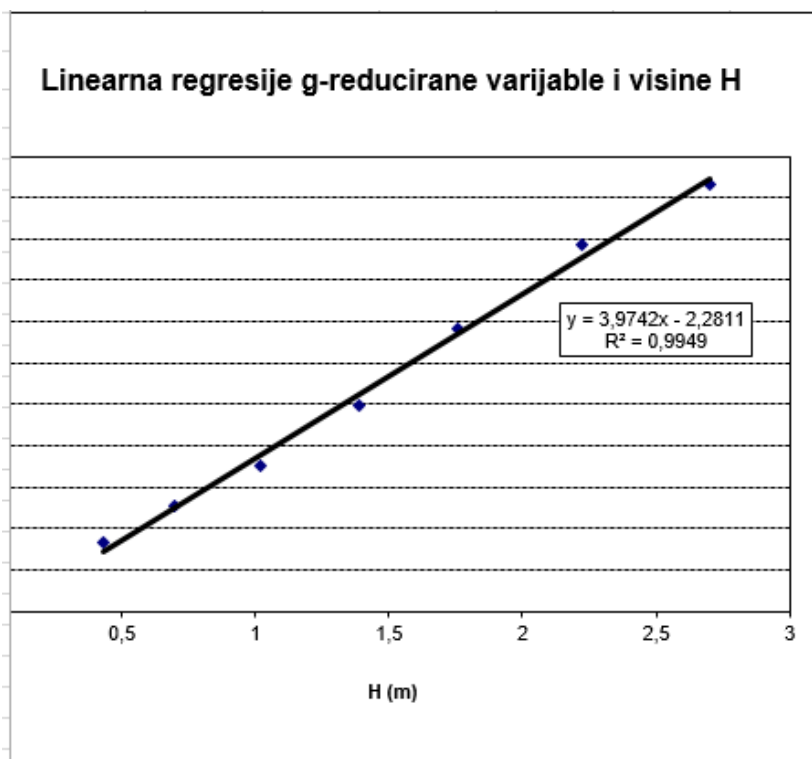
$$Q(H_{S,i}) = P(H_S \geq H_{S,i}) = \frac{2 \cdot N_i - 1}{2N}$$

Gdje je $Q(H_{S,i})$ vjerojatnost prekoračenja određene visine vala, $H_{S,i}$, N_i predstavlja učestalost i-tog razreda valova, a N je ukupan broj pojavljivanja svih valova za određeni sektor.

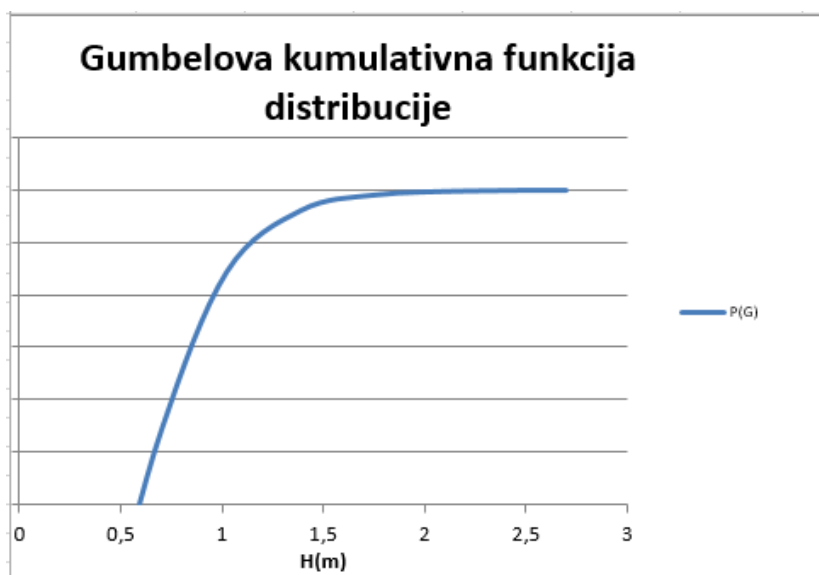
U nastavku slijedi po jedan primjer grafičkog prikaza linearne regresije reducirane Gumbelove varijable (G) korištene za dobivanje gore spomenutih koeficijenata (iz faktora pravca regresije) i pripadajuće distribucije za dobivanje značajne visine vala za sektor I (jugo). Za sve sektore obaju akvatorija proračunati rezultati su dani u tablicama

Tablica 4.3.2. Prikaz pridruživanja empirijskih vrijednosti uzorku valova za 10 godina podataka, za sektor I

| T [m] | | | N | P | Q | G | P_G |
|--------------|------|------|----------|----------|----------|-------------------------|----------------------|
| 2,32 | 6976 | 5,92 | 2965 | 0,2405 | 0,759 | -0,354 | 0,04486 |
| 2,72 | 4387 | 5,64 | 3897 | 0,5567 | 0,443 | 0,535 | 0,59193 |
| 3,09 | 3566 | 5,28 | 3025 | 0,8021 | 0,198 | 1,512 | 0,90374 |
| 3,39 | 3258 | 5,27 | 1816 | 0,9495 | 0,051 | 2,959 | 0,97368 |
| 3,64 | 2198 | 5,53 | 525 | 0,9920 | 0,008 | 4,831 | 0,99126 |
| 4,01 | 1795 | 5,06 | 85 | 0,9989 | 0,001 | 6,854 | 0,99831 |
| 4,4 | | | 10 | 0,9998 | 0,000 | 8,321 | 0,99970 |
| 4,78 | | | 3 | 1,0000 | 0,000 | $\ln(0) \approx \infty$ | 0,99994 |
| 5,16 | | | 0 | 1,0000 | 0,000 | $\ln(0) \approx \infty$ | 0,99999 |
| 5,52 | | | 0 | 1,0000 | 0,000 | $\ln(0) \approx \infty$ | 1,00000 |



Slika 4.3.1. Linearna regresija G- reducirane varijable za sektor I



Slika 4.3.2. Pripadajuća Gumbelova distribucija za sektor I

U tablicama 4.3.3. i 4.3.4. za promatrani akvatorij su dane dugoročne ekstremne značajne visine vala (H_s^{PP}) i pripadajući periodi vala (T_0^{PP}) dobiveni za povratne periode od 5, 10, 20, 50 i 100 godina ekstrapolacijom iz Gumbelove distribucije za svaki od sektora pojedinačno. Uz navedene veličine prikazane su još i prognozirane desetinske ($H_{1/10}^{PP}$), stotinske ($H_{1/100}^{PP}$) i maksimalne valne visine (H_{max}^{PP}) za svaki sektor i povratni period, te pripadajući vršni spektralni period (T_P^{PP}) i valna duljina (L_0).

Tablica 4.3.3. Prikaz prognoziranih vrijednosti visina vala i pripadajući periodi vala za Sektor I akvatorija ($H_{1/10}=1.27 \cdot H_s$; $H_{1/100}=1.67 \cdot H_s$; $H_{max}=1.8 \cdot H_s$; $T_p=1.1T_0$)

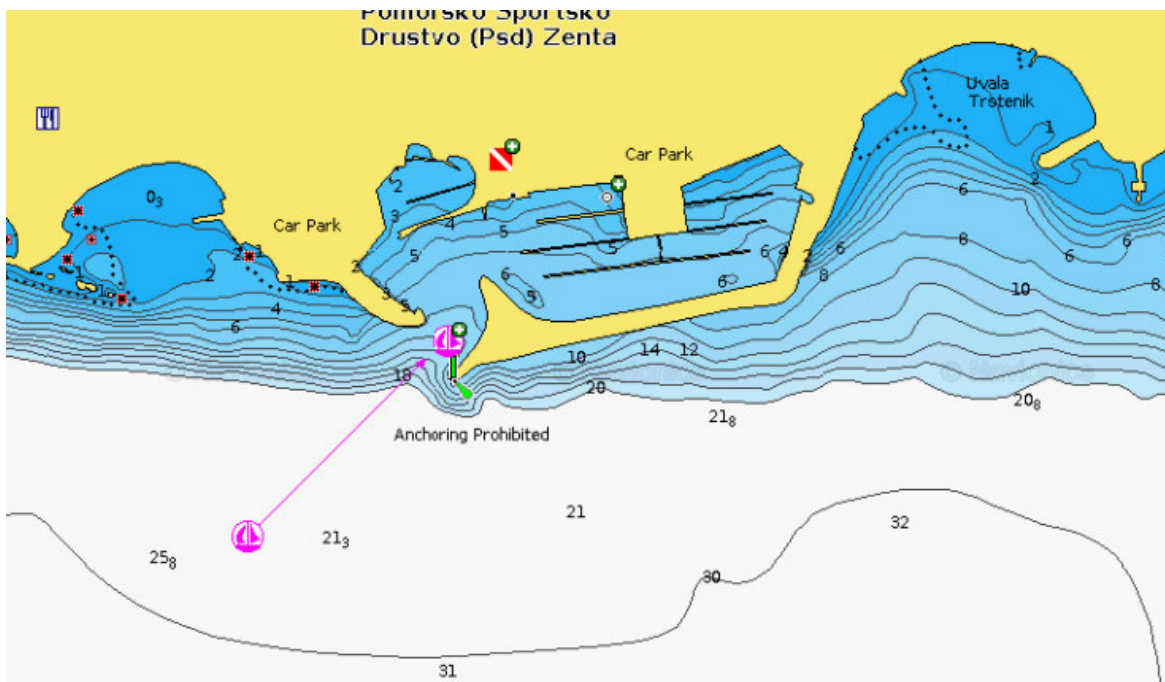
| PP | SEKTOR I | | | | | | |
|-----|----------|-------|--------|--------|------|-------|------|
| | Hs | H1/10 | H1/100 | H1/max | T0 | L0 | TP |
| | (m) | (m) | (m) | (m) | (s) | (m) | (s) |
| 100 | 3,52 | 4,47 | 5,88 | 6,34 | 5,21 | 42,43 | 5,73 |
| 50 | 3,35 | 4,25 | 5,59 | 6,03 | 5,06 | 39,92 | 5,56 |
| 20 | 3,12 | 3,96 | 5,21 | 5,61 | 4,85 | 36,74 | 5,33 |
| 10 | 2,94 | 3,74 | 4,92 | 5,30 | 4,69 | 34,41 | 5,16 |
| 5 | 2,77 | 3,52 | 4,63 | 4,99 | 4,54 | 32,16 | 4,99 |

Tablica 4.3.4. Prikaz prognoziranih vrijednosti visina vala i pripadajući periodi vala za Sektor II akvatorija ($H_{1/10}=1.27 \cdot H_s$; $H_{1/100}=1.67 \cdot H_s$; $H_{max}=1.8 \cdot H_s$; $T_p=1.1T_0$)

| PP | SEKTOR II | | | | | | |
|-----|-----------|-------|--------|--------|------|-------|------|
| | Hs | H1/10 | H1/100 | H1/max | T0 | L0 | TP |
| | (m) | (m) | (m) | (m) | (s) | (m) | (s) |
| 100 | 3,52 | 4,47 | 5,87 | 6,33 | 6,00 | 56,18 | 6,60 |
| 50 | 3,29 | 4,18 | 5,49 | 5,92 | 5,75 | 51,60 | 6,32 |
| 20 | 2,99 | 3,79 | 4,99 | 5,38 | 5,42 | 45,85 | 5,96 |
| 10 | 2,76 | 3,50 | 4,61 | 4,97 | 5,17 | 41,72 | 5,68 |
| 5 | 2,53 | 3,21 | 4,23 | 4,56 | 4,92 | 37,79 | 5,41 |

5. DEFORMACIJE VALA NA PODRUČJU PREDMETNE LOKACIJE

5.1. Općenito



Slika 5.1.1. Batimetrijska svojstva zone obuhvata (Navionics)

Profil i parametri vala postepeno se mijenjaju kad se val rasprostire iz dubokog mora prema plitkom. 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 difrakcija i refleksija isključivo ovise o prepreci koja se može nalaziti u dubokom ili u zoni utjecaja dna. Kada bi se uzeli svi utjecaji, visina vala na nekoj točki putanje od dubokom ka plićem moru bi se definirala na sljedeći način:

$$H = H_0 \cdot K_R \cdot K_S \cdot K_D \cdot K_f \cdot K_{refl}$$

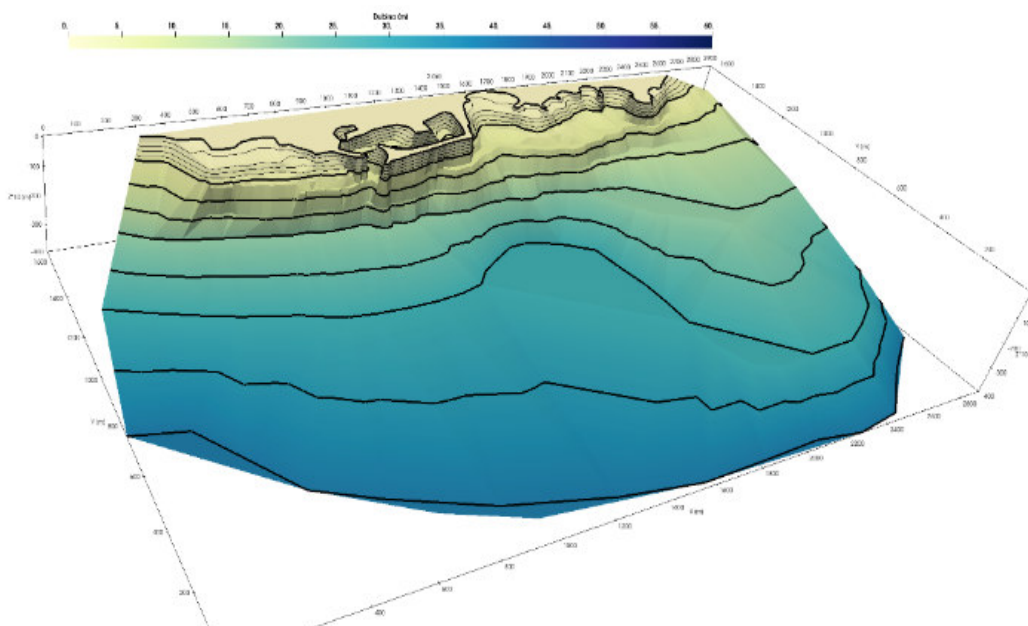
Gdje je H_0 visina vala u dubokom moru a K su redom koeficijenti utjecaja refrakcije, uplićavanja, difrakcije, trenja i refleksije.

