

Idejni projekt obalnih građevina komunalne luke Pazdehova

Broznić, Gordan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:157:429041>

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](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Gordan Broznić

Idejni projekt obalnih građevina komunalne luke Pazdehova

Diplomski rad

Rijeka, 2020.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo
Hidrotehnika
Inženjerstvo obalnih građevina**

**Gordan Broznić
JMBAG: 0114028357**

Idejni projekt obalnih građevina komunalne luke Pazdehova

Diplomski rad

Rijeka, studeni 2020.

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Hidrotehnika

Tema diplomskog rada

IDEJNI PROJEKT OBALNIH GRAĐEVINA KOMUNALNE LUKE PAZDEHOVA

DESIGN OF COASTAL STRUCTURES FOR PAZDEHOVA MUNICIPAL PORT

Kandidat: **GORDAN BROZNIĆ**

Kolegij: **INŽENJERSTVO OBALNIH GRAĐEVINA**

Diplomski rad broj: **H-2020-19**

Zadatak:

U radu je potrebno obraditi teoretske osnove proračuna, dimenzioniranja i projektiranja obalnih građevina. Kao praktičan primjer potrebno je napraviti idejni obalnih građevina komunalne luke Pazdehova u Crikvenici sa svim pripadajućim proračunima i grafičkim priložima.

Sadržaj rada:

1. UVOD
2. PRIRODNE OSNOVE
3. METODOLOGIJA PRORAČUNA
4. POMORSKO HIDRAULIČKI PRORAČUN
5. PROJEKTNO RJEŠENJE
6. ZAKLJUČAK
7. LITERATURA
8. GRAFIČKI PRILOZI

Tema rada je uručena: 25. veljače 2020.

Mentor:

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

IZJAVA

Diplomski rad sam izradio 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.

Gordan Broznić

U Rijeci, 9. rujna 2020.

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Igoru Ružiću, dipl. ing. građ. na pruženoj pomoći i uloženom vremenu tijekom izrade ovoga rada, te na svim savjetima i pruženom znanju koje sam stekao tokom studiranja.

Također se želim zahvaliti projektantu tvrtke MareCon d.o.o. Ivanu Žigu, mag. ing. aedif. na pruženom vremenu i strpljenju, te korisnim uputama i sugestijama tokom izrade rada.

Na kraju, ponajviše se želim zahvatiti svojim roditeljima na silnoj potpori i motivaciji tijekom studiranja i obrazovanja uopće.

Idejni projekt obalnih građevina komunalne luke Pazdehova

Sažetak

U ovom diplomskom radu izrađen je idejni projekt komunalne luke Pazdehova koji se zasniva na izgradnji novog vertikalnog lukobrana. Njegovom izgradnjom želi se postići veći broj vezova i bolja zaštita od valova na lokaciji postojeće lučice.

U radu su prikazane prirodne osnove bitne za projektirane obalnih građevina, kao i detaljna metodologija proračuna prelijevanja i dimenzioniranja vertikalnih lukobrana.

Na temelju stečenih teorijskih znanja, određene su vrijednosti prelijevanja preko vertikalnog lukobrana, te njegove dimenzije po metodi Goda. Dobivene količine prelijevanja komparirane su s dopuštenim vrijednostima, kao i sa količinama na postojećem lukobranu u cilju procjene učinkovitosti.

Na kraju rada prikazano je početno i projektiranje stanje lučice, te poprečni i uzdužni presjeci vertikalnog i postojećeg lukobrana.

Ključne riječi: komunalna luka, vertikalni lukobran, prelijevanje, obalne građevine, Goda

Design of coastal structures for Pazdehova municipal port

Abstract

In this diploma thesis, a preliminary design of the municipal port of Pazdehovo was made, which is based on the construction of a new vertical breakwater. Its construction aims to achieve a greater number of berths and better protection against waves at the location of the existing port.

The paper presents the natural foundations important for the design of coastal structures, as well as a detailed methodology for calculating the overtopping and dimensioning of vertical breakwaters.

Based on the acquired theoretical knowledge, the values of overtopping over the vertical breakwater were determined, as well as the dimensions according to the Goda method. The obtained overtopping quantities were compared with the permissible values, as well as with the quantities on the existing breakwater in order to assess the efficiency.

At the end of the paper, the initial and design condition of the port, as well as the cross-sectional and longitudinal sections of the vertical and existing breakwater are presented.

Key words: municipal port, vertical breakwater, overtopping, coastal structures, Goda

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. Povijesni pregled	2
1.2. Pregled postojećeg stanja	3
1.3. Opis predloženih rješenja	7
2. PRIRODNE OSNOVE	9
2.1. Vjetar i oceanografske karakteristike	9
2.1.1. Vjetar	9
2.1.2. Valovi	12
2.1.3. Morske mijene	13
2.1.4. Morske struje	14
2.2. Geološka osnova	15
2.3. Okolišna opterećenja	17
2.3.1. Vjetar	17
2.3.2. Valovi	21
2.3.3. Morske mijene	24
2.3.4. Morske struje	25
3. METODOLOGIJA PRORAČUNA	26
3.1. Dimenzioniranje vertikalnog lukobrana	26
3.1.1. Metoda Sainflou	27
3.1.2. Metoda Goda	28
3.1.3. Metoda Minikin	31
3.2. Prelijevanje vertikalnog lukobrana	33
3.2.1. Prelijevanje preko jednostavnog vertikalnog zida	33
3.2.2. Prelijevanje preko kompozitnih vertikalnih zidova	39
3.2.3. Utjecaj valova koji nailaze pod kutom	42

3.2.4. Zidovi s povratnim valom	44
4. POMORSKO HIDRAULIČKI PRORAČUN	48
4.1. Prelijevanje vertikalnog lukobrana	48
4.1.1. Prelijevanje tijela vertikalnog lukobrana	50
4.1.2. Prelijevanje korijena vertikalnog lukobrana	52
4.2. Prelijevanje kombiniranog lukobrana	55
4.3. Dimenzioniranje vertikalnog lukobrana	57
4.3.1. Provjera stabilnosti lukobrana na klizanje i prevrtanje	62
4.3.2. Provjera reške lukobrana na klizanje i prevrtanje	64
4.3.3. Provjera naprezanja ispod stope temelja	69
4.3.4. Proračun zaštitnog kamenometa ispred zida	72
5. PROJEKTNO RJEŠENJE	75
6. ZAKLJUČAK	77
7. LITERATURA	79
8. GRAFIČKI PRILOZI	82

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Beaufortova ljestvica [9]	10
Tablica 2. Prosječna godišnja učestalost vjetra na Jadranu [22]	17
Tablica 3. Trajanja [h] neprekidnih olujnih vjetrova ($\geq 9bf$) na Jadranu po smjerovima [22]	18
Tablica 4. Tablica kontingencije smjera i jačine vjetra u %, Crikvenica, 1986.-2005. [7]	19
Tablica 5. Tablica kontigencije za anemografsku stanicu Rijeka – Omišalj (1971-1990) [7]	20
Tablica 6. Maksimalne srednje satne brzine vjetra za pojedine sektore vjetra i povratne periode od 2, 5, 50 i 100 godina, luka Pazdehova [7]	20
Tablica 7. Vrijednosti dubokovodne valne klime (značajne visina vala i period vala) za povratni period od 50 g., luka Pazdehova [izradio autor]	21
Tablica 8. Odabrani parametri za projektiranje [izradio autor]	24
Tablica 9. Pasoš obale za Pazdehovu [7]	25
Tablica 10. Proračun prelijevanja na tijelu lukobrana za smjer SSE [izradio autor]	51
Tablica 11. Proračun prelijevanja na tijelu lukobrana za smjer SW [izradio autor]	51
Tablica 12. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer SW gdje je visina valobranog zida +2,1 mn.m. [izradio autor]	53
Tablica 13. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer SW gdje je visina valobranog zida +1,3 mn.m. [izradio autor]	53
Tablica 14. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer NW gdje je visina valobranog zida +2,1 mn.m. [izradio autor]	54
Tablica 15. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer NW gdje je visina valobranog zida +1,3 mn.m. [izradio autor]	54
Tablica 16. Tablica koeficijenta hrapavosti, γ_f [28]	56
Tablica 17. Proračun prelijevanja za kombinirani lukobran [izradio autor]	56
Tablica 18. Pomoćne širine i visine za dimenzioniranje [izradio autor]	59

POPIS SLIKA:

Slika 1. Planirani izgled luke Pazdehova [2].....	2
Slika 2. Dramaljski toš prije nego što je turistička izgradnja preobrazila morski žal u kupališni prostor [4].....	3
Slika 3. Namjena prostora u lučici Pazdehova [5]	4
Slika 4. Stari porat [foto autor].....	5
Slika 5. Velika riva u lučici Pazdehova [foto autor].....	6
Slika 6. Obalni zid u lučici Pazdehova [foto autor]	6
Slika 7. Projektno rješenje lučice Pazdehova [2]	8
Slika 8. Vertikalni presjek kroz područje visokog i niskog tlaka s prikazom cirkulacije [9] ...	9
Slika 9. Vjetrovi na Jadranu [12]	10
Slika 10. Klasifikacija površinskih morskih valova prema primarnom generatoru [15]	12
Slika 11. Pasoš obale za Iku [9]	14
Slika 12. Morske struje u Jadranskom moru [19]	15
Slika 13. Uzdužni profil terena na lokaciji luke Pazdehova [20]	16
Slika 14. Poprečni profil terena na lokaciji luke Pazdehova [20].....	16
Slika 15. Čestina smjerova vjetra, postaja Crikvenica, 1986-2005 [7].....	19
Slika 16. Godišnja ruža vjetrova za Aerodrom Krk – Omišalj, razdoblje 1971-1990 [7].....	19
Slika 17. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer SSE, $T_s = 4,2$ s [7].....	22
Slika 18. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer SW, $T_s = 3,1$ s [7]	22
Slika 19. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer WSW - W, $T_s = 2,7$ s [7].....	23
Slika 20. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer NW, $T_s = 3,1$ s [7]	23
Slika 21. Distribucija valnih pritisaka po metodi Sainflou [26]	27
Slika 22. Prikaz valnih parametara reflektiranog vala [27].....	28
Slika 23. Distribucija valnih pritisaka po metodi Goda [26]	29
Slika 24. Vremenska promjena veličine tlaka na vertikalnom nepropusnom zidu za potpuni lom vala [27]	32
Slika 25. Raspodjela hidrodinamičkog i hidrostatičkog tlaka na vertikalnom zidu [27]	32
Slika 26. Rezultanta tlaka [27]	33
Slika 27. Jednostavni vertikalni zid [28].....	34

Slika 28. Usporedba srednje i projektne vrijednosti prelijevanja bez utjecajne obale [28]	35
Slika 29. Dijagram srednje i projektne vrijednosti prelijevanja za neimpulzivne uvjete [28]	37
Slika 30. Dijagram srednjeg prelijevanja jednostavnih vertikalnih zidova pri impulzivnim uvjetima [28].....	38
Slika 31. Kompozitni vertikalni zid [28]	40
Slika 32. Prikaz ključnih parametara na zidu s povratnim valom [28].....	44
Slika 33. Parapetni zid na vrhu kesonskog lukobrana [28].....	45
Slika 34. Dijagram koji opisuje tri režima učinkovitosti zida s povratnim valom [28].....	46
Slika 35. Dijagram sa smjernicama za određivanje prelijevanja uz prisustvo zida s povratnim valom [28].....	47
Slika 36. Situacija lučice s označenim profilima na kojima se analizira prelijevanje [2]	48
Slika 37. Poprečni profil tijela vertikalnog lukobrana [izradio autor].....	50
Slika 38. Kut nailaska značajnog vala iz smjera SSE u odnosu na korijen lukobrana [7]	52
Slika 39. Poprečni profil korijena vertikalnog lukobrana [izradio autor]	52
Slika 40. Poprečni presjek kombiniranog lukobrana [izradio autor]	55
Slika 41. Skica poprečnog presjeka vertikalnog lukobrana [izradio autor]	57
Slika 42. Skica dijagrama opterećenja na vertikalni zid [izradio autor].....	60
Slika 43. Skica dijagrama opterećenja za rešku lukobrana [izradio autor].....	65
Slika 44. Skica opterećenja i veličina bitnih za proračun naprezanja ispod temeljne stope [izradio autor]	69
Slika 45. Broj stabilnosti N_s^3 za zaštitni i temeljni kameni nasip te nožicu nasipa [29].....	73

1.UVOD

Luka Pazdehova nalazi se u Dramlju, turističkom naselju sjeverno od Crikvenice. Zbog vrlo povoljne klime i velikog broja plaža s čistim morem, spomenuta lokacija je veoma atraktivna stranim, a i domaćim turistima. Sredinom dvadesetog stoljeća počeo je rasti trend broja gostiju što je rezultiralo značajnim širenjem lokaliteta, a najviše u vidu izgradnje stambenih i uslužnih objekata. Nažalost, ovakav trend nije pratio razvoj javne infrastrukture gdje se javlja očiti problem nedostatka parkirnih mjesta, te adekvatnih pristupa do plaža i objekata uz more. Uz spomenute nedostatke, na području Crikveničke rivijere javlja se još jedan bitan problem, a to je nedostatak brodskih vezova. Liste čekanja za njih su jako duge, te su ljudi primorani tražiti alternativna rješenja. Jedan od takvih su ilegalni vezovi koji se protežu duž cijele rivijere. Najčešće se pozicioniraju u blizini plaža i kao takvi stvaraju ekološke i sigurnosne probleme na okolinu [1].

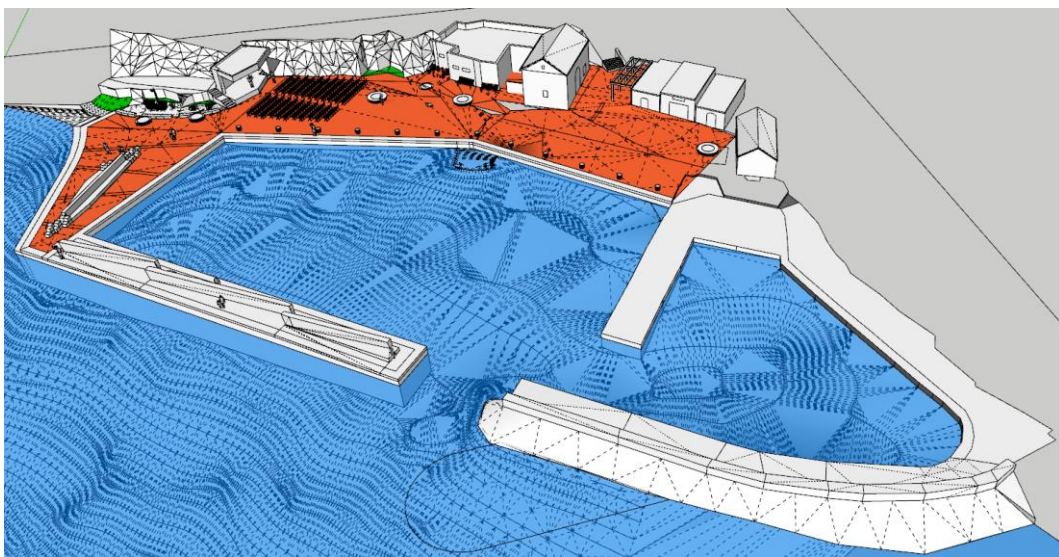
Zbog velike potražnje za privezištima na području Dramlja i Crikveničke rivijere, planira se proširenje komunalne luke Pazdehova izgradnjom novog, vertikalnog lukobrana. Njegovom izgradnjom postići će se 40 novih vezova za brodice I. i II. kategorije, što bi povećalo ukupni kapacitet luke na 94 privezišta (trenutno 54). U sklopu izgradnje uredit će se i lučki prostor, koji će postati kvalitetni javni prostor, te će se lokacija moći koristiti za manje javne manifestacije.

U ovom radu provedene su analize prelijevanja na tijelu i korijenu budućeg lukobrana, te su dobiveni rezultati uspoređeni s vrijednostima za postojeći kombinirani lukobran (koje su također proračunate). Osim toga, provedeno je dimenzioniranje vertikalnog lukobrana vodeći računa da provjere na prevrtanje, klizanje i naprezanje ispod temeljne stope budu zadovoljene. Kako ne bi došlo do oštećenja temeljnog nasipa i nožice zida napravljen je proračun zaštitnog kamenometa.

Za bolje razumijevanje spomenutih proračuna, u radu je opisan detaljan postupak određivanja prelijevanja i dimenzioniranja vertikalnog lukobrana (poglavlje 3.). Naime, da bi se navedene analize uopće mogle odviti, potrebno je odrediti čimbenike bitne za projektiranje. Za izradu obalnih građevina to su vjetar, valovi, morske mijene i struje.

Njihove teoretske osnove, te način odabira mjerodavnih vrijednosti prikazani su u poglavlju 2.

Važno je napomenuti da su prilikom izrade ovog rada ulazni podaci za projektiranje preuzeti iz vjetrovalne studije izrađene za spomenutu lokaciju. Osim njih, u studiji je određena optimalna pozicija lukobrana, na temelju kojeg je izrađeno urbanističko-arhitektonsko rješenje (Slika 1.) od strane Urbanističkog studija Rijeka d.o.o. i na koje će se također ovaj rad vezati.



Slika 1. Planirani izgled luke Pazdehova [2]

1.1. Povijesni pregled

O samom postanku naselja nema puno pisanih tragova, ali smatra se da je nastalo u 6. ili 7. stoljeću [3]. Ime je dobilo po tadašnjoj grčkoj mjeri za težinu „dram“, dok je nastavak „-alj“ došao s Hrvatima koji su naselili ovo područje u 8. stoljeću [4].

Najstariji stanovnici ovog područja bili su Liburni, vješti brodograditelji, moreplovci, ali i gusari. Gradili su svoje naseobine u priobalju, čiji tragovi su pronađeni u uvali Lokvišća u Jadranovu.

Značajniji razvoj Dramlja krenuo je izgradnjom rimske državne ceste koja je povezivala antičke gradove Akvileju i Seniju. Put koji je vodio preko crikveničkog područja nosio je sa sobom brojne romanske utjecaje i jačao trgovinu. Tome svjedoče pronađene amfore na rtu Kačjak koje ukazuju na postojanje luke, trgovine vinom i maslinovim uljem u to vrijeme. Vrhunac maslinarstva dogodio se u 19. stoljeću, kada je i izgrađen mlin za masline-toš (Slika 2.) na području lučice Pazdehova. On se i danas nalazi u kamenoj prizemnici na području spomenute lučice i predstavlja uz nekoliko starih ribarskih kućica vrijednu kulturnu baštinu Dramlja [4].



Slika 2. Dramaljski toš prije nego što je turistička izgradnja preobrazila morski žal u kupališni prostor [4]

1.2. Pregled postojećeg stanja

Kao što je već spomenuto lučica Pazdehova se nalazi u Dramlju, točnije na pola puta između Crnog mola i rta Kačjak koji definiraju granice naselja. Pristup lučici se odvija preko uske obalne šetnice koja se nastavlja na asfaltiranu cestu iz smjera Gajevog šetališta. Zbog prisutnosti nekoliko plaža i restorana uz lučicu, u ljetnim mjesecima može doći do otežanog pristupa.

Lučica Pazdehova se sastoji od tri međusobno povezana dijela: starog porta, obalnog zida i velike rive. Najduži među njima je stari porat. Na njega se nastavlja obalni zid sve do velike

rive, koja se smatra najjužnijim dijelom lučice. Između nje i starog porta, a paralelno s obalnim zidom nalazi se sidrište (Slika 3.), ukupnog kapaciteta od 4 privezna mjesta [5].



Slika 3. Namjena prostora u lučici Pazdehova [5]

Stari porat služi kao komunalni dio luke, a sastoji se od male rive, obalnog zida i lukobrana u zajedničkoj dužini od 118 metara. Unutar porta omogućen je privez brodica I. i II. kategorije (do 6 metara) s okomitim pozicioniranjem na obalu (mediteranski način priveza). Zbog želje za ostvarenjem što većeg broja vezova, standardi poput rasporeda i dimenzija priveznih mjesta, te širine ulaska u lučicu nisu zadovoljeni. Lučicu većinom koristi lokalno stanovništvo, čije vještine na moru omogućuju funkcioniranje u takvim lučicama. Sadašnje stanje ne dozvoljava nabavu novijih plovila, većeg standarda, a time i većih dimenzija.

Na sjeveru starog porta nalazi se mala riva širine 4,5 m i dužine 25 m. Izvedena je kao armirano betonska obala na koti +0,70 m n.m. s ciljem postizanja bolje zaštićenosti lučice i omogućavanja većeg broja priveza. Dubine mora oko nje se kreću od minimalnih 0,5 m na korijenu do 2 m pri čelu rive. S njezine jugoistočne strane pruža se obalni zid s istezalištem,

dužine oko 35 m i širine od 4 do 6 m ovisno o dijelu. Kao i mala riva, obalni zid je izveden od armiranog betona i služi za privez plovila. Dubine na tom potezu su oko -0,80 m p.m. Na južnoj strani porta nalazi se lukobran zaobljenog oblika koji se pruža u smjeru istok-zapad. Izveden je kao kameni suhozid s betoniranom hodnom površinom u koju je utisnut pločasti kamen. Lukobran je duljine oko 45 m i širine 6 m. Visina hodne površine iznosi 0,8 m n.m. na korijenu, dok se prema čelu smanjuje na 0,5 m n.m. S morske strane je izveden valobrani zid zaštićen školjerom. Njegova visina se kreće od 1,8 m n.m. na korijenu do 1,5 m n.m. na čelu, što za vrijeme jačeg juga dovodi do prelijevanja valova.



Slika 4. Stari porat [foto autor]

Već je spomenuto da se na samom jugu luke nalazi velika riva. Ona služi kao operativna obala duljine 28 m i širine 7m, s kapacitetom od 2 plovila [5]. Izgrađena je kao kameni suhozid s betoniranom hodnom površinom u koju je utisnut pločasti kamen. Na južnoj strani podignut je valobrani zid kao zaštita od juga. Njegova kruna nalazi se na 2,5 m n.m. što pruža djelomičnu zaštitu od prelijevanja u odnosu na ostatak rive koja se nalazi na 1,25 m n.m. Dubine mora oko rive se kreću od oko pola metra na korijenu do 4,5 m pri čelu.



Slika 5. Velika riva u lučici Pazdehova [foto autor]

Godine 2016. dograđen je obalni zid koji povezuje stari porat i veliku rivu. Cilj je bio omogućiti veći broj vezova (10 novih vezova; sada ukupno 18) i sanirati derutni pješački i kolni pristup do starog porta [6]. Uz korijen velike rive izvedeno je istezalište. Dubine mora na ovom potezu su od 1,5 do 2,0 m, a obalni rub je podignut na 1,25 m n.m. kao i velika riva.



Slika 6. Obalni zid u lučici Pazdehova [foto autor]

1.3. Opis predloženih rješenja

Na lokaciji postojeće lučice Pazdehova planira se izgradnja novog, zapadnog vertikalnog lukobrana s ciljem postizanja bolje zaštite od valova i ostvarivanja većeg broja komunalnih vezova. Za tu svrhu predložena su tri varijantna rješenja.

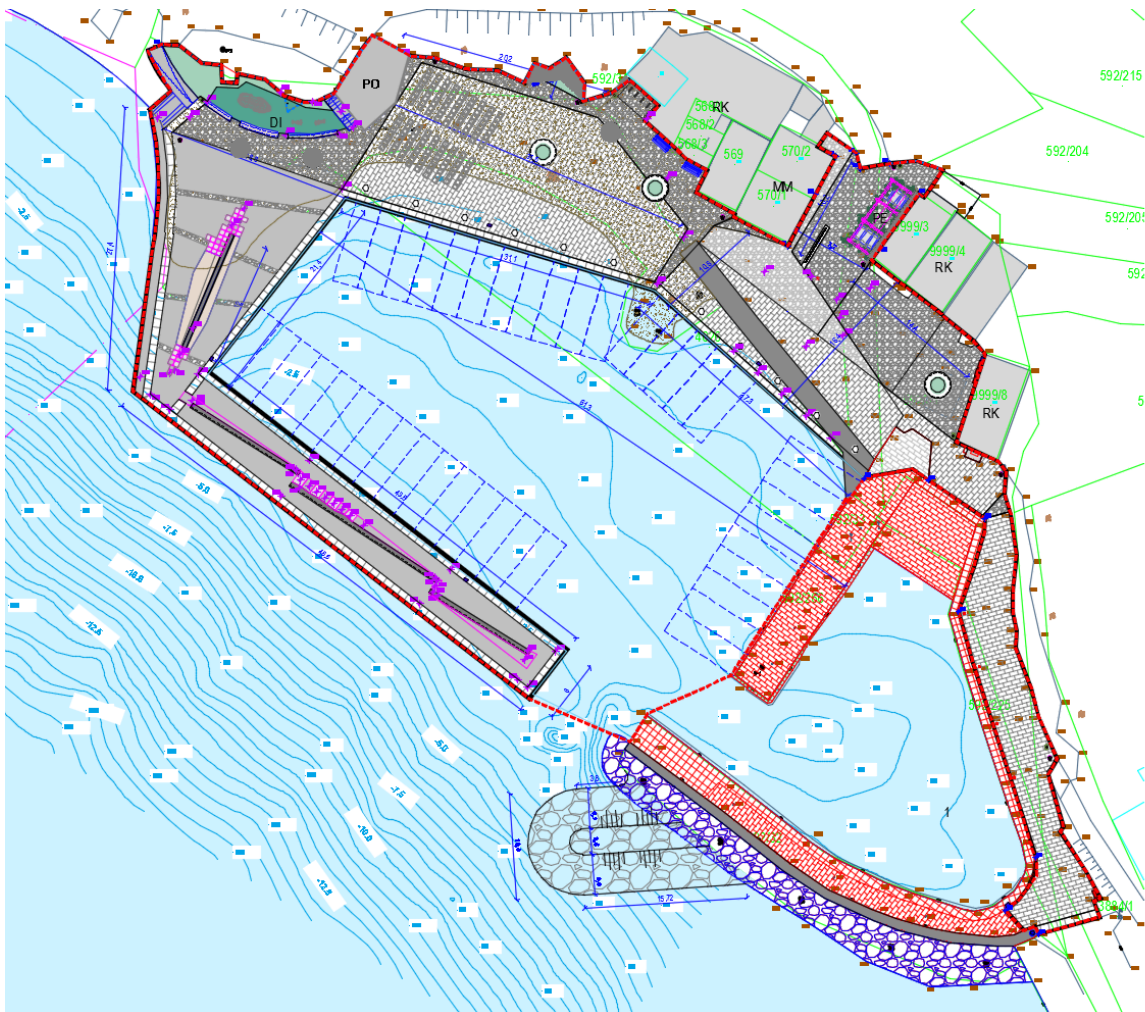
Prvo varijantno rješenje se zasniva na produžetku postojećeg istočnog lukobrana s lučkim ulazom između njegovog čela i obale. Premda ovo rješenje pruža odličnu zaštitu luke od valova, ono investitoru nije prihvatljivo jer bi se manevar na privez i odvoz dešavao po cijeloj dužini uske lučice. Drugo rješenje se zasniva na izvedbi zapadnog lukobrana dalje od obale i s preklopom lučkog otvora uz istočni lukobran. Zbog dubine mora koja se ispred lučice strmo povećava, eksponencijalno se povećavaju i troškovi izgradnje. Uzimajući u obzir namjenu (komunalni vezovi) i broj plovila u luci, ovo ekonomski nije isplativo rješenje [7].

Kako spomenuta rješenja ne zadovoljavaju sve potrebne uvjete, preostalo je naći rješenje sa centralnim ulazom, između oba lukobrana koji su u liniji. Nedostatak ove varijante je što valovi juga i lebića, ali i od ponenta i bure (koji se reflektiraju od otoka Krka) ulaze u luku kroz lučki otvor i odbijaju se od vertikalnih obalnih zidova unutar lučice. Iz tog razloga provedene su numeričke simulacije s kojima se pokušalo saznati koliko bi pomogao dodatak kamene obalozaštite (školjere) na čelu istočnog lukobrana. Simulirane su varijante bez, s kraćim i dužim nastavkom za mjerodavne valove SSE i SW povratnog perioda od 50 godina. Ustanovljeno je da dodatak školjere smanjuje značajne valove juga za desetak centimetara, ali ne i valove lebića (zbog direktnog propagiranja kroz lučki otvor). Racionalno bi bilo rješenje s manjim, nasutim dodatkom. Pokušalo se i sa smanjenjem refleksije valova na srednjem dijelu obalnog zida (rješenje s kesonima), ali je i to dalo za rezultat znatno povećani trošak izgradnje obalnog zida, a malo smanjenje visine valova ispred [7].

Na temelju numeričkih simulacija odabrana je varijanta luke s centralnim ulazom, gdje će se izvesti novi, zapadni vertikalni lukobran, produžetak obalnog zida i kamena školjera (kraća) na postojećem istočnom lukobranu (Slika 7.). Zbog potrebe za vezanjem brodica na vanjskoj strani lukobrana, izvan zaštićenog dijela luke nužno je da novi lukobran bude

vertikalno. Također, na njemu je potrebno podignuti valobrani zid kako ne bi došlo do značajnog prelijevanja valova preko konstrukcije.

