

# Analiza varijanti uređenja luke Savudrija

---

**Božac, Nina**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:468388>

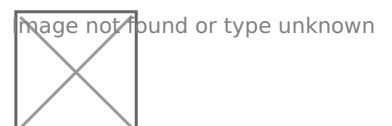
*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Nina Božac**

**Analiza varijanti uređenja luke Savudrija**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2021 godina.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Specijalistički diplomski stručni studij  
Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi  
Obalne građevine**

**Nina Božac  
JMBAG: 0114027318**

**Analiza varijanti uređenja luke Savudrija  
Diplomski rad**

**Rijeka, rujan 2021.**

Naziv studija: **Specijalistički diplomski stručni studij**  
Znanstveno područje: Tehničke znanosti  
Znanstveno polje: Arhitektura i urbanizam  
Znanstvena grana: Urbanizam i prostorno planiranje

Tema diplomskog rada

**ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA**  
**ANALYSIS OF PORT LAYOUT VARIANTS FOR THE PORT OF SAVUDRIJA**

Kandidatkinja: **NINA BOŽAC**

Kolegij: **OBALNE GRAĐEVINE**

Diplomski rad broj: **SPEC-2021-08**

**Zadatak:**

U radu je potrebno analizirati varijante uređenja luke Savudrija. U sklopu rada potrebno je obraditi teoretske osnove proračuna, dimenzioniranja i projektiranja komunalne luke.

Okvirni sadržaj rada:

1. Uvod (Postojeće stanje luke Savudrija, Kulturno povijesne znamenitosti i sl.)
2. Prostorno planska osnova
3. Metodologija proračuna
4. Pomorsko hidraulički proračun
5. Varijantno rješenje 1 i 2, usporedba, grafički prilozi
6. Zaključak
7. Literatura

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentor

doc. dr. sc. Igor Ružić,  
dipl.ing.građ.

Izjava o samostalnoj izradi rada

## IZJAVA

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

*Božac*

---

Nina Božac

U Rijeci, 06.09.2021.

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Igor Ružić dipl.ing.građ na ukazanoj pomoći, strpljenju i susretljivosti tijekom izrade diplomskog rada.

Najviše se zahvaljujem svojim roditeljima, bratu i dečku, koji su mi bili potpora tijekom proteklih godina studiranja.

Također, zahvaljujem se i svim prijateljima koji su mi uveselili sve godine studiranja te ih učinili nezaboravnim.

## SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je analizirati moguće varijante uređenja luke Savudrija u odnosu na postojeće stanje koje je nezadovoljavajuće. Naime, problem predstavlja sigurnost priveza koji u cijeloj luci nije siguran, prelijevanje valova preko postojećeg sjevernog lukobrana te kota operativne obale lukobrana koja je preniska zbog čega tijekom ekstremno visokih razina mora dolazi do plavljenja iste. Obzirom na probleme, istraženi su osnovni podaci o samom lokalitetu nakon čega je provedena metodologija proračuna kroz koju je opisan način proračuna nasutog i vertikalnog lukobrana i dispozicija vezova u akvatoriju. Predviđa se izvedba nasutog lukobrana od prirodnog materijala na kojem se s lučke strane nalazi betonski obalni zid. Proveden je pomorsko hidraulički proračun nasutog i vertikalnog lukobrana. Za nasuti lukobran izračunate su debljine slojeva te je provedena analiza prelijevanja sjevernog lukobrana. Za obalni zid lukobrana proračun je proveden konzervativno, kao vertikalni lukobran, bez povoljnog utjecaja nasipa. Predložene su dvije varijante uređenja luke. Kod obje varijante predviđa se izmjena trase postojećeg lukobrana i pomicanje glave postojećeg lukobrana u svrhu proširenja ulaza u luku. Jedini način za postizanje sigurnog ulaza u luku je skraćenje postojećeg lukobrana radi zaštite antičkog. Predložene varijante razlikovat će se prema obliku i dimenzijama lukobrana. Prvom varijantom predviđena je marina s 200 vezova koja sadrži vezove za I, II, III, IV, V, VI i VII kategoriju plovila dok je drugom varijantom predviđena marina sa 137 vezova koja sadrži vezove za II, III, IV, V, VI i VII kategoriju plovila. Uspoređene su dvije predložene varijante uređenja za koje su tablično iskazani mogući prihodi, količine potrebnog materijala te njihove osnovne karakteristike prema kojima se razlikuju. Bitno je spomenuti i antički lukobran, koji iako je potopljen znatno smanjuje visinu valova u luci. Od iznimne je važnosti da konstrukcija južnog lukobrana ostane sačuvana. Uređenjem luke poboljšala bi se sigurnost te bi se riješio problem sigurnosti priveza. Također, poboljšali bi se radni uvjeti unutar iste i plovnost, postigao bi se kvalitetniji ukrcaj i iskrcaj robe uz određeni manevarski prostor te bi se povećala mogućnost da brodovi dobiju svoj vez. Smanjile bi se i štetne posljedice na obalnu infrastrukturu uzrokovane podizanjem razine mora zbog klimatskih promjena. Sukladno navedenom postigla bi se i turistička atraktivnost cijelog područja, a istovremeno zajamčio kontinuirani razvoj luke Savudrija.

Ključne riječi: luka, nasuti lukobran, vertikalni lukobran, prelijevanje, Savudrija

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. POSTOJEĆE STANJE .....	4
3. PRIRODNA OSNOVA.....	6
3.1. Morski valovi .....	6
3.2. Geološka i hidro-geološka podloga .....	8
4. KULTURNO POVIJESNE ZNAMENITOSTI .....	11
5. PROSTORNO PLANSKA OSNOVA.....	15
6. METODOLOGIJA PRORAČUNA .....	18
6.1. Dimenzioniranje nasutog lukobrana .....	18
6.1.1. Proračun prema Hudsonovoj formuli (1984) .....	19
6.1.2. Proračun prema Van der Meer-ovoj formuli (1988).....	27
6.1.3. Uzdizanje i poniranje valova na prednjem licu lukobrana .....	29
6.1.4. Prelijevanje lukobrana („overtopping“) .....	33
6.2. Dimenzioniranje obalnog zida .....	35
6.3. Dispozicija vezova plovila u luci .....	38
7. POMORSKO HIDRAULIČKI PRORAČUN.....	41
7.1. Proračun nasutog lukobrana .....	41
7.1.1. Provjera loma valova .....	41
7.1.2. Dimenzioniranje bloka primarnog sloja nasutog lukobrana (školjere) ....	41
7.1.3. Donja kota primarne zaštite unutar luke i sa morske strane .....	42
7.1.4. Širina nasutog lukobrana .....	42
7.1.5. Debljine slojeva nasutog lukobrana .....	43
7.1.6. Proračun uzdizanja i poniranja vala („runup“ i „rundown“) .....	47
7.1.7. Analiza prelijevanja sjevernog lukobrana.....	48
7.1.8. Sažetak rezultata proračuna .....	50
7.2. Proračun obalnog zida lukobrana.....	51
7.2.1. Sažetak rezultata proračuna .....	56
8. VARIJANTNA RJEŠENJA LUČICE .....	57
8.1. Varijanta 1 .....	57
8.2. Varijanta 2 .....	59
8.3. Iskaz masa varijantnih rješenja .....	61
9. USPOREDBA VARIJANTNIH RJEŠENJA.....	67
10. ZAKLJUČAK.....	70
LITERATURA.....	73



GRAFIČKI PRILOZI .....	75
------------------------	----

## POPIS SLIKA

Slika 1: Lokacija luke Savudrija [1]

Slika 2: Poprečni presjek sjevernog lukobrana [2]

Slika 3: Širina ulaza u luku [2]

Slika 4: Granica prostorne domene numeričkih simulacija [2]

Slika 5: Značajne visine valova (m), SW – 50 god. PP [2]

Slika 6: Podjela Istre na bijelu, sivu i crvenu [5]

Slika 7: Isječak iz Osnovne geološke karte Republike Hrvatske [6]

Slika 8: Shematska hidrogeološka karta Sjeverne Istre [8]

Slika 9: Plan lučkog bazena Savudrije [3]

Slika 10: Rekonstruirani poprečni presjek južnog lukobrana [3]

Slika 11: Prostorni plan uređenja Grada Umaga – Korištenje i namjena površina [9]

Slika 12: Refrakcija valova [12]

Slika 13: Vrste loma vala [12]

Slika 14: Debljina slojeva nasutog lukobrana [14]

Slika 15: Koeficijent propusnosti [18]

Slika 16: Elevacija morske razine kod vodonepropusne podloge [18]

Slika 17: Elevacija morske razine kod vodopropusne podloge [18]

Slika 18: Prelijevanje lukobrana [18]

Slika 19: Učinak parapetnog zida [18]

Slika 20: Grafički način određivanja omjera [18]

Slika 21: Stalna, izvanredna i potresna djelovanja prema Eurocod 7 za geotehnička projektiranja [22]

Slika 22: Proračun stabilnosti na klizanje [23]

Slika 23: Proračun stabilnosti na prevrtanje [23]

Slika 24: Poprečni presjek sjevernog lukobrana [2]

Slika 25: Predloženi poprečni presjek sjevernog lukobrana

Slika 26: Slojevi nasutog lukobrana

Slika 27: Prikaz djelovanja sila na obalni zid

Slika 28: Prikaz djelovanja sila na obalni zid

Slika 29: Varijanta 1 uređenja lučice

Slika 30: Varijanta 2 uređenja lučice

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Dugoročne značajne valne visine HsPP povratnih perioda PP [god] po sektorima i značajni periodi TS povratnih perioda PP [god] po sektorima [4]

Tablica 2: Dozvoljeni kapacitet morskih luka

Tablica 3: Potrebna površina kopnenog dijela i akvatorija luke

Tablica 4: Dozvoljeni kapacitet, potrebna površina kopnenog dijela i akvatorija luke

Tablica 5: Eksperimentalni koeficijent obloge  $KD \equiv KD=0$  za proračun težine bloka GA [14]

Tablica 6: Koeficijent sloja  $k\Delta$  [15]

Tablica 7: Postotci oštećenja primarne obloge D[%] za razne omjere H/HD=0 [16]

Tablica 8: Ovisnost razine oštećenja o nagibu [17]

Tablica 9: Koeficijenata za određeni postotak podizanja valova [18]

Tablica 10: Kritične vrijednosti srednjeg preljevnog protoka [19]

Tablica 11: ACI priručnik [24]

Tablica 12: Dubine prema ACI-u [24]

Tablica 13: Dimenzioniranje bloka primarnog sloja nasutog lukobrana-školjere

Tablica 14: Donja kota primarne zaštite lukobrana

Tablica 15: Širina nasutog lukobrana

Tablica 16: Debljina primarnog sloja nasutog lukobrana

Tablica 17: Debljina sekundarnog sloja nasutog lukobrana

Tablica 18: Dimenzioniranje jezgre nasutog lukobrana

Tablica 19: Konture nasutog lukobrana

Tablica 20: Usvojene vrijednosti

Tablica 21: Proračun uzdizanja i poniranja vala

Tablica 22: Postojeće stanje - proračun prelijevanja nasutog lukobrana

Tablica 23: Predloženo stanje - proračun prelijevanja nasutog lukobrana

Tablica 24: Broj vezova – Varijanta 1

Tablica 25: Broj vezova – Varijanta 2

Tablica 26: Količine materijala po profilima za Varijantu 1

Tablica 27: Količine materijala po profilima za Varijantu

Tablica 28: Udio vezova u varijanti 1 i 2

Tablica 29: Ukupni godišnja zarada – Varijanta 1

Tablica 30: Ukupni godišnja zarada – Varijanta 2

Tablica 31: Usporedba ukupne potrebne količine materijala obe varijante

## 1. UVOD

Lučka uprava Umag–Novigrad upravlja lučkim područjem koje čine Luka Umag (osim područja luke posebne namjene – Nautičkog centra ACI Marina Umag), Luka Novigrad s pristaništem Antenal te luke Savudrija, Zambratija, Lovrečica, Karigador i Dajla. Među navedenim lukama jedino su Umag i Novigrad luke županijskoga značaja otvorene za međunarodni promet dok su ostale luke lokalnoga značaja.

Luka Savudrija nalazi se na krajnjem sjeverozapadu Istre odnosno najsjevernija je luka istočnog dijela Jadrana (Slika 1.). Upravo se zbog njezinog položaja i blizine bogatijim zemljama u širem susjedstvu može očekivati zainteresiranost za njezino korištenje i širenje naselja. Luka Savudrija je zapravo mala aglomeracija starih zgrada na obalnom rubu s velikim i uređenim lučkim prostorom te predstavlja snažan potencijal turističkog razvoja. Također, luka i njezino podmorje predstavljaju važan arheološki lokalitet, a arheološka zona kojoj pripada veća je od samog naselja Savudrija.

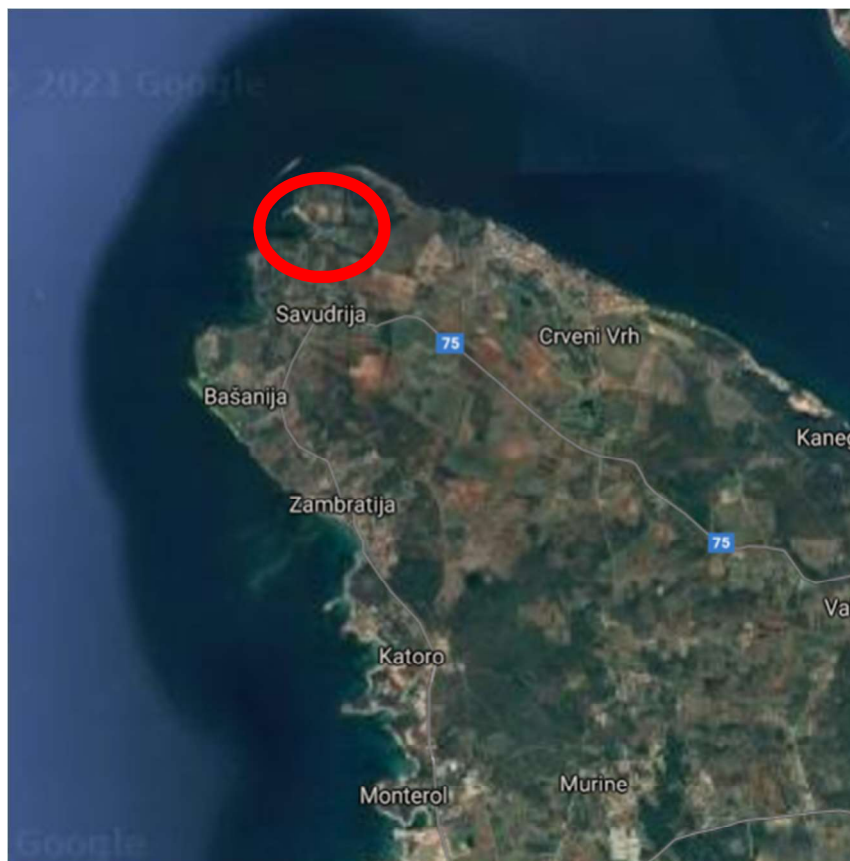
Bitan aspekt prilikom analiziranja i projektiranja predstavljaju klimatske promjene koje simboliziraju rastuću prijetnju u 21. stoljeću. Iste utječu na sve segmente okoliša i gospodarstva ugrožavajući održivi razvoj društva te potencirajući postojeće okolišne probleme. Prema "Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu" [1] Hrvatska ima veliku ranjivost na klimatske promjene. Prema Strategiji na području Republike Hrvatske očekivani problem u kontekstu ovog rada je porast razine mora, ali i djelovanje budućih morskih mijena, valova i olujnih uspora čiji se utjecaj odražava na obalnu infrastrukturu. Stoga, ponajviše će biti ugrožene urbane sredine s niskom obalom. Uz direktno potapanje dijela obalnog područja, porast morske razine dugoročno utječe i na pojavu učestalijih obalnih oluja, pojačanu obalnu eroziju te zaslanjivanje tla i obalnih vodonosnika. Poseban negativan utjecaj porasta razine mora očekuje se na žala obzirom da može doći do njihovog potpunog nestanka. U priobalju i na otocima biti će potrebno prilagoditi se potencijalno novim uvjetima za bavljenje ribarstvom i akvakulturom. Sve u skladu s rezultatima klimatskog modeliranja koji predviđaju povećanje temperature mora, prilikom čega može doći do migracije hladnoljubivih vrsta prema hladnijim ili dubljim morima te do porasta brojnosti stranih vrsta i utjecaja na domaće vrste.

Luka javnog prometa Savudrija ima veliku važnost za lokalno stanovništvo šireg područja Savudrije obzirom da lukom obitava više od 40 ribarskih plovila. Sadašnja luka, njena riva, gat i lukobran u nastavku stare urbane jezgre kapacitirani su za ispunjenje potreba lokalnog stanovništva. Luka je namijenjena za pristajanje, sidrenje i zaštitu plovila do 50 GT odnosno plovila čiji je gaz do 3,00 metra, za ukrcaj, iskrcaj putnika i robe te za druge gospodarske djelatnosti koje su s ovim djelatnostima u međusobnoj gospodarskoj, prometnoj i tehnološkoj vezi. Operativna obala osigurava se na kopnenom dijelu do zelene površine te je ona ujedno i šetalište na rivi (kolno pješačka površina).

Obzirom da je luka u velikoj mjeri izložena valovima, pogotovo iz trećeg kvadranta, trenutačno stanje luke nije zadovoljavajuće. Za vrijeme nevremena, veliki problem predstavlja sigurnost priveza koji u cijeloj luci nije siguran i prelijevanje valova preko postojećeg sjevernog lukobrana. Također, kota operativne obale lukobrana je preniska zbog čega tijekom ekstremno visokih razina mora dolazi do plavljenja operativne obale. Navedeno negativno utječe na samu funkcionalnost operativne obale, a ponajviše na sigurnost priveza plovila i nemogućnost pretovara. Štete od podizanja razine mora kod niskih obala biti će umanjene primjenom odgovarajućih mjera planiranja novih i saniranja postojećih ugroženih dijelova naselja i infrastrukture.

Radom će se obuhvatiti analiza postojećeg stanja u luci te će biti obrađene dvije varijante uređenja luke. Kod obje varijante predviđa se izmjena trase postojećeg lukobrana i pomicanje glave postojećeg lukobrana u svrhu proširenja ulaza u luku. Predložene varijante razlikovat će se prema obliku i dimenzijama lukobrana. Prvom varijantom predviđena je marina sa 200 vezova koja sadrži vezove za I, II, III, IV, V, VI i VII kategoriju plovila dok je drugom varijantom predviđena marina sa 137 vezova koja sadrži vezove za II, III, IV, V, VI i VII kategoriju plovila. Također, provedeno je i dimenzioniranje nasutog lukobrana i obalnog zida. Proračun nasutog lukobrana proveden je prema Hudsonovoj formuli. Definirani su ulazni podaci pomoću kojih se izračunala visina i širina krune, dimenzionirao primarni sloj i debljine slojeva i dimenzionirala nožica lukobrana. Kod obalnog zida proveden je proračun stabilnosti na klizanje i prevrtanje za postojeće stanje i za predloženi poprečni presjek.

Uređenjem luke poboljšala bi se sigurnost luke i riješio problem sigurnosti priveza, poboljšali bi se radni uvjeti unutar iste i plovnost, postigao bi se kvalitetniji ukrcaj i iskrcaj robe uz određeni manevarski prostor te bi se povećala mogućnost da brodovi dobiju svoj vez. Smanjile bi se i štetne posljedice na obalnu infrastrukturu uzrokovane podizanjem razine mora zbog klimatskih promjena predviđenih u Strategiji [1]. Sve uz prihvatljive troškove i utjecaj na okolnu prirodnu i kulturnu baštinu uz očuvanje atraktivnih vizura luke i integracije luke u prostor. Sukladno navedenom postigla bi se i turistička atraktivnost cijelog područja, a istovremeno zajamčio kontinuirani razvoj luke Savudrija.

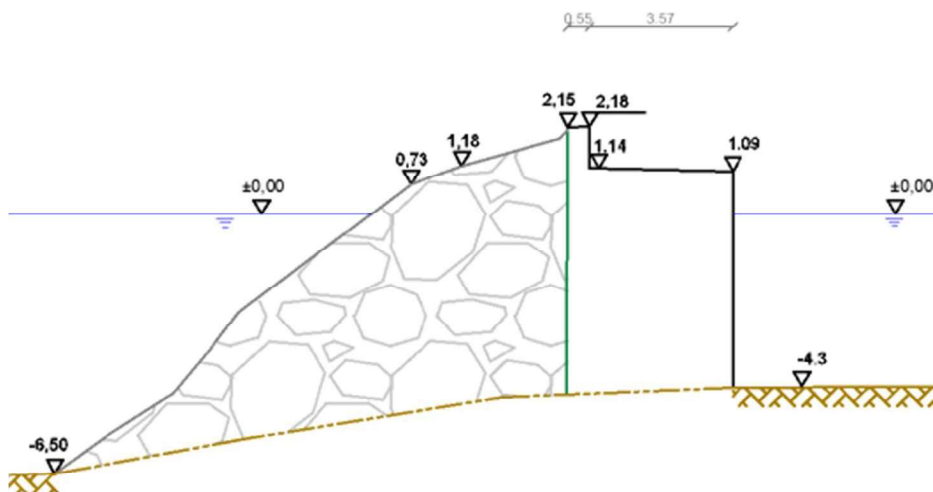


Slika 1: Lokacija luke Savudrija [1]



## 2. POSTOJEĆE STANJE

Luka Savudrija je morska luka javnog prometa s velikom važnošću za lokalno gospodarstvo što dokazuje činjenica da lukom obitava više od 40 ribarskih plovila. Obzirom da je luka Savudrija u velikoj mjeri izložena valovima, pogotovo iz trećeg kvadranta, trenutno stanje luke nije zadovoljavajuće. Prema valovima iz trećeg kvadranta je otvorena u širini od oko 450 m i dužini od oko 350 m. Za vrijeme nevremena veliki problem predstavlja sigurnost priveza koji u cijeloj luci nije siguran. Za smjerove SW, WSW i W visine valova za povratni period od 50 godina u luci iznose od 0,4 m do 1,30 m što je više od minimalno dozvoljenih visina. Na obali sjevernog lukobrana značajna visina valova iznosi oko 0,4 m dok je na novom operativnom gatu visina valova oko 1,20 m što privez brodova čini nesigurnim.



Slika 2: Poprečni presjek sjevernog lukobrana [2]

Uz navedeno, problem čini i prelijevanje valova preko postojećeg sjevernog lukobrana koji je dužine oko 115 m i koji služi kao primarna zaštita luke od valovanja. Poprečni presjek sjevernog lukobrana prikazuje slika 2. Do prelijevanja lukobrana dolazi za vrijeme oluje iz trećeg kvadranta, osobito SW, garbin. Također, kota operativne obale lukobrana je preniska zbog čega tijekom ekstremno visokih razina mora dolazi do plavljenja operative obale. Navedeno negativno utječe na samu funkcionalnost operative obale, a ponajviše na sigurnost priveza plovila i nemogućnost pretovara. Najveća evidentirana visina plime u uvali iznosi oko 1,45 m (od srednje razine mora). [2]

Potrebno je spomenuti i da je operativna obala sjevernog lukobrana širine oko 3,50 m, izgradnjom stupova javne rasvjete i energetskih ormarića značajno smanjena te kao takva nepovoljna je za pretovar ribe.

Prema Strategiji [1] procjenjuje se da će srednje razine mora na hrvatskoj obali rasti u rasponu od 0,32 m do 0,65 m do 2100. godine s time da su novije procjene narasle do vrijednosti od 1,1 m. Kada se na njih pridodaju i utjecaji povremenih ekstremnih razina mora u rasponu od 0,84 m do 1,15 m, dobivaju se ekstremne povremene razine mora na kraju stoljeća u rasponu od oko 1,4 m do 2,2 m. Sukladno navedenom neophodno je kotu operativne obale sjevernog lukobrana podignuti za oko 50 cm.

Širina postojećeg ulaza u luku odnosno udaljenost između sjevernog lukobrana i južnog (antičkog) lukobrana je za vrijeme oseke oko 10 m što nije dovoljno za sigurno uplovljavanje (Slika 3). Stoga bi trebalo, u sklopu maritimne studije detaljnije analizirati širinu ulaza u luku. [2]



Slika 3: Širina ulaza u luku [2]

Ostaci južnog antičkog lukobrana koji se nalaze na jugu uvale spadaju među najbolje očuvane lukobrane antičkog doba. Sama konstrukcija južnog lukobrana očuvana je u širini 11 m i dužini 140 m te visini između 1,50 m i 1,60 m s gornjim redom blokova na dubini od 1 m ispod sadašnje morske razine. Izgrađen je tehnikom sanduka koja se koristila na mnogim područjima antičkih luka na jadranskoj obali. [3]

### 3. PRIRODNA OSNOVA

#### 3.1. Morski valovi

Luka Savudrija je prema valovima otvorena iz trećeg kvadranta, u širini od oko 450 m i dužini od oko 350 m te za vrijeme oluja, prvenstveno iz smjera SW, Gabin dolazi do značajnijeg prelijevanja lukobrana. S obzirom da na samoj lokaciji ni u blizini luke Savudrija ne postoje mjerodavni podaci o mjerenju vjetera i valova navedeni podaci za izradu rada preuzeti su iz elaborata „Studija o utjecaju na okoliš za zahvat dogradnje luke otvorene za javni promet Karigador“ [4]. Ukoliko dođe do potrebe za više razine projekta trebali bi se prikupiti mjerodavni službeni podaci o vjetru na temelju kojih bi se izradila vjetrovalna klima za područje luke, tj. preciznija prognoza valova te provesti odgovarajuća mjerenja valova i morskih struja.

