

Idejno rješenje lučice Zavala na otoku Hvaru

Tukić, Jelena

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:123:045490>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-02**



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 GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Jelena Tukić

Split, 2015.

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

Idejno rješenje lučice Zavala na otoku Hvaru

Diplomski rad

Split, 2015.

Idejno rješenje lučice Zavala na otoku Hvaru

Sažetak:

U uvali Zavala na južnoj strani otoka Hvara u mjestu Zavala postoji nedovršena mjesna lučica za manje brodice. Južna obala otoka Hvara izložena je jakim valovima iz smjerova SE i SW. Da bi se povećao broj vezova brodica i postigla veća sigurnost potrebno je postojeći lukobran na istočnoj strani produžiti i pojačati dogradnjom školjere. Kako je lučica nezaštićena od valova SW smjera potrebno je izgraditi novi lukobran, koji propušta morske struje, a otporan je na djelovanje valova koje uzrokuje lebić.

Ključne riječi:

Lučica, Zavala, lukobran, rekonstrukcija, propusni lukobran

Preliminary design of the marina Zavala on island Hvar

Abstract: At the cove Zavala on the southern side of the island of Hvar there is unfinished local marina for smaller vessels. Southern side of the island is exposed to strong waves coming from directions SE and SW. To increase the number of vessel berths and to maximize the safety, it is necessary to extend and strengthen the existing breakwater with upgrading of riprap. As the marina is unprotected from the waves coming from the SW direction it is necessary to build the new permeable breakwater that doesn't affect sea currents and it is resistant to the activity of waves caused by SW wind.

Keywords:

marina, Zavala, breakwater, reconstruction, permeable breakwater

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Jelena Tukić

BROJ INDEKSA: 476

KATEDRA: **Katedra za privrednu hidrotehniku**

PREDMET: Luke i pomorske građevine

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Idejno rješenje lučice Zavala na otoku Hvaru

Opis zadatka: Na južnoj strani otoka Hvara u mjestu Zavala potrebno je rekonstruirati i dograditi lukobrane radi bolje zaštite brodica domicilnog stanovništva. Unutar akvatorija lučice potrebno je izgraditi gatove za privez brodica. Lučica je izložena jakom djelovanju valova iz smjerova SE i SW.

U Splitu, 06. 03. 2015.

Voditelj Diplomskog rada:

izv. prof. dr. sc. Mijo Vranješ

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Prof.dr.sc. Ivica Boko

Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Miji Vranješu na strpljenju i savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Jelena Tukić

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. OPIS LOKACIJE..... | 2 |
| 3. ANALIZA VJETROVALNE KLIME..... | 4 |
| 3.1. Raspoloživi podaci o vjetru | 4 |
| 3.2. Dugoročna prognoza površinskih vjetrovnih valova | 9 |
| 3.3. Efektivne duljine privjetrišta | 10 |
| 3.4. Formiranje uzorka vjetra za dugoročne valne prognoze | 20 |
| 3.5. Proračun značajnih valnih visina za duga povratna razdoblja..... | 22 |
| 4. DEFORMACIJE VALA | 28 |
| 4.1. Refrakcija valova | 28 |
| 4.2. Primjena numeričke integracije | 29 |
| 4.3. Postupak rješavanja refrakcije | 32 |
| 5. LOM VALA | 34 |
| 5.1. Proračun parametara mjerodavnog vala | 37 |
| 6. ELEMENTI LUČICE | 41 |
| 6.1. Lukobrani..... | 41 |
| 6.2. Zapadni lukobran | 42 |
| 6.3. Analiza udara vala na zapadni lukobran:..... | 43 |
| 6.4. Istočni lukobran | 48 |
| 6.5. Gatovi | 49 |
| 7. ZAKLJUČAK | 54 |
| 8. POPIS PRILOGA | 56 |
| 9. POPIS NACRTA | 57 |
| 10. LITERATURA | 58 |

1. UVOD

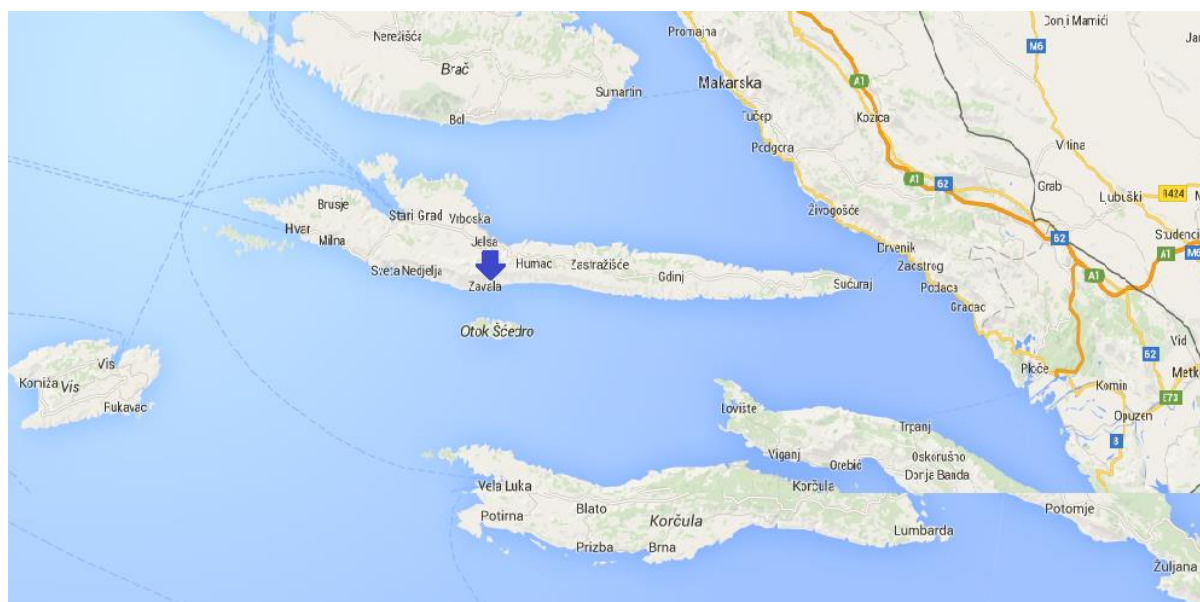
Zahvat koji se analizira ovim diplomskim radom je uređenje lučice Zavala (otok Hvar), koje se nalazi u južnom obalnom pojasu u prostoru općine Jelsa.

Na osnovu dostupnih podataka o postojećem stanju, zaključeno je da je nužno podizanje razine zaštite od nailazećih valova. Radi se o značajnijem povećanju obalno – pojasnog zahvata u vidu produljenja postojećeg lukobrana te izgradnji novog, propusnog lukobrana.

Izrađena je analiza vjetrovalne klime s dugoročnom prognozom vjetrovnih valova. Predloženo rješenje u potpunosti zadovoljava kriterije provedenih analiza te omogućava siguran cjelogodišnji privez brodova. Osiguran je privez za 34 plovila, što se smatra optimalnim brojem vezova s obzirom na potrebe domaćeg stanovništva, korisnike obližnjeg rekreativnog parka "Žbravura", ali i potrebe stalnih ili dnevnih posjetitelja.

2. OPIS LOKACIJE

Uvala Zavala nalazi se na južnoj strani otoka Hvara, na prostoru općine Jelsa, nedaleko od mjesta Svete Nedjelje i Ivan Dolca. Ulaz u prostor uvale orijentiran je u smjeru jugoistok - sjeverozapad. Na zapadnoj strani nalazi se prirodna zaštita koju tvore stijene iznad morske razine. Središnji dio čine potezi šljunčanih plaža te nekoliko manjih gatova domicilne izvedbe za smještaj brodica lokalnog stanovništva. Na istočnoj strani nalazi se lukobran približne dužine 40 m, orijentacije sjeveroistok - jugozapad. Lukobran s unutrašnje strane ima obalni zid gravitacijskog tipa. Površina predmetnog akvatorija iznosi 7787 m².



Slika 2.1. Lokacija lučice



Slika 2.2. Pogled na uvalu



Slika 2.3. Pogled na postojeći lukobran

3. ANALIZA VJETROVALNE KLIME














Za potrebe pomorskog graditeljstva najinteresantnije su prognoze vjetrovnih valova jer su to valovi najveće energije i stoga imaju najveća djelovanja na građevine. Rezultat prognoze su reprezentativni parametri valnog profila, visina vala H_s i valni period T_s . Prognoze mogu biti kratkoročne ili dugoročne, a vrše se na temelju podataka o vjetru ili češće podataka o valovima. Za kratkoročne prognoze su potrebni podaci jednog ili nekoliko pojedinačnih stanja mora unutar jedne vjetrovne situacije, a za dugoročnu podaci velikog broja situacija vjetra iz višegodišnjeg razdoblja opažanja. Dakle, dugoročna prognoza valova podrazumijeva procjenu valnih parametara kojima su pridruženi veliki povratni periodi (npr. 50 ili 100 godina). Procjena se provodi korištenjem prikladnog matematičkog modela kojim se iz postojećih podataka odnosno uzorka valova ekstrapoliraju vrijednosti za traženi povratni period.

3.1. Raspoloživi podaci o vjetru

Na predmetnoj lokaciji ne raspolaže se mjerenjima valova pa će se dugoročna valna prognoza za potrebe analize valovanja napraviti na osnovu raspoloživih mjerenja vjetra. Raspolaže se službenima podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda, mjerenih na Meteorološkoj postaji Split – Marjan u razdoblju 2000.–2009. godine.

Godišnja razdioba brzine vjetra u ovisnosti o smjeru vjetra za postaju Split prikazana je grafički na ruži vjetra, a numeričke vrijednosti dane su u tablici kontigencije. Brzine su izražene razredima brzina koji odgovaraju stupnjevima Bf

Tablica 3.1. 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 | mrežkanje 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, brijele 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 | extremno 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 |

Tablica 3.2. Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (apsolutne čestine), po klasama jačine (Bf) i brzine (m/s) vjetra za postaju Split-Marjan, za godinu, u razdoblju 2000.–2009.

| Jač. (Bf) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | ZBROJ |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Brzina (m/s) | 0.0-0.2 | 0.3-1.5 | 1.6-3.3 | 3.4-5.4 | 5.5-7.9 | 8.0-10.7 | 10.8-13.8 | 13.9-17.1 | 17.2-20.7 | 20.8-24.4 | 24.5-28.4 | 28.5-32.6 | 32.7-36.9 | |
| N | 0 | 1274 | 1427 | 419 | 170 | 54 | 13 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3358 |
| NNE | 0 | 1010 | 2368 | 1881 | 2193 | 1648 | 563 | 104 | 19 | 10 | 0 | 0 | 0 | 9796 |
| NE | 0 | 1494 | 5175 | 4307 | 3645 | 2453 | 678 | 172 | 49 | 5 | 2 | 0 | 0 | 17980 |
| ENE | 0 | 1186 | 3281 | 1544 | 391 | 118 | 15 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6538 |
| E | 0 | 786 | 1181 | 714 | 210 | 15 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2909 |
| ESE | 0 | 901 | 1281 | 1369 | 1902 | 1248 | 490 | 94 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7286 |
| SE | 0 | 910 | 1025 | 1233 | 1919 | 2084 | 1142 | 294 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8636 |
| SSE | 0 | 949 | 1125 | 277 | 227 | 220 | 158 | 42 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3003 |
| S | 0 | 976 | 878 | 134 | 115 | 101 | 72 | 43 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2320 |
| SSW | 0 | 959 | 2366 | 525 | 151 | 110 | 56 | 20 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4189 |
| SW | 0 | 1807 | 4234 | 1873 | 219 | 25 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8169 |
| WSW | 0 | 1204 | 1742 | 1096 | 143 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4187 |
| W | 0 | 346 | 538 | 166 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1067 |
| WNW | 0 | 455 | 817 | 150 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1427 |
| NW | 0 | 819 | 1431 | 365 | 31 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2651 |
| NNW | 0 | 929 | 876 | 231 | 45 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2089 |
| C | 438 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 438 |
| ZBROJ | 438 | 16005 | 2974 | 16284 | 11381 | 8091 | 3200 | 776 | 106 | 15 | 2 | 0 | 0 | 86043 |

Tablica 3.3. Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja različitih smjerova vjetra (relativne čestine), po klasama jačine (Bf) i brzine (m/s) vjetra za postaju Split-Marjan, za godinu, u razdoblju 2000.–2009.

| Jač. (Bf) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | ZBROJ |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Brzina (m/s) | 0.0-0.2 | 0.3-1.5 | 1.6-3.3 | 3.4-5.4 | 5.5-7.9 | 8.0-10.7 | 10.8-13.8 | 13.9-17.1 | 17.2-20.7 | 20.8-24.4 | 24.5-28.4 | 28.5-32.6 | 32.7-36.9 | |
| N | 0 | 3,22 | 5,336 | 0,39 | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 9,16 |
| NNE | 0 | 3,8 | 3,57 | 0,48 | 0,17 | 0,09 | 0,03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,14 |
| NE | 0 | 4,17 | 4,95 | 4,21 | 1,74 | 0,39 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,5 |
| ENE | 0 | 1,27 | 3,14 | 1,17 | 0,3 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,96 |
| E | 0 | 1,04 | 6,31 | 6,34 | 2,26 | 0,47 | 0,03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,45 |
| ESE | 0 | 0,51 | 2,42 | 3,16 | 2,81 | 1,58 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,78 |
| SE | 0 | 0,77 | 1,29 | 0,76 | 0,64 | 0,34 | 0,1 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| SSE | 0 | 0,35 | 0,32 | 0,3 | 0,32 | 0,17 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,51 |
| S | 0 | 0,64 | 0,38 | 0,5 | 0,39 | 0,08 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,01 |
| SSW | 0 | 0,28 | 0,23 | 0,37 | 0,17 | 0,07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,12 |
| SW | 0 | 0,57 | 0,55 | 0,35 | 0,12 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,6 |
| WSW | 0 | 0,12 | 0,15 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,34 |
| W | 0 | 0,58 | 1,65 | 0,31 | 0,13 | 0,04 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,73 |
| WNW | 0 | 0,77 | 1,57 | 0,36 | 0,04 | 0 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,75 |
| NW | 0 | 0,85 | 1,36 | 0,11 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,33 |
| NNW | 0 | 3,56 | 5,77 | 0,69 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,18 |
| C | 5,44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,44 |
| ZBROJ | 5,44 | 22,5 | 39,02 | 19,55 | 9,37 | 3,34 | 0,64 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 100 |

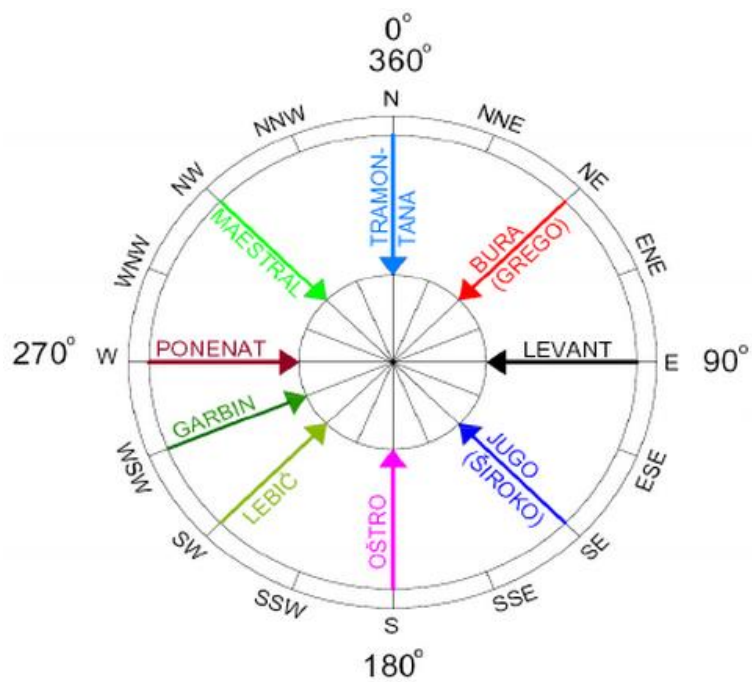
Najčešći smjerovi vjetra na području Splita su NE (20.9%), NNE (11.4%), SE (10.0%) slučajeva od ukupnog broja podataka tijekom godine. To su poznati vjetrovi bura i jugo. Bura je suh, hladan i mahovit sjeveroistočni vjetar povezan s prodorom hladnog zraka iz hladnijih krajeva. Bura dolazi s kopna i puše uglavnom smjerom prema moru. Puše obično velikom, ponekad orkanskom snagom.

Za razliku od bure, jugo puše jednoličnom brzinom i stvara velike valove. Jugo ili široko puše s jugoistoka na Jadranu, a obično je povezan s nadolazećom ciklonom iz zapadnog Sredozemlja. Jugo ili južina je naziv za vrijeme koje donosi taj vjetar i koje karakteriziraju izrazito loši biometeorološki uvjeti.

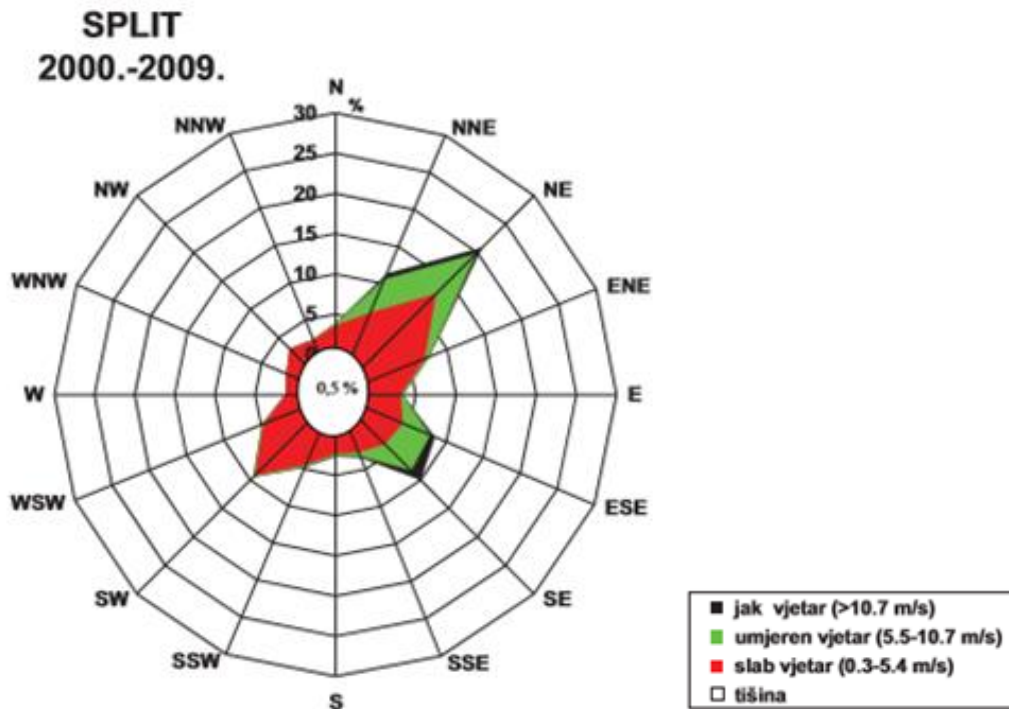
Uz ta dva najčešća vjetra treba spomenuti i vjetar iz smjera SW, koji se na području Splita javlja u 9.5 % slučajeva na godišnjoj razini. To je lebić koji nastaje kad ciklonska

oblast prelazi Zapadnom Europom prema Genovskom zaljevu. Stvara velike valove i muti more. Naročito je snažan u hladnije doba godine, tijekom jeseni i zime.

Tišine su situacije bez vjetra koje se na splitskom području najčešće javljaju ljeti i u proljeće.



Slika 3.1. Tradicionalni nazivi vjetrova na Jadranu



Slika 3.2. Godišnja ruža vjetra za Split u razdoblju 2000-2009. (DHMZ RH)

3.2. Dugoročna prognoza površinskih vjetrovnih valova

Dugoročna prognoza se radi iz uzoraka dobivenih mjerenjem valova za kratkoročna stacionarna stanja mora. Kako se ne raspolaže ovim mjerenjima, napravit 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 te pripadajući izrazi za ekstrapolaciju vrijednosti u promatranim povratnim periodima kako bi se dobile pripadajuće značajne visine vala - H_s .

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).

3.3. Efektivne duljine privjetrišta

Predmetna lokacija izložena je prvenstveno vjetrovnim valovima generiranim vjetrovima juga i lebića te nešto manjeg inteziteta i vjetrovima oštra.

Za smjer JJZ ($202,5^\circ$) podaci o vjetru pokazuje relativno velik značaj u odnosu na druge smjerove vjetra, ali zbog zaklonjenosti lokacije otokom Šćedrom, valovi generirani ovim smjerom neće imati veći značaj.

Smjer IJI ($112,5^\circ$) također ima relativno velik značaj, ali zbog orijentacije ulaza u akvatorij, ovaj smjer juga je manje nepovoljan nego smjer II (135°).

Dakle, procijenjeno je da su smjerovi II (135°) te JZ (225°) najnepovoljniji smjerovi s najvećim utjecajem na razmatrani akvatorij.

Za potrebe proračuna efektivne duljine privjetrišta izvršena je sektorizacija vjetrova.