Zbog opsega i ograničenog vremenskog roka, nastavak rada će se baviti samo novim vertikalnim lukobranom bez analiziranja/dimenzioniranja obalnog zida i kamene školjere.



Slika 7. Projektno rješenje lučice Pazdehova [2]

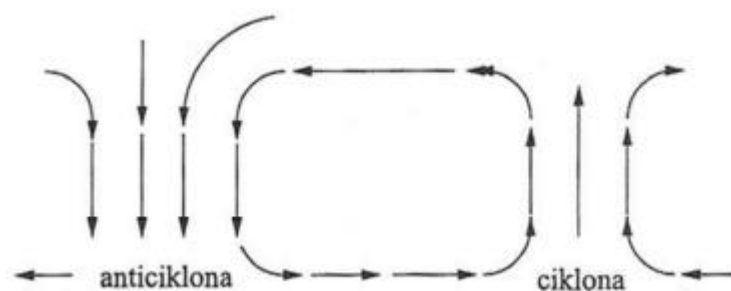
2. PRIRODNE OSNOVE

U ovom poglavlju prikazane su prirodne osnove bitne za planiranje i projektiranje obalnih građevina (lukobrana, kejova, obaloutvrda). Naime, detaljnije poznavanje takvih utjecaja je iznimno važno kako bi građevina zadovoljavala s funkcionalnog, ekološkog i ekonomskog aspekta. Kao prirodne osnove bitne za planiranje i projektiranje smatraju se meteorološki (vjetar), oceanografski (valovi, morske struje i mijene) i geološki podaci. Njihova teorijska osnova, te postupak odabira mjerodavnih vrijednosti opisan je u nastavku rada [8].

2.1. Vjetar i oceanografske karakteristike

2.1.1. Vjetar

Vjetar je vodoravno gibanje zraka u atmosferi, određeno smjerom i brzinom. Njegov postanak usko je vezan uz više čimbenika poput: razlike tlaka između dvaju područja, Zemljine rotacije, Coriolisove i centrifugalne sile, te sile trenja s podlogom. Vjetar puše iz područja visokog u područje niskog tlaka zraka (Slika 8.), a zbog Coriolisove sile i sile trenja smjer puhanja nije okomit na izobare već s njima zatvara određeni kut [9]. U uvjetima velikih razlika tlaka (uragani i tropske ciklone), brzina vjetra može dosegnuti vrijednosti od nekoliko stotina kilometara na sat i prouzročiti velika razaranja [10].



Slika 8. Vertikalni presjek kroz područje visokog i niskog tlaka s prikazom cirkulacije [9]

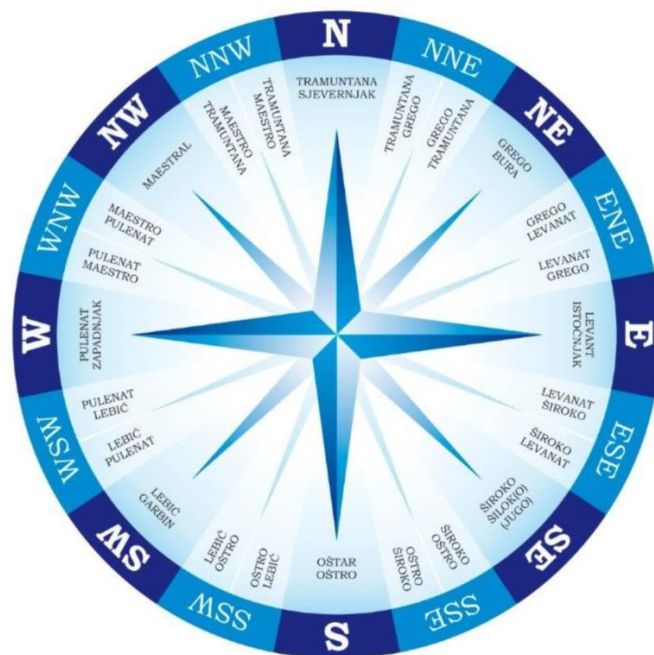
Brzina vjetra mjeri se anemometrom ili se pomoću Beaufortove ljestvice (Tablica 1.) procjenjuje učinak vjetra na okoliš. Ljestvica je podijeljena u 13 stupnjeva (0 do 12), a

primjenjuje se od 1874. g. kada je međunarodno prihvaćena. Naknadno je proširena na 17 stupnjeva, ali kao takva se koristi samo u posebnim slučajevima (Kina i Japan) [11].

Tablica 1. Beaufortova ljestvica [9]

Jačina (Bf)	Naziv	Brzina			Maks. visina vala (m)	
		km/h	m/s	čvor	unutarje more blizu obale	otvoreno more
0	Tišina	<1	0 - 0,2	<1	---	---
1	Lahor	1 - 5	0,3 - 1,5	1 - 3	0,1	0,1
2	Povjetarac	6 - 11	1,6 - 3,3	4 - 6	0,2	0,3
3	Slab vjetar	12 - 19	3,4 - 5,4	7 - 10	0,6	1
4	Umjeren vjetar	20 - 28	5,5 - 7,9	11 - 16	1	1,5
5	Umjeren jak vjetar	29 - 38	8,0 - 10,7	17 - 21	2	2,5
6	Jak vjetar	39 - 49	10,8 - 13,8	22 - 27	3	4
7	Žestok vjetar	50 - 61	13,9 - 17,1	28 - 33	4	5,5
8	Olujni vjetar	62 - 74	17,2 - 20,7	34 - 40	5,5	7,5
9	Jak olujni vjetar	75 - 88	20,8 - 24,4	41 - 47	7	10
10	Orkanski vjetar	89 - 102	24,5 - 28,4	48 - 55	9	12,5
11	Jak orkanski vjetar	103 - 117	28,5 - 32,6	56 - 63	11,5	16
12	Orkan	>118	>32,7	>64	14	---

Smjer djelovanja vjetra određuje se vjetrokazom, a izražen je u stupnjevima azimuta. Grafički prikaz smjera i brzine puhanja vjetra za neku lokaciju naziva se ruža vjetrova. Ona se na Jadranu sastoji od osam vjetrova (Slika 9.): tramontane, bure, levanta, juga, oštra, garbina, pulenata i maestrale čije su karakteristike opisane u nastavku [9].



Slika 9. Vjetrovi na Jadranu [12]

Tramontana je prohladan vjetar umjerene jakosti koji puše iz smjera sjevera. Najčešće traje oko dan, dan i pol, a njegova pojava je vjesnik proljepšanja vremena [13].

Bura je najpoznatiji i najopasniji vjetar na Jadranu, sjeveroistočnog je smjera i puše na mahove ili refule. Nastaje prelijevanjem hladnog vjetra preko hrptova primorskih planina koji se zbog težine hladnog zraka spušta velikom brzinom na pomorsku površinu [9]. Češće se pojavljuje na sjevernom Jadranu gdje može puhati i po nekoliko dana, a uz prekide i do 3 tjedna [14].

Levant ili levanat je kratkotrajan, hladan i vlažan istočni vjetar koji zimi donosi oblačno vrijeme s oborinama [14]. Prema smjeru djelovanja može se naslutiti da je to prijelazni vjetar između bure i juga čija je obilježja i poprimio (hladan je kao bura, ali bez refula što ga čini nalik jugu) [9].

Jugo je topao i vlažan vjetar jugoistočnoga do južnoga smjera. Vrlo često donosi obilne kiše i uzrokuje visoke valove [9]. Uglavnom puše ravnomjernom brzinom od 6 do 11 m/s, no katkada doseže i orkansku jačinu od 30 m/s. Zimi jugo može potrajati i do 10 dana, a uz manje prekide i do tri tjedna. Ljeti ne traje dulje od tri dana [14].

Oštro je topao i vlažan južni vjetar, kratkog trajanja i velike jačine. Većinom puše na otvorenom moru i obično se javlja kao prijelazna faza između juga i lebića [14].

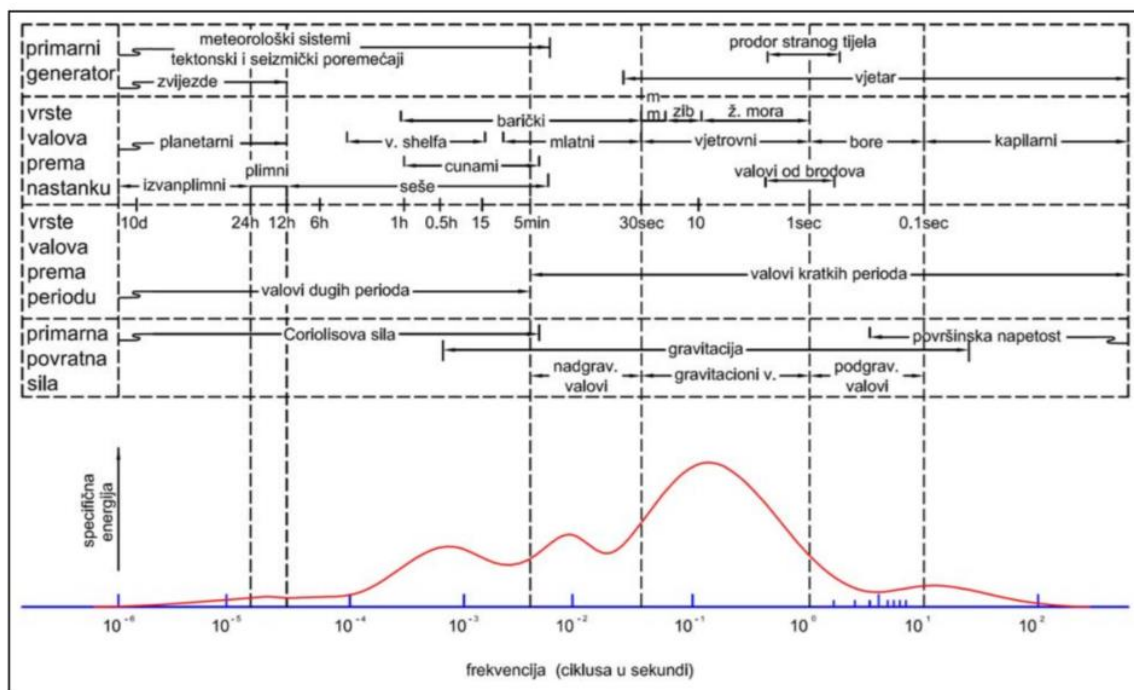
Garbin ili lebić je olujni jugozapadni vjetar koji donosi obilne oborine, uzburkano more i slabu vidljivost. U pravilu ne traje više od jednog do dva dana, a ljeti i znatno kraće [9]. Puše okomito na obalu i stvara vrlo visoke valove koji mogu uzrokovati poplavljanje okolnog područja [14].

Pulenat je zapadni vjetar velike jačine (do 12 bf). Pojavljuje se iznenadno i rijetko, a svojom pojavom donosi kratkotrajnu i obilnu kišu. Češće se javlja na sjevernom nego na srednjem i južnom Jadranu [9].

Maestral je vlažni ljetni vjetar koji puše iz zapadnog ili sjeverozapadnog smjera. Ljeti se pojavljuje svakodnevno između 8 i 18 sati, a najveću brzinu doseže oko 14 sati. Pojava maestrala prati lijepo vrijeme, smanjuje ljetnu sparinu i pogodna je za jedrenje [14].

2.1.2. Valovi

Morski valovi su proces periodičke deformacije površine mora koja nastaje zbog djelovanja vjetra, struja, plime, podmorskih potresa i odrona tla (Slika 10.) [15]. Od spomenutih uzroka većina valova, koji opterećuju pomorske konstrukcije, nastaje pod djelovanjem vjetra. Visina tako generiranih valova ovisit će o površini privjetrišta, te jačini i trajanju vjetra, gdje će isti vjetar na većoj vodenoj površini uzrokovati puno veće valove, nego na onoj manjoj [9].



Slika 10. Klasifikacija površinskih morskih valova prema primarnom generatoru [15]

Morski valovi se opisuju pomoću valnog profila i gibanja vodnih čestica koristeći deterministički, statistički i spektralni opis.

Deterministički opis valova koristi se za pravilne dvodimenzionalne valove s konstantnim parametrima valnog profila. Takvi valovi se zbog svoje pravilnosti nazivaju idealnima. U prirodi ih vrlo rijetko nalazimo, a djelomično im se približavaju valovi mrtvog mora [15].

Statistički opis prikazuje realne, nepravilne, trodimenzionalne valove na jednoj geografskoj točki za neko kratkoročno stacionarno stanje mora (10 min. do nekoliko sati), reprezentativnim parametrima valnog profila koji su za to stanje konstantni. Za ovakav opis koristi se vizualno opažanje ili valni zapis [15].

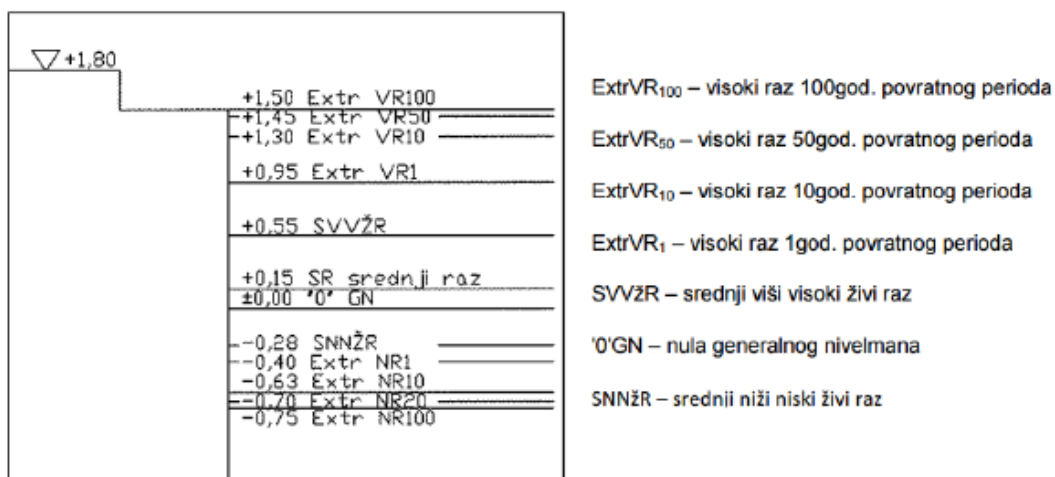
Spektralni se opis kao i statistički koristi za prikaz kratkoročnog stacionarnog stanja realnih valova, ali u ovom slučaju sredstvo spektralnog opisa je matematičko (funkcija spektralne gustoće koja se često naziva valni spektar) [15].

2.1.3. Morske mijene

Morske mijene su naizmjenično dizanje (plima) i spuštanje (oseka) površine mora radi djelovanja gravitacijske sile između Zemlje, Mjeseca i Sunca. Odražavaju se kao horizontalna premještanja vodenih masa i vertikalna gibanja morskih razina. Uz valove i morske struje spadaju u jedine prirodne pokretače vodenih površina [16].

Hrvatska morska obala nalazi se u području malih plima i oseka, gdje je najveći raspon između plime i oseke 1 metar. Iako takvi uvjeti ne utječu previše na život ljudi, pokazalo se da u razdobljima velikih plima i uz posebne vremenske uvjete (niski tlak zraka te jak južni vjetar) dolazi do formiranja obalnog uspora što može uzrokovati probleme na područjima gdje je obalna razina niža od razine plimnog vala [16].

Za uspješno projektiranje obalnih građevina nužno je poznavanje ekstremnih morskih razina. One se prikazuju pasošom obale (Slika 11.), a odnose se na nivoe fizičke površine mora koje su u relaciji s nekom referentnom ravninom [15].

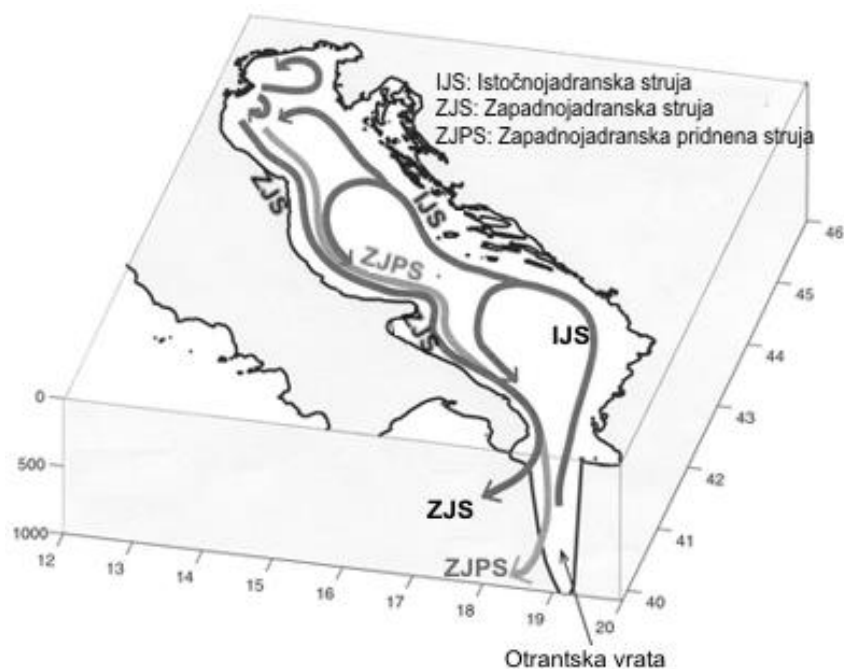


Slika 11. Pasoš obale za Iku [9]

2.1.4. Morske struje

Morske struje predstavljaju horizontalno kretanje morske vode koju karakteriziraju male brzine i pokreti velikih morskih masa. One nastaju zbog različitih vanjskih i unutrašnjih sila, morskih mijena, vjetra i sl. [pred] Osnovni elementi su: smjer (označava se prema točki horizonta prema kojoj struja teče), brzina (izražava se u čvorovima ili m/s) i stalnost (odnosi se na promjene brzine i smjera, a izražava se u postocima) [17].

Morske struje koje nalazimo u Jadranskom moru dio su sustava sredozemnih morskih struja. Njihovo kretanje je uvjetovano Zemljinom rotacijom i odvija se u smjeru obrnutom od kazaljke na satu (Slika 12.). Budući da je Sredozemlje relativno zatvoreno more, morske struje su u svim njegovim dijelovima, pa tako i u Jadranu razmjerno slabe. Slabljenju struje, također pogoduju brojni hrvatski otoci što rezultira slabijim strujanjem uz hrvatsku, nego uz talijansku obalu [18].



Slika 12. Morske struje u Jadranskom moru [19]

2.2. Geološka osnova

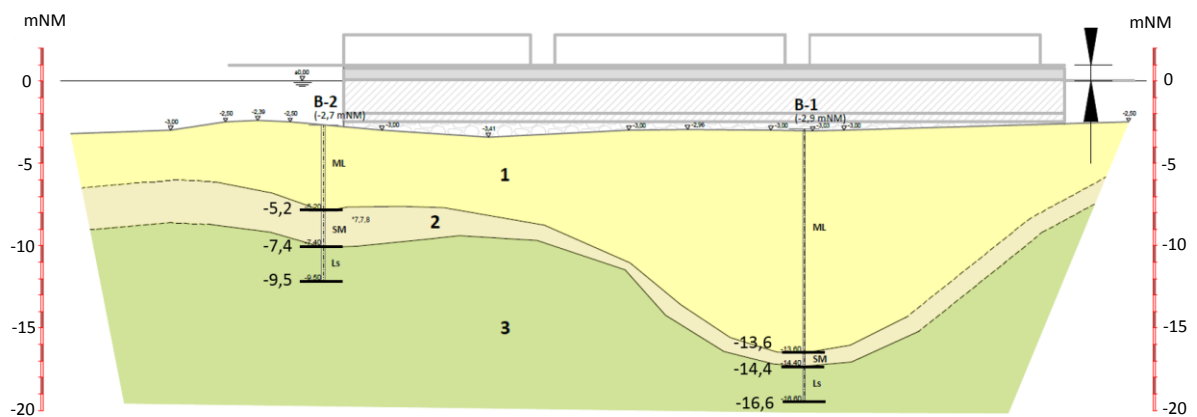
Za potrebu izrade projekta novog, zapadnog vertikalnog lukobrana u luci Pazdehova izvršeni su geotehnički istražni radovi. Sastojali su se od geofizičkog profiliranja (seizmička refrakcija) i istražnog bušenja (dvije bušotine s dubinom od prilike 10 m, a minimalno 2 m u kvalitetnu stijensku podlogu). Istraživanje je provedeno u dvije faze. U prvoj fazi je provedeno geofizičko profiliranje na temelju kojih su se odredile pozicije istražnih bušotina, a u drugoj fazi je provedeno istražno bušenje. S obzirom na određena odstupanja u rezultatima istražnog bušenja i geofizičkog profiliranja, provedeno je dodatno geofizičko profiliranje radi kvalitetnije interpretacije rezultata [20].

Na temelju provedenih istraživanja utvrđene su tri karakteristične geotehničke sredine (Slike 13. i 14.) u građi osnovnog terena [20]:

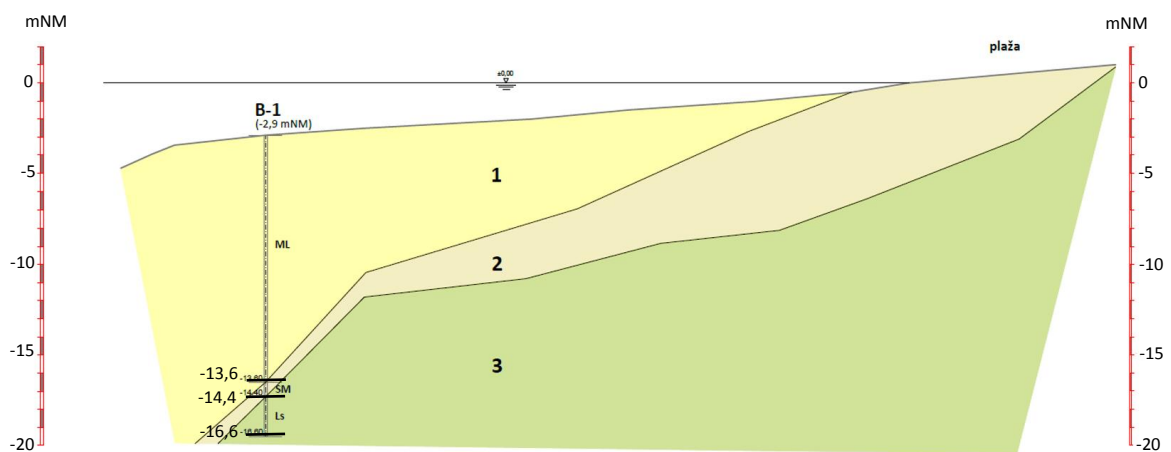
- geotehnička sredina 1 – gornji dio marinskog sedimenta, registriran je od dna mora do dubina 5,2 do 13,6 m. Sastoji se od praha, praha s pijeskom, rjeđe od glinovitog praha (ML, CL-ML), tamno sive boje, niske plastičnosti, žitke konzistencije.
- geotehnička sredina 2 – donji dio marinskog sedimenta, registriran je na obje bušotine ispod prve geotehničke sredine. Registrirana debljina mu je od 0,8 do 2,2

m. Sastoji se od prahovitog pijeska (SM), rastresitog do srednje zbijenog, tamno sive boje. Pijesak je sitno do srednje zrnast.

- geotehnička sredina 3 – ispod morskog sedimenta se prostire treća geotehnička sredina. Izgrađena je od karbonatne stijene, vapnenca, eocenske starosti. Ovaj je član registriran do krajnje dubine istraživanja (9,5 i 16,6 m). Stijenska masa pripada skupini čvrstih stijena sedimentnog porijekla, raspucana je i okršena u gornjem dijelu.



Slika 13. Uzdužni profil terena na lokaciji luke Pazdehova [20]



Slika 14. Poprečni profil terena na lokaciji luke Pazdehova [20]

S obzirom na dubinu nosivog tla na spomenutoj lokaciji, temeljenje će predstavljati veoma složen zadatak. Predloženo rješenje u ovakvim situacijama je kombinacija plitkog i dubokog temeljenja. U ovom radu zbog vremenskog okvira i opsega diplomskog rada, te (ne)dostupnosti rezultata ispitivanja tijekom izrade, prilikom dimenzioniranja će se

pretpostaviti da je temeljno tlo dobro tj. da se zadani objekt temeljni na kamenom nabačaju.

2.3. Okolišna opterećenja

2.3.1. Vjetar

Korištenjem meteoroloških podataka zabilježenih na najbližim meteorološkim postajama: Crikvenica (klimatološka meteorološka postaja; automatska anemografska postaja) i Aerodrom Krk (automatska anemografska postaja), izrađena je vjetrovalna studija za luku otvorenu javnom prometu lokalnog značaja Pazdehova.

Vjetar se može opisati pomoću smjera i brzine čije vrijednosti ovise o polju tlaka, reljefu, vrsti podloge, razvedenosti obalne linije, dobu dana i godine i sl. Prikaz klimatskih podataka o vjetru obično se prikazuje preko ruže smjera i brzine vjetra. Za ružu smjera vjetra potrebno je iskazati čestinu pojave pojedinog smjera u postotku ukupne čestine svih smjerova i tišina. Srednje brzine puhanja vjetra iz svakog pojedinog smjera predstavljene su ružom brzine vjetra [7]. Vrlo jaki (8 bf) i olujni vjetrovi (≥ 9 bf) na Kvarneru su vrlo rijetki. Vjerojatnost njihove pojave se kreće od 1 do 3%, a najčešće se javljaju iz NE i SE smjera (Tablica 2.) [21].

Tablica 2. Prosječna godišnja učestalost vjetra na Jadranu [22]

		SMJER VJETRA								
J A Č I N A V J E T R A		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	jačina [%]
	C									10,2
	1-2bf	1,4	0,5	0,6	0,5	1,4	1,8	1,8	2,6	10,6
	3bf	2,4	1,7	1,7	1,2	2,2	1,5	2,2	8	20,9
	4bf	4,1	1,5	2,6	2,4	2,6	1,4	2,8	6	23,4
	5bf	1,4	3,4	1,4	2,9	3,4	0,9	0,7	3,9	18,0
	6bf	0,3	2,2	0,7	3,6	1,2	0,3	0,8	0,7	9,8
	7bf	0,5	1,4	0,5	1,7	0,3	0,3	0,2	0,3	5,2
	8bf	0,2	0,2		1	0,2				1,6
	≥ 9 bf									0,3
Smjer [%]	10,3	10,9	7,5	13,3	11,3	6,2	8,5	21,5	100,0	

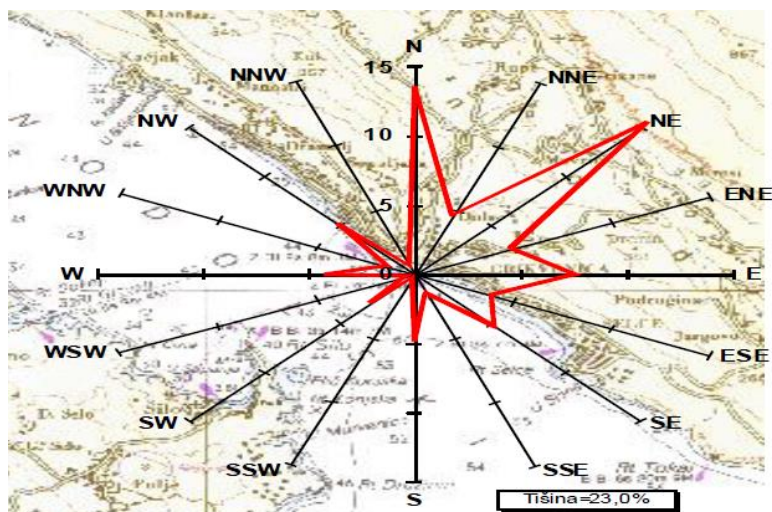
Bitan čimbenik u procesu valne generacije je neprekidno trajanje vjetra. Na Jadranu su najtrajnije olujni vjetrovi (≥ 9 bf) iz I. i II. kvadranta, od kojih pojedini traju nekoliko desetaka sati pa sve do bure i juga čija trajanja prelaze tridesetak sati. Najtrajniji olujni vjetar na sjevernom Jadranu je bura, čija neprekinuta djelovanja mogu dosegnuti 60-ak sati (Tablica 3.) [7].

Tablica 3. Trajanja [h] neprekidnih olujnih vjetrova (≥ 9 bf) na Jadranu po smjerovima [22]

SMJER VJETRA								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	tramontana	bura	levant	jugo	šilok	lebić	ponenat	maestral
Sjeverni Jadran	0	60	12	36	24	12	6	0
Južni Jadran	0	18	36	36	33	18	6	0

Temeljem generalnih podataka o vjetru na Jadranu može se definirati vrlo jaki vjetar (9 bf) kao godišnji ekstremni vjetar, a ekstremnim višegodišnjim olujni vjetar (≥ 10 bf). Uzimajući u obzir relativno kratka privjetrišta ispred Pazdehove na kojima za najveći mogući razvitak valova treba manje od 2 sata (vjetrovi ≥ 5 bf), može se utvrditi da ekstremna trajanja vjetra preko 30-ak sati nisu ograničavajuća u procesu valne generacije [7].