Mjerodavne značajne valne visine  $H_s^{PP}$  i valni period  $T_s$  navedeni su u tablici 1. i to za smjerove SW, WSW, W i NW u povratnom periodu od 50, 5 i 1 godine. [4]

Tablica 1. Dugoročne značajne valne visine  $H_s^{PP}$  povratnih perioda PP [god] po sektorima i značajni periodi  $T_s$  povratnih perioda PP [god] po sektorima [4]

POVRATNI PERIOD	SEKTOR I - SW		SEKTOR II - WSW		SEKTOR III - W		SEKTOR IV - NW	
	ZNAČAJNA VALNA VISINA	VALNI PERIOD	ZNAČAJNA VALNA VISINA	VALNI PERIOD	ZNAČAJNA VALNA VISINA	VALNI PERIOD	ZNAČAJNA VALNA VISINA	VALNI PERIOD
	$H_s^{PP}$ [m]	$T_s$ [s]	$H_s^{PP}$ [m]	$T_s$ [s]	$H_s^{PP}$ [m]	$T_s$ [s]	$H_s^{PP}$ [m]	$T_s$ [s]
50	3,5	6,5	3,0	6,0	2,8	5,5	2,25	4,9
5	2,7	6,0	2,5	5,2	2,2	4,9	1,75	4,5
1	2,3	5,2	2,0	4,7	1,8	4,6	1,4	4,2

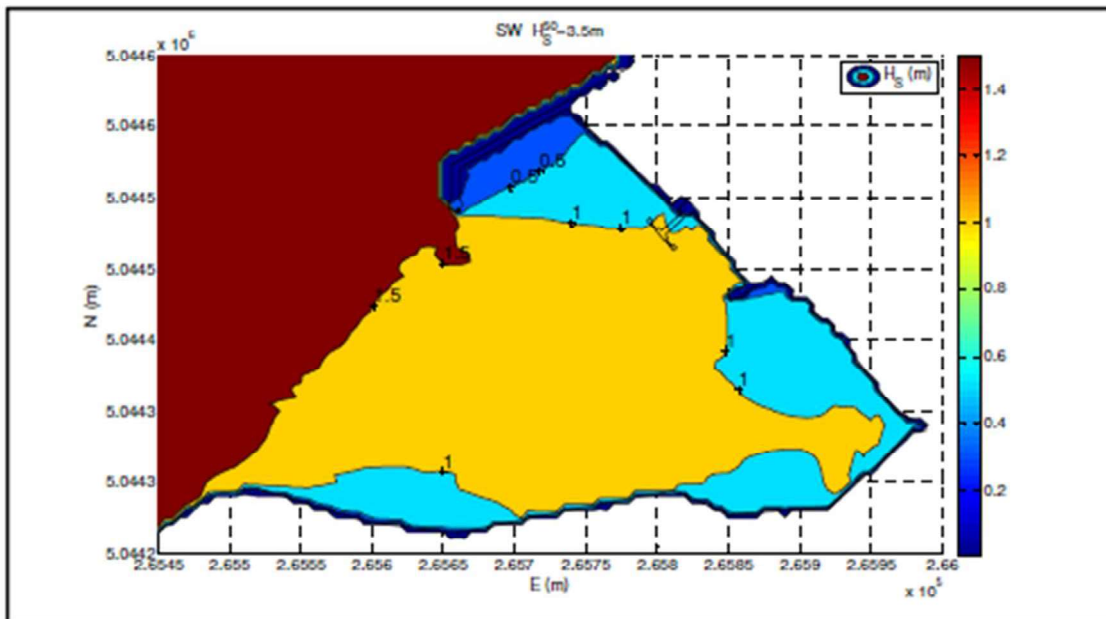
Analiza valovanja na postojeće stanje luke Savudrija preuzeta je iz: „Numerički model deformacija valova u luci Savudrija“ [2] te je za realizaciju analize korišten numerički model valovanja Simulating Waves Nearshore (SWAN). Veličina prostorne domene iznosi 1650 x 1650 m uz prostorni korak  $\Delta x = 5$  m i  $\Delta y = 5$  m što je prikazano na slici 4.



Slika 4: Granica prostorne domene numeričkih simulacija [2]

Korišteni su podaci iz tablice 1. te su dobiveni rezultati numeričke simulacije koji prikazuju značajne visine valova za povratni period od 50 godina (slika 5.). Koeficijent refleksije korišten u numeričkim simulacijama za operativni dio obale iznosi 0,9. Koeficijent refleksije na stjenovitoj obali iznad pješčanih plicaka iznosi 0,4 iz razloga što su ekstremne razine mora sve učestalije te prilikom istih dolazi do odbijanja valova od navedenih stijena. [2]

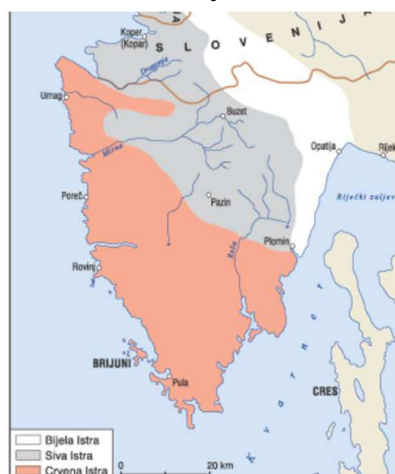
Promatrane su značajne visine valova iz smjerova SW, WSW, W i NW. Za smjerove SW, WSW i W visine valova gotovo su identične te one iznose od 0,4 m do 1,30 m što se vidi na slici 5. Obzirom da spomenute visine valova prekoračuju minimalno dozvoljene visine prema standardima Hrvatskog registra brodova nije dopuštena izvedba pontonskih gatova ili lukobrana. Također, iz simulacije je vidljivo da južni lukobran znatno smanjuje visinu valova u luci bez obzira što je potopljen. Stoga, iznimno je važno da konstrukcija južnog lukobrana ostane sačuvana te da se izvrši sanacija ukoliko dođe do oštećenja iste. Na obali sjevernog lukobrana značajna visina valova iznosi oko 0,4 m dok je na novom operativnom gatu visina valova oko 1,20 m što privez brodova čini nesigurnim. Potrebno je spomenuti i da prelijevanje valova preko krune sjevernog lukobrana negativno utječe na sigurnost veza. Sukladno navedenom potrebno je poboljšati sigurnost luke odnosno izgraditi nove zaštitne građevine (lukobrane). [2]



Slika 5: Značajne visine valova (m), SW – 50 god. PP [2]

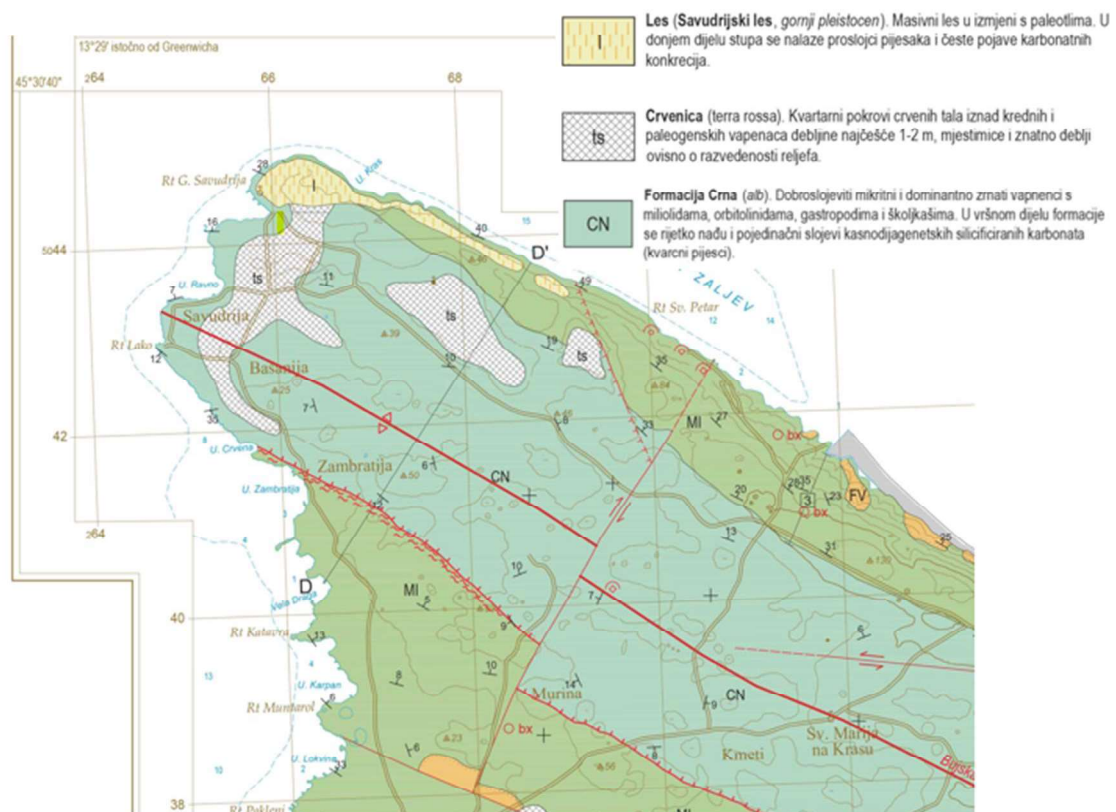
### 3.2. Geološka i hidro-geološka podloga

Geološka građa istarskog poluotoka može se podijeliti na tri različita područja: Bijela, Siva i Crvena Istra što je prikazano na slici 6. Bijela Istra predstavlja brdovito, okršeno kamenito područje Ćićarije i Učke, oskudnog biljnog pokrova, građeno od okršenih krednih i paleogenskih vapnenaca. Siva Istra predstavlja središnji dio Istre koju karakteriziraju paleogenska niža pobrđa fliša, a sastoje se od nepropusnog lapora, gline i pješčenjaka. Crvena Istra čini jugozapadni i zapadni dio Istre te je naziv dobila upravo po zemlji crvenici koja prevladava te koja prekriva zaravan građena od jurskih i krednih karbonatnih stijena.



Slika 6: Podjela Istre na bijelu, sivu i crvenu [5]

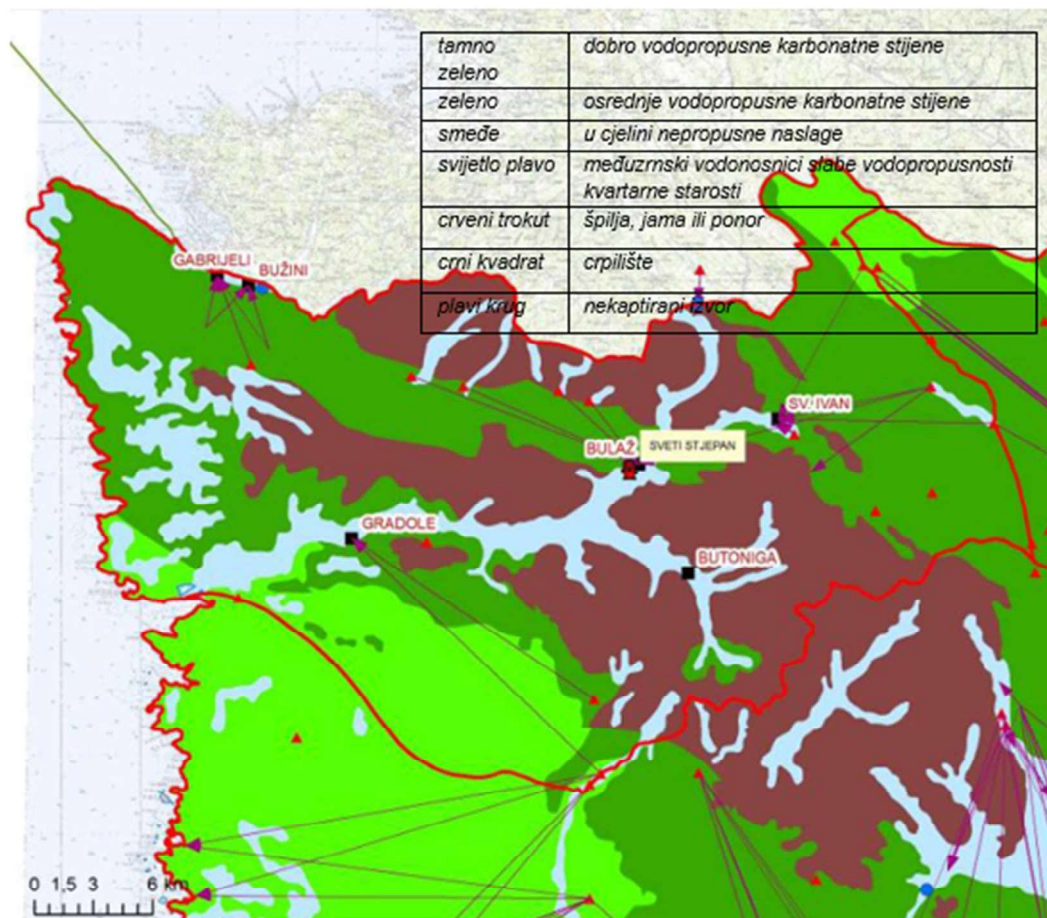
Prema osnovnoj geološkoj karti Republike Hrvatske (slika 7.) vidljivo je da je područje luke Savudrija formirano od vapnenca kredne starosti dok se idući malo prema unutrašnjosti javlja les debljine od 1 do 9 metara i crvenica. Obala promatrane luke je stjenovita s pješčanim plićacima dok se za dno akvatorija pretpostavlja da je formirano od marinskih naslaga, kore trošenja stijena i raspucane stijene. Stjenovito morsko dno izrazito je povoljno i rijetko kod temeljenja pomorskih građevina. [5]



Slika 7: Isječak iz Osnovne geološke karte Republike Hrvatske [6]

Područje Savudrije nalazi se unutar Jadranskog vodnog područja, a prema Pravilniku o granicama područja podslivova, malih slivova i sektora („Narodne novine“, br. 97/10 i 31/13) nalazi se unutar Područja malog sliva Mirna-Dragonja. Rijeka Mirna nalazi se na jugu, a Dragonja na sjeveru. Na području Savudrije nisu prisutni stalni vodeni tokovi, a od povremenih je prisutan potok Savudrija koji je potrebno regulirati te smanjiti nanose mulja u luku. Područjem Savudrije

prevladavaju vodopropusne karbonatne stijene, a osnovna značajka takvog područja je brzo pražnjenje vodonosnika te brzo primanje vode. [7]



Slika 8: Shematska hidrogeološka karta Sjeverne Istre [8]

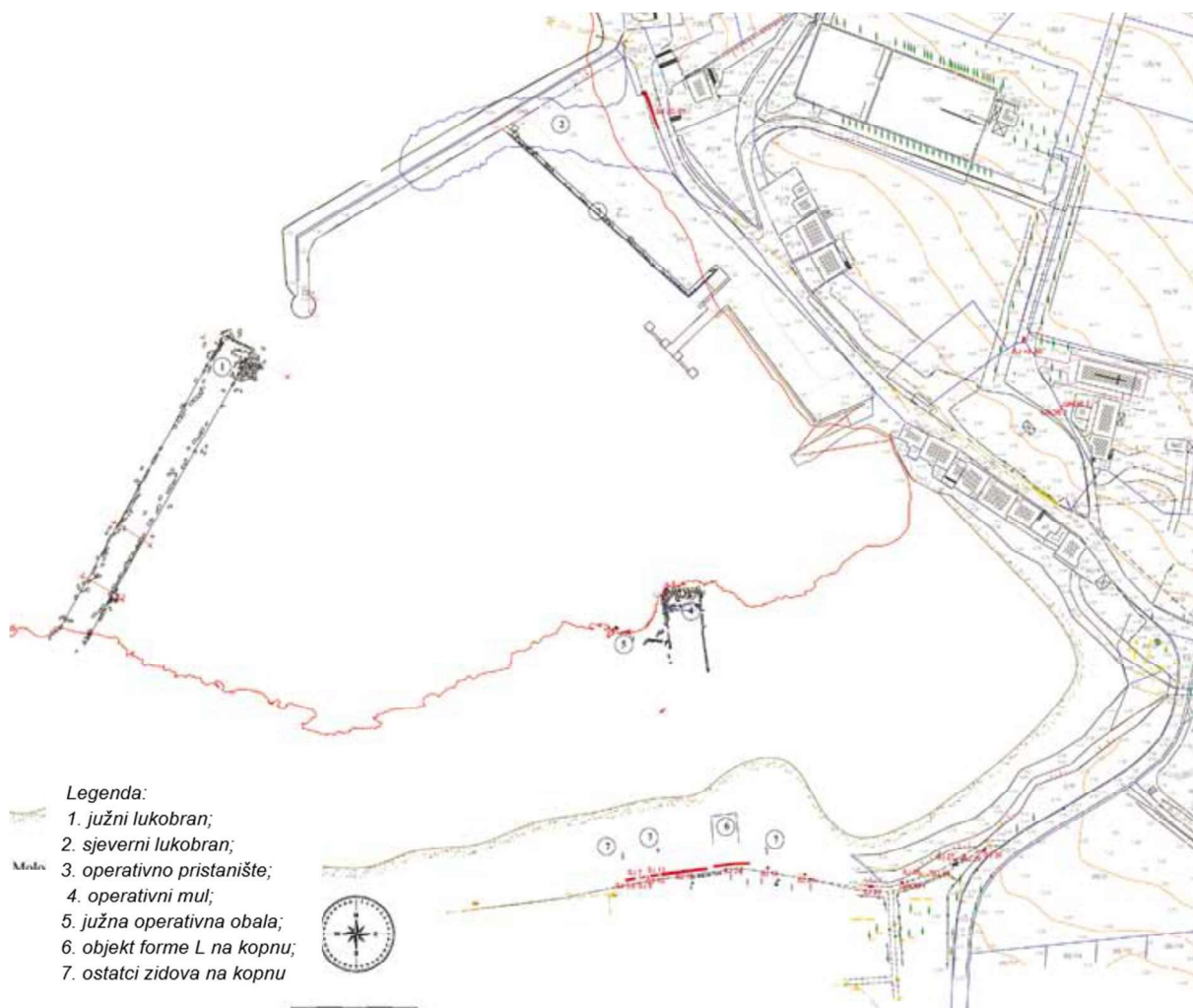
## 4. KULTURNO POVIJESNE ZNAMENITOSTI

Tijekom povijesti, kolonizacijom istarskog poluotoka te osnivanjem kolonijskih gradova Pola i Parentium, uz obalu i u unutrašnjosti dolazi do aktivnog razvoja aglomeracija. Naseljavanje poluotoka potaklo je razvoj i porast gospodarstva te izgradnju luka, a sve s ciljem osiguranja ekonomske dobiti. Sam položaj istarske obale i luke Savudrija koja se nalazila na pomorskom trgovačkom pravcu, od Pole na jugu regije do Tergesta i Akvileje na sjevernom Jadranu, uvelike je pridonio procvatu gospodarstva. Na obalnom rubu duž cijele uvale Stara Savudrija vidljivi su tragovi antičkog naselja Silbio. Antičku luku zatvarala su dva simetrično izgrađena lukobrana. Osim lukobrana u uvali su pronađeni i drugi ostaci antičke obale. Sjeverni dio uklopljen je u današnju obalu dok je južni dio s ostacima antičkog gata ispod razine mora. Čitavo dno uvale ima veliki kulturni značaj s nalazima od antike do novog vijeka.

Lučki bazen antičke Savudrije obuhvaćao je niz različitih objekata od kojih su neki vidljivi duž uvale na kopnu i u moru (Slika 9.). Lučki bazen bio je trokutaste forme s dva lukobrana izgrađenima na zapadnim rtovima. Širina ulaza u lučki bazen odnosno udaljenost od čela sjevernog do čela južnog lukobrana u antici je iznosila oko 80 m što predstavlja  $\frac{1}{4}$  od ukupne širine na ulazu u uvalu. Obzirom da su lukobrani izbočeni prema zapadu, njihov pravac gradnje s unutarnje strane čini tupi kut od  $150^\circ$ . Prirodni greben južne uvale djelomice je uvjetovao položaj lukobrana na način da je isti iskorišten kao prirodni temelj lukobrana. Nadogradnjom sjevernog lukobrana ulaz u akvatorij smanjen je na 20 m. Površina rimskog lučkog bazena iznosila je 4 ha dok je dužina zida svih pomorskih građevina koje služe za pristajanje ili privremeni privez iznosila 562 m što čini ukupnu tlocrtnu površinu pomorskih građevina oko 0,35 ha. Kameni blokovi od kojih su bili izgrađeni lučki objekti predstavljaju posebnu zanimljivost. Naime, blokovi koji su korišteni su vrste pješčenjaka starosti srednjeg i gornjeg eocena dok je lokalitet sjeverozapadne obale Istre formiran od vapnenca gornjokredne starosti. Sukladno navedenom korišteni kameni blokovi ne potječu iz Savudrije. Što se tiče oblika, blokovi su kvadratnog i romboidalnog tlocrta s vidljivim ravnim linijama koje karakteriziraju tragove klesanja.

[3]



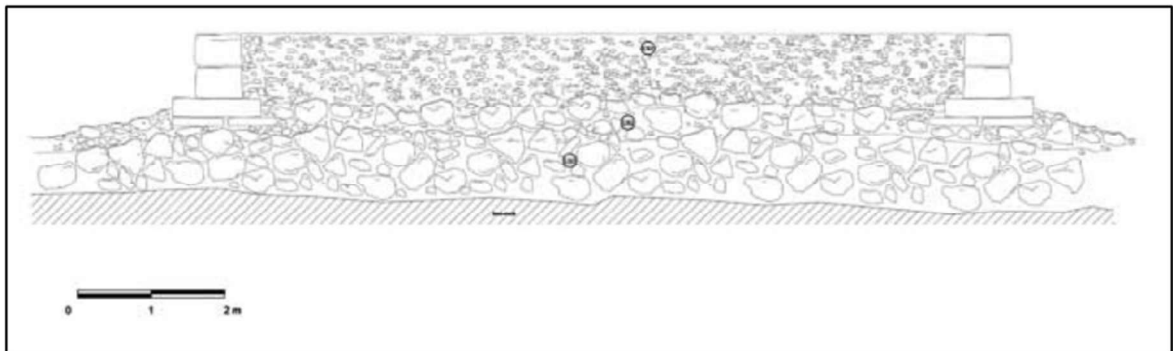


Slika 9: Plan lučkog bazena Savudrije [3]

Sjeverni lukobran (Slika 9., 2) nekad je bio vidljiv u dužini od 50 m dok danas isti nije vidljiv obzirom da se nalazi u trupu lukobrana izgrađenog 1929.godine. Za gradnju kamenog nabačaja (školjere) s vanjske (zapadne) strane iskorišteni su njegovi blokovi od kamena pješčenjaka. Kameni blokovi bili su kvadratnog oblika dimenzija 0,8 x 1,0 x 0,4 m. S unutarnje strane sjevernog lukobrana nalazilo se operativno pristanište koje je bilo sačuvano u dužini od 95 m. Obalni zid izveden je od blokova kamena pješčenjaka, romboidnog i kvadratnog oblika koji su slagani u visini dva, tri ili četiri reda. Pojedini blokovi koji su izvađeni bili su većih dimenzija 2,43 x 0,77 x 1,68 m ili 2,34 x 0,34 x 0,91 m dok je kod drugih blokova dimenzija varirala od 1,8 x 1 x 0,15 do 1,42 x 0,48 x 0,47 m. [3]

Konstrukcija južnog lukobrana izvedena je od blokova kamena pješčenjaka, romboidnog i kvadratnog oblika koji su slagani u tri reda, s time da su gornja dva

reda blokova djelomice uvučena u odnosu na temeljni blok za oko 25 - 30 cm (Slika 10). Takvim načinom slaganja stvoren je okvir s unutarnjim dijelom zapunjenim raznim kamenim agregatom, danas pretežno ispranim djelovanjem mora. Izgrađen je tehnikom sanduka koja se koristila na mnogim područjima antičkih luka na jadranskoj obali. Konstrukcija južnog lukobrana očuvana je u širini 11 m, dužini 140 m i visini između 1,50 m i 1,60 m s gornjim redom blokova na dubini od 1 m ispod sadašnje morske razine. [3]



Slika 10: Rekonstruirani poprečni presjek južnog lukobrana [3]

S unutarnje strane lučkog bazena, na južnom dijelu uvale nalazio se operativni mul pravokutnog oblika za kojeg se vjeruje da je izgrađen sredinom 1. stoljeća. Udaljenost od čela mula do današnje obalne linije iznosi oko 43 m. Mul je s istočne strane sačuvan u dužini od 32,38 m i širini od 14,85 m dok je sa zapadne strane sačuvan u izvornoj dužini od 21,75 m. Gornji red blokova na dubini je od 1,5 do 2,12 m ispod morske razine. Što se tiče konstrukcije, korištena tehnika i vrsta materijala ista je kao kod južnog lukobrana. Konstrukcija je izvedena kamenim blokovima od pješčenjaka, romboidnog i pravokutnog oblika koji čine okvir. Pojedini blokovi su veći, dimenzija 2,2 x 0,5 x 0,25 m ili 1,9 x 0,90 x 0,25 m dok su ostali blokovi uobičajenih dimenzija 1,5 x 0,65 x 0,25 m. Konstrukcija mula izvedena je na temeljnom kamenometu visine oko 1,30 m, a sastoji se od više slojeva kamenog materijala koji je nasipan izravno na matičnu stijenu. Prilikom morskih utjecaja, sjeverna i zapadna linija mula su značajno rastresene te su blokovi vidno izmaknuti od svoje prvobitne pozicije. [3]

Kamenolom u okolici Pirana, u slovenskom primorju, bio je najbliži Savudriji te se upravo iz njega vadio kamen koji je korišten za gradnju pomorskih građevina luke. Velika prednost kamenoloma bila je njegova lokacija na obali mora pa se tako

na području cijelog tršćanskog zaljeva nalaze ostaci lučkih struktura također izgrađenih od kamena pješčenjaka. Reljef terena i prirodni resursi krajolika utjecali su na izbor materijala koji je korišten za gradnju luka u istarskom priobalju. Osim što je kamenolom bio najbliži luci Savudrija, omogućavao je jednostavnu eksploataciju kamena pješčenjaka i dobavu za izgradnju. Također, geološka uslojenost pješčenjaka u slojevima fliša nudi eksploataciju gotovo pa tipiziranih blokova kojima je trebala minimalna obrada. Između ostalog, prednost lokacije kamenoloma na obali mora je i najjeftiniji i najlakši transport do završnog odredišta što je išlo u prilog luke Savudrija koja se isto nalazi na samom moru. [3]

## 5. PROSTORNO PLANSKA OSNOVA

S ciljem racionalnog i svrhovitog korištenja i namjene te unapređenja i zaštite prostora kopna i mora potrebno se pridržavati propisanih prostornih planova. U ovom slučaju to je Prostorni plan uređenja Grada Umaga odnosno Detaljni plan uređenja Savudrija koji je uzet kao mjerodavan. Prostorni obuhvat Detaljnog plana je građevno područje Savudrija, površine 135 922,6 m<sup>2</sup>. Obuhvaćen je prostor povijesnog dijela naselja Savudrija koji se nalazi u središnjem dijelu, na obali, sa lukom te s crkvenim kompleksom u njegovoj pozadini. Sjeverozapadno od povijesnog dijela naselja, u njegovom nastavku, nalazi se groblje s grupom građevina dok se na jugoistoku obuhvata prostire drugi sklop građevina.

Prostorni planovi na snazi, vezani za područje luke Savudrija su:

- Izmjena i dopuna Prostornog plana uređenja Grada Umaga (Službene novine Grada Umaga, br. 3/04, 9/04-ispravak, 6/06, 8/08-pročišćeni tekst, 5/10, 5/11, 5/12, 21/14, 10/15, 11/15-pročišćeni tekst, 19/15, 2/16-pročišćeni tekst, 12/17, 18/17-pročišćeni tekst)
- Detaljni plan uređenja "Savudrija" (Službene novine Grada Umaga, 9/07 i 10/10)

Izmjenom i dopunom Prostornog plana uređenja Grada Umaga, člankom 64. određuje se dozvoljeni kapacitet morskih luka posebne namjene – luka na području Grada Umaga što je prikazano u tablici 2.