Treba napomenuti da deformacija valova uslijed trenja s dnom ima mali utjecaj u odnosu na ukupnu deformaciju valova pa se koeficijent trenja najčešće zanemaruje. Najznačajnije deformacije na predmetnoj lokaciji uzrokuje refrakcija.

Lom vala se može definirati na više načina no ovdje su za potrebe definiranja visine vala nakon sloma u plitkoj zoni korišteni izrazi prema Godi (Goda 2000).

U usporedbi valova smjera iz dva dominantna sektora, smjer SE definira se kao dominantan jer se radi o valu čiji je incidentni kut upada nepovoljniji a i zbog položaja obalne crte i budućeg zahvata.

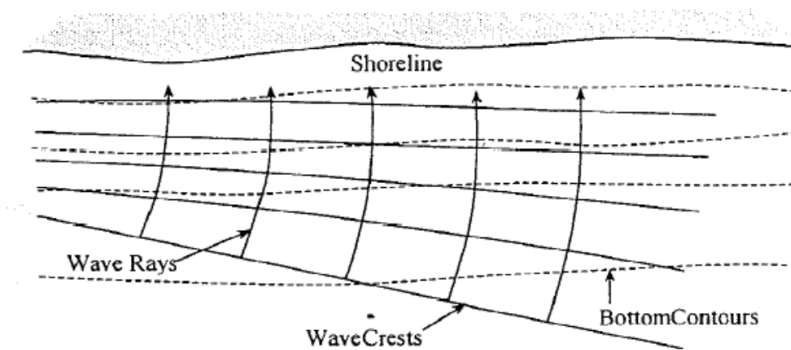
Koristeći RSBWave (Refraction-Shoalin-Break) izračunati su utjecaji refrakcije, uplićavanja i loma vala te kao konačni rezultat polje valnih visina.



Slika 5.1.2. 3D prikaz batimetrije za akvatorij Zente

5.2. Refrakcija

Za razliku od uplićavanja, kod refrakcije, zrake vala sa normalom na obalnu crtu zatvaraju kut veći od nula stupnjeva. Val se transformira iz zone dubokog mora prema obali na način da se navedeni kut smanjuje, a zraka vala u trenutku dodira obalne crte poklapa se sa normalom na obalnu crtu. Sve navedeno posljedica je promjene batimetrije tj. smanjenja dubine sa prilaskom vala obalnoj crti.

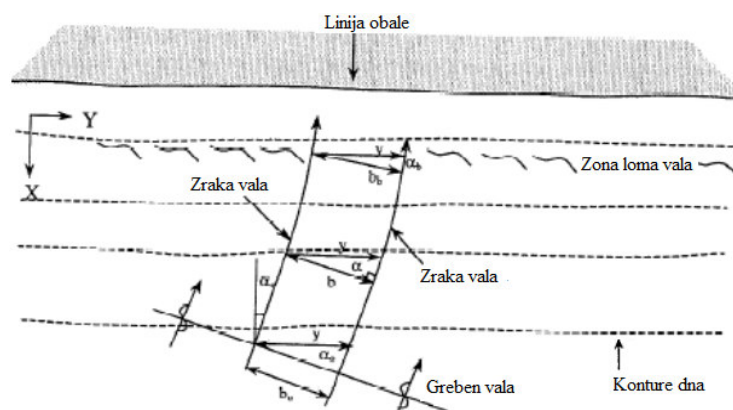


Slika 5.2.1. Grafički prikaz refrakcije

Na prethodnoj slici grebeni vala prikazani su krivuljama za razliku kod efekta uplićavanja. Valna brzina, kako je već pokazano, funkcija je dubine i opada proporcionalno smanjenju dubine. Krivulje koje predstavljaju grebene vala sijeku se sa izobatama. Na presjecištima sa izobatama koje predstavljaju manju dubinu mora val posjeduje manju valnu brzinu. Udaljavajući se od obalne crte po grebenu vala, valna duljina i brzina rastu. Ovo ima za posljedicu da greben iz dubljeg mora sustigne greben u plićećem moru zbog veće valne brzine. Na taj način grebeni vala u neposrednoj blizini obale paralelni su s obalom a valne zrake koincidiraju sa normalama na obalnu crtu.

Iz održanja protoka energije među zrakama vala dolazi se do koeficijenta refrakcije. Polazi se od pretpostavke da izobate nemaju lomova. Sva energija prenosi se uzduž zrake vala i nema protoka energije okomito na zraku.

S obzirom da se svaka zraka vala refraktira po istom zakonu, međusobna udaljenost zraka u smjeru pružanja obale ostaje konstanta. Pomoću grafičke metode- Snellovog zakona, možemo izračunati potrebni koeficijent refrakcije, a poznavajući visinu vala u dubokom moru (H_0), lako će nam biti izračunati visinu vala na potrebnoj dubini.

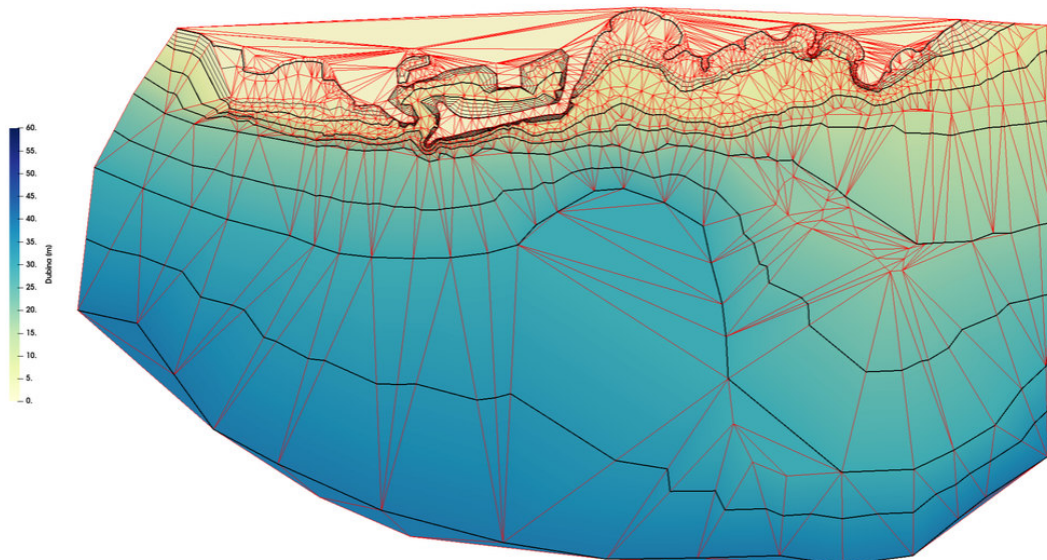


Slika 5.2.2. Snellov zakon

Koeficijent refrakcije možemo izračunati iz izraza:

$$K_R = \sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

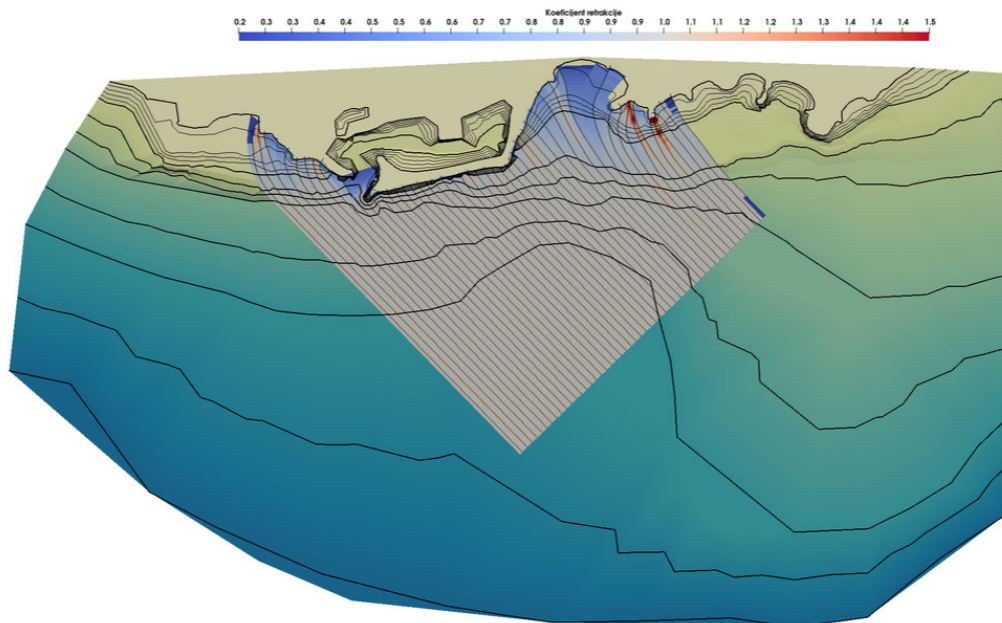
Gdje je b_0 razmak između zraka u dubokom moru, a b razmak između zraka na traženoj lokaciji. Za izradu plana refrakcije koristi se metoda eksplicitnog postupka numeričke integracije diferencijalne jednačbe zrake vala koja je integrirana u RBSWave. Morska površina na području Zente prekrivena je mrežom konačnih elemenata. Elementi su trokutasti tako da svakom elementu pripadaju tri čvora i zadani su na način da čvorovi leže na zadanim izobatama, te je sama mreža konačnih elemenata progušćena u blizini obale gdje se i očekuju značajne transformacije valova. Ulazne podatke čine geometrija područja, batimetrija te parametri vala u dubokom moru.



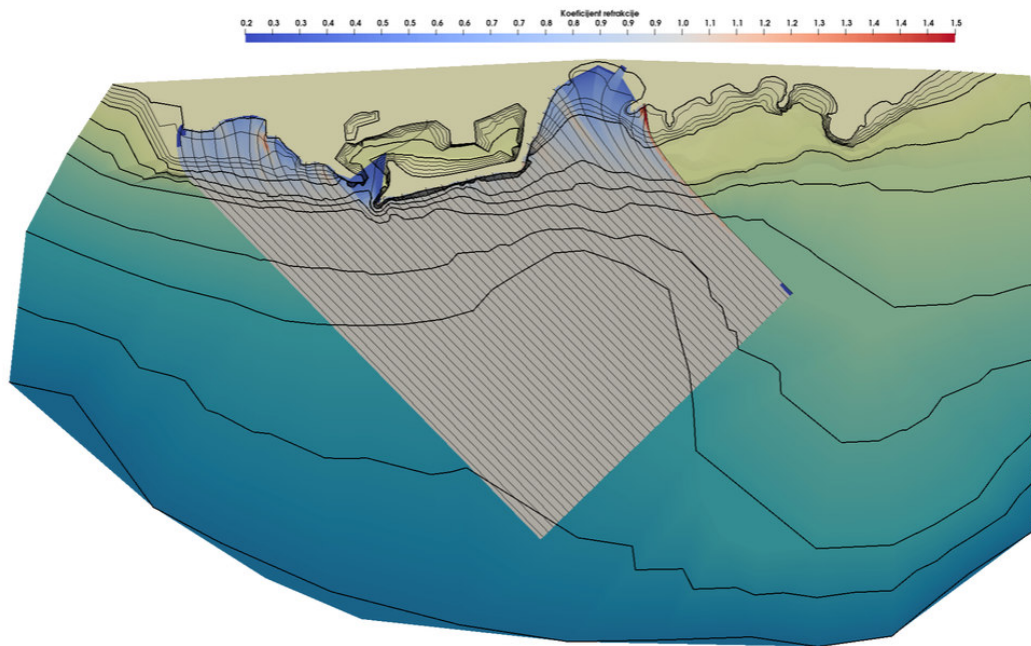
Slika 5.2.3. mreža konačnih elemenata za akvatorij Zente

Proračun i plan refrakcije su napravljeni za 2 sektora (jugo i lebić) i to za val s povratnim periodom 5 i 100 godina. Za dimenzioniranje lukobrana najčešće se uzima stogodišnji val, dok je izračunat i petogodišnji kako bi se provjerio utjecaj istog na promatrano područje.