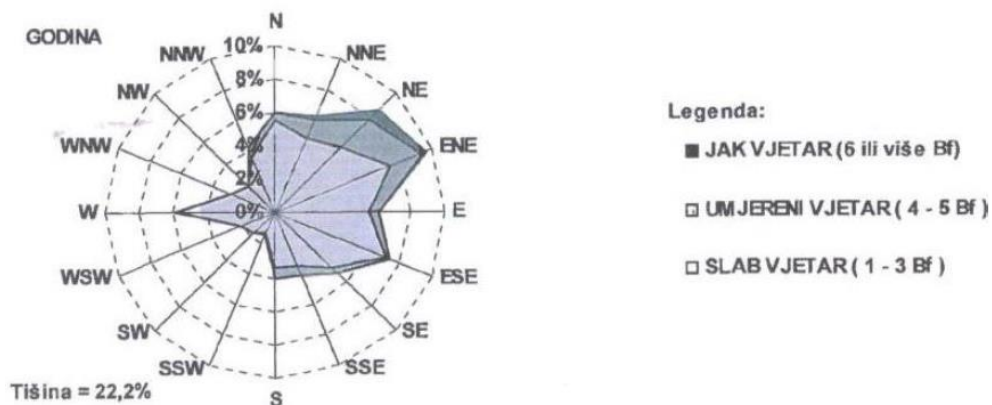
Meteorološki podaci o vjetru izmjereni električnim anemografom na postajama Crikvenica i Aerodrom Krk prikazani su ružom vjetrova (Slike 15. i 16.) i tablicama kontingencije (Tablice 4. i 5.) za svaki slučaj posebno. Ruža vjetrova daje općenit prikaz vjetrovnog režima, a za određivanje površinskih valova uzrokovanih vjetrom, potrebna je detaljnija analiza vjetra. Odnosno trajanje jakog i olujnog vjetra pojedinog sektora smjera vjetra. Ono je važno za određivanje valnih parametara, visine i perioda vala. Pod pojmom trajanja podrazumijevamo vrijeme (u satima) vremenskog perioda definiranog početkom jednosatnog intervala slučaja vjetra iz pojedinog sektora vjetra određene klase jačine i završetkom zadnjeg takvog jednosatnog intervala. Obzirom na kratka privjetrišta trajanje vjetra nije ograničavajući faktor [7].



Slika 15. Čestina smjerova vjetra, postaja Crikvenica, 1986-2005 [7]

Tablica 4. Tablica kontingencije smjera i jačine vjetra u %, Crikvenica, 1986.-2005. [7]

CRIKVENICA, 1986-2005														
Smjer	Jačina vjetra, Bf												ZBROJ	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
N		8,15	2,74	1,11	0,86	0,41	0,21		0,09		0,01			13,58
NNE		1,76	1,10	0,62	0,73	0,19	0,16		0,04		0,02			4,63
NE		9,06	3,34	1,52	1,04	0,31	0,20		0,03					15,50
ENE		2,73	1,06	0,48	0,41	0,12	0,07							4,88
E		4,22	1,73	1,04	0,52	0,03	0,01							7,55
ESE		2,06	1,04	0,37	0,33	0,04	0,08		0,01					3,93
SE		2,32	1,73	0,94	0,27	0,04	0,03							5,33
SSE		0,40	0,41	0,33	0,19	0,09	0,04	0,01	0,05		0,01			1,52
S		2,05	1,12	0,86	0,49	0,20	0,08	0,01	0,02					4,84
SSW		0,08	0,15	0,08	0,04				0,01					0,37
SW		1,50	0,84	0,40	0,18	0,01								2,94
WSW		0,13	0,15	0,10	0,06									0,45
W		2,36	1,12	0,58	0,19									4,25
WNW		0,55	0,49	0,18	0,14	0,01	0,01							1,38
NW		3,22	1,17	0,44	0,23	0,05	0,01							5,13
NNW		0,24	0,27	0,07	0,08	0,01	0,01		0,01					0,71
C	23,0 1													23,01
UKUP	23,0 1	40,8 3	18,4 6	9,12	5,76	1,51	0,91	0,02	0,26	0,00	0,04	0,00	0,00	100,00



Slika 16. Godišnja ruža vjetrova za Aerodrom Krk – Omišalj, razdoblje 1971-1990 [7]

Tablica 5. Tablica kontigencije za anemografsku stanicu Rijeka – Omišalj (1971-1990) [7]

Bofori	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
m/sek	0,0 -	0,3	1,6	3,4	5,5	8,0	10,8	13,9	17,2	20,8	24,5	28,5		
SMJER	0,2	1,5	3,3	5,4	7,9	10,7	13,8	17,1	20,7	24,4	28,4	32,6	>32,6	ZBROJ ‰
C	222,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	222,4
N		21,1	20,5	14,2	3,5	1,0	0,2	0,0	0,0					60,4
NNE		10,6	17,5	19,9	9,1	2,6	1,6	0,7	0,1					62,2
NE		11,0	19,0	23,9	16,2	8,3	5,4	3,2	0,2					87,3
ENE		14,4	28,3	30,1	16,1	4,9	1,6	0,5	0,1					96,0
E		18,2	26,2	11,6	4,3	0,7	0,2	0,0	0,0					61,3
ESE		28,9	34,2	8,1	2,1	0,0	0,1	0,0	0,0					73,4
SE		16,0	22,8	8,7	3,0	0,2	0,0	0,0	0,0					50,7
SSE		10,0	14,8	9,3	5,3	1,8	0,3	0,0	0,0					41,5
S		9,9	12,9	10,4	5,9	0,4	0,2	0,0	0,0					39,7
SSW		3,9	5,8	3,7	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0					14,4
SW		5,0	8,5	3,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0					17,8
WSW		8,6	11,5	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0					22,0
W		21,8	34,3	2,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0					58,5
WNW		12,2	13,9	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0					27,9
NW		11,8	8,7	1,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0					22,5
NNW		18,2	17,8	4,8	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0					42,2
UKUPNO	222,4	221,7	296,6	155,4	69,1	20,2	9,7	4,4	0,5			0,0	0,0	1000,0

Koristeći izmjerene podatke za Crikvenicu i podatke s anemografa na aerodromu Krk, odabrana su četiri smjera vjetra (SE, SW, W i NW) 50-godišnjeg povratnog perioda mjerodavna za modeliranje dubokovodne valne klime. Njihove vrijednosti prikazane su u tablici 6.

Tablica 6. Maksimalne srednje satne brzine vjetra za pojedine sektore vjetra i povratne periode od 2, 5, 50 i 100 godina, luka Pazdehova [7]

Povratni period (godine)	135°	225°	270°	315°
	SE m/s	SW m/s	W m/s	NW m/s
2	12	10	8	10
5	15,4	13,1	9	13
50	24,5	21	11	20
100	26,4	22,5	14	22

2.3.2. Valovi

Dugoročna prognoza dubokovodne valne klime izrađena je (na osnovu dugoročne prognoze očekivanih maksimalnih srednjih satnih brzina, tablica 6. i po metodi Groen Dorrenstein) primjenom spektralnog numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija, u kojem su dobivene prostorne raspodjele značajnih valnih visina i perioda u širem akvatorijalnom području za povratni period od 50 godina (Tablica 7) [7].

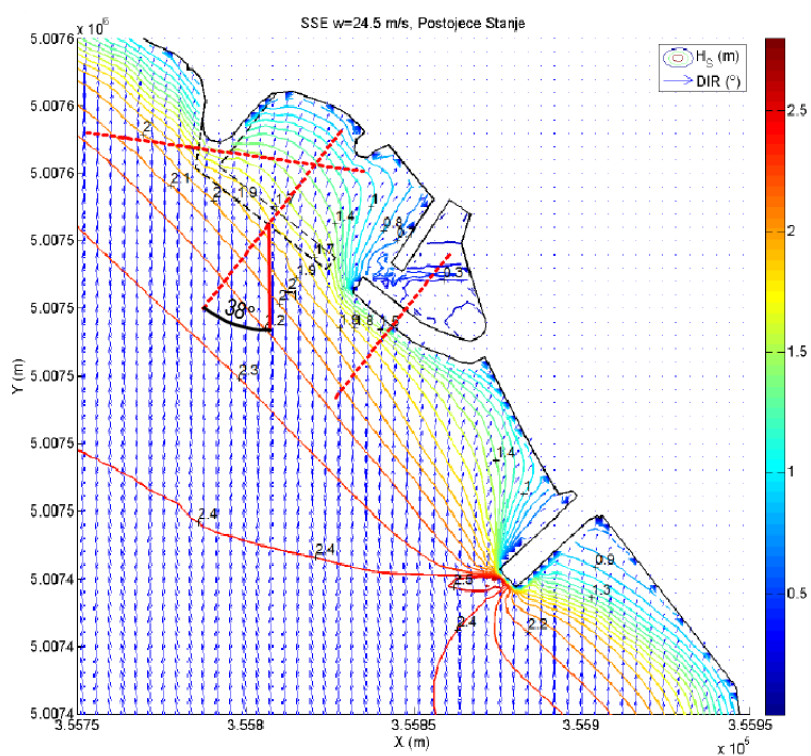
Tablica 7. Vrijednosti dubokovodne valne klime (značajne visina vala i period vala) za povratni period od 50 g., luka Pazdehova [izradio autor]

Smjer vjetra	SSE	SW	WSW-W	NW
Povratni period od 50 g.				
Visina dubokovodnog značajnog vala [m]	2,55	1,4	0,85	1,3
Period dubokovodnog vala [s]	4,2	3,1	2,7	3,1

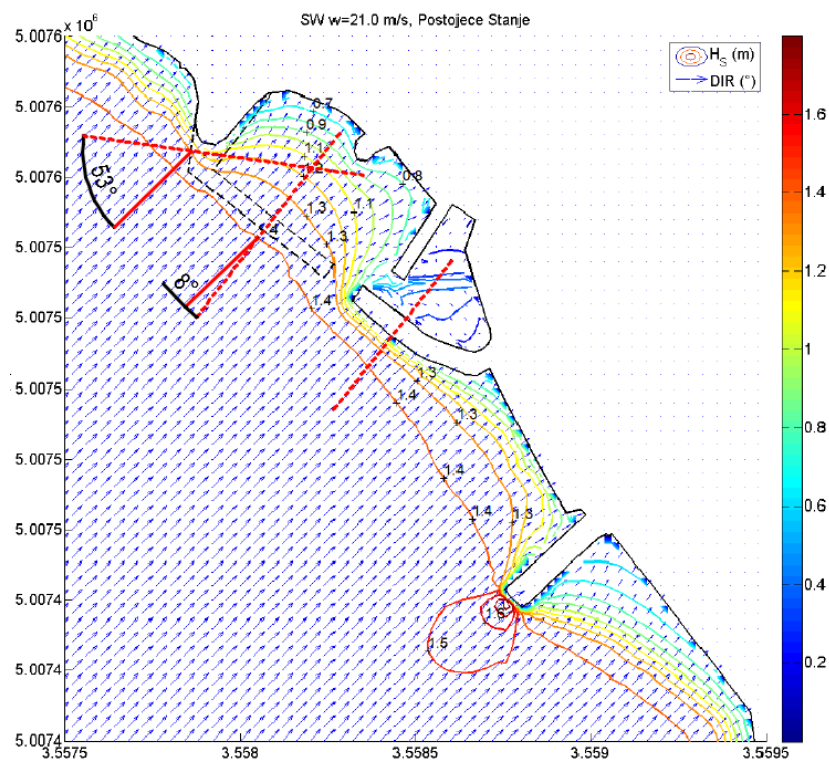
Za potrebe ovog projekta, dužine efektivnih privjetrišta izračunate su po CERCU-u s odstupanjem $\pm 42^\circ$ od glavnog smjera za relevantne smjerove SE-SSE, SW, WSW-W i NW. Korišteni su i rezultati prognoza valne klime za bliske luke (Črni molo i dr.). Digitalni model podmorja napravljen je korištenjem topografskih i pomorskih karata mjerila 1:25000 [7].

Na slikama 17., 18., 19. i 20. prikazane su visine i direkcije značajnih valova 50-godišnjeg povratnog perioda za smjerove SEE, SW, WSW-W i NW. Na temelju njih određene su mjerodavne visine valova za dimenzioniranje i analiziranje prelijevanja lukobrana. One su dobivene po pretpostavci da se teren zbog veoma strmog nagiba (oko 1:2,5) može smatrati dijelom konstrukcije (poglavlje 3.2.1.). Zbog nedostupnosti podataka, do koje točno dubine teren seže pod tim nagibom, iz praktičnih razloga pretpostavljena je nožica lukobrana na pola valne duljine jer tada val počinje osjećati dno i kreće se oplićavati. Kako bi bili na strani sigurnosti prilikom projektiranja korist će se dubokovodna valna duljina zbog većih pritisaka

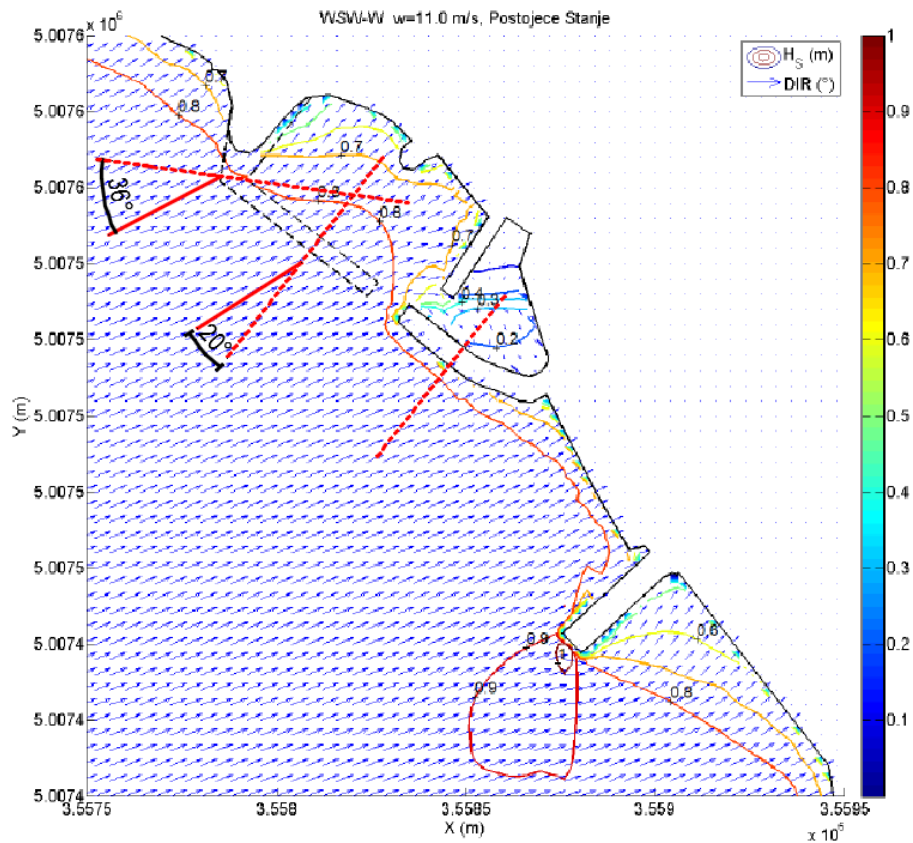
koje stvara na konstrukciju. Vrijednosti koje su korištene u daljnjem radu prikazane su u tablici 8.



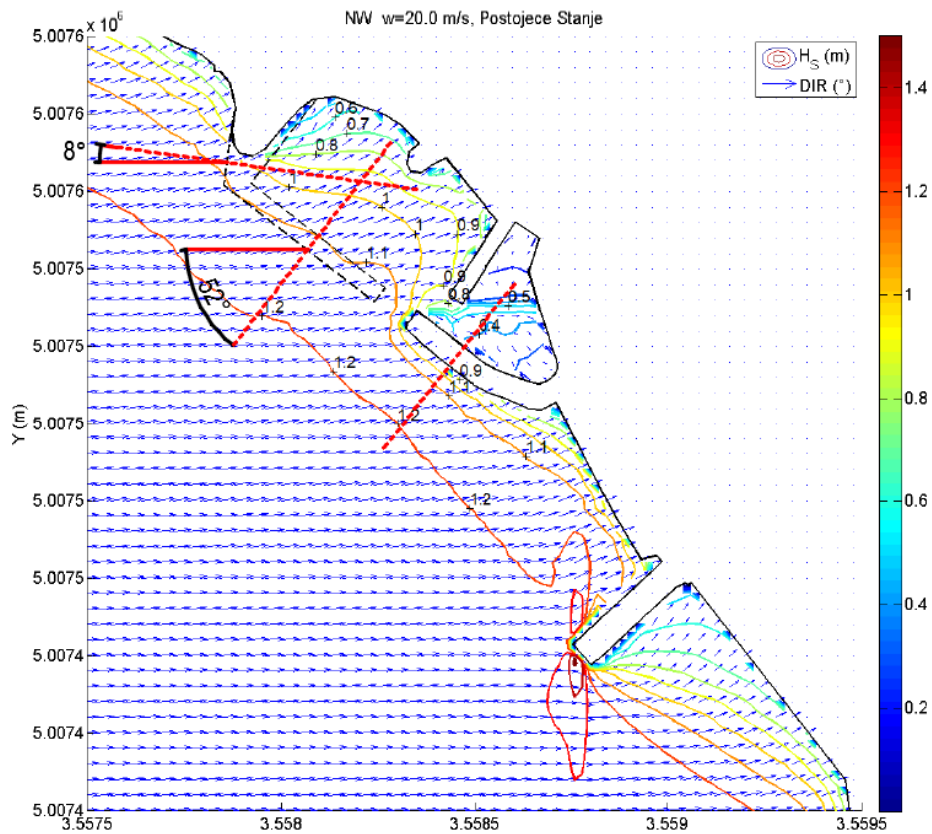
Slika 17. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer SSE, $T_s = 4,2$ s [7]



Slika 18. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer SW, $T_s = 3,1$ s [7]



Slika 19. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer WSW - W, $T_s = 2,7$ s [7]



Slika 20. Visine i direkcije značajnih valova H_s^{50} za smjer NW, $T_s = 3,1$ s [7]

Tablica 8. Odabrani parametri za projektiranje [izradio autor]

Smjer vjetra		SSE	SW	WSW-W	NW
Povratni period od 50 g.					
Visina značajnog vala, H_{m0} [m]	Tijelo	2,25	1,4	-	1,15
	Korijen	2,25	1,4	-	1,15
Kut nailaska vala, β [°]	Tijelo	38	8	20	52
	Korijen	-	53	36	8
Valna duljina, L [m]		27,52	15	11,37	15
Period vala, T_s [s]		4,2	3,1	2,7	3,1

2.3.3. Morske mijene

Kolebanje morske razine se odvija ciklički kao relativno stabilan slučajan proces s determinističkim (astralnim) i stohastičkim (terestričkim) elementima. Astralna komponenta morske mijene generirana je gibanjem nebeskih tijela (pretežno Sunca i Mjeseca) s periodom od oko pola do jednoga dana. Najočitiiji je poludnevni astralni ciklus kada se u jednom danu pojave dvije visoke (plime) i dvije niske (oseke) razine mora. Tijekom ciklusa od 29,5 dana pojavljuju se također dvije zamjetne astralne varijacije veličina amplituda, a godišnje i višegodišnje varijacije su s inženjerskog stanovišta zanemarive. Terestrički utjecaj ogleda se u kolebanju morskih razina uslijed utjecaja vjetra, morskih struja, konfiguracije dna, promjene atmosferskog tlaka itd. On predstavlja komponentu koja je vremenski nepredvidiva pa uvjetuje potrebu uvođenja mjerenja i statističkih analiza podataka o razinama mora. Za Pazdehovu su zbog blizine, mjerodavni podaci s mareografa u Bakru [7].

Kao projektna morska razina za dimenzioniranje vertikalnog lukobrana koristit će se srednji viši visoki živi raz (SVVŽR), dok će se analiziranje prelijevanja provesti za visoki raz jednogodišnjeg povratnog perioda ($VR^{1 \text{ god.}}$). Naime, analizom prelijevanja žele se dobiti ekstremne vrijednosti, a korištenje istih prilikom dimenzioniranja dalo bi puno veća opterećenja od očekivanih i konstrukcija bi se predimenzionirala.

Tablica 9. Pasoš obale za Pazdehovu [7]

Morska razina	HVRS 71 (m n.m.)
VR ^{100g}	+ 1,20
VR ^{10g}	+ 1,05
VR ^{1 god.}	+0,65
SVVŽR	+0,40
SR	±0,00
SNNŽR	-0,323
NR ^{1 god.}	-0,55
NR ^{10 god.}	-0,70
NR ^{100 god.}	-0,80

2.3.4. Morske struje

Morske struje se uz vjetar i valove smatraju jednim od ključnih faktora za kretanje plovila bez poriva, kao i na kretanje onečišćenja nakon izljeva ulja u more [19]. U Vinodolskom kanalu struje se kreću općim sustavom cirkulacije u NW smjeru prema Malim vratima i Riječkom zaljevu [23].

Na području luke Pazdehova prevladavaju struje morskih mijena, brzine do 0,3 čv, a djelovanjem olujnih bura ili juga brzine strujanja mogu porasti do 0,6 čv [24].

Morske struje nisu mjerodavne za izradu ovog projekta zbog zanemarivih opterećenja u odnosu na karakteristike konstrukcije, a ni s ekološkog aspekta zbog malog broja predviđenih plovila.

3. METODOLOGIJA PRORAČUNA

3.1. Dimenzioniranje vertikalnog lukobrana

Lukobran je građevina koja se nalazi u moru, a štiti lučki akvatorij od štetnog utjecaja valova, nanosa i struja. Sastoji se od korijena (spoj s kopnom na obalnoj crti), trupa i glave čija je svrha ojačati morski završetak konstrukcije. Ako građevina kao lukobran služi protiv djelovanja valova na druge pomorske građevine naziva se valobranom. Konstrukcija njega i lukobrana je identična, ali funkcija im je različita [15].

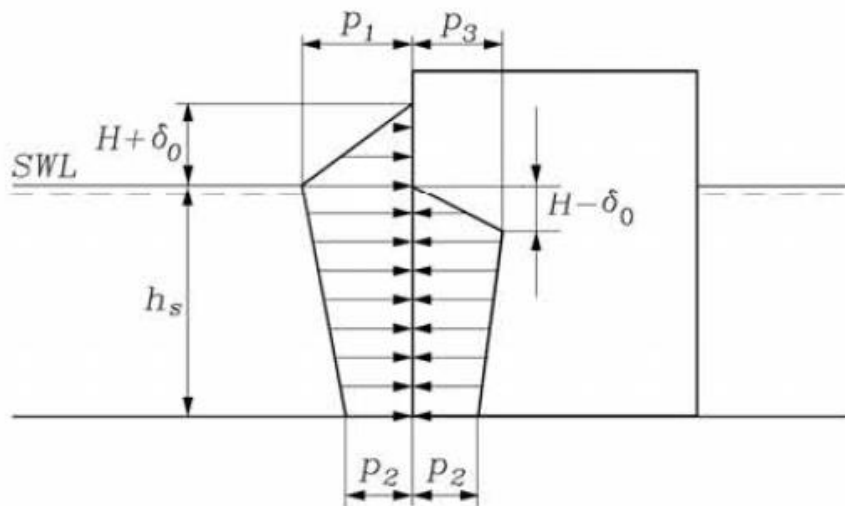
Konstrukcija vertikalnog zida izvodi se od velikih prefabriciranih betonskih elemenata slaganih jedan na drugi ili jedan pored drugoga u pravilnom poretku, čime se formira masivni vertikalni zid. Osnovne prednosti ovakvog tipa gradnje su ekonomičnost, brzina, te formiranje keja s lučke strane. U slučajevima slabo nosivog tla može se izvoditi na pilotima [15].

Prilikom projektiranja vertikalnih lukobrana treba voditi računa da se trasiranje izvede na dubini većoj od 2,5 do 3 visine projektnog vala. U takvim uvjetima neće doći do loma valova ispred konstrukcije i velikih udarnih opterećenja koja oni izazivaju. Iz istih razloga temeljni nasip na koji je oslonjena nožica zida ne smije biti plića od dvije visine projektnog vala. Na morskoj strani lukobrana najčešće se izvodi parapetni zid radi sprečavanja prelijevanja. Njegova visina određuje se kao suma visokog raza i visine projektnog vala usvojenog povratnog perioda [15].

Nedostaci ovakvog tipa konstrukcije su moguća erozija temeljnog nasipa, potreba za teškom i skupom građevinskom mehanizacijom, te refleksija valova na način da brodovi otežano plove i ulaze u luku. Ovakve građevine zahtijevaju vrlo pažljiv pristup prilikom dimenzioniranja jer se žestoko oštećuju i gube zaštitnu funkciju, ako projektni uvjeti budu premašeni [15].

3.1.1. Metoda Sainflou

Sainflou je 1928. godine predstavio metodu koja se temelji na trohoidalnoj teoriji i predviđa opterećenje vertikalnog zida stojnim valom. Metoda se razvila kao nadopuna Benezitove formule iz 1923. godine, a njena prednost je što pretpostavlja linearnu distribuciju pritisaka ispod morske razine [25]. To je vidljivo na slici 21., gdje su: H - visina projektnog vala, p_1 - tlak vala na mirnoj razini mora, odgovara brijegu vala, p_2 - tlak vala na dnu vertikalnog zida, p_3 - tlak vala na mirnoj razini mora, odgovara dolu vala, δ_0 - vertikalni pomak od brijega i dola vala, L - lokalna duljina vala, h_s - dubina mjerenja od dna vertikalnog zida do mirne razine mora, ρ_w - gustoća vode.



Slika 21. Distribucija valnih pritisaka po metodi Sainflou [26]

Vrijednosti pritisaka p_1 , p_2 , p_3 i parametra δ_0 dani su izrazima (1), (2), (3) i (4):

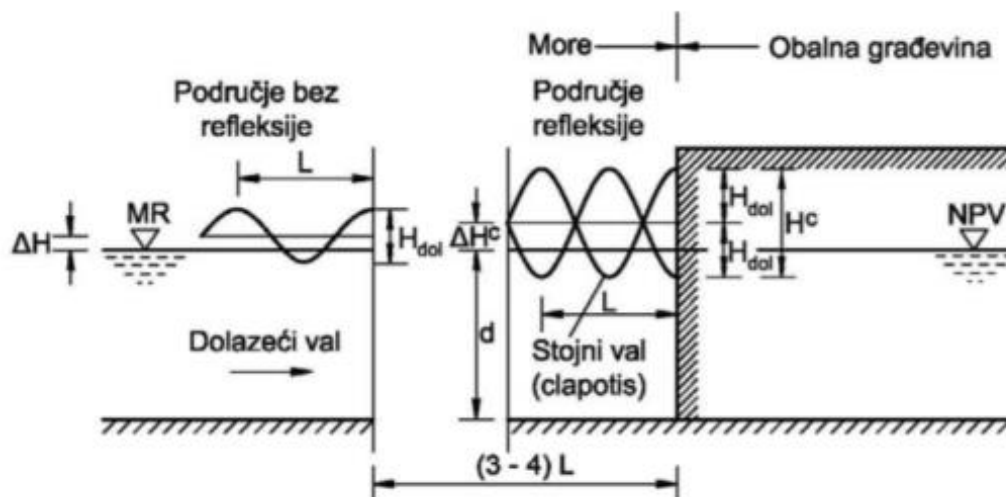
$$p_1 = (p_2 + \rho_w g h_s) \frac{H + \delta_0}{h_s + H + \delta_0} \quad (1)$$

$$p_2 = \frac{\rho_w g H}{\cosh(2\pi h_s / L)} \quad (2)$$

$$p_3 = \rho_w g (H - \delta_0) \quad (3)$$

$$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi h_s}{L} \quad (4)$$

Ova metoda se koristi za totalno reflektirani ($K_{ref} = 1$) stojni val, koji će se dogoditi prilikom normalnog prilaza vala na krutu, vertikalnu, glatku i nepropusnu prepreku (vertikalni ili obalni zid) koja se s dna uzdiže iznad morske površine, toliko da ju val ne preplavljuje i da se val na njoj ili ispred nje ne lomi ni parcijalno, ni totalno. U tom slučaju gibanje vodnih čestica je oscilatorno po pravčastim putanjama različite orijentacije koje izazivaju pulsirajuće dinamičko opterećenje stojnog vala s periodom dolazećeg vala. Kako bi se razvili spomenuti uvjeti potrebno je da dubina mora ispred zida, d bude dva i pol puta veća od značajne visine dolazećeg vala, $H_{s,dol}$ (praktično: $d \geq 2,5 * H_{s,dol}$) i da dubina berme, D bude $D \geq 2 * H_{s,dol}$. Uslijed totalne refleksije ispred zida razvit će se stojni val udvostručene valne visine ($H_{superponirano} = H_{dol} + H_{refl} = (1 + K_{ref}) * H_{dol} = 2H_{dol}$), što se može vidjeti na slici 22. [27].