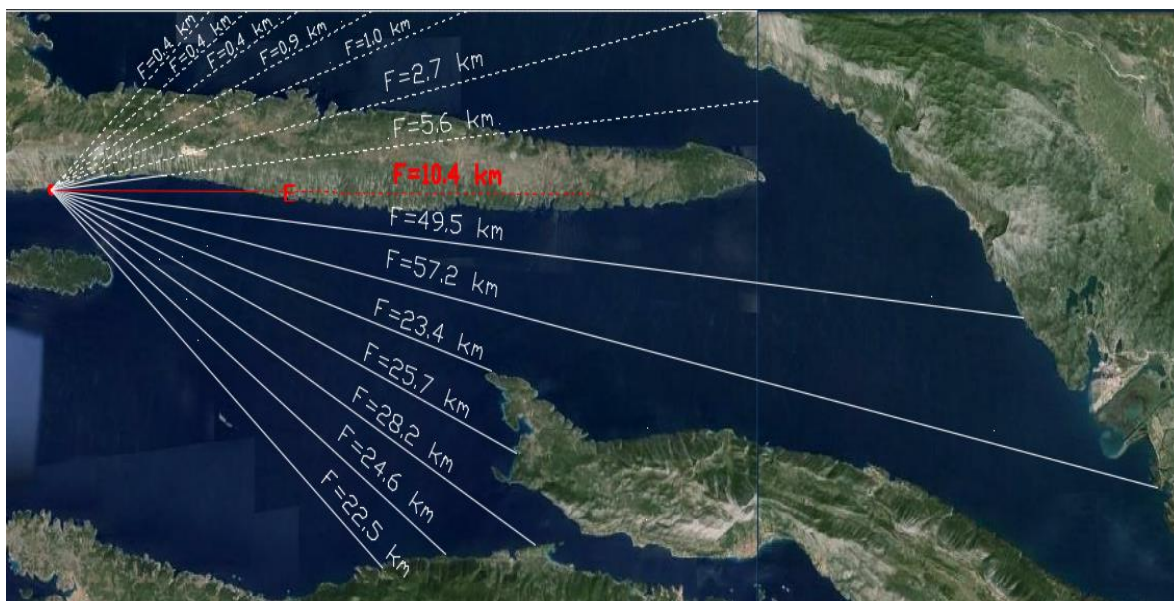
Slika 3.3. Sektorizacija vjetrova

Proračun efektivne duljine privjetrišta za sve smjerove je proveden metodom koja se uobičajeno koristi u svjetskoj praksi, a dana je literaturom (Shore Protection Manual, 1984). U svakom od odabranih smjerova postavi se centralna zraka koja kao ishodište ima točku ispred razmatranog akvatorija. Nakon toga se sa rotacijom od 6° u smjeru kazaljke na satu (do $+42^\circ$) i suprotno od kazaljke na satu (do -42°) postavljaju pravci kroz istu ishodišnu točku. Određuju se duljine svake zrake od ishodišta do prve točke obale 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 i vrijednost duljine efektivnog privjetrišta prema izrazu (1).

$$F_{eff} = \frac{\sum_i F_i \cos \alpha_i^2}{\sum_i \cos \alpha_i} \quad (1)$$

Konačne efektivne duljine privjetrišta za sektore određene su kao maksimalne vrijednosti proračunatih efektivnih privjetrišta iz pripadnih smjerova po sektorima.

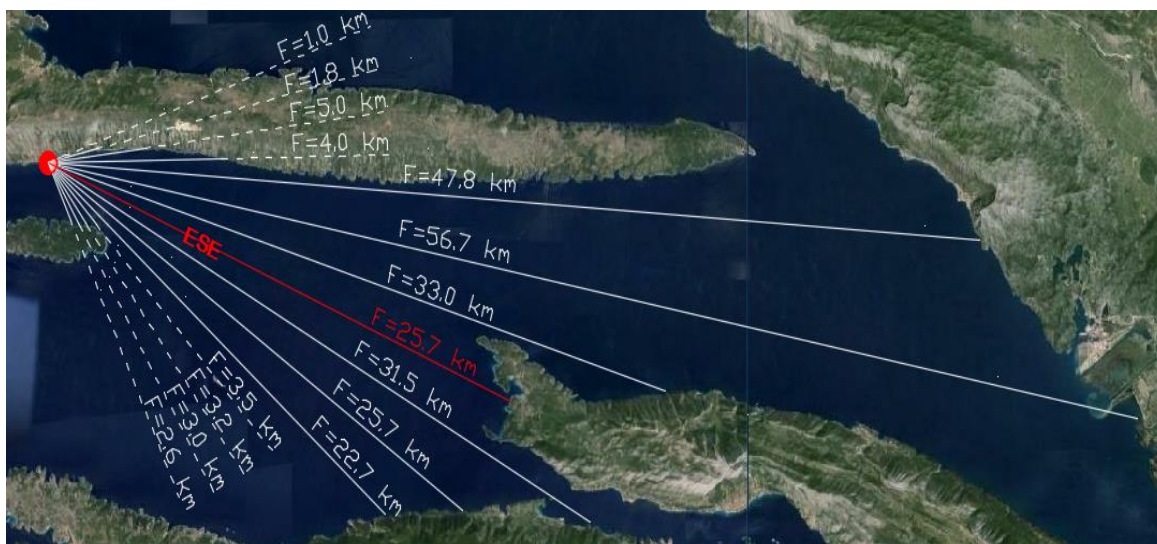
Postupak je prikazan na slikama 3.4 – 3.12. te u tablicama 3.4. – 3.10.



Slika 3.4. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer E (90°)

Tablica 3.4. Proračun određivanja efektivne duljine privjetrišta za smjer E

| smjer E | | | |
|------------------|--------------|------------|----------------------------|
| Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i \cdot (\cos\alpha)^2$ |
| 42 | 0,743 | 0,4 | 0,221 |
| 36 | 0,809 | 0,4 | 0,262 |
| 30 | 0,866 | 0,4 | 0,3 |
| 24 | 0,914 | 0,9 | 0,752 |
| 18 | 0,951 | 1,0 | 0,904 |
| 12 | 0,978 | 2,7 | 2,583 |
| 6 | 0,995 | 5,6 | 5,544 |
| 0 | 1,000 | 10,4 | 10,4 |
| -6 | 0,995 | 49,5 | 49,006 |
| -12 | 0,978 | 57,2 | 54,711 |
| -18 | 0,951 | 23,4 | 21,163 |
| -24 | 0,914 | 25,7 | 21,47 |
| -30 | 0,866 | 28,2 | 21,149 |
| -36 | 0,809 | 24,6 | 16,1 |
| -42 | 0,743 | 22,5 | 12,421 |
| Σ | 13,51 | | 216,986 |
| $F_{eff} =$ | 16,06 | | |



Slika 3.5. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer ESE (112,5°)

Tablica 3.5. Proračun određivanja efektivne duljine privjetrišta za smjer ESE

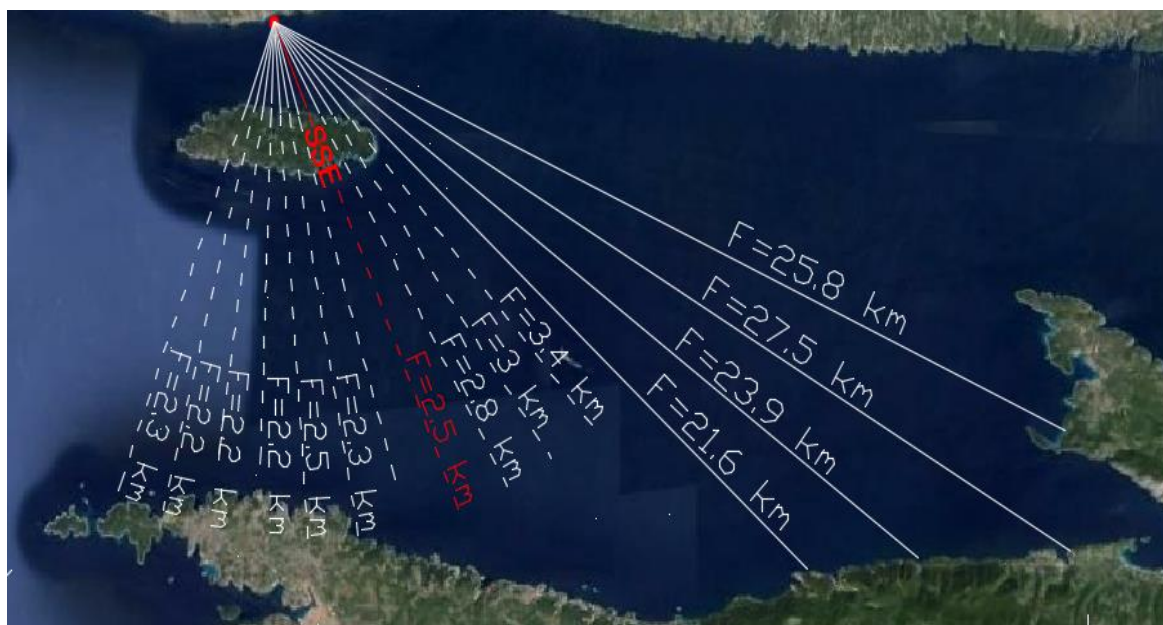
| smjer ESE | | | |
|------------------|--------------|------------|----------------------------|
| Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i \cdot (\cos\alpha)^2$ |
| 42 | 0,743 | 1,0 | 0,552 |
| 36 | 0,809 | 1,8 | 1,178 |
| 30 | 0,866 | 5,0 | 3,75 |
| 24 | 0,914 | 4,0 | 3,342 |
| 18 | 0,951 | 47,8 | 43,23 |
| 12 | 0,978 | 56,7 | 54,233 |
| 6 | 0,995 | 33,0 | 32,671 |
| 0 | 1,000 | 25,7 | 25,7 |
| -6 | 0,995 | 31,5 | 31,186 |
| -12 | 0,978 | 25,7 | 24,582 |
| -18 | 0,951 | 22,7 | 20,53 |
| -24 | 0,914 | 3,5 | 2,924 |
| -30 | 0,866 | 3,2 | 2,4 |
| -36 | 0,809 | 3,0 | 1,963 |
| -42 | 0,743 | 3,6 | 1,987 |
| Σ | 13,512 | | 250,228 |
| $F_{eff} =$ | 18,52 | | |



Slika 3.6. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer SE (135°)

Tablica 3.6. Proračun određivanja efektivne duljine privjetrišta za smjer SE

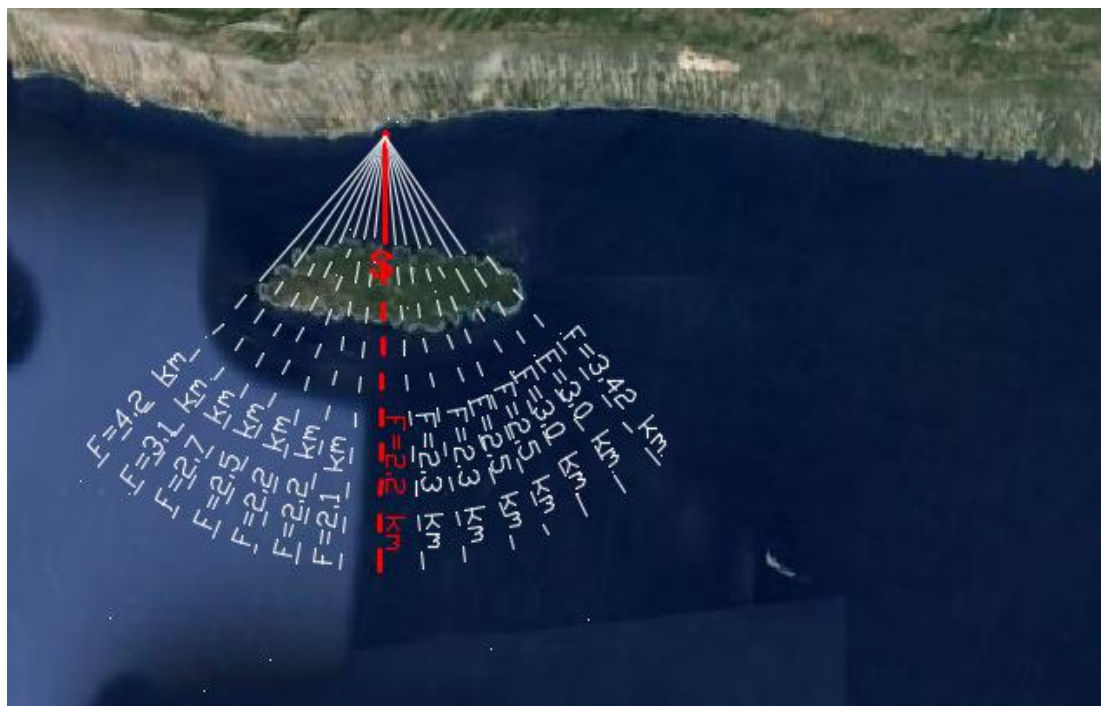
| smjer SE | | | |
|------------------|--------------|------------|----------------------------|
| Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i \cdot (\cos\alpha)^2$ |
| 42 | 0,743 | 47,8 | 26,388 |
| 36 | 0,809 | 54,0 | 35,342 |
| 30 | 0,866 | 34,3 | 25,723 |
| 24 | 0,914 | 26,0 | 21,72 |
| 18 | 0,951 | 25,4 | 22,972 |
| 12 | 0,978 | 26,1 | 24,964 |
| 6 | 0,995 | 23,0 | 22,771 |
| 0 | 1,000 | 3,9 | 3,9 |
| -6 | 0,995 | 3,1 | 3,069 |
| -12 | 0,978 | 3,0 | 2,869 |
| -18 | 0,951 | 2,6 | 2,351 |
| -24 | 0,914 | 2,5 | 2,088 |
| -30 | 0,866 | 2,6 | 1,95 |
| -36 | 0,809 | 2,3 | 1,505 |
| -42 | 0,743 | 2,7 | 1,491 |
| Σ | 13,51 | | 199,103 |
| Feff = | 14,74 | | |



Slika 3.7. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer SSE (157,5°)

Tablica 3.7. Proračun određivanja efektivne duljine privjetrišta za smjer SSE

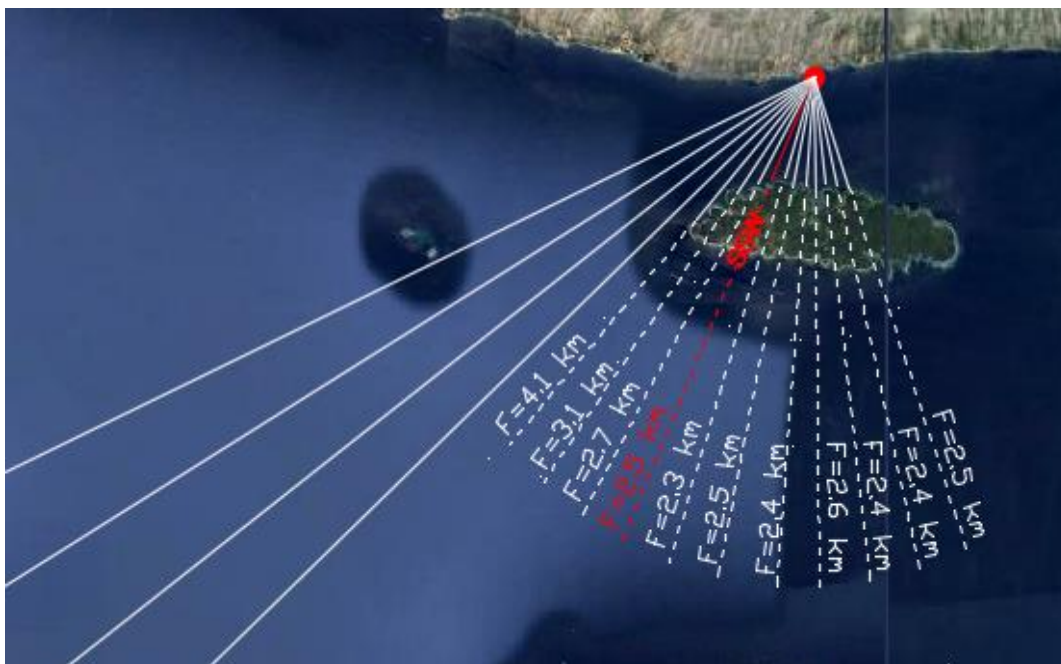
| smjer SSE | | | |
|------------------|--------------|------------|----------------------------|
| Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i \cdot (\cos\alpha)^2$ |
| 42 | 0,743 | 25,8 | 14,243 |
| 36 | 0,809 | 27,5 | 17,998 |
| 30 | 0,866 | 23,9 | 17,924 |
| 24 | 0,914 | 21,6 | 18,045 |
| 18 | 0,951 | 1,4 | 1,239 |
| 12 | 0,978 | 3,4 | 3,252 |
| 6 | 0,995 | 3,0 | 2,97 |
| 0 | 1,000 | 2,5 | 2,5 |
| -6 | 0,995 | 2,6 | 2,574 |
| -12 | 0,978 | 2,3 | 2,2 |
| -18 | 0,951 | 2,5 | 2,261 |
| -24 | 0,914 | 2,2 | 1,838 |
| -30 | 0,866 | 2,2 | 1,65 |
| -36 | 0,809 | 2,2 | 1,44 |
| -42 | 0,743 | 2,3 | 1,27 |
| Σ | 13,51 | | 91,404 |
| Feff = | 6,76 | | |



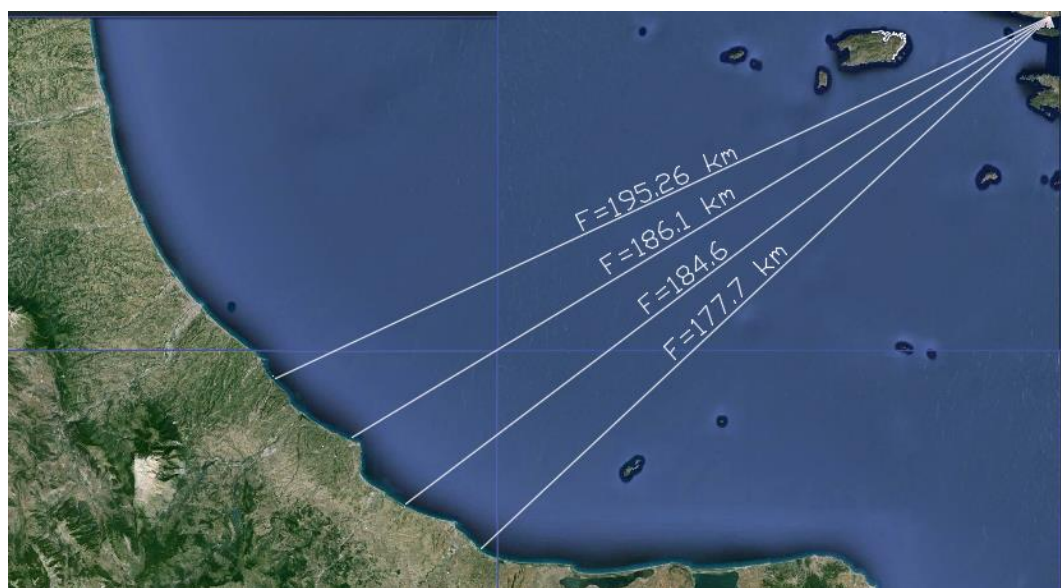
Slika 3.8. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer S (80°)

Tablica 3.8. Proračun određivanja efektivne duljine privjetrišta za smjer S

| smjer S | | | |
|---------------------------|--------------|------------|----------------------------|
| Kut α [$^\circ$] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i \cdot (\cos\alpha)^2$ |
| 42 | 0,743 | 3,4 | 1,888 |
| 36 | 0,809 | 3,0 | 1,963 |
| 30 | 0,866 | 3,0 | 2,25 |
| 24 | 0,914 | 2,5 | 2,088 |
| 18 | 0,951 | 2,5 | 2,261 |
| 12 | 0,978 | 2,3 | 2,2 |
| 6 | 0,995 | 2,3 | 2,277 |
| 0 | 1,000 | 2,2 | 2,2 |
| -6 | 0,995 | 2,1 | 2,079 |
| -12 | 0,978 | 2,2 | 2,104 |
| -18 | 0,951 | 2,2 | 1,99 |
| -24 | 0,914 | 2,5 | 2,088 |
| -30 | 0,866 | 2,7 | 2,025 |
| -36 | 0,809 | 3,1 | 2,029 |
| -42 | 0,743 | 4,2 | 2,319 |
| Σ | 13,51 | | 31,761 |
| $F_{eff} =$ | 2,35 | | |



Slika 3.9. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer SSW ($202,5^\circ$)



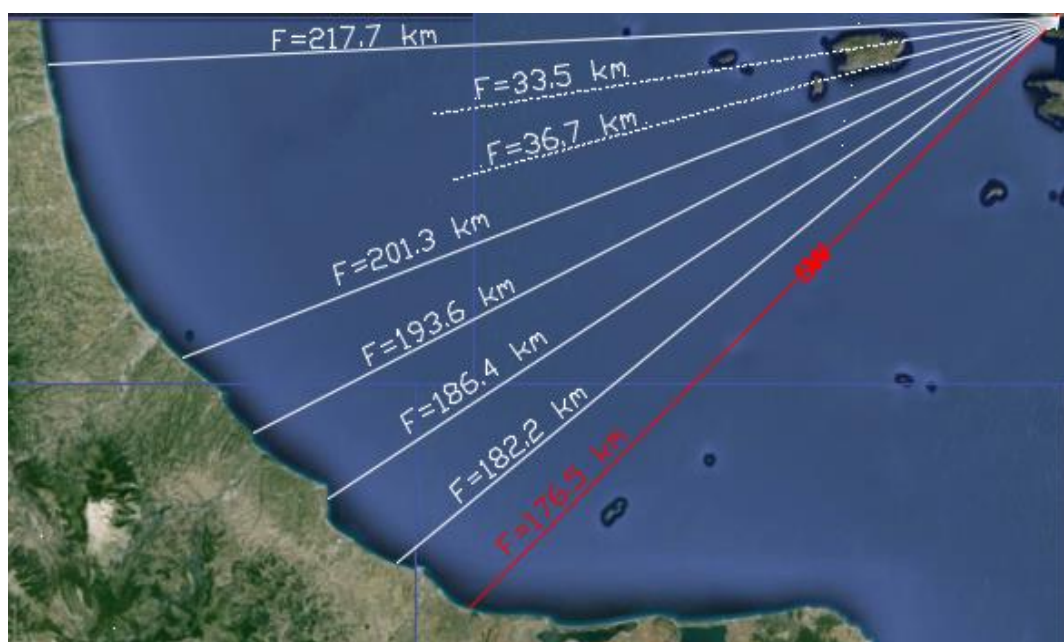
Slika 3.10. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer SSW ($202,5^\circ$) – šire područje

Tablica 3.9. Proračun određivanja efektivne duljine privjetrišta za smjer SSW

| smjer SSW | | | |
|------------------|--------------|------------|----------------------------|
| Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i \cdot (\cos\alpha)^2$ |
| 42 | 2,500 | 47,8 | 298,75 |
| 36 | 2,400 | 54,0 | 311,04 |
| 30 | 2,400 | 34,3 | 197,568 |
| 24 | 2,600 | 26,0 | 175,76 |
| 18 | 2,400 | 25,4 | 146,304 |
| 12 | 2,500 | 26,1 | 163,125 |
| 6 | 2,300 | 23,0 | 121,67 |
| 0 | 2,500 | 3,9 | 24,375 |
| -6 | 2,700 | 3,1 | 22,599 |
| -12 | 3,100 | 3,0 | 28,83 |
| -18 | 4,100 | 2,6 | 43,706 |
| -24 | 177,700 | 2,5 | 78943,225 |
| -30 | 184,600 | 2,6 | 88600,616 |
| -36 | 186,100 | 2,3 | 79656,383 |
| -42 | 195,300 | 2,7 | 102983,643 |
| Σ | 773,2 | | 351717,594 |
| $F_{eff} =$ | 454,89 | | |



Slika 3.11. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer SW (225°)



Slika 3.12. Skica za izračun efektivne duljine privjetrišta za centralni smjer SW (225°)

– šire područje

Tablica 3.10. Proračun određivanja efektivne duljine privjetrišta za smjer SW

| smjer SW | | | |
|------------------|--------------|------------|----------------------------|
| Kut α [°] | $\cos\alpha$ | F_i [km] | $F_i \cdot (\cos\alpha)^2$ |
| 42 | 0,743 | 2,4 | 1,325 |
| 36 | 0,809 | 2,5 | 1,636 |
| 30 | 0,866 | 2,3 | 1,725 |
| 24 | 0,914 | 2,4 | 2,005 |
| 18 | 0,951 | 2,6 | 2,351 |
| 12 | 0,978 | 3,1 | 2,965 |
| 6 | 0,995 | 3,6 | 3,564 |
| 0 | 1,000 | 176,5 | 176,5 |
| -6 | 0,995 | 182,2 | 180,383 |
| -12 | 0,978 | 186,4 | 178,289 |
| -18 | 0,951 | 193,6 | 175,092 |
| -24 | 0,914 | 201,3 | 168,165 |
| -30 | 0,866 | 36,7 | 27,523 |
| -36 | 0,809 | 33,5 | 21,925 |
| -42 | 0,743 | 217,7 | 120,181 |
| Σ | 13,512 | | 1063,629 |
| $F_{eff} =$ | 78,72 | | |

3.4. Formiranje uzorka vjetra za dugoročne valne prognoze

Kada se ne raspolaže s mjerenjima valova, uzorak valova se može napraviti na temelju podataka o mjerenju vjetra.