Tablica 2: Dozvoljeni kapacitet morskih luka

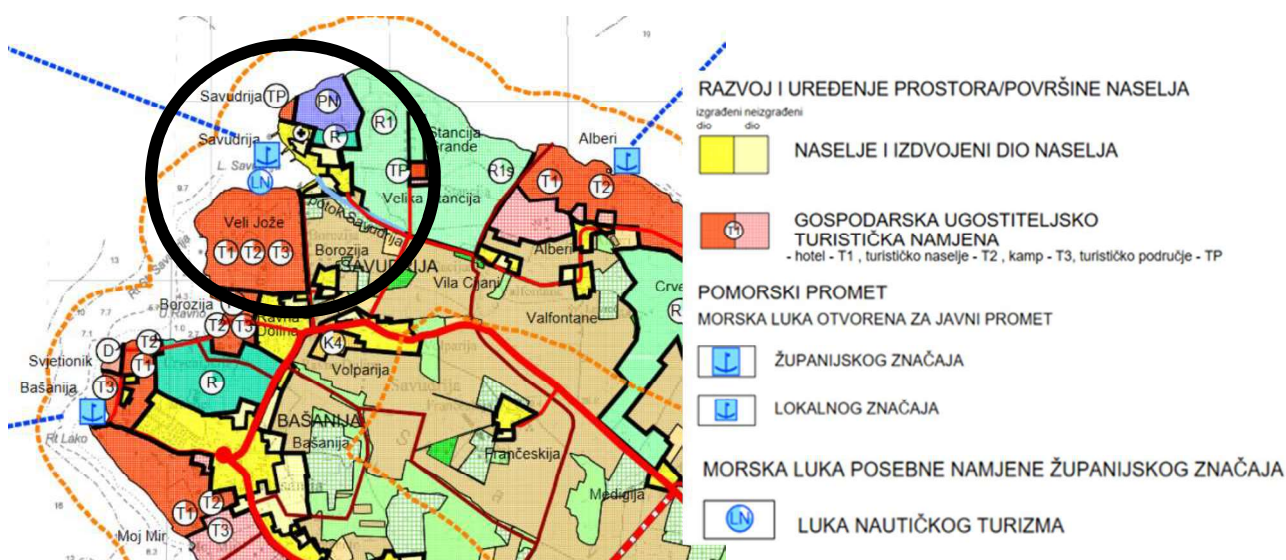
	LUKA NAUTIČKOG TURIZMA (LN)	BROJ VEZOVA MORE		BROJ VEZOVA KOPNO	
		NAJMANJE	NAJVIŠE	NAJMANJE	NAJVIŠE
1	UMAG – MARINA	550 (postojeći)	1.000	150	500
2	SAVUDRIJA – MARINA	100	199	/	/
3	UMAG-KRAVLJI RT (FIANDARA) – MARINA	150	199	/	/
	UKUPNO	800	1.398	150	500

Također, člankom 65. navedenog plana određuju se potrebne površine kopnenog dijela i akvatorija morskih luka posebne namjene – luka nautičkog turizma na području Grada Umaga što je prikazano u tablici 3:

Tablica 3: Potrebna površina kopnenog dijela i akvatorija luke

LOKACIJA	VRSTA LUKE	NAJVEĆI KAPACITET		POTREBNA POVRŠINA			BROJ PLOVILA PO HEKTARU POVRŠINE AKVATORIJA
		More	Kopno	More	Kopno	Ukupno najviše	
SAVUDRIJA	Marina	199	/	1,7 do 4,0ha	5,0 do 12,0ha	5,0 do 9,0ha	50-120

Propisano je da će se potrebna površina kopnenog dijela marine iz tablice 3. osigurati u izdvojenom građevinskom području izvan naselja gospodarske – ugostiteljsko turističke namjene Veli Jože i/ili građevinskom području naselja Savudrija“ [9]



Slika 11: Prostorni plan uređenja Grada Umaga – Korištenje i namjena površina [9]

Detaljni plan uređenja "Savudrija" donesen je 2007. godine, izmjena i dopuna 2010. godine te se temelji na Prostornom planu uređenja grada Umaga donesenom 2004. godine. Obzirom da je 2017. godine donesena Izmjena i dopuna Prostornog plana uređenja Grada Umaga, Detaljni plan uređenja "Savudrija" nije u potpunosti usklađen s prostornim planom te će se kao mjerodavan prostorni plan uzimati Detaljni plan uređenja "Savudrija".

Detaljnim planom uređenja, točkom 1.43. određuje se dozvoljeni kapacitet, potrebne površine kopnenog dijela i akvatorija morskih luka posebne namjene – luka nautičkog turizma na području Grada Umaga što je prikazano u tablici 4.

Tablica 4: Dozvoljeni kapacitet, potrebna površina kopnenog dijela i akvatorija luke

LOKACIJA	VRSTA LUKE	NAJVEĆI KAPACITET		POTREBNA POVRŠINA			BROJ PLOVILA PO HEKTARU POVRŠINE AKVATORIJA
		More	Kopno	More	Kopno	Ukupno najviše	
SAVUDRIJA	Marina	200	/	1,7 do 4,0ha	5,0 do 12,0ha	5,0 do 9,0ha	50-120

Propisano je da će se potrebna površina kopnenog dijela marine iz tablice 4. osigurati u građevinskom području gospodarske - ugostiteljsko turističke namjene Borozija i/ili građevinskom području naselja Savudrija.

Prema navedenom, najveći dopušteni kapacitet plovila u akvatoriju je 200 s time da je potrebno osigurati površinu od 1,7 do 4,0 ha u moru odnosno 5,0 do 12,0 ha na kopnu što ukupno može iznositi od 5,0 ha do 9,0 ha. Broj plovila po hektaru površine akvatorija smije biti od 50 do 120.

## 6. METODOLOGIJA PRORAČUNA

### 6.1. Dimenzioniranje nasutog lukobrana

Nasuti lukobrani sastoje se od više slojeva, ovisno o mjestu na kojem će se ugraditi i veličini granulata te su zaštićeni kamenim nabačajem. Obzirom da su završne obloge veće, mogu se suprotstaviti najvećim projektiranim valovima. Ova vrsta lukobrana pogodna je za različite dubine i za sve načine temeljenja, a u slučaju oštećenja jednostavno se saniraju. Nedostatak predstavljaju veliki troškovi održavanja i potreba za velikom količinom kamenog agregata.

Metodologija proračuna nasutog lukobrana provest će se po Hudsonovoj formuli (1984) i po Van der Meer-ovoj formuli (1988). Navedene metode služe pri proračunavanju težine primarne obloge lukobrana uz mogućnost proračuna sa i bez oštećenja. Uglavnom se koriste parametri bez oštećenja odnosno s 0-5 % oštećenja.

Hudsonova formula izvedena je temeljem ravnoteže obložnog bloka na pokosu izloženog statičkim i dinamičkim silama u što spadaju: uzgon, hidrodinamički uzgon, vlastita težina, sila trenja na pokosu, reakcija podloge, sila otpora bloka u struji silaznog vala i sila od strujanja mora u jezgri lukobrana. Za proračun putem Hudsonove formule potrebno je poznavati određene parametre kao što je mjerodavna visina vala, gustoća mase nasipnog materijala i planirana dubina lukobrana. [11]

Van der Meer-ova formula izvedena je iz detaljnih istraživanja stabilnosti kamenih obloga izloženih nepravilnim valnim udarima te dodatnim analizama povezanosti između stupnja oštećenja, valnog perioda i trajanja djelovanja. Na osnovu prethodno navedenih istraživanja, Van der Meer je izveo formulu za stabilnost kamenih obloga oblika za prebačene valove (plunging waves) i za prolom vala (surging waves). Prilikom proračuna formulom se uzima u obzir strmost vala, broj valova u oluji, razina oštećenja i faktor propusnosti slojeva što kod više propusnih slojeva rezultira većom potrošnjom energije valova, a samim time potrebna je i manja količina materijala. [11]

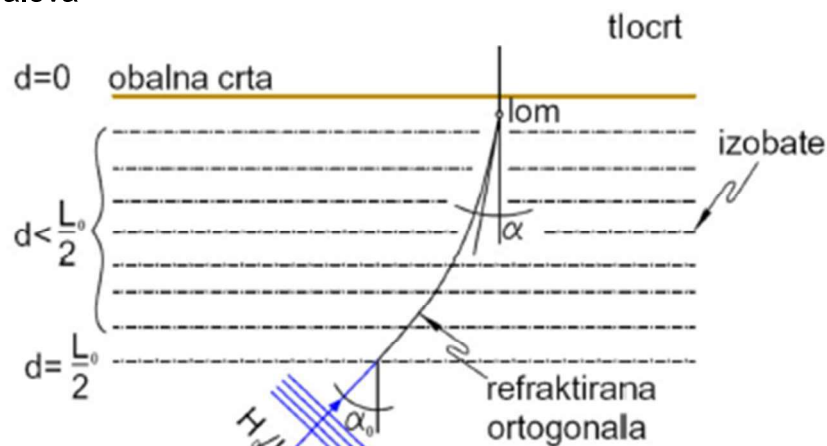
### 6.1.1. Proračun prema Hudsonovoj formuli (1984)

#### Lom valova

Refrakcija ili zalomljavanje valova javlja se kada se valovi rasprostiru koso na konturu dna i obalu te obalnu crtu (Slika 12.). U plitkoj vodi ( $d < L/2$ ) se mijenja smjer vala ovisno o dubini kuta kojeg val zatvara s konturom dna.

U procesu refrakcije odvijaju se četiri deformacije: [12]

- deformacija valova na nagnutom dnu uslijed smanjenja dubine
- deformacija valova uslijed trenja s dnom
- odbijanje ili refleksija valova na nagnutom dnu
- lom valova

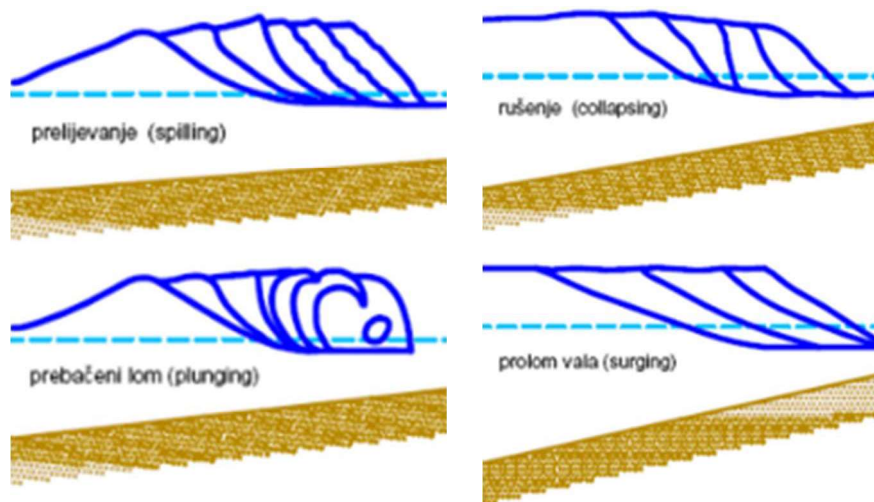


Slika 12: Refrakcija valova [12]

Također, postoje i četiri vrste loma vala što je prikazano na slici 13: [12]

- spilling (prelijevanje)
- plunging (prebačeni lom)
- collapsing (rušenje)
- surging (prolom vala)





Slika 13: Vrste loma vala [12]

U slučaju kada ne dođe do loma vala mjerodavna visina vala je samim time i projektna visina. U slučaju kada dođe do loma vala, mjerodavna se visina vala povećava za određeni koeficijent čime se dobije projektni val. Zbog loma valova na konstrukciji dolazi do uzdizanja i poniranja vala odnosno do maksimalne i minimalne elevacije morske razine u odnosu na srednju razinu mora. Lom vala dobiva se prema izrazu (1) [13]:

$$d \geq 2,5 * H_s \quad (1)$$

Hudsonova formula se kod uniformne obloge od umjetnih betonskih blokova označava s  $G_A$ . Kod kamene obloge koja može odstupati u težini  $\pm 25\%$ , težina se izračunava za 50%-ini blok  $G^{50\%}_A$  [14].

$$G^{50\%}_A = \frac{\rho g H_{proj}^3}{K_D \left( \frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)^3 ctg \alpha} \quad (2)$$

$G^{50\%}_A$  [N] težina bloka primarne obloge

$\rho_m = 1026$  [kg/m<sup>3</sup>] gustoća mase mora

$\rho_{obl}$  [kg/m<sup>3</sup>] gustoća mase materijala obloge: kamen vapnenac 2600 [kg/m<sup>3</sup>],

beton 2400 [kg/m<sup>3</sup>]

$K_D \equiv K_{D=0}$  eksperimentalni koeficijent obloge za 0 do 5%-tno oštećenje ovisan o tipu obložnih bokova (Tablica 5.)

$\alpha$  - kut nagiba lukobrana

Tablica 5: Eksperimentalni koeficijent obloge  $K_D \equiv K_{D=0}$  za proračun težine bloka  $G_A$  [14]

Tipovi vanjskih pokrovnih elemenata	Broj slojeva	Tipovi polaganja	Bok lukobrana $K_D^{1)}$		Kraj lukobrana $K_D$		
			Lom valova <sup>5)</sup>	Bez loma valova <sup>5)</sup>	Lom valova	Bez loma valova	Nagib
Glatki	2	Slučajan	1.2	2.4	1.1	1.9	1:1.5 do 1:3
Zaobljene stijene	3	Slučajan	1.6	3.2	1.4	2.3	1:1.5 do 1:3
Uglati šljunak	2	Slučajan	2.0	4.0	1.9	3.2	1:1.5
	3	Slučajan	2.2	4.5	1.6	2.8	1:2
	2	Pažljivo položen	5.8	7.0	1.3	2.3	1:3
					2.1	4.2	1:1.5 do 1:3
					5.3	6.4	1:1.5 do 1:3
Tetrapod		Slučajan	7.0	8.0	5.0	6.0	1:1,5
					4.5	5.5	1:2
					3.5	4.0	1:3
Antifer blok		Slučajan	8.0	-	-	-	1:2
Accropode			12.0	15.0	9.5	11.5	do 1:33
Coreloc			16.0	16.0	13.0	13.0	do 1:33
Tribar		Ravnomjerno postavljan	12.0	15.0	7.5	9.5	1:1.5 do 1:3
Dolos		Slučajan	15.8 <sup>3)</sup>	31.8 <sup>3)</sup>	8.0	16.0	1:2 <sup>4)</sup>
					7.0	14.0	1:3

1) Za nagib 1:1.5 do 1:5  
2) Uzdužna os stijene okomita na površinu  
3)  $K_D$  vrijednost eksperimentalno potvrđena samo za nagib 1:2. Ako su zahtjevi veći (razaranje <2%)  $K_D$  vrijednost se mora prepoloviti  
4) Strmiji nagib od 1:2 nisu preporučljivi  
5) Lom valova se događa češće kada dubina mirne vode ispred lukobrana smanjuje visinu vala

### Visina krune

Što se tiče visine krune nasutog lukobrana, razlikuje se hoće li kruna biti uporabna ili zaštitna. Ukoliko se radi o uporabnoj kruni potrebno je predvidjeti malu vjerojatnost prelijevanja no ukoliko se radi o zaštitnoj kruni vjerojatnost prelijevanja može biti i veća. Granica dopuštenog prelijevanja zavisi o namjeni upotrebe krune i o sigurnosti obloge kod prelijevanja. Visina krune računa se zbrajanjem dosega projektnog vala ( $H_{proj}=H_{max}^{5god}$ ) na vanjskom pokosu i ekstremno visoke morske razine 5-godišnjeg povratnog perioda, stoga formula glasi (3): [14]

$$\text{Kota krune} = vv.5gPP + 1,25 * H_{proj} \quad (3)$$

### Širina krune

Za širinu krune preporučuje se da iznosi minimalno tri širine elementa primarne zaštite, računa se prema formuli (4): [13]

$$B = n * k_{\Delta} * \left(\frac{W}{W_a}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

n - broj elemenata

$k_{\Delta}$  - koeficijent sloja

W - težina elementa primarnog sloja

$W_a$  - specifična težina el. primarnog sloja =  $\rho_s * g$  (gustoća kamenometa primarnog sloja pomnožena s ubrzanjem Zemljine sile teže)

Koeficijent sloja  $k_{\Delta}$  ovisi o vrsti materijala, broju slojeva i načinu polaganja materijala što je prikazano u Tablici 6. [15]

Tablica 6: Koeficijent sloja  $k_{\Delta}$  [15]

Jedinica obloge	n	Polaganje	Koeficijent sloja $k_{\Delta}$	Porozitet (P) %
Kamen (gladak) <sup>1</sup>	2	Nasumično	1,02	38
Kamen (hrapav) <sup>2</sup>	2	Nasumično	1,00	37
Kamen (hrapav) <sup>3</sup>	>3	Nasumično	1,00	40
Kamen (kvadar) <sup>6</sup>	2	Posebno	-	27
Kocka (modificirana) <sup>1</sup>	2	Nasumično	1,10	47
Tetrapod <sup>1</sup>	2	Nasumično	1,04	50
Kvadripod <sup>1</sup>	2	Nasumično	0,95	49
Heksapod <sup>1</sup>	2	Nasumično	1,15	47
Tribar <sup>1</sup>	2	Nasumično	1,02	54
Dolos <sup>4</sup>	2	Nasumično	0,94	56
Toskane <sup>5</sup>	2	Nasumično	1,03	52
Tribar <sup>1</sup>	1	Jednolično	1,13	47
Kamen <sup>7</sup>	Graduiran	Nasumično	-	37

<sup>1</sup> Hudson (1947)  
<sup>2</sup> Carver (1983)  
<sup>3</sup> Hudson (1961a)  
<sup>4</sup> Carver i Davidson (1977)  
<sup>5</sup> Carver (1978)

<sup>6</sup> Debljina sloja je dvostruko veća od prosječne dužine kvadrastog kamena. Porozitet se procjenjuje iz ispitivanja sloja jednolično postavljenih modificiranih kocki (Hudson, 1974)  
<sup>7</sup> Minimalna debljina sloja bi trebala biti dvostruka dimenzija kocke  $W_{50}$ . Provjeriti da li je debljina graduiranog sloja  $>1,25$  dimenzije kocke od  $W_{\max}$

### Debljine slojeva nasutog lukobrana

Prilikom izračuna nasutih lukobrana potrebno je voditi brigu o ekonomičnosti materijala na način da se stabilnost konstrukcije postigne što manjom količinom materijala. Krupniji materijal koristi se za krunu i obloge dok se za jezgru koristi sitniji materijal. Također, sama izvedba lukobrana bit će ekonomičnija ukoliko se frakcije materijala dopremaju iz kamenoloma u blizini što značajno određuje sastav presjeka. [14]

Formula za izračun debljine slojeva nasutog lukobrana glasi (5): [14]

$$r = n * k_{\Delta} * \left(\frac{W}{W_{\alpha}}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

$r$  = prosječna debljina sloja  
 $n$  = broj elemenata  
 $k_{\Delta}$  - koeficijent sloja  
 $W$  = težina pojedinog sloja  
 $w_a$  = specifična težina pojedinog sloja

Klasični četveroslojni presjek sastavljen je od primarne obloge na kruni i vanjskom pokosu koja je od najkrupnijeg granulata, ispod primarne nalazi se sekundarna obloga koja je nešto manja i na većoj dubini dok se filterski slojevi nalaze između jezgre i obloga. Primjer presjeka nasutoga lukobrana s debljinama slojeva prikazan je na slici 14. te su u nastavku opisani prethodno navedeni slojevi nasutog lukobrana. [14]

a) Primarna obloga "W"

Na primarnom sloju raspon veličine elementa je od 125% - 75% te ima ulogu zaštite sitnijih unutarnjih slojeva od djelovanja valova. Izvodi se od velikih kamenih ili umjetnih (betonskih) blokova čiji je promjer veći od jednog metra te se na pokos slažu bez prevelikog slaganja. Debljina sloja primarne obloge ne bi trebala biti manja od 2 elementa u sloju. Nakon određivanja težine bloka primarnog sloja određuje se težina sekundarnih slojeva i jezgre u odnosu na težinu primarnog bloka. [14]

b) Sekundarna obloga: prvi međusloj "W/10"

Raspon veličine elementa prvog međusloja iznosi od 130% - 70% te se težina računa kao jedna desetina primarnog sloja. U gornjem dijelu lukobrana smješten je ispod primarne obloge te se nastavlja u dubinu gdje se nalazi na vanjskom pokosu. Debljina sloja također ne bi trebala biti manja od 2 elementa u sloju. [14]

c) Sekundarna obloga- drugi međusloj "W/200"

Raspon veličine elementa drugog međusloja iznosi od 150% - 50% te se težina računa kao 1/200 od primarnog sloja. Nalazi se ispod prvog međusloja. [14]

d) Jezgra "W/4000"

Raspon veličine elementa jezgre iznosi od 170% - 30% te se težina računa kao 1/400 od primarnog sloja. Najveći je dio presjeka no najjeftiniji obzirom da se izvodi

od neselektiranog kamenog materijala iz kamenolom. Minimalna širina jezgre je 3 m dok je preporučena visina 0,5 iznad visine SRM. Jezgra se oblaže iz razloga što nije otporna na djelovanje valova te se stoga usporedno s izvođenjem jezgre mora izvoditi i oblaganje. [14]

#### Donja kota sloja primarne zaštite lukobrana

Primarna obloga se postavlja u zoni najjačeg djelovanja valova (otvoreno more) prema formuli (6): [13]

$$1,5 * H_{proj} \quad (6)$$

#### Dimenzioniranje nožice nasutog lukobrana

Nožica nasutog lukobrana nalazi se na dodiru morskog dna i dna lukobrana, a njezina namjena razlikuje se ovisno o tipu morskog dna. Stoga, podjela je sljedeća:

- Zbijeni (konsolidirani) marinski sediment: šljunak, pijesak, prah

Uslijed djelovanja valova i morskih struja dolazi do izdizanja pjeskovitog materijala s morskog dna i stvaranja suspendiranog nanosa. Morska struja nosit će suspendirani nanos u smjeru glave lukobrana te će se kao posljedica pojaviti erozija na nožici trupa i taloženje materijala na glavi lukobrana. Pri maloj eroziji javlja se pomicanje oslonca zaštitnoj oblozi na dnu i slom lica pokosa pri dnu. Pri većoj eroziji posljedice su veće zbog toga što može doći do sloma temeljnog tla i klizanja cjelokupnog pokosa. Upravo zbog navedenog, kako ne bi došlo do erozije, na dodiru nožice i morskog dna se postavlja geotekstil. [14]

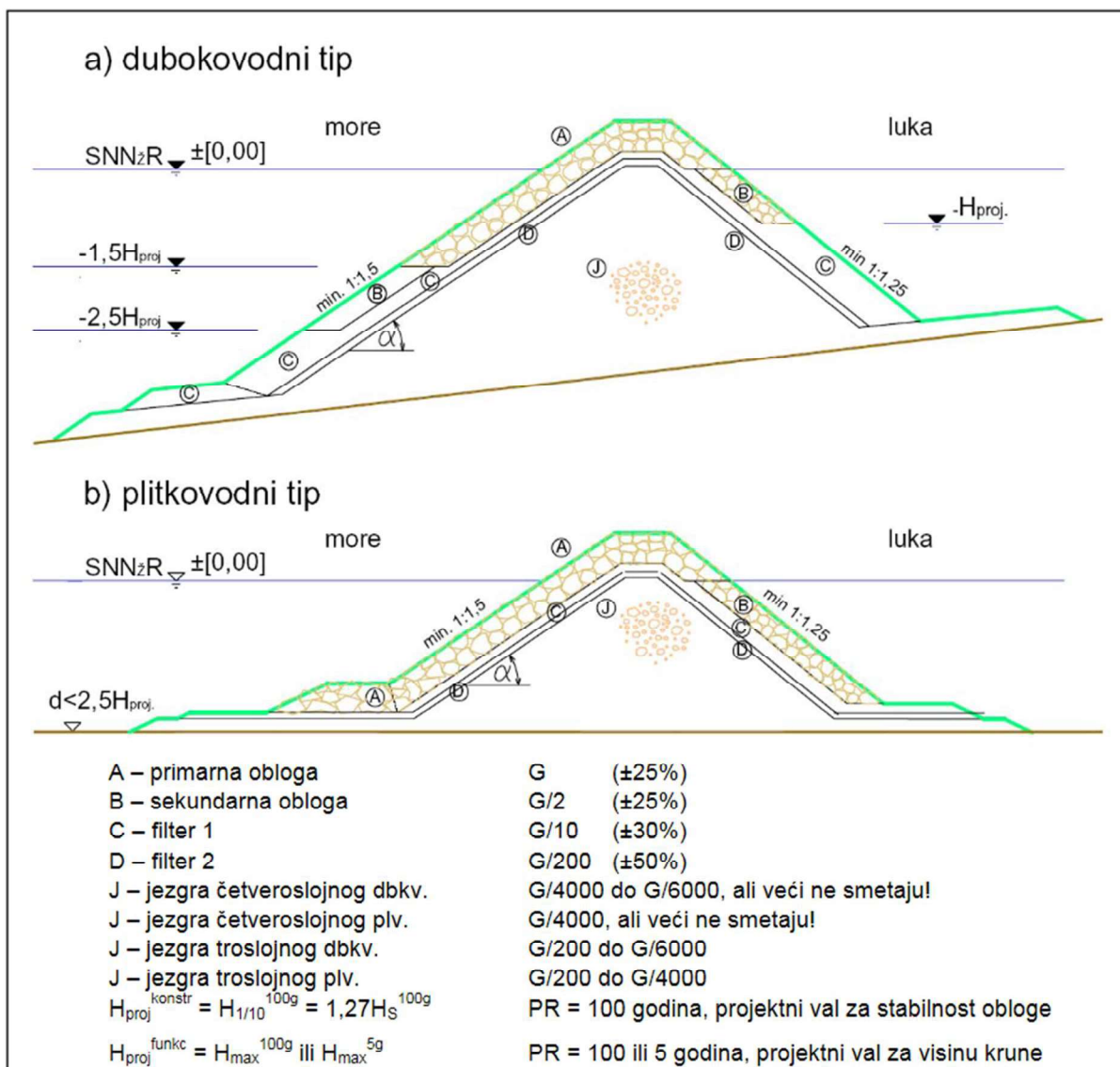
- Kamena stijena

Ukoliko se radi o kompaktnom materijalu (kamena stijena) neće doći do erozije na dodiru morskog dna i nožice te u principu nije potrebno predvidjeti zaštitu nožice. [14]

Nožica nasutog lukobrana računa se prema sljedećim izrazima (7) (8): [14]

$$\text{Širina} \Rightarrow b = 3 * r_{(W/10)} \quad (7)$$

$$\text{Visina} \Rightarrow h = 2 * r_{(W/10)} \quad (8)$$



Slika 14: Debljina slojeva nasutog lukobrana [14]