Slika 22. Prikaz valnih parametara reflektiranog vala [27]

(pretpostavlja nailazak vala okomito u odnosu na os lukobrana)

3.1.2. Metoda Goda

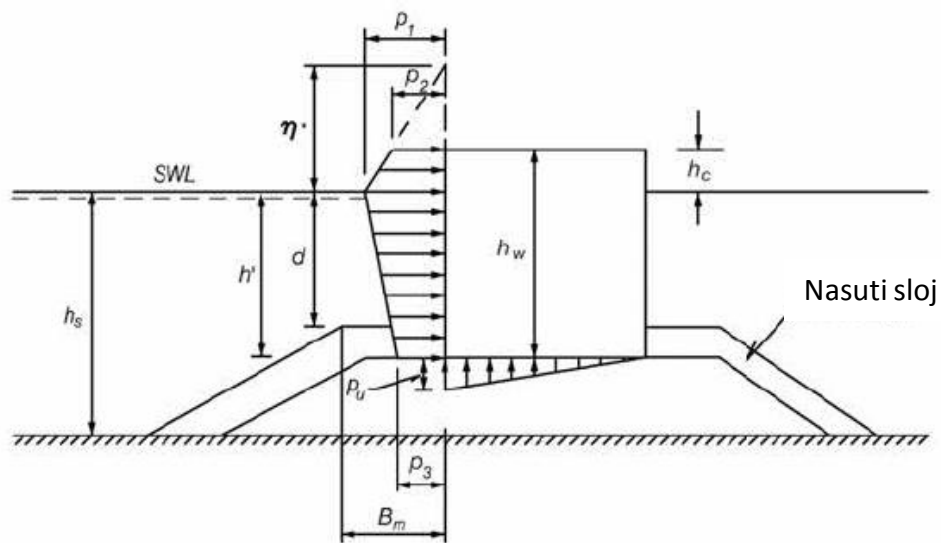
Goda je 1974. godine koristeći vlastita teorijska i laboratorijska istraživanja uspostavio metodu za određivanje totalne i parcijalne refleksije, kao i parcijalnog loma vala na vertikalnom nepropusnom zidu. Zajedničko ovim slučajevima je dinamičko pulsirajuće valno opterećenje, kod kojeg je najbitnije da nema zarobljen mješur zraka na morskom licu

zida. Do takvih uvjeta dolazi kada je vertikalni zid trasiran na dubini mora $2,5H_{proj} > d > d_b$ i temeljen na podmorskom kamenom nasipu čija je kruna na dubini $D < 2H_{proj}$ (mora sadržavati bermu širine B). Ova metoda se odnosi na realne valove, a proračun se provodi za pojedinačni reprezentativni val visine $H_{proj} = 1,8H_s$ [27].

S vremenom Godina metoda se proširila i uvela naredne parametre:

- smjer incidentnog vala (Tanimoto i suradnici, 1976.)
- faktore modifikacije za ostale vrste vertikalnih zidova
- koeficijent impulzivnog tlaka (Takahashi i suradnici, 1994.) - ova modifikacija Godine metode omogućuje izračun tlaka lomljenih valova bez zarobljenog mjehurića zraka

U proširenoj Godinoj metodi pretpostavlja se da valni pritisak koji djeluje na vertikalni zid ima trapezoidni oblik ispod i iznad mirne razine mora, dok dinamički uzgon na vanjskoj nožici zida, p_u ima trokutasti oblik kao što je prikazano na slici 23. [25].



Slika 23. Distribucija valnih pritisaka po metodi Goda [26]

Dinamički tlakovi koji djeluju na vertikalni zid dani su izrazima (5),(6),(7) i (8) , gdje je: p_1 - dinamički tlak na mirnoj površini mora, p_2 - dinamički tlak na razini krune zida, p_3 - dinamički tlak u razini nožice zida h' , p_u - dinamički uzgon na vanjskoj nožici zida (na dubini h') i η^* - doseg vala na zidu iznad mirne razine mora, izraz (9).

$$p_u = 0,5(1 + \cos\beta)\lambda_3\alpha_1\alpha_3\rho_w g H_{proj} \quad (5)$$

$$p_1 = 0,5(1 + \cos\beta)(\lambda_1\alpha_1 + \lambda_2\alpha_*\cos^2\beta)\rho_w g H_{proj} \quad (6)$$

$$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right)p_1 & \text{za } \eta^* > h_c \\ 0 & \text{za } \eta^* \leq h_c \end{cases} \quad (7)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (8)$$

$$\eta^* = 0,75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_{proj} \quad (9)$$

Ostali parametri nužni za proračun su:

- β - kut između smjera propagacije valova i normale lukobrana; preporuča se njegovo umanjeње za 15° zbog nesigurnosti procjene smjera vala, a ako je $\beta \leq 15^\circ$ uzima se $\beta = 0^\circ$
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - faktori modifikacije ovisni o tipu konstrukcije; za standardni vertikalni zid $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$
- H_{proj} - projektna visina vala; $H_{proj} = 1,8H_s$
- L - valna dužina na dubini h_b koja se izračuna preko dubokovodne značajne valne dužine pridružene značajnom valnom periodu T_s ; $T_s \approx 1,1T_m$, gdje je T_m srednji period
- h_b - dubina mora na udaljenosti $5H_s$ od morske strane lukobrana
- h_s - dubina morskog dna ispred zida
- d - dubina berme
- h' - dubina nožice zida
- h_c - visina krune zida iznad razine mora
- α_1 - utjecaj perioda vala na distribuciju opterećenja, izraz (10)

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 \left[\frac{4\pi h_s/L}{\sinh(4\pi h_s/L)} \right]^2 \quad (10)$$

- α_2 - povećanje opterećenja vala zbog smanjenja dubine, izrazi (11) i (12)

$$\alpha_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{proj}}{d} \right)^2 \\ \frac{2d}{H_{proj}} \end{array} \right. \quad (11)$$

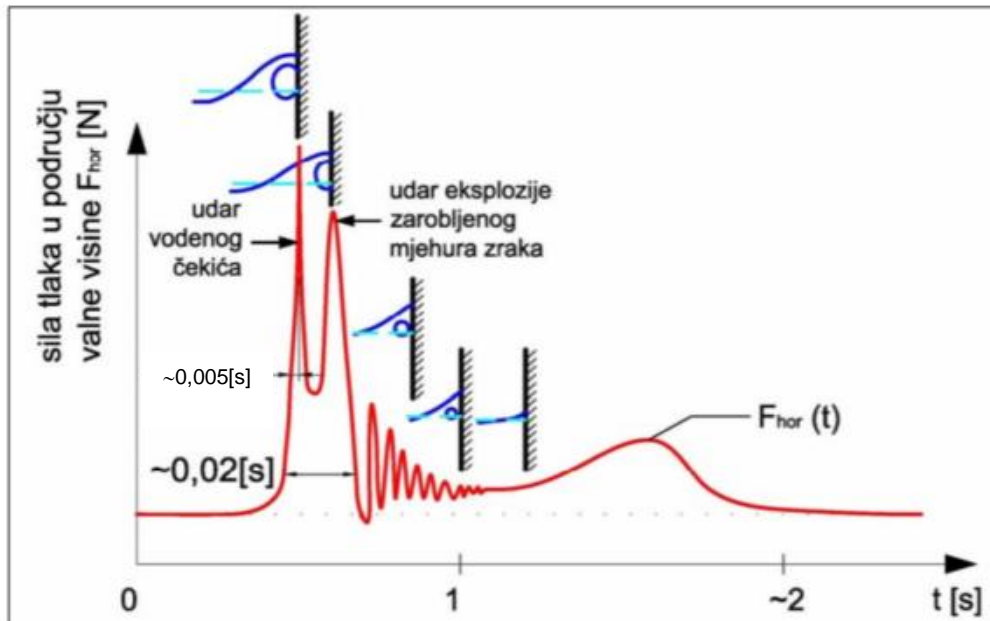
$$\alpha_* = \alpha_2 \quad (12)$$

- α_3 - linearna distribucija opterećenja, izraz (13)

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h_s/L)} \right] \quad (13)$$

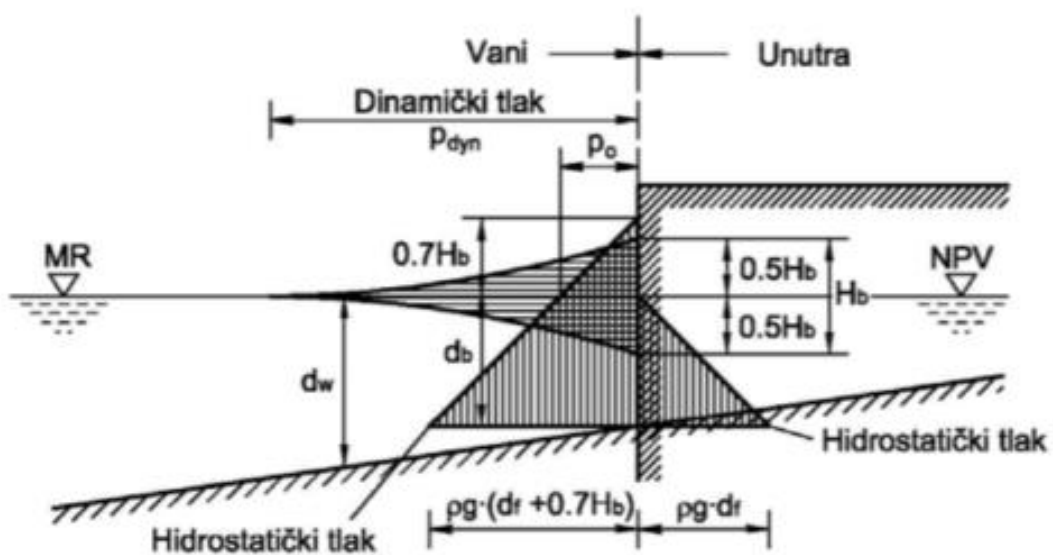
3.1.3. Metoda Minikin

Na temelju rezultata Bagnoldovih eksperimenata i promatranja stvarnih lukobrana, Minikin je definirao metodu za izračunavanje sile tlaka potpuno lomljenog vala na vertikalnom nepropusnom zidu s zarobljenim mjehurom zraka. To se dešava kod prebačenog loma, gdje zarobljeni mjehur zraka eksplodira na licu vertikalnog zida i stvara impulsni tlak. Njegovo trajanje je iznimno kratko (nekoliko milisekunda) jer se promjena tlaka zraka odvija brzinom zvuka (Slika 24.). Ovakva sila tlaka se u dugotrajnijem valnom polju javlja vrlo rijetko, a daje oko 15 do 18 puta veće vrijednosti nego kod nelomljenih valova. Iz toga se može zaključiti da metoda Minikin daje vrlo velike tj. prekonzervativne sile koje uzrokuju izvedbu neisplativih konstrukcija [27].

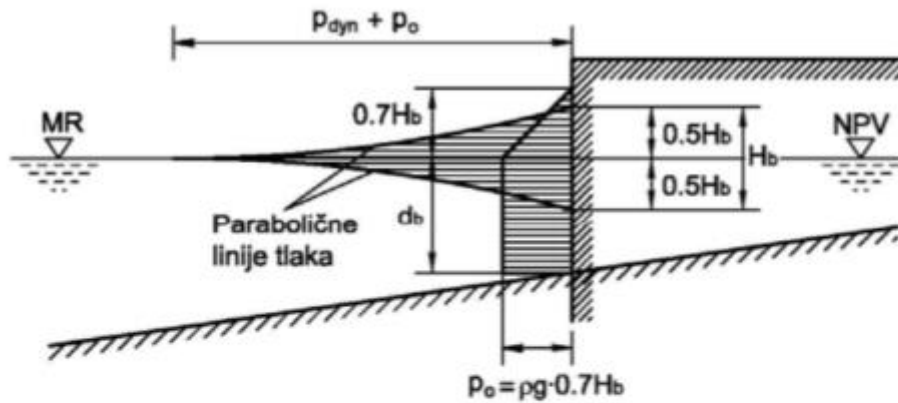


Slika 24. Vremenska promjena veličine tlaka na vertikalnom nepropusnom zidu za potpuni lom vala [27]

Metoda Minikin predlaže paraboličnu raspodjelu tlaka za lomljene valove na vertikalnim zidovima, gdje dinamički pritisak ima najveću vrijednost na mirnoj razini mora i smanjuje se do nule na $0,5H_b$ iznad i ispod mirne razine mora (Slika 25. i 26.).



Slika 25. Raspodjela hidrodinamičkog i hidrostatičkog tlaka na vertikalnom zidu [27]



c) Rezultanta tlaka

$$p_{dyn} = 100 \left[\frac{1}{L} \frac{d_b}{d_w} (d_w + d_b) \right] \cdot \rho g H_b \quad [\text{N/m}^2]$$

$$p_o = \rho g \cdot 0.7 H_b \quad [\text{N/m}^2]$$

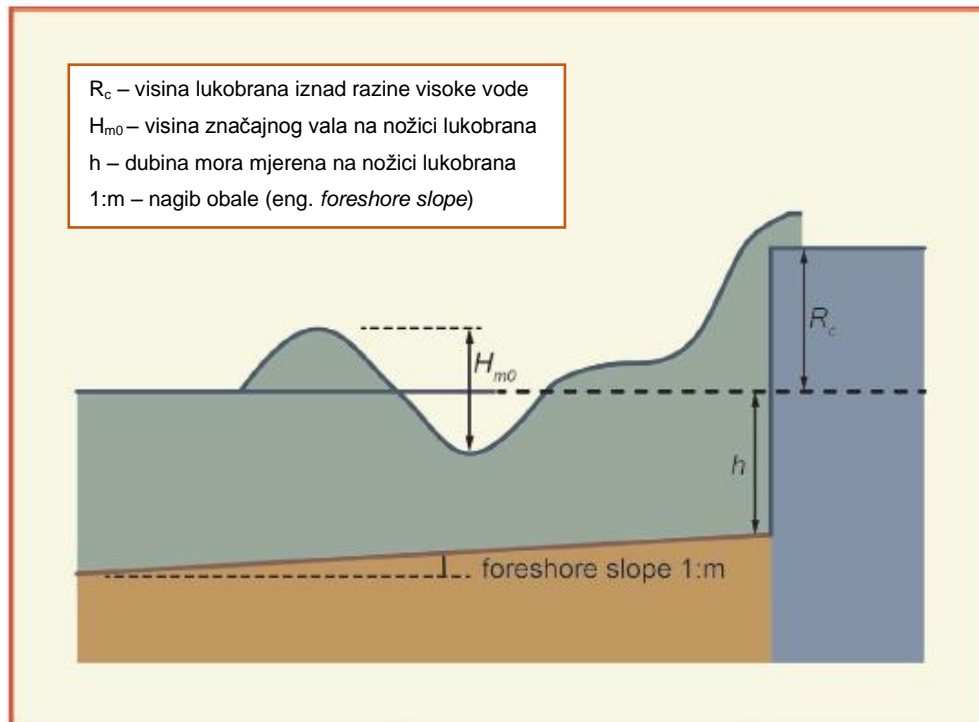
Slika 26. Rezultanta tlaka [27]

3.2. Preljevanje vertikalnog lukobrana

U ovom poglavlju bit će prikazan postupak određivanja preljevanja vertikalnog lukobrana koristeći EurOtop priručnik iz 2018. g. Njegova svrha je pomoći obalnim inženjerima u analiziranju preljevanja obalnog zida (eng. *seawall*), obalnih nasipa, lukobrana i drugih obalnih konstrukcija. Kako bi to bilo moguće provedene su istraživačke studije diljem Europe i inozemstva, koje omogućuju prognozu vrijednosti preljevnog protoka i distribucije preljevnog volumena.

3.2.1. Preljevanje preko jednostavnog vertikalnog zida

Metodologija proračuna preljevanja preko jednostavnog vertikalnog zida prikazana je u četiri koraka, a za njihovo razumijevanje važno je poznavati sljedeće parametre (Slika 27.): R_c – visina lukobrana iznad razine visoke vode, H_{m0} – visina značajnog vala na nožici lukobrana, h – dubina mora mjerena na nožici lukobrana, 1:m – nagib obale.



Slika 27. Jednostavni vertikalni zid [28]

Korak 1.

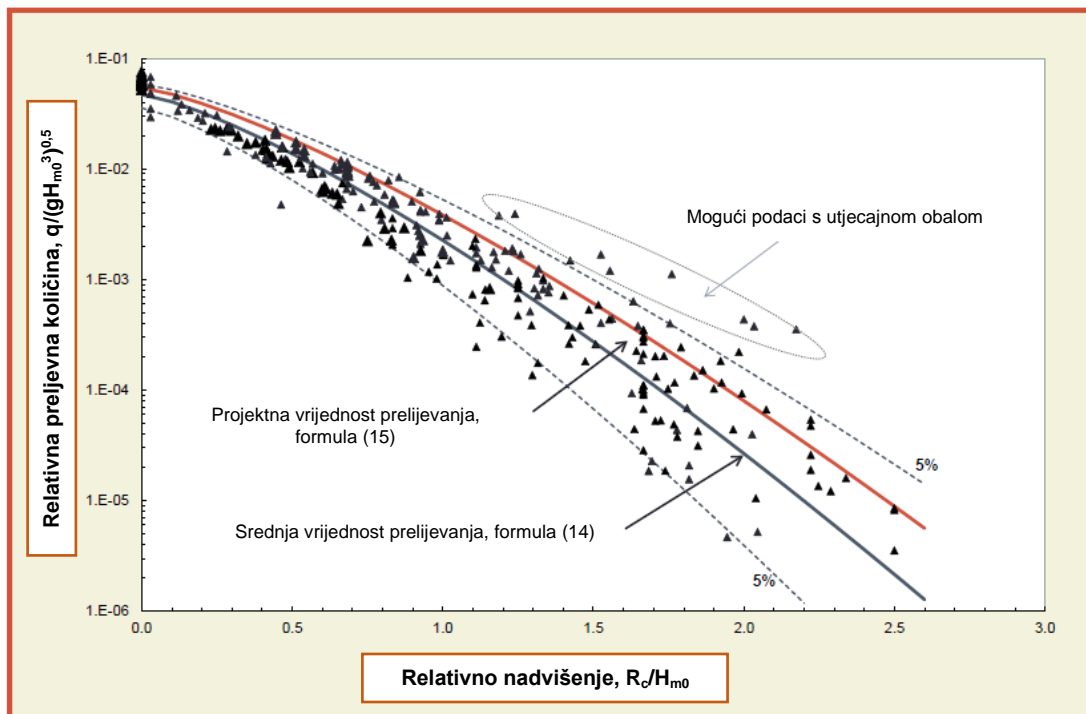
U prvom koraku metodologije potrebno je odrediti da li postoji utjecajna obala. Da bi to bilo moguće neophodno je znati što je obala (eng. *foreshore*) i kako ona utječe na promatrane valove (eng. *incident waves*). U pravilu ima više definicija, ali u ovom konkretnom slučaju će se razmatrati kao dio batimetrije morskog dna koja se pruža od nožice obalne građevine prema moru, a karakteriziraju ju valni procesi uzrokovani dubinom (npr. lom valova ispred obalnih građevina). Ona može biti horizontalna ili do maksimalnog nagiba od 1:10, a ukoliko je strmija od navedenog može se smatrati dijelom te građevine.

Ako je dubina vode minimalno četiri puta veća od visine dubokovodnog vala, ($h/H_{m0\text{ deep}} > 4$) obala se može smatrati dubokom i neće imati značajan utjecaj na prelijevanje. U takvim uvjetima ne dolazi do oplićivavanja ili lomova valova (zbog dubine), ali se mogu mijenjati parametri dolaznog vala zbog trenja na dnu, refrakcije, itd. Za takve situacije gdje obala nema značajan utjecaj, prelijevanje se računa prema izrazima (14) i (15), gdje je q – preljevni protok (l/s/m). Izraz (14) označava srednju vrijednost prelijevanja dobivenu na temelju izmjerenih podataka:

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,047 * \exp[-(2,35 \frac{R_c}{H_{m0}})^{1,3}] \quad (14)$$

Ipak za projektiranje se preporuča koristi formulu (15), gdje je srednji protok uvećan za jednu standardnu devijaciju. Na taj način dobivene su veće vrijednosti u odnosu na srednje prelijevanje, što je prikazano na slici 28.

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,054 * \exp[-(2,12 \frac{R_c}{H_{m0}})^{1,3}] \quad (15)$$



Slika 28. Usporedba srednje i projektne vrijednosti prelijevanja bez utjecajne obale [28]

Ukoliko se ustanovi da je dubina vode u odnosu na dubokovodni val manja od četiri ($h/H_{m0} < 4$), obala će imati utjecaj na proces prelijevanja. To će rezultirati transformacijom oblika i visine vala kroz oplićavanje, zakrivljenost i lom. Određivanje prelijevanja za ovakve uvjete opisano je u narednim koracima.

Korak 2.

Ovaj se korak odnosi na vertikalne ili strme građevine s značajnom ili utjecajnom obalom ($h/H_{m0\ deep} < 4$). Analizom je dokazano da nasip, ako je prisutan ispred spomenutih građevina, prestaje utjecati na prelijevanje kada dubina vode iznad nasipa, d prelazi 60% dubine vode na nožici, h , praktičnije prikazano izrazom (16):

$$\begin{aligned} d &\geq 0,6h; \text{ nasip nema značajan utjecaj (nastavlja se na korak 3.)} \\ d &< 0,6h; \text{ nasip ima značajan utjecaj (poglavlje 3.2.2., korak 3.)} \end{aligned} \quad (16)$$

Pretpostavka za oba uvijeta: širina nasipa $\sim 1 H_{m0}$ ili manja

Potrebno je voditi računa da izraz (16) ne uzima u obzir širinu berme, zbog nedostatka podataka o utjecaju njene širine. Za praktične svrhe, pretpostavlja se da je berma, ako postoji, širine jedne visine vala.

Korak 3.

U ovom koraku razmatraju se iste građevine kao u koraku 2., ali bez značajnog nasipa. U uobičajenim uvjetima gdje je nožica obalnog zida ispod razine mora ($h > 0$), potrebno je provjeriti da li dolazi do impulzivnog prelijevanja izrazom (17):

$$\begin{aligned} \frac{h^2}{H_{m0} * L_{m-1,0}} &> 0,23; \text{ tretirati kao neimpulzivne uvjete (korak 4a.)} \\ \frac{h^2}{H_{m0} * L_{m-1,0}} &\leq 0,23; \text{ tretirati kao impulzivne uvjete (korak 4b.)} \end{aligned} \quad (17)$$

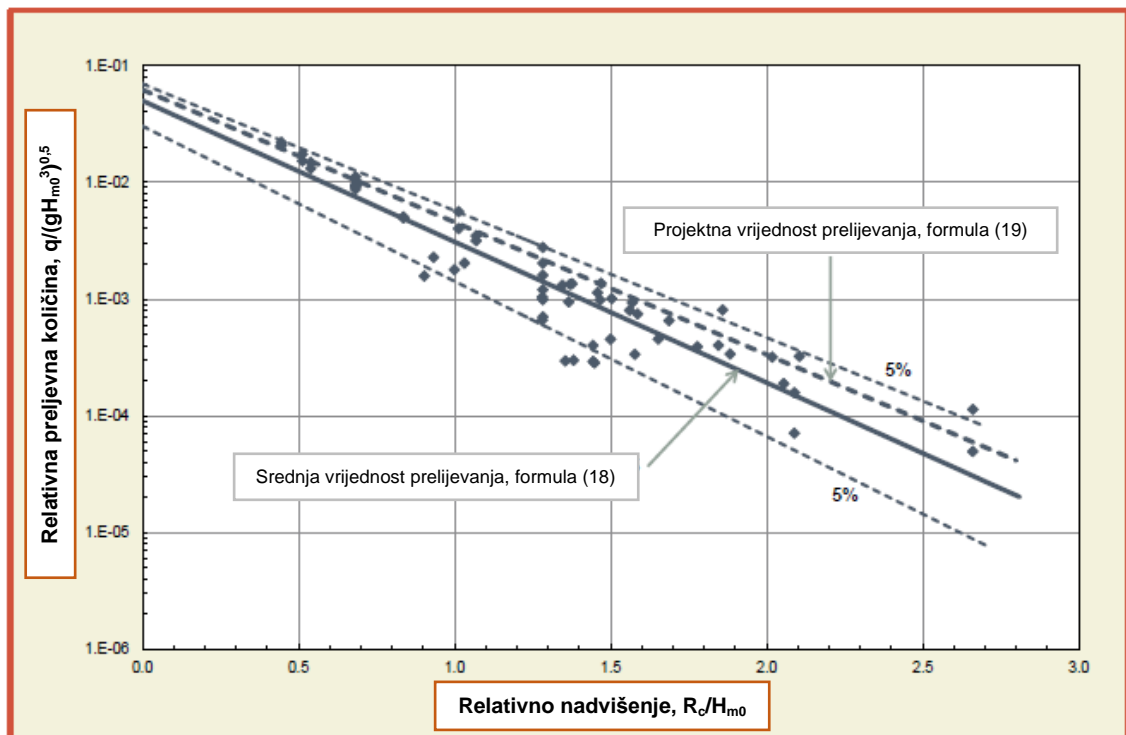
Korak 4a.

Za slučaj jednostavnih vertikalnih zidova s utjecajnom obalom, pod neimpulzivnim uvjetima, srednje prelijevanje se određuje formulom (18). Dobivena je kao prosječna vrijednost izmjerenih podataka, a koristi se za predviđanje i usporedbu.

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,05 * \exp(-2,78 \frac{R_c}{H_{m0}}) \quad (18)$$

Za projektiranje se preporuča koristiti izraz (19) gdje je srednji prelivni protok uvećan za jednu standardnu devijaciju. Takav pristup omogućuje sigurniju procjenu podataka što se može vidjeti na slici 29., gdje je prikazana usporedba srednje i projektne vrijednosti prelijevanja za dane uvjete.

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,062 * \exp\left(-2,61 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad (19)$$

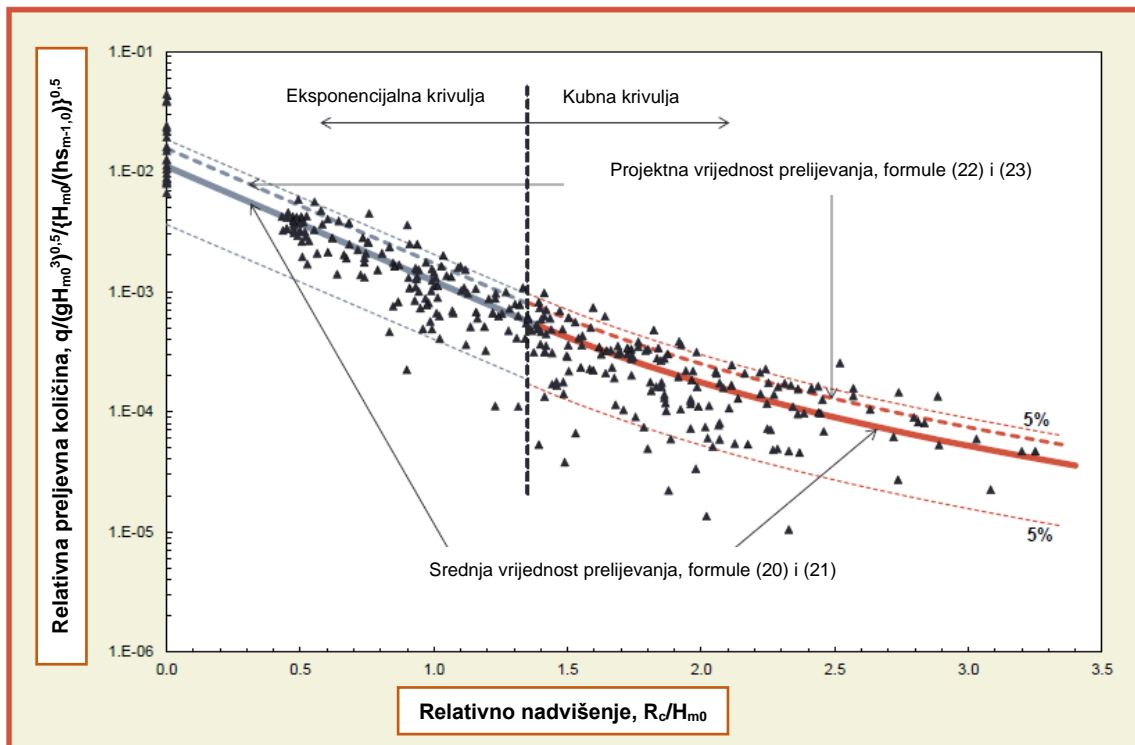


Slika 29. Dijagram srednje i projektne vrijednosti prelijevanja za neimpulzivne uvjete [28]

Korak 4b.