Statističke veličine (varijable) valnih visina, kao što su H_s (značajna valna visina) i H_{max} (maksimalna valna visina) dobiju se u slučaju kada se raspolaže s mjerenjima valova, iz valnog zapisa valnog obrisa u vremenu na nekoj točki. Ovisno o vremenu mjerenja ti podaci označuju ekstreme za razmatrani period. Svakoj veličini (varijabli) pripada osnovna distribucija vjerojatnosti za koju se pretpostavlja da je Fisher-Tippetovog tipa, a što ima za posljedicu da je odgovarajuća distribucija vjerojatnosti ekstrema istog tipa. Ovisno o vremenskom razdoblju razmatranja ekstremnog valnog parametra razlikuju se model godišnjih ekstremnih vrijednosti s pripadajućom distribucijom vjerojatnosti i model ekstremnih vrijednosti koje premašuju neki prag s pripadajućom distribucijom vjerojatnosti.

Pošto se ovdje raspolaže sa tablicom kontigencije vjetra, koristit će se drugi model - ekstremnih vrijednosti koje premašuju određeni prag sa pripadajućom log-normalnom distribucijom. S obzirom da uzorak H_s za dugoročnu prognozu trebaju predstavljati pojedine kratkoročne valne situacije sa većim valovima (vjetrom koji ih stvara) ovdje se odabire prag brzine vjetra u iznosu od 3,4 - 5,4 m/s, što odgovara brzini vjetra od 3 Bf.

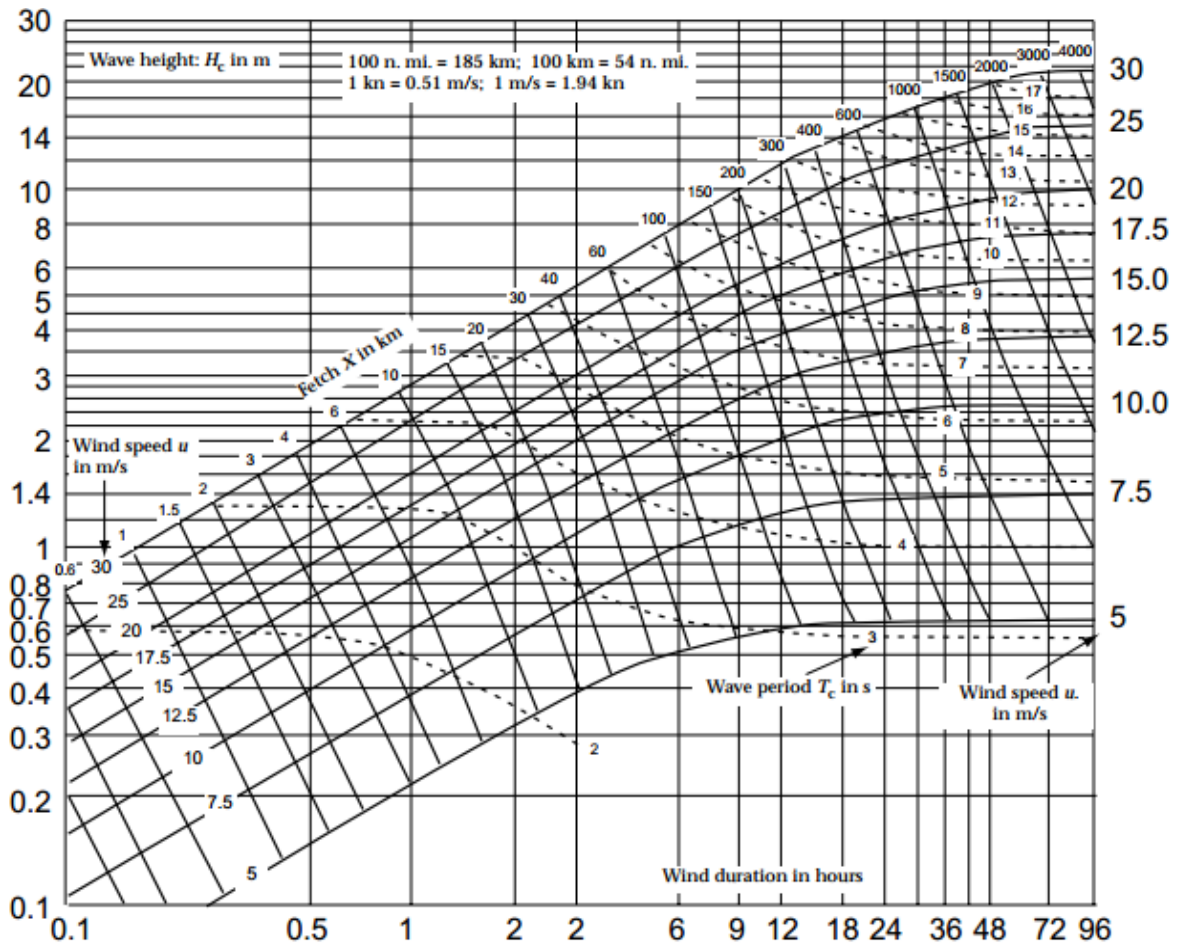
Uzorak vjetra (Tablica 3.11.) formira se po kriteriju prekoračenja praga (brzina veća od 3 Bf) iz tablice kontigencije vjetra s apsolutnim učestalostima (Tablica 3.2.), gdje su dane satne brzine.

Tablica 3.11. Uzorak vjetra

| SEKTOR | JAČINA VJETRA (Bf) | | | | | |
|-----------|--------------------|------|------|------|-----|----|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| S1 | 2083 | 2112 | 1263 | 491 | 96 | 1 |
| S2 | 1644 | 2261 | 2405 | 1372 | 379 | 35 |
| S3 | 3494 | 513 | 137 | 66 | 21 | 2 |

Za određivanje karakteristika vala u dubokoj vodi i ostalih parametara za dimenzioniranje objekata korištena je metoda „Groen-Dorrenstein“. Ova metoda služi za

određivanje uzorka H_S iz uzorka podataka o vjetru. Na temelju već određene duljine privjetrišta te smjera i brzine vjetra za oba sektora iz dijagrama Groen-Dorrenstein (Slika 3.12.) očitavaju se parametri vala u dubokom moru. Određeni parametri su period - T i visina vala – H_S . Rezultati za pojedini sektor prikazani su u tablici 3.12.



Slika 3.12. Groen-Dorrensetin dijagram za prognozu dubokovodnog značajnog vala u funkciji brzine i trajanja vjetra te privjetrišta

Tablica 3.12. Uzorak značajnih valnih visina H_s i pripadajućih valnih perioda

| | | | | | | | |
|------------|--------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
| | Wind velocity[m/s] | 5,4 | 7,9 | 10,7 | 13,8 | 17,1 | 20,7 |
| | Wind [Bf] | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Sector I | Fetch [km] | F _{eff1} =18,52 km | | | | | |
| | Frequency | 2083 | 2112 | 1263 | 491 | 96 | 1 |
| | Ts[s] | 2,3 | 3 | 3,3 | 3,7 | 3,9 | 4,4 |
| | Hs [m] | 0,45 | 0,75 | 1,05 | 1,49 | 1,97 | 2,5 |
| Sector II | Fetch [km] | F _{eff1} =14,74 km | | | | | |
| | Frequency | 1644 | 2261 | 2405 | 1372 | 379 | 35 |
| | Ts[s] | 2,3 | 2,7 | 3,05 | 3,39 | 3,82 | 4 |
| | Hs [m] | 0,42 | 0,69 | 1 | 1,33 | 1,75 | 2,21 |
| Sector III | Fetch [km] | F _{eff1} =78,72 km | | | | | |
| | Frequency | 3494 | 513 | 137 | 66 | 21 | 2 |
| | Ts[s] | 3,19 | 4,1 | 4,9 | 5,5 | 6,15 | 6,85 |
| | Hs [m] | 0,68 | 1,23 | 1,81 | 2,58 | 3,4 | 4,5 |

3.5. Proračun značajnih valnih visina za duga povratna razdoblja

Za uzorak iz tablice 3.9. radi se metoda dugoročne valne analize uz primjenu Gumbelove distribucije za opis varijable (visine vala). Uz pomoć izraza za ekstrapolaciju (2) i (3) dobije se vrijednost visine vala za pojedina povratna razdoblja $T_R = (5, 10, 20, 50, 100)$.

$$P(H' \leq H) = 1 - \frac{1}{\lambda T_R} \quad (2)$$

$$H_{T_R} = \gamma - \beta \ln \left(\ln \left(\frac{\lambda T_R}{\lambda T_R - 1} \right) \right) \quad (3)$$

gdje je:

T_R – traženi povratni period

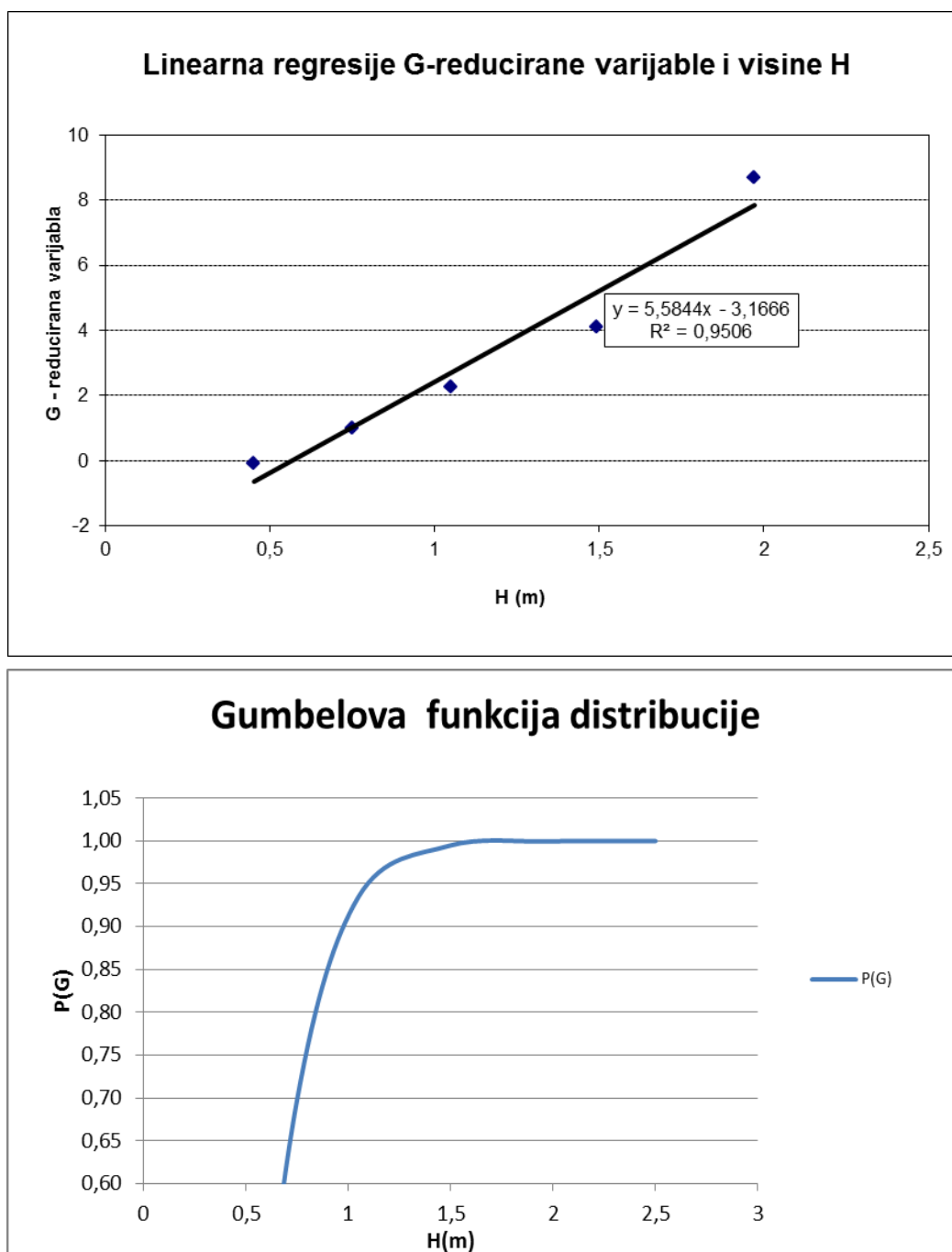
H_{T_R} – značajna visina vala za traženi povratni period ekstrapolirana uz pomoć distribucije definirane na mjerenjima od $N=9$ godina (2000. – 2009.)

λ – parametar koji predstavlja odnos ukupnog broja pojavljivanja valova iznad odabrane granične visine vala i broja godina u kojem je promatran uzorak (izraz 4)

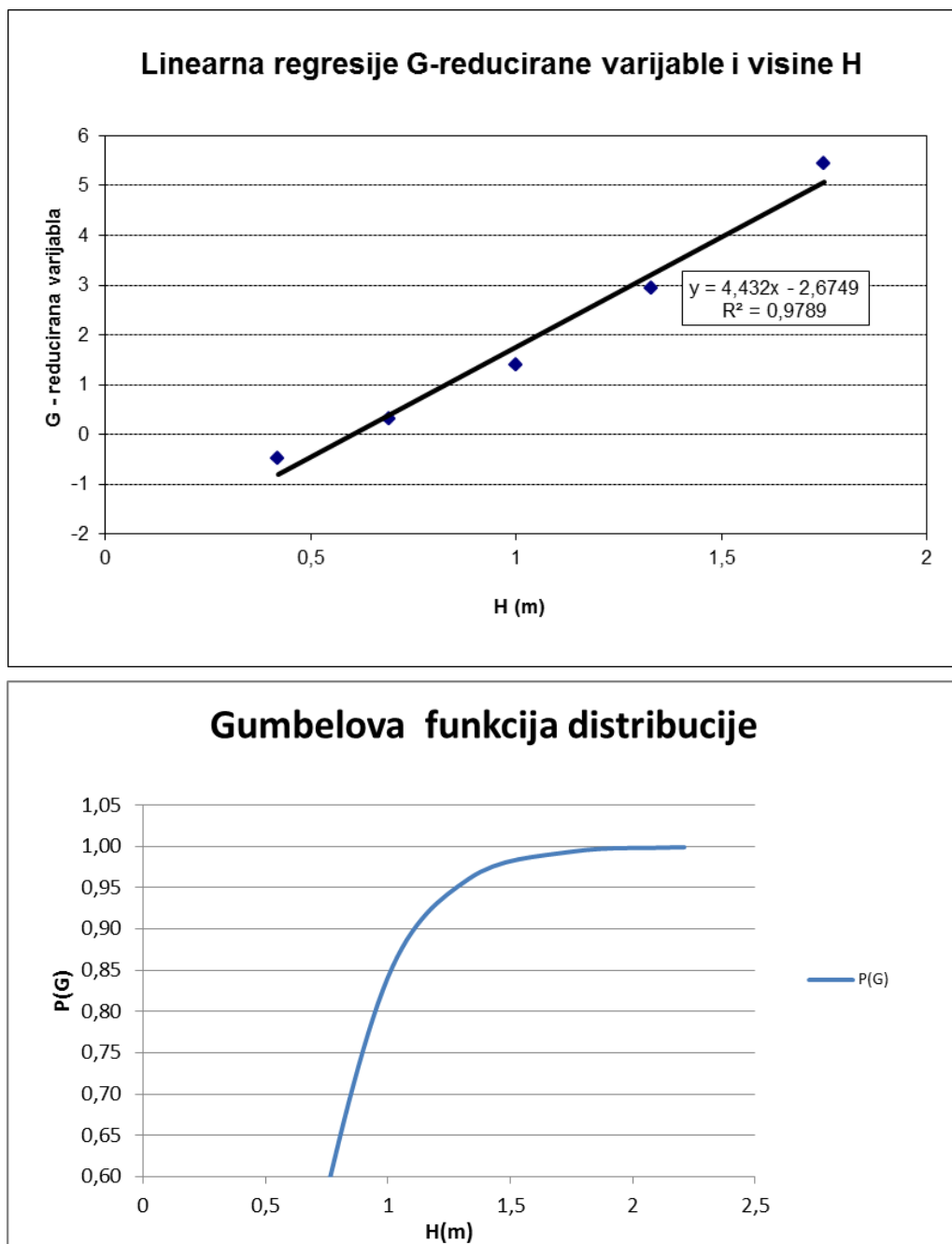
$$\lambda = \frac{\sum N (H > H_{gr})}{N_{godina}} \quad (4)$$

Definiranje pripadajućih perioda za dobivene značajne visine vala određeno je na isti način, statističkom obradom podataka uz upotrebu Gumbelove distribucije i korištenjem iste formule za ekstrapolaciju (izrazi 2 i 3).

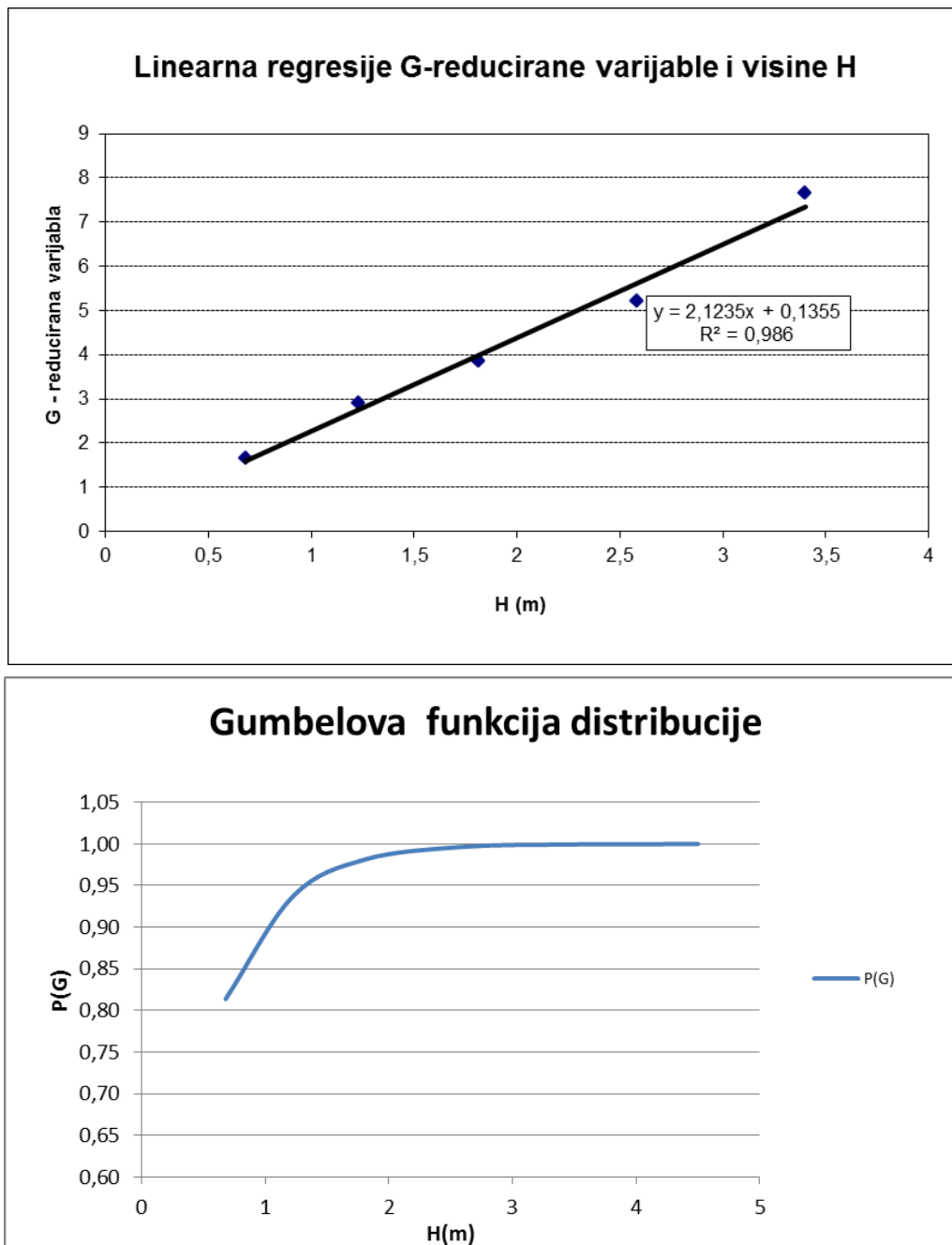
U nastavku su prikazane linearne regresije reducirane Gumbelove varijable (G) korištene za dobivanje gore spomenutih koeficijenata (iz faktora pravca regresije), kao i pripadajuće distribucije (Slika 3.13. i 3.14.), za dobivanje značajne visine vala po pojedinom sektoru.