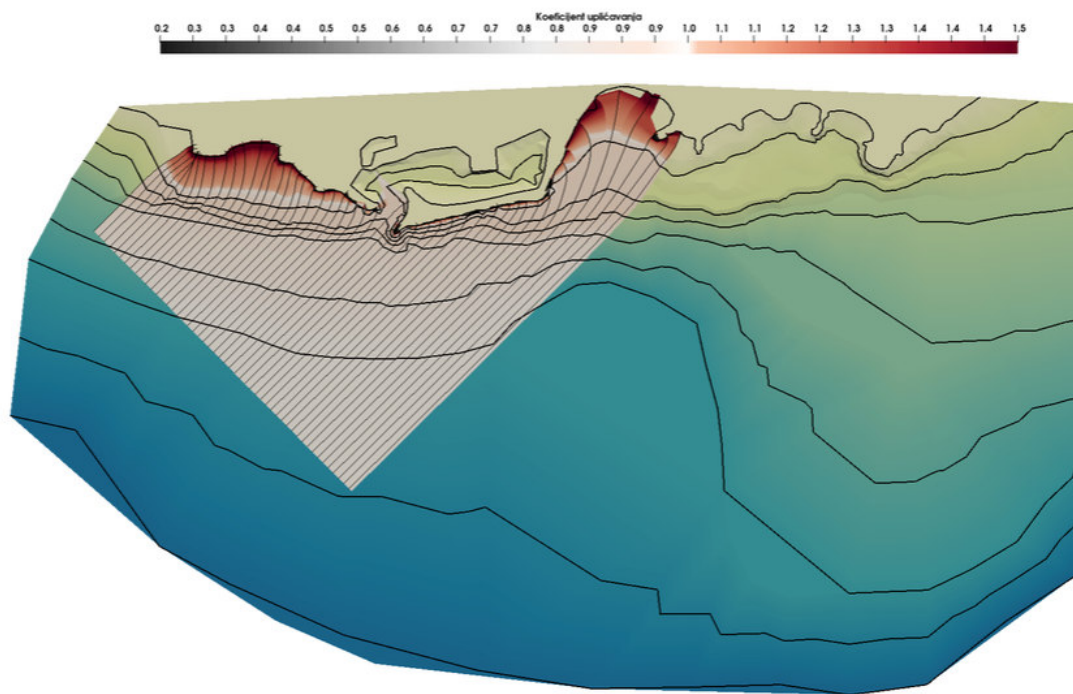
Na narednim slikama prikazani su rezultati refrakcije u obliku plana refrakcije- zraka koje se prostiru iz dubljeg mora prema plićem, za smjer jugo i to redom za stogodišnji i petogodišnji povratni period.



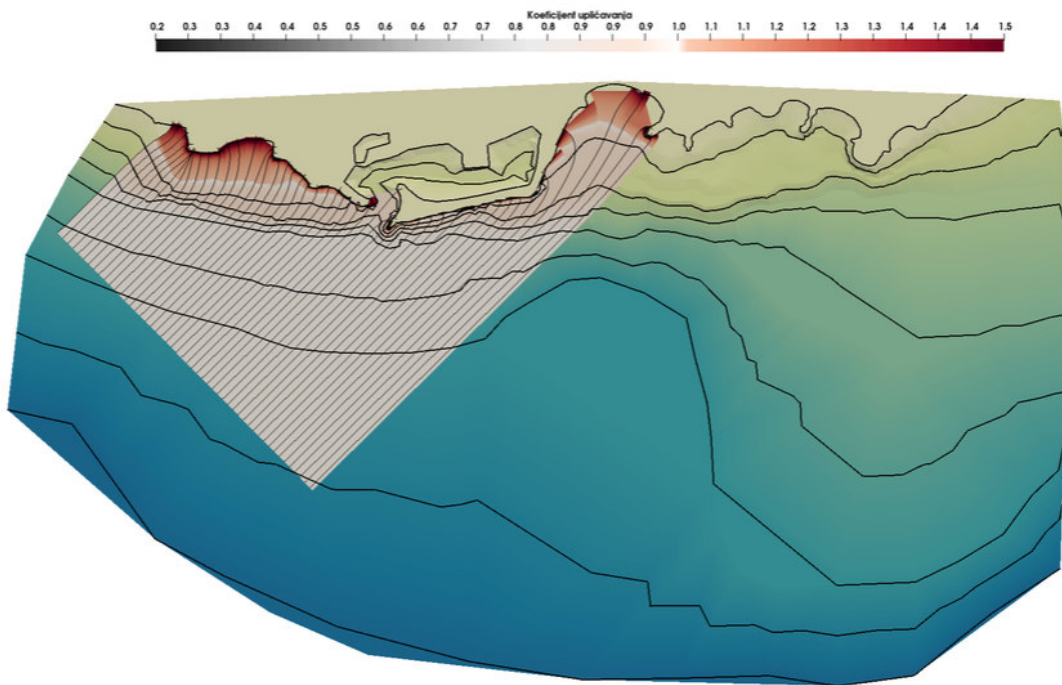
Slika 5.2.4. Plan refrakcije za sektor I ($H_s = 3,52m, T = 5,21s$) za stogodišnji val



Slika 5.2.5. Plan refrakcije za sektor I ($H_s = 2,77m, T = 4,54s$) za petogodišnji val



Slika 5.2.6. Plan refrakcije za sektor II ($H_s = 3,52m, T = 6s$) za stogodišnji val



Slika 5.2.7. Plan refrakcije za sektor II ($H_s = 2,53m, T = 4,92s$) za petogodišnji val

5.3. Uplićavanje

Uplićavanje (engl. Shoaling) predstavlja deformaciju na nagnutom dnu zbog smanjenja dubine. Nastaje kada val nailazi okomito na ravnu obalu čije su izobate paralelne s linijom obale. Iz analize valova kratkih perioda čiji je pravac napredovanja okomit na izobate morskog dna te primjenom zakona održanja protoka energije na jedinicu širine grebena u dubokom i plićem moru, proizlazi:

$$E_0 \cdot c_{g_0} = E \cdot c_g$$

Gdje je:

E_0 – srednja kinetička energija na jedinicu dužine vala u dubokom moru

c_{g_0} – brzina grupe valova u dubokom moru

E – srednja kinetička energija na jedinicu dužine vala u plićem moru, na mjestu na kojem računamo deformaciju vala zbog smanjenja dubine

c_g – brzina grupe valova na mjestu na kojem računamo deformaciju vala zbog smanjenja dubine

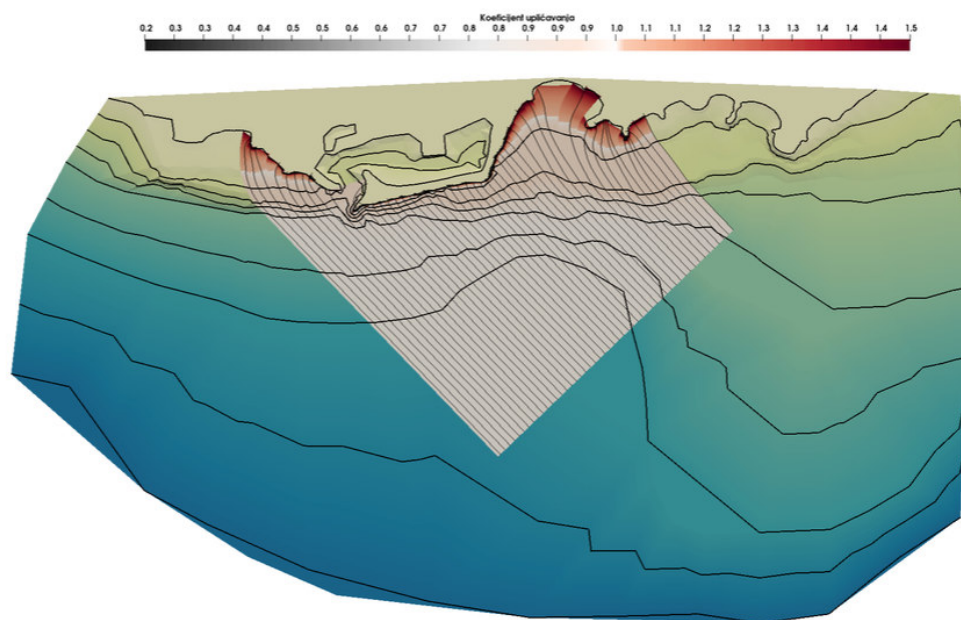
Ako se u ovaj izraz uvrsti izraz za srednju energiju vala po jedinici dužine, uređenjem jednadžbe dolazi se do izraza za definiciju visine vala u ovisnosti o uplićavanju i početnoj visini vala iz dubokog mora.

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 \cdot c_{g_0}}{n \cdot c_{g_d}}}$$

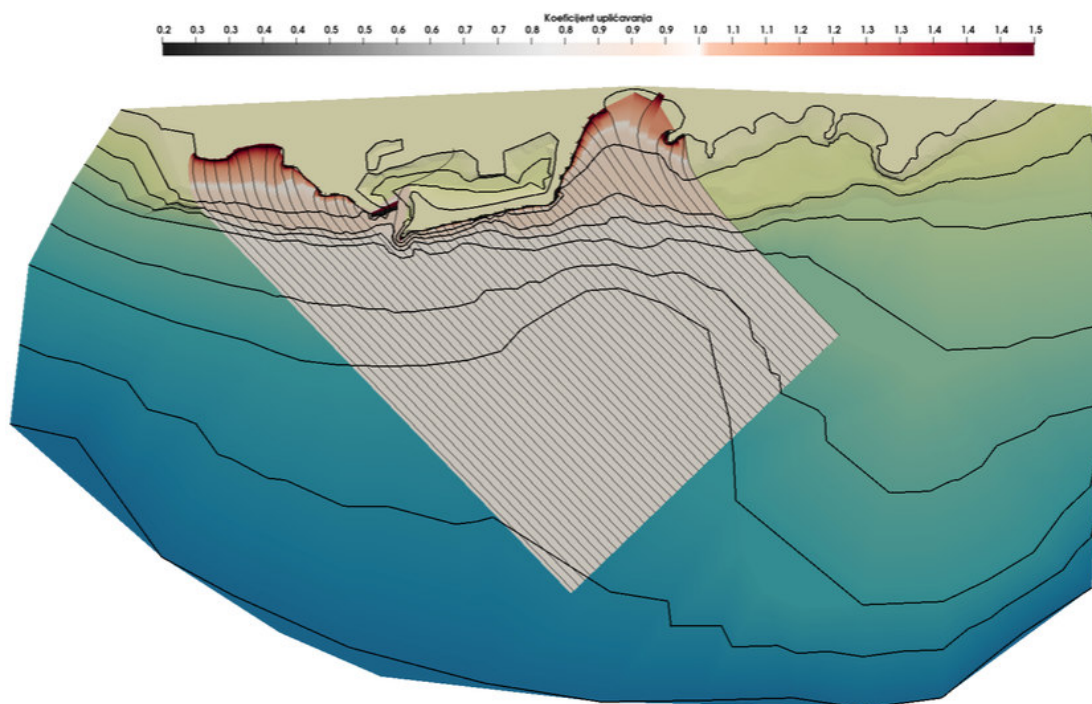
$$H = \sqrt{\frac{n_0 \cdot c_{g_0}}{n \cdot c_{g_d}}} \cdot H_0 = K_S \cdot H_0$$

Gdje je K_S koeficijent uplićavanja.

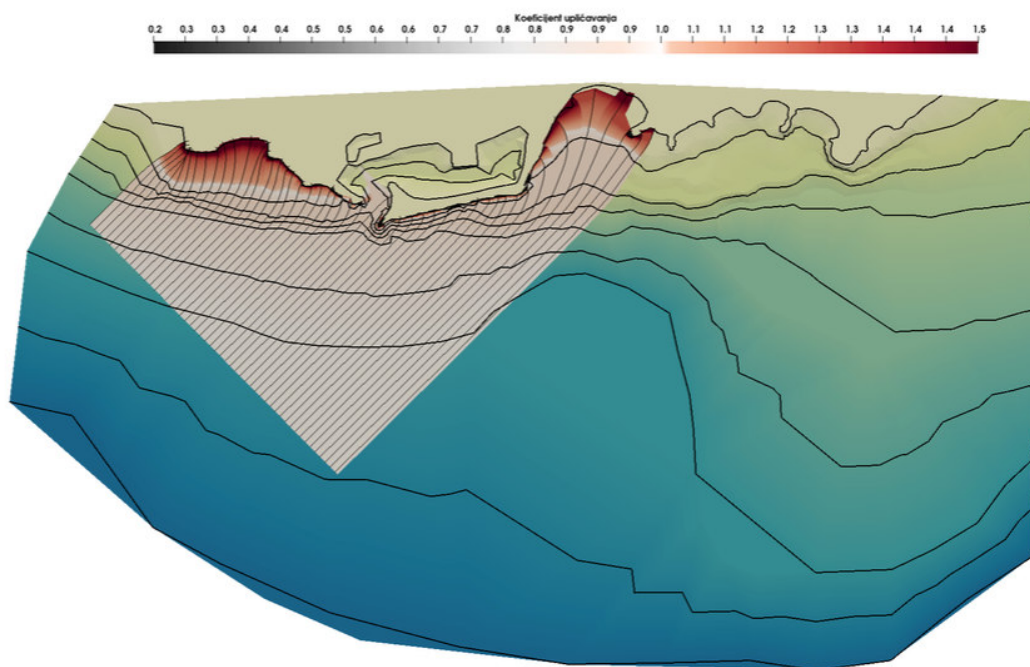
U priloženim rezultatima vidljivo je da koeficijent uplićavanja sa smanjenjem dubine postepeno opada, a nakon što se dogodio lom, lokalno može i porasti. No val nakon loma više nema istu visinu već se minimalno smanji napola, energija se u lomu potroši i na obalu dolazi značajno manje visine i energije. Iz navedenog razloga, koeficijent uplićavanja ima značajan utjecaj na proračun isključivo prije loma.