Prilikom projektiranja potrebno je uzeti u obzir i postotak mogućeg oštećenja primarne obloge  $D[\%]$  kod premašenja projektne valne visine  $H_{proj}$  ( $H_{proj} \equiv H_{D=0}$  – oštećenje lukobrana  $D = 0\%$  do  $5\%$ ) većim valom  $H_D > 0$ . Dijeljenjem projektnog vala

$H_{D=0}$  s koeficijentom  $H/H_{D=0}$  dobiva se manja visina vala, a time i manja težina obloge  $W$ . Vrijednosti koeficijenta  $H/H_{D=0}$  prikazane su u tablici 7. [16]

Tablica 7: Postotci oštećenja primarne obloge  $D[\%]$  za razne omjere  $H/H_{D=0}$  [16]

Oštećenje (%)							
Vrsta	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50
Kamen glatki	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Kamen oštroidni	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
Tetrapod i kvadripod	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
Tribar	1.00	1.11	1.25	1.36	1.50	1.59	1.64
Dolos	1.00	1.10	1.14	1.17	1.20	1.24	1.27

### 6.1.2. Proračun prema Van der Meer-ovoj formuli (1988)

Formule se razlikuju ovisno o vrsti valova na:

- a) plunging waves (prebačeni valovi) (9) [11]

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6,2 * S^{0,2} * P^{0,18} * N_z^{-0,1} * \xi_m^{-0,5} \quad \text{ako je } \xi_m < \xi_{mc} \quad (9)$$

- b) surging waves (prolom vala) (10) [11]

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1,0 * S^{0,2} * P^{-0,13} * N_z^{-0,1} * (\cot \alpha)^{0,5} * \xi_m^P \quad \text{ako je } \xi_m > \xi \quad (10)$$

Gdje je [15]:

$$\xi_m^P = s_m^{-0,5} * \tan \alpha \quad (11)$$

$$\xi_{mc} = (6,2 * P^{0,31} * (\tan \alpha)^{0,5})^{1/(p+0,5)} \quad (12)$$



$H_s$  = značajna visina vala

$\Delta$  = relativna plutajuća gustoća:  $(\rho_s/\rho_w)-1$

$D_{n50}$  = equivalent cube length of median cube

$S$  = stupanj oštećenja

$P$  = koeficijent permeabilnosti

$N_z$  = broj valova koji djeluje na konstrukciju u tom periodu

$\alpha$  = nagib pokosa lukobrana s izložene strane

$S_m$  = strmost vala:  $H_s/L_{om}$

$L_{om}$  = mjerodavna dužina vala

$\xi_m$  = loma vala

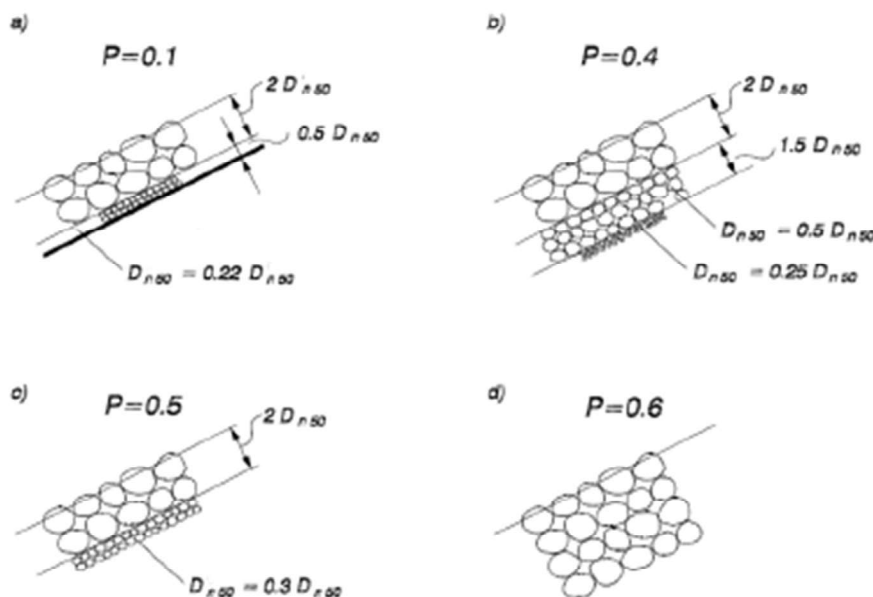
$\xi_{mc}$  = kritični loma vala

U slučaju kada je iznos  $\cot \alpha$  veći ili jednak 4,0 za izračun stabilnosti se koristi samo izraz za prebačeni val. Stupanj oštećenja zavisi o nagibu pokrova lukobrana što je prikazano u tablici 8. [17]

*Tablica 8: Ovisnost razine oštećenja o nagibu [17]*

Nagib	Početno oštećenje	Srednje oštećenje
1:1,5	2	3-5
1:2	2	4-6
1:3	2	6-9
1:4	3	8-12
1:6	3	8-12

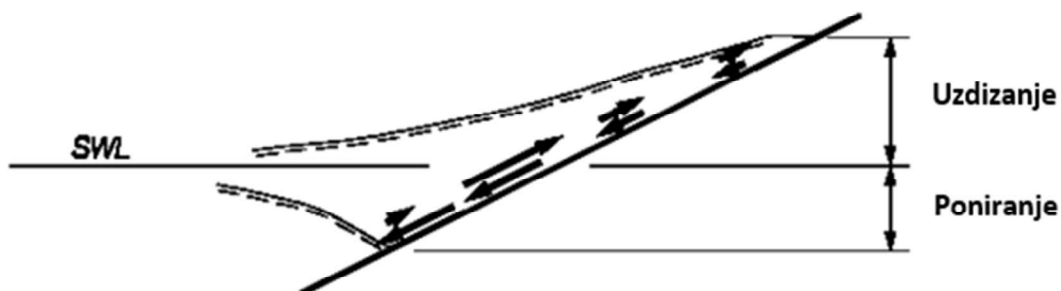
Koeficijent propusnosti ovisi o broju slojeva podloge i vrsti slojeva što prikazuje slika 15.



Slika 15: Koeficijent propusnosti [18]

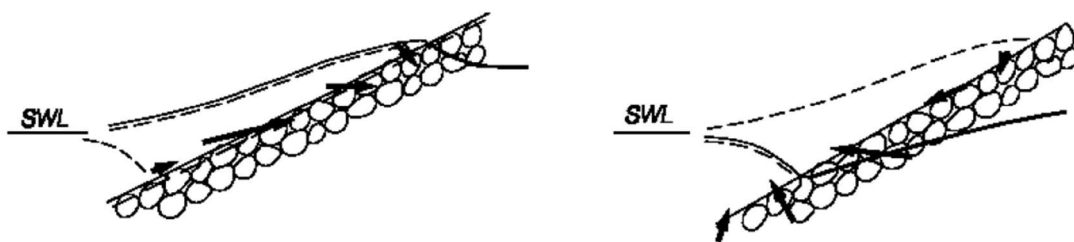
### 6.1.3. Uzdizanje i poniranje valova na prednjem licu lukobrana

Valovi generirani vjetrom imaju valne periode koji izazivaju lom valova na gotovo svim kosim strukturama. Uzdizanje ( $R_u$ ) i poniranje ( $R_d$ ) vala predstavlja minimalnu ili maksimalnu elevaciju morske razine do koje dolazi prilikom loma valova izmjereno vertikalno od srednje morske razine (SMR). Ovisi o visini i strmini upadnog (incidentnog) vala i njegovoj interakciji s prethodno odbijenim valom, kao i kutu nagiba, hrapavosti površine te propusnosti i poroznosti podloge. Najveća strujanja i najveće brzine nastaju kod vodonepropusne podloge. [18]



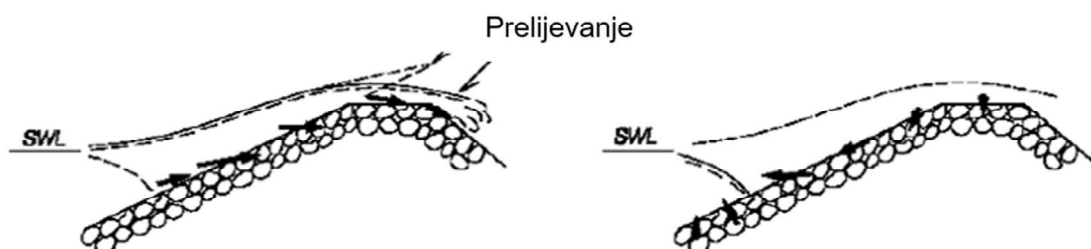
Slika 16: Elevacija morske razine kod vodonepropusne podloge [18]

Kod podloga koje su propusne, na lukobranu dolazi do kritičnih strujanja koja se stvaraju na povratku strujnica kod poniranja netom ispod srednje morske razine. Posljedica navedenog je oblikovanje profila nasutog lukobrana u "S" oblik [18].



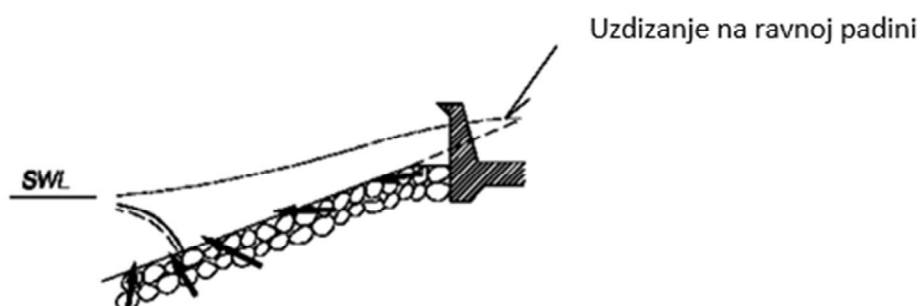
Slika 17: Elevacija morske razine kod vodopropusne podloge [18]

Većom propusnošću podloge smanjuje se brzina strujanja po primarnom sloju. U slučaju kada je razina  $R_u$  veća od  $R_d$ , razina mora u unutrašnjosti lukobrana se povećava što je ponajviše prisutno kod propusnih građevina. Također, ukoliko je prelijevanje veće poniranje se smanjuje te dolazi do smanjenja povratnog toka unutar primarnog sloja što je prikazano na slici 18. [18].



Slika 18: Prelijevanje lukobrana [18]

Prelijevanje lukobrana sprječava se izradom parapetnog zida no isti utječe na povećanje brzine povratnog toka poniranja što u konačnici rezultira smanjenjem stabilnosti lukobrana (slika 19.).



Slika 19: Učinak parapetnog zida [18]

Proračun podizanja i spuštanja valova na podlozi također ovisi i o vrsti loma vala. Vrste loma vala mogu se prepoznati po takozvanom parametru loma vala  $\xi$  [18]. Parametar loma nepravilnih valova na vodopropusnoj podlozi izračunava se pomoću izraza (13) [18]:

$$\xi_{om} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{om}}} \text{ ili } \xi_{om} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{op}}} \quad (13)$$

Gdje je

$$S_{om} = \frac{H_s}{L_{om}} = \frac{2\pi H_s}{g T_m^2} \quad (14)$$

$$S_{op} = \frac{H_s}{L_{op}} = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2} \quad (15)$$

$\alpha$  = kut nailaska vala

$S_{om}$  = srednja strmost vala u dubokoj vodi, na vrhuncu valnog spektra

$S_{op}$  = strmost vala u dubokoj vodi

$T_m$  = mjerodavni period vala

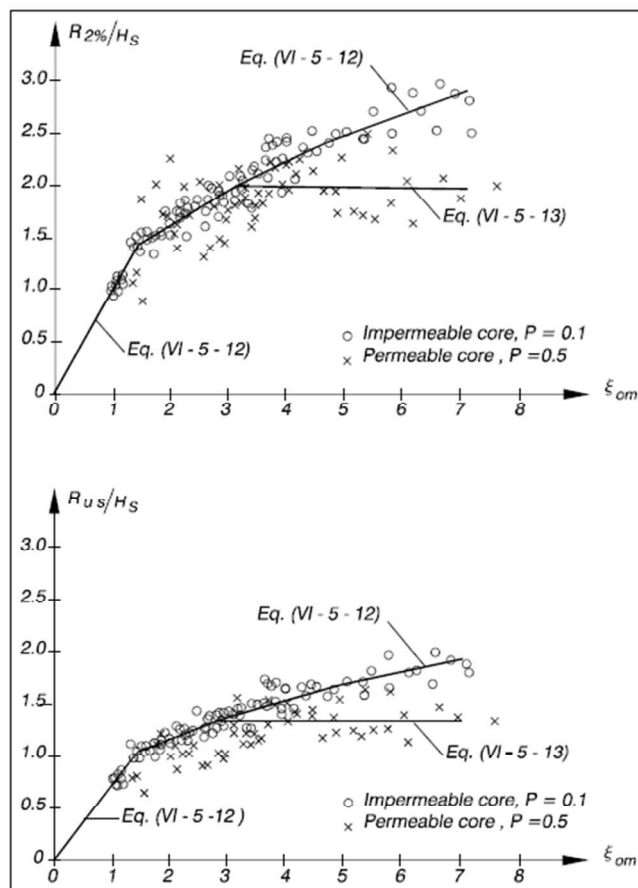
$T_p$  = mjerodavni period vala na vrhuncu valnog spektra

$L_{om}$  = mjerodavna dužina vala

Uzdizanje se određuje grafičkim ili numeričkim načinom:

a) Grafički

Nakon proračuna parametra loma vala sukladno gore navedenom izrazu, vrši se očitavanje iz nomograma. Očitava se omjer podizanja valova uz kamenomet i mjerodavne visine vala. Vrijednosti loma vala predočene su na apcisi, a koeficijent koji rezultira omjerom podizanja valova uz kamenomet i mjerodavne visine vala predočen je na ordinati. S apcise se povlači okomita linija do veličine zadane jednadžbom pravca te se povlači horizontalna linija do ordinate i vrši očitavanje koeficijenta (Slika 20.)[18].



Slika 20: Grafički način određivanja omjera [18]

Nakon očitavanja koeficijenta, isti je potrebno pomnožiti sa mjerodavnom visinom vala [18]:

$$R_{\%} = \left( \frac{R_{\%}}{H_s} \right) * H_s \quad (16)$$

b) Numerički:

Nakon proračuna parametra loma vala, u skladu s tablicom 9. određuje se postotak podizanja valova uz kamenomet te se na temelju određenog postotka očitavaju bezdimenzionalni koeficijenti A, B, C i D.

Tablica 9: Koeficijenta za određeni postotak podizanja valova [18]

Postotak <sup>†</sup>	A	B	C	D <sup>2</sup>
0.1	1.12	1.34	0.55	2.58
2.0	0.96	1.17	0.46	1.97
5	0.86	1.05	0.44	1.68
10	0.77	0.94	0.42	1.45
značajan	0.72	0.88	0.41	1.35
50	0.47	0.60	0.34	0.82

Sljedeći korak predstavlja određivanje granice loma nepravilnih valova i izračun koeficijenta omjera podizanja valova uz kamenomet i mjerodavne visine vala, prema formuli [18]:

$$= A \xi_{om} \quad \text{za } 1,0 < \xi_{om} \leq 1,5 \quad (17)$$

$$R_{ui\%}/H_s = B (\xi_{om})^c \quad \text{za } 1,5 < \xi_{om} \leq (D/B)^{1/C} \quad (18)$$

$$= D \quad \text{za } (D/B)^{1/C} \leq \xi_{om} < 7,5 \quad (19)$$

Zadnji korak je izračun uzdizanja prema izrazu (16).

#### **6.1.4. Prelijevanje lukobrana („overtopping“)**

Do prelijevanja lukobrana dolazi kada visina uzdizanja premašuje visinu krune lukobrana,  $R_c$ . Stoga, prilikom projektiranja glavni problem je definiranje profila, odnosno visine krune lukobrana, za koju će veličina prelijevanja, uz zadovoljenje projektnih uvjeta, biti ispod dopuštene vrijednosti. Prelijevanje lukobrana smatra se standardnom pojavom s razlikom po intenzitetu prelijevanja. S obzirom da se mora voditi briga o samoj ekonomičnosti izgradnje konstrukcije lukobrana prelijevanje nije moguće u cijelosti izbjeći. Učestalija prelijevanja su dopuštena jedino u slučaju kada se prelive valovi ne smatraju opasnim za plovila unutar akvatorija, ne mogu uzrokovati materijalu štetu i ne utječu na sigurnost ljudi. [19]

Prelijevanje valova generiranih vjetrom neravnomjerno je raspoređeno u vremenu i prostoru upravo iz razloga što jačina, nagib i snaga udara znatno variraju od vala do vala. Za vrijeme oluje, postoji mogućnost da je lokalni preljevni protok 100 puta veći od prosječnog preljevnog protoka. Prelijevanje se izražava kao prosječno vrijeme preljevnog protoka,  $q$ , izraženo u  $m^3/s$  po dužnom metru lukobrana te su u tablici 10. prikazane kritične vrijednosti srednjeg preljevnog protoka. [19]

Tablica 10: Kritične vrijednosti srednjeg preljevog protoka [19]



### Preljevanje nasutog lukobrana na vodopropusnoj podlozi

Za izračun preljevanja nasutog lukobrana na vodopropusnoj podlozi uz koeficijent propusnosti 0,4 koristi se sljedeći izraz [19]:

$$\frac{q T_{om}}{L_{om}^2} = 3,2 * 10^{-5} * \left(\frac{H_s}{R_c}\right)^3 * \frac{H_s^2}{A_c B \cot \alpha} \quad (20)$$

$T_{om}$  = mjerodavni period vala sa spektralnim vrhom u dubokoj vodi

$H_s$  = značajna visina vala

$R_c$  = visina lukobrana

$q$  = preljevanje

$A_c$  = visina školjere

$B$  = širina parapeta školjere

U slučaju da dobiveno preljevanje iznosi više od 0,03 l/s m javlja se ekstremno preljevanje te postoji mogućnost da dođe do oštećenja što prikazuje tablica 10.

## 6.2. Dimenzioniranje obalnog zida

Obalni zid je rubni dio izgrađene lučke obale koji služi kao prilaz, za privez brodova, prekrcaj, nošenje mehanizacije te zadržavanje tla prema vodi. Prilikom projektiranja obalnog zida potrebno je voditi brigu o nagibu, geološkoj vrsti podloge, opterećenju, vrsti materijala, tehnologiji izgradnje i ekonomičnosti. Obalne građevine potrebno je projektirati prema Eurocodu 7 (Geotehnička projektiranja). Također, obalni zid mora biti u stanju izdržati sva predviđena opterećenja tijekom uporabnog vijeka. Ovisno o namjeni, vrsti plovila i tereta te mehanizaciji, visine obalnih zidova mogu se razlikovati. [21]

Djelovanja koja se javljaju na konstrukciji su:

- Stalna (G) – vlastita težina, različita vrsta opreme, pritisak vode i tla, slijeganje podloge, deformacije tijekom građenja
- Promjenjiva (Q) – uporabno opterećenje, opterećenje snijegom, ledom i vjetrom, promjena morske razine

Vlastita težina – označava se karakterističnom vrijednosti  $G_k$  i dobiva na temelju izmjera i karakterističnih težina, promjenjivosti su male

Tlak i uzgon – nastaju djelovanjem morskih razina, a iste se dobivaju dugogodišnjim mjerenjem

Uporabno opterećenje – nastaje tijekom korištenja konstrukcije (može biti promjenjivo i stalno) te se za proračun uzima maksimalno korištenje i opterećenje

Opterećenje vjetrom – uvelike utječe na konstrukciju, određen je smjerom i brzinom, označava se ovisno o smjeru iz kojeg dolazi, valovi nastali djelovanjem vjetra najveća su opterećenja zajedno sa silom užeta broda

Pritisak vode – razina vode se većinom pretpostavlja te se prilikom proračuna zbog sigurnosti uzimaju najnepovoljnije vrijednosti (najviše morske razine)

Proračunom je potrebno odrediti horizontalne sile koje djeluju na obalni zid, a kako bi isto odredili bitno je znati vrijednosti tlakova po dubini. Na karakterističnom presjeku analiziraju se opterećenja te se izračunavaju tlakovi i horizontalne i vertikalne sile. Nakon toga se provode provjere karakterističnog presjeka na

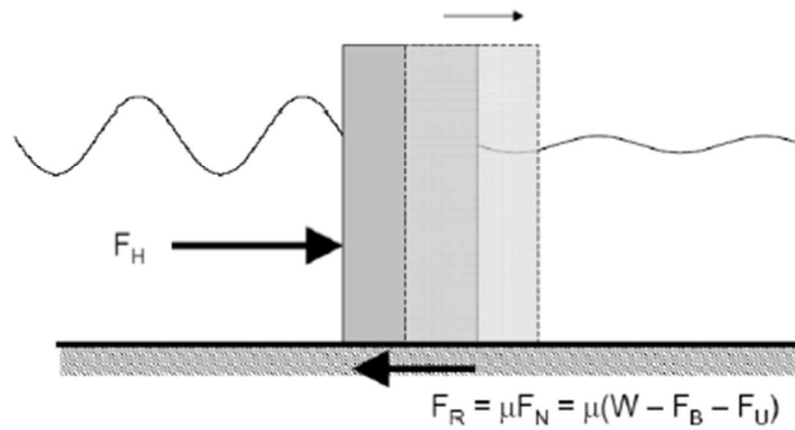


prevrtanje i klizanje primjenjujući parcijalne koeficijente za granično stanje nosivosti prema Eurocodu 7 (Slika 21.). [21]

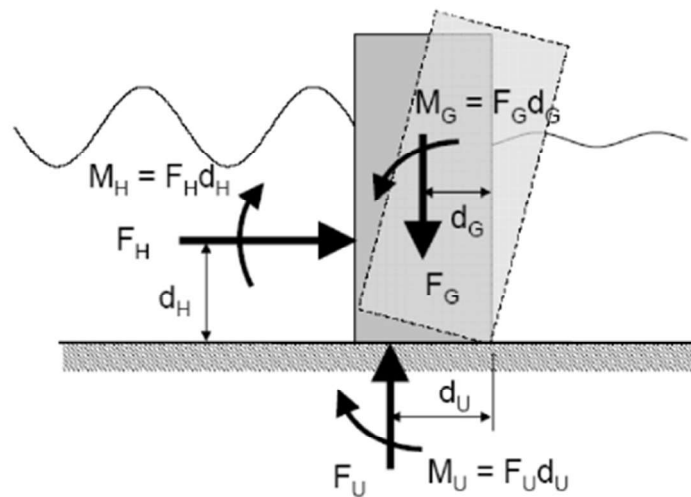
GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI – LS1	
Stalna ili promjenljiva proračunska situacija – LC1	$E_d = \sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{b>1} (\gamma_Q \cdot \psi_{0,j} \cdot Q_{k,j})$
Izvanredna proračunska situacija – LC2	$E_d = \sum_j (\gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_{PA} \cdot P_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{b>1} (\psi_{2,j} \cdot Q_{k,j}) + A_d$
Potresna proračunska situacija – LC3	$E_d = \sum_j (G_{k,j}) + P_k + \sum_{b>1} (\psi_{2,j} \cdot Q_{k,j}) + \gamma_I \cdot A_{Ed}$

$E_D$	proračunska vrijednost učinka djelovanja najčešće izražena kod proračuna graničnog stanja nosivosti (LS1) kao: moment, sila, naprezanje; unutarnja sila, relativna deformacija i pomak konstrukcije, a kod graničnog stanja uporabljivosti (LS2) kao: deformacija, pomak ili ubrzanja konstrukcije, oštećenje (širina pukotine), vibracije, zamor, deformacija, naprezanje ili granica naprezanja, otpornost poda na klizanje
$\gamma \geq 1$	indeksiranje stalnih djelovanja
$\gamma \geq 1$	indeksiranje promjenjivih djelovanja
$G_{kj}$	karakteristične vrijednosti stalnih djelovanja
$P_k$	karakteristične vrijednosti djelovanja prednapinjanja
$Q_{k1}$	karakteristične vrijednosti prevladavajućega promjenjivog djelovanja
$Q_{ki}$	karakteristične vrijednosti ostalih promjenjivih djelovanja
$A_d$	proračunska vrijednost izvanrednoga djelovanja
$A_{Ed}$	proračunska vrijednost seizmičkoga djelovanja
$\gamma_G$	parcijalni koeficijent stalnog djelovanja
$\gamma_{GA}$	parcijalni koeficijent stalnog djelovanja za izvanredne proračunske situacije
$\gamma_P$	parcijalni koeficijent stalnog djelovanja uzrokovanog prednapinjanjem
$\gamma_Q$	parcijalni koeficijent promjenjivog djelovanja
$\gamma_I$	koeficijent važnosti
$\psi_0$	koeficijent za kombinaciju promjenjivih djelovanja (opisuje vjerojatnost istovremenih nastupa više djelovanja)
$\psi_1$	koeficijent prevladavajućeg promjenjivog djelovanja $Q_{k1}$ (opisuje vjerojatnost istovremenog nastupa djelovanja $Q_{k1}$ s ostalima promjenjivim djelovanjima $Q_{ki}$ )
$\psi_2$	koeficijent za nazovi stalna promjenjiva djelovanja (opisuje vjerojatnost istovremenih nastupa više djelovanja)

Slika 21: Stalna, izvanredna i potresna djelovanja prema Eurocod 7 za geotehnička projektiranja [22]



Slika 22: Proračun stabilnosti na klizanje [23]



Slika 23: Proračun stabilnosti na prevrtanje [23]

### 6.3. Dispozicija vezova plovila u luci

Da bi plovila mogla jednostavno ulaziti i izlaziti iz marine te prići vezu, prilikom organizacije priveznih mjesta potrebno je voditi brigu o prostoru koji služi za manevar unutar lučkog akvatorija. Organizacijom priveznih mjesta potrebno je postići prostor unutar marine koji je maksimalno iskorišten. [20]

Maksimalna iskorištenost prostora unutar marine postiže se organizacijom priveznih mjesta prema sljedećim principima:

- privezna mjesta postaviti okomito na gat i obalu
- plovila manjih kategorija postaviti uz obalu (duž gata)
- plovila većih kategorija postaviti bliže ulazu u marinu (kraći plovni put)
- najveća plovila se mogu smjestiti i paralelno uz lukobran

Veličina veza ovisi o kategoriji plovila te je u tablici 11. prikazana veličina vezova prema ACI pravilniku.

Tablica 11: ACI priručnik [24]

KATEGORIJE VEZA	DULJINA PLOVILA [ m ]	VELIČINA VEZA ( D x Š ) [ m ]
I	Do 5	6,50 x 2,30
II	5 - 6	8,0 x 2,50
III	6 - 8	10,0 x 3,0
IV	8 - 10	12,50 x 3,70
V	10 - 12	14,50 x 4,30
VI	12 - 15	18,00 x 5,00
VII	15 - 18	22,00 x 5,80

#### Najmanje dubine vezova

Minimalne dubine na priveznim mjestima ovise o najnižoj i najvećoj oseki te o pogonu plovila, a računaju se na sljedeći način:

$$\text{Gaz plovila} + \frac{1}{2} \text{ mogućeg vala u marini} + 0,50 \text{ m} \quad (21)$$

Visina mogućeg vala za mirniji dio luke iznosi  $H_{1/3}=0,30 \text{ m}$ .