Slika 3.13. Linearna regresija G-varijable i pripadajuća Gumbelova distribucija za sektor I



Slika 3.14. Linearna regresija G-varijable i pripadajuća Gumbelova distribucija za sektor II



Slika 3.15. Linearna regresija G-varijable i pripadajuća Gumbelova distribucija za sektor III

U Tablicama 3.13., 3.14. i 3.15. dane su 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 desetinske ($H_{1/10}^{PP}$), stotinske ($H_{1/100}^{PP}$) i maksimalne valne visine (H_{max}^{PP}) za svaki sektor i povratni period.

Tablica 3.13. Prikaz prognoziranih vrijednosti visina vala i pripadajući periodi vala za sektor I

$$(H_{1/10}=1,27 \cdot H_s; H_{1/100}=1,67 \cdot H_s; H_{max}=1,8 \cdot H_s; T_p=1,1T_0)$$

| PP | SEKTOR I | | | | | | |
|-----|----------|------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | H_s | $H_{1/10}$ | $H_{1/100}$ | $H_{1/max}$ | T_0 | L_0 | T_P |
| | (m) | (m) | (m) | (m) | (s) | (m) | (s) |
| 100 | 2,56 | 3,25 | 4,27 | 4,60 | 4,90 | 37,44 | 5,39 |
| 50 | 2,43 | 3,09 | 4,06 | 4,38 | 4,75 | 35,26 | 5,23 |
| 20 | 2,27 | 2,88 | 3,79 | 4,08 | 4,56 | 32,46 | 5,01 |
| 10 | 2,15 | 2,72 | 3,58 | 3,86 | 4,41 | 30,43 | 4,85 |
| 5 | 2,02 | 2,57 | 3,37 | 3,64 | 4,27 | 28,46 | 4,70 |

Tablica 3.14. Prikaz prognoziranih vrijednosti visina vala i pripadajući peridoi vala za sektor II

$$(H_{1/10}=1,27 \cdot H_s; H_{1/100}=1,67 \cdot H_s; H_{max}=1,8 \cdot H_s; T_p=1,1T_0)$$

| PP | SEKTOR II | | | | | | |
|-----|-----------|------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | H_s | $H_{1/10}$ | $H_{1/100}$ | $H_{1/max}$ | T_0 | L_0 | T_P |
| | (m) | (m) | (m) | (m) | (s) | (m) | (s) |
| 100 | 3,18 | 4,04 | 5,31 | 5,72 | 5,49 | 47,14 | 6,04 |
| 50 | 3,02 | 3,84 | 5,04 | 5,44 | 5,31 | 44,13 | 5,85 |
| 20 | 2,81 | 3,57 | 4,70 | 5,07 | 5,08 | 40,30 | 5,59 |
| 10 | 2,66 | 3,38 | 4,44 | 4,78 | 4,90 | 37,51 | 5,39 |
| 5 | 2,50 | 3,18 | 4,18 | 4,50 | 4,72 | 34,83 | 5,19 |

Tablica 3.15. Prikaz prognoziranih vrijednosti visina vala i pripadajući peridoi vala za sektor II

$$(H_{1/10}=1,27 \cdot H_s; H_{1/100}=1,67 \cdot H_s; H_{max}=1,8 \cdot H_s; T_p=1,1T_0)$$

| PP | SEKTOR III | | | | | | |
|-----|------------|------------|-------------|-------------|-------|--------|-------|
| | H_s | $H_{1/10}$ | $H_{1/100}$ | $H_{1/max}$ | T_0 | L_0 | T_P |
| | (m) | (m) | (m) | (m) | (s) | (m) | (s) |
| 100 | 5,00 | 6,35 | 8,35 | 9,00 | 8,16 | 103,93 | 8,97 |
| 50 | 4,68 | 5,94 | 7,81 | 8,42 | 7,80 | 94,93 | 8,58 |
| 20 | 4,24 | 5,39 | 7,09 | 7,64 | 7,32 | 83,66 | 8,05 |
| 10 | 3,92 | 4,98 | 6,54 | 7,05 | 6,96 | 75,60 | 7,65 |
| 5 | 3,59 | 4,56 | 6,00 | 6,47 | 6,60 | 67,96 | 7,26 |

4. DEFORMACIJE VALA

Profil i parametri vala postepeno se mijenjaju kad se val rasprostire iz dubokog mora prema plitkom. U dubokom moru valne karakteristike se dobro opisuju linearnom teorijom, dok teorije valova konačnih amplituda dobro aproksimiraju valove u plićem moru. Prema ovim teorijama izvedene su brojne relacije i definirani parametri prema kojima se izračunavaju transformacije valova.

Rasprostiranjem vala prema obali nastaje prostorno i vremenski niz deformacija, a to su:

- deformacija valova na nagnutom dnu zbog smanjenja dubine (“shoaling” efekt)
- deformacija valova usljed trenja s dnom
- refleksija valova
- refrakcija valova (kad valovi nailaze koso na izobate)
- difrakcija valova
- lom valova

4.1. Refrakcija valova

Refrakcija je deformacija valova na nagnutom dnu kada oni nailaze koso ($\alpha \neq 0$) na izobate morskog dna. Manifestira se promjenom smjera rasprostiranja valova i parametara vala. Promjena smjera rasprostiranja valova nastaje u prelaznom području i u plitkom moru tj. kad je $d < L_0/2$ i ovisi o dubini d i kutu kojeg zraka vala čini s konturom dna. Promjena smjera zraka vala nastaje zbog razlika u brzini rasprostiranja dijela vala koji je u plićem moru te napreduje sporije i dijela vala koji je u dubljem moru i napreduje brže. Ova promjena smjera se očituje povijanjem grebenova, koji su u dubokoj vodi paralelni pravci, a rasprostiranjem prema obali grebenovi se savijaju i sve više poprimaju oblik izobata odnosno obalne crte.

Dužina vala se prema obali smanjuje, a visina vala se ovisno o refrakciji povećava (na rtovima) ili smanjuje (u uvalama).

Utjecaj refrakcije na visinu vala H na bilo kojem mjestu izražava se koeficijentom

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

B_0 – širina snopa jedinične valne energije u dubokom moru ($d > L_0/2$)

B – širina snopa na mjestu na kojem računamo valnu visinu

Refrakcija valova prikazuje se planom refrakcije koji se sastoji od grebenova valova i zraka (ortogonala) – okomica na grebenove.

4.2. Primjena numeričke integracije

U dubokom moru ($d > L_0/2$) dno ne utječe na promjenu parametara vala (kaže se da val “ne osjeća dno”). Zbog toga su parametri vala konstantne veličine i u dubokom moru se “indeksiraju” s “0”; H_0 – visina vala, L_0 – dužina vala, c_0 – brzina vala. Brzina vala ne ovisi o dubini mora d , već o periodu vala $c = f(T)$, koji je za idealan val konstantan ($T = \text{const.}$). Zbog toga sve točke duž grebena vala u dubokom moru imaju istu brzinu pa su grebenovi i zrake valova pravci.

- brzina točke vala

$$c = c_0 = f(T) = \text{const.} \quad (5)$$

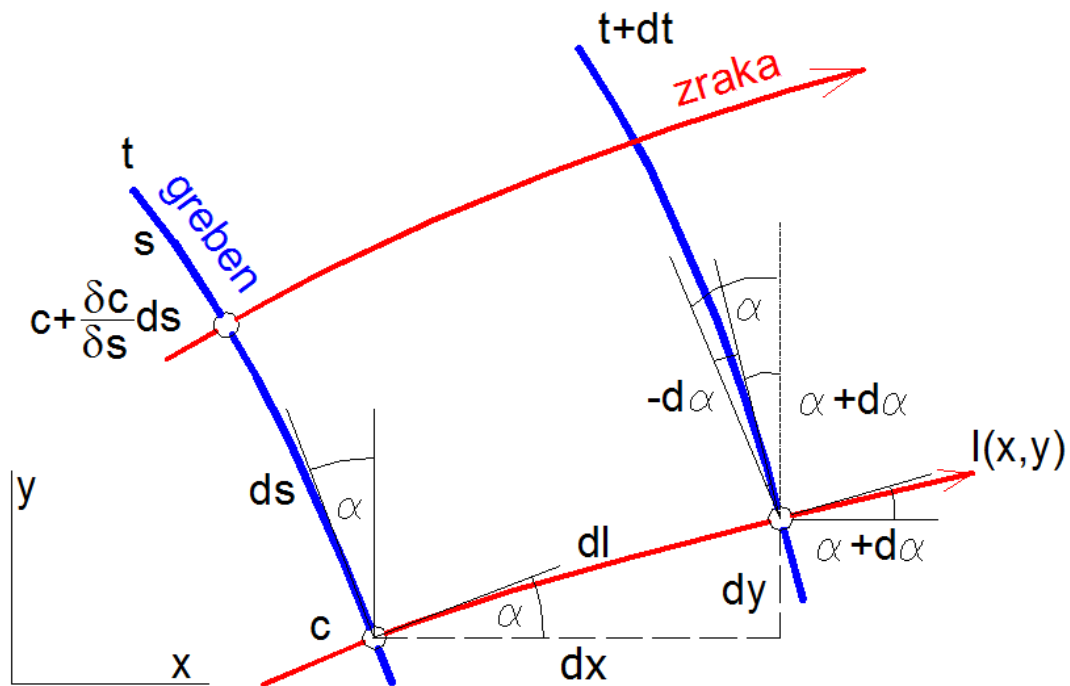
- promjena položaja točke vala u vremenu dt :

$$dl = c_0 \cdot dt \quad (6)$$

$$dx = c_0 \cdot \cos\alpha \cdot dt \quad (7)$$

$$dy = c_0 \cdot \sin\alpha \cdot dt \quad (8)$$

U prelaznom području i u plitkom moru valovi “osjećaju” dno te dolazi do savijanja grebenova, jer se dio grebena koji je u dubljoj vodi kreće brže nego u plitkoj vodi. Kod analize refrakcije valova smatra se da prenošenje energije između zraka vala (ortogonalna) ostaje konstantno tj. ne dolazi do širenja energije bočno po grebenu.



Slika 4.1. Diferencijalni segment integracije u planu refrakcije

Jednadžbe zraka vala (promjenjiva dubina):

- brzina vala u točki (x,y)

$$c = c(x,y) \tag{9}$$

- promjena položaja točke vala u vremenu dt:

$$dl = c \cdot dt \tag{10}$$

$$dx = c \cdot \cos\alpha \cdot dt \tag{11}$$

$$dy = c \cdot \sin \alpha \cdot dt \quad (12)$$

$$\frac{dx}{dt} = \cos \alpha \cdot c \quad (13)$$

$$\frac{dy}{dt} = \sin \alpha \cdot c \quad (14)$$

- promjena kuta zrake vala u vremenu dt:

$$d\alpha = - \frac{\left(c + \frac{\partial c}{\partial s} \cdot ds \right) \cdot dt - c \cdot dt}{ds} = - \frac{\partial c}{\partial s} \cdot dt \quad (15)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = - \frac{\partial c}{\partial s} \quad (16)$$

$$\frac{\partial c}{\partial s} = - \sin \alpha \frac{\partial c}{\partial x} + \cos \alpha \frac{\partial c}{\partial y} \quad (17)$$

Početni uvjeti:

$T_p(x_p, y_p)$ – početna točka zrake vala

d_p – dubina u točki T_p

c_p – brzina vala u točki T_p

Integracijom diferencijalnih jednadžbi:

$$x = x_p + \int_{t_p}^t c \cdot \cos \alpha \cdot dt \quad (18)$$

$$y = y_p + \int_{t_p}^t c \cdot \sin \alpha \cdot dt \quad (19)$$

$$\alpha = \alpha_0 + \int_{t_p}^t - \frac{\partial c}{\partial s} dt \quad (20)$$

Rješavanje sustava jednažbi provodi se jednim od postupaka numeričke integracije (diskretizacija u vremenu – Δt). U ovome radu korišten je mješoviti postupak (uzima se srednje stanje između eksplicitne i implicitne metode), a vrijednosti integrala mogu se izraziti na sljedeći način:

$$x^{t_{k+1}} = x^{t_k} + [(1 - \vartheta) \cdot c^{t_k} \cdot \cos \alpha^{t_k} + \vartheta \cdot c^{t_{k+1}} \cos \alpha^{t_{k+1}}] \cdot (t^{t_{k+1}} - t^{t_k}) \quad (21)$$

$$y^{t_{k+1}} = y^{t_k} + [(1 - \vartheta) \cdot c^{t_k} \cdot \sin \alpha^{t_k} + \vartheta \cdot c^{t_{k+1}} \sin \alpha^{t_{k+1}}] \cdot (t^{t_{k+1}} - t^{t_k}) \quad (22)$$

$$\alpha^{t_{k+1}} = \alpha^{t_k} + \left[(1 - \vartheta) \cdot \left(-\frac{\partial c}{\partial s} \right)^{t_k} + \vartheta \cdot \left(-\frac{\partial c}{\partial s} \right)^{t_{k+1}} \right] \cdot (t^{t_{k+1}} - t^{t_k}) \quad (23)$$

$$\left. \frac{\partial c}{\partial s} \right|^{t_k} = -\sin \alpha^{t_k} \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)^{t_k} + \cos \alpha^{t_k} \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial y} \right)^{t_k} \quad (24)$$

$$\left. \frac{\partial c}{\partial s} \right|^{t_{k+1}} = -\sin \alpha^{t_{k+1}} \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)^{t_{k+1}} + \cos \alpha^{t_{k+1}} \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial y} \right)^{t_{k+1}} \quad (25)$$

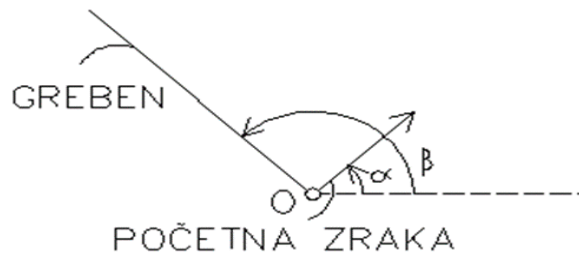
4.3. Postupak rješavanja refrakcije

Za izradu plana refrakcije korišten je program REFRAKCIJA (paket RefractionToolkit), napisan u FORTRANU, a primjenjena metoda je numerička integracija diferencijalne jednažbe zrake vala.

Ulazni podatak je .dxf file s postojećom batimetrijom. Potrebno je zadati granice unutar kojih će se generirati mreža konačnih elemenata, te početni uvjeti:

- visina vala u dubokom moru – H_0
- period vala - T
- početna točka
- kutovi smjera - $ALFA_0$, $BETA_0$
- broj i razmak zraka

Početna točka $0 (x_0, y_0)$ je točka na situaciji odabrana na način da dobivene refraktirane zrake obuhvate predmetno područje. Kutovi smjera α_0 i β_0 , zadaju se u radijanima, na način kako je prikazano na slici 4.2.

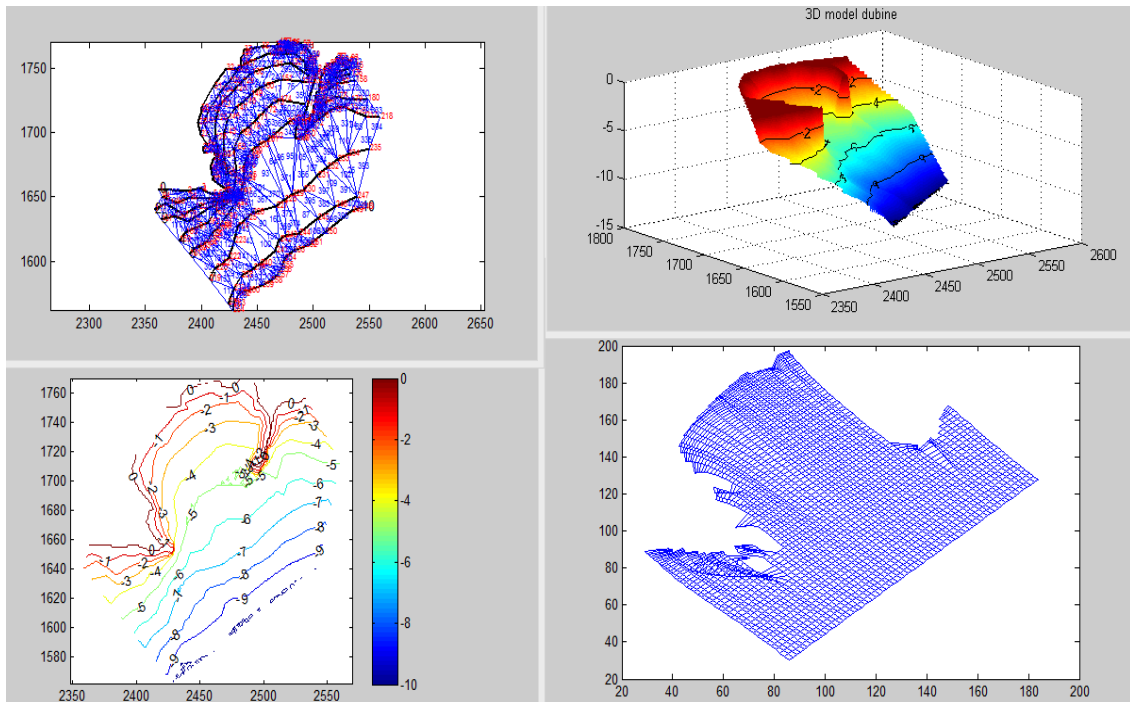


Slika 4.2. Način zadavanja kutova α_0 i β_0

Izlazni podaci obuhvaćaju prikaz mreže konačnih elemenata, 3D model batimetrije, file koji sadrži sve informacije potrebne za ponovno pokretanje programa bez unosa rubnih uvjeta, ispis u Notepad-u, te rezultirajući file koji prikazuje refrakciju.

Ukupan broj diskretiziranih elemenata iznosi 402, a broj čvorova je 264.

Refrakcija valova napravljena je za sektore II i III, koji sadrže mjerodavne valove JI i JZ (Prilog 1 i Prilog 2)



Slika 4.3. Izlazni podaci programa REFRAKCIJA

5. LOM VALA

Kada se val rasprostire prema plaži mijenja mu se strmost. Strmost vala se definira kao kvocijent visine i dužine vala. Idealan val može zadržati stabilnu formu, dakle neće se slomiti 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:

$$\left(\frac{H_o}{L_o}\right)_{\max} = 0.142 \quad (26)$$

Dubokovodni valovi ne reagiraju s dnem 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:

$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 0.142 \cdot \operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi D}{L}\right) \quad (27)$$

Valovi u plitkom reagiraju s dnem što rezultira povećanjem strmosti i lomom vala ako se prekorači $(H/L)_{\max}$, a izraz (26) gubi tgh iz izraza.