Kako bi se odredio srednji prelivni protok na vertikalnim zidovima pri impulzivnim uvjetima koriste se dvije jednadžbe: eksponencijalna za niža i kubna za viša nadvišenja. Naime, kod viših nadvišenja pri impulzivnim uvjetima može doći do prelijevanja njegovih najviših dijelova, tako da upotreba eksponencijalne jednadžbe nije primjerena i umjesto nje se koristi kubna. Za nju je karakterističan rast prema beskonačnosti s približavanjem vrijednosti relativnog nadvišenja ka nuli. To nije dopustivo te se za niža relativna nadvišenja koristi eksponencijalna formula. Primjer je prikazan na slici 30., gdje se vidi da protok prati

eksponencijalno smanjenje s povećanjem nadvišenja do vrijednosti od 1,35, a nakon te vrijednosti koristi se kubna jednadžba.



Slika 30. Dijagram srednjeg prelijevanja jednostavnih vertikalnih zidova pri impulzivnim uvjetima [28]

Važno je napomenuti da izrazi za prelijevanje pri impulzivnim uvjetima ovise o relativnoj dubini i strmosti valova, $s_{m-1,0}$ što kod neimpulzivnih uvjeta nije slučaj. Za niža bezdimenzijska nadvišenja, $R_c/H_{m0} < 1,35$ preporuča se srednju vrijednost prelijevanja računati prema izrazu (20):

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,011 * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} * \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad (20)$$

Vrijedi za $0 < R_c/H_{m0} < 1,35$

dok se za veća bezdimenzijska nadvišenja, $R_c/H_{m0} > 1,35$ koristi izraz (21):

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,0014 * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} * \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3} \quad (21)$$

Vrijedi za $R_c/H_{m0} \geq 1,35$

Jednadžbe (22) i (23) koriste se za projektne vrijednosti prelijevanja:

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,0155 * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} * \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad (22)$$

Vrijedi za $0,1 < R_c/H_{m0} < 1,35$

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,0020 * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} * \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3} \quad (23)$$

Vrijedi za $R_c/H_{m0} \geq 1,35$

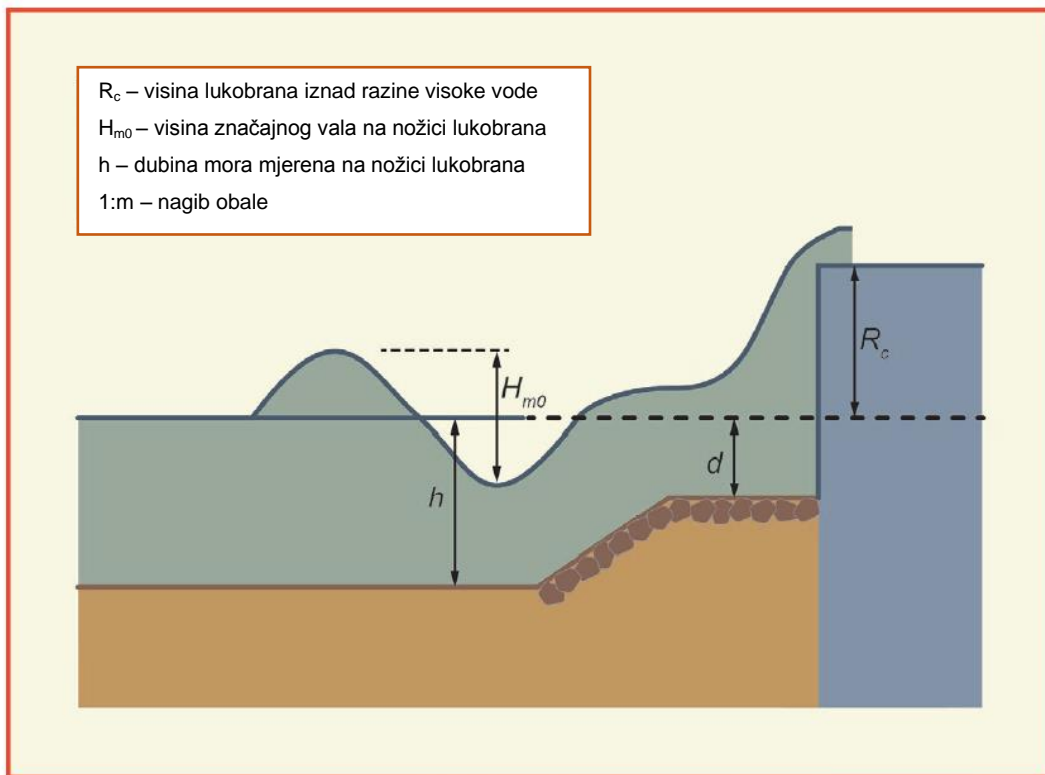
3.2.2. Prelijevanje preko kompozitnih vertikalnih zidova

Ustanovljeno je da mali nasip u nožici građevine utječe na karakteristike loma valova i značajno mijenja njihovu vrstu i veličinu opterećenja. Konstrukcija nožice pojedinih zidova može se značajno razlikovati, stoga razlikujemo tri vrste nasipa:

- Mali nasip u nožici građevine, bez značajnog učinka na incidentne valove. U ovom slučaju nožica se može zanemariti, a proračun se vrši kao za jednostavne vertikalne zidove.
- Visoki nasip koji značajno utječe na lom valova, ali se i dalje nalazi ispod razine mora. Za ovakav nasip potrebni je koristiti modificirani pristup, te je on tema ovog poglavlja.
- Nadmorski nasip je onaj na kojemu vrh školjere izlazi iznad razine vode. Metode predviđanja prelijevanja za ovakve građevine mogu se prilagoditi nasutim konstrukcijama s parapetnim zidom na kruni lukobrana.

Strategija određivanja prelijevanja kompozitnih vertikalnih zidova slična je kao i kod jednostavnih. Opisana je u četiri koraka, a na slici 31. prikazani su ključni parametri: R_c – visina lukobrana iznad razine visoke vode, H_{m0} – visina značajnog vala na nožici lukobrana,

h – dubina mora mjerena na nožici lukobrana, d -dubina vode iznad nasipa, 1:m – nagib obale.



Slika 31. Kompozitni vertikalni zid [28]

Korak 1.

Postupak s kojim se određuje postojanje utjecajne obale za kompozitne vertikalne zidove, identičan je kao i za jednostavne. Ukoliko se ustanovi da postoji značajna ili utjecajna obala prelazi se na korak 2., a ako to nije slučaj prisustvo nasipa ne utječe na prelijevanje i potrebno je koristiti izraze opisane u prethodnom poglavlju (poglavlje 3.2.1.).

Korak 2.

Ovaj dio se odnosi na kompozitne vertikalne zidove s utjecajnom obalom. Kao što je već spomenuto za jednostavne vertikalne zidove, analizom je ustanovljeno da nasip, ako je prisutan ispred glavnog strmog ili vertikalnog dijela građevine, prestaje utjecati na prelijevanje kada dubina vode iznad nasipa, d prelazi 60% dubine vode na nožici građevine, h . Opisani postupak prikazuje izraz (24):

$$\begin{aligned}
 d \geq 0,6h; \text{ nasip nema značajan utjecaj (poglavlje 3.2.1., korak 2.)} \\
 d < 0,6h; \text{ nasip ima značajan utjecaj (nastaviti na korak 3.)}
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Korak 3.

U ovom koraku je potrebno utvrditi da li za kompozitni vertikalni zid, s utjecajnom obalom i visokim nasipom dolazi do razvoja impulzivnih uvjeta, pri čemu se koristi izraz (25):

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{H_{m0}} * \frac{h}{L_{m-1,0}} > 0,65; \text{ tretirati kao neimpulzivne uvjete (korak 4a.)} \\
 \frac{d}{H_{m0}} * \frac{h}{L_{m-1,0}} \leq 0,65; \text{ tretirati kao impulzivne uvjete (korak 4b.)}
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

gdje je: $L_{m-1,0}$ - dubokovodna valna duljina.

Korak 4a.

Za ovaj slučaj ne postoje pouzdani podaci, te se predlaže korištenje metode za neimpulzivne uvjete na jednostavnim vertikalnim zidovima.

Korak 4b.

Kako bi se odredila srednja vrijednost prelijevanja na kompozitnim vertikalnim zidovima, pri impulzivnim uvjetima, preporuča se koristiti modificiranu metodu za iste uvjete kao kod jednostavnih vertikalnih zidova. U formulu za prelijevanje uvodi se prisustvo nasipa preko omjera dubine vode iznad nasipa i dubine vode na vrhu nožice građevine d/h . Vrijednost prelijevanja opisana je dvjema formulama: eksponencijalnom za niža nadvišenja i kubnom jednadžbom za ona viša. Treba napomenuti da u ovom slučaju, relativna dubina i strmost vala u nožici građevine imaju velik utjecaj, te se to odražava u formulama koje se koriste. Za viša bezdimenzijska nadvišenja, ($R_c/H_{m0} \geq 1,35$) koristi se izraz (26), dok za niža, ($R_c/H_{m0} < 1,35$) formula (27):

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 1,3 * \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} * 0,0014 * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} * \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3}
 \tag{26}$$

Vrijedi za $R_c/H_{m0} \geq 1,35$

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 1,3 * \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} * 0,011 * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} * \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad (27)$$

Vrijedi za $R_c/H_{m0} < 1,35$

3.2.3. Utjecaj valova koji nailaze pod kutom

Svi do sada spomenuti izrazi vrijede za valove koji dolaze okomito na promatranu građevinu, dok je u ovom poglavlju objašnjeno kako te izraze preoblikovati za prilaz valova pod kutom.

Za normalan kut nailaska valova na konstrukciju ($\beta = 0$), vrijednost prelijevanja ovisi o prisutnosti utjecajne obale. Ako je ona prisutna, važno je poznavati fizički režim interakcije vala i zida tj. da li dolazi do pojave impulzivnih ili neimpulzivnih uvjeta. Iz toga možemo zaključiti da je najprije potrebno odrediti oblik prelijevanja (poglavlja 3.2.1 i 3.2.2), a potom da li dolazi do impulzivnih ili neimpulzivnih uvjeta. Za neimpulzivne uvjete koristi se prilagođena jednadžba u obliku izraza (28):

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,05 * \exp\left(-\frac{2,78}{\gamma_\beta} * \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad (28)$$

gdje je: γ_β - koeficijent kuta nailaska vala i dan je izrazom (29):

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0062 * \beta \text{ za } 0^\circ < \beta < 45^\circ$$

$$\gamma_\beta = 0,72 \text{ za } \beta \geq 45^\circ \quad (29)$$

i β je kut nailaska vala u odnosu na normalu ($^\circ$). Zbog razlike u utjecaju vjetrovalnih valova (eng. *short-crested waves*) i seša (eng. *long-crested waves*) na proces prelijevanja (gdje vjetrovalni valovi pokazuju manju redukciju), potrebno je izraz (29) koristiti s oprezom. Za oprezniji pristup projektiranju preporuča se koristiti izraz (30).

$$\begin{aligned} \gamma_{\beta} &= 1 - 0,0033 * \beta \text{ za } 0^{\circ} \leq \beta \leq 80^{\circ} \\ \gamma_{\beta} &= 0,736 \text{ za } \beta > 80^{\circ} \end{aligned} \quad (30)$$

Impulzivne uvjete prilikom nailaska vala okomito na građevinu ($\beta = 0$) puno je teže odrediti od prethodnog slučaja. Razlog tomu je što srednji protok osim kuta nailaska vala, ovisi i o impulzivnosti uvjeta, karakteriziranih sa $h^2/[L_{m-1,0} * H_{m0}]$ pri $\beta = 0$. Utjecaj kuta nailaska vala pri spomenutim uvjetima definira se preko faktora redukcije $k_{\beta} = q_{\beta}/q_{\beta=0^{\circ}}$.

Srednja vrijednost prelijevanja za relativno nadvišenje ($1,35 \leq R_c/H_{m0} \leq 4$) računa se prema izrazima (31) i (32). Važno je imati na umu da ovi podaci vrijede samo za prikazane vrijednosti kuta nailaska vala, β . Za impulzivni i neimpulzivni $\beta = 60^{\circ}$ koriste se izrazi (28) i (29).

$$k_{\beta=15^{\circ}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,375 * \left(\frac{h^2}{H_{m0} * L_{m-1,0}} * \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-0,46} \\ \exp \left(-0,267 * \frac{R_c}{H_{m0}} \right) \end{array} \right\} \quad (31)$$

za $\beta = 15^{\circ}$, s maksimumom od 1,0

$$k_{\beta=30^{\circ}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0454 * \left(\frac{h^2}{H_{m0} * L_{m-1,0}} * \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-0,96} \\ \exp \left(-0,495 * \frac{R_c}{H_{m0}} \right) \end{array} \right\} \quad (32)$$

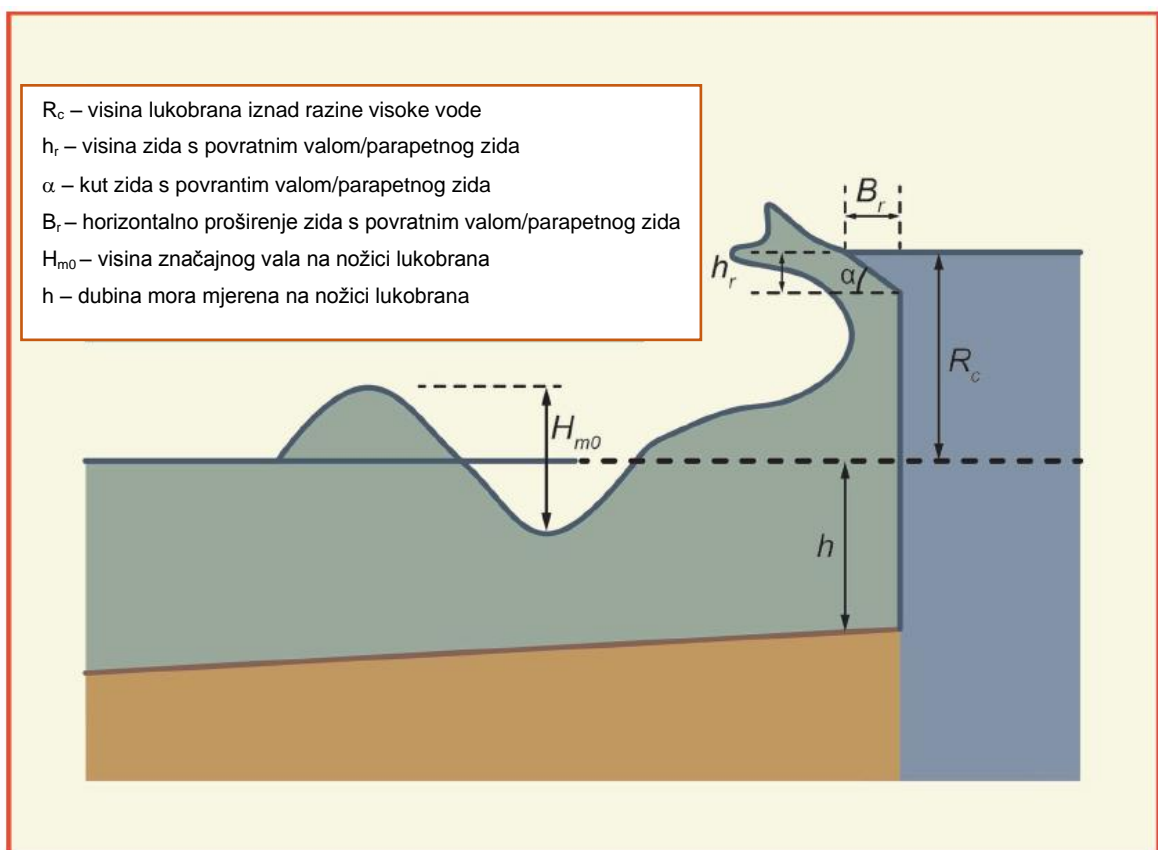
za $\beta = 30^{\circ}$, s maksimumom od 1,0

Projektna vrijednost prelijevanja za valove koji nailaze pod kutom pri impulzivnim uvjetima računa se prema izrazu (33) :

$$\begin{aligned} &\text{za } \beta = 15^{\circ}; \text{ kao i za } \beta = 0^{\circ} \text{ koriste se izrazi (20) i (21)} \\ &\text{za } \beta = 30^{\circ}; \text{ kao i za } \beta = 15^{\circ} \text{ koristi se izraz (31)} \\ &\text{za } \beta = 60^{\circ}; \text{ kao i za ne impulzivne } \beta = 0^{\circ} \text{ koristi se izraz (18)} \end{aligned} \quad (33)$$

3.2.4. Zidovi s povratnim valom

Prilikom projektiranja lukobrana i obalnih zidova vrlo često se kao dio konstrukcije predviđa izvedba jedne vrste prepusta prema moru (parapet, zid s povratnim valom), s ciljem smanjenja vrijednosti prelijevanja. Ovakve strukture najčešće su malih dimenzija pozicionirane na vrhu zida, a najbolje funkcioniraju kada prelijevanje nije preveliko. Postupak s kojim se određuje učinkovitost zida s povratnim valom (eng. *wave return wall/bullnose*) vrlo je složen i nije u potpunosti definiran. U nastavku prikazane smjernice temelje se na fizičkim modelima i postojećim napucima dobivenih u Nizozemskoj, a za njihovo razumijevanje važno je poznavati sljedeće parametre: h_r – visina zida s povratnim valom/parapetnog zida, α – kut zida s povratnim valom/parapetnog zida, B_r – horizontalno proširenje zida s povratnim valom/parapetnog zida ispred glavnog zida. Njihova raspodjela prikazana je na slici 32.



Slika 32. Prikaz ključnih parametara na zidu s povratnim valom [28]

Ovisno o vrijednosti kuta zida, α razlikuju se dva uvjeta:

- slučaj prepusta savijenog prema moru, gdje je $\alpha < 90^\circ$ i
- slučaj kada je zid na vrhu lukobrana zakošen (parapet) i omogućuje veće prelijevanje ($\alpha > 90^\circ$). Ovakve građevine najčešće se projektiraju kao dio kesona, a primjer se može vidjeti na slici 33.



Slika 33. Parapetni zid na vrhu kesonskog lukobrana [28]

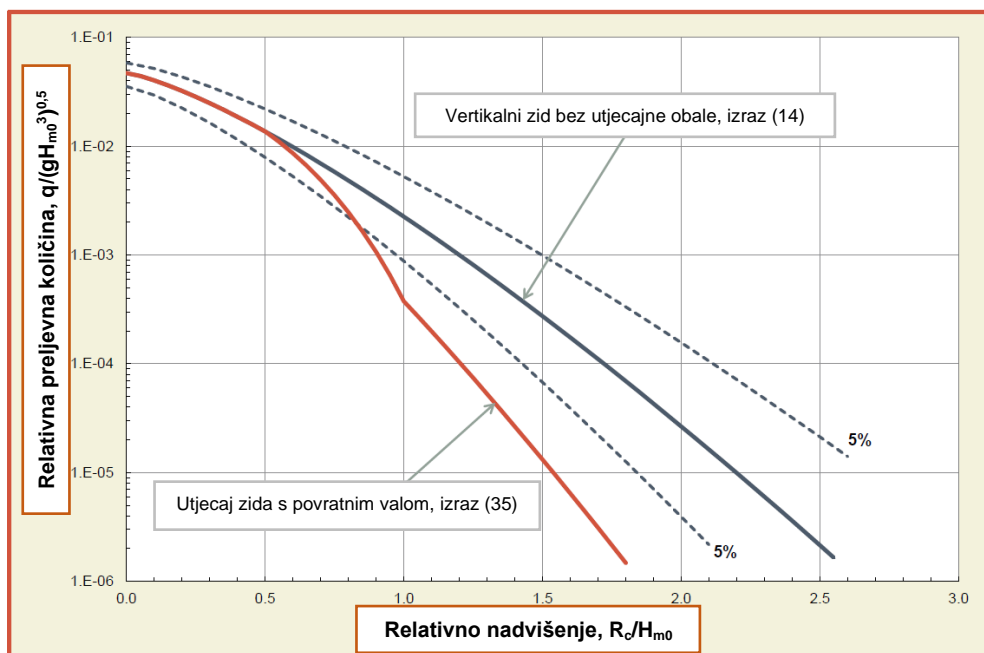
Za izračun prelijevanja spomenutih zakošenih zidova ili parapeta potrebno je primijeniti faktor utjecaja, $\gamma_{parapet}$ na prikladnu jednadžbu srednjeg protoka pri neimpulzivnim uvjetima (poglavlje 3.2.1.). Vrijednost faktora veća je od jedan i dana je izrazom (34):

$$\gamma_{parapet} = 1,05 - 1,10 \text{ za } \alpha > 100^\circ \quad (34)$$

Za slučaj zida s povratnim valom mogu se definirati tri režima učinkovitosti:

- Režim u kojemu zid s povratnim valom ima mali ili nikakav utjecaj na prelijevanje. To je čest slučaj prilikom malih nadvišenja, gdje zid s povratnim valom bude potopljen u preljevnoj vodi
- Srednji režim u kojem zid s povratnim valom postaje sve učinkovitiji kako se nadvišenje povećava
- Režim s visokim nadvišenjem, gdje zid s povratnim valom pruža maksimalni učinak i odbija uzlazne valove natrag prema moru

Opisani režimi prikazani su na slici 34. i dani izrazom (35) .



Slika 34. Dijagram koji opisuje tri režima učinkovitosti zida s povratnim valom [28]

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 1,0 && \text{za } R_c/H_{m0} \leq 0,5 \\
 \gamma &= 1,3 - 0,6R_c/H_{m0} && \text{za } 0,5 < R_c/H_{m0} \leq 1,0 \\
 \gamma &= 0,7 && \text{za } R_c/H_{m0} > 1,0
 \end{aligned} \tag{35}$$

Prethodno spomunuta slika 34. i izraz (35) koriste se samo za redukciju malih zidova s povratnim valom, dok se za veće dimenzije učinkovitost redukcije prikazuje faktorom, k_{bn} koji je definiran izrazom (36):

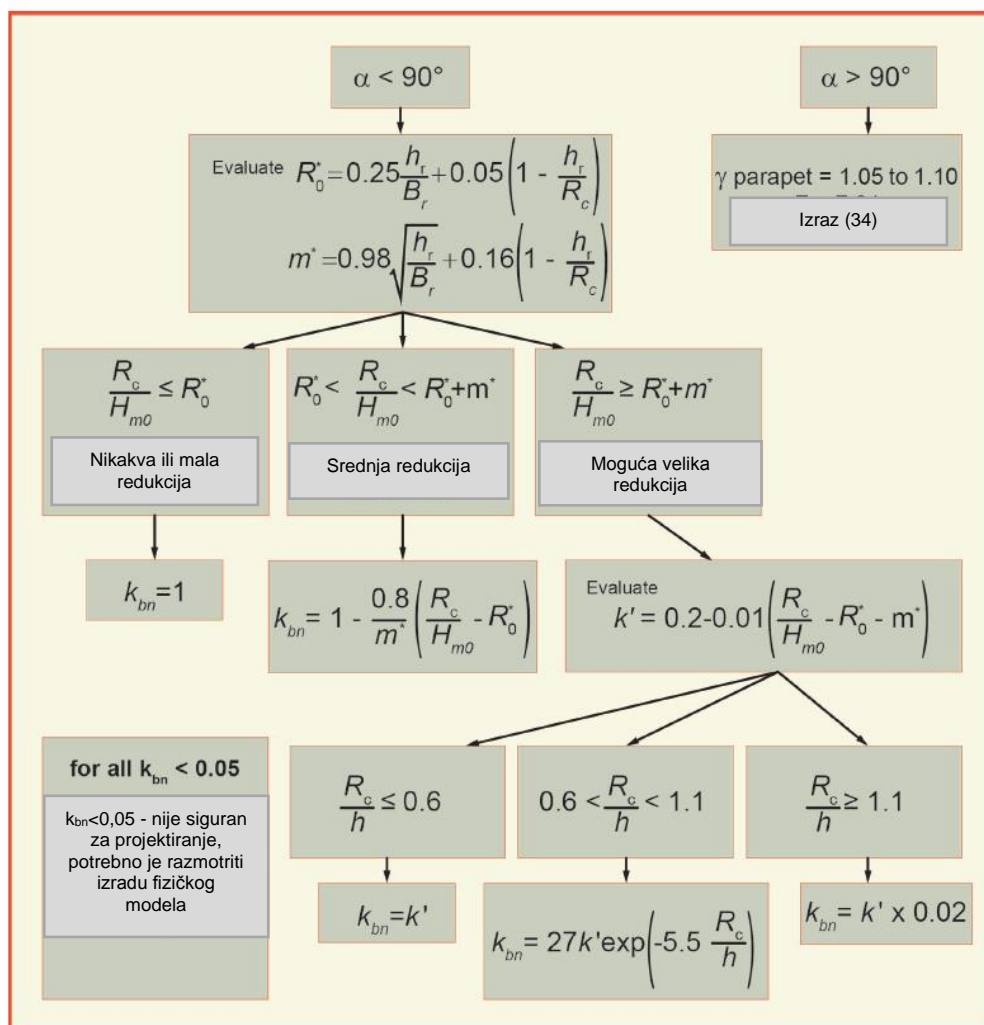
$$k_{bn} = \frac{q_{s \text{ bullnoseom}}}{q_{bez \text{ bullnosea}}} \tag{36}$$

Detaljan postupak njegovog izračuna prikazan je na slici 35. i opisan u nastavku:

- Postupak se može primijeniti neovisno da li je parapet okrenut prema moru ili kopnu
- Ako je okrenut prema moru ($\alpha < 90^\circ$), potrebno je utvrditi koji od sljedećih uvjeta je mjerodavan:

- Mala ili nikakva redukcija, ona se dešava kada je relativno nadvišenje manje od izračunate vrijednosti parametra R_0' (lijeva grana proračuna)
- Srednja redukcija, gdje se vrijednost relativnog nadvišenja kreće između vrijednosti parametra R_0' i $R_0' + m'$ (srednja grana proračuna)
- Velika redukcija, do koje dolazi kada je relativno nadvišenje veće od $R_0' + m'$ (desna grana proračuna). U ovom slučaju provodi se još jedan korak kako bi se utvrdilo koji režim je prikladan.

Ova metoda nije utemeljena na detaljnim fizičkim procesima, te se smatra nepraktično projektirati kada je $k_{bn} < 0,05$ jer redukciju srednjeg protoka s faktorom većim od 20 nije moguće pouzdano predvidjeti. U takvim slučajevima preporuča se korištenje fizičkog modela.

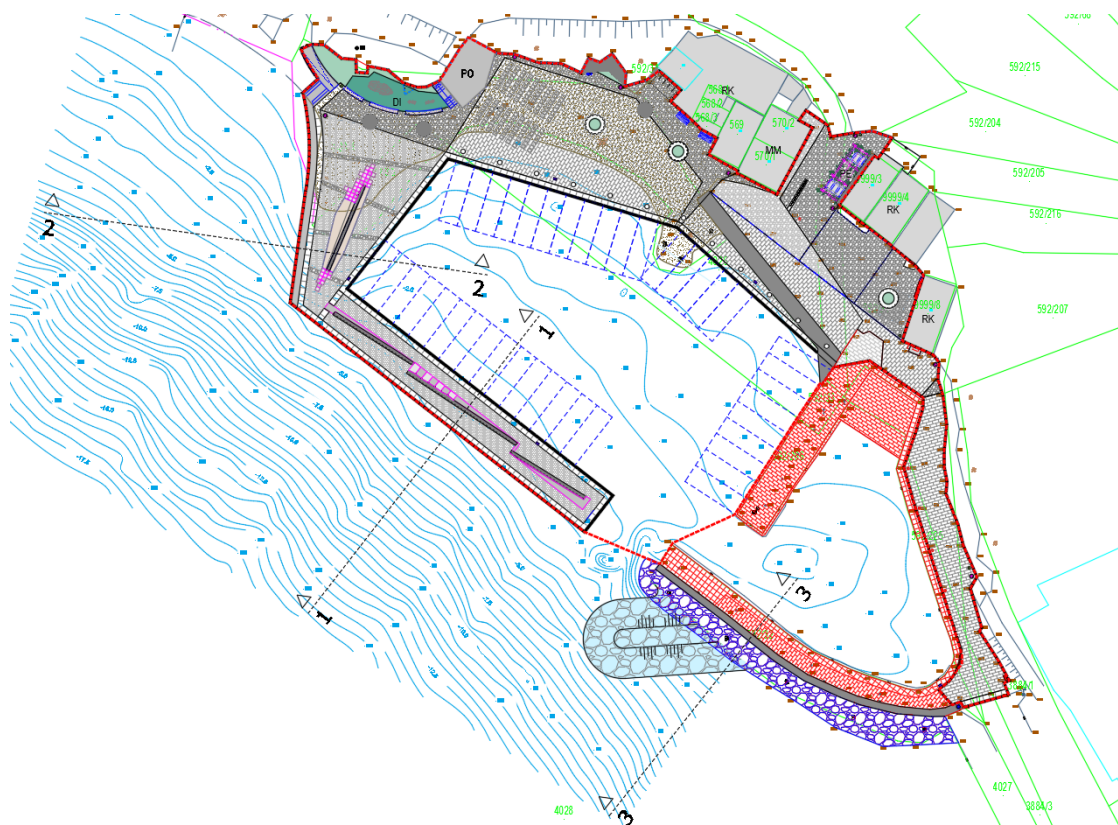


Slika 35. Dijagram sa smjericama za određivanje prelijevanja uz prisustvo zida s povratnim valom

4. POMORSKO HIDRAULIČKI PRORAČUN

4.1. Prelijevanje vertikalnog lukobrana

Prelijevanje lukobrana dešava se kada maksimalno valno uspinjanje premaši visinu krune lukobrana. U tom slučaju jedan dio energije vala se reflektira, a drugi dio (koji se preljeva) u doticaju s površinom mora s lučke strane generira novi transmitirani val. Takvi valovi mogu biti vrlo opasni prilikom prelijevanja velikih količina i uzrokovati znatna oštećenja na brodicama i dijelovima konstrukcije. Kako ne bi došlo do spomenutih posljedica i kako bi se smanjile vrijednosti prelijevanja u lučici Pazdehova, planirani vertikalni lukobran izvest će se sa parapetnim zidom. Vrijednosti prelijevanja bit će određene na tijelu i korijenu (Slika 36.) lukobrana za dva dominantna smjera vala 50-godišnjeg povratnog perioda, a dobivene vrijednosti usporedit će se sa postojećim lukobranom.