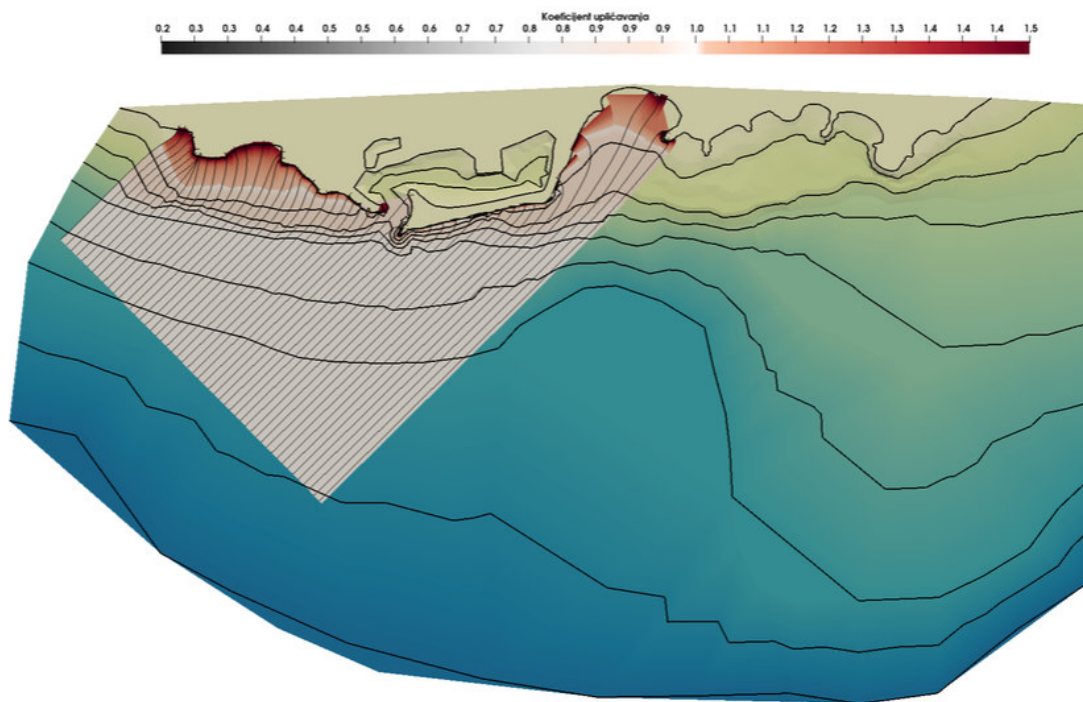
Slika 5.3.1. Utjecaj uplićavanja za sektor I ($H_s = 3,52m, T = 5,21s$) za stogodišnji val



Slika 5.3.2. Utjecaj uplićavanja za sektor I ($H_s = 3,52m, T = 5,21s$) za petogodišnji val



Slika 5.3.3. Utjecaj uplićavanja za sektor II ($H_s = 3,52m, T = 6s$) za stogodišnji val



Slika 5.3.4. Utjecaj uplićavanja za sektor II ($H_s = 3,52m, T = 6s$) za petogodišnji val

5.4. Lom vala

Kod oblikovanja plaža važno je odrediti područje na kojem dolazi do loma vala. Kada se val rasprostire prema plaži mijenja se strmost vala. Strmost vala se definira kao kvocijent visine i dužine vala. Idealan val može zadržati stabilnu formu, dakle neće se lomiti samo ako mu je strmost manja od maksimalne strmosti za određenu dubinu.

Maksimalna strmost vala u dubokoj vodi ($d > L_o/2$) određena je izrazom:

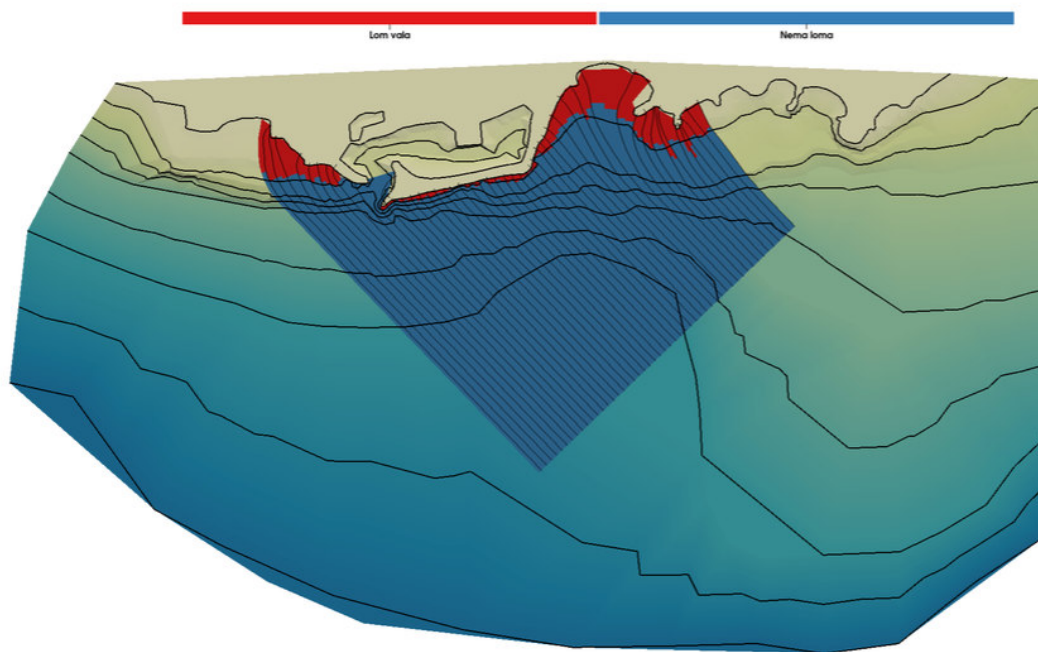
$$\left(\frac{H_o}{L_o}\right)_{\max} = 0.142$$

Dubokovodni valovi ne reagiraju s dnom tako da im strmost može povećati samo vjetar i na taj način dovesti do loma kad se prekorači $(H_o/L_o)_{\max}$. Maksimalna strmost vala u plićem moru ($d < L/2$) određena je izrazom:

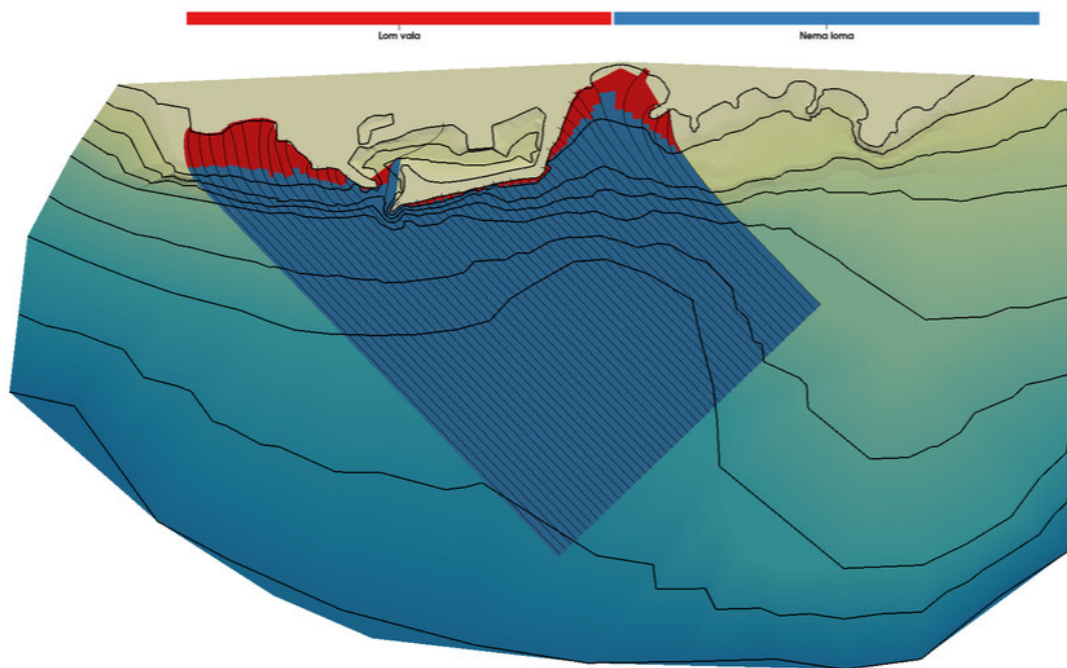
$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 0.142 \cdot \operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi D}{L}\right)$$

Valovi u plitkom reagiraju s dnom što rezultira povećanjem strmosti i lomom vala ako se prekorači $(H/L)_{\max}$, a izraz **Error! Reference source not found.** gubi *tgh* iz izraza.

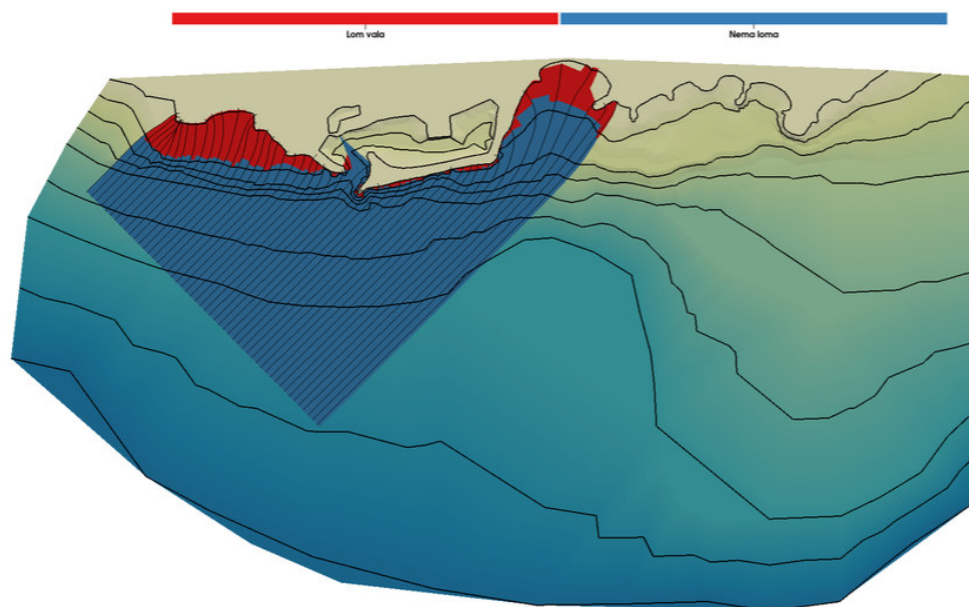
Proračun dubine, s obzirom na prekoračenje maksimalne strmosti na kojoj se val lomi se obavio iterativno u programu RSBWave, te su neke od izračunatih dubina dane u tablici . Iz grafičkog prikaza je vidljivo da se val ne lomi na konstrukciji, te ova deformacija nema utjecaj na projektne parametre lukobrana.



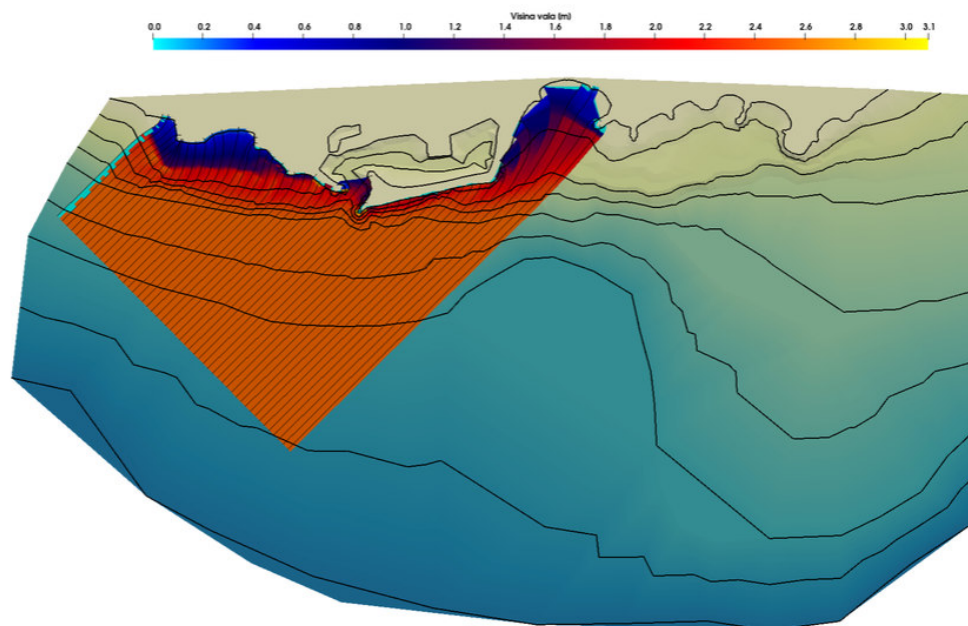
Slika 5.4.1. Detekcija loma vala za sektor I : stogodišnji val ($H_s = 3,52m, T = 5,21s$)



Slika 5.4.2. Detekcija loma vala za sektor I : petogodišnji val ($H_s = 2,77m, T = 4,54s$)



Slika 5.4.3. Detekcija loma vala za sektor 2 :stogodišnji val $H_s = 3,52m, T = 6s$



Slika 5.4.4. Detekcija loma vala za sektor 2 : petogodišnji val ($H_s = 2,53m, T = 4,92s$)

5.5. Difrakcija

Uz navedene deformacije valova, događa se još i difrakcija. To je proces koji se događa istovremeno s refrakcijom. Naime, objekti koji predstavljaju pregrade i postavljeni su pod nekim kutem u odnosu na zrake vala, najčešće se nalaze u obalnom pojasu u zoni srednje dubokog ili čak plitkog mora pa je jako teško u praksi odjeliti procese plitkog i dubokog mora. Za razliku od refrakcije, difrakcija nastaje zbog pregrade i nije ovisna o batimetriji. Smatra se da kod difrakcije val nije pod utjecajem morskog dna.

Proračuni difrakcije su jako složeni i svode se na modelski pristup pa su rješenja dana u obliku nomograma. Nomogrami omogućavaju procjenu koeficijenta difrakcije koji pomnožen sa valnom visinom incidentnog vala rezultira valnom visinom u zoni sjene pregrade.