H_0 – visina vala u dubokom moru

L_0 – duljina vala u dubokom moru određena izrazom:

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (28)$$

Strmost vala do prekoračenja maksimalne strmosti određena je izrazom:

$$\frac{H}{L} = \frac{H_0}{L} \cdot K_S \cdot K_r \quad (29)$$

H - visina vala

L -duljina vala, koja se dobije iterativnim postupkom

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{L}\right) \quad (30)$$

Koeficijent plićine (shoalling coefficient), K_S :

$$K_S = \sqrt{\frac{c_{g0}}{c_g}} \quad (31)$$

$$c_0 = \frac{L_0}{T} \quad (32)$$

c_0 – brzina vala u dubokom moru

$$c_{g0} = 0,5 \cdot c_0 \quad (33)$$

c_{g0} – brzina grupe valova u dubokom moru

$$c = \frac{L}{T} \quad (34)$$

c – brzina vala

$$c_g = n \cdot c = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{L}}{\operatorname{sh} \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{L}} \right) \cdot c \quad (35)$$

c_g – brzina grupe valova

Koeficijent refrakcije, K_r :

$$K_r = \sqrt{\frac{B_0}{B}} \quad (36)$$

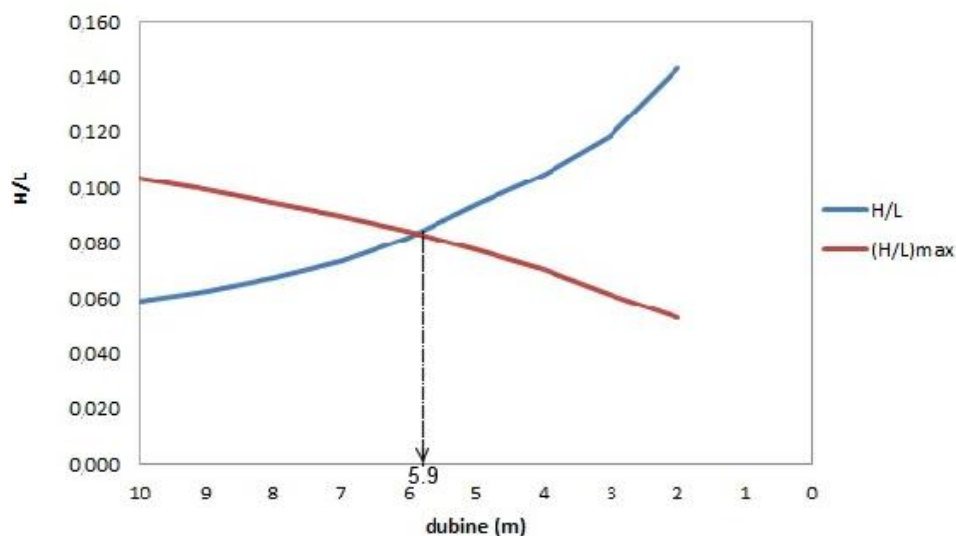
B_0 – širina snopa jedinične valne energije u dubokom moru ($d \gg L_0/2$)

B – širina snopa na mjestu na kojem računamo valnu visinu

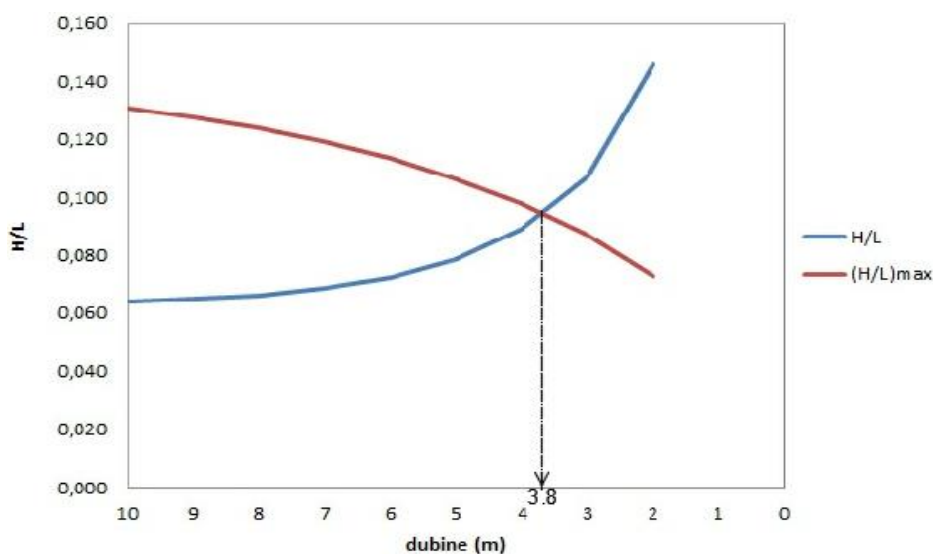
Proračun potrebnih parametara izvršen je u Excelu te je dan grafički prikaz prekoračenja strmosti vala, tj. lom vala. Proračun je izvršen za dva mjesta, ispred postojećeg, istočnog lukobrana, te planiranog, zapadnog lukobrana. Očitane dubine na mjestu loma vala su:

$D = 5.9$ (m) – zapadni lukobran

$D = 3.8$ (m) – istočni lukobran



Slika 4.4 Dubina na kojoj se val lomi – zapadni lukobran



Slika 4.5. Dubina na kojoj se val lomi – istočni lukobran

5.1. Proračun parametara mjerodavnog vala

Zapadni lukobran:

Visina vala u trenutku loma te visina vala neposredno ispred lukobrana, određene su pomoću eksperimentalnih dijagrama (Horikawa).

Parametri dubokovodnog vala:

$$H_0 = 4.68 \text{ (m)}$$

$$T_0 = 7.8 \text{ (m)}$$

$$L_0 = 94.99 \text{ (m)}$$

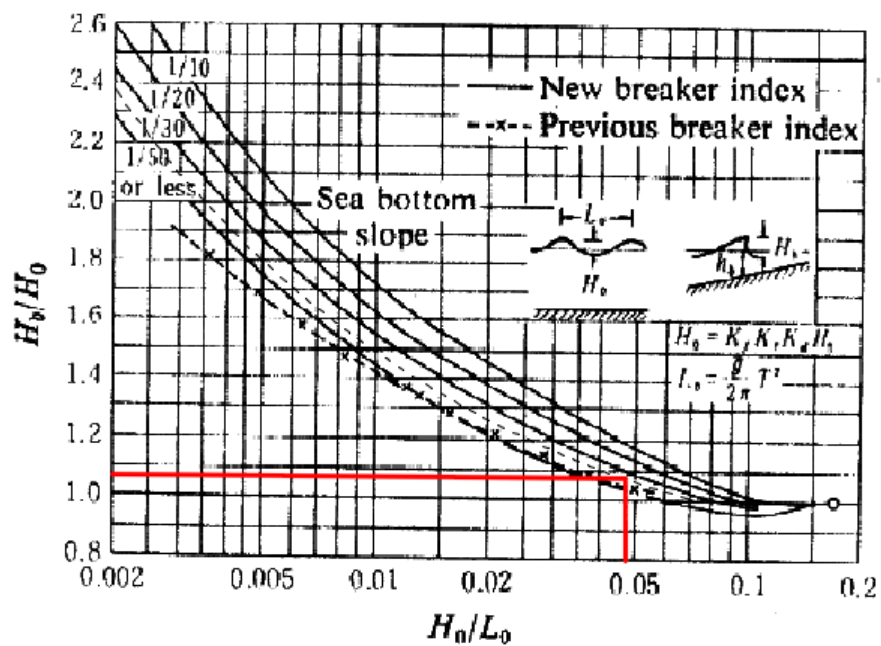
$$\frac{H_0}{L_0} = 0.049$$

Očitano:

$$\frac{H_b}{H_0} = 1.13$$

Iz toga slijedi: $H_b = 5.29 \text{ (m)}$

H_b – visina vala u trenutku loma



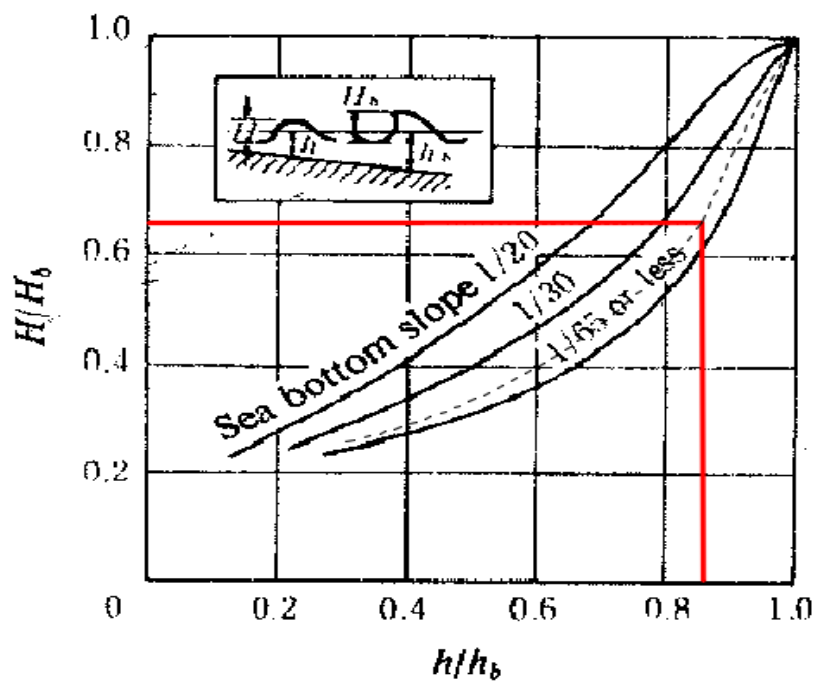
Slika 5.1. Određivanje visine vala u trenutku loma

Za dubinu neposredno ispred lukobrana, $h = 5$ (m), očitano je :

$$\frac{H}{H_b} = 0.65$$

Iz toga slijedi: $H = 3.44$ (m)

H – visina vala neposredno ispred lukobrana



Slika 5.2. Određivanje visine vala neposredno ispred lukobrana

Istočni lukobran:

Parametri dubokovodnog vala:

$$H_0 = 3.02 \text{ (m)}$$

$$T_0 = 5.31 \text{ (m)}$$

$$L_0 = 44.13 \text{ (m)}$$

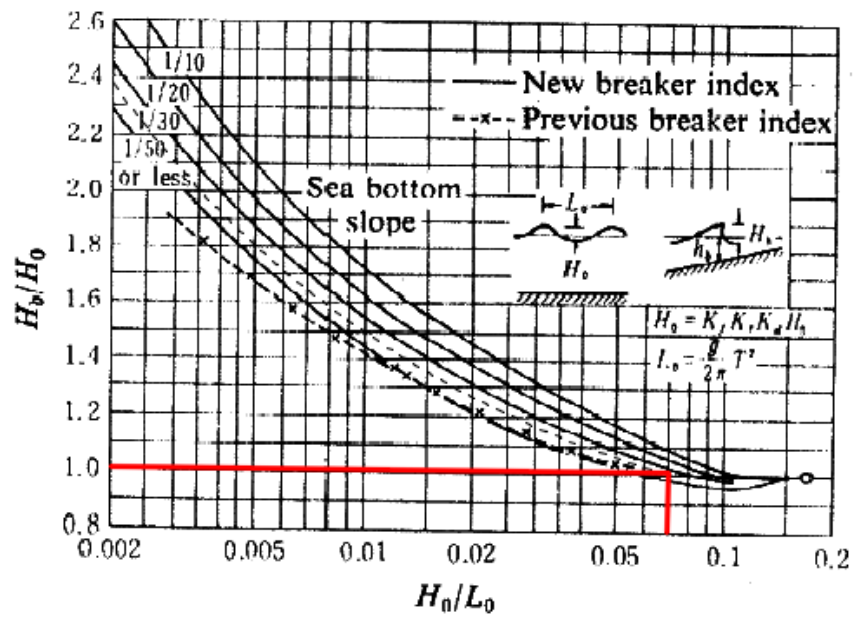
$$\frac{H_0}{L_0} = 0.07$$

Očitano:

$$\frac{H_b}{H_0} = 1.00$$

Iz toga slijedi: $H_b = 3.02 \text{ (m)}$

H_b – visina vala u trenutku loma



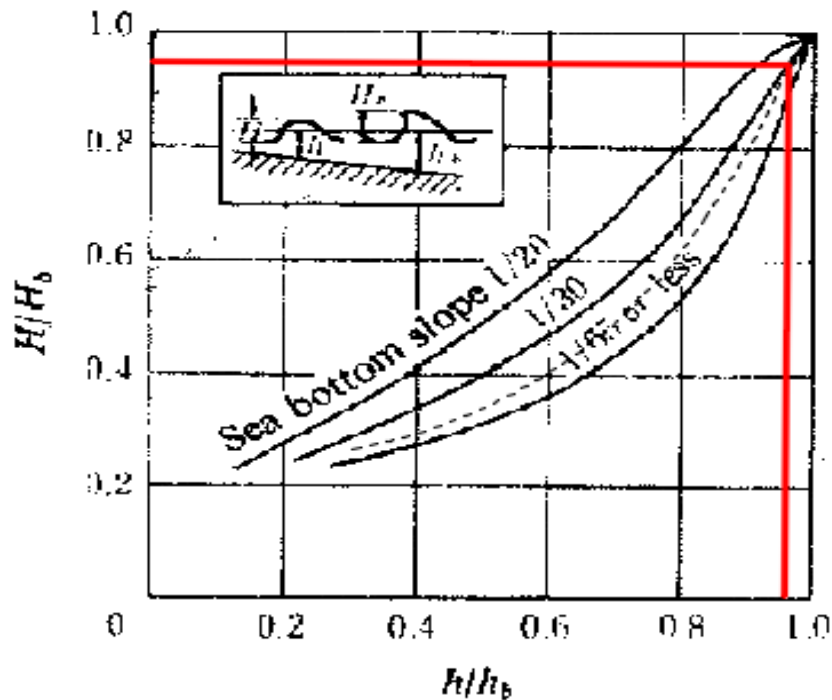
Slika 5.3. Određivanje visine vala u trenutku loma

Za dubinu neposredno ispred lukobrana $h = 3.6$ (m), očitano je :

$$\frac{H}{H_b} = 0.95$$

Iz toga slijedi: $H = 2.9$ (m)

H – visina vala neposredno ispred lukobrana



Slika 5.4. Određivanje visine vala neposredno ispred lukobrana

6. ELEMENTI LUČICE

6.1. Lukobrani

Lukobrani su građevine koje štite unutrašnjost luke od negativnog djelovanja valova. Moraju osigurati propusnost kako bi se osigurala kvalitetna izmjena mora u luci, a ponekad i neke druge uvjete, kao što su vezivanje brodova s unutarnje ili vanjske strane lukobrana. Pri odabiru tipa lukobrana treba uzeti u obzir nekoliko faktora:

- funktionalnost
- utjecaj na biološke karakteristike unutar luke
- dostupnost materijala
- ekonomičnost

Kao optimalno rješenje koje zadovoljava sve navedene faktore, nameće se propusni lukobran. Nije masivan kao nasuti ili zidani lukobran, te je samim time i ekonomičniji, a ako je dobro izveden, jednako je funkcionalan. Omogućava izmjenu mora po cijeloj svojoj dužini, pa je zbog toga možda i najbolje rješenje u pogledu ekologije.

6.2. Zapadni lukobran

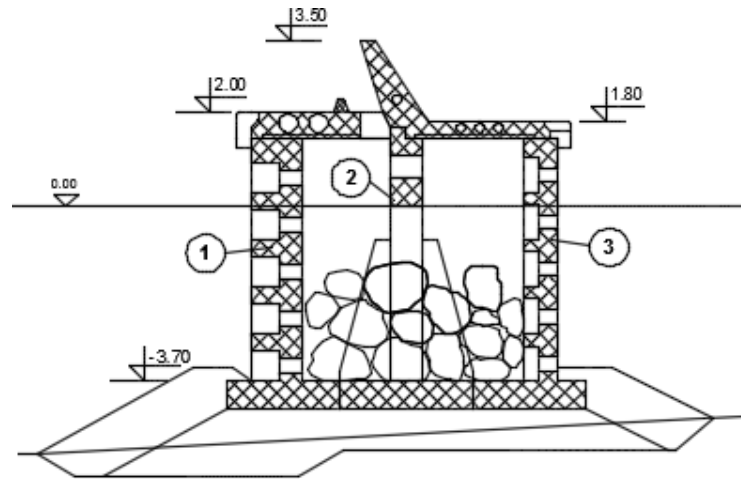
Zapadni lukobran je propusni lukobran, orijentacije sjeverozapad – jugoistok, ukupne dužine 115.2 (76.8 + 38.4) (m). Lukobran je propustan za morske struje, a zaustavlja energiju valova. Složen je od predgotovljenih armirano betonskih propusnih blokova, koji se postavljaju na prethodno pripremljen temeljni kameni nasip.

Razlikuju se tri tipa predgotovljenih elemenata. Element 1 je vanjski element (prema moru). Visine je 5.15 (m), širine 6.4 (m), te debljine 1.1 (m). Element sadrži 30 otvora, koji su dijelom veličine 0.65 (m), a dijelom 0.3 (m). Na dnu elementa nalazi se temeljna ploča debljine 0.60 (m), širine 2.4 (m). Srednji element je visine 5.3 (m), širine 6.4 (m), debljine 0.7 (m). Na dnu je temeljna ploča debljine 0.60 (m), širine 2.8 (m). U donjem dijelu elementa nalazi se otvor dimenzija 4.5 (m) x 3.7 (m), iznad kojega je red manjih, kružnih otvora veličine 0.5 (m). Element 3 se nalazi is unutrašnje strane (prema uvali). Visine je 5.15 (m), širine 6.4 (m), te debljine 0.7 (m). Element sadrži 30 otvora, koji su dijelom veličine 0.65 (m), a dijelom 0.3 (m). Na dnu elementa nalazi se temeljna ploča debljine 0.60 (m), širine 2.4 (m).

Elementi se slažu u nizu, na pripremljenu kamenu posteljicu te se međusobno pričvrste vezivanjem ili zavarivanjem armature koja je ostavljena za nastavak betoniranja (monolitizacija). Nakon postavljanja elemenata, u unutrašnjost između elemenata se unosi krupni kamen u visini 3.7 m mjereno od temelja. Kamen služi za povećanje mase lukobrana odnosno otežanje.

Iznad elemenata se postavljaju omnia ploče, slaže se armatura, postavljaju se cijevi za instalacije, namješta se i učvršćuje obložnica s unutrašnje strane te poklopnice. Omnia ploče sa morske strane imaju otvore 95x70 cm, koji omogućavaju odušak prilikom udara vala. Kruna lukobrana izvodi se betoniranjem na licu mjesta.

Ovako monolitizirana konstrukcija može se suprotstaviti snažnom djelovanju valova, a istovremeno omogućava dobru izmjenu mora u prostoru uvale.



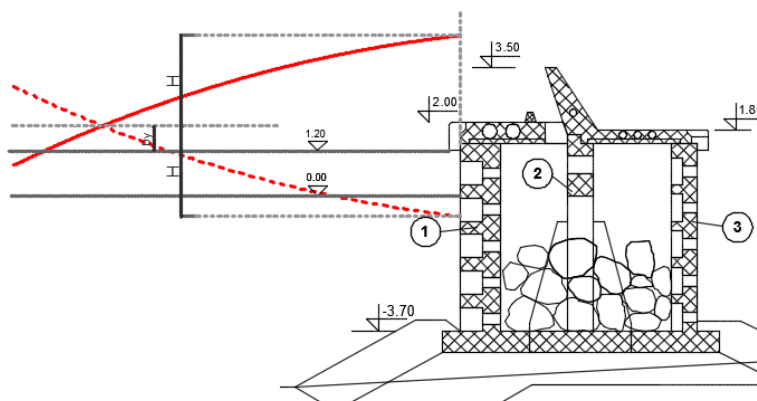
Slika 6.1. Tipični presjek kroz lukobran

6.3. Analiza udara vala na zapadni lukobran:

Najnepovoljnije stanje izazvano je valovima generiranim vjetrom iz smjera JZ (lebić). Neposredno pred lukobranom val je visine $H = 3.44$ (m), dužine $L = 51.6$ (m) i perioda $T = 7.8$ (s).

Kad bi konstrukcija bila nepropusni lukobran tipa zid, došlo bi do pojave potpunog stojnog vala te bi se opterećenje računalo po Saintflo-u.

POTPUNI STOJNI VAL



Slika 6.2. Potpuni stojni val

Ako se radi o propusnom lukobranu, kada dodje do naleta vala na konstrukciju, dio vala se djelomično odbije (refleksija, K_r), vrlo malo energije prođe u luku (transmisija, K_t) dok se najveći dio energije izgubi u unutrašnjosti lukobrana (gubitak energije, K_f). Istovremeno dolazi i do prelijevanja krune, pa se dio vala kroz otvore vrati u unutrašnjost lukobrana. U tom slučaju na lukobranu bi se pojavio znatan gubitak energije vala s manjom refleksijom zbog čega se pojavi djelomični stojni val.

Budući da se vrlo mala energija prenese transmisijom i da je gotovo nemoguće izračunati turbulentno gibanje unutar lukobrana, dinamički tlak se proračunava kao da se radi o potpunom stojnom valu, dok se sila tlak računa bez dijela koji premašuje visinu krune. Smatra se da je ova pretpostavka dovoljno blizu realnog stanja.