Slika 36. Situacija lučice s označenim profilima na kojima se analizira prelijevanje [2]

Budući lukobran planiran je kao vertikalni, betonski, te kao takav može podnijeti velike količine prelijevanja. Drugim riječima dopuštene vrijednosti prelijevanja nisu povezane sa stabilnošću konstrukcije, već s materijalnom štetom koju mogu uzrokovati (privezana plovila). Prema Eurotop priručniku definirane su dopuštene vrijednosti prelijevanja ovisno o visini značajnog vala. Konkretno, u ovom slučaju val je manji od 5 m, te se pri takvim uvjetima dopušta prelijevanje, $q < 10 \text{ l/s/m'}$ koje neće uzrokovati oštećenja na brodicama unutar lučice [28].

Visina lukobrana odabrana je u dogovoru s investitorom i arhitektom (Urbanistički studio Rijeka d.o.o) kako bi se prilagodila trenutnim zahtjevima korisnika (komunalni vezovi za plovila I. i II. kategorije). Zbog autohtonih ribarskih kućica koje se nalaze u prostoru lučice, na projektu sudjeluju i konzervatori koji ne dopuštaju veće visine valobranih zidova od navedenih u nastavku.

Vrijednosti prelijevanja (srednja i projektna) određene su prema izrazima (37) i (38) ovoga rada, koji se koriste kada značajna obala nije prisutna. Naime, obala ispred lukobrana je veoma strma (oko 1:2,5) te se može usvojiti kao dio konstrukcije (poglavlje 3.2.1). Zbog nedostupnosti podataka do koje dubine kao takva seže, može se ustanoviti da obala neće imati utjecaj na proces prelijevanja i da neće doći do impulzivnih uvjeta. Iz praktičnih razloga nožica lukobrana će se pretpostaviti na pola dubokovodne valne duljine jer tada val započinje proces oplićavanja.

$$\frac{q_M}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,047 * \exp\left[-\left(2,35 \frac{R_c}{H_{m0}\gamma_b}\right)^{1,3}\right] \quad (37)$$

$$\frac{q_D}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0,054 * \exp\left[-\left(2,12 \frac{R_c}{H_{m0}\gamma_b}\right)^{1,3}\right] \quad (38)$$

Koeficijent kuta nailaska vala, γ_β pri neimpulzivnim uvjetima računa se prema izrazu (39):

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0062 * \beta \text{ za } 0^\circ < \beta < 45^\circ$$

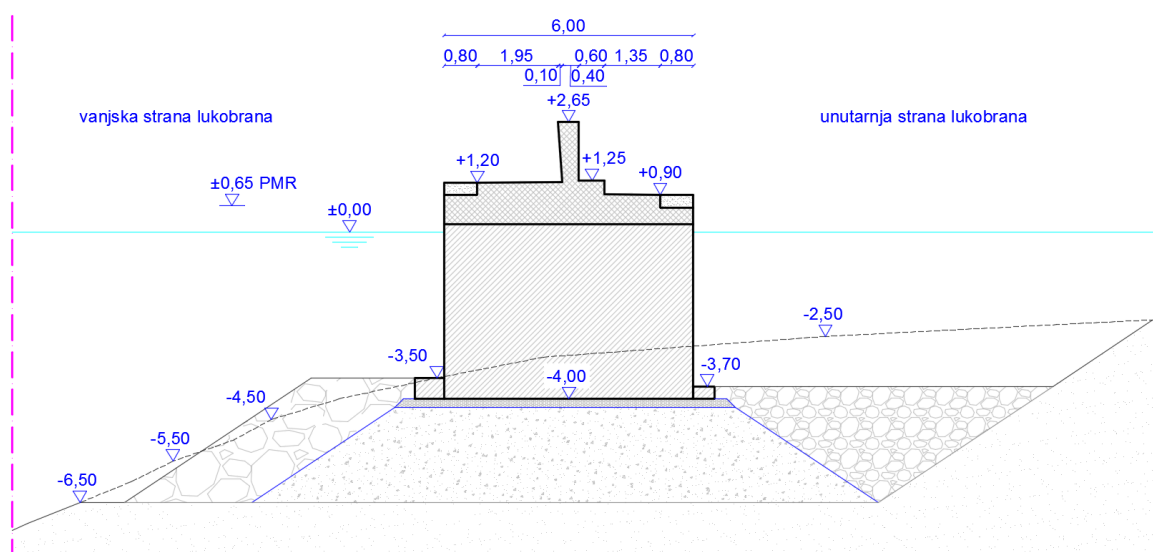
$$\gamma_\beta = 0,72 \text{ za } \beta \geq 45^\circ$$
(39)

Prilikom proračuna usvojena je pretpostavka:

- Kut nailaska vala, β reduciran je za 10° zbog nesigurnosti procjene smjera vala

4.1.1. Prelijevanje tijela vertikalnog lukobrana

Proračun preljevanje na tijelu lukobrana određen je za dominantne smjerove valova SSE i SW koji su definirani na temelju vjetrovalne studije. Analizirani profil prikazan je na slici 37.



Slika 37. Poprečni profil tijela vertikalnog lukobrana [izradio autor]

Ulazni podaci za smjer SSE:

- $H_{m0} = 2,25$ m
- $\beta = 38$

Tablica 10. Proračun prelijevanja na tijelu lukobrana za smjer SSE [izradio autor]

Prelijevanje vertikalnog lukobrana - bez utjecajne obale			
Kota vrha lukobrana	[m]	KVZZ	2,65
Kota projektne razine mora	[m]	PMR	0,65
Reducirani kut nailaska vala(smjer SSE)	[°]	β	28
Visina značajnog vala na nožici lukobrana(smjer SSE)	[m]	H_{m0}	2,25
Visina lukobrana iznad PMR	[m]	R_c	2,00
Koeficijent kuta nailaska vala	[/]	γ_β	0,83
Projektna vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_D	30,78
Srednja vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_M	17,63

Ulazni podaci za smjer SW:

- $H_{m0} = 1,4$ m ,
- $\beta = 8^\circ$,

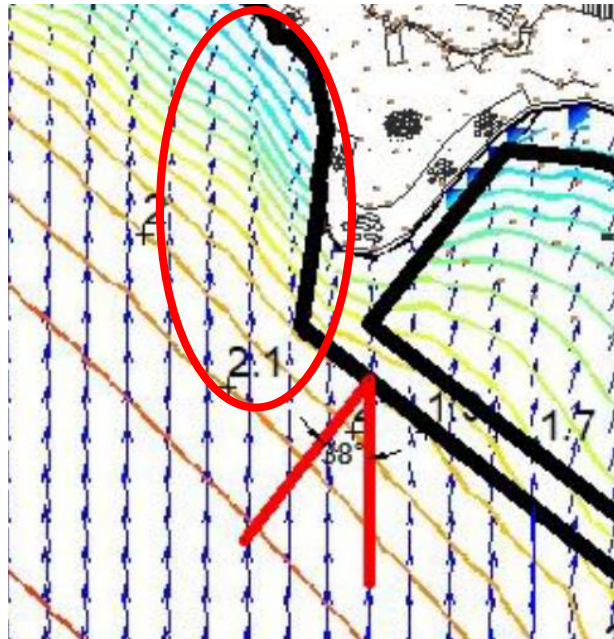
Tablica 11. Proračun prelijevanja na tijelu lukobrana za smjer SW [izradio autor]

Prelijevanje vertikalnog lukobrana - bez utjecajne obale			
Kota vrha lukobrana	[m]	KVZZ	2,65
Kota projektne razine mora	[m]	PMR	0,65
Reducirani kut nailaska vala(smjer SW)	[°]	β	0
Visina značajnog vala na nožici lukobrana(smjer SW)	[m]	H_{m0}	1,4
Visina lukobrana iznad PMR	[m]	R_c	2,00
Koeficijent kuta nailaska vala	[/]	γ_β	1,00
Projektna vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_D	4,11
Srednja vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_M	1,95

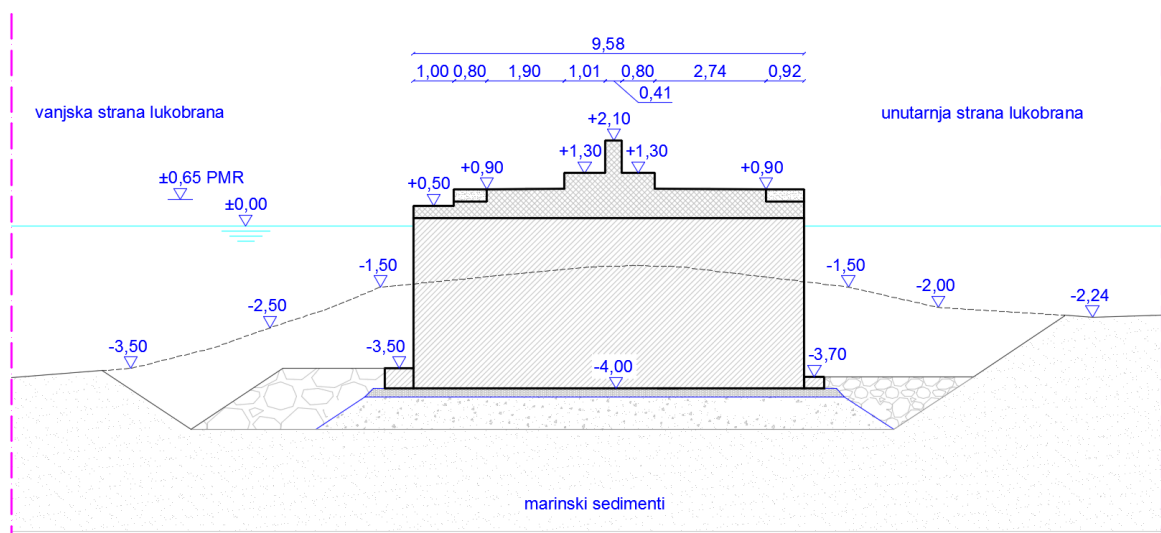
Na slici 37. može se vidjeti da valobrani zid nije u potpunosti ravan, nego blago zakošen s morske strane. Takvim načinom oblikovanja nastoji se postići funkcija zida s povratnim valom (poglavlje 3.2.4.) i dodatno reducirati prelijevanje . Vrijednost redukcije nije moguće odrediti jer ne postoje točno definirani izrazi za ovakav oblik zida. Ukoliko se ukaže potreba za time, trebalo bi se izraditi numerički ili fizikalni model, ali time se ovaj rad neće baviti.

4.1.2. Preljevanje korijena vertikalnog lukobrana

Preljevanje korijena lukobrana određeno je za dominantne smjerove SW i NW, te dvije visine valobranog zida: +2,1 m n.m. (najviša kota valobranog zida) i +1,3 m n.m. (najniža kota valobranog zida). U ovom slučaju valovi koji djeluju iz smjera SSE (s najvećom valnom visinom) nisu mjerodavni jer se kreću paralelno s lukobranom (slika 38.).



Slika 38. Kut nailaska značajnog vala iz smjera SSE u odnosu na korijen lukobrana [7]



Slika 39. Poprečni profil korijena vertikalnog lukobrana [izradio autor]

Ulazni podaci za smjer SW:

- $H_{m0} = 1,4$ m
- $\beta = 53^\circ$

Tablica 12. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer SW gdje je visina valobranog zida +2,1 mn.m. [izradio autor]

Prelijevanje korijena vertikalnog lukobrana - bez utjecajne obale			
Kota vrha lukobrana	[m]	KVZZ	2,1
Kota projektne razine mora	[m]	PMR	0,65
Reducirani kut nailaska vala(smjer SW)	[°]	β	43
Visina značajnog vala na nožici lukobrana(smjer SW)	[m]	H_{m0}	1,4
Visina lukobrana iznad PMR	[m]	R_c	1,45
Koeficijent kuta nailaska vala	[/]	γ_β	0,73
Projektna vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_D	4,37
Srednja vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_M	2,10

Tablica 13. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer SW gdje je visina valobranog zida +1,3 mn.m. [izradio autor]

Prelijevanje korijena vertikalnog lukobrana - bez utjecajne obale			
Kota vrha lukobrana	[m]	KVZZ	1,3
Kota projektne razine mora	[m]	PMR	0,65
Reducirani kut nailaska vala(smjer SW)	[°]	β	43
Visina značajnog vala na nožici lukobrana(smjer SW)	[m]	H_{m0}	1,4
Visina lukobrana iznad PMR	[m]	R_c	0,65
Koeficijent kuta nailaska vala	[/]	γ_β	0,73
Projektna vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_D	64,68
Srednja vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_M	45,63

Ulazni podaci za smjer NW:

- $H_{m0} = 1,15$ m
- $\beta = 8^\circ$

Tablica 14. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer NW gdje je visina valobranog zida +2,1 mn.m. [izradio autor]

Prelijevanje korijena vertikalnog lukobrana - bez utjecajne obale			
Kota vrha lukobrana	[m]	KVZZ	2,1
Kota projektne razine mora	[m]	PMR	0,65
Reducirani kut nailaska vala(smjer NW)	[°]	β	0
Visina značajnog vala na nožici lukobrana(smjer NW)	[m]	H_{m0}	1,15
Visina lukobrana iznad PMR	[m]	R_c	1,45
Koeficijent kuta nailaska vala	[/]	γ_β	1,00
Projektna vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_D	5,76
Srednja vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_M	3,00

Tablica 15. Proračun prelijevanja na korijenu lukobrana za smjer NW gdje je visina valobranog zida +1,3 mn.m. [izradio autor]

Prelijevanje korijena vertikalnog lukobrana - bez utjecajne obale			
Kota vrha lukobrana	[m]	KVZZ	1,3
Kota projektne razine mora	[m]	PMR	0,65
Reducirani kut nailaska vala(smjer NW)	[°]	β	0
Visina značajnog vala na nožici lukobrana(smjer NW)	[m]	H_{m0}	1,15
Visina lukobrana iznad PMR	[m]	R_c	0,65
Koeficijent kuta nailaska vala	[/]	γ_β	1,00
Projektna vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_D	58,87
Srednja vrijednost prelijevanja	[l/s/m']	q_M	42,74

Kao što je prethodno spomenuto, dopuštena veličina prelijevanja prema Eurotopu za valove manje od 5 m iznosi 10 l/s/m'. Iz čega možemo zaključiti da dobivene vrijednosti prelijevanja ne zadovoljavaju dani uvjet, te se u 50 godišnjem povratnom razdoblju mogu očekivati oštećenja, pa možda čak i potapanja brodica unutar luke. Važno je imati na umu da su u ovom slučaju analizirane ekstremne vrijednosti prelijevanja za visinu valobranog zida koja je strogo definirana od strane konzervatora, te se redukcija prelijevanja jedino može postići zakošenjem spomenutih valobranih zidova tako da poprime funkciju zida s povratnim valom.

4.2. Preljevanje kombiniranog lukobrana

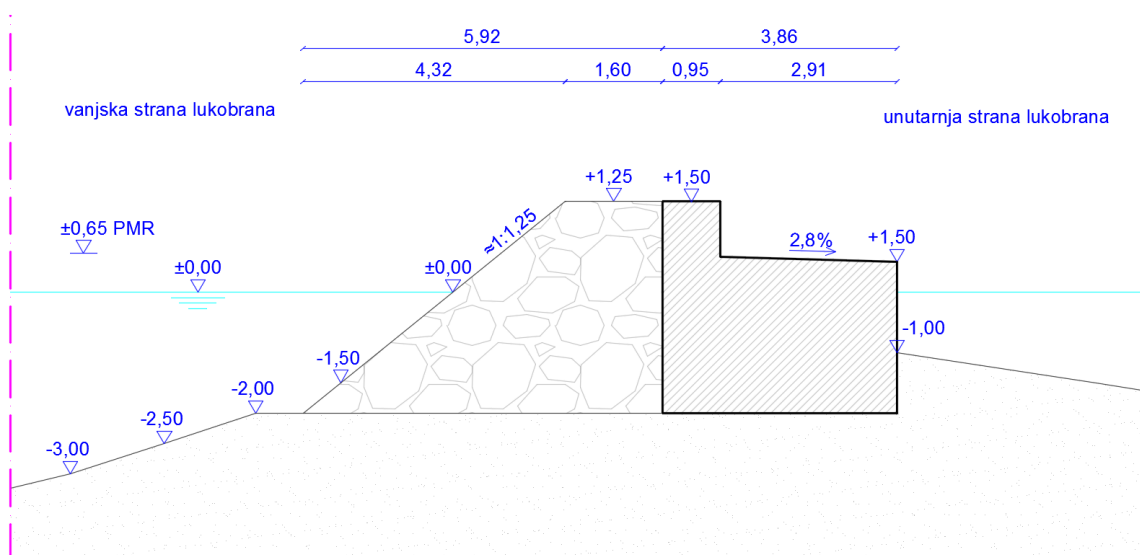
Preljevanje postojećeg, kombiniranog lukobrana određeno je prema EurOtop priručniku iz 2018. g., gdje su izrazi (40) i (41) dani za građevine s zaštitnom oblogom (školjerom). Prilikom njihovog korištenja nužno voditi računa da nagib konstrukcije bude između 1:2 i 1:4/3.

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = C_r * 0,09 * \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_b \gamma_f} \right)^{1,3} \right] \quad (40)$$

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = C_r * 0,103 * \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_b \gamma_f} \right)^{1,3} \right] \quad (41)$$

Koeficijent redukcije za širinu krune školjere, C_r dobije se preko izraza (39):

$$C_r = 3,06 * e^{\left(-1,5 \frac{G_c}{H_{m0}} \right)} \quad (42)$$



Slika 40. Poprečni presjek kombiniranog lukobrana [izradio autor]

Ulazni podaci (dominantan smjer je SSE)

- $H_{m0} = 2,1$ m, usvojena je manja vrijednost od značajnog vala za ovaj smjer(2,25 m) jer se računa karakteristično prelijevanje na cijelom lukobranu, a val se smanjuje prema korijenu
- $\gamma_f = 0,55$, nepropusna kamena obloga u dva sloja (Tablica 16.)
- KVZZ = 1,6 m, kota vrha lukobrana nije na svim dijelovima jednaka, pa se koristi srednja vrijednost

Tablica 16. Tablica koeficijenta hrapavosti, γ_f [28]

Tip zaštitne obloge	γ_β
Glatka nepropusna površina	1
Jednoslojni kamen, nepropusna jezgra (eng. impermeable core)	0,60
Jednoslojni kamen, propusna jezgra	0,45
Dvoslojni kamen, nepropusna jezgra	0,55
Kocka (1 sloj, postavljena određenim redom)	0,49
Kocka (2 sloja, postavljena slučajno)	0,47
Dvoslojni kamen, propusna jezgra	0,40
Tetrapod	0,38
Dolos	0,43

Tablica 17. Proračun prelijevanja za kombinirani lukobran [izradio autor]

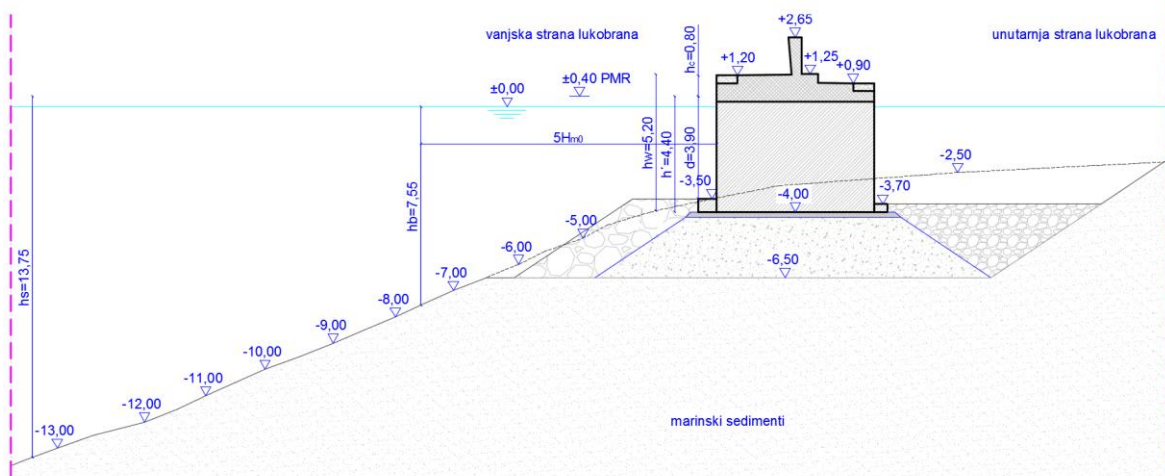
Prelijevanje postojećeg kombiniranog lukobrana			
Kota vrha lukobrana	[m]	KVZZ	1,6
Kota projektne razine mora	[m]	PMR	0,65
Reducirani kut nailaska vala(smjer SEE)	[°]	β	28
Visina značajnog vala na nožici lukobrana(smjer SEE)	[m]	H_{m0}	2,1
Širina krune školjere	[m]	G_c	1,6
Visina lukobrana iznad PMR	[m]	R_c	0,95
Koeficijent kuta nailaska vala	[/]	γ_β	0,8236
Koeficijent hrapavosti	[/]	γ_f	0,55
Koeficijent redukcije za širinu krune školjere	[/]	C_r	0,9759
Projektna vrijednost prelijevanja (jednadžba 6.6)	[l/s/m']	q_D	225,77
Srednja vrijednost prelijevanja (jednadžba 6.5)	[l/s/m']	q_M	158,11
Projektna vrijednost prelijevanja (uključujući C_r)	[l/s/m']	q_D	220,32
Srednja vrijednost prelijevanja (Uključujući C_r)	[l/s/m']	q_M	154,29

Dobivene količine prelijevanja na postojećem lukobranu značajno su veće od onih na vertikalnom, kao i od dopuštenih vrijednosti definiranih Eurotopom. Razlog tomu je što se kota vrha lukobrana nalazi dosta ispod značajne visine vala, tako da ovako velika prelijevanja ne moraju čuditi. Važno je napomenuti da su rezultati dobiveni na temelju značajnog vala 50-godišnjeg povratnog perioda, dok Pršić predlaže određivanje prelijevanja na temelju značajnog vala povratnog period od jedne do pet godina [15]. Naime, u ovom slučaju oni nisu dostupni, ali može se zaključiti da bi njihova primjena dala znatno manje količine prelijevanja.

Promatrajući dobivene rezultate na postojećem lukobranu, može se zaključiti da visina lukobrana nije adekvatna i ne predstavlja dobru zaštitu od prelijevanja. Tokom nailaska valova viših od krune lukobrana (1,6 m) količine prelijevanja značajno rastu i mogu uzrokovati velike štete unutar lučice.

4.3. Dimenzioniranje vertikalnog lukobrana

Dimenzioniranje vertikalnog lukobrana u luci Pazdehova provedeno je metodom Goda, jer dolazi do prelijevanja konstrukcije neimpulzivnim valovima. Kao i u proračunu prelijevanja, usvojena je pretpostavka da se dubina morskog dna ispred zida, h_s nalazi na pola valne duljine značajnog vala.



Slika 41. Skica poprečnog presjeka vertikalnog lukobrana [izradio autor]

Ulazni podaci:

- Značajna visina vala, $H_{m0} = H_s = 2,25$ m
- Period vala, $T_s = 4,2$ s
- Kota projektne razine mora, $PMR = +0,4$ mn.m.
- Kota vrha lukobrana, $KVZZ = +1,2$ mn.m.
- Kota dna lukobrana, $KDZZ = -4,0$ mn.m.
- Dubina dna, $KDT = -13,35$ mn.m.
- Kota zaštitnog sloja školjere, $KS = -3,5$ mn.m.
- Širina lukobrana, $B = 6,0$ m
- Specifična težina mora, $\gamma_w = 10,08$ kN/m³
- Specifična težina nearmiranog betona, $\gamma_c = 24,0$ kN/m³
- Specifična težina armiranog betona, $\gamma_a = 25,0$ kN/m³
- Kut nailaska vala, $\beta = 38^\circ$; po metodi Goda preporuča se umanjeње od 15° zbog nesigurnosti procjene smjera vala, tako da će se usvojiti $\beta = 23^\circ$
- Dubina na $5H_{m0}$, $h_b = -7,55$ mn.m.
- Sila od priveza plovila, $H_{pp} = 2$ kN
- Faktori modifikacije ovise o tipu konstrukcije; za standardni vertikalni zid $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$
- faktor trenja, $f = 0,65$

Pomoćne dimenzije:

- Dubina morskog dna ispred zida, $h_s = PMR - KDT = 13,75$ m
- Dubina berme, $d = PMR - KS = 3,9$ m
- Dubina nožice zida, $h' = PMR - KDZZ = 4,4$ m
- Visina krune zida iznad razine mora, $h_c = KVZZ - PMR = 0,8$ m
- Visina lukobrana mjerena od nožice, $h_w = KVZZ - KDZZ = 5,2$ m

Vrijednosti dobivene proračunom:

- Visina projektnog vala, $H_p = 1,8 * H_{m0} = 1,8 * 2,25 = 4,05$ m
- Dužina vala, $L = 1,56 * T_s^2 = 27,52$ m
- Visina do koje djeluje valni pritisak, $\eta^* = 0,75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_p = 5,83$ m

- Utjecaj perioda vala na distribuciju opterećenja:

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 \left[\frac{4\pi h_s/L}{\sinh(4\pi h_s/L)} \right]^2 = 0,60$$

- Povećanje opterećenja vala zbog smanjenja dubine:

$$\alpha_2 = \alpha_* = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_b-d}{3h_b} \left(\frac{H_p}{d} \right)^2 \\ \frac{2d}{H_p} \end{array} \right. = 0,18$$

- Linearna distribucija opterećenja:

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w-h_c}{h_s} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h_s/L)} \right] = 0,71$$

- Dinamički tlak na mirnoj površini mora:

$$p_1 = 0,5(1 + \cos\beta)(\lambda_1\alpha_1 + \lambda_2\alpha_*\cos^2\beta)\rho_w g H_p = 29,61 \text{ kN/m}^2$$

- Dinamički tlak na razini krune zida:

$$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right) p_1 & \text{za } \eta^* > h_c \\ 0 & \text{za } \eta^* \leq h_c \end{cases} = 25,55 \text{ kN/m}^2$$

- Dinamički tlak u razini nožice zida:

$$p_3 = \alpha_3 p_1 = 20,96 \text{ kN/m}^2$$

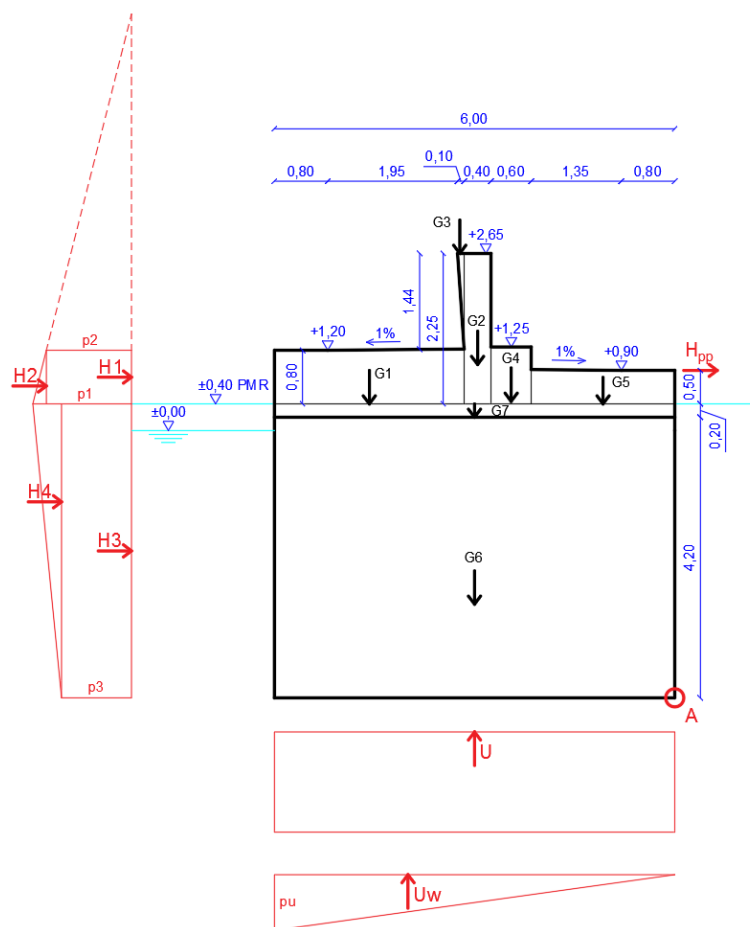
- Dinamički uzgon na vanjskoj nožici zida:

$$p_u = 0,5(1 + \cos\beta)\lambda_3\alpha_1\alpha_3\rho_w g H_p = 16,65 \text{ kN/m}^2$$

Kako bi se lakše odredila težina konstrukcije koriste se pomoćne dimenzije prikazane u tablici 18., a odnose se na opterećenja prikazana na slici 42.