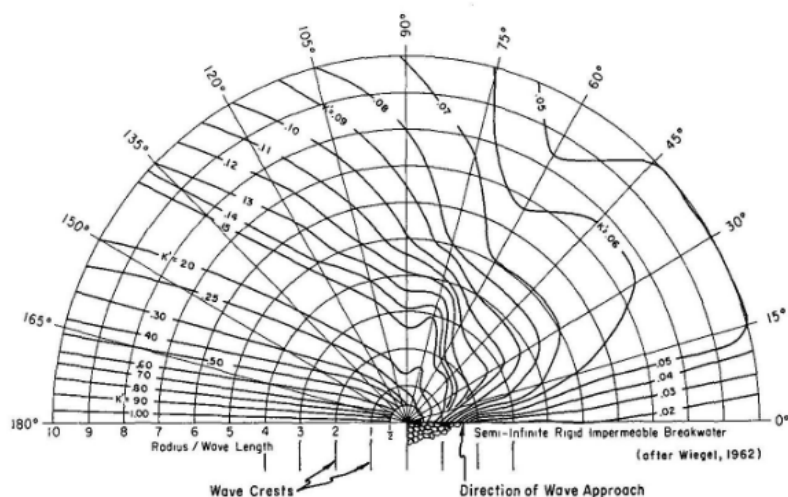


Figure 2-39. Wave Diffraction Diagram - 180° Wave Angle

Slika 5.5.1. Primjer dijagrama difrakcije

Način na koji se iz nomograma određuje koeficijent difrakcije je sljedeći : odredi se kut incidentnog vala (kut koji zraka vala zatvara s osi pregrade gledano od strane suprotne pregradi). Zatim se odredi relativna udaljenost do lokacije u zoni sjene na kojoj se želi očitati koeficijent difrakcije te se odredi kut položaja točke u kojoj se traži procjena valne visine u odnosu na os pregrade. Time su definirana sva tri parametra potrebna za očitavanje koeficijenta difrakcije. Kut upada vala na lokaciji obuhvata je 180° , pa je promatran nomogram za takav slučaj.

5.6. Visine mjerodavnih transformiranih valova ispred predmetne lokacije neposredno prije loma

Nakon što su izvršene sve transformacije na dubokovodni val, visina vala ispred plaže neposredno prije loma se može odrediti i računski pomoću izraza:

$$H = H_0 \cdot K_R \cdot K_S$$

$$K_R = \sqrt{\frac{B_0}{B}}$$

$$K_S = \sqrt{\frac{c_{gro}}{c_{gr}}}$$

$$c_{gr} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{\frac{4\pi d}{L_d}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L_d}\right)} \right] \cdot c_d$$

gdje je c_d brzina, a L_d duljina vala na dubini d .

$$c_{gr} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{\frac{4\pi 10}{39,10}}{\sinh\left(\frac{4\pi 10}{39,10}\right)} \right] \cdot 7,5 = 4,72 \text{ m/s}$$

$$K_S = \sqrt{\frac{4,07}{4,72}} = 0,928$$

$$K_R = \sqrt{\frac{B_0}{B}} = \sqrt{\frac{10}{13,68}} = 0,85$$

Mjerodavna visina vala na promatranoj lokaciji:

$$H = H_0 \cdot K_R \cdot K_S = 3,52 \cdot 0,928 \cdot 0,85 = 2,79 \text{ m}$$

6. PRIJEDLOG RJEŠENJA UREĐENJA LUKOBRANA

6.1. Dimenzioniranje nasutog lukobrana

Nasuti lukobrani djeluju kao plitke obale pa ne odbijaju valove već im postepeno smanjuju energiju. Ako služe samo za zaštitu, visina iznad najviše vode određuje se prema visini valova.. Rješenje nasutog lukobrana prihvatljivije je kod tla slabije nosivosti. Vjetrovni uvjeti na lokaciji definiraju projektni val i osiguravaju definiciju trase lukobrana kao i njegove parametre.

U skladu s prethodno obrađenim karakteristikama vala koji vode odabiru tipskog rješenja lukobrana, odabire se kombinacija nasutog lukobrana i lukobrana tipa zid koji će s unutarnje strane imati dio operativne obale za privez brodova. Provedenom analizom dostupnih podataka za rješenje pomorskih objekata zaključuje se da značajna valna visina na profilu lukobrana iznosi nešto manje od 3 m i ne pokazuje značajne oscilacije uzduž lukobrana, no kako bi bili na strani sigurnosti, proračun je izvršen na najtanjem dijelu planiranog lukobrana. U pogledu stabilnosti objekta za projektni val se usvaja vrijednost gornje desetine valne visine stogodišnjeg povratnog perioda. U pogledu izbora kote krune lukobrana za projektni val se usvaja vrijednost značajne valne visine stogodišnjeg povratnog perioda na profilu nožice nasipa.

Tablica 6.1.1. Parametri dubokovodnog vala i odabrane visine valova

| Parametar/smjer | SE | SW | Jedinica |
|----------------------------------|-------|-------|----------|
| H_s^{100} | 3.52 | 3.52 | (m) |
| H_{sd}^{100} | 2,79 | 2,79 | (m) |
| $H_{proj} (1.27 * H_{sd}^{100})$ | 3,54 | 3,54 | (m) |
| T | 5.21 | 6 | (s) |
| $L_0 = gT^2 / 2\pi$ | 42.43 | 56.18 | (m) |
| $c_0 = gT / 2\pi$ | 8.14 | 9.37 | (m/s) |
| $c_{go} = 0.5 * c_0$ | 4.07 | 4.68 | (m/s) |

H_s –dubokovodni val

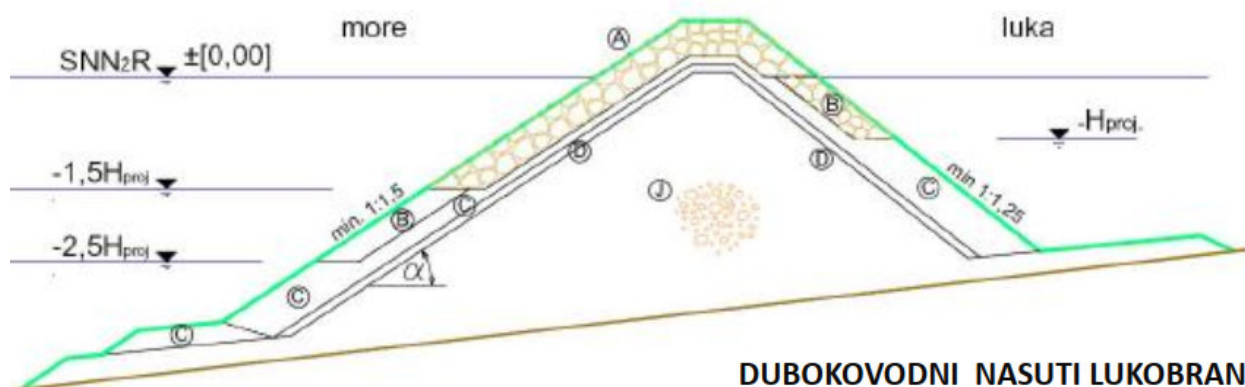
H_{sd}^{100} – transformirani val pred lukobranom, tj. značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda

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

Dubina: 10m (uključuje hidrografsku dubinu 8,91 te njen odmak od GN (+0,19) i razinu do NVV (+0,90))

$$d = 8,91 + 0,19 + 0,9 = 10\text{m}$$

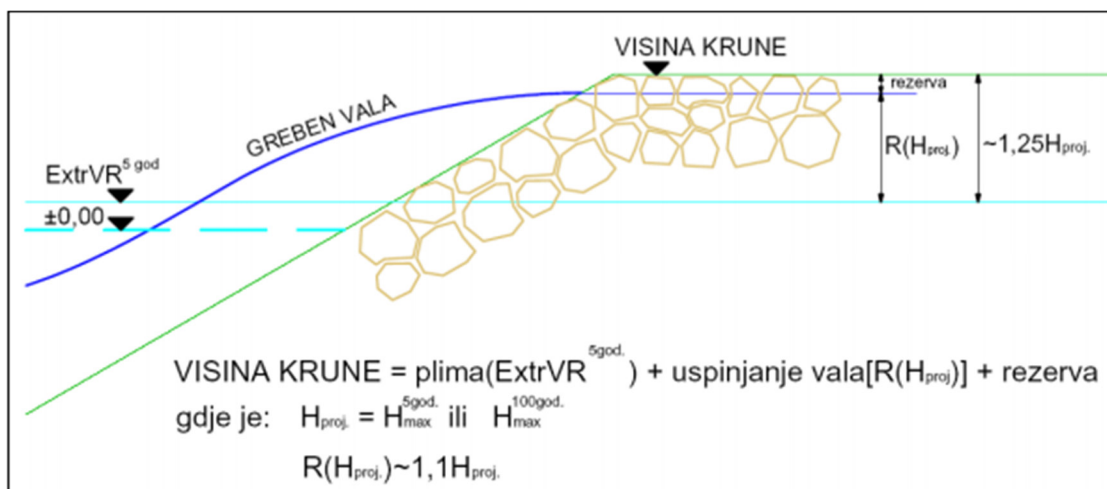
$d_{min} = 10 - 0,9 - 0,63 = 8,47 > 2,5 H = 6,025 \text{ m}$ (radi se dubokovodni nasip, odabran dvoslojni)



Slika 6.1.1. Presjek karakterističnog nasutog lukobrana

6.1.1. Visina krune lukobrana

Potrebna visina krune nasutog lukobrana određuje se po kriteriju vjerojatnosti prelijevanja, gdje se za uporabnu krunu predviđa manja vjerojatnost prelijevanja. Visina krune računa se zbrajanjem dosega projektnog vala, ekstremno visoke morske razi te rezerve



Slika 6.1.2. Odabir visine krune lukobrana

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

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). Iz dijagrama se iščitava sjecište vrijednosti H_0'/gT^2 s krivuljom za hrapavu površinu nagiba pokosa.

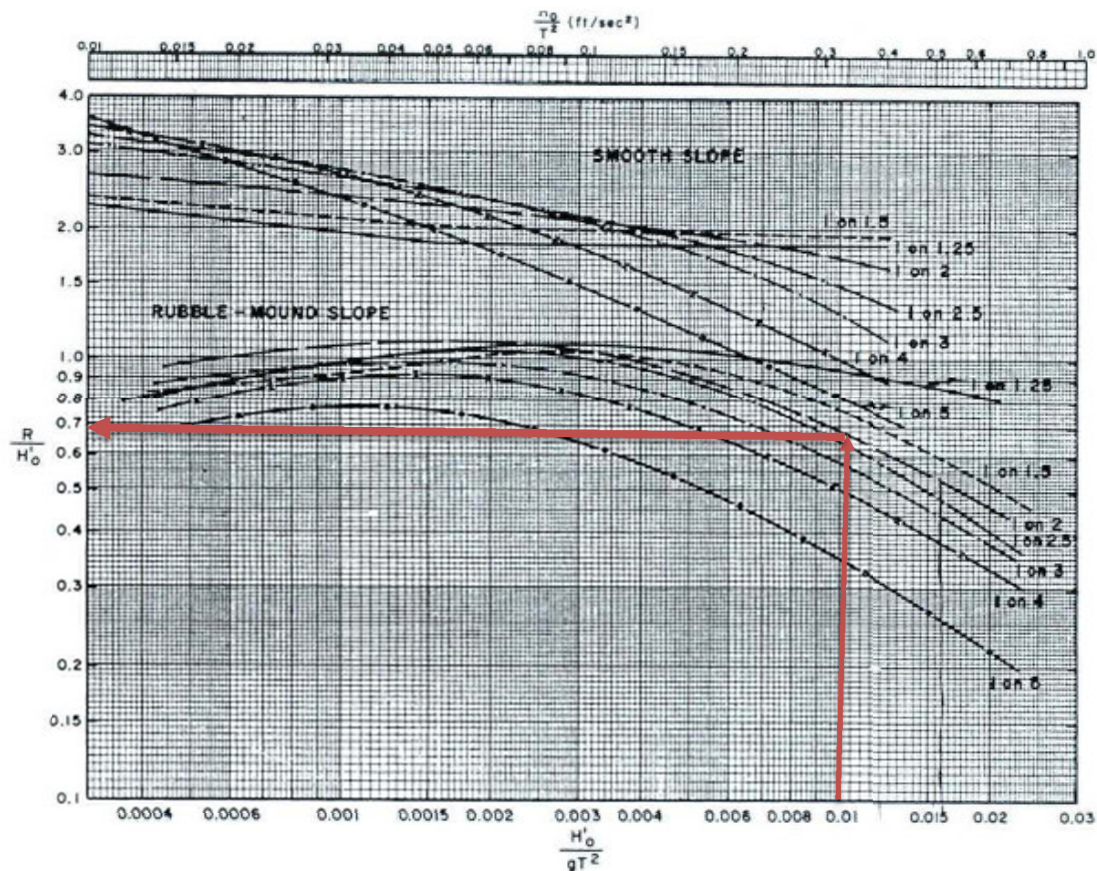


Figure 7-20. Comparison of Wave Runup on Smooth Slopes with Runup on Permeable Rubble Slopes (data for $d_s/H_0' > 3.0$)

Slika 6.1.3 . Dijagram uspinjanja vala na glatkim i hrapavim podlogama

$H_0' = H_{sd}^{100}$ (SE) = 2,79 m (značajna valna visina stogodišnjeg povratnog perioda)
 $T = 5.21$ s (period vala stogodišnjeg povratnog perioda).