Zbog sigurnosti, minimalna dubina na privezanom mjestu uvećava se za 0,5 m. U tablici 12. prikazane su dubine vezova prema ACI-u.

Tablica 12: Dubine prema ACI-u [24]

KATEGORIJA VEZA	DULJINA [m]	MAX. GAZ NA MOTOR [m]	MAX. GAZ NA JEDRA [m]	MIN. IZRAČUNATE DUBINE VEZA NA MOTOR [m]	MIN. IZRAČUNATE DUBINE VEZA NA JEDRA [m]
I	Do 5	0,40	0,40	1,05	-
II	5 - 6	0,50	1,40	1,15	2,05
III	6 - 8	0,60	1,60	1,25	2,25
IV	8 - 10	0,80	2,00	1,45	2,65
V	10 - 12	1,20	2,30	1,85	2,95
VI	12 - 15	1,40	2,50	2,05	3,15
VII	15 - 18	1,80	2,80	2,45	3,45

### Širina bazena

Udaljenost između gatova ovisi o kategoriji plovila koja se između njih privezuje. Za tip veza krmom na gat, pramcem na lanac, udaljenost među gatovima se računa na sljedeći način: [26]

$$R_m = \max l. v. + \max d. v. + 1.3 \cdot \max v. \quad (22)$$

max l. v. – najveći vez sa desne strane

max d. v. – najveći vez sa lijeve strane

max. v. – najveći vez u pojedinom bazenu

### Ulaz u marinu i plovni put

Širina ulaza u marinu - veća vrijednost od:

$$- 20,0 \text{ m} \quad (23)$$

$$- L_{\max} + 2,0 \text{ m} \quad (24)$$

$$- 5 \times B_{\max} \quad (25)$$

$L_{\max}$  – duljina najvećeg plovila u marini

$B_{\max}$  – širina najvećeg plovila u marini

Širina plovnog puta unutar marine treba biti:

3-5 x  $B_{\max}$  za jednosmjernan, odnosno dvosmjernan promet

(26)

## 7. POMORSKO HIDRAULIČKI PRORAČUN

### 7.1. Proračun nasutog lukobrana

Proračun nasutog lukobrana provest će se prema Hudsonovoj formuli, za oštrobridni lomljeni kamen (školjeru), specijalno položen, kada dolazi do loma vala na konstrukciju lukobrana.

#### 7.1.1. Provjera loma valova

$$d \geq 2,5 \cdot H_s$$

$$4,4 \geq 2,5 \cdot 2,5$$

$$4,4 \text{ m} \leq 6,25 \text{ m} \Rightarrow \text{Dolazi do loma vala}$$

#### 7.1.2. Dimenzioniranje bloka primarnog sloja nasutog lukobrana (školjere)

Tablica 13: Dimenzioniranje bloka primarnog sloja nasutog lukobrana-školjere

Dimenzioniranje primarnog sloja nasutog lukobrana (Hudson,1974)				
Nagib kamenometa	$\text{tg}\alpha$	=	0,67	
Mjerodavna visina vala	$H_s$	=	2,5	m
Mjerodavni period vala	$T_s$	=	5,3	s
Mjerodavna dužina vala	$L_s$	=	43,88	m
Gustoća kamenometa	$\rho_s$	=	2600	kg/m <sup>3</sup>
Gustoća morske vode	$\rho_w$	=	1024	kg/m <sup>3</sup>
<b>BOK LUKOBRANA</b>				
Koeficijent stabilnosti	$K_d$	=	5,8	
Srednja masa frakcije kamenometa	$M_{50}$	=	1287	kg
Težina primarnog sloja	$W_{50(B)}$	=	12628	N
<b>GLAVA LUKOBRANA</b>				
Koeficijent stabilnosti	$K_d$	=	5,3	
Srednja masa frakcije kamenometa	$M_{50}$	=	1409	kg
Težina primarnog sloja	$W_{50(G)}$	=	13820	N

Potrebna masa bloka je nešto manja od 1500 kg što je ipak više od postojećeg kamenometa čija je težina otprilike 1000 kg.

### 7.1.3. Donja kota primarne zaštite unutar luke i sa morske strane

Tablica 14: Donja kota primarne zaštite lukobrana

Donja kota primarne zaštite lukobrana					
→ luka	$-H_p =$	$-H_s$	$=$	<b>-2,50</b>	m
→ more	$-1,5H_p =$	$-1,5H_s$	$=$	<b>-3,75</b>	m

### 7.1.4. Širina nasutog lukobrana

Tablica 15: Širina nasutog lukobrana

Širina nasutog lukobrana - B				
Broj elemenata	$n$	$=$	<b>3</b>	
Koeficijent sloja	$k_\Delta$	$=$	<b>1,00</b>	
<b>BOK LUKOBRANA</b>				
Težina primarnog sloja	$W$	$=$	<b>12628</b>	N
Specifična težina materijala primarnog sloja	$w_a$	$=$	<b>25506,0</b>	N/m <sup>3</sup>
Širina berme	$B$	$=$	<b>2,37</b>	m
<b>Usvojena širina berme</b>	<b>B</b>	$=$	<b>3,00</b>	m
<b>GLAVA LUKOBRANA</b>				
Težina primarnog sloja	$W$	$=$	<b>13820</b>	N
Specifična težina materijala primarnog sloja	$w_a$	$=$	<b>25506,0</b>	N/m <sup>3</sup>
Širina berme	$B$	$=$	<b>2,45</b>	m
<b>Usvojena širina berme</b>	<b>B</b>	$=$	<b>3,00</b>	m

### 7.1.5. Debljine slojeva nasutog lukobrana

Tablica 16: Debljina primarnog sloja nasutog lukobrana

Debljina primarnog sloja nasutog lukobrana				
Broj elemenata	n	=	2	
Koeficijent sloja	$k_{\Delta}$	=	1,00	
<b>BOK LUKOBRANA</b>				
Težina primarnog sloja	W	=	12628	N
Srednja masa frakcije kamenometa	M	=	1287	kg
Širina primarnog sloja	r	=	1,58	m
<b>Usvojena širina primarnog sloja</b>	<b>r</b>	=	<b>1,70</b>	<b>m</b>
<b>Raspon veličine elemenata: 125% - 75%</b>				
	$W_{MAX}$	=	15785	N
	$M_{MAX}$	=	1609	kg
	$W_{MIN}$	=	9471	N
	$M_{MIN}$	=	965	kg
<b>GLAVA LUKOBRANA</b>				
Težina primarnog sloja	W	=	13820	N
Srednja masa frakcije kamenometa	M	=	1409	kg
Širina primarnog sloja	r	=	1,63	m
<b>Usvojena širina primarnog sloja</b>	<b>r</b>	=	<b>1,80</b>	<b>m</b>
<b>Raspon veličine elemenata: 125% - 75%</b>				
	$W_{MAX}$	=	17274	N
	$M_{MAX}$	=	1761	kg
	$W_{MIN}$	=	10365	N
	$M_{MIN}$	=	1057	kg



Tablica 17: Debljina sekundarnog sloja nasutog lukobrana

Dimenzioniranje sekundarnog sloja nasutog lukobrana				
<b>W/10 - Prvi međusloj</b>				
Broj slojeva	n	=	2	
Koeficijent sloja	$k_{\Delta}$	=	1,00	
<b>BOK LUKOBRANA</b>				
	W/10	=	1263	N
	M/10	=	129	kg
Širina sloja	r	=	0,73	m
<b>Usvojena širina sloja</b>	<b>r</b>	=	<b>0,90</b>	<b>m</b>
<b>Raspon veličine elemenata: 130% - 70%</b>				
	W/10 <sub>MAX</sub>	=	1642	N
	M/10 <sub>MAX</sub>	=	167	kg
	W/10 <sub>MIN</sub>	=	884	N
	M/10 <sub>MIN</sub>	=	90	kg
<b>GLAVA LUKOBRANA</b>				
	W/10	=	1382	N
	M/10	=	141	kg
Širina sloja	r	=	0,76	m
<b>Usvojena širina sloja</b>	<b>r</b>	=	<b>0,90</b>	<b>m</b>
<b>Raspon veličine elemenata: 130% - 70%</b>				
	W/10 <sub>MAX</sub>	=	1797	N
	M/10 <sub>MAX</sub>	=	183	kg
	W/10 <sub>MIN</sub>	=	967	N
	M/10 <sub>MIN</sub>	=	99	kg

<b>W/200 - Drugi međusloj</b>				
Broj slojeva	n	=	2	
Koeficijent sloja	$k_{\Delta}$	=	1,00	
<b>BOK LUKOBRANA</b>				
	W/200	=	63,1	N
	M/200	=	6,4	kg
Širina sloja	r	=	0,27	m
<b>Usvojena širina sloja</b>	r	=	<b>0,40</b>	m
<b>Raspon veličine elemenata: 150% - 50%</b>				
	W/200 <sub>MAX</sub>	=	94,7	N
	M/200 <sub>MAX</sub>	=	9,65	kg
	W/200 <sub>MIN</sub>	=	31,6	N
	M/200 <sub>MIN</sub>	=	3,22	kg
<b>GLAVA LUKOBRANA</b>				
	W/200	=	69,1	N
	M/200	=	7,0	kg
Širina sloja	r	=	0,28	m
<b>Usvojena širina sloja</b>	r	=	<b>0,40</b>	m
<b>Raspon veličine elemenata: 150% - 50%</b>				
	W/200 <sub>MAX</sub>	=	103,6	N
	M/200 <sub>MAX</sub>	=	10,57	kg
	W/200 <sub>MIN</sub>	=	34,5	N
	M/200 <sub>MIN</sub>	=	5,28	kg

Tablica 18: Dimenzioniranje jezgre nasutog lukobrana

Dimenzioniranje jezgre nasutog lukobrana				
<b>BOK LUKOBRANA</b>				
	W/4000	=	3,16	N
	M/4000	=	0,32	kg
Raspon veličine elemenata: 170% - 30%				
	W/4000 <sub>MA</sub>	=	5,4	N
	M/4000 <sub>MA</sub>	=	0,55	kg
	W/4000 <sub>MIN</sub>	=	0,9	N
	M/4000 <sub>MIN</sub>	=	0,10	kg
<b>GLAVA LUKOBRANA</b>				
	W/4000	=	3,45	N
	M/4000	=	0,35	kg
Raspon veličine elemenata: 170% - 30%				
	W/4000 <sub>MA</sub>	=	5,9	N
	M/4000 <sub>MA</sub>	=	0,60	kg
	W/4000 <sub>MIN</sub>	=	1,0	N
	M/4000 <sub>MIN</sub>	=	0,11	kg

Tablica 19: Konture nasutog lukobrana

Konture nasutog lukobrana			
<b>BOK LUKOBRANA</b>			
<b>1. PRIMARNI SLOJ</b>	Debljina sloja	1,70	m
	Širina berme	3,00	m
<b>2. JEZGRA</b>	Minimalna širina	3	m
	Preporučena kota	0,5	m
<b>3. NOŽICA</b>	Širina ( $b=3*r_{1/10}$ )	2,7	m
	Visina ( $h=2*r_{1/10}$ )	1,8	m
<b>GLAVA LUKOBRANA</b>			
<b>1. PRIMARNI SLOJ</b>	Debljina sloja	1,80	m
	Širina berme	3,00	m
<b>2. JEZGRA</b>	Minimalna širina	3	m
	Preporučena kota	0,5	m
<b>3. NOŽICA</b>	Širina ( $b=3*r_{1/10}$ )	2,7	m
	Visina ( $h=2*r_{1/10}$ )	1,8	m

Tablica 20: Usvojene vrijednosti

USVOJENO									
BOK LUKOBRANA									
PRIMARNI SLOJ	M	1287,28 kg	M	75 - 125 %	M	=	965	-	1609 kg
1. MEĐUSLOJ	M/10	128,73 kg	M/10	70 - 130 %	M/10	=	90	-	167 kg
2. MEĐUSLOJ	M/200	6,44 kg	M/200	50 - 150 %	M/200	=	3	-	10 kg
JEZGRA	M/4000	0,32 kg	M/4000	30 - 170 %	M/4000	=	0	-	1 kg
GLAVA LUKOBRANA									
PRIMARNI SLOJ	M	1408,72 kg	M	75 - 125 %	M	=	1057	-	1761 kg
1. MEĐUSLOJ	M/10	140,87 kg	M/10	70 - 130 %	M/10	=	99	-	183 kg
2. MEĐUSLOJ	M/200	7,04 kg	M/200	50 - 150 %	M/200	=	4	-	11 kg
JEZGRA	M/4000	0,35 kg	M/4000	30 - 170 %	M/4000	=	0	-	1 kg

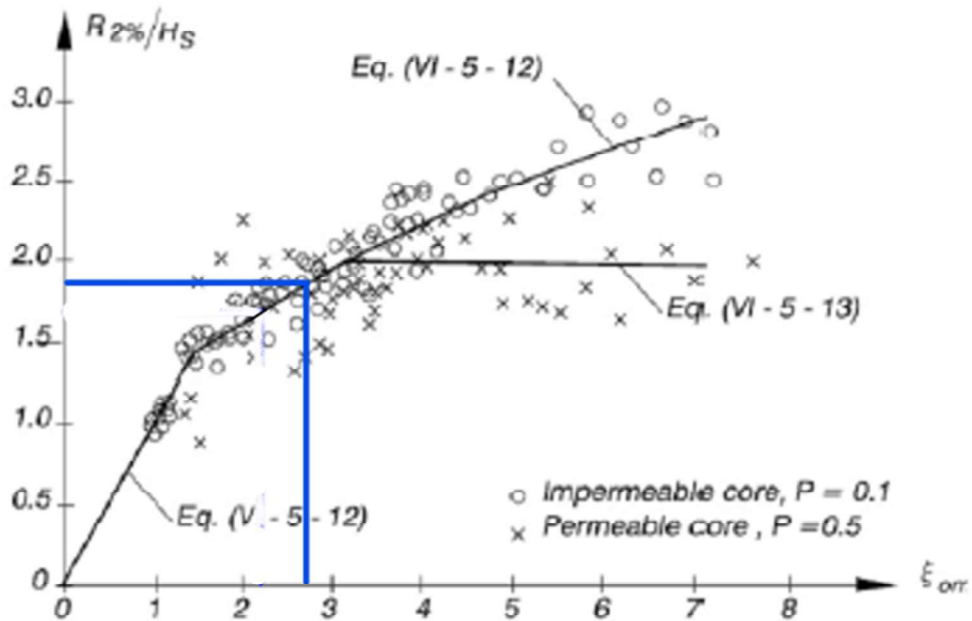
### 7.1.6. Proračun uzdizanja i poniranja vala („runup“ i „rundown“)

Vanjska obloga nasutoga lukobrana je vodopropusna (oštrobridni lomljeni kamen), s nagibom 1:1,5. Na temelju mjerodavne visine vala i mjerodavne dužine vala proveden je izračun 2%- tnog uzdizanja valova po prednjem licu lukobrana. Uzdizanje je prvo prikazano na grafički način, preko nomograma, a zatim računskom metodom.

Tablica 21: Proračun uzdizanja i poniranja vala

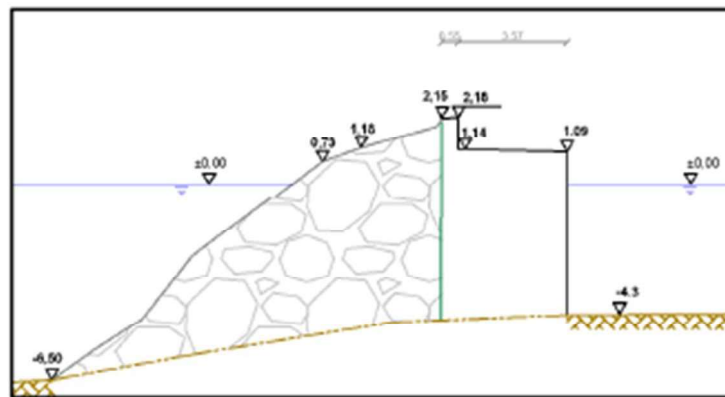
PRORAČUN NASUTOG LUKOBRANA - UZDIZANJE I PONIRANJE									
Nagib kamenometa	$\operatorname{tg} \alpha$	=	0,67						
	$\operatorname{ctg} \alpha$	=	1,5						
Koef. permeabilnosti lukobrana	$P$	=	0,4						
Strmost vala	$S_{om}$	=	0,06						
Surf similarity parameter	$\xi_{om}$	=	2,81						
					→	nomogram	$R_{2\%}/H_s =$	1,88	
							$R_{2\%} =$	4,7	m
Računska metoda : $R_{2\%} \rightarrow$	A	=	0,96						
	B	=	1,17						
	C	=	0,46						
	D	=	1,97						
	$(D/B)^{(1/C)}$	=	3,1		>	$\xi_{om} =$	2,28		
	$R_{2\%}/H_s = B * \xi_{om}^C$	=	1,9						
	$R_{2\%}$	=	4,70	m					

Iz nomograma se očitava  $R_{2\%}/H_s$



### 7.1.7. Analiza prelijevanja sjevernog lukobrana

Analize prelijevanja provedene su za postojeći sjeverni lukobran koji je prikazan na slici 24 [2].



Slika 24: Poprečni presjek sjevernog lukobrana [2]

Proračun prelijevanja provedeno je po formuli Predersena i Buccharda iz 1992 (U S Army Corps Of Engineers, 2002.).

$$\frac{q T_{om}}{L_{om}^2} = 3,2 * 10^{-5} * \left(\frac{H_s}{R_c}\right)^3 * \frac{H_s^2}{A_c B \cot \alpha}$$

U tablici 22. prikazan je proračun prelijevanja nasutog lukobrana za postojeće stanje.

Tablica 22: Postojeće stanje - proračun prelijevanja nasutog lukobrana

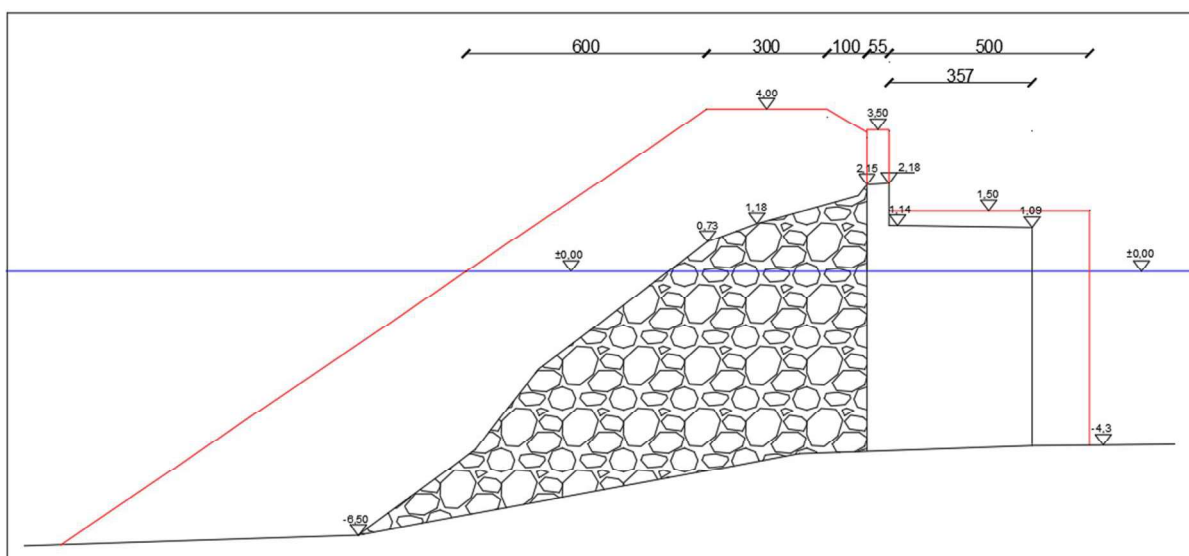
DOZVOLJENO PRELJEVANJE LUKOBRAHA - "OVERTOPPING"					
visina krune	$R_c$	=	2,15	m	
visina od vrha školjere do vrha krune	$A_c$	=	2,15	m	
širina parapeta školjere	B	=	3,57	m	
količina prelijevanja lukobrana	q	=	0,009922	$m^3/s$	
	q	=	9,922	l/s	

Sukladno proračunu, prelijevanje lukobrana je oko 9,92 l/s što je više od preporučenog prelijevanja od oko 5 l/s.

U tablici 23. prikazan je proračun prelijevanja nasutog lukobrana za predloženi poprečni presjek na slici 25. gdje je kota krune podignuta na visinu od 4,0 m.

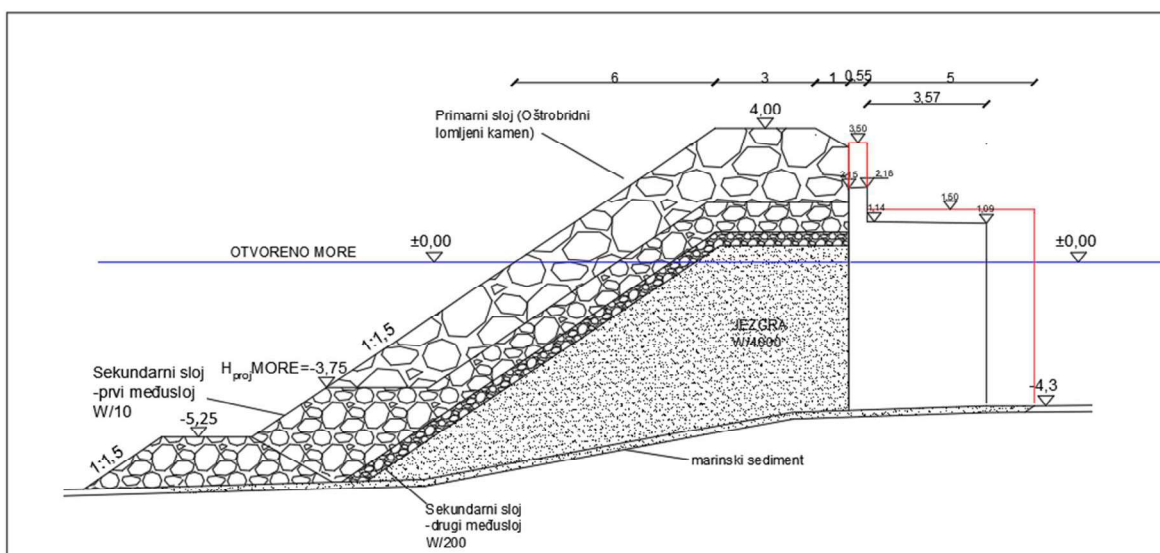
Tablica 23: Predloženo stanje - proračun prelijevanja nasutog lukobrana

DOZVOLJENO PRELJEVANJE LUKOBRAHA - "OVERTOPPING"					
visina krune	$R_c$	=	3,5	m	
visina od vrha školjere do vrha krune	$A_c$	=	4	m	
širina parapeta školjere	B	=	5	m	
količina prelijevanja lukobrana	q	=	0,000883	$m^3/s$	
	q	=	0,883	l/s	



Slika 25: Predloženi poprečni presjek sjevernog lukobrana

Crvena linija predstavlja predloženi poprečni presjek. Iz skice je vidljivo da je operativna obala proširena i povišena te je povišena i izrađena berma nasutog dijela lukobrana. Sukladno proračunu, prelijevanje lukobrana je oko 0,88 l/s. Predloženi poprečni presjek osigurao bi dostatnu stabilnost na djelovanje valova, spriječilo bi se pretjerano prelijevanje, a ujedno bi se omogućila i neometana uporaba operativne obale za vrijeme povišenih razina mora i visokih valova.



Slika 26: Slojevi nasutog lukobrana

### 7.1.8. Sažetak rezultata proračuna

Predviđa se izvedba nasutog lukobrana od prirodnog materijala na kojem se s lučke strane nalazi betonski obalni zid. Nasuti lukobran je od oštrobridnog lomljenog kamena (školjere), specijalno položenog. Nagib pokosa primarne obloge i filterskih slojeva iznosi 1:1,5. Sukladno proračunu, na konstrukciji lukobrana dolazi do loma vala. Primarna obloga prema morskoj strani postavlja se do dubine od 3,75 m. Primarni sloj lukobrana ima ulogu zaštite od razarajućeg djelovanja valova stoga se izvodi od krupnih kamenih blokova. Debljina sloja primarne obloge na boku lukobrana iznosi 1,7 m, a masa elemenata kreće se od 1600 kg do 960 kg. Debljina sloja primarne obloge na glavi lukobrana iznosi 1,8 m, a masa elemenata kreće se od 1760 kg do 1060 kg. Debljina prvog međusloja sekundarne obloge na boku lukobrana iznosi 0,9 m, a masa elemenata kreće se od 170 kg do 90 kg. Debljina prvog međusloja sekundarne obloge na glavi lukobrana iznosi također 0,9 m, a masa elemenata kreće se od 180 kg do 100 kg. Debljina drugog međusloja

sekundarne obloge na boku lukobrana iznosi 0,4 m, a masa elemenata kreće se od 10 kg do 3 kg. Debljina drugog međusloja sekundarne obloge na glavi lukobrana iznosi također 0,4 m, a masa elemenata kreće se od 7 kg do 5 kg. Masa elemenata jezgre kreće se u rasponu od 0,55 kg do 0,10 kg na boku lukobrana te od 0,60 kg do 0,11 kg na glavi lukobrana. Vrh jezgre nalazi se na koti +0,5 m te joj širina iznosi 3,85 m. Širina berme lukobrana iznosi 3,00 m te se nalazi na koti +4,00 m.n.m. Sukladno proračunu, prelijevanje predloženog poprečnog presjeka lukobrana je oko 0,88 l/s dok za postojeći lukobran prelijevanje iznosi 9,92 l/s što je više preporučenih vrijednosti. Prema navedenom, predloženi poprečni presjek osigurao bi dovoljnu stabilnost na djelovanje valova te bi se spriječilo pretjerano prelijevanje. Slika 26. prikazuje predloženi poprečni presjek sa svim navedenim slojevima.

## 7.2. Proračun obalnog zida lukobrana

Proračun obalnog zida lukobrana proveden je konzervativno, kao vertikalni lukobran, bez povoljnog utjecaja nasipa. Obalni zid lukobrana se cijelom dužinom profila postavlja na stjenovito morsko dno. Obalni zid izvodi se od 3 betonska bloka gdje je kota nadmorskog djela + 1,09 m.n.m. za postojeće stanje odnosno +1,50 m.n.m. za predloženo stanje dok je kota podmorskog dna za oba stanja na -4,3 m.n.m.