Tablica 18. Pomoćne širine i visine za dimenzioniranje [izradio autor]

Pomoćne širine lukobrana	Pomoćne visine lukobrana
$x_1 = 0,80 \text{ m}$	$y_1 = 0,80 \text{ m}$
$x_2 = 1,95 \text{ m}$	$y_2 = 1,44 \text{ m}$
$x_3 = 0,10 \text{ m}$	$y_3 = 2,25 \text{ m}$
$x_4 = 0,40 \text{ m}$	$y_4 = 0,85 \text{ m}$
$x_5 = 0,60 \text{ m}$	$y_5 = 0,50 \text{ m}$
$x_6 = 1,35 \text{ m}$	$y_6 = 4,20 \text{ m}$
$x_7 = 0,80 \text{ m}$	$y_7 = 0,20 \text{ m}$



Slika 42. Skica dijagrama opterećenja na vertikalni zid [izradio autor]

Za potrebe ovog rada pretpostavit će se izvedba radne reške na +0,2 mn.m. Ona nastaje zbog razlike u izvedbi betona ispod i iznad nje. Beton ispod reške pretpostavit će se kao nearmiran ($24,0 \text{ kN/m}^3$), a beton iznad radne reške će se armirati zbog povezivanja konstrukcije ($\gamma_a = 25,0 \text{ kN/m}^3$). U idućem poglavlju rada proveden je proračun stabilnosti reške na klizanje i prevrtanje, kako bi se utvrdilo da li je potrebna dodatna armatura za povezivanje ova dva betonska dijela.

Proračun sila:

- Težina konstrukcije lukobrana:
 - $G_1 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_1 + x_2 + x_3) * (y_1) = 56,9 \text{ kN}$
 - $G_2 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_4) * (y_3) = 22,56 \text{ kN}$
 - $G_3 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_3) * (y_2) * 0,5 = 1,8 \text{ kN}$

- $G_4 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_5) * (y_4) = 12,84 \text{ kN}$
- $G_5 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_6 + x_7) * (y_5) = 26,88 \text{ kN}$
- $G_6 = 1 \text{ m} * \gamma_c * B * (y_6) = 604,80 \text{ kN}$
- $G_7 = 1 \text{ m} * \gamma_a * B * (y_7) = 30,00 \text{ kN}$
- Uzgon:
 - $U = 1 \text{ m} * B * \gamma_w * h' = 266,11 \text{ kN}$
 - $U_w = 1 \text{ m} * \rho_u * B * 0,5 = 49,96 \text{ kN}$
- Horizontalne sile od vala:
 - $H_1 = 1 \text{ m} * \rho_2 * h_c = 20,44 \text{ kN}$
 - $H_2 = 1 \text{ m} * (\rho_1 - \rho_2) * h_c * 0,5 = 1,62 \text{ kN}$
 - $H_3 = 1 \text{ m} * \rho_3 * h' = 92,21 \text{ kN}$
 - $H_4 = 1 \text{ m} * (\rho_1 - \rho_3) * h' * 0,5 = 19,05 \text{ kN}$
- Sila od priveza plovila:
 - $H_{pp} = 2,0 \text{ kN}$

Krakovi sila (točka A) za:

- Težinu konstrukcije lukobrana:
 - $g_1 = B - (x_1 + x_2 + x_3)/2 = 4,58 \text{ m}$
 - $g_2 = B - (x_1 + x_2 + x_3) - x_4/2 = 2,95 \text{ m}$
 - $g_3 = x_3/3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 3,19 \text{ m}$
 - $g_4 = x_5/2 + x_6 + x_7 = 2,45 \text{ m}$
 - $g_5 = (x_6 + x_7)/2 = 1,08 \text{ m}$
 - $g_6 = B / 2 = 3,0 \text{ m}$
 - $g_7 = B / 2 = 3,0 \text{ m}$
- Uzgon:
 - $u_1 = B / 2 = 3,0 \text{ m}$
 - $u_2 = 2/3 * B = 4,0 \text{ m}$
- Horizontalne sile od vala:
 - $h_1 = (h_c/2) + h' = 4,8 \text{ m}$
 - $h_2 = (h_c/3) + h' = 4,67 \text{ m}$
 - $h_3 = h'/2 = 2,2 \text{ m}$

- $h_4 = (2 * h') / 3 = 2,93 \text{ m}$
- Privez plovila:
 - $h_{pp} = h' + y_5 = 4,9 \text{ m}$

Proračun momenata oko točke A:

- Težina konstrukcije lukobrana:
 - $M_{G1} = G_1 * g_1 = 260,46 \text{ kNm}$
 - $M_{G2} = G_2 * g_2 = 66,64 \text{ kNm}$
 - $M_{G3} = G_3 * g_3 = 5,74 \text{ kNm}$
 - $M_{G4} = G_4 * g_4 = 31,47 \text{ kNm}$
 - $M_{G5} = G_5 * g_5 = 28,89 \text{ kNm}$
 - $M_{G6} = G_6 * g_6 = 1814,40 \text{ kNm}$
 - $M_{G7} = G_7 * g_7 = 90,0 \text{ kNm}$
- Uzgon:
 - $M_U = U * u_1 = 798,34 \text{ kNm}$
 - $M_{Uw} = U_w * u_2 = 199,83 \text{ kNm}$
- Horizontalne sile od vala:
 - $M_{H1} = H_1 * h_1 = 98,12 \text{ kNm}$
 - $M_{H2} = H_2 * h_2 = 7,58 \text{ kNm}$
 - $M_{H3} = H_3 * h_3 = 202,86 \text{ kNm}$
 - $M_{H4} = H_4 * h_4 = 55,87 \text{ kNm}$
- Privez plovila:
 - $M_{pp} = H_{pp} * h_{pp} = 9,80 \text{ kNm}$

4.3.1. Provjera stabilnosti lukobrana na klizanje i prevrtanje

Zbog pojave dva promjenjiva djelovanja (sile od vala i od priveza plovila) uvodi se kombinacijski faktor, ψ . On kvantificira udio nekog opterećenja u kombinaciji s drugim opterećenjima, kada je malo vjerojatno da će se različita opterećenja javiti istovremeno u punom iznosu. Za ovaj slučaj usvojen je $\psi = 0,6$.

Provjera stabilnost na prevrtanje

Parcijalni koeficijenti za granično stanje nosivosti (EQU) prema EN 1997-1 iznose:

- Parcijalni koeficijent sigurnosti za stalna destabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{G.dst.pr} = 1,1$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za stalna stabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{G.stb.pr} = 0,9$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjiva stabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{Q.stb.pr} = 0,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjiva destabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{Q.dst.pr} = 1,5$

Vrijednosti dobivene proračunom:

- Suma momenata stabilnosti

$$M_{st} = \gamma_{G.stb.pr} * (M_{G1} + M_{G2} + M_{G3} + M_{G4} + M_{G5} + M_{G6} + M_{G7}) = 2067,84 \text{ kNm}$$

- Suma momenata koji izazivaju nestabilnost

$$M_{dest} = \gamma_{G.dst.pr} * M_u + \gamma_{Q.dst.pr} * (M_{H1} + M_{H2} + M_{H3} + M_{H4} + M_{Uw}) + \gamma_{Q.dst.pr} * \psi * M_{pp} = 1733,39 \text{ kNm}$$

- Faktor sigurnost

$$F_s = M_{st} / M_{dst} = 1,19 > 1; \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Provjera stabilnosti na klizanje

Parcijalni koeficijenti za granično stanje nosivosti (STR/GEO) prema EN 1997-1 iznose:

- Parcijalni koeficijent sigurnosti za stalna destabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{G.dst.k} = 1,35$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za stalna stabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{G.stb.k} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjiva stabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{Q.stb.k} = 0,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjiva destabilizirajuća djelovanja, $\gamma_{Q.dst.k} = 1,5$

Vrijednosti dobivene proračunom:

- Suma horizontalnih sila

$$\sum H = \gamma_{Q.dst.k} * (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) + \gamma_{Q.dst.k} * \psi * H_{pp} = 201,79 \text{ kN}$$

- Suma vertikalnih sila

$$\sum V = \gamma_{G.stb.k} * (G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7) - \gamma_{G.dst.k} * U - \gamma_{Q.dst.k} * U_w = 321,58 \text{ kN}$$

- Faktor sigurnosti

$$F_{sk} = (f * \sum V) / \sum H = 1,04 > 1; \text{ Uvjet je zadovoljen!}$$

Proračunom je utvrđeno da vertikalni lukobran zadovoljava provjere stabilnosti na prevrtanje i klizanje. Prilikom dimenzioniranja odabrana je širina lukobrana od 6 m kako bi se stvorila dovoljna opterećenja konstrukcije koja će zadovoljiti spomenute provjere stabilnosti, a i neće zahtijevati promjenu visine lukobrana koja je strogo definirana.

4.3.2. Provjera reške lukobrana na klizanje i prevrtanje

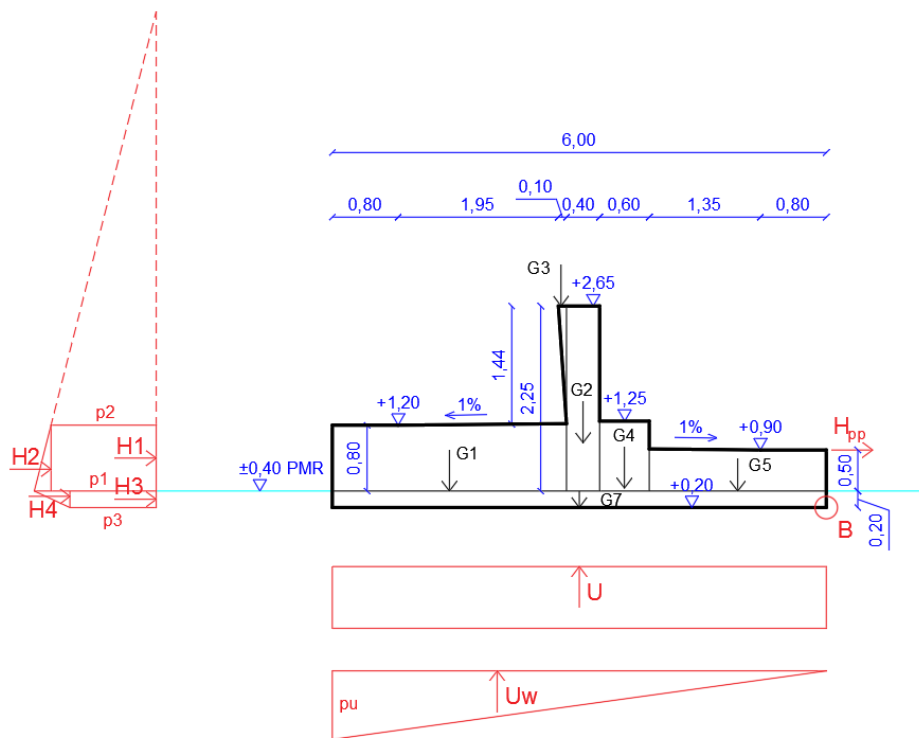
Osim globalne stabilnosti čitavog lukobrana, potrebno je i ispitati stabilnost reške. Ona nastaje zbog razlike u izvedbi nadmorskog i podmorskog betona, te se provjerava na klizanje i prevrtanje, kako bi se ustanovilo da li je potrebna dodatna armatura za povezivanje spomenutih betonskih dijelova.

Ulazni parametri za provjeru stabilnosti reške identični su kao i u prethodnom slučaju za cijeli lukobran osim:

- kota dna reške, KDZZ = +0,2 mn.m.
- pomoćna dimenzija, $y_6 = 0,0 \text{ m}$, jer se nalazi ispod promatranog dijela konstrukcije
- faktor trenja, $f = 0,55$

Pomoćne dimenzije:

- Dubina morskog dna ispred zida, $h_s = PMR - KDT = 13,75 \text{ m}$
- Dubina berme, $d = PMR - KS = 3,9 \text{ m}$
- Dubina nožice zida, $h' = PMR - KDZZ = 0,2 \text{ m}$
- Visina krune zida iznad razine mora, $h_c = KVZZ - PMR = 0,8 \text{ m}$
- Visina lukobrana mjerena od nožice, $h_w = KVZZ - KDZZ = 1,0 \text{ m}$



Slika 43. Skica dijagrama opterećenja za rešku lukobrana [izradio autor]

Vrijednosti dobivene proračunom:

- Visina do koje djeluje valni pritisak, $\eta^* = 0,75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_p = 5,83 \text{ m}$
- Utjecaj perioda vala na distribuciju opterećenja:

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 \left[\frac{4\pi h_s/L}{\sinh(4\pi h_s/L)} \right]^2 = 0,60$$

- Povećanje opterećenja vala zbog smanjenja dubine:

$$\alpha_2 = \alpha_* = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_p}{d} \right)^2 \\ \frac{2d}{H_p} \end{array} \right. = 0,18$$

- Linearna distribucija opterećenja:

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h_s/L)} \right] = 0,99$$

- Dinamički tlak na mirnoj površini mora:

$$p_1 = 0,5(1 + \cos\beta)(\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_* \cos^2\beta) \rho_w g H_p = 29,61 \text{ kN/m}^2$$

- Dinamički tlak na razini krune zida:

$$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right) p_1 & \text{za } \eta^* > h_c \\ 0 & \text{za } \eta^* \leq h_c \end{cases} = 25,55 \text{ kN/m}^2$$

- Dinamički tlak u razini nožice zida:

$$p_3 = \alpha_3 p_1 = 29,22 \text{ kN/m}^2$$

- Dinamički uzgon na vanjskoj nožici zida:

$$p_u = 0,5(1 + \cos\beta)\lambda_3\alpha_1\alpha_3\rho_w g H_p = 23,22 \text{ kN/m}^2$$

Proračun sila:

- Težina konstrukcije lukobrana:

- $G_1 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_1 + x_2 + x_3) * (y_1) = 56,9 \text{ kN}$

- $G_2 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_4) * (y_3) = 22,56 \text{ kN}$

- $G_3 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_3) * (y_2) * 0,5 = 1,8 \text{ kN}$

- $G_4 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_5) * (y_4) = 12,84 \text{ kN}$

- $G_5 = 1 \text{ m} * \gamma_a * (x_6 + x_7) * (y_5) = 26,88 \text{ kN}$

- $G_6 = 1 \text{ m} * \gamma_c * B * (y_6) = 0,0 \text{ kN}$

- $G_7 = 1 \text{ m} * \gamma_a * B * (y_7) = 30,00 \text{ kN}$

- Uzgon:

- $U = 1 \text{ m} * B * \gamma_w * h' = 12,10 \text{ kN}$

- $U_w = 1 \text{ m} * p_u * B * 0,5 = 69,66 \text{ kN}$

- Horizontalne sile od vala:

- $H_1 = 1 \text{ m} * p_2 * h_c = 20,44 \text{ kN}$

- $H_2 = 1 \text{ m} * (p_1 - p_2) * h_c * 0,5 = 1,62 \text{ kN}$

- $H_3 = 1 \text{ m} * p_3 * h' = 5,84 \text{ kN}$

- $H_4 = 1 \text{ m} * (p_1 - p_3) * h' * 0,5 = 0,04 \text{ kN}$

- Sila od priveza plovila:

- $H_{pp} = 2,0 \text{ kN}$

Krakovi sila (točka B) za:

- Težinu konstrukcije lukobrana:

- $g_1 = B - (x_1 + x_2 + x_3)/2 = 4,58 \text{ m}$

- $g_2 = B - (x_1 + x_2 + x_3) - x_4/2 = 2,95 \text{ m}$

- $g_3 = x_3/3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 3,19 \text{ m}$
- $g_4 = x_5/2 + x_6 + x_7 = 2,45 \text{ m}$
- $g_5 = (x_6 + x_7)/2 = 1,08 \text{ m}$
- $g_6 = B / 2 = 3,0 \text{ m}$
- $g_7 = B / 2 = 3,0 \text{ m}$
- Uzgon:
 - $u_1 = B / 2 = 3,0 \text{ m}$
 - $u_2 = 2/3 * B = 4,0 \text{ m}$
- Horizontalne sile od vala:
 - $h1 = (h_c/2) + h' = 0,60 \text{ m}$
 - $h2 = (h_c/3) + h' = 0,47 \text{ m}$
 - $h3 = h'/2 = 0,1 \text{ m}$
 - $h4 = (2 * h')/3 = 0,13 \text{ m}$
- Privez plovila:
 - $h_{pp} = h' + y_5 = 0,7 \text{ m}$

Proračun momenata oko točke B:

- Težina konstrukcije lukobrana:
 - $M_{G1} = G_1 * g_1 = 260,46 \text{ kNm}$
 - $M_{G2} = G_2 * g_2 = 66,64 \text{ kNm}$
 - $M_{G3} = G_3 * g_3 = 5,74 \text{ kNm}$
 - $M_{G4} = G_4 * g_4 = 31,47 \text{ kNm}$
 - $M_{G5} = G_5 * g_5 = 28,89 \text{ kNm}$
 - $M_{G6} = G_6 * g_6 = 0,0 \text{ kNm}$
 - $M_{G7} = G_7 * g_7 = 90,0 \text{ kNm}$
- Uzgon:
 - $M_U = U * u_1 = 36,29 \text{ kNm}$
 - $M_{Uw} = U_w * u_2 = 278,63 \text{ kNm}$
- Horizontalne sile od vala:
 - $M_{H1} = H_1 * h1 = 12,27 \text{ kNm}$
 - $M_{H2} = H_2 * h2 = 0,76 \text{ kNm}$

- $M_{H3} = H_3 * h_3 = 0,58 \text{ kNm}$
- $M_{H4} = H_4 * h_4 = 0,01 \text{ kNm}$
- Privez plovila:
 - $M_{pp} = H_{pp} * h_{pp} = 1,40 \text{ kNm}$

Provjera stabilnost na prevrtanje

Vrijednosti dobivene proračunom:

- Suma momenata stabilnosti

$$M_{st} = \gamma_{G.stb.pr} * (M_{G1} + M_{G2} + M_{G3} + M_{G4} + M_{G5} + M_{G6} + M_{G7}) = 434,88 \text{ kNm}$$

- Suma momenata koji izazivaju nestabilnost

$$M_{dest} = \gamma_{G.dst.pr} * M_u + \gamma_{Q.dst.pr} * (M_{H1} + M_{H2} + M_{H3} + M_{H4} + M_{Uw}) + \gamma_{Q.dst.pr} * \psi * M_{pp} = 479,54 \text{ kNm}$$

- Faktor sigurnost

$$F_s = M_{st} / M_{dst} = 0,91 < 1; \text{ Uvjet nije zadovoljen!}$$

Provjera stabilnosti na klizanje

Vrijednosti dobivene proračunom

- Suma horizontalnih sila

$$\sum H = \gamma_{Q.dst.k} * (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) + \gamma_{Q.dst.k} * \psi * H_{pp} = 43,73 \text{ kN}$$

- Suma vertikalnih sila

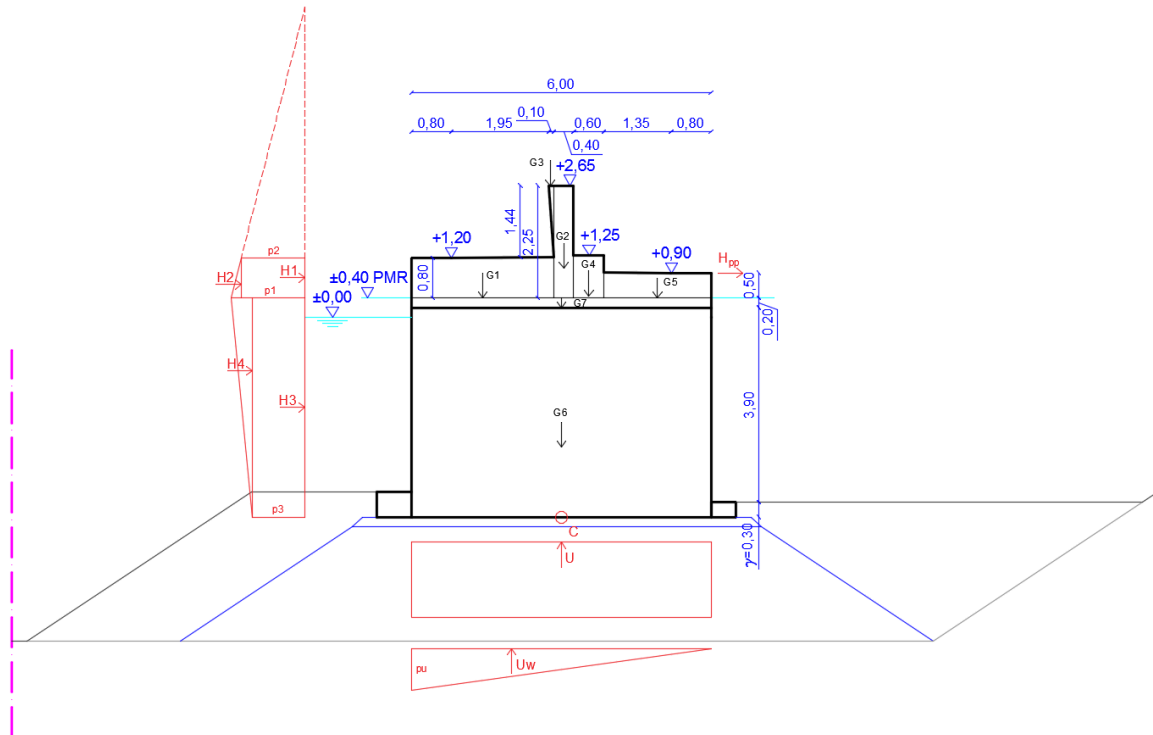
$$\sum V = \gamma_{G.stb.k} * (G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7) - \gamma_{G.dst.k} * U - \gamma_{Q.dst.k} * U_w = 30,15 \text{ kN}$$

- Faktor sigurnosti

$$F_{sk} = (f * \sum V) / \sum H = 0,38 < 1; \text{ Uvjet nije zadovoljen!}$$

Proračunom stabilnosti je utvrđeno da radna reška ne zadovoljava provjeru na prevrtanje i klizanje, te će se morati koristiti dodatna armatura za povezivanje betona iznad i ispod nje. Armiranje vertikalnog lukobrana nije tema ovog diplomskog rada, te se neće provoditi.

4.3.3. Provjera naprezanja ispod stope temelja



Slika 44. Skica opterećenja i veličina bitnih za proračun naprezanja ispod temeljne stope [izradio autor]

Ulazni podaci koji su potrebni za proračun:

- Kohezija kamenog nabačaja, $c = 0$ kPa
- Računska efektivna kohezija kamenog nabačaja, $c' = 0$ kPa
- Saturirana zapreminska težina tla, $\gamma_s = 22$ kN/m³
- Kut unutarnjeg trenja kamenog nabačaja, $\phi = 42^\circ$
- Tangens efektivnog kuta trenja, $\gamma_\phi = 1,25$; prema EN 1997-1
- Računski efektivni kut trenja kamenog nabačaja, $\phi' = \tan^{-1}(\tan(\phi) / \gamma_\phi) = 35,76^\circ$
- Stvarna duljina lukobrana, $L_s = 43,82$ m

Vrijednosti sila koje se koriste za provjeru naprezanja ispod temeljne stope jednake su onima dobivenima za dimenzioniranje, ali se dužina kraka mijenja pa tako i vrijednost momenta.

Krakovi sila (točka C) za:

- Težinu konstrukcije lukobrana:
 - $g_1 = B/2 - (x_1 + x_2 + x_3)/2 = 1,58 \text{ m}$
 - $g_2 = (x_1 + x_2 + x_3) + x_4/2 - B/2 = 0,05 \text{ m}$
 - $g_3 = B/2 - x_1 - x_2 - 2/3 * x_3 = 0,19 \text{ m}$
 - $g_4 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5/2 - B/2 = 0,55 \text{ m}$
 - $g_5 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + (x_6 + x_7)/2 - B/2 = 1,93 \text{ m}$
 - $g_6 = 0,0 \text{ m}$
 - $g_7 = 0,0 \text{ m}$
- Uzgon:
 - $u_1 = 0,0 \text{ m}$
 - $u_2 = 2/3 * B - B/2 = 1,0 \text{ m}$
- Horizontalne sile od vala:
 - $h_1 = (h_c/2) + h' = 4,8 \text{ m}$
 - $h_2 = (h_c/3) + h' = 4,67 \text{ m}$
 - $h_3 = h'/2 = 2,2 \text{ m}$
 - $h_4 = (2 * h')/3 = 2,93 \text{ m}$
- Privez plovila:
 - $h_{pp} = h' + y_5 = 4,9 \text{ m}$

Proračun momenata oko točke A:

- Težina konstrukcije lukobrana:
 - $M_{G1} = G_1 * g_1 = 89,76 \text{ kNm}$
 - $M_{G2} = G_2 * g_2 = 1,03 \text{ kNm}$
 - $M_{G3} = G_3 * g_3 = 0,34 \text{ kNm}$
 - $M_{G4} = G_4 * g_4 = 7,03 \text{ kNm}$
 - $M_{G5} = G_5 * g_5 = 51,73 \text{ kNm}$
 - $M_{G6} = G_6 * g_6 = 0,0 \text{ kNm}$
 - $M_{G7} = G_7 * g_7 = 0,0 \text{ kNm}$
- Uzgon:
 - $M_U = U * u_1 = 0,0 \text{ kNm}$

- $M_{Uw} = U_w * u_2 = 49,96 \text{ kNm}$
- Horizontalne sile od vala:
 - $M_{H1} = H_1 * h1 = 98,12 \text{ kNm}$
 - $M_{H2} = H_2 * h2 = 7,58 \text{ kNm}$
 - $M_{H3} = H_3 * h3 = 202,86 \text{ kNm}$
 - $M_{H4} = H_4 * h4 = 55,87 \text{ kNm}$
- Privez plovila:
 - $M_{pp} = H_{pp} * h_{pp} = 9,80 \text{ kNm}$

Provjera graničnog stanja nosivosti temelja:

- Suma vertikalnih sila:

$$\sum V_n = \gamma_{G.dst.k} * (G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7) - \gamma_{G.stb.k} * U - \gamma_{Q.stb.k} * U_w = 754,17 \text{ kN}$$

- Suma momenata oko točke C

$$\sum M_n = \gamma_{G.dst.k} * (-M_{G1} + M_{G2} - M_{G3} + M_{G4} + M_{G5}) + \gamma_{Q.stb.k} * U_w + \gamma_{Q.dst.k} * (M_{H1} + M_{H2} + M_{H3} + M_{H4}) + \gamma_{Q.dst.k} * \psi * M_{pp} = 514,57 \text{ kNm}$$

- Suma horizontalnih sila

$$\sum H_n = \gamma_{Q.dst.k} * (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) + \gamma_{Q.dst.k} * \psi * H_{pp} = 201,79 \text{ kN}$$

- Ekscentar vertikalne sile

$$e = \sum M_n / \sum V_n = 0,68 \text{ m}$$

- Kontrola jezgre presjeka

$$k = L/6 = 1,0 \text{ m}; \text{ Suma vertikalnih sila nalazi se unutar jezgre presjeka (uvjet: } e < k)$$

- Redukcija dimenzija temelja

$$B' = B - 2 * e = 4,64 \text{ m}$$

$$L' = 1,0 \text{ m}$$

$$A' = B' * L' = 4,64 \text{ m}^2$$

- Računsko stvarno naprezanje

$$q_{Ed} = \sum V_n / A' = 162,70 \text{ kN/m}^2$$

- Geostatičko naprezanje u razini stope temelja

$$q' = \gamma * (\gamma_s - \gamma_w) = 3,58 \text{ kN/m}^2$$

- Faktori nosivosti

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \phi'/2) * e^{\pi \tan \phi'} = 36,65$$

$$N_c = (N_q - 1) * \cot \phi' = 49,49$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * \tan \phi' = 51,36$$

- Faktori oblika

$$s_q = 1 + (B'/L_s) * \sin \phi' = 1,06$$

$$s_c = (s_q * N_q - 1)/(N_q - 1) = 1,06$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 * (B'/L_s) = 0,97$$

- Faktori nagiba opterećenja

$$m = [2 + (B'/L_s)]/[1 + (B'/L_s)] = 1,90$$

$$i_q = [1 - \sum H_n / (\sum V_n + c' * (B' * L_s) * \cot \phi')]^m = 0,55$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c * \tan \phi') = 0,54$$

$$i_\gamma = [1 - \sum H_n / (\sum V_n + c' * (B' * L_s) * \cot \phi')]^{m+1} = 0,40$$

- Računska otpornost

$$q_{Rd} = c' * N_c * s_c * i_c + 0,5 * (\gamma_s - \gamma_w) * B' * N_\gamma * s_\gamma * i_\gamma + q' * N_q * s_q * i_q = 633,09 \text{ kN/m}^2$$

- Faktor sigurnosti

$$F_{sn} = q_{Rd}/q_{Ed} = 3,89 - \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Proračunom naprezanja ispod temeljne stope utvrđeno je da temeljno tlo može preuzeti opterećenje građevine, na način da ne dođe do sloma tla i oštećenja konstrukcije. Dobiveni faktor sigurnosti je znatno veći od jedan, što znači da bi se po potrebi, tj. u cilju isplativosti analizirani materijal mogao zamijeniti materijalom s manjim parametrima čvrstoće.