Rezerva nije točno određena kolika mora biti već je funkcija granulata odnosno dimenzija kamenog bloka. Njena veličina je najčešće 0.2, 0.3 m do 0.5 m; Odabrana rezerva = 0.5 m

$$H_{sd}^{100}/gT^2 = 10,4 \cdot 10^{-3} \rightarrow \text{OČITANO: } R/H_{sd}^{100} = 0.68 \rightarrow R = 1.8 \text{ m (iz dijagrama)}$$

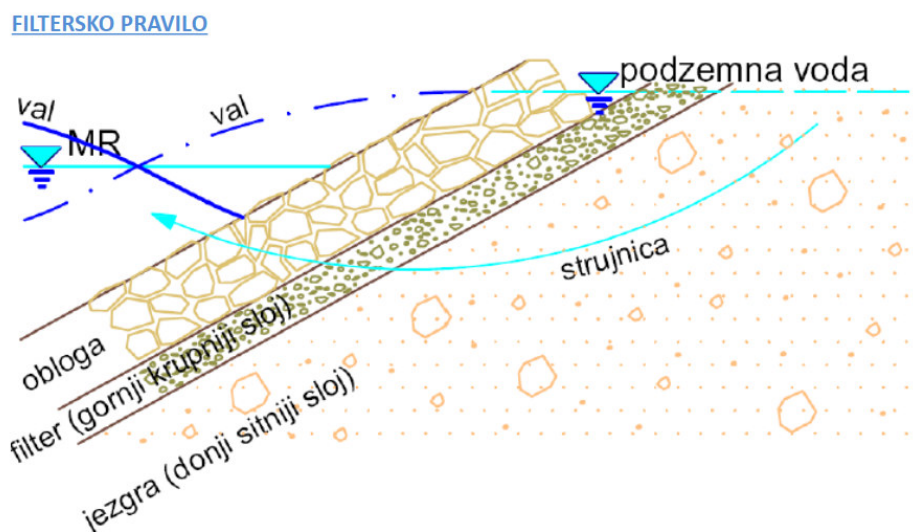
$$h_{lukobrana} = 10.00 \text{ (NVV)} + 1.8 + 0.5 = 12.3 \text{ m (potrebna visina lukobrana)}$$

$$\text{Visinska kota krune: } 12.3 \text{ m} - 9,1 \text{ (G.N.)} = 3,2 \text{ m}$$

6.1.2. Težina kamenog bloka školjere

S obzirom na izbor nasutog tipa konstrukcije lukobrana s operativnom obalom s unutrašnje strane, u nastavku je prikazan postupak izbora pojedinih elemenata određenog sloja nasutog lukobrana. Kod izbora elemenata primarne obloge u obzir su uzeta utvrđena svojstva vjetrom generiranog vala na mikrolokaciji budućeg lukobrana, te je za element sloja primarne obloge odabran lomljeni kamen zbog svojih karakteristika koji doprinose stabilnosti i postojanosti trupa lukobrana.

Presjek troslojnog nasutog lukobrana sastoji se od najkrupnije primarne obloge A na kruni i vanjskom pokosu, manje krupne sekundarne obloge B, te filterskog sloja C. Slojevi se slažu filterskim pravilom čime se sprječava izvlačenje sitnijeg materijala iz jezgre.



Slika 6.1.4. Filtersko pravilo

Težina stabilnih blokova primarne obloge proračunava se prema Hudsonovom izrazu. Izvedena je temeljem ravnoteže bloka na pokosu izloženog statičkim i dinamičkim silama: vlastita težina, uzgon, hidrodinamički uzgon, sila otpora bloka u struji silaznog vala, inerc. sila, sila trenja na pokosu, reakcija podloge i sila od strujanja mora u jezgri lukobrana. Težina blokova "A" označava se kod uniformne obloge od umjetnih betonskih blokova s G_A . Raspon mase ugrađenih kamenih blokova kod školjere u odnosu na proračunatu veličinu $G_{50\%A}$ je: $G_{A,min} = 0,75 G_{50\%A}$ i $G_{A,max} = 1,25 G_{50\%A}$

Sekundarna obloga B se javlja kod dubokovodnih lukobrana na površini pokosa, ali u većim dubinama ($D = 1,5 H_{proj}$). Javlja se i na podmorskoj površini unutrašnjeg pokosa lukobrana. Postavlja se na isti način kao i primarna obloga. Težina bloka sekundarne obloge iznosi cca. 50 % težine bloka primarne obloge. Ako su blokovi od kamena, težina im može varirati $\pm 25\%$. Debljina sekundarnog sloja također ne može biti manja od 2 elementa u sloju.

Filtarski slojevi C i D nalaze se između obloge i jezgre. Složeni su po filterskom pravilu. Funkcija im je da spriječe ispiranje sitnih frakcija jezgre kroz velike šupljine u primarnoj oblozi. Za filter se upotrebljava kameni materijal. Težina prosječnog zrna filtera je 10 % težine bloka primarne obloge (sloj C), i 0,5 % težine bloka primarne obloge (sloj D). Varijacija kamenog granulata za GC i GD. je $\pm 30\%$ i $\pm 50\%$. Debljina filtera je minimum 2 zrna, ali debljina sloja ne treba biti manja od 0,7 m!

Jezgra čini najveći dio presjeka, ali zato najjeftiniji jer je od neselektiranog kamenog materijala iz kamenoloma. Nije otporna na djelovanje valova i stoga se oblaže filtarskim slojevima. Paralelno s 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. Težinski raspon zrna jezgre, ako dolazi ispod filtera C, je: GA/200 – GA/6000, a ispod filtera D GA/4000 - GA/6000.! U materijalu jezgre jedino ne smije biti zemlje ($\leq 3\%$) niti materijala sitnijeg od 1 kg više od 15%.

Tablica 6.1.1.. Pregled odnosa relativnih volumena i masa elementa primarnog sloja sa nagibom i koeficijentom K_d

| Tip elementa/nagib | 1:n | K_D [-] | V [m ³] | 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 |

Pri provedenom proračunu korištenjem Hudson-ovog izraza, odabran je nagib pokosa 1:2 prema prethodnoj analizi temeljenoj na utrošku materijala i koeficijenta stabilnosti sloja primarne obloge. Za gustoću betona je odabrana vrijednost od 2650kg/m³ dok je za gustoću mora odabrana vrijednost 1027kg/m³. 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.

→ **Hudsonov izraz:**

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

Tablica 6.1.2. Hudsonov izraz

| | |
|--|------------------------------------|
| $\rho_b = 2650 \text{ kg/m}^3$ | gustoća materijala |
| $\rho_m = 1027 \text{ kg/m}^3$ | gustoća mora |
| $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ | ubrzanje sile teže |
| $H_{proj} = 1.27 * H_S^{100} = 1.27 * 2.79 \text{ m}$ | visina projektnog vala |
| $K_d = 3.2$ | eksperimentalni koeficijent obloge |
| $ctg\alpha = 2 \text{ ili } tg\alpha = 0.5 \text{ (u brojniku)}$ | nagib vanjskog pokosa |

$$G_A = w = \frac{2650 \cdot 9,81 \cdot 3,54^3}{3,2 \cdot \left(\frac{2650}{1027} - 1\right)^3 \cdot 2}$$

$$G_A = w = 45655,31 \text{ N}$$

$$M = 4653,96 \text{ kg}$$

Dakle, težina elementa primarne obloge trebala bi iznositi oko 4653 kg.

Za sekundarnu oblogu najčešće se uzima vrijednost $\frac{W}{2}$ kod slaganja kamena na kamen

Odabrana vrijednost težine sekundarne obloge: 2326,97 kg

Filtarski sloj: $\frac{W}{200} - \frac{W}{10}$

Odabrana vrijednost težine filtarskog sloja: 465,39 kg

Jezgra: $\frac{W}{200} - \frac{W}{6000}$ (odabrano W/1000) :4,65 kg

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

Tablica 6.1.3. Težine slojeva nasutog lukobrana

| | |
|-----------------------|-----------|
| Primarni sloj | 4653,96kg |
| Sekundarni sloj | 2326,97kg |
| Filterski sloj | 465,39kg |
| Jezgra | 4,65 kg |
| Geotekstil i geomreža | / |

Tablica 6.1.4. Vrijednosti koeficijenta uklještenja

| Type of outer covering elements | Number of layers | Type of placing | Breakwater side $K_D^{1)}$ | | Breakwater end K_D | | Slope |
|---------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| | | | Breaking waves ⁵⁾ | Non-breaking waves ⁵⁾ | Breaking waves | Non-breaking waves | |
| Smooth, rounded racks | 2 | random | 1.2 | 2.4 | 1.1 | 1.9 | 1 : 1.5 bis 1 : 3 |
| | 3 | random | 1.6 | 3.2 | 1.4 | 2.3 | 1 : 1.5 bis 1 : 3 |
| Angular rubble | 2 | random | 2.0 | 4.0 | 1.9 | 3.2 | 1 : 1.5 |
| | 3 | random | 2.2 | 4.5 | 1.6 | 2.8 | 1 : 2 |
| | 2 | carefully placed ²⁾ | 5.8 | 7.0 | 1.3 | 2.3 | 1 : 3 |
| | | | | | 2.1 | 4.2 | 1 : 1.5 bis 1 : 3 |
| Tetrapode | 2 | random | 7.0 | 8.0 | 5.3 | 6.4 | 1 : 1.5 bis 1 : 3 |
| | | | | | 5.0 | 6.0 | 1 : 1.5 |
| | | | | | 4.5 | 5.5 | 1 : 2 |
| Antifer Block | 2 | random | 8.0 | – | – | – | 1 : 2 |
| Accropode | 1 | | 12.0 | 15.0 | 9.5 | 11.5 | bis 1 : 1.33 |
| Coreloc | 1 | | 16.0 | 16.0 | 13.0 | 13.0 | bis 1 : 1.33 |
| Tribar | 2 | random | 9.0 | 10.0 | 8.3 | 9.0 | 1 : 1.5 |
| | | | | | 7.8 | 8.5 | 1 : 2 |
| | | | | | 6.0 | 6.5 | 1 : 3 |
| Tribar | 1 | uniformly placed | 12.0 | 15.0 | 7.5 | 9.5 | 1 : 1.5 bis 1 : 3 |
| Dolos | 2 | random | 15.8 ³⁾ | 31.8 ³⁾ | 8.0 | 16.0 | 1 : 2 ⁴⁾ |
| | | | | | 7.0 | 14.0 | 1 : 3 |

¹⁾ For slope of 1 : 1.5 to 1 : 5.
²⁾ Longitudinal axis of rocks perpendicular to the surface.
³⁾ K_D values confirmed experimentally only for slope 1 : 2.
 If requirements are higher (destruction < 2%), the K_D values must be halved.
⁴⁾ Slopes steeper than 1 : 2 are not recommended.
⁵⁾ Breaking waves occur more often when still water depth in front of the breakwater decreases the wave height.

6.1.3. 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 $n=3$.

$$t_s = n * \sqrt[3]{\frac{W}{(\rho_k * g)}}$$

Tablica 6.1.5. Odabrane debljine slojeva obloge nasutog lukobrana

| | | ODABRANO: |
|--|-------------------|------------------|
| Debljina sloja primarne obloge (n=2) | $t_{s(A)}=2,41$ m | $t_{s(A)}=2,5$ m |
| Debljina sloja sekundarne obloge (n=2) | $t_{s(B)}=1,91$ m | $t_{s(B)}=2$ m |
| Debljina filtarskog sloja (n=2) | $t_{s(C)}=1,12$ m | $t_{s(C)}=1,2$ m |

6.2. Dimenzioniranje unutarnjeg dijela lukobrana

- Visina projektnog vala $H_{sd}^{100} = 2,79\text{m}$

$$L_d = 39,10\text{ m}$$

Visina lukobrana s unutarnje strane obično se računa po izrazu: $h = d + \Delta y + H + R$ no kako ovdje već imamo definiran njegov vanjski dio (kojeg sačinjava nasuti lukobran visine 12,3 m, unutarnji dio s parapetom bi trebao biti isti ili nešto veći od nasutog dijela. Odabrana visina je 12,4 m.

Širina pristana se uzima kao 0,6 do 0,7 od ukupne visine od temelja do operative obale.

$B = (0,6-0,7) \cdot V$. Odabrana širina je 6,5 m.

Parapet je pravilnog oblika sa širinom od 1 m a visinom 1,3 m. Visinska kota parapeta je 3,3 m. Dubina gdje je smještena konstrukcija iznosi 10 m (do NVV)

S unutrašnje strane je uzeta reducirana visina vala sa koeficijentom difrakcije za radijalnu udaljenost 160 m od glave lukobrana te zatvara kut od 180° s linijom pružanja lukobrana. Kut β iznosi 15° .