Proračun po Saintflo-u:

Karakteristike mjerodavnog vala: $H = 3.44$ (m)

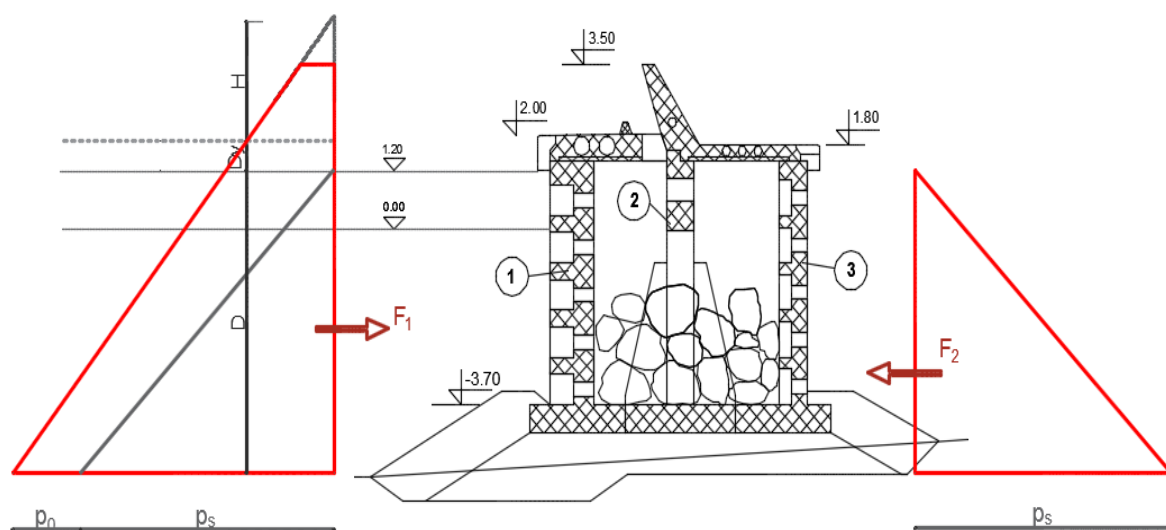
$$L = 51.6$$
 (m)

$$T = 7.8$$
 (s)

Dubina gdje je smještena konstrukcija je $d = 5$ (m).

gdje je Δy srednja razina mora dana prema izrazu Mische-a:

$$\Delta y = \frac{\pi \cdot H^2}{L} \cdot \coth\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = \frac{\pi \cdot 3.44^2}{51.6} \cdot \coth\left(\frac{2\pi \cdot 5}{51.6}\right) = 1.33$$
 (m)



Slika 6.3. Tlakovi na propusni lukobran

S unutrašnje strane je uzeta reducirana visina vala s koeficijentima redukcije vala za kut $\beta=45^\circ$ i udaljenost 30 m od glave lukobrana. Kut pod kojim val dolazi na glavu je 165° .

$$H' = K' \cdot H = 0.2 \cdot 3.44 = 0.69 \text{ (m)}$$

$$\Delta y' = \frac{\pi \cdot H'^2}{L} \cdot \coth\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = \frac{\pi \cdot 0.69^2}{51.6} \cdot \coth\left(\frac{2\pi \cdot 5}{51.6}\right) = 0.053 \text{ (m)}$$

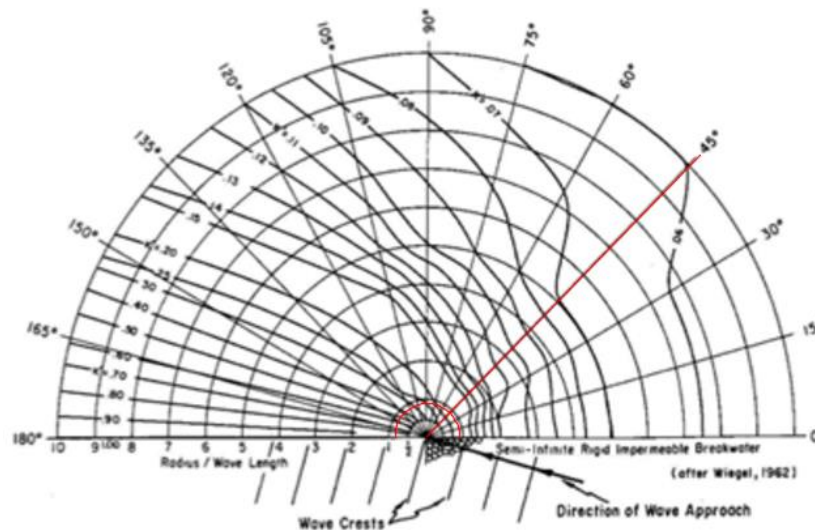


Figure 2-38. Wave Diffraction Diagram - 165° Wave Angle

Slika 6.4. Dijagram difrakcije za kut vala 165°

Zbog valovanja na lukobran djeluje hidrodinamički tlak:

$$p_0 = \gamma_s \frac{H}{ch\left(\frac{2\pi}{L} \cdot d\right)} = \frac{3.44}{ch\left(\frac{2\pi}{51.6} \cdot 5\right)} = 29.1 \text{ kN/m}^2$$

$$p'_0 = \gamma_s \frac{H'}{ch\left(\frac{2\pi}{L} \cdot d\right)} = \frac{0.69}{ch\left(\frac{2\pi}{51.6} \cdot 5\right)} = 0.58 \text{ kN/m}^2$$

Proračun sila P1 (koju čini suma hidrostatskog tlaka izvana i hidrodinamičkog uslijed brijega stajnog vala) i P2 (koju čini razlika hidrostatskog tlaka iznutra i hidrodinamičkog tlaka uslijed dola stajnog vala za H' unutar luke):

$$P_1 = \frac{(p_s + p_0) \cdot (d + \Delta y + H)}{2} - \frac{x^2}{2} = \frac{(50.35 + 29.1) \cdot (5 + 1.33 + 3.44)}{2} - \frac{1.77^2}{2}$$

$$= 386.55 \text{ kN}$$

$$P_2 = \frac{(p_s - p'_0) \cdot (d + \Delta y' - H)}{2} - \frac{x^2}{2} = \frac{(50.35 - 0.58) \cdot (5 + 0.053 + 3.44)}{2} - \frac{1.77^2}{2}$$

$$= 108.6 \text{ kN}$$

Masa lukobrana je određena po m' , tako da su izračunate površine pojedinih polja u poprečnom presjeku za odabrane dimenzije i pomnožene sa specifičnom težinom betona $r_{\text{bet}}=2,7 \text{ t/m}^3$, odnosno uronjenom težinom $r_{\text{bet}}=1,5 \text{ t/m}^3$. Masi betona je dodana i masa kamene ispune.

ELEMENT 1: $M = 6.6 \text{ t}$

$$G = M \cdot g = 64.7 \text{ kN}$$

ELEMENT 2: $M = 8.0 \text{ t}$

$$G = M \cdot g = 78.5 \text{ kN}$$

ELEMENT 3: $M = 4.9 \text{ t}$

$$G = M \cdot g = 48.1 \text{ kN}$$

PLOČE, VALOBRAN I POKLOPNICA: $M = 11 \text{ t}$

$$G = M \cdot g = 107.9 \text{ kN}$$

KAMENA ISPUNA: $M = 24.2 \text{ t}$

$$G = M \cdot g = 237.7 \text{ kN}$$

$$G_{uk} = 536.9 \text{ kN}$$

Provjera stabilnosti na klizanje:

$$K_K = \frac{F_{pozH}}{F_{negH}} = \frac{\sum G \cdot 0.78}{P_1 - P_2} = \frac{536.9 \cdot 0.78}{386.55 - 108.6} = 1.51 \geq 1.5$$

Provjera zida na prevrtanje oko unutrašnje točke dodira blokova s nasipom:

$$K_p = \frac{\sum M_{poz}}{\sum M_{neg}} = \frac{G_1 \cdot d_1 + G_2 \cdot d_2 + G_3 \cdot d_3 + G_{pl} \cdot d_4 + G_k \cdot d_5 + P_2 \cdot \frac{(d + \Delta y' - H)}{3}}{P_1 \cdot \frac{(d + \Delta y + H)}{3}}$$

$$= \frac{64.7 \cdot 6.55 + 78.5 \cdot 3.85 + 48.1 \cdot 0.95 + 107.9 \cdot 4.4 + 237.7 \cdot 3.8 + 108.6 \cdot \frac{4.36}{3}}{386.55 \cdot \frac{9.77}{3}}$$

$$= 1.83 \geq 1.5$$

Provjerava se nosivost tla ispod temelja s obzirom na dopušteno naprezanje

($\sigma_{dop} = 350 \text{ kN/m}^2$):

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

$b = 7.6 \text{ m}$ – širina zida

$B = 7.6 + 2 \cdot 0.5 = 8.6 \text{ m}$ – širina plohe za savijanje

$A = B \cdot 1 = 8.6 \text{ m}^2$ – površina baze zida, tj. ploha na koju djeluju naprezanja

$$W = B^2 \cdot \frac{1}{6} = 8.6^2 \cdot \frac{1}{6} = 12.33 \text{ m}^3$$

$$N = G = 536.9 \text{ kN}$$

$$M = P_1 \cdot \frac{(d + \Delta y + H)}{3} - P_2 \cdot \frac{(d + \Delta y' - H)}{3} = 1259.03 + 157.94 = 1101.09 \text{ kNm/m'}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{536.9}{8.6} \pm \frac{1101.09}{12.33} = 62.43 \pm 89.30$$

$$\sigma_1 = 151.73 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = -26.87 \text{ kN/m}^2$$

Zbog pojave vlaka, smanjuje se aktivna površina temelja za prijenos opterećenja:

$$e = \frac{M}{N} = 2.05$$

$$e_1 = \frac{b}{2} - e = 1.75$$

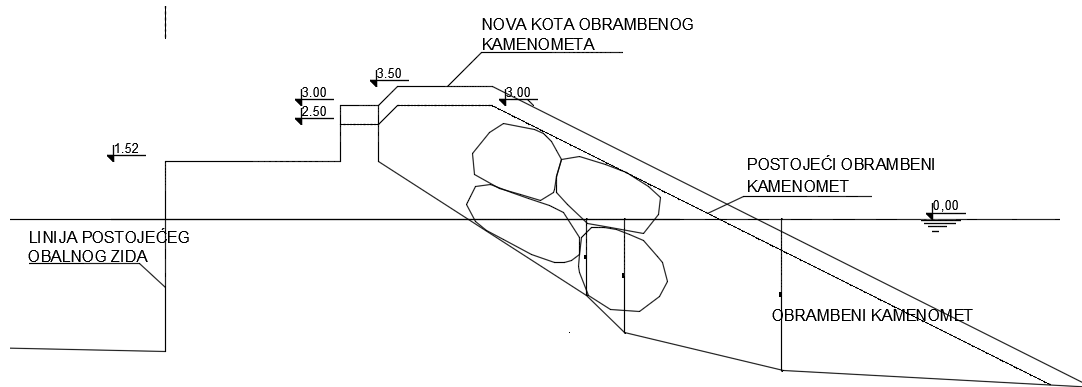
$$\sigma = \frac{2N}{3e_1} = 204.53 \text{ kN/m}^2$$

6.4. Istočni lukobran

Istočni lukobran je orijentacije sjeveroistok – jugozapad i dužine 38 m. Konstrukcija lukobrana je iz položenih betonskih blokova na pripremljenu kamenu posteljicu koji se po montaži monolitiziraju betonom na licu mjesta. Lukobran s unutrašnje strane ima obalni zid gravitacijskog tipa, a s vanjske je strane zaštićen odgovarajućim zaštitnim obrambenim kamenometom.

Postojeći lukobran produljen je 25 m, te je cijelom dužinom lukobrana kota obrambenog kamenometa podignuta za 0.5 m u odnosu na postojeće stanje.

Budući da je zapadni lukobran u cijelosti propusan te da se radi o relativno malom akvatoriju, kod istočnog lukobrana nisu predviđeni posebni propusti za cirkulaciju mora.



Slika 6.4. Istočni lukobran

6.5. Gatovi

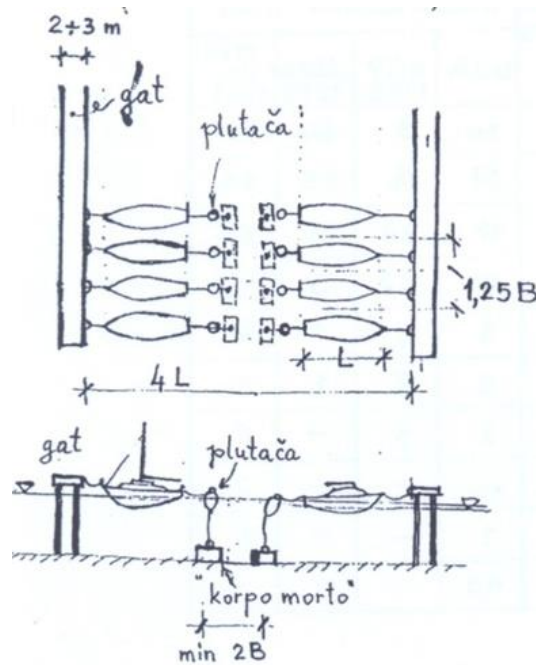
Gatovi su građevine u moru, zaštićene od djelovanja valova, za koje se vrši jednostrani ili obostrani privez plovila.

Osnovna podjela gatova je na fiksne te na plutajuće. Fiksni se dijele na gravitacijske gatove i gatove na pilotima dok su plutajući pontonskog tipa. Odabir pojedinog od navedenih tipova ovisi o sigurnost i funkcionalnost te troškovima gradnje. Ekološki kriterij je kod svih uglavnom zadovoljen jer osiguravaju dobru cirkulaciju mora u čitavom akvatoriju lučice. S aspekta sigurnosti i funkcionalnosti fiksne građevine imaju prednost nad plutajućim jer se bolje odupiru djelovanju opterećenja od valova i vjetra.

Na predmetnoj lokaciji predviđaju se tri gata gravitacijskog tipa. Gat se sastoji od betonskih utvrđica i rasponske konstrukcije. Utvrđice su izgrađene na prethodno izvedenom temeljnom sloju, na razmaku 15 m, od gotovih prefabriciranih šupljih betonskih blokova. Konstrukcija se postavlja na prethodno izgrađene utvrđice u vidu prefabriciranih AB nosača. Temeljni nasip se oblaže kamenim materijalom radi sprečavanja erozije od djelovanja mlaza pogonskih vijaka plovila. Uzeta je uobičajena širina gatova od 2,4 m, dok je dužina određena prema raspoloživim dubinama i potrebnim širinama vezova te iznosi 30 m.

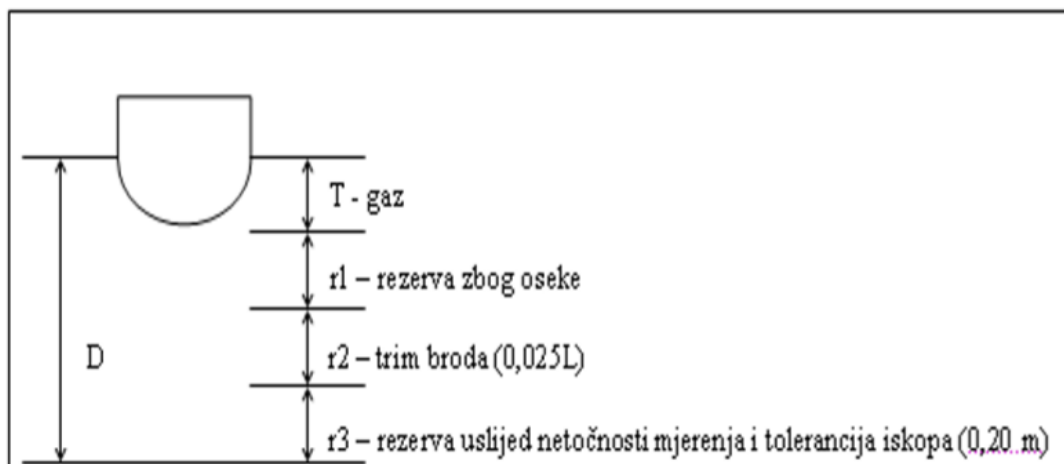
Vež je uređeni i opremljeni prostor kojeg zauzima jedno plovilo. U europskim marinama se najčešće koristi "mediteranski vez". Širina veza mjeri se po dužini obalne crte dok se dužina mjeri okomito na obalnu crtu. Uvjeti sigurnosnih razmaka moraju biti zadovoljeni kako je naznačeno na Slici 6.5. Plovila se vežu na način da se pramcem ili krmom vežu za gat

dok se drugim krajem vežu na sidreni sustav lanaca (konopa) vezanih na pridneni betonski blok tzv. „corpo morto“.



Slika 6.5. Mediteranski vez

Uobičajeno se u najpliće dijelove smještaju plovila najmanjeg gaza dok se u dubljim dijelovima predviđaju veća plovila većeg gaza (prema raspoloživim dubinama).



Slika 6.6. Izračun dubine za pristajanje karakterističnog broda

| KATEGORIJA | DULJINA BRODA (m) | | ŠIRINA BRODA | GAZ | DULJINA PRIVEZA |
|------------|-------------------|-------------|--------------|-----|-----------------|
| | jedrilice | mot.brodovi | (m) | (m) | (m) |
| I | 5,5 | 5 | 2,0 | 1,0 | 2,5 |
| II | 5,5 - 8 | 5 - 6,5 | 2,5 | 1,5 | 3,0 |
| III | 8 - 9,5 | 6,5 - 8 | 3,0 | 1,6 | 3,5 |
| IV | 9,5 - 11 | 8 - 9,5 | 3,3 | 1,8 | 4,0 |
| V | 11 - 13 | 9,5 - 11 | 3,8 | 2,0 | 4,5 |
| VI | 13 - 15 | 11 - 13 | 4,3 | 2,2 | 5,0 |
| VII | 15 - 18 | 13 - 15 | 4,8 | 2,5 | 5,5 |
| VIII | 18 - 21 | 15 - 18 | 5,3 | 2,8 | 6,0 |
| IX | 21 - 27 | 18 - 24 | 6,0 | 3,0 | 7,0 |
| X | >27 | >24 | >6,0 | 4,5 | 8,0 |

Slika 6.7. Kategorizacija brodova

Na predmetnoj lokaciji predviđen je privez za 34 plovila II – IV kategorije, kako je prikazano u Tablici 6.1.

Tablica 6.1. Zastupljenost plovila po kategorijama

| KATEGORIJA PLOVILA | DUŽINA VEZA (m) | ŠIRINA VEZA (m) | BROJ PRIVEZNIH MJESTA | ZASTUPLJENOST % |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| II | 10 | 3,2 | 10 | 30 |
| III | 12 | 3,80 | 18 | 53 |
| IV | 13,5 | 4,2 | 6 | 18 |
| UKUPNO: | | | 34 | 100 |

6.6. Određivanje sila djelovanja plovila na gat

Opterećenje od plovila na konstrukciju gata, obalnog zida ili na sidreni sustav se sastoji od sila uzrokovanih vjetrom i valovima na plovila. Uobičajeno su valne visine u lukama ograničene pa su i dotične sile zanemarive. Stoga se opterećenje od plovila svodi na proračun sila uzrokovanih vjetrom. Vjetar može puhati iz različitih smjerova i uzrokovati različite veličine sila na konstrukciju i na sidreni sustav (lanac, konop). Iskustveno, najveće sile

uzrokuje vjetar bočno na plovila zbog najveće izložene površine, ali je u inženjerskim proračunima potrebno analizirati i ostale smjerove.

Sile na plovila unutar lučice odredit će se prema motornom brodu, dimenzija 9.5(m) x 3,3 (m), s visinom nadgrađa od 3 (m). Brzina vjetra koja stvara opterećenja na nadvođe broda uzima se na polovici visine nadvođa broda, dakle 1.5 (m) iznad razine mora. Koristi se Schneichow numerički vertikalni profil brzine vjetra, koji u logaritamskoj ili eksponencijalnoj formi glasi:

$$v_z = v_{z=10m} \cdot \frac{\ln\left[\frac{z}{z_0}\right]}{\ln\left[\frac{10}{z}\right]} = v_{z=10m} \cdot \left[\frac{z}{10}\right]^{0.1}$$

gdje je:

- z – visina iznad tla (mora) na kojoj se traži brzina vjetra [m]
- z_0 – parametar hrapavosti za površinu uz koju struji vjetar [m]
- v_z – srednja brzina vjetra na visini z [m] iznad mora [m/s]
- $v_{z=10m}$ – srednja brzina vjetra na visini [10 m] iznad mora [m/s]

Za predmetnu lokaciju najveća sila od vjetra poprečno na brod javit će se za smjer JI (jugo) i u uzdužnom smjeru broda za smjer JZ (lebić).

Brzine vjetra za smjer JI i JZ na visini od 1.5 (m) prema eksponencijalnoj formi Schneichow-og numeričkog vertikalnog profila brzine vjetra prikazane su u Tablici 6.2.

Tablica 6.2.Značajke vjetra na visini 1.5 [m] iznad tla

| Smjer vjetra | Brzina vjetra (m/s) |
|--------------|---------------------|
| JI | 8,3 |
| JZ | 16,5 |

Navedene brzine vjetra korištene su za određivanje sile koju vjetar stvara na plovilo koristeći izraz:

$$F = C \cdot A \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

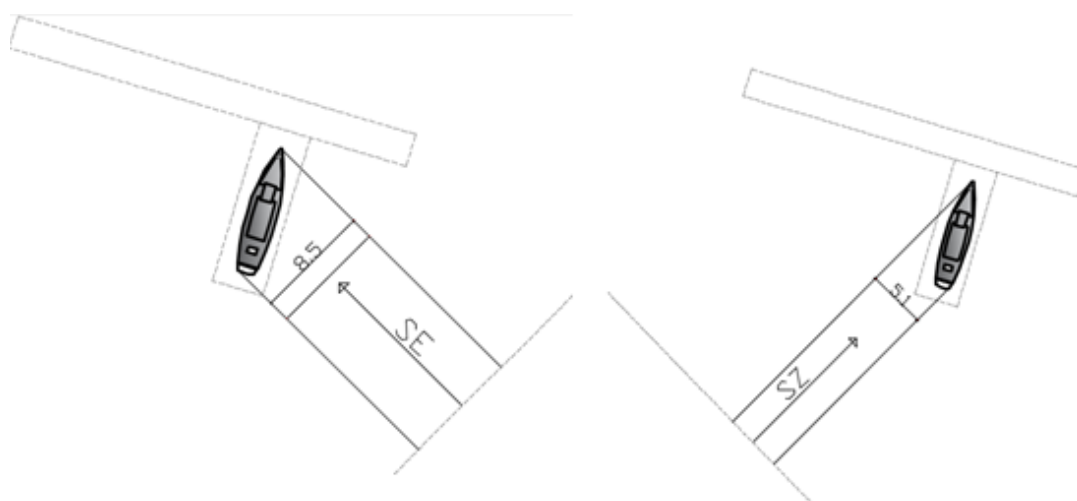
gdje je:

C – aerodinamički koeficijent otpora izložene površine ovisan o obliku iste i njenom kutu u odnosu na glavni smjer vjetra

A – površina na koju vjetar djeluje jednaka je projekciji broda u smjeru djelovanja vjetra (m^2)

ρ – gustoća zraka, $\rho=1,225$ (kg/m^3)

v – prosječna brzina vjetra u (m/s)



Slika 6.7. Utjecaj broda na gat

Vrijednosti eksperimentalno dobivenih koeficijenta otpora C za oblike jedrilice, motorne jahte i stambenog broda u usporedbi sa različitim međunarodnim standardima su prikazani u donjoj tablici. Kut puhanja vjetra naveden u tablici predstavlja smjer nailaska zračne struje u odnosu na plovilo. Kut od 0° predstavlja vjetar u pramac, kut od 180° vjetar u krmu, a bočni vjetar kut od 90° . Odabrani koeficijenti otpora odabrani su $C_{II} = 1,0$ i $C_{JZ} = 0,75$.