4.3.4. Proračun zaštitnog kamenometa ispred zida

Ulazni podaci:

- Značajna visina vala na nožici lukobrana, $H_s^{50} = 2,25 \text{ m}$ (na slici 45. označena s H)
- Gustoća morske vode, $\rho_m = 1030 \text{ kg/m}^3$
- Gustoća zaštitnog kamenometa, $\rho_r = w_r = 2600 \text{ kg/m}^3$
- $S_r = \rho_r / \rho_m = 2,52$
- Dubina berme, $d = 4,15 \text{ m}$ (na slici 45. označena s d_i)
- Dubina morskog dna ispred lukobrana, $d_s = 13,76 \text{ m}$

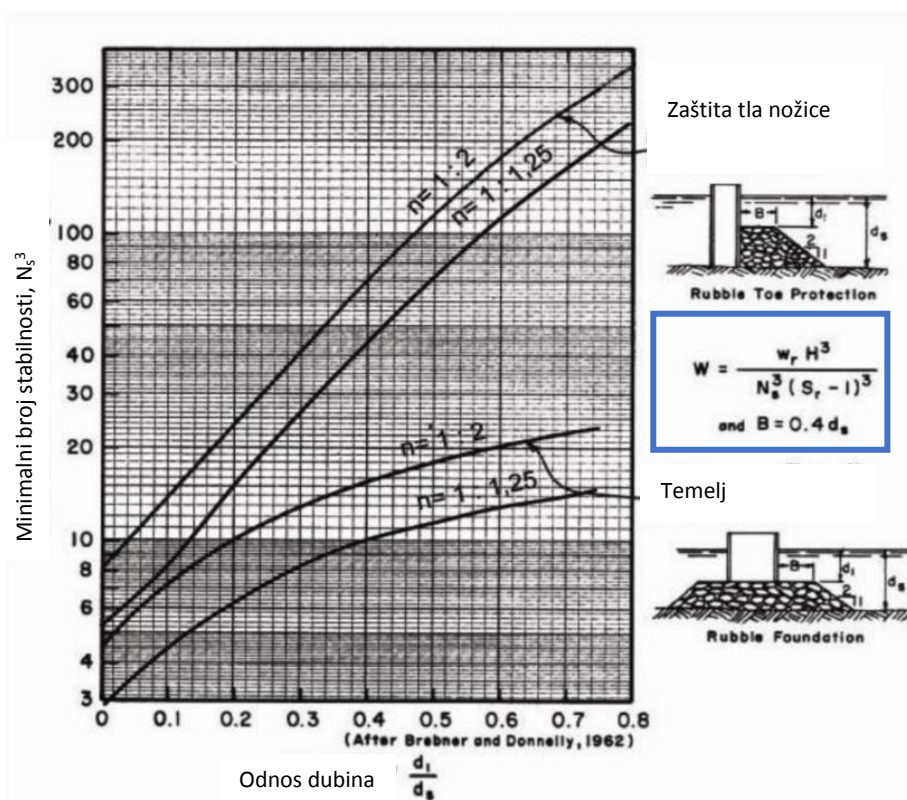
- $d / d_s = 0,302$
- Koeficijent sloja $k_A = 1,02$
- Broj redova kamena, $n = 2$

Za visinu projektnog vala s vanjske strane lukobrana usvaja se nereflektiran desetinski val ($H_{1/10}$) iz SSE smjera s 50-godišnjim povratnim periodom:

- $H_p = H_{1/10}^{50} = H_s^{50} \cdot 1,27 = 2,25 * 1,27 = 2,86 \text{ m}$

Masa srednjeg (50%-tnog) zrna zaštitnog nasipa, W određena je prema formuli i grafu na slici 45., pri čemu je usvojeno:

- $N_s^3 = 12$



Slika 45. Broj stabilnosti N_s^3 za zaštitni i temeljni kameni nasip te nožicu nasipa [29]

Na temelju izraza sa slike dobivena je vrijednost $W = 1445 \text{ kg}$, a usvojeno je da masa srednjeg zrna iznosi $W = 1450 \text{ kg}$ s dopuštenim rasponom u variranju masa od 1100 kg do 1900 kg ($\pm 25\%$). Ukupna debljina zaštitnog kamenometa, koju čine 2 sloja kamena prosječne mase 1450 kg , iznosi $1,7 \text{ m}$.

Debljina jednog reda zrnja kamenja:

- $d_1 = k_{\Delta} * (W / \rho_r)^{1/3} = 0,84 \text{ m}$

Ukupna debljina sloja:

- $t' = n * d_1 = 1,68 \text{ m}$, usvojena je debljina od 1,7 m

Kako ne bi došlo do oštećenja temeljnog nasipa i nožice zida proračunom je određeno postavljanje zaštitnog kamenometa u dva sloja, debljine 1,7 m s prosječnom težinom zrna od 1450 kg.

5. PROJEKTNO RJEŠENJE

U sklopu proširenja komunalne luke Pazdehova izgradit će se novi, zapadni lukobran. Predviđen je kao vertikalni, betonski jer se želi omogućiti vezivanje brodice s unutarnje (lučke) i vanjske (morske) strane. Na taj način omogućit će se 40 novih komunalnih vezova za brodice I. i II. kategorije, što će ukupni kapacitet luke povećati na 94 privezišta.

Ukupna duljina planiranog lukobrana, mjerena s unutarnje strane iznosi 65,2 m., dok je širina promjenjiva i kreće se od 6 m na glavi i tijelu, pa sve do 18,8 m na spoju s obalnom crtom. Visina hodne površine projektirana je na 0,9 m n.m. i kao takva se proteže većim dijelom lukobrana. Jedina iznimka je središnji dio tijela (s vanjske strane) gdje spomenuta kota u blagom nagibu raste na 1,2 m n.m. Radi smanjenja količine prelijevanja predviđena su 4 valobrana zida, od kojih se tri nalaze na tijelu, pozicionirana jedan kraj drugoga. Njihove visine su kao i hodna površina promjenjive i kreću se od 1,35 m na rubu pa do 1,75 m na središtu. Radi bolje redukcije, zid ima blago zakošenje s morske strane i ponaša se kao zid s povratnim valom. Na korijenu lukobrana očekuju se manja prelijevanja te je i visine valobranog zida manja (0,4 do 1,2 m).

Za izvedbu planiranog vertikalnog lukobrana potrebno je izvršiti strojni iskop materijala u nagibu 1:1,5 do -6,5 m p.m. Na spomenutoj koti ugradit će se temeljni nasip, težine zrna 1 do 500 kg s nagibom pokosa 1:1,5 do kote -4,2 m p.m. Na njega dolazi sloj tucanika za poravnanje, debljine 20 cm s promjerom zrna 31,5 do 63 mm. Za zaštitu nožice zida i temeljnog nasipa predviđen je zaštitni kamenomet težine zrna 1100-1900 kg ispred i 100 - 200 kg iza zida.

Betoniranje lukobrana izvest će se u oplati na licu mjestu tzv. kalupnim betonom. Radi razlike u ugradnji betona iznad i ispod mora predviđena je radna reška na +0,2 m n.m. Podmorski beton će se izvesti za vrijeme oseke kontraktor postupkom s početkom betoniranja na -4,0 m p.m pa sve do visine radne reške. Zbog povezivanja konstrukcije nadmorski beton će se armirati, uključujući i valobrane zidove.

Betonski blokovi čuvari izvest će se na kopnu i ugraditi u moru radi zaštite od podlokavanja nožice. Projektom predviđene dimenzije su 70x50 cm i 50x30 cm, a postavljaju se po obodu zida lukobrana na nasipu između istih.

6. ZAKLJUČAK

Turizam je jedna od najvažnijih gospodarskih grana Hrvatske u koju se iz godine u godine sve više ulaže. Ponajviše se to osjeti u priobalnim mjestima gdje se izgradnjom hotela, apartmana i ostalih uslužnih objekata znatno pospješuje rast i razvoj. Jedno od takvih mjesta je i Dramalj koji svojim prekrasnim plažama i ugodnom klimom svake godine privlači sve više i više gostiju.

Nažalost, u većini slučajeva nagli razvoj naselja ne prati adekvatna javna struktura, gdje se javljaju očiti problemi nedostatka parkirnih mjesta, uređenih plaža i mjesta za kulturne manifestacije. Uz navedene probleme, na području cijele Crikveničke rivijere javlja se još jedan, a to je nedostatak brodskih vezova.

Kako bi se postojeća lučica bolje zaštitila od valova i omogućila više priveznih mjesta za lokalno stanovništvo, izrađeno je idejno rješenje novog vertikalnog lukobrana. Njegovom izgradnjom omogućilo bi se 40 novih priveznih mjesta za brodice I. i II. kategorije, a u sklopu izgradnje uredit će se i lučki prostor namijenjen održavanju javnih manifestacija.

U ovom radu određene su vrijednosti prelijevanja na postojećem i budućem lukobranu, te su uspoređene sa dozvoljenim količinama. Vrijednost postojećeg kombiniranog lukobrana znatno je veća od dozvoljene i može uzrokovati znatna oštećenja štice brodica, kao i njihova potapanja. Vertikalni lukobran u tom smislu pokazuje dosta veću redukciju, ali također daje veće vrijednosti od dozvoljenih. Zbog toga što se visina valobranog zida mora prilagoditi brojnim utjecajima, poput autohtonosti okoline i zahtjeva konzervatora, vrlo je teško postići optimalne uvjete u kojima će svi zahtjevi biti zadovoljeni. U tu svrhu spomenuti valobrani zid će se izvesti sa blagim zakošenjem na morskoj strani kako bi formirao zid s povratnim valom. Naime, takvim oblikovanjem će se postići bolja zaštita lučice od prelijevanja, a i zadržati definirane visine. Naravno, količine i dalje neće biti unutar dozvoljenih, ali bit će postignuto kompromisno rješenje.

Prilikom dimenzioniranja, visina lukobrana je dogovorena u skladu s arhitektom i investitorom kako bi se zadovoljili trenutni zahtjevi korisnika. Ukoliko u budućnosti dođe

do značajnijeg povećanja razine mora, lukobran će biti potrebno povisiti, kao i čitavu obalu u okolnom području. Takvi uvjeti se sigurno očekuju, ali s obzirom na neadekvatnost obalnog područja u vidu visina i svrhu luke, koja se odnosi na zaštitu komunalnih vezova i ne predstavlja važan strateški projekt, takav način projektiranja bi doveo do nesrazmjera konstrukcije i okolnog prostora, te značajno otežane funkcionalnosti.

Na kraju mogu zaključiti da je projektiranje jedne ovakve obalne građevine vrlo složen zadatak za čiju izradu treba puno iskustva i znanja, a posebno u dijelovima gdje treba naći optimalno rješenje između nekoliko strana. Kako sam kroz djetinjstvo boravio vrlo često na području Dramlja i upoznao sve njegove ljepote i čari. Osobno mislim da bi jedno ovakvo rješenje bilo odlično za mještane i turiste. Predstavljalo bi odličnu kombinaciju ugodnog i korisnog gdje bi se omogućio veći broj priveznih mjesta za lokalno stanovništvo, a tokom ljetne sezone stvorio ugodan ambijent za brojne različite manifestacije.

7. LITERATURA

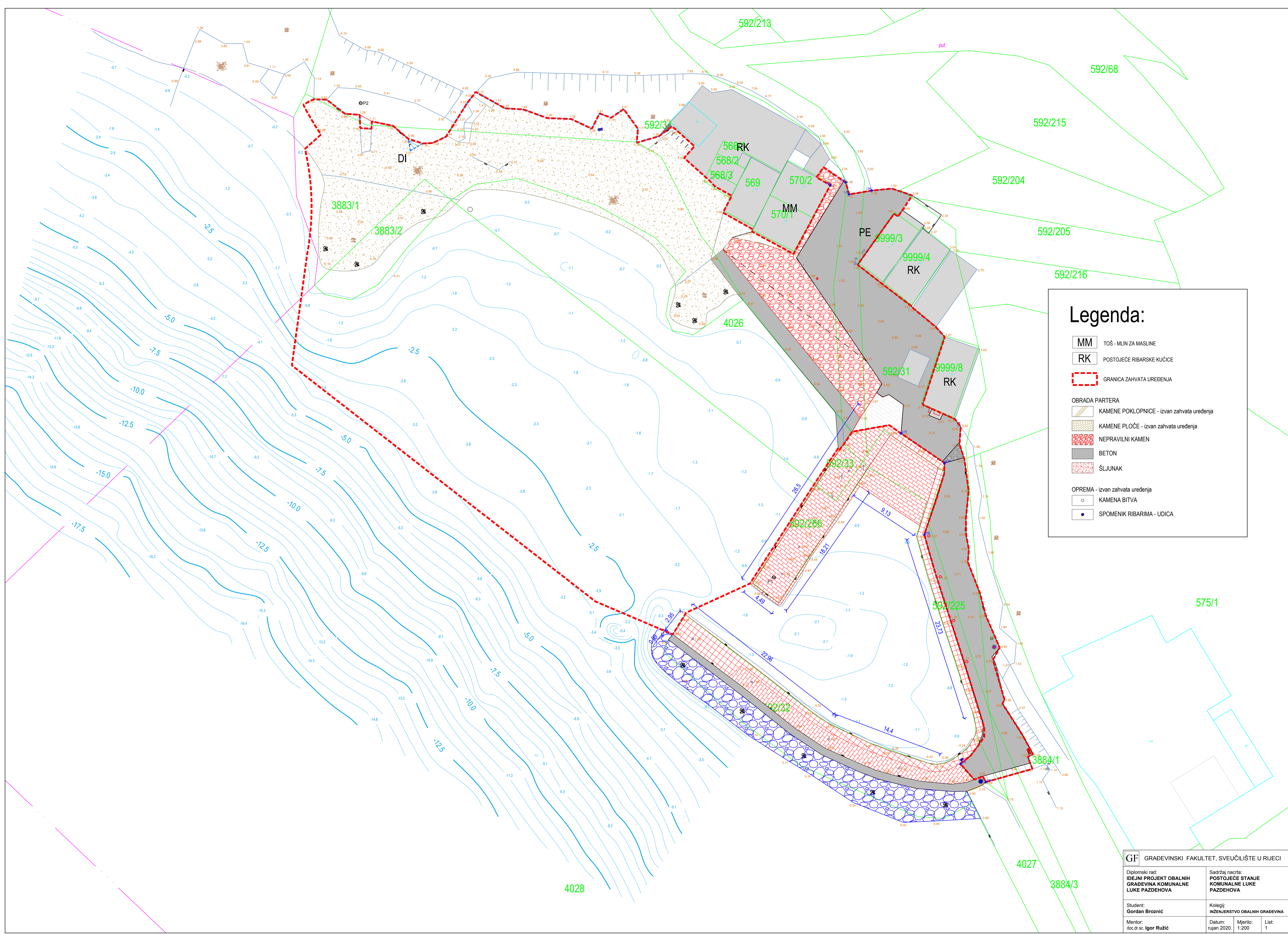
- [1] Ravlić, A., Devastacija prostora i gubitak milijuna: U Crikvenici više od tisuću divljih vezova, *Novi list*, 14.10.2016., <https://www.novolist.hr/regija/devastacija-prostora-i-gubitak-milijuna-u-crikvenici-vise-od-tisucu-divljih-vezova/>, pristup 18.07.2020.
- [2] *Urbanističko-arhitektonsko rješenje komunalne luke Pazdehova*, Urbanistički studio Rijeka d.o.o.
- [3] Dramalj, *Wikipedia*, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Dramalj>, pristup 19.07.2020.
- [4] Škrgatić, S., Manestar, A., *Dramalj*, Centar za kulturu Dr. Ivan Kostrenčić, Crikvenica, 2019.
- [5] Županijska lučka uprava Crikvenica, *Luka Pazdehova*, http://www.zlu-crikvenica.hr/?page_id=250, pristup 20.07.2020.
- [6] Šubat, I., *Počela sanacija postojećeg i građenje novog obalnog zida luke Pazdehova u Dramlju, te uređenje prilazne šetnice*, <https://www.crikva.hr/pocela-sanacija-postojeceg-i-gradjenje-novog-obalnog-zida-luke-pazdehova-u-dramlju-te-uredjenje-prilazne-setnice/40>, preuzeto 25.07.2020.
- [7] *Studija vjetrovalne klime za luku otvorenu javnom prometu lokalnog značaja Pazdehova*, Rijeka, 2018.
- [8] Begonja, M., *Djelovanje vanjskih sila na projektiranje lučkih građevina*, Pomorski zbornik, Udruga za proučavanje i razvoj pomorstva, Rijeka, 2014.
- [9] Ružić, I., *Inženjerstvo obalnih građevina: predavanje br. 2.*, skripta Građevinskog fakulteta u Rijeci
- [10] Vjetar, *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020., <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64995>, pristup 28.07.2020.
- [11] *Beaufortova ljestvica*, https://hr.wikipedia.org/wiki/Beaufortova_ljestvica, pristup 10.08.2020.
- [12] *Vjetrovi u Hrvatskoj*, <https://www.ultra-sailing.hr/hr/vjetrovi-u-hrvatskoj>, pristup 10.08.2020.
- [13] *Vjetrovi Jadrana*, <http://marjan.hr/2015/01/07/vjetrovi-jadrana/>, pristup 11.08.2020.

- [14] Vjetrovi u Hrvatskoj, *Wikipedia*, https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetrovi_u_Hrvatskoj pristup 15.08.2020.
- [15] Pršić, M., *Vodnogospodarske građevine*, Tehničko Veleučilište Zagreb, 2008., http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/tvz/vgg/skripta_pom_grad.pdf, pristup 17.08.2020.
- [16] Morske mijene, *Wikipedia*, https://hr.wikipedia.org/wiki/Morske_mijene, pristup 19.08.2020.
- [17] Morske struje, *Proleksis enciklopedija*, <https://proleksis.lzmk.hr/47534/>, pristup 16.08.2020.
- [18] Morska struja, *Wikipedia*, https://bs.wikipedia.org/wiki/Morska_struja, pristup 19.08.2020.
- [19] Strujanja u Jadranskom moru, <https://www.azu.hr/za%C5%A1tita-okoli%C5%A1a/strujanja-u-jadranskom-moru/>, pristup 25.08.2020.
- [20] *Geofizički i geotehnički istražni radovi za potrebe projekta uvala Pazdehova u Dramlju*, Geotehnički studio, 2020.
- [21] *Studija vjetrovalne kline za područje uvale kod ušća Dubračine u Crikvenici*, DHMZ, Split, 2006
- [22] Tabain, T., *Vjetrovni valovi na Jadranu*, Pomorska enciklopedija, JLZ, Zagreb, 1972. - 1989.
- [23] *Maritimna sigurnost pri prijemu brodova za prijevoz nafte i naftnih derivata na tankerskom pristanu u Bakru*, Pomgrad Inženjering, 760/2018., <https://www.ina.hr/wp-content/uploads/2020/01/Maritimna-Bakar2019-i-suglasnost.pdf>, pristup 25.08.2020.
- [24] *Peljar za male brodove*, Prvi dio, HHI Split, 2002.
- [25] Takahashi, S., *Design of Vertical Breakwaters*, Port and Airport Research Institute, Japan, 2002.
- [26] U.S. Army Corps of Engineers, *Coastal Engineering Manual*, Washington, DC, 2008.
- [27] Pršić, M., *Plovni putevi i luke*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2011., http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/plovni_putevi_i_luke/predavanja/PP_L_Pogl%20245%20ValOpt_280311.pdf, pristup 28.08.2020.
- [28] EurOtop, *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures*, 2018., <http://www.overtopping-manual.com/>, pristup 15.07.2019.

- [29] Pršić, M., Pomorske građevine, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2013., https://www.grad.unizg.hr/download/repository/PG_dipl_H2_sve_280212.pdf, pristup 10.09.2020.

8. GRAFIČKI PRILOZI

1. Postojeće stanje komunalne luke Pazdehova
2. Idejno rješenje komunalne luke Pazdehova
3. Poprečni presjek 1-1 postojećeg kombiniranog lukobrana
4. Poprečni presjek 2-2 novoplaniranog vertikalnog lukobrana
5. Uzdužni presjek 3-3 novoplaniranog vertikalnog lukobrana



Legenda:

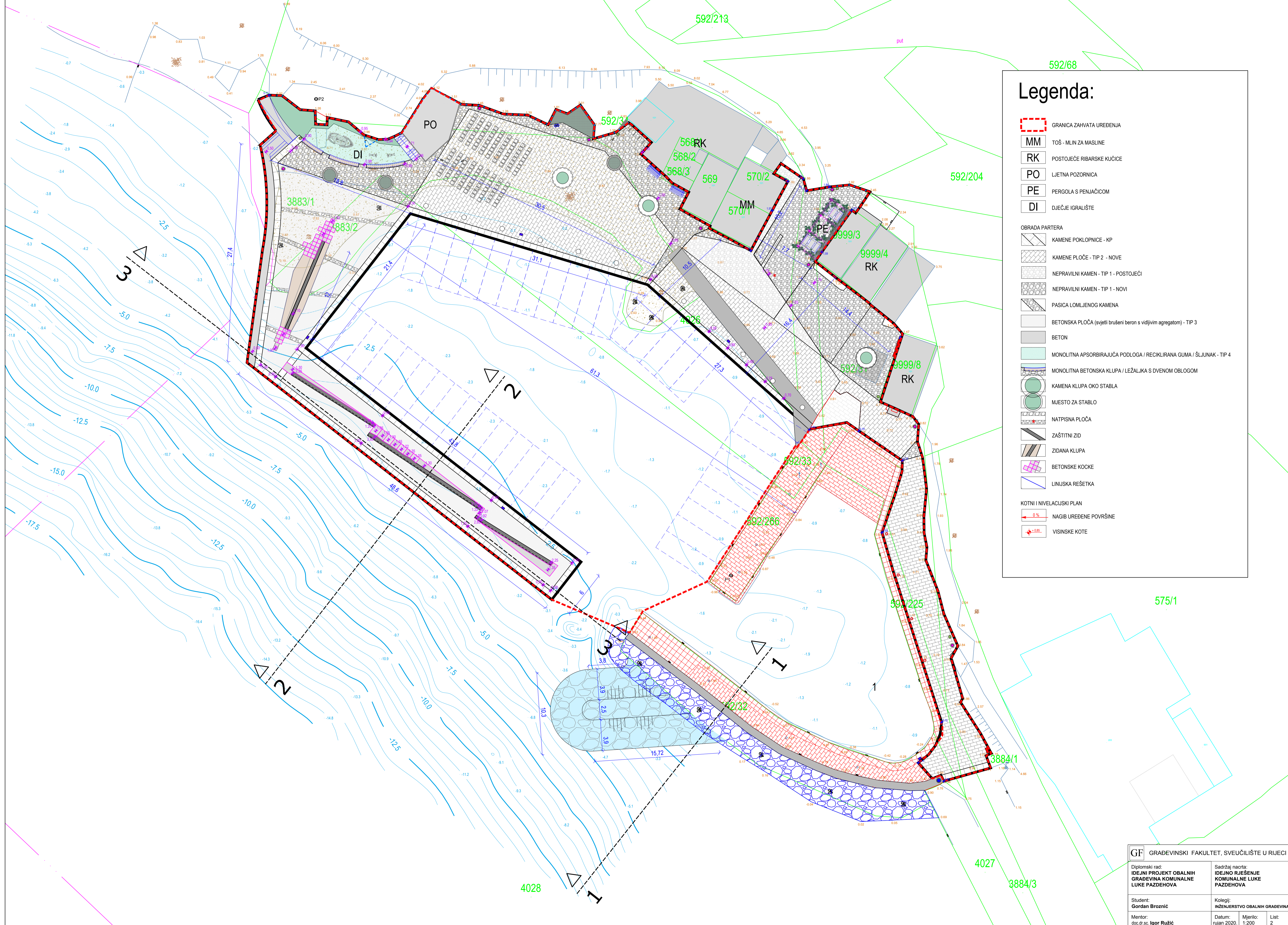
- MM TOŠ - MLIN ZA MASLINE
- RK POSTOJEĆE RIBARSKÉ KUĆICE
- GRANICA ZAHVATA UREĐENJA

OBRADA PARTERA

- KAMENE POKLOPNICE - izvan zahvata uređenja
- KAMENE PLOČE - izvan zahvata uređenja
- NEPRAVILNI KAMEN
- BETON
- ŠLIJUNAK

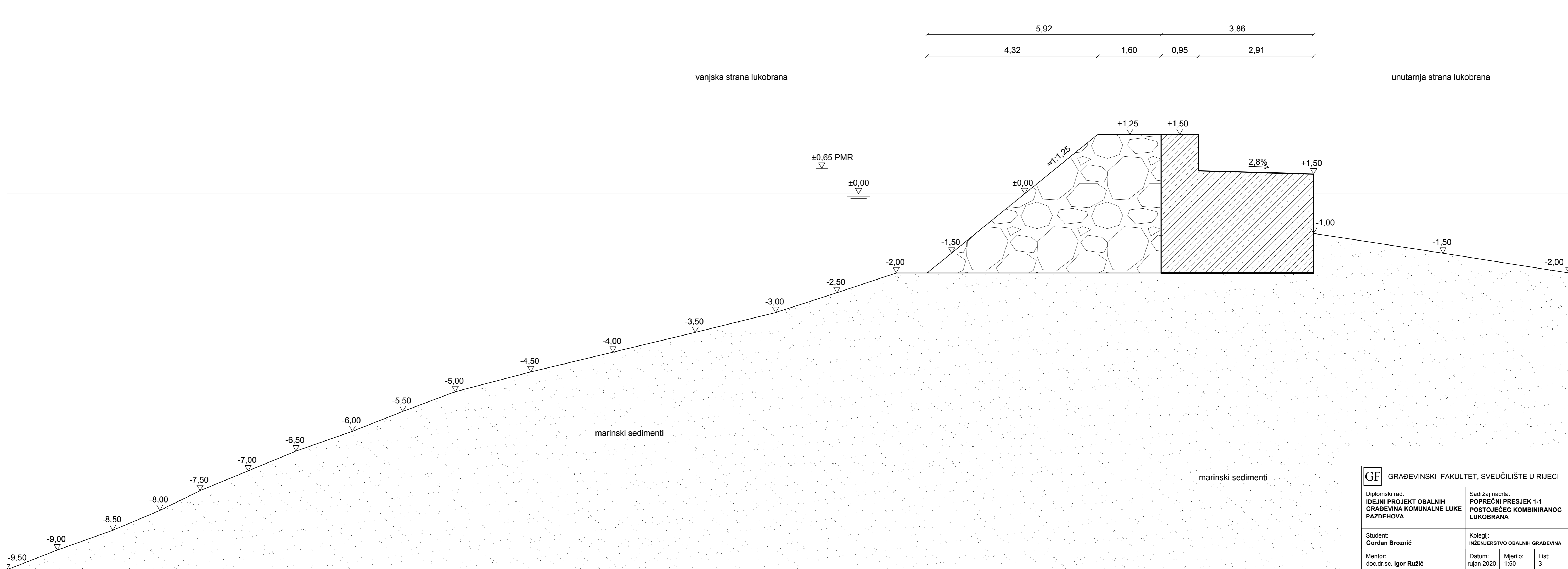
OPREMA - izvan zahvata uređenja

- KAMENA BITVA
- SPOMENIK RIBARIMA - UDICA