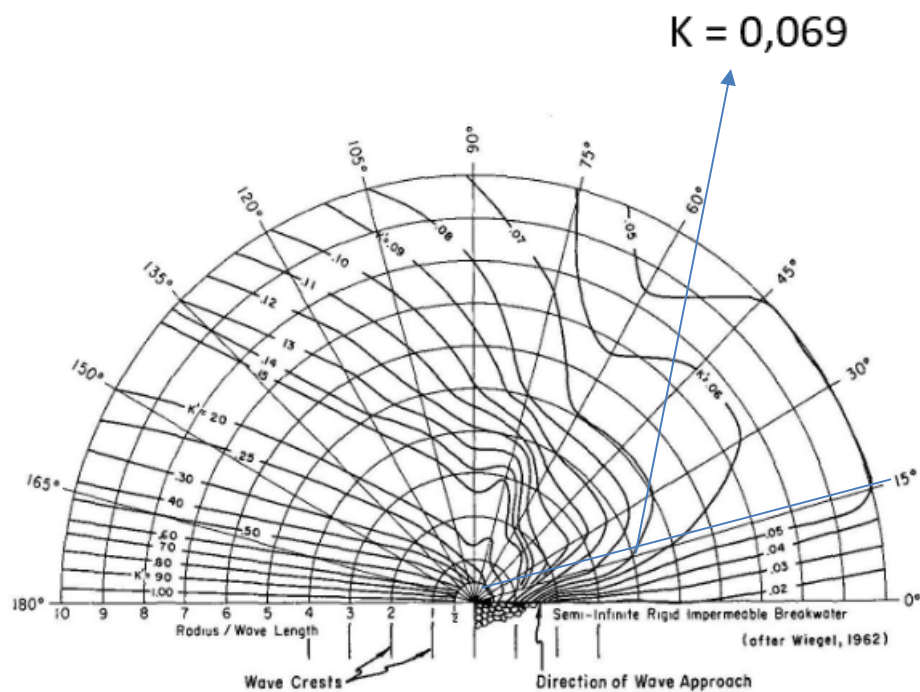


Figure 2-39. Wave Diffraction Diagram - 180° Wave Angle

Slika 6.2.1. Dijagram difrakcije za kut upada vala 180°

$$r/L = 160/39,10 = 4,09 \text{ m}$$

Valna visina unutar luke:

$$H' = K \cdot H = 0,069 \cdot 2,79 = 0,19 \text{ m}$$

Uspinjanje vala unutar luke:

$$\Delta y' = \frac{\pi \cdot H'^2}{L} \cdot \coth\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

$$\Delta y' = \frac{\pi \cdot 0,19^2}{39,10} \cdot \coth\left(\frac{2\pi \cdot 9}{39,10}\right)$$

$$\Delta y' = 0,003 \text{ m}$$

Izračun mase/ težine lukobrana:

Tijelo lukobrana sastoji se od punih blokova (sveukupno 6) , različitih dimenzija i parapetnog zida visine 1,3 m. Kako se radi o betonskim blokovima, za izračun ćemo koristiti ρ betona u vrijednosti 2650 kg/m^3

$$G (\text{lukobrana}) = G (\text{blokova}) + G (\text{parapetnog zida}) + G (\text{operativne obale})$$

$$G (\text{blokova}) = (1,7 \cdot 6 + 1,6 \cdot 5 \cdot 2 + 2,6 \cdot 4) \cdot \rho_b \cdot g = 951,471 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$G (\text{parapetnog zida}) = 1,3 \cdot 1 \cdot \rho_b \cdot g = 33,795 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$G (\text{operativne obale}) = 1,6 \cdot 6,5 \cdot \rho_b \cdot g = 270,363 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$\text{Ukupna težina pristana : } G (\text{pristan}) = 1255,62 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

Pristan se nalazi na nasipu čija je baza duga 11 m a visina 2 m.

$$\text{Volumen nasipa je } \frac{7+11}{2} \cdot 2 = 18 \text{ m}^3$$

$$\gamma (\text{šljunka uronjenog u vodu}) = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G (\text{nasipa s uključenim uzgonom}) = \gamma (\text{šljunka uronjenog u vodu}) \cdot V (\text{nasipa}) = 16 \cdot 18 = 288 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tlo iza blokova također ima težinu koja utječe na stabilnost lukobrana.

$$G (\text{tla}) = (0,5 \cdot 1,7 + 1,5 \cdot 3,2 + 2,5 \cdot 2,6) \cdot \gamma (\text{šljunka uronjenog u vodu}) = 194,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

U sljedećim izrazima izračunate su momenti koje težina tih dijelova tla ostvaruje u odnosu na kritičnu točku kod prevrtanja:

$$M1 = 0,5 \cdot 1,7 \cdot 16 \cdot 6,25 = 85 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M2 = 1,5 \cdot 3,2 \cdot 16 \cdot 5,75 = 441,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M3 = 2,5 \cdot 2,6 \cdot 16 \cdot 5,25 = 546 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tlakovi i sile uslijed nepovoljnog stanja- djelovanja dola stojnog vala:

$$p_{st} = \rho g \cdot d_v = 1027 \cdot 9,81 \cdot 10$$

$$p_{st} = 100,7 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$p_{din} = \rho g \left(\frac{H'}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \right) = 10,07 \cdot \left(\frac{0,19}{\cosh\left(\frac{2\pi \cdot 10}{39,10}\right)} \right) = 3,2 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Silu koja djeluje na lukobran čini sila P- razlika hidrostatskog tlaka iznutra i hidrodinamičkog tlaka uslijed dola stojnog vala za H' unutar luke:

$$P_1 = \frac{(p_{st} - p_{din})(d - \Delta y' - H')}{2} = \frac{(100,7 - 1,55)(10 - 0,003 - 0,19)}{2}$$

$$P_1 = 443,35 \left[\frac{kN}{m'} \right]$$

Sila tlaka s unutarnje strane (prema nasutom lukobranu)

$$P_2 = \frac{\rho g \cdot d^2}{2} = \frac{10,07 \cdot 10^2}{2} = 503,5 \left[\frac{kN}{m'} \right]$$

Sila od aktivnog tlaka tla:

$$E_a = \frac{\gamma \cdot H (H + 2h)}{2} \cdot tg^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$h = \frac{q}{\gamma} = \frac{(1,3+1,6) \cdot 0,5 \cdot 2650 \cdot 9,81}{16000} = 2,3 \text{ m}$$

$$E_a = \frac{16 \cdot 7,50 (7,50 + 2 \cdot 2,3)}{2} \cdot tg^2\left(45 - \frac{35}{2}\right)$$

$$E_a = 196,73 \left[\frac{kN}{m'} \right]$$

$$\text{Krak sile aktivnog tlaka tla: } z = \frac{H}{3} \cdot \frac{H+3h}{H+2h} = \frac{7,5}{3} \cdot \frac{7,5+3 \cdot 2,3}{7,5+2 \cdot 2,3} = 2,97 \text{ m}$$

Sile uгона (kao baza za uzgon se uzima širina temeljnog bloka B =6 m)

$$U_1 = (\rho g \cdot d - p_{din}) \cdot B = (10,07 \cdot 8 - 3,26) \cdot 6 = 463,8 \left[\frac{kN}{m'} \right]$$

$$U_2 = (\rho g \cdot d - (\rho g \cdot d - p_{din})) \cdot B \cdot \frac{1}{2} = (10,07 \cdot 8 - (10,07 \cdot 8 - 3,26)) \cdot 6 \cdot \frac{1}{2}$$

$$U_2 = 9,78 \left[\frac{kN}{m'} \right]$$

Sila uzrokovana vezom broda:

Pri određivanju sile kojom brod djeluje na pristan uzeti su sljedeći podaci:

$$v_{vj} = 7,9 \text{ m/s} \quad (\text{brzina vjetra})$$

$$L = 15 \text{ m} \quad (\text{duljina broda})$$

$$h = 3,5 \text{ m} \quad (\text{prosječna visina broda})$$

$$\alpha = 8,67^\circ \quad (\text{kut koji os broda zatvara s okomicom na smjer vjetra})$$

$$C = 1,1 \quad (\text{koeficijent napadne hidrodinamičke sile optjecanja})$$

$$\rho_{zr} = 1,27 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{gustoća zraka})$$

Površina broda na koju vjetar djeluje jednaka je projekciji broda u smjeru djelovanja vjetra:

$$A = L_{br} \cdot \cos \alpha^\circ \cdot h_{br} = 15 \cdot \cos(8,67) \cdot 3,5$$

$$A = 51,9 \text{ m}^2$$

Sila kojom brod djeluje na pristan računa se prema sljedećem izrazu:

$$F_{br} = C \cdot A \cdot \frac{\rho_{zr} \cdot v_{vj}^2}{2}$$

$$F_{br} = 1,1 \cdot 51,9 \cdot \frac{1,27 \cdot 7,9^2}{2}$$

$$F_{br} = 2,26 \text{ kN}$$

$$F_H = 2,26 \cdot \cos 8,67 = 2,23 \text{ kN}$$

$$F_v = 2,26 \cdot \sin 8,67 = 0,34 \text{ kN}$$

Kontrola na klizanje:

Koeficijent sigurnosti na klizanje predstavlja omjer stabilizirajućih i destabilizirajućih sila. Stabilizirajuće sile su sila težine lukobrana (G), sila baznog uzgona U_1 , sila diferencijalnog uzgona U_2 te vertikalna komponenta sile veza. Destabilizirajuće sile su sila P_1 –razlika hidrostatskog tlaka iznutra i hidrodinamičkog tlaka uslijed dola stojnog vala za H' unutar luke, hidrostatičkog tlaka P_2 (na strani prema nasutom lukobranu), sila aktivnog tlaka tla te horizontalna komponenta sile veza broda. Pri računanju koeficijenta sigurnosti na klizanje, korišten je koeficijent trenja s podlogom $\mu = 0,5$.

$$K_S^{kl} = \frac{(\Sigma G - U_1 - U_2 - F_v) \cdot \mu}{|P_1 - P_2 - E_a - F_H|} = \frac{(1450,218 - 463,8 - 9,78 - 0,34) \cdot 0,5}{|443,35 - 503,5 - 196,7 - 2,23|}$$

$$K_S^{kl} = \frac{488,05}{259,08}$$

$$K_S^{kl} = 1,88 \geq 1,5$$

Kontrola na prevrtanje:

Kontrola na prevrtanje vrši se oko točke A na desnom uglu nožice lukobrana. Koeficijent sigurnosti za prevrtanje je omjer stabilizirajućeg i destabilizirajućeg momenta oko točke A. Stabilizirajući moment tvori sila težine lukobrana i sila tlaka P_1 nastalog kao razlika hidrostatskog tlaka iznutra i hidrodinamičkog tlaka uslijed dola stojnog vala za H' unutar luke, dok destabilizirajući moment tvore sile tlaka sa strane prema nasutom lukobranu, sile veza, aktivnog tlaka tla te sile baznog i diferencijalnog uzgona.

Koeficijent sigurnosti na prevrtanje:

$$K_S^{pr} = \frac{\Sigma M_{poz}}{\Sigma M_{neg}} = \frac{P_1 \frac{(10 - 0,01 - 0,4)}{3} + G_{blokova} \cdot 3 + G_{parapet} \cdot 6 + G_{blokova} \cdot 2,5 + G_{blokova} \cdot 2 + M(tla)}{F_H \cdot 12,3 + F_v \cdot 0,5 + U_1 \cdot 3 + U_2 \cdot 4 + P_2 \cdot \frac{10}{3} + E_a \cdot 3,2}$$

$$K_S^{pr} = \frac{475,42 \cdot 3,2 + 265,64 \cdot 3 + 415,94 \cdot 2,5 + 270,363 \cdot 2 + 270,363 \cdot 3,25 + 33,795 \cdot 6 + 1072,6}{2,23 \cdot 9,6 + 0,34 \cdot 0,6 + 463,8 \cdot 3 + 9,78 \cdot 4 + 503,5 \cdot 3,33 + 196,73 \cdot 2,97} =$$

$$K_S^{pr} = \frac{6051,46}{3719,57} = 1,62 \geq 1,5$$

Geotehnički uvjet:

Provjerava se nosivost tla ispod temelja s obzirom na dopusteno naprezanje

$$\sigma_{dop} = 250 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$b = 6 + 2 \cdot 2 = 10$$

$$A = b \cdot 1 = 10 \text{ m}^2$$

$$W = b^2 \cdot \frac{1}{6} = 16,66 \text{ m}^3$$

$$N = G_{pristana} + G_{tla \text{ iza blokova}} + G_{nasipa} - U_1 - U_2 - F_v = 1255,62 + 194,4 + 288 - 463,8 - 9,78 - 0,34 = 1264,105 \left[\frac{kN}{m'} \right]$$

$$M = \left| P_1 \cdot \frac{(10 - 0,003 - 0,4)}{3} - P_2 \cdot \frac{10}{3} - E_a \cdot z - U_2 \cdot 1 - F_H \cdot 12,3 \right| = \left| 475,42 \cdot 3,2 - 503,5 \cdot 3,33 - 196,73 \cdot 2,97 - 9,78 \cdot 1 - 2,23 \cdot 9,6 \right|$$

$$M = 770,96 \left[\frac{kNm}{m'} \right]$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