Tablica 6.3. *Komparacija koeficijenta otpora prema različitim pravilnicima za jedno plovilo*

| | kut puhanja vjetra | 0° | 90° | 180° |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| vrsta plovila | motorna jahta | 0,75 | 1 | 0,95 |
| | stambeni brod | 0,75 | 0,9 | 0,75 |
| | jedrilica | 0,35 | 0,9 | 0,45 |
| komparacijski pravilnici | AS3962-1991 (Standards Australia) | 0,7-0,9 | 0,9-1,1 | 0,9-1,1 |
| | PIANC-British Notes | 0,20-0,75 | 1 | 0,2-0,75 |
| | PIANC-ASCE (USA) | 0,50-1,20 | 0,80-1,50 | 0,50-1,20 |

Dobivene sile:

$$F_{JI} = 1.08 \text{ kN}$$

$$F_{JZ} = 2.42 \text{ kN}$$

7. ZAKLJUČAK

Uvala Zavala nalazi se na južnoj strani otoka Hvara koja je najvećim dijelom gotovo u potpunosti izložena vjetrovnim valovima iz južnih smjerova, naročito lebića i juga. Uvala se nalazi u nešto povoljnijem položaju jer je djelomično zaklonjena otokom Šćedrom. Iako Šćedro sprječava pojavu još većih valnih razvijališta, ne štiti Zavalu u potpunosti te je potrebno podizanje razine postojeće zaštite.

Na osnovu provedenih analiza definirano je optimalno rješenje kojim je predmetni akvatorij zaštićen bez obzira na vjetrovalne uvjete. Dakle, privez brodova je moguć tijekom cijele godine. Ovakvo rješenje je dovelo do "zatvaranja" prostora uvale. Negativne posljedice u vidu slabije cirkulacije mora su izbjegnute jer je kao zaštita odabran propusni lukobran. Osim što zadovoljava ekološke zahtjeve, to je robusna konstrukcija koja se može dobro suprostaviti snažnom djelovanju valova. Zahvat obuhvaća i produženje postojećeg lukobrana, te izgradnju tri gata sa ukupno 34 veza. To je optimalan broj budući da premašuje zahtjeve domicilnog stanovništva, zadovoljava zahtjeve obližnjeg rekreativnog parka te ostavlja prostora za privez izletničkih brodova i sl. Centralni dio predmetnog akvatorija je ostao nepromijenjen, sa prvenstveno plažnim prostorom. Iako se smatra da se taj prostor ne bi

trebao koristiti kao plaža budući da neposredno pored uvale postoje potencijalno jako dobri plažni prostori, na ovaj način mjesto je dijelom zadržalo svoj vizualni identitet a izgradnjom lukobrana je zadovoljena potrebna razina zaštite.

8. POPIS PRILOGA

PRILOG 1. REFRAKCIJA VALOVA – SMJER JZ

PRILOG 2. REFRAKCIJA VALOVA – SMJER JI

9. POPIS NACRTA

NACRT 1: SITUACIJA POSTOJEĆEG STANJA

NACRT 2: SITUACIJA RADOVA

NACRT 3: POPREČNI PRESJEK ZAPADNOG LUKOBRANA

NACRT 4: TLOCRT PLOČE ZAPADNOG LUKOBRANA

NACRT 5: POGLED NA ZAPADNI LUKOBRAN

NACRT 6: POPREČNI PRESJEK ELEMENATA ZAPADNOG LUKOBRANA

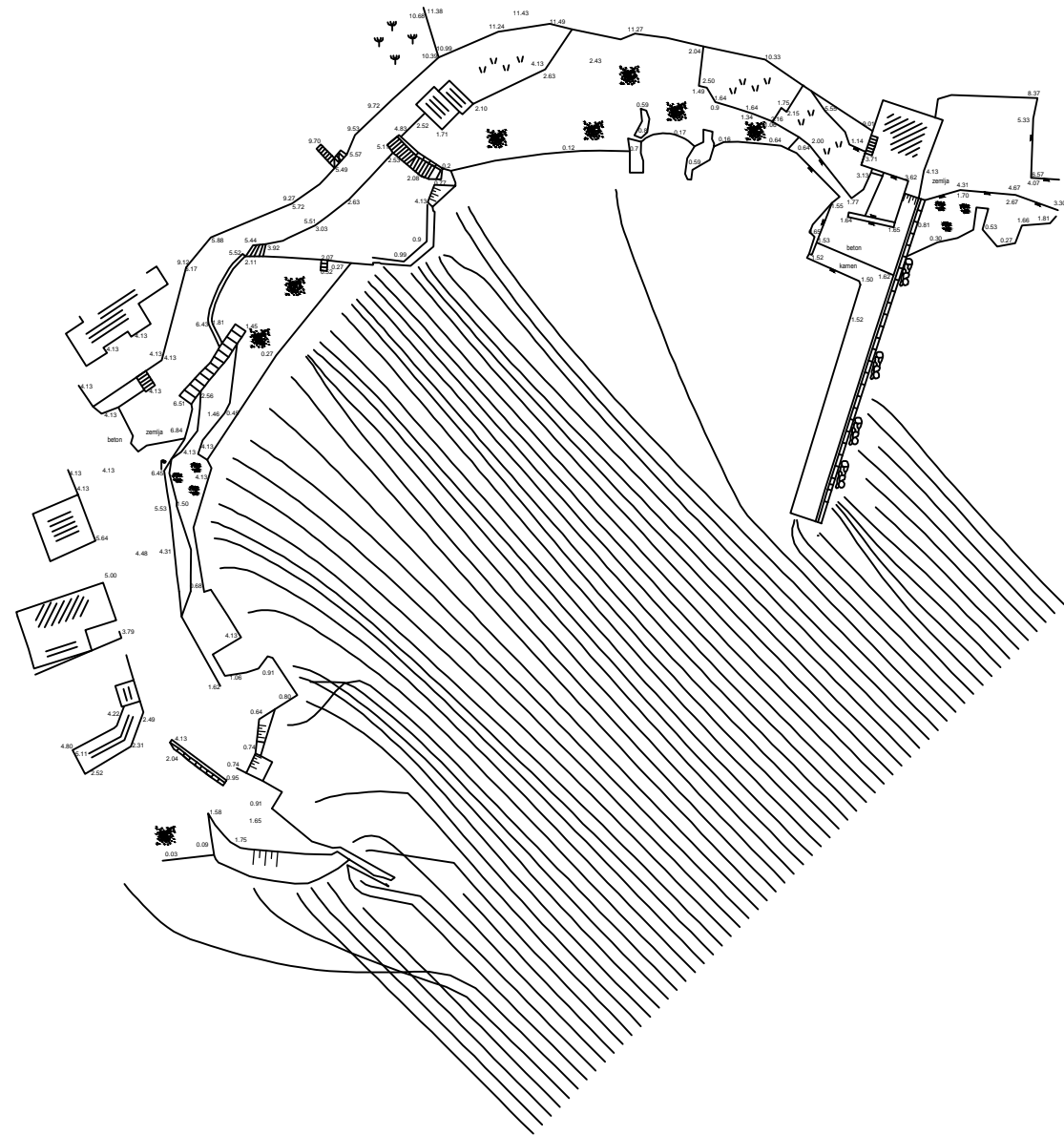
NACRT 7: POPREČNI PRESJEK ISTOČNOG LUKOBRANA


NACRT 8: POPREČNI PRESJEK GATA

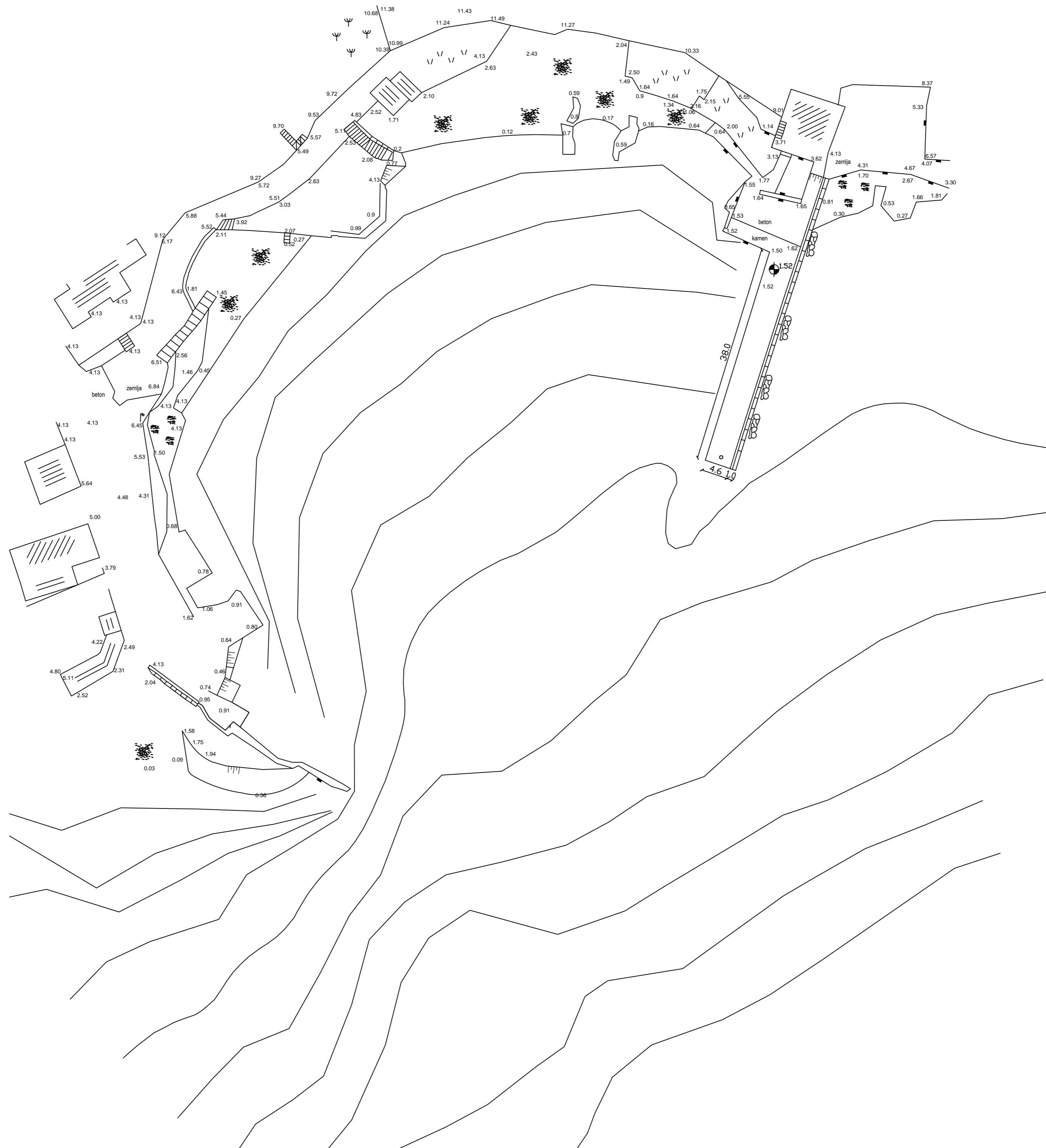
NACRT 9: POGLED NA GAT


10. LITERATURA

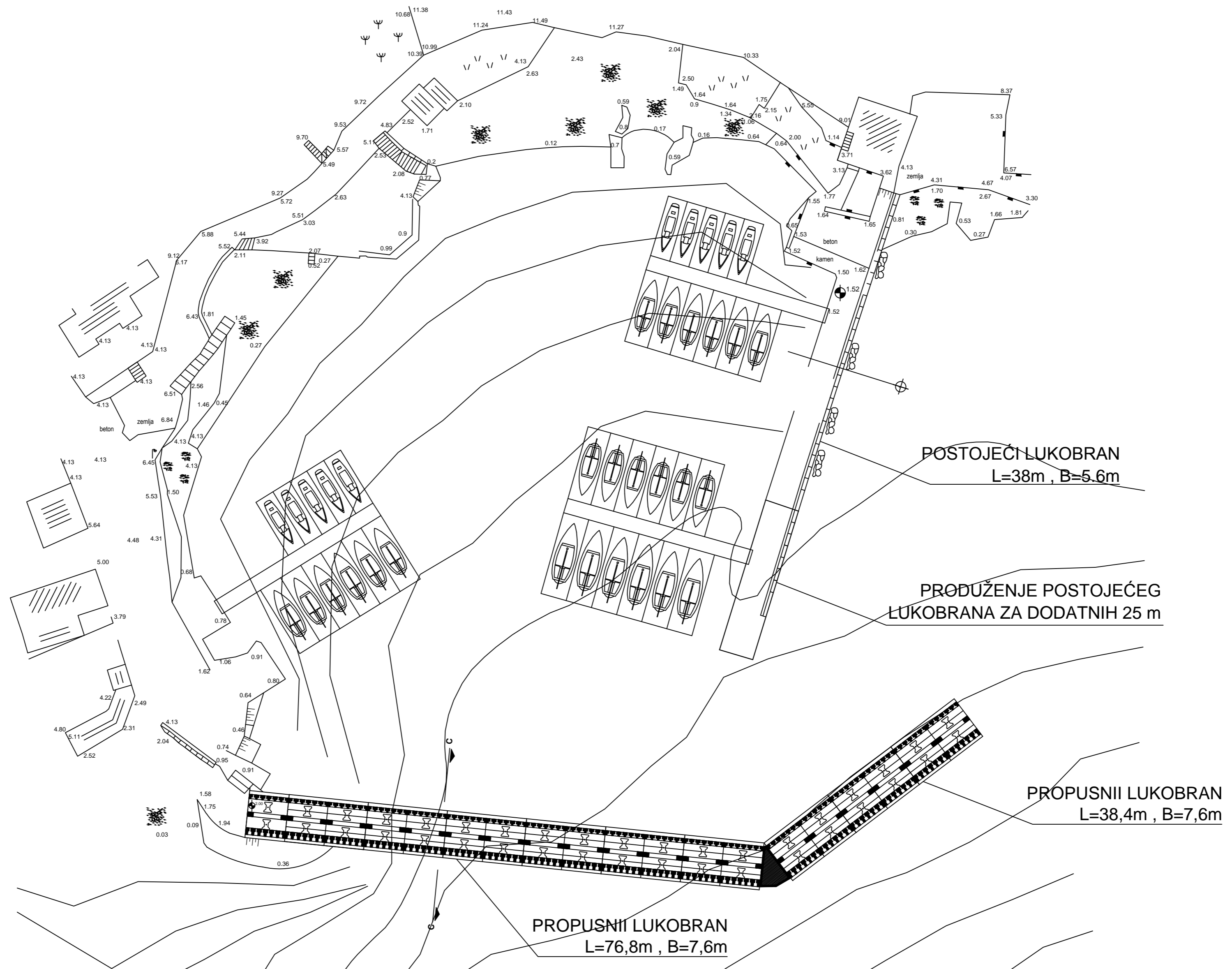
- [1] Vranješ M. Predavanja iz kolegija Luke i pomorske građevine.
- [2] Pršić M. Hidrotehničke građevine, Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [3] Pršić M. Plovni putevi i luke , Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [4] Carević D. Pomorske građevine, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [5] Babić L. Pomorski objekti u betonu
- [6] PGN projekt d.o.o. Analiza valovanja uvale Zavala (otok Hvar)




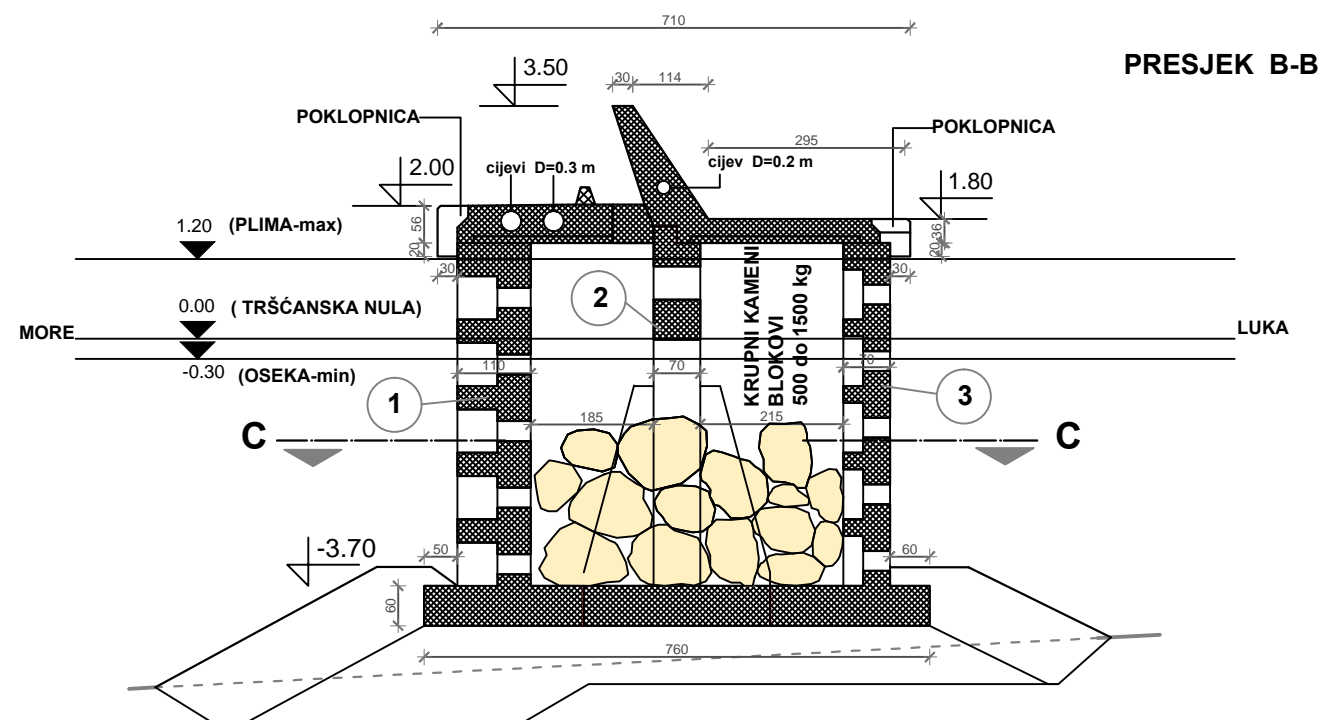
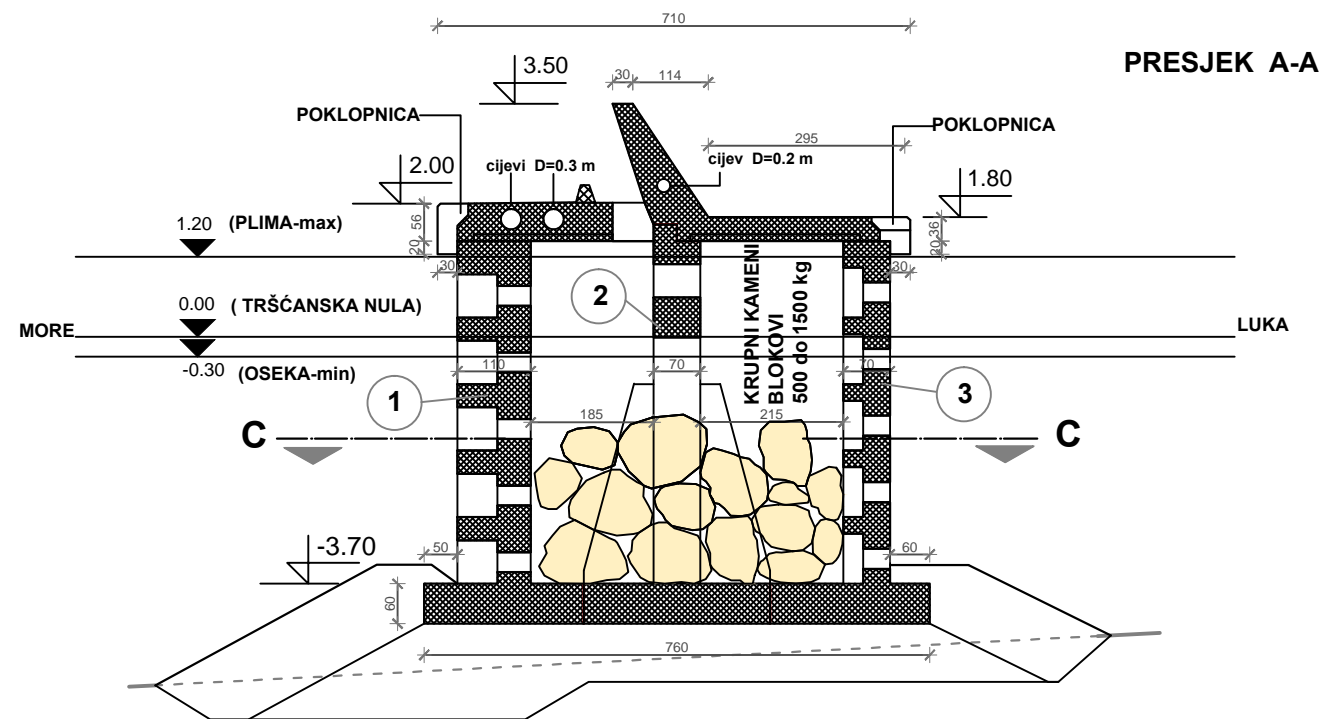
| | |
|---|--|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavala |  <p> SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 </p> |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: PLAN REFRAKCIJE - SEKTOR II | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ PRILOGA: 1 |
| MJERILO: 1:2000 | DATUM: Srpanj 2015. |




| | | |
|---|------------------------|---|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavalu | |  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117</p> |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | | |
| SADRŽAJ: SITUACIJA POSTOJEĆEG STANJA | | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 1 | |
| MJERILO: 1:1000 | DATUM: Srpanj 2015. | |