### Postojeće stanje

Razina mora: v.v.=0,5 m

Kota krune: 2,15 m

Kota dna zida: -4,3 m

Specifična težina vode  $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$

Specifična težina betona  $\gamma_c=24 \text{ kN/m}^3$

Specifična težina nasipa  $\gamma_z=18 \text{ kN/m}^3$

Specifična težina uronjenog nasipnog materijala  $\gamma_z' = 8 \text{ kN/m}^3$

Unutrašnji kut trenja  $\phi_k=38^\circ \Rightarrow k_a= 0,307$

Koeficijent trenja  $f = 0,75$

Pritisci tla:

$$p_1=k_a*1,65*\gamma_z=0,307*1,65*18 = 9,12 \text{ kN/m}^2$$



$$p_2 = p_1 + k_a * 4,8 * \gamma_z = 9,12 + 0,307 * 4,8 * 8 = 20,91 \text{ kN/m}^2$$

Hidrostatski pritisci:

$$p_3 = \gamma_w * 4,8 = 10 * 4,8 = 48 \text{ kN/m}^2$$

$$p_4 = p_3 = 48 \text{ kN/m}^2$$

Sile:	Krakovi:	Momenti:
$H1 = p_1 * (1,65/2) = 9,12 * 0,83 = 7,57 \text{ kN}$	$4,80 + 1,65/3 = 5,35 \text{ m}$	40,50 kNm
$H2 = p_1 * 4,80 = 9,12 * 4,80 = 43,78 \text{ kN}$	$4,8/2 = 2,40 \text{ m}$	105,08 kNm
$H3 = (p_2 - p_1) * (4,8/2) = (20,91 - 9,12) * 2,4 = 28,30 \text{ kN}$	$4,8/3 = 1,60 \text{ m}$	45,28 kNm
$U1 = p_4 * 4,12 = 197,80 \text{ kN}$	2,06 m	407,47 kNm
$G1 = 5,39 * 4,12 * 24 = 532,97 \text{ kN}$	2,06 m	1097,92 kNm
$G2 = 1,06 * 0,55 * 24 = 14,00 \text{ kN}$	$3,57 + 0,55/2 = 3,85 \text{ m}$	54 kNm

Parcijalni koeficijenti za proračun graničnog stanja nosivosti (LS1) za proračun graničnog stanja nosivosti, pretjerane deformacije (GEO) prema EN 1997-1

$$\gamma_{G,STB} = 1,0$$

$$\gamma_{G,DST} = 1,0$$

$$\gamma_{Q,DST} = 1,3$$

Provjera na prevrtanje:

$$M_{ST} = \gamma_{G,STB} * (M_{G1} + M_{G2}) = 1,0 * (1097,92 + 54) = 1151,92 \text{ kNm}$$

$$M_{DST} = \gamma_{G,DST} * (M_{H1} + M_{H2} + M_{H3} + M_{U1})$$

$$= 1,0 * (40,50 + 105,08 + 45,28 + 407,47)$$

$$= 598,33 \text{ kNm}$$

$$M_{ST} > M_{DST} \rightarrow 1151,92 \text{ kNm} > 598,33 \text{ kNm}$$

PROVJERA ZADOVOLJAVA!

Provjera na klizanje:

Horizontalno

$$\begin{aligned} H &= \gamma_{G,DST} * (H_1 + H_2 + H_3) \\ &= 1,0 * (7,57 + 43,78 + 28,30) \\ &= 79,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Vertikalno

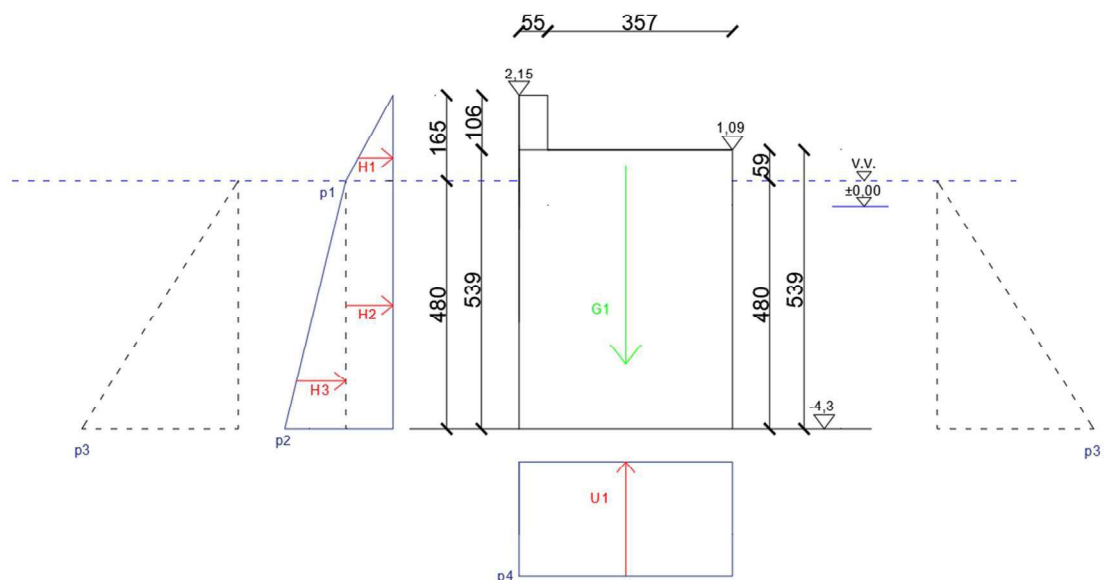
$$\begin{aligned} V &= \gamma_{G,STB} * (G_1 + G_2) - \gamma_{G,DST} * (U_1) \\ &= 1,0 * (532,97 + 14) - 1,0 * (197,80) \\ &= 349,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V * f = 349,17 * 0,75$$

$$V * f = 261,88 \text{ kN}$$

$$V * f > H \rightarrow 261,88 \text{ kN} > 79,65 \text{ kN}$$

PROVJERA ZADOVOLJAVA!



Slika 27: Prikaz djelovanja sila na obalni zid (Profil A-A)

### Predloženo stanje

Razina mora: v.v.=0,5 m

Kota krune: 3,50 m

Kota dna zida: -4,3 m

Specifična težina vode  $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$

Specifična težina betona  $\gamma_c=24 \text{ kN/m}^3$

Specifična težina nasipa  $\gamma_z=18 \text{ kN/m}^3$

Specifična težina uronjenog nasipnog materijala  $\gamma_z' = 8 \text{ kN/m}^3$

Unutrašnji kut trenja  $\phi_k=38^\circ \Rightarrow k_a= 0,307$

Koeficijent trenja  $f = 0,75$

Pritisci tla:

$$p_1=k_a*3,0*\gamma_z=0,307*3,0*18 = 16,58 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2=p_1+k_a*4,8*\gamma_z=16,58+0,307*4,8*8 = 28,37 \text{ kN/m}^2$$

Hidrostatski pritisci:

$$p_3= \gamma_w*4,8=10*4,8 = 48 \text{ kN/m}^2$$

$$p_4=p_3= 48 \text{ kN/m}^2$$

<b>Sile:</b>	<b>Krakovi:</b>	<b>Momenti:</b>
$H_1=p_1*(3,0/2)=16,58*1,5=24,87 \text{ kN}$	$4,80+3,0/3=5,8 \text{ m}$	144,25 kNm
$H_2=p_1*4,80=24,87*4,80=119,38 \text{ kN}$	$4,8/2=2,40 \text{ m}$	286,52 kNm
$H_3=(p_2-p_1)*(4,8/2)=(28,37-16,58)*2,4=28,30 \text{ kN}$	$4,8/3=1,60 \text{ m}$	45,28 kNm
$U_1=p_4*5,55=266,4 \text{ kN}$	2,775 m	739,26 kNm
$G_1=5,80*5,55*24=772,56 \text{ kN}$	2,775 m	2143,86 kNm
$G_2=2,0*0,55*24=26,40 \text{ kN}$	$5,0+0,55/2=5,28 \text{ m}$	139,40 kNm

Parcijalni koeficijenti za proračun graničnog stanja nosivosti (LS1) za proračun graničnog stanja nosivosti, pretjerane deformacije (GEO) prema EN 1997-1

$$\gamma_{G,STB} = 1,0$$

$$\gamma_{G,DST} = 1,0$$

$$\gamma_{Q,DST} = 1,3$$

Provjera na prevrtanje:

$$M_{ST} = \gamma_{G,STB} * (M_{G1} + M_{G2}) = 1,0 * (2143,86 + 139,40) = 2283,26 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{DST} &= \gamma_{G,DST} * (M_{H1} + M_{H2} + M_{H3} + M_{U1}) \\ &= 1,0 * (144,25 + 286,52 + 45,28 + 739,26) \\ &= 1215,31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{ST} > M_{DST} \rightarrow 2283,26 \text{ kNm} > 1215,31 \text{ kNm}$$

PROVJERA ZADOVOLJAVA!

Provjera na klizanje:

Horizontalno

$$\begin{aligned} H &= \gamma_{G,DST} * (H_1 + H_2 + H_3) \\ &= 1,0 * (24,87 + 119,38 + 28,30) \\ &= 172,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

Vertikalno

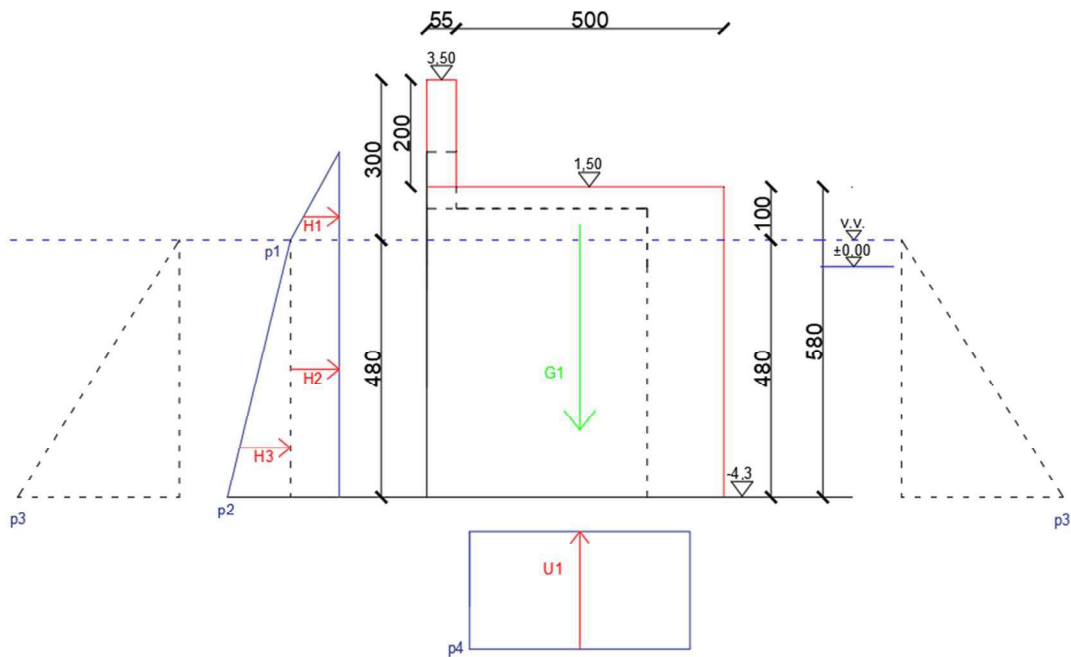
$$\begin{aligned} V &= \gamma_{G,STB} * (G_1 + G_2) - \gamma_{G,DST} * (U_1) \\ &= 1,0 * (772,56 + 26,40) - 1,0 * (266,4) \\ &= 532,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V * f = 532,56 * 0,75$$

$$V * f = 399,42 \text{ kN}$$

$$V * f > H \rightarrow 399,42 \text{ kN} > 172,55 \text{ kN}$$

PROVJERA ZADOVOLJAVA!



Slika 28: Prikaz djelovanja sila na obalni zid (Profil A-A)

### 7.2.1. Sažetak rezultata proračuna

Proračun obalnog zida lukobrana proveden je konzervativno, kao vertikalni lukobran, bez utjecaja kamenometa. S obzirom da se radi o postojećoj konstrukciji, koju je neophodno sanirati i proširiti te da se ista nalazi na malim dubinama moguć je racionalniji projekt. Međutim, kako je riječ o malom zahvatu pitanje dali je to potrebno. Proveden je proračun obalnog zida za postojeće stanje i za predloženi poprečni presjek. Sukladno rezultatima proračuna, razvidno je da su dimenzije postojećeg obalnog zida zadovoljavajuće odnosno da je zadovoljena stabilnost u pogledu prevrtanja i klizanja. Međutim, zbog klimatskih promjena koje će uslijediti te prema Strategiji [1] predviđa se da će se srednja razina mora do 2100. godine podići za 32-65 cm. Uz navedeno, kota operative obale lukobrana je već sada preniska zbog čega tijekom ekstremno visokih razina mora dolazi do plavljenja operative obale što negativno utječe na sigurnost plovila i mogućnost pretovara. Također, širina operative obale sjevernog lukobrana je manja od 3,50 m što je nezadovoljavajuće. Predloženim poprečnim presjekom obalnog zida kota operative obale podignuta je za 50 cm te je proširena na 5,0 m. Kruna obalnog zida također je podignuta za 1,35 m. Predložena konstrukcija riješila bi problematiku koja se javlja na postojećem poprečnom presjeku. Osigurala bi stabilnost i nesmetano korištenje operative obale za vrijeme povišenih razina mora.

## 8. VARIJANTNA RJEŠENJA LUČICE

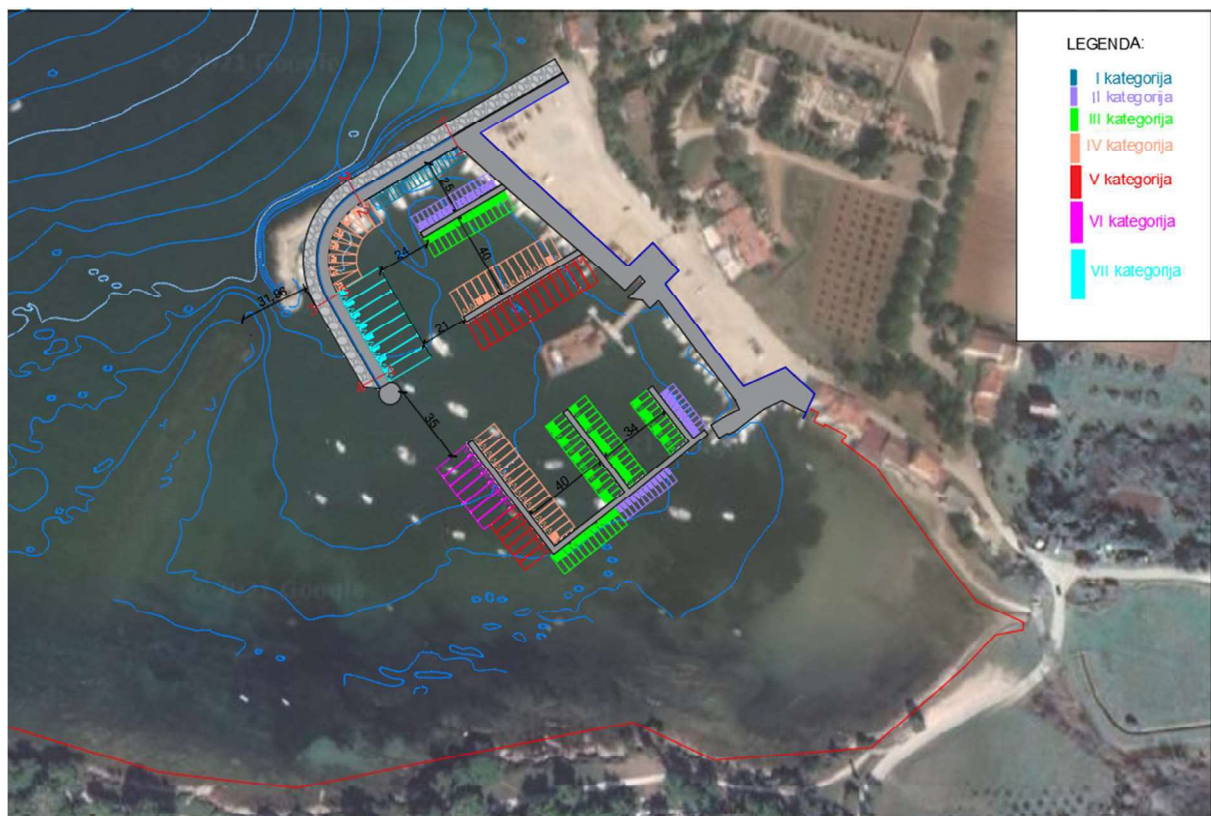
### 8.1. Varijanta 1

Prva varijanta uređenja lučice prikazuje izmjenu trase postojećeg lukobrana i produljenje za oko 60-ak metara (slika 29.). Trasa lukobrana bi se pružala polukružno s time da bi se glava postojećeg lukobrana pomakla u svrhu proširenja ulaza u luku što predstavlja bitan faktor za sigurnost plovidbe. S obzirom da se antički lukobran ne smije dirati to je jedini način proširenja ulaza u luku. Navedeno produženje predlaže se izvesti kao nasuti lukobran kako bi se umanjila refleksija vala i postiglo sigurno uplovljavanje u luku..

Varijanta 1 sadrži vezove za I, II, III, IV, V, VI i VII kategoriju plovila, veličine plovila do 18 m. Unutar luke nalazi se 6 gatova s 200 vezova (Tablica 24.) za navedene kategorije plovila. Gatovi su dužine od 30 m do 90 m. Manje kategorije plovila nalaze se u unutarnjem dijelu zbog bolje zaštite od naleta valova dok se veće kategorije plovila nalaze na ulazu u luku zbog kraćeg plovnog puta. Prva dva gata s kategorijama plovila od II do V su paralelna te su postavljena pod kutom u odnosu na obalu. Gat 3 s kategorijama plovila III i IV postavljen je okomito na obalu dok su gatovi 4, 5, i 6 s kategorijama plovila od II do VI postavljeni okomito na gat 3. Smještaj za VII kategoriju plovila nalazi se s unutarnje strane, na samom lukobranu. Pozicija plovila u odnosu na plutajuće gatove je okomita s proračunatim razmakom među pojedinim kategorijama (Izraz 22). Ovom varijantom akvatorij luke je maksimalno iskorišten odnosno postignut je maksimalan kapacitet mogućih plovila unutar marine prema Detaljnom planu uređenja te su zastupljene sve kategorije plovila.

Tablica 24: Broj vezova – Varijanta 1

Kategorija veza	Broj vezova	Veličina veza (DxŠ) (m)	Duljina plovila (m)
I	20	6.5 x 2.3	<5
II	37	8.0 x 2.5	5-6
III	69	10.3 x 3.0	6-8
IV	39	12.5 x 3.7	8-10
V	20	14.5 x 4.3	10-12
VI	7	18.0 x 5.0	12-15
VII	8	22.0 x 5.8	15-18
Ukupno:	200		



Slika 29: Varijanta 1 uređenja lučice

## 8.2. Varijanta 2

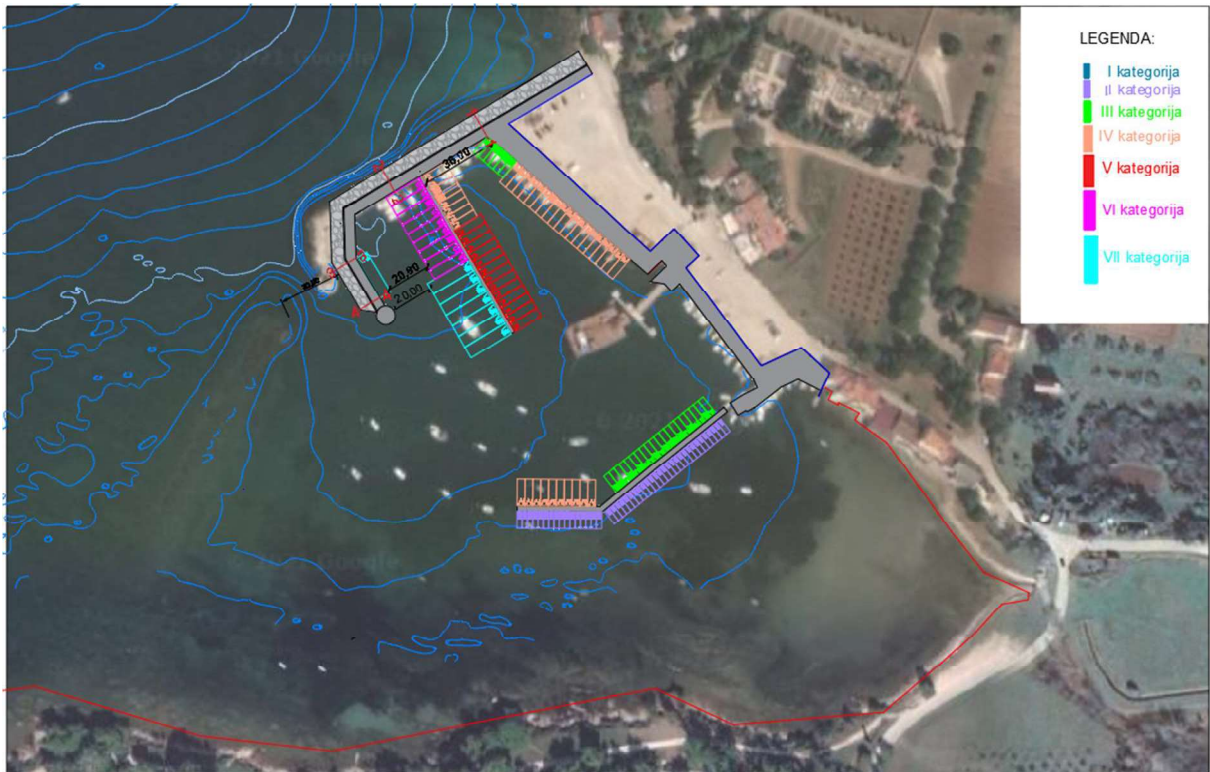
Kod druge varijante uređenja lučice također se predlaže izmjena trase postojećeg lukobrana i produljenje za oko 40-ak m (slika 30.). Trasa lukobrana bila bi paralelna s postojećim lukobranom samo produljena, uz pomicanje glave postojećeg lukobrana u svrhu proširenja ulaza u luku. Kao i u prethodnoj varijanti proširenje ulaza predstavlja bitan faktor za sigurnost plovidbe te stoga, ulaz u luku ostaje 30 m. Navedeno produženje se također predlaže izvesti kao nasuti lukobran kako bi se umanjila refleksija vala i postiglo sigurno uplovljavanje u luku.

Varijanta 2 sadrži vezove za II, III, IV, V, VI i VII kategoriju plovila, veličine plovila od 5 do 18 m. Unutar luke nalazi se 2 gata sa 137 vezova (Tablica 25.) za navedene kategorije plovila. Gatovi su dužine 86 m i 115 m. Manje kategorije plovila nalaze se u unutarnjem dijelu zbog bolje zaštite od naleta valova dok se veće kategorije plovila nalaze na ulazu u luku zbog kraćeg plovnog puta. Prvi gat s kategorijama plovila od IV do VII postavljen je okomito na lukobran dok je drugi gat u "L" obliku s kategorijama plovila II i V postavljen okomito na obalu. Smještaj za VII kategoriju plovila nalazi se s unutarnje strane, uz sam lukobran i na gatu 1. Pozicija plovila u odnosu na plutajuće gatove je okomita s proračunatim razmakom među pojedinim kategorijama (Izraz 22). Ovom varijantom akvatorij luke nije maksimalno iskorišten obzirom da je predviđeni broj vezova znatno ispod maksimalno dozvoljenog kapaciteta mogućih plovila unutar marine. Razlog tome je lakši pristup operativnom gatu. Također, na južnom gatu se mogu vezati i ribarski brodovi koji bi ipak dijelom bili odvojeni od većih kategorija plovila.

Tablica 25: Broj vezova – Varijanta 2

Kategorija veza	Broj vezova	Veličina veza (DxŠ) (m)	Duljina plovila (m)
II	44	8.0 x 2.5	5-6
III	26	10.3 x 3.0	6-8
IV	37	12.5 x 3.7	8-10
V	13	14.5 x 4.3	10-12
VI	9	18.0 x 5.0	12-15
VII	8	22.0 x 5.8	15-18
Ukupno:	137		





Slika 30: Varijanta 2 uređenja lučice

### 8.3. Iskaz masa varijantnih rješenja

Nasuti lukobran s obalnim zidom koji se proteže s kopna prema moru najskuplji je dio rekonstrukcije te je u nastavku prikazan iskaz potrebnih količina. Potreban materijal proračunat je prema slojevima lukobrana, odnosno po frakcijama kamenometa. Iskop količine morskog sedimenta nisu definirane.

#### Varijanta 1

Količine po profilima su iskazane u tablici 26. te su pomnožene s dužinom lukobrana za koju se taj profil odnosi kako bi se dobila ukupna količina pojedine frakcije.

Tablica 26: Količine materijala po profilima za Varijantu 1

	Profil 1-1 (m <sup>2</sup> )	Profil 2-2 (m <sup>2</sup> )	Profil 3-3 (m <sup>2</sup> )	Profil 4-4 (m <sup>2</sup> )
Primarni sloj	24,33	29,16	29,16	28,36
Sekundarni sloj – prvi međusloj	9,14	20,85	17,35	12,02
Sekundarni sloj – drugi međusloj	3,50	5,76	5,37	4,77
Jezgra	13,01	35,01	40,18	30,90
Obalni zid	18,17	30,80	36,08	31,07

#### Ukupne količine materijala po slojevima i profilima:

- Primarni sloj – oštroidni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(24,33 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 1.231,10 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{29,16+29,16}{2} \times 55,25 \text{ m} \right) = 1.611,09 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(28,26 \text{ m}^2 \times 46,16 \text{ m}) = 1.304,48 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobridnog lomljenog kamena za primarni sloj nasutog lukobrana iznosi sveukupno 4.146,67 m<sup>3</sup>.

- Sekundarni sloj – prvi međusloj – oštrobridni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(9,14 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 462,50 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{20,85+17,35}{2} \times 55,25 \text{ m} \right) = 1055,28 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(12,02 \text{ m}^2 \times 46,16 \text{ m}) = 554,85 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobridnog lomljenog kamena za sekundarni sloj – prvi međusloj nasutog lukobrana iznosi sveukupno 2.072,63 m<sup>3</sup>.

- Sekundarni sloj – drugi međusloj – oštrobridni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(3,50 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 177,1 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{5,76+5,37}{2} \times 55,25 \text{ m} \right) = 307,47 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(4,77 \text{ m}^2 \times 46,16 \text{ m}) = 220,19 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobridnog lomljenog kamena za sekundarni sloj – drugi međusloj nasutog lukobrana iznosi sveukupno 704,76 m<sup>3</sup>.

- Jezgra lukobrana – oštrobridni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(13,01 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 658,31 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{35,01 + 18}{2} \times 55,25 \text{ m} \right) = 2.077,13 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(30,90 \text{ m}^2 \times 46,16 \text{ m}) = 1.426,35 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobriđnog lomljenog kamena za jezgru nasutog lukobrana iznosi sveukupno 4.161,79 m<sup>3</sup>.