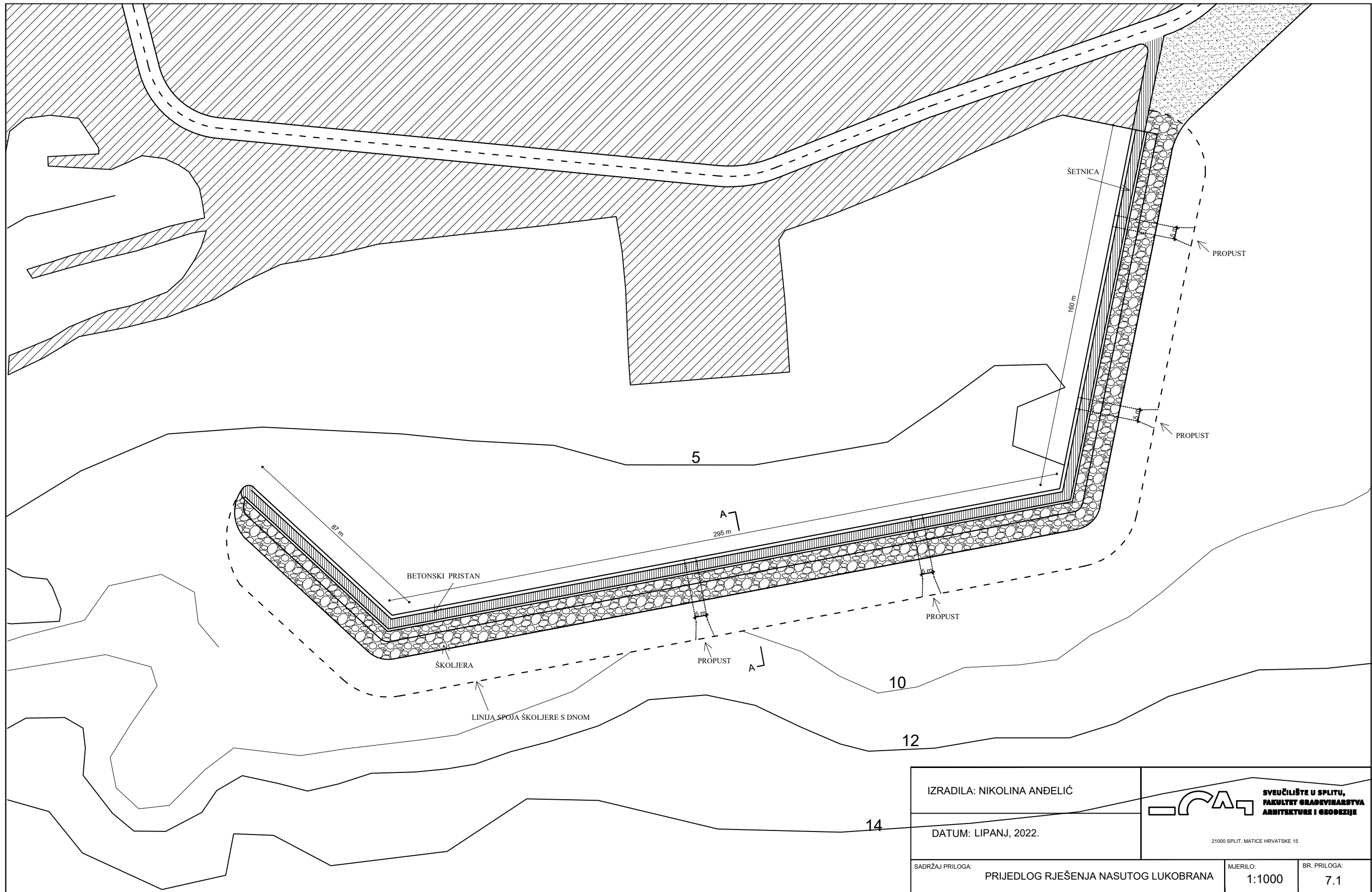
$$\sigma_{1,2} = \frac{1264,10}{10} \pm \frac{770,96}{16,66}$$


$$\sigma_1 = 172,68 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$\sigma_2 = 80,13 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

7. PRILOZI

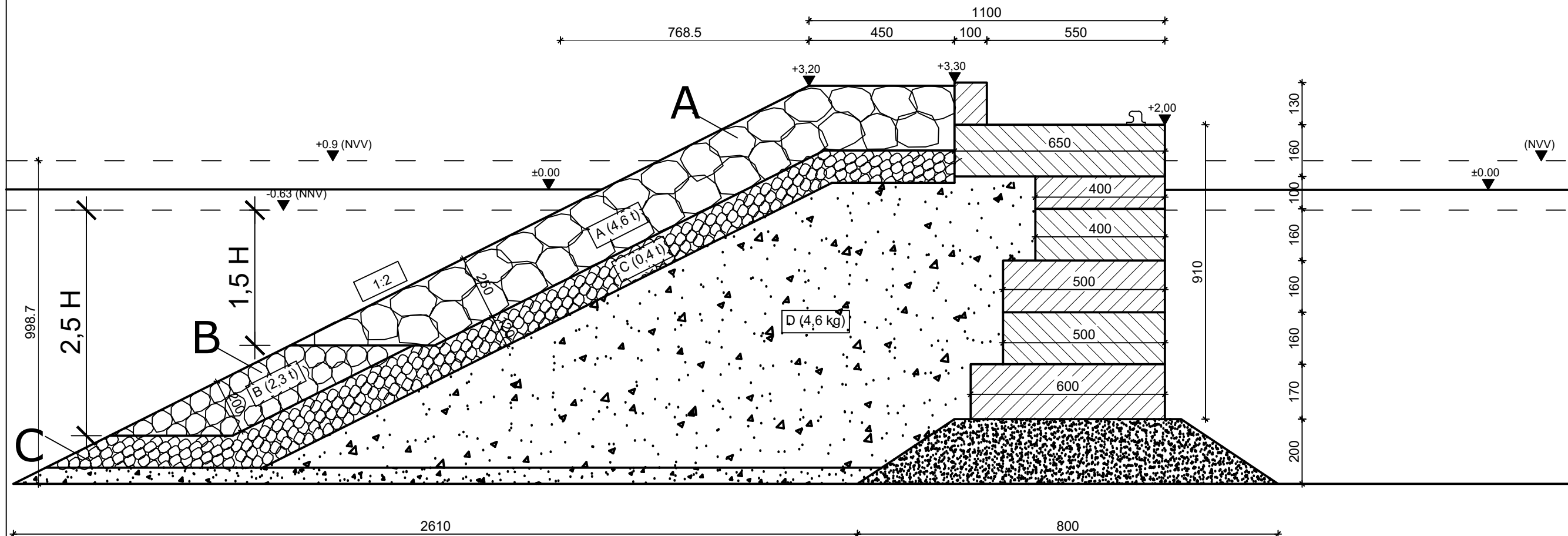
7.1. Situacija




| | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|---|---------------------|
| IZRADILA: NIKOLINA ANDELIĆ | |  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p> <p>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | |
| DATUM: LIPANJ, 2022. | | | |
| SADRŽAJ PRILOGA: | PRIJEDLOG RJEŠENJA NASUTOG LUKOBRANA | MJERILO: 1:1000 | BR. PRILOGA: 7.1 |

7.2. Presjek A-A

PRIJEDLOG RJEŠENJA NASUTOG LUKOBRANA
M 1:100
PRESJEK A-A



| | | | | | |
|----------------------------|-------------|--|-------|--------------|-----|
| IZRADILA: NIKOLINA ANDELIĆ | |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE <small>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</small> | | | |
| DATUM: LIPANJ, 2022. | | | | | |
| SADRŽAJ PRILOGA: | PRESJEK A-A | MJERILO: | 1:100 | BR. PRILOGA: | 7.2 |

8. ZAKLJUČAK



Slika 8.1.1. Trenutno stanje lukobrana Zenta

Temeljem provedenih analiza parametara dubokovodnog vala za potrebe zahvata unutar obuhvata, odabrana su dva mjerodavna smjera vjetra (SE i SW) te su obuhvaćene sve mogućnosti pojave valova ekstremnih valnih visina unutar povratnih perioda koji odgovaraju vijeku trajanja objekta. Cilj objekta je omogućiti privez plovila s unutarnje strane te povoljne vjetrovalne i maritimne uvjete, uz osiguranje dugotrajnosti objekta.

Predloženo je rješenje lukobrana kao kombinirane građevine koja se u zaštitnom dijelu izvodi kao nasuti objekt, dok se operativni dio izvodi u kombinaciji predgotovljenih betoniranih AB elemenata koji se monolitiziraju i opremaju infrastrukturom neophodnom za privez plovila.

Rješenje nasutog lukobrana sastoji se od jezgre, filterskog sloja te primarne i sekundarne obloge s vanjske strane, nagib pokosa je 1:2. Jezgra se nasipava općim kamenim nasipom, na koji dolazi filterski sloj debljine 1,2 m. Primarna obloga izvedena je u debljini od 2,5 m a

sekundarna u debljini od 2 m. Kruna nasipa široka je 4,5 m te se nalazi na koti +3,2 m. Slojevi su slagani filterskim pravilom kako bi se spriječilo izvlačenje materijala kroz slojeve.

S unutrašnje strane predviđen je lukobran tipa zid s privezom za brodove, koji je odijeljen od krune nasipa parapetnim zidom (širine 1 m), a izveden je u širini od 6,5 metara. Lukobran je postavljen na dubini od 10 m (do NVV). Kota operativne obale lukobrana je 2 m, a parapetnog zida 3,3 m.

Predloženo rješenje u odnosu na postojeće stanje mijenja dvije ključne stvari: nagib pokosa (blaži, što i samu konstrukciju čini stabilnijom) te materijal izrade. Materijal od kojeg je izrađena jezgra postojećeg lukobrana je lapor (tupina). Iako je lapor vrlo raširen u ovom području (priobalnom pojasu), kao materijal nije postojan pa su uočena brojna oštećenja nasipa od zbijenog lapora, stabilizacija je narušena i dio postojećeg lukobrana se urušio. Dano rješenje osim različitog materijala jezgre (kameni materijal bez tupine) predviđa i veće blokove obloge što bi svakako trebalo utjecati na stabilnost konstrukcije.



Slika 8.1.2. Podvodna fotografija postojećeg lukobrana napravljena bespilotnom ronilicom

Također, tijekom terenske nastave uočeni su onečišćeni dijelovi akvatorija Zenta, a nakon snimanja podmorja bespilotnom ronilicom (slika 8.1.2.) ,nisu uočeni propusti za cirkulaciju niti neke druge mjere za poboljšanje izmjene mora. Ovim rješenjem za razliku od postojećeg stanja, kroz lukobran su predviđeni propusti za izmjenu vode, što bi uvalike trebalo utjecati na čistoću mora u samoj marini.



Slika 8.1.3. Postojeći lukobran s brojnim vidljivim oštećenjima

9. LITERATURA

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

[2] (2016.), Elaborat vjetrovalne klime i studija valovanja za plažu Potočina, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu

[3] Kirinčić, J. (1991.) Luke i terminali, Školska knjiga, Zagreb

[4] Goda, Y. (2000.), Random seas and design of maritime structures (2nd edition), World scientific

[5] Babić, L.(1968.), Pomorski objekti u betonu, Epoha, Beograd

[6] Bartolić, I., Bujak, D., Carević, D., Lončar, G. (2019.) Primjena propusta za poboljšanje izmjene mora u lukama, GRAĐEVINAR 71 (2019)3, 197-207

10. 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 3.1.1. Meteorološka postaja Marjan

Slika 3.3.1. Glavni i sporedni smjerovi vjetra sa nazivima

Slika 3.3.2. Ruža učestalosti smjera i brzine vjetra za postaju Marjan

Slika 4.1.1. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE

Slika 4.1.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SSE

Slika 4.1.3. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer ESE

Slika 4.1.4. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SW

Slika 4.1.5. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SSW

Slika 4.1.6.. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer WSW

Slika 4.2.1. Groen Dorrestein dijagram

Slika 4.3.1. Linearna regresija G- reducirane varijable za sektor I

Slika 4.3.2. Pripadajuća Gumbelova distribucija za sektor I

Slika 5.1.1. Batimetrijska svojstva zone obuhvata (Navionics)

Slika 5.1.2. 3D prikaz batimetrije za akvatorij Zente

Slika 5.2.1. Grafički prikaz refrakcije

Slika 5.2.2. Snellov zakon

Slika 5.2.3. mreža konačnih elemenata za akvatorij Zente

Slika 5.2.4. Plan refrakcije za sektor I ($H_s = 3,52\text{m}$, $T = 5,21\text{s}$) za stogodišnji val

Slika 5.2.5. Plan refrakcije za sektor I ($H_s = 2,77\text{m}$, $T = 4,54\text{s}$) za petogodišnji val

- Slika 5.2.6. Plan refrakcije za sektor II ($H_s = 3,52\text{m}$, $T = 6\text{s}$) za stogodišnji val
- Slika 5.2.7. Plan refrakcije za sektor II ($H_s = 2,53\text{m}$, $T = 4,92\text{s}$) za petogodišnji val
- Slika 5.3.1. Utjecaj uplićavanja za sektor I ($H_s = 3,52\text{m}$, $T = 5,21\text{s}$) za stogodišnji val
- Slika 5.3.2. Utjecaj uplićavanja za sektor I ($H_s = 3,52\text{m}$, $T = 5,21\text{s}$) za petogodišnji val
- Slika 5.3.3. Utjecaj uplićavanja za sektor II ($H_s = 3,52\text{m}$, $T = 6\text{s}$) za stogodišnji val
- Slika 5.3.4. Utjecaj uplićavanja za sektor II ($H_s = 3,52\text{m}$, $T = 6\text{s}$) za petogodišnji val
- Slika 5.4.1. Detekcija loma vala za sektor I : stogodišnji val ($H_s = 3,52\text{m}$, $T = 5,21\text{s}$)
- Slika 5.4.2. Detekcija loma vala za sektor I : petogodišnji val ($H_s = 2,77\text{m}$, $T = 4,54\text{s}$)
- Slika 5.4.3. Detekcija loma vala za sektor 2 :a) stogodišnji val $H_s = 3,52\text{m}$, $T = 6\text{s}$
- Slika 5.4.4. Detekcija loma vala za sektor 2 :b) petogodišnji val ($H_s = 2,53\text{m}$, $T = 4,92\text{s}$)
- Slika 5.5.1. Primjer dijagrama difrakcije
- Slika 6.1.1. Presjek karakterističnog nasutog lukobrana
- Slika 6.1.2. Odabir visine krune lukobrana
- Slika 6.1.3 . Dijagram uspinjanja vala na glatkim i hrapavim podlogama
- Slika 6.1.4. Filtersko pravilo
- Slika 6.2.1. Dijagram difrakcije za kut upada vala 180°
- Slika 8.1.1. Trenutno stanje lukobrana Zenta
- Slika 8.1.2. Podvodna fotografija postojećeg lukobrana napravljena bespilotnom ronilicom
- Slika 8.1.3. Postojeći lukobran s brojnim vidljivim oštećenjima
- Tablica 3.2.1. Beaufortova ljestvica za vjetar
- Tablica 3.3.1. Tablica apsolutne kontigencije za meteorološku postaju Marjan za razdoblje 1.1.2009.-31.12.2018.
- Tablica 3.3.2. Tablica relativne kontigencije za meteorološku postaju Marjan za razdoblje 1.1.2009.-31.12.2018.
- Tablica 4.1.1. Formula za izračun efektivnog privjetrišta
- Tablica 4.1.2. Definicija efektivnog privjetrišta za smjer SE