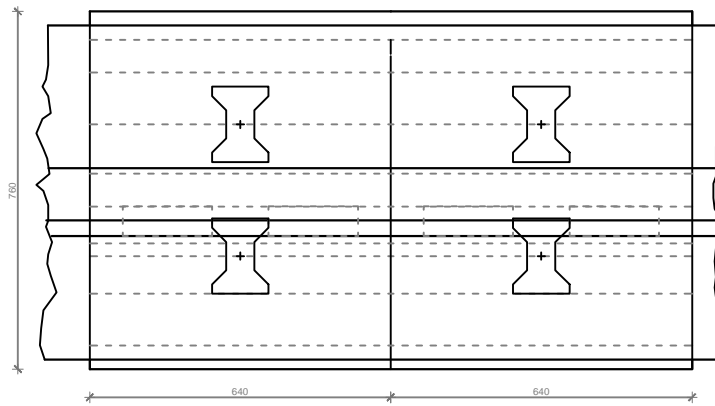


| | |
|-------------------------------------|---|
| GRADEVINA: Lučica Zavala |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: SITUACIJA RADOVA | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 2 |
| MJERILO: 1:1000 | DATUM: Srpanj 2015. |

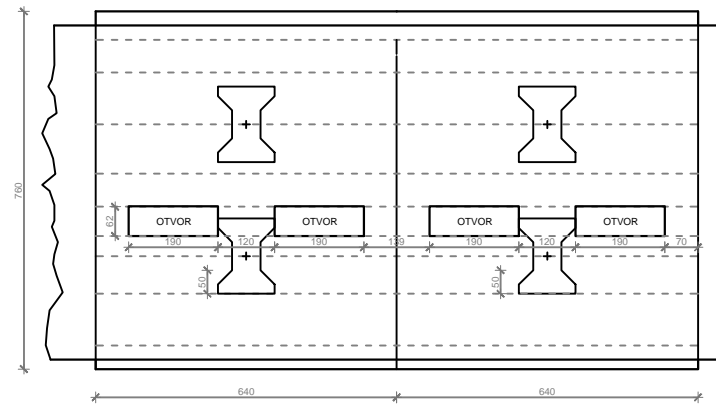


| | | | |
|------------------|-------------------------------------|---|--------------|
| GRAĐEVINA: | Lučica Zavala |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 | |
| VRSTA PROJEKTA: | Diplomski rad | | |
| RAZINA PROJEKTA: | IDEJNO RJEŠENJE | | |
| SADRŽAJ: | POPREČNI PRESJEK ZAPADNOG LUKOBRANA | | |
| PROJEKTANT: | JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: | 3 |
| MJERILO: | 1:100 | DATUM: | Srpanj 2015. |

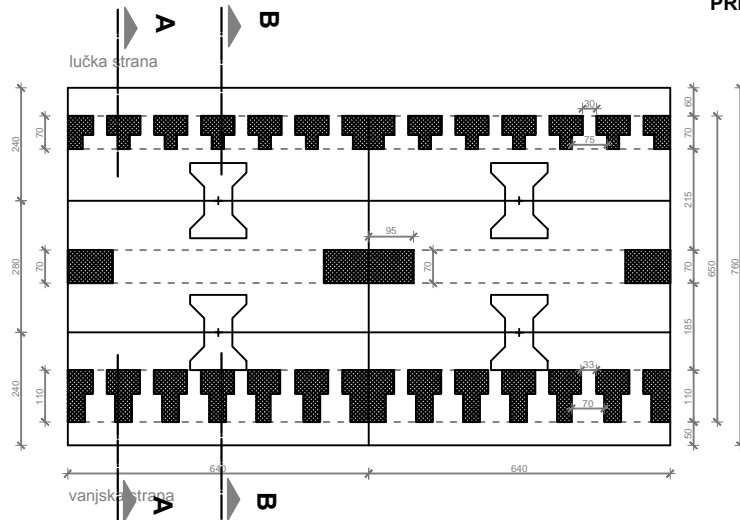
POGLED ODOZGO




PRESJEK KROZ KRUNU

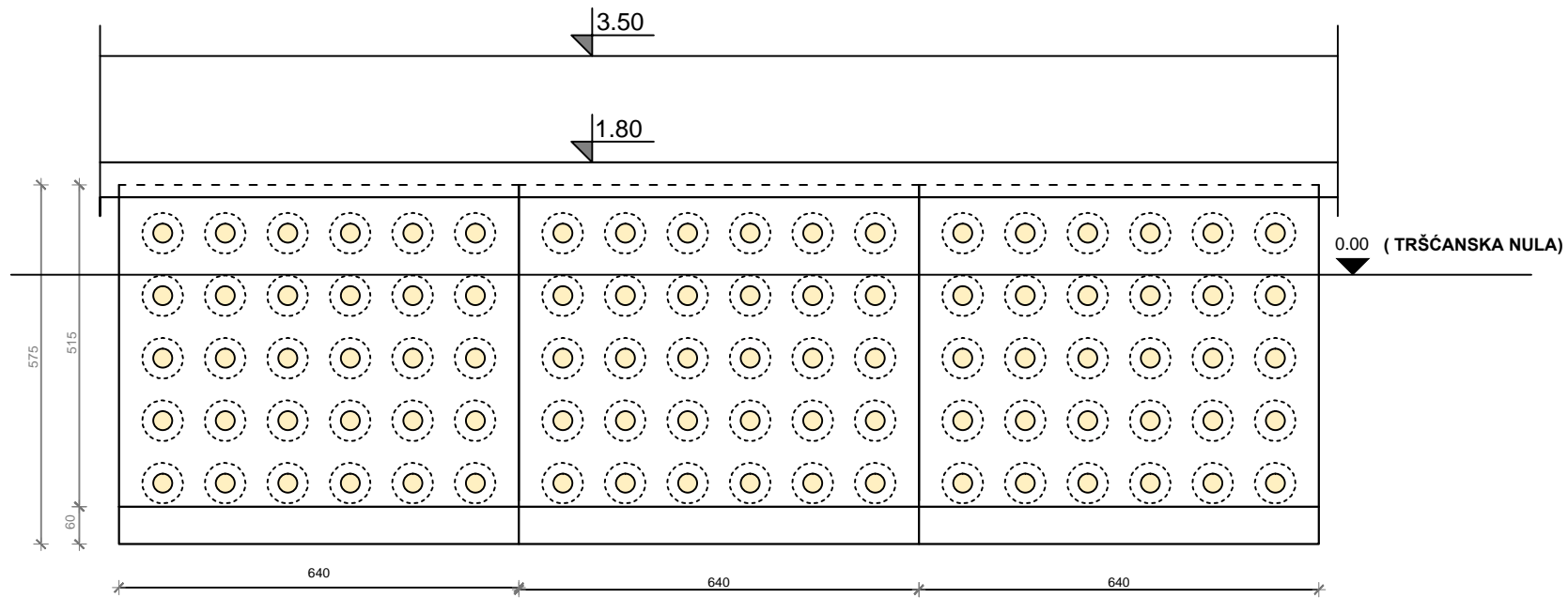


PRESJEK C-C

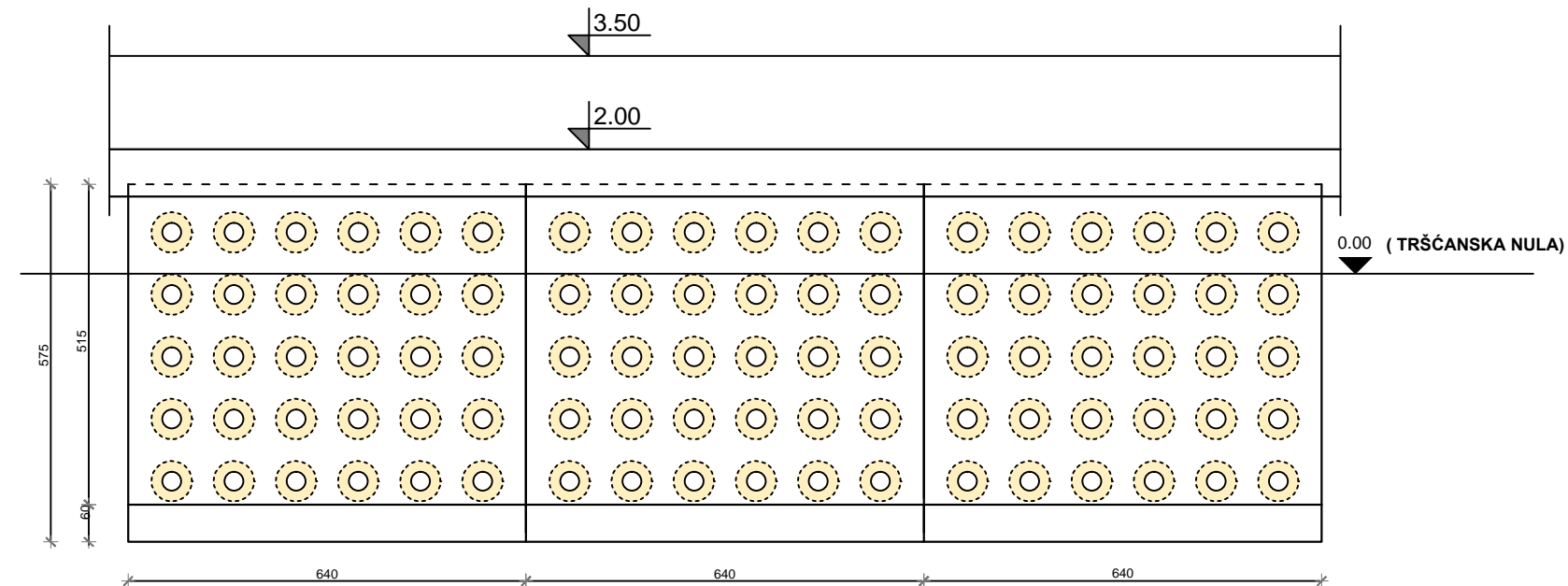



| | |
|---|---|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavala |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: TLOCRT PLOČE ZAPADNOG LUKOBRANA | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 4 |
| MJERILO: 1:100 | DATUM: Srpanj 2015. |

POGLED IZ LUKE

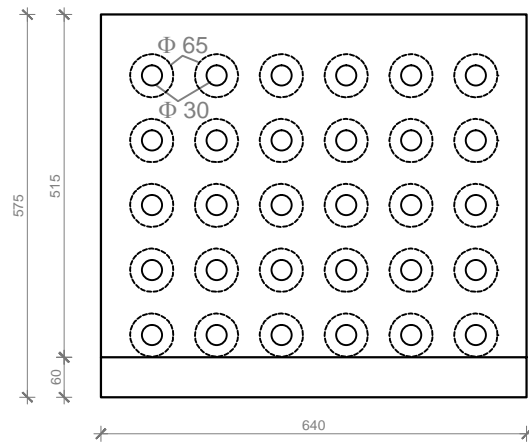
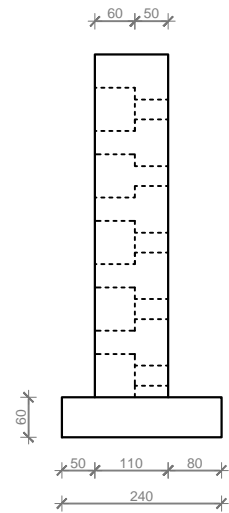


POGLED S VANJSKE STRANE

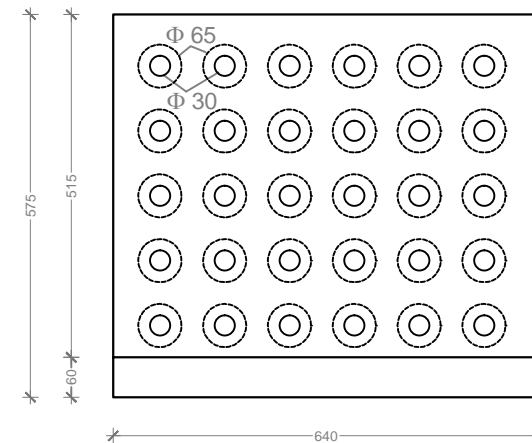
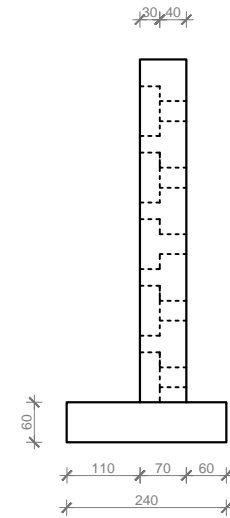


| | |
|---|---|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavala |  <p> SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 </p> |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: POGLED NA ZAPADNI LUKOOBRAN | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 5 |
| MJERILO: 1:100 | DATUM: Srpanj 2015. |

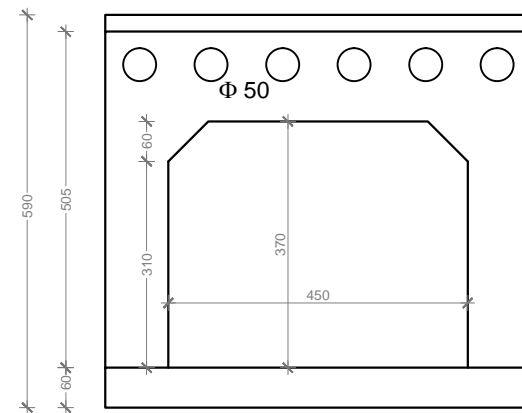
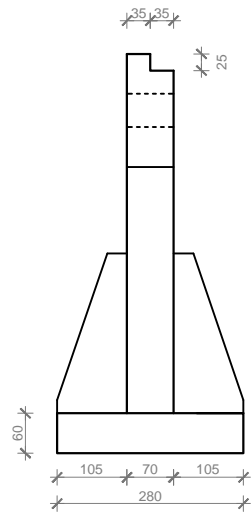
VANJSKI ELEMENT 1



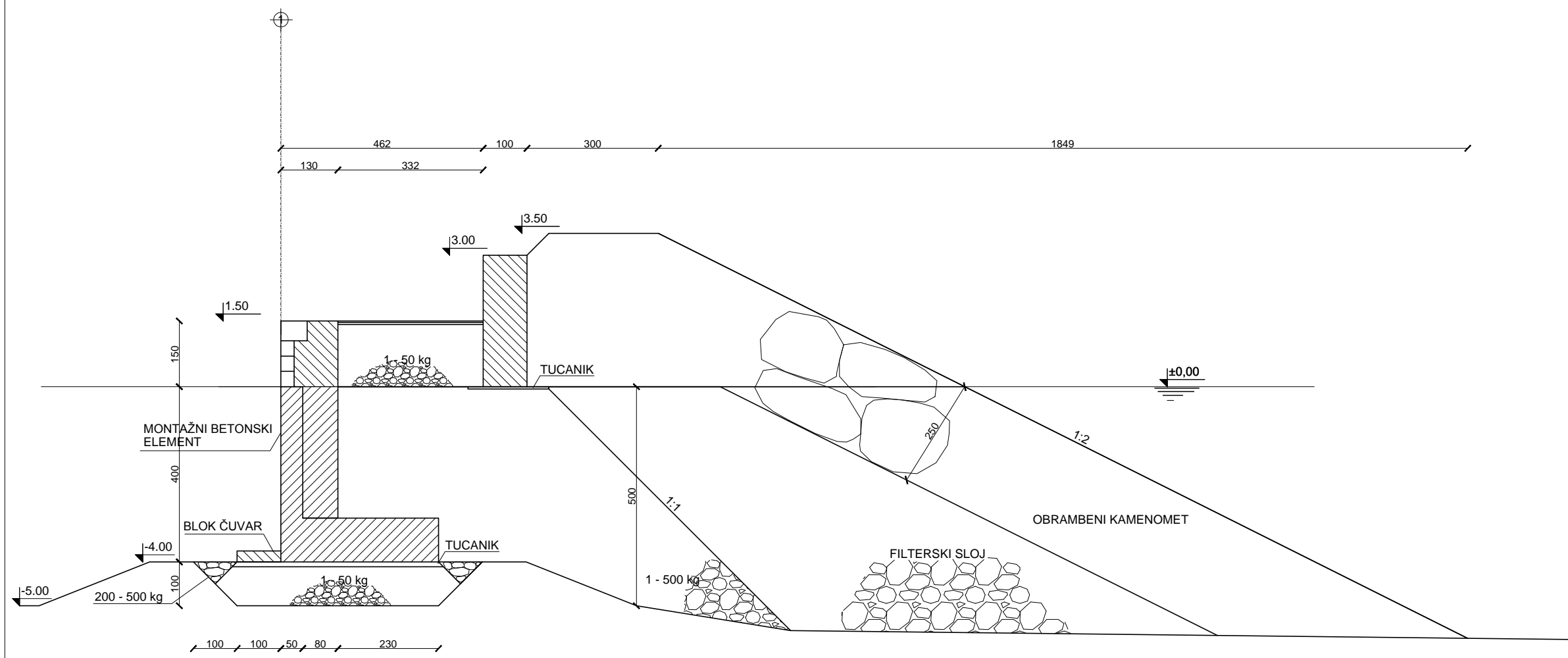
UNUTRAŠNJI ELEMENT 3




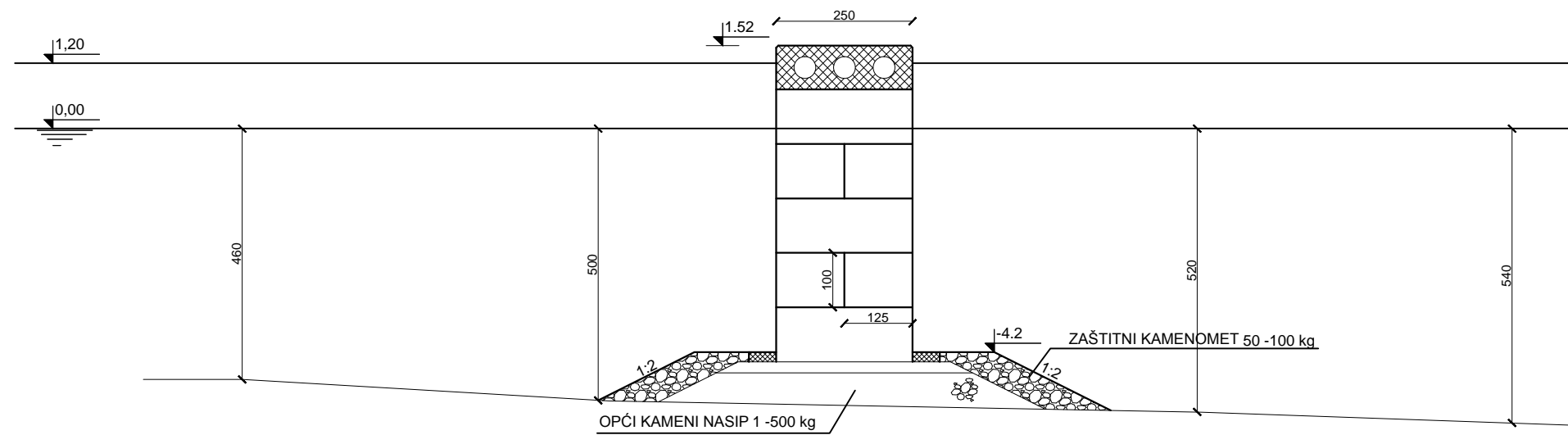
SREDNJI ELEMENT 2




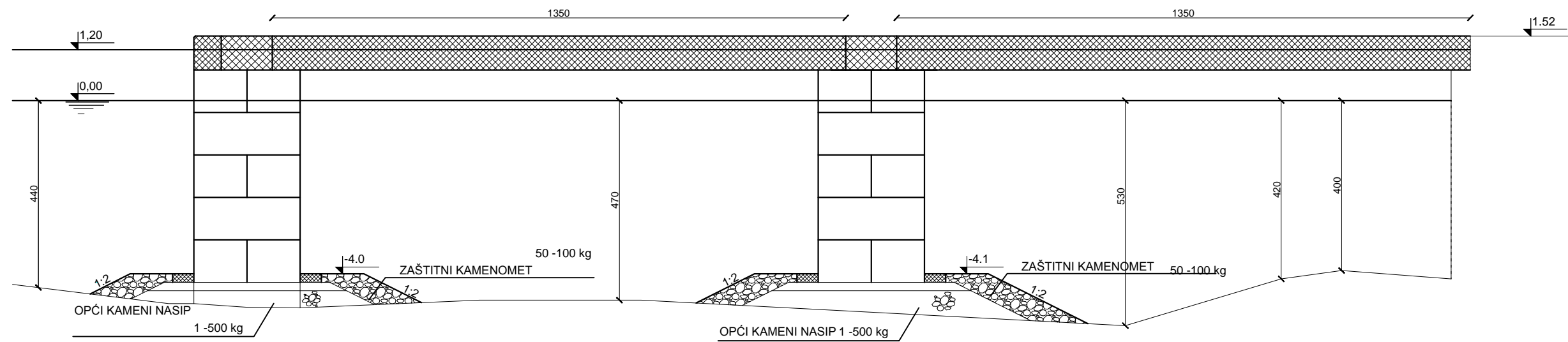
| | |
|---|---|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavala |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: POPREČNI PRESJEK ELEMENATA ZAPADNOG LUKOBRANA | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 6 |
| MJERILO: 1:100 | DATUM: Srpanj 2015. |




| | |
|---|---|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavala |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: POPREČNI PRESJEK ISTOČNOG LUKOBRANA | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 7 |
| MJERILO: 1:100 | DATUM: srpanj 2015. |



| | |
|-------------------------------------|---|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavala |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: POPREČNI PRESJEK GATA | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 8 |
| MJERILO: 1:100 | DATUM: Srpanj 2015. |



| | |
|-------------------------------------|---|
| GRAĐEVINA: Lučica Zavala |  SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117 |
| VRSTA PROJEKTA: Diplomski rad | |
| RAZINA PROJEKTA: IDEJNO RJEŠENJE | |
| SADRŽAJ: POGLED NA GAT | |
| PROJEKTANT: JELENA TUKIĆ | BROJ NACRTA: 9 |
| MJERILO: 1:100 | DATUM: Srpanj 2015. |