- Obalni zid – beton potreban za izradu zida

$$\left( \frac{18,17 + 30,80}{4} \times 152 \text{ m} \right) = 4.412,56 \text{ m}^3$$

Ukupna potrebna količina betona za izradu obalnog zida lukobrana iznosi 4.412,56 m<sup>3</sup>. Za izradu nasutog lukobrana varijante 1 potrebno je sveukupno 11.085,85 m<sup>3</sup> oštrobriđnog lomljenog kamenog materijala dok je za obalni zid potrebno sveukupno 4.412,56 m<sup>3</sup> betona.

## Varijanta 2

Količine po profilima su iskazane u tablici 27. te su pomnožene s dužinom lukobrana za koju se taj profil odnosi kako bi se dobila ukupna količina pojedine frakcije.

Tablica 27: Količine materijala po profilima za Varijantu 2

	Profil 1-1 (m <sup>2</sup> )	Profil 2-2 (m <sup>2</sup> )	Profil 3-3 (m <sup>2</sup> )	Profil 4-4 (m <sup>2</sup> )
Primarni sloj	24,33	29,16	29,16	29,04
Sekundarni sloj – prvi međusloj	9,14	20,85	14,10	13,53
Sekundarni sloj – drugi međusloj	3,50	5,76	5,23	5,17
Jezgra	13,01	35,01	39,58	36,97
Obalni zid	18,17	30,80	36,62	34,70

Ukupne količine materijala po slojevima i profilima:

- Primarni sloj – oštrobridni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(24,33 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 1.231,10 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{29,16+29,16}{2} \times 51,40 \text{ m} \right) = 1.498,83 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(29,04 \text{ m}^2 \times 22,00 \text{ m}) = 638,88 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobridnog lomljenog kamena za primarni sloj nasutog lukobrana iznosi sveukupno 3.368,81 m<sup>3</sup>

- Sekundarni sloj – prvi međusloj – oštrobridni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(9,14 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 462,50 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{20,85+14,10}{2} \times 51,40 \text{ m} \right) = 898,22 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(13,53 \text{ m}^2 \times 22,00 \text{ m}) = 297,66 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobridnog lomljenog kamena za sekundarni sloj – prvi međusloj nasutog lukobrana iznosi sveukupno 1658,38 m<sup>3</sup>

- Sekundarni sloj – drugi međusloj – oštrobridni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(3,50 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 177,1 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{5,76+5,23}{2} \times 51,40 \text{ m} \right) = 282,45 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(5,17 \text{ m}^2 \times 22,00 \text{ m}) = 113,74 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobridnog lomljenog kamena za sekundarni sloj – drugi međusloj nasutog lukobrana iznosi sveukupno 573,29 m<sup>3</sup>.

- Jezgra lukobrana – oštrobridni lomljeni kamen

Profil 1-1

$$(13,01 \text{ m}^2 \times 50,60 \text{ m}) = 658,31 \text{ m}^3$$

Profil 2-2, 3-3

$$\left( \frac{35,01+39,58}{2} \times 51,40 \text{ m} \right) = 1.916,97 \text{ m}^3$$

Profil 4-4

$$(36,97 \text{ m}^2 \times 22,00 \text{ m}) = 813,34 \text{ m}^3$$

Potrebna količina oštrobridnog lomljenog kamena za jezgru nasutog lukobrana iznosi sveukupno 3.388,62 m<sup>3</sup>.

- Obalni zid – beton potreban za izradu zida

$$\left( \frac{18,17+3,80+36,62+0,70}{4} \times 124 \text{ m} \right) = 3.728,99 \text{ m}^3$$

Ukupna potrebna količina betona za izradu obalnog zida lukobrana iznosi 3.728,99 m<sup>3</sup>.

Za izradu nasutog lukobrana varijante 2 potrebno je sveukupno 8.989,10 m<sup>3</sup> oštrobridnog lomljenog kamenog materijala dok je za obalni zid potrebno sveukupno 3.728,99 m<sup>3</sup> betona.

## 9. USPOREDBA VARIJANTNIH RJEŠENJA

Prvom varijantom predviđena je marina sa 6 gatova i 200 vezova dok je drugom varijantom predviđeno 2 gata i 137 vezova. U prvoj i drugoj varijanti u bazenima se nalaze plovila različitih kategorija kako bi se omogućio vez svim kategorijama. U tablici 28. naveden je udio vezova obje varijante te je razvidno da je u varijanti jedan veći udio vezova III i V kategorije dok je u varijanti dva veći udio II, IV, VI i VII kategorije.

Tablica 28: Udio vezova u varijanti 1 i 2

Kategorija veza	Varijanta 1		Varijanta 2	
	Broj vezova	Udio vezova (%)	Broj vezova	Udio vezova (%)
I	20	10	/	/
II	37	18,5	44	32,12
III	69	34,5	26	18,98
IV	39	19,5	37	27
V	20	10	13	9,5
VI	7	3,5	9	6,57
VII	8	4	8	5,83
Ukupno:	200	100	137	100

U tablici 28. i 29. naveden je ukupni godišnji profit za obje varijante. Godišnja cijena veza uzeta je iz "Odluka o visini lučkih pristojbi" od 27. svibnja 2008. godine donijeta od strane Upravnog vijeća Lučke uprave Umag – Novigrad.

Tablica 29: Ukupna godišnja zarada – Varijanta 1

Kategorija veza	Broj vezova	Duljina plovila (m)	Cijena godišnjeg veza (kn)	Godišnja zarada po kategoriji (kn)
I	20	<5	5.800,00	116.000,00
II	37	5-6	7.250,00	268.250,00
III	69	6-8	10.150,00	700.350,00
IV	39	8-10	13.050,00	508.950,00
V	20	10-12	15.950,00	319.000,00
VI	7	12-15	17.400,00	121.800,00
VII	8	15-18	21.750,00	174.000,00
Ukupna godišnja zarada (kn)				2.208.350,00



Tablica 30: Ukupni godišnja zarada – Varijanta 2

Kategorija veza	Broj vezova	Duljina plovila (m)	Cijena godišnjeg veza (kn)	Godišnja zarada po kategoriji (kn)
II	44	5-6	7.250,00	319.000,00
III	26	6-8	10.150,00	263.900,00
IV	37	8-10	13.050,00	482.850,00
V	13	10-12	15.950,00	207.350,00
VI	9	12-15	17.400,00	156.600,00
VII	8	15-18	21.750,00	174.000,00
Ukupna godišnja zarada (kn)				1.603.700,00

Sukladno tablici 28. i 29. vidljivo je da varijanta 1 sadrži veći ukupni broj vezova nego varijanta 2 te zbog toga donosi i veći godišnji profit.

Što se tiče same dubine lukobrana, konstrukcija obje varijante bi bila relativno jednostavna za izvođenje zbog malih dubina, s osi lukobrana na dubinama od 1,5 do 5 m. Dubina uvelike utječe i na cijenu izgradnje lukobrana koja raste s povećanjem dubine. Uz navedeno, pretpostavlja se da je morsko dno stjenovito što je izrazito povoljno i rijetko kod temeljenja pomorskih građevina. Predložene varijante razlikuju se prema obliku i dimenzijama lukobrana. Usporedba količine ugrađenog betona i prirodnog kamena u lukobrane obje varijante prikazana je u tablici 31. U lukobran varijante 1 će biti ugrađeno 684 m<sup>3</sup> više betona i 2097 m<sup>3</sup> više kamenog materijala nego u lukobran varijante 2. Obzirom da je prilikom gradnje luka najskuplja konstrukcija lukobrana, prvenstveno on utječe na razliku u cijeni gradnje.

Tablica 31: Usporedba ukupne potrebne količine materijala obe varijante

Ukupna potrebna količina materijala (m <sup>3</sup> )	Varijanta 1	Varijanta 2
Beton (obalni zid)	4.412,56	3.728,99
Kamen	11.085,85	8.989,10

Što se tiče prostorno planskih elemenata Detaljnim planom uređenja "Savudrija" propisan je najveći kapacitet od 200 plovila u akvatoriju. Iako sama konstrukcija lukobrana varijante 1 zahtijeva veće količine materijala od varijante 2 ona ujedno donosi i znatno veću zaradu s obzirom da je akvatorij luke maksimalno iskorišten postignuvši maksimalan kapacitet mogućih plovila unutar marine koji je propisan

prostornim planom. Iako je u Varijanti 2 lakši pristup operativnom gatu njezin najveći nedostatak je u broju vezova koji je znatno manji od varijante 1.

Širina postojećeg ulaza u luku koji je iznosio 10 m za vrijeme oseke kod obje varijante je proširen te iznosi 30 m što pozitivno utječe na sigurnost plovidbe. Plovidba u obje varijante ne predstavlja problem obzirom da su obje varijante dimenzionirane tako da se zadovolje minimalne širine plovnih puteva.

## 10. ZAKLJUČAK

Razvitak nautičkog turizma u Hrvatskoj važan je faktor za proširenje turističke ponude iz razloga što je Hrvatska turistička zemlja prvenstveno usmjerena sezonskom ljetnom turizmu. Kako bi se privukli posjetioci veće financijske sposobnosti bitna je opremljenost luke i njena ponuda te je osim osnovnih sadržaja bitna i ugostiteljska ponuda, trgovine, rekreativni sadržaj u blizini, parking mjesto te ostali sadržaji koji ispunjavaju zahtjeve posjetioca.

Zahvaljujući svojem zemljopisnom položaju luka Savudrija je u prošlosti bila jedna od najvažnijih antičkih luka sjevernog Jadrana te se danas smatra značajnim arheološkim lokalitetom. Upravo se zbog svojeg položaja i blizine drugim zemljama može očekivati interes za njezino korištenje te ujedno predstavlja značajan potencijal za daljnji turistički razvoj. Zbog budućih klimatskih promjena koje predstavljaju rastuću prijetnju u 21. stoljeću svakim budućim zahvatom trebala bi se obuhvatiti i "Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu" s ciljem smanjenja ranjivosti prirodnih sustava i društva na negativne utjecaje klimatskih promjena, jačanja otpornosti i sposobnosti oporavka od tih utjecaja te iskorištavanja potencijalnih pozitivnih učinka klimatskih promjena.

Na temelju provedenih proračuna i analiza za postojeće stanje razvidno je da su trenutačni uvjeti u luci Savudrija nezadovoljavajući zbog čega se ovim radom pristupilo analizi varijanta uređenja lučice. Također, radom je uzeta u obzir i "Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu". Naime, zbog prevelikih visina valova u zaštićenom akvatoriju luke te značajnog prelijevanja valova preko krune lukobrana potrebna je rekonstrukcija sjevernog lukobrana što obuhvaća cjelokupnu korekciju postojećeg presjeka. Također, veliki problem predstavlja i kota operativne obale koja je preniska čime je onemogućena funkcionalnost, a ponajprije sigurnost priveza plovila. Za vrijeme povišenih razina mora nije moguće obavljati pretovar. Strategijom se predviđa da će do 2065. godine srednja razina mora podići između 19-33 cm dok će se do 2100. godine ista podići od 32-65 cm. Međutim, potrebno je naglasiti da su uz ove procjene vezane znatne neizvjesnosti te da je riječ o iznimno dugom vremenskom razdoblju.

Predloženim poprečnim presjekom sjevernog lukobrana operativna obala je proširena i povišena upravo zbog očekivanog podizanja razine mora predviđenog Strategijom, izrađena je berma nasutog dijela lukobrana i smanjeno je prelijevanje.

Blokove kamenometa potrebno je izvesti od materijala odgovarajuće veličine – oko 1,5 tone. Predloženi poprečni presjek omogućio bi dovoljnu stabilnost na djelovanje valova, spriječilo bi se pretjerano prelijevanje, a ujedno bi se omogućila i neometana uporaba operativne obale za vrijeme povišenih morskih razina.

U varijantama 1 i 2 karakteristični poprečni presjek lukobrana je identičan no lukobrani se razlikuju po obliku i dimenzijama te se razlikuje i raspored plovila u akvatoriju. Obzirom da je prilikom gradnje luka najskuplja konstrukcija lukobrana, prvenstveno on utječe na razliku u cijeni gradnje. Varijanta 1 zahtijeva veću količinu betona i kamenog materijala te je samim time i izvedba Varijante 1 skuplja od Varijante 2. Međutim, varijantom 1 predviđeno je 200 vezova dok je varijantom 2 predviđeno 137 vezova. Varijanta 1 brojem vezova postiže veći profit te je samim time postignut maksimalan kapacitet mogućih plovila unutar marine propisan Detaljnim planom uređenja. Stoga, najveći nedostatak varijante 2 je u broju vezova koji je znatno manji od varijante 1. Iako Varijanta 2 ima nedostatak u pogledu broja vezova isto je iz razloga što je omogućen lakši pristup operativnom gatu. Siguran ulaz u luku moguće je postići samo ako se skрати postojeći lukobran zbog zaštite antičkog. Proširenjem postojećeg ulaza kod obje varijante postiže se sigurnost ulaza i njegovom se dodatnom zaštitom povećava mogućnost priveza većih brodica.

Potrebno je naglasiti i važnost nekadašnje antičke luke čiji se lokalitet danas smatra značajnim arheološkim područjem. Na južnom dijelu uvale nalaze se ostatci južnog antičkog lukobrana koji je jedan od najbolje sačuvanih lukobrana iz antičkog doba. Iako je on potopljen znatno smanjuje visinu valova u luci. Stoga, iznimno je važno da konstrukcija južnog lukobrana ostane sačuvana te da se izvrši sanacija ukoliko dođe do oštećenja iste, a sve u dogovoru s konzervatorskim odjelom. U slučaju kada bi se južni lukobran rekonstruirao, potrebno je njegovo podizanje za otprilike 2,5 m što približno paše nekadašnjem odnosu razine mora i visine lukobrana. Rekonstrukcijom bi se postigla dobra zaštita akvatorija luke i povećala bi se mogućnost priveza većih brodica što sadržajno može obogatiti južnu, zapuštenu stranu zaljeva. Uz to, bilo bi potrebno očistiti i produbiti veći dio zaljeva od muljevitog nanosa povećavajući plovnost luke i njenu atraktivnost. Navedeni zahvati proširenja za potrebe marine ne bi smjeli biti na štetu kvalitete sadašnje luke i njenih funkcija.

Što se tiče ribara, izgradnjom marine riješio bi se i poboljšao prihvat i smještaj ribarskih plovila. Ribari bi dobili novi kvalitetan manevarski prostor za obavljanje

operacija te bi se dugoročno riješio problem sigurnosti priveza i pretovara ribe. Nova infrastruktura podignula bi efikasnost ribara te tako ubrzala i poboljšala njihov rad čime bi se postiglo i bolje opsluživanje domaćeg stanovništva. Međutim, ovisno o turističkom prometu tokom ljetnih mjeseci ribarima bi rad na brodu mogao biti otežan zbog ukrcaja/iskrcaja velikog broja putnika. Stoga, potrebna je dobra organizacija marine te bi dio marine trebao biti isključivo za potrebe ribara. Varijante je potrebno dodatno analizirati s korisnicima prostora, upravom, konzervatorima, stručnjacima za pomorski promet i sl.

## LITERATURA

- [1] Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/2020), Hrvatski sabor, Zagreb, 2020.
- [2] Igor Ružić, 2020., Numerički model deformacija valova u luci Savudrija
- [3] Koncani Uhač, I., Auriemma, R., 2015. Savudrija – Luka i obalni krajolik u rimsko doba
- [4] DLS, 2020., Studija o utjecaju na okoliš za zahvat dogradnje luke otvorene za javni promet Karigador - Brtonigla
- [5] <https://www.geotech.hr/geoloska-grad-istre/> pristup 15.05.2021
- [6] MATIČEC, D., FUČEK, L., PALENIK, D., VLAHOVIĆ, I., OŠTRIĆ, N., PRTOLJAN, B., KORBAR, T., VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., BRČIĆ, V., BERGANT, S., ŠPARICA, M., KOCH, G., GALOVIĆ, I., & KUREČIĆ, T (2015): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske M 1:50 000: list Rovinj 1, (572/1).-Hrvatski geološki institut (Zavod za geologiju)
- [7] [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20--%20OPUO/2016/elaborat\\_zastite\\_okolisa\\_693.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20--%20OPUO/2016/elaborat_zastite_okolisa_693.pdf) pristup 15.05.2021.
- [8] [https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/ocjena\\_stanja\\_i\\_rizika\\_podzemnih\\_voda\\_na\\_krskom\\_podrucju\\_u\\_rh\\_varazdin\\_2009.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/ocjena_stanja_i_rizika_podzemnih_voda_na_krskom_podrucju_u_rh_varazdin_2009.pdf) pristup 15.05.2021.
- [9] Izmjena i dopuna Prostornog plana uređenja Grada Umaga (Službene novine Grada Umaga, br. 3/04, 9/04-ispravak, 6/06, 8/08-pročišćeni tekst, 5/10, 5/11, 5/12, 21/14, 10/15, 11/15-pročišćeni tekst, 19/15, 2/16-pročišćeni tekst, 12/17, 18/17-pročišćeni tekst)
- [10] Detaljni plan uređenja "Savudrija" (Službene novine Grada Umaga, 9/07 i 10/10)
- [11] Ocvirk, E., Optimizacija nasipnih zaštitnih građevina u uvjetima ekstreme jadranske valne klime, Doktorski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2010.
- [12] Pršić, M., Hidrotehnički sustavi, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.

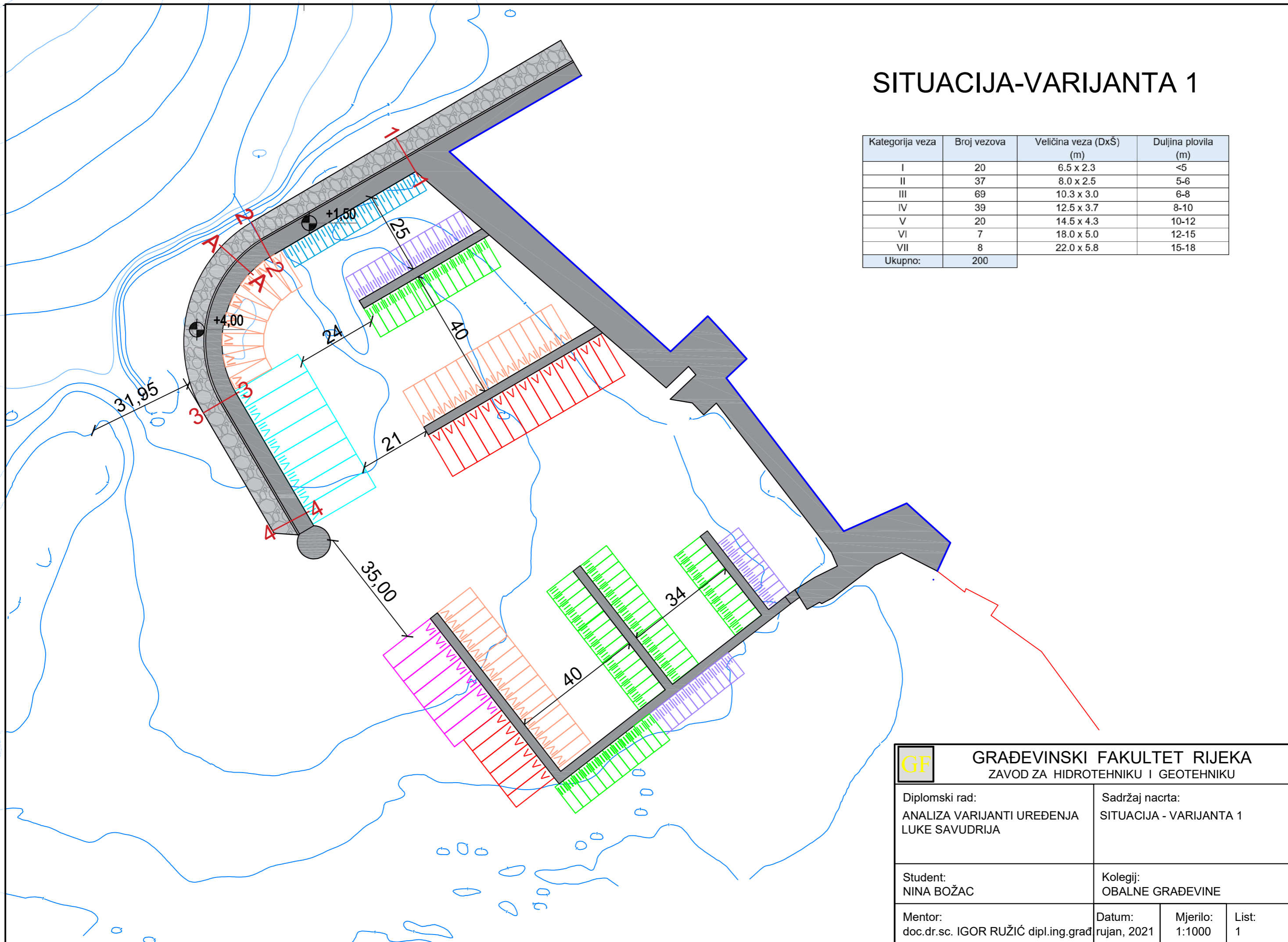
- [13] Ružić, I., Obalne građevine, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 2020.
- [14] Pršić, M., Plovni putevi i luke, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.
- [15] Bogdan, A., Idejno rješenje marine u Ičićima, Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2017.
- [16] Pršić, M., Pomorske građevine, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013.
- [17] Van der Meer, J., Design aspects of breakwaters and sea defences, International Short Conference on Applied Coastal Research, 2011.
- [18] U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Manual, EM 1110-2-11001998, (dio VI), Washington, DC, 2006.
- [19] Ž. Vuković, M. Pršić, P. Brica, Preljevanje nasipnih lukobrana slučajnim valovima, Izvorni znanstveni rad, 2000
- [20] Krvavica, N., Gradnja marina i obala, Programski zadatak 1.dio, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2020./21
- [21] Velenik, M., Idejni projekt proširenja luke Poreč, Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2015.
- [22] [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/G2\\_Eurokod\\_7.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/G2_Eurokod_7.pdf)
- [24] ACI priručnik
- [25] Bouchet, R., Borea D'olmo, J., Guidelines for superyachts marinas (2011.)
- [26] Krvavica, N., Gradnja marina i obala, Programski zadatak 2.dio, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2020./21
- [27] „Narodne novine“, br. 97/10 i 31/13, Hrvatske vode, Zagreb, 2013.


## GRAFIČKI PRILOZI



# SITUACIJA-VARIJANTA 1

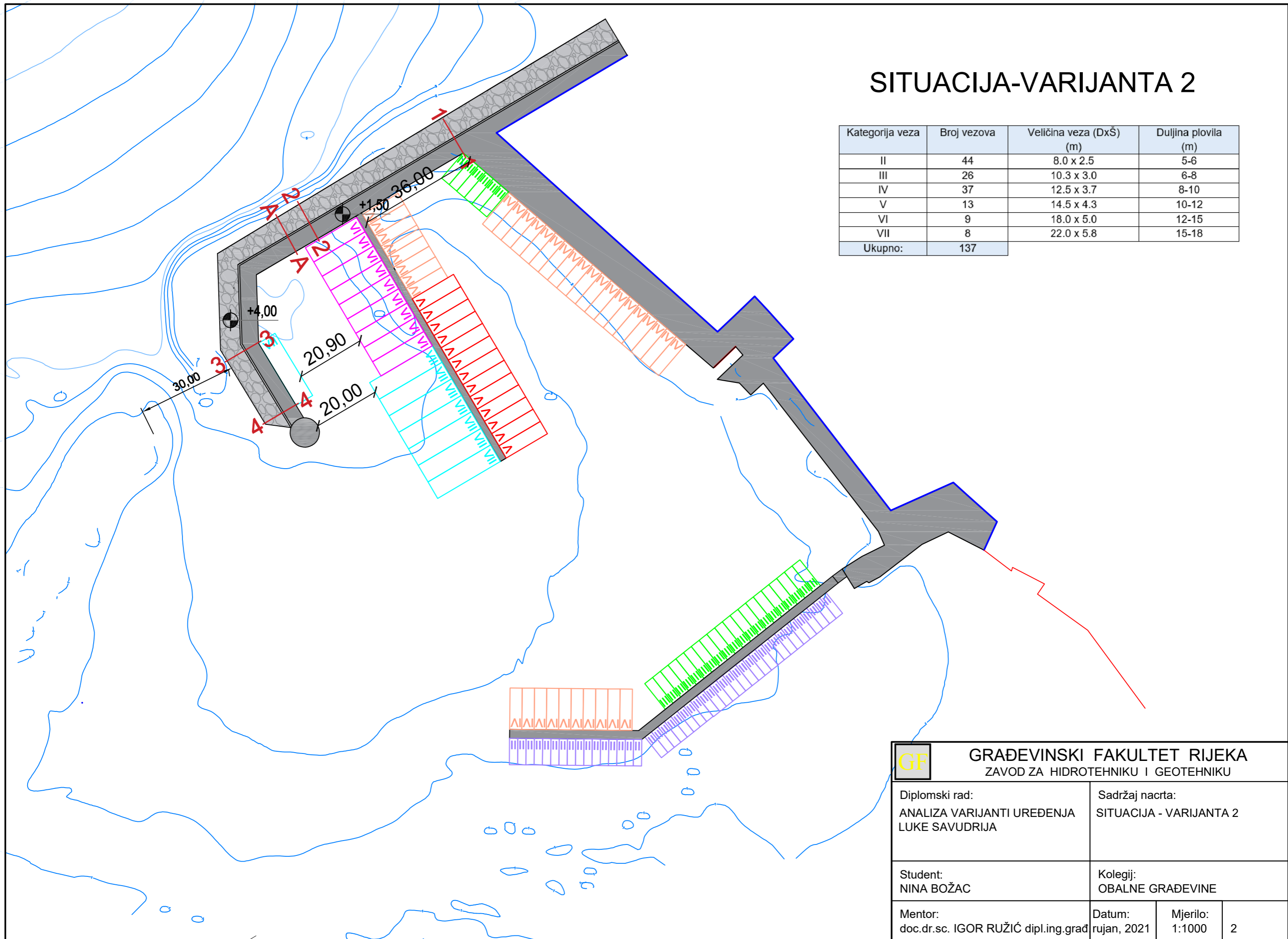
Kategorija veza	Broj vezova	Veličina veza (DxŠ) (m)	Duljina plovila (m)
I	20	6.5 x 2.3	<5
II	37	8.0 x 2.5	5-6
III	69	10.3 x 3.0	6-8
IV	39	12.5 x 3.7	8-10
V	20	14.5 x 4.3	10-12
VI	7	18.0 x 5.0	12-15
VII	8	22.0 x 5.8	15-18
<b>Ukupno:</b>	<b>200</b>		



 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA</b> ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU I GEOTEHNIKU			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrta: SITUACIJA - VARIJANTA 1	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad	Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:1000	List: 1

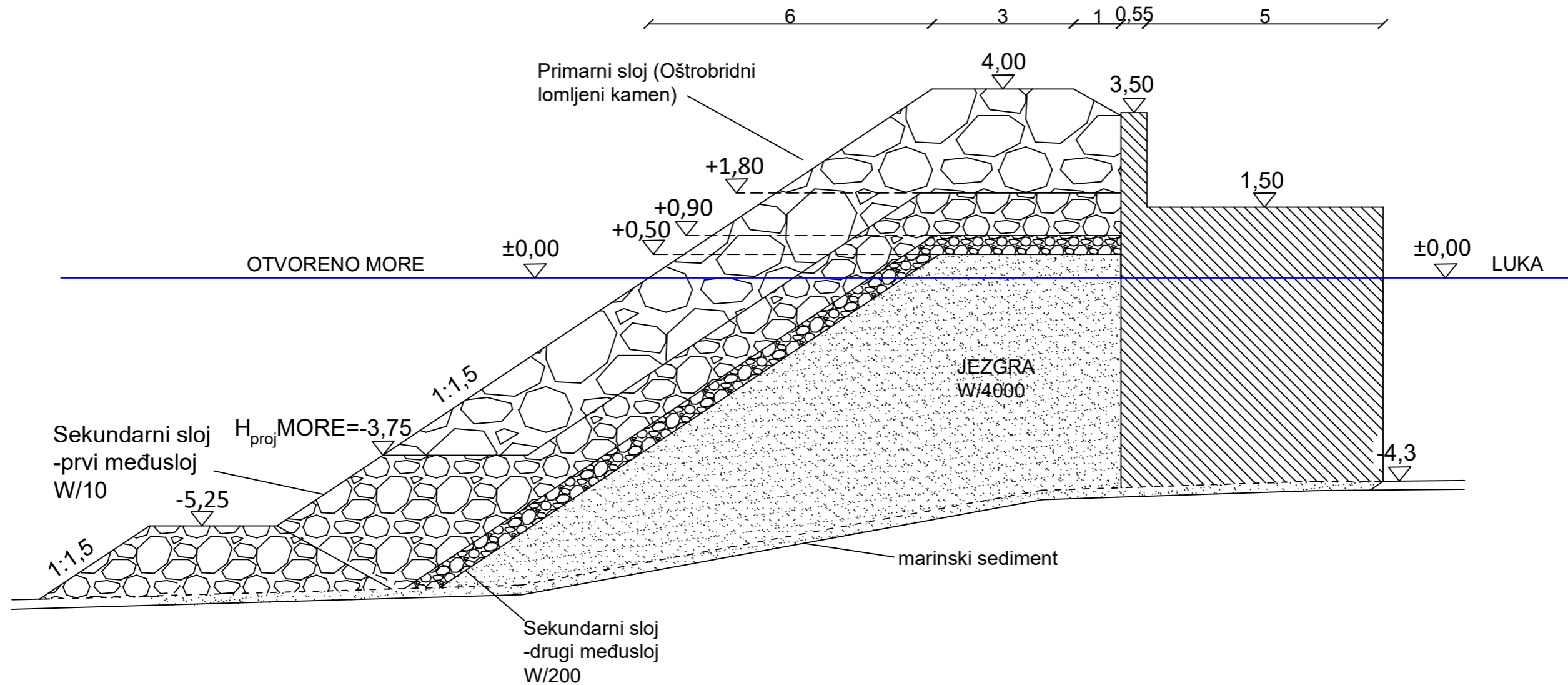
# SITUACIJA-VARIJANTA 2

Kategorija veza	Broj vezova	Veličina veza (DxŠ) (m)	Duljina plovila (m)
II	44	8.0 x 2.5	5-6
III	26	10.3 x 3.0	6-8
IV	37	12.5 x 3.7	8-10
V	13	14.5 x 4.3	10-12
VI	9	18.0 x 5.0	12-15
VII	8	22.0 x 5.8	15-18
<b>Ukupno:</b>	<b>137</b>		




<b>GF</b> GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU I GEOTEHNIKU		Diplomski rad:		Sadržaj nacrta:	
		ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		SITUACIJA - VARIJANTA 2	
Student:		Kolegij:			
NINA BOŽAC		OBALNE GRAĐEVINE			
Mentor:		Datum:	Mjerilo:		
doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad		rujan, 2021	1:1000	2	

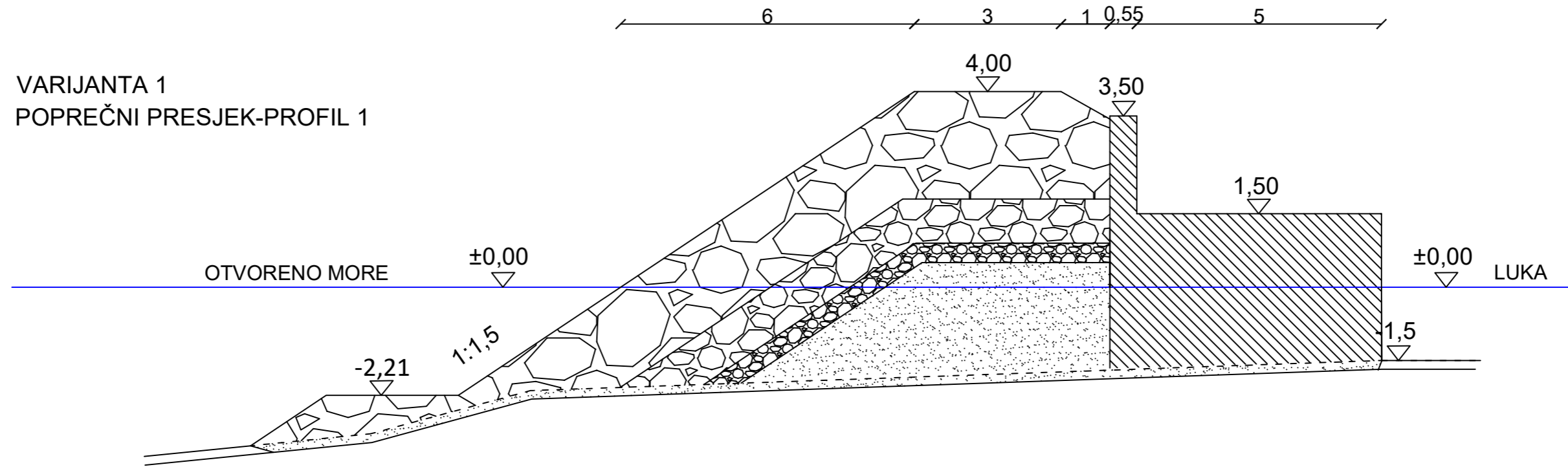
KARAKTERISTIČNI PRESJEK NASUTOG  
LUKOBRAHA I OBALNOG ZIDA  
PROFIL A-A




W - primarni sloj  
W/10 - sekundarni sloj - prvi međusloj  
W/200 - sekundarni sloj - drugi međusloj  
W/4000 - jezgra

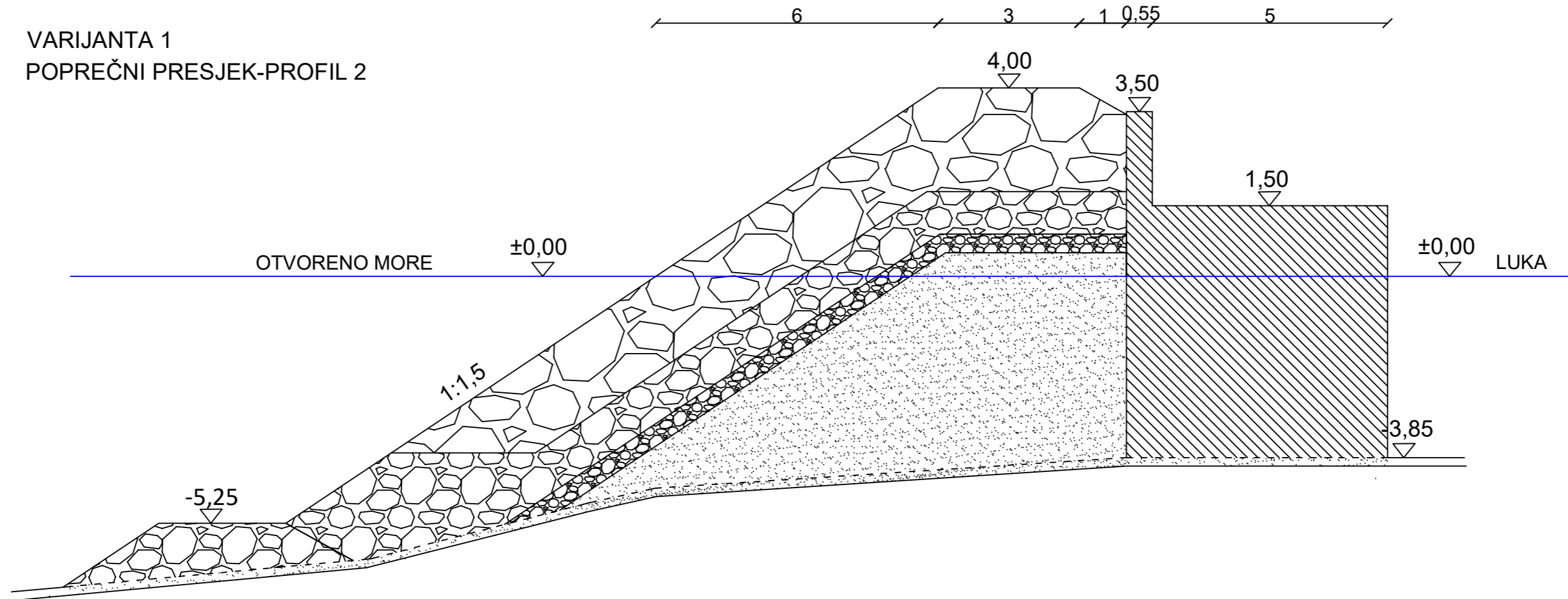
 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</b>			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: KARAKTERISTIČNI PRESJEK NASUTOG LUKOBRAHA I OBALNOG ZIDA	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad	Datum: rujan, 2021.	Mjerilo: 1:100	List: 3

VARIJANTA 1  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 1



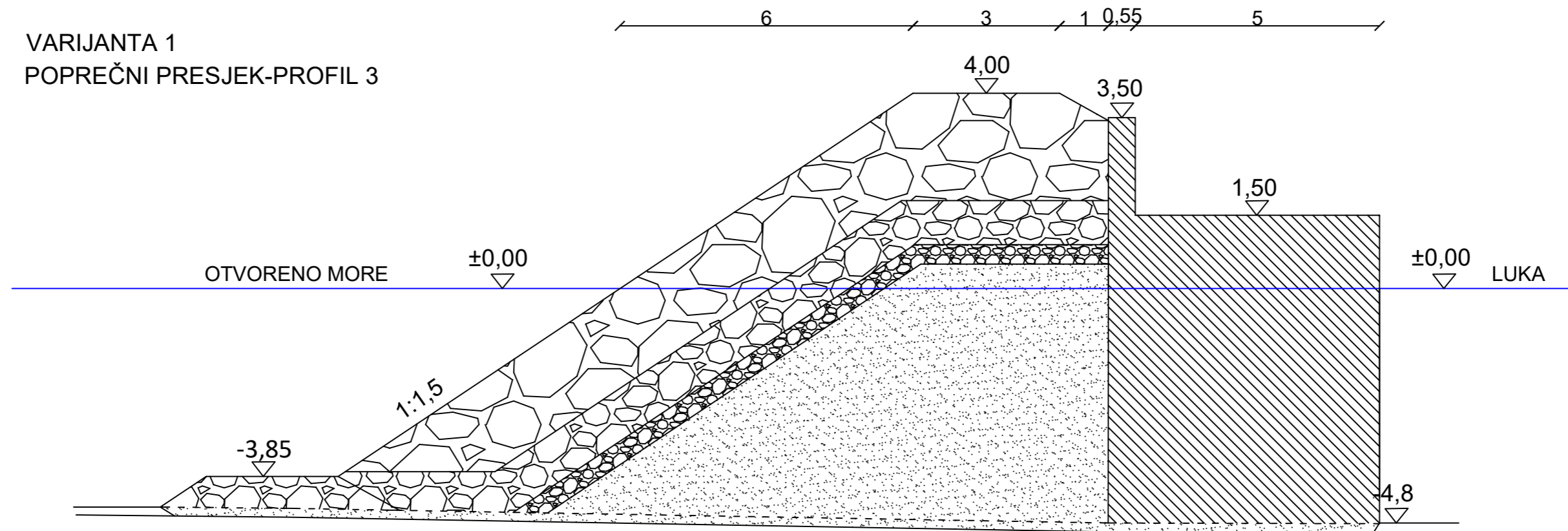
 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</b>			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 1 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 1	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.građ.		Datum: rujan, 2021.	Mjerilo: 1:100
		List: 4	


VARIJANTA 1  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 2



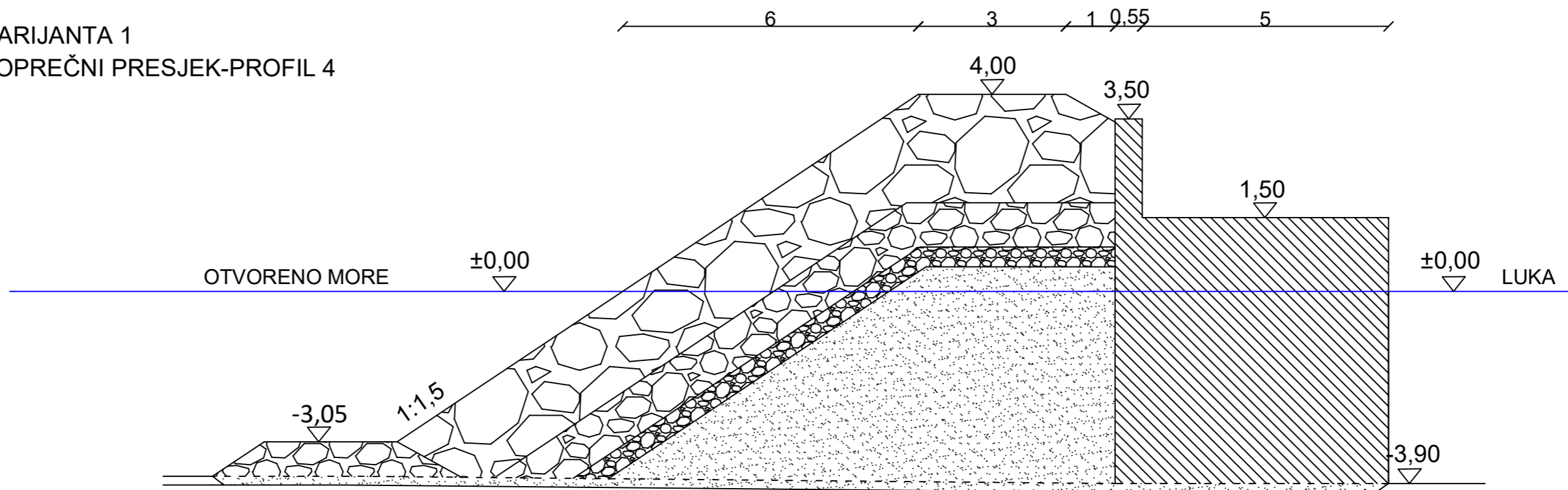
<b>GF</b> GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 1 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 2	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad		Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:100
		List: 5	

VARIJANTA 1  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 3



 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</b>			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 1 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 3	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad		Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:100
		List: 6	

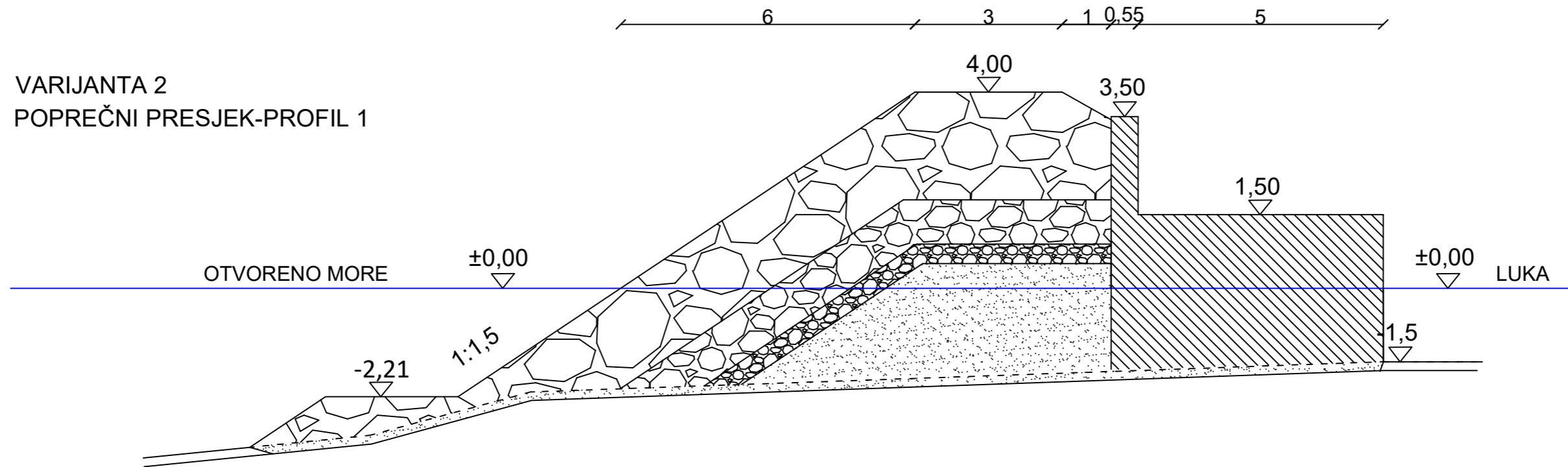
VARIJANTA 1  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 4




**GF** GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI

Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 1 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 4	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad	Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:100	List: 7

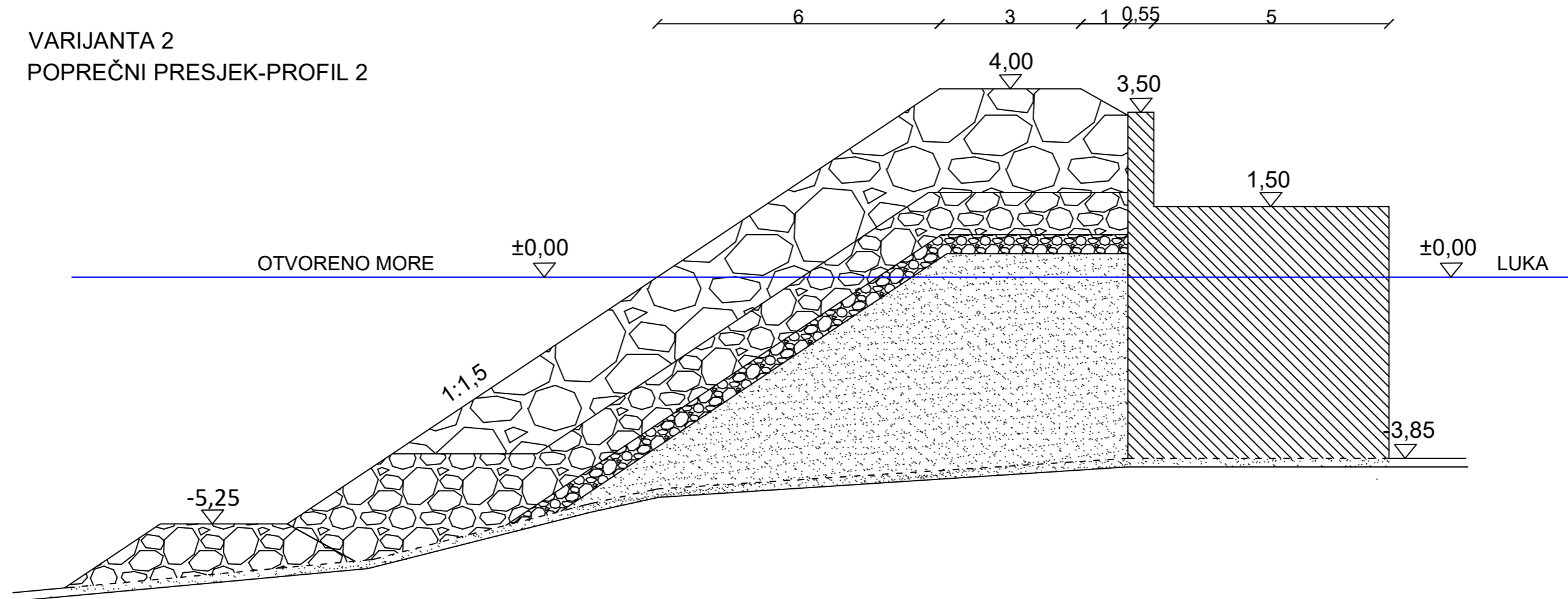
VARIJANTA 2  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 1




 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</b>			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 2 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 1	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad	Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:100	List: 8

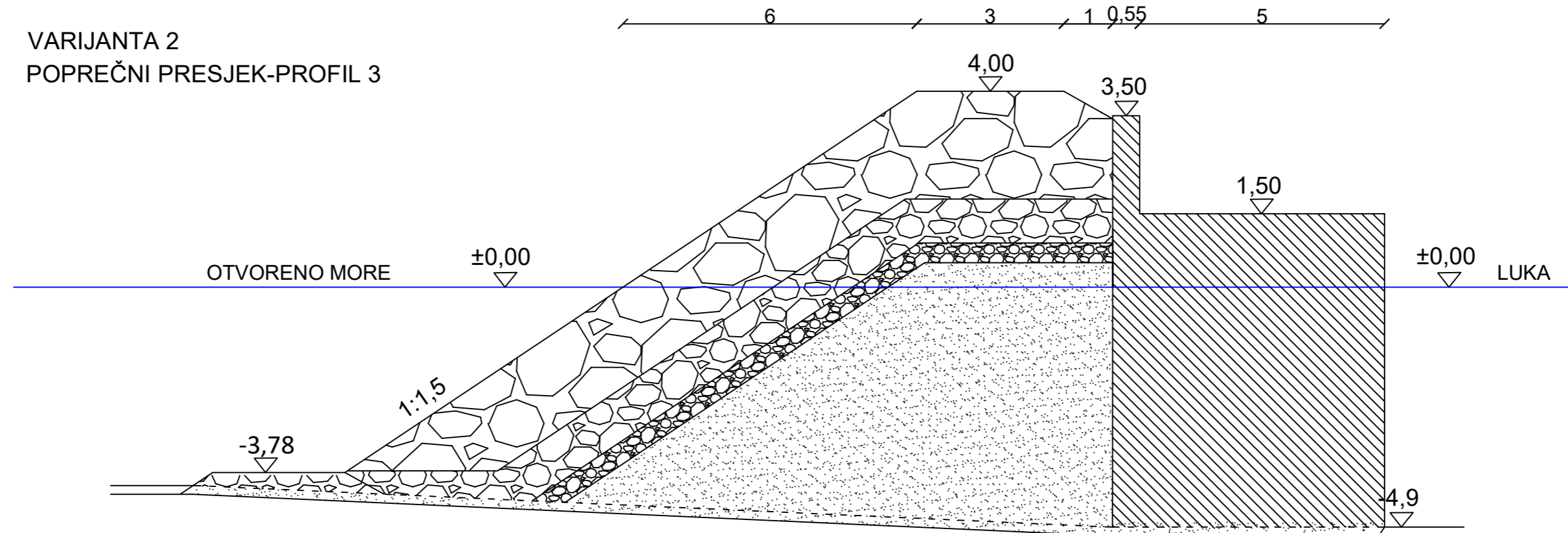



VARIJANTA 2  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 2



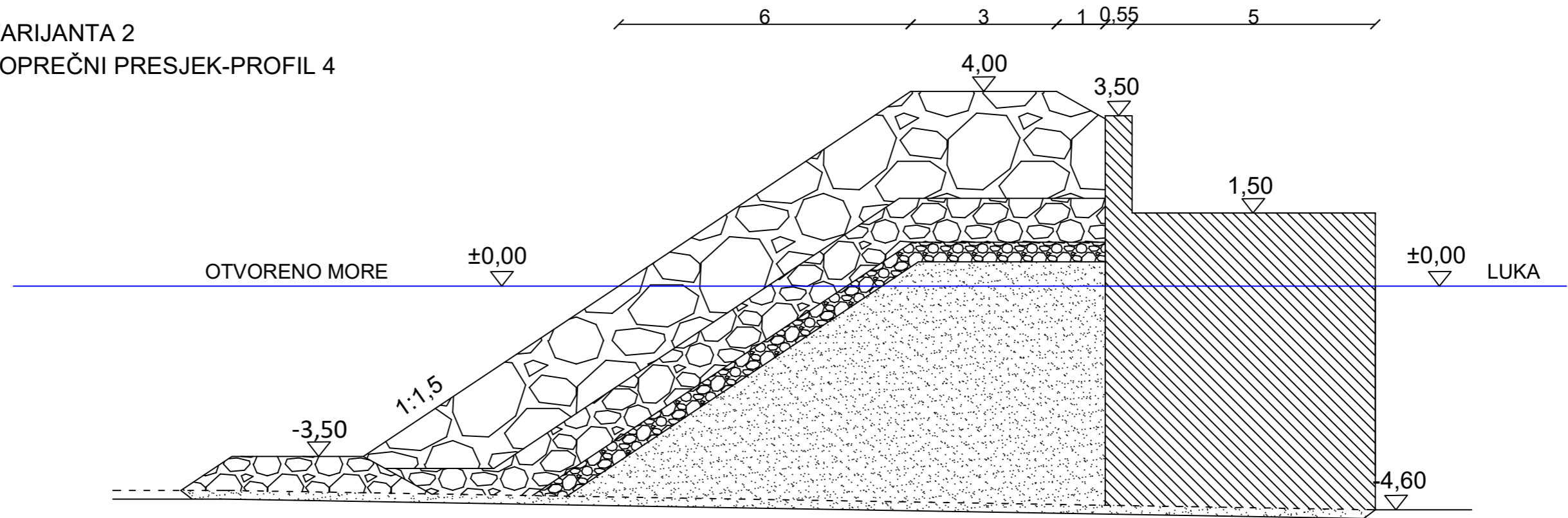
 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</b>			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 2 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 2	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad	Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:100	List: 9


VARIJANTA 2  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 3



 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</b>			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 2 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 3	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad	Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:100	List: 10

VARIJANTA 2  
POPREČNI PRESJEK-PROFIL 4



 <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</b>			
Diplomski rad: ANALIZA VARIJANTI UREĐENJA LUKE SAVUDRIJA		Sadržaj nacrt: VARIJANTA 2 POPREČNI PRESJEK-PROFIL 4	
Student: NINA BOŽAC		Kolegij: OBALNE GRAĐEVINE	
Mentor: doc.dr.sc. IGOR RUŽIĆ dipl.ing.grad		Datum: rujan, 2021	Mjerilo: 1:100
		List: 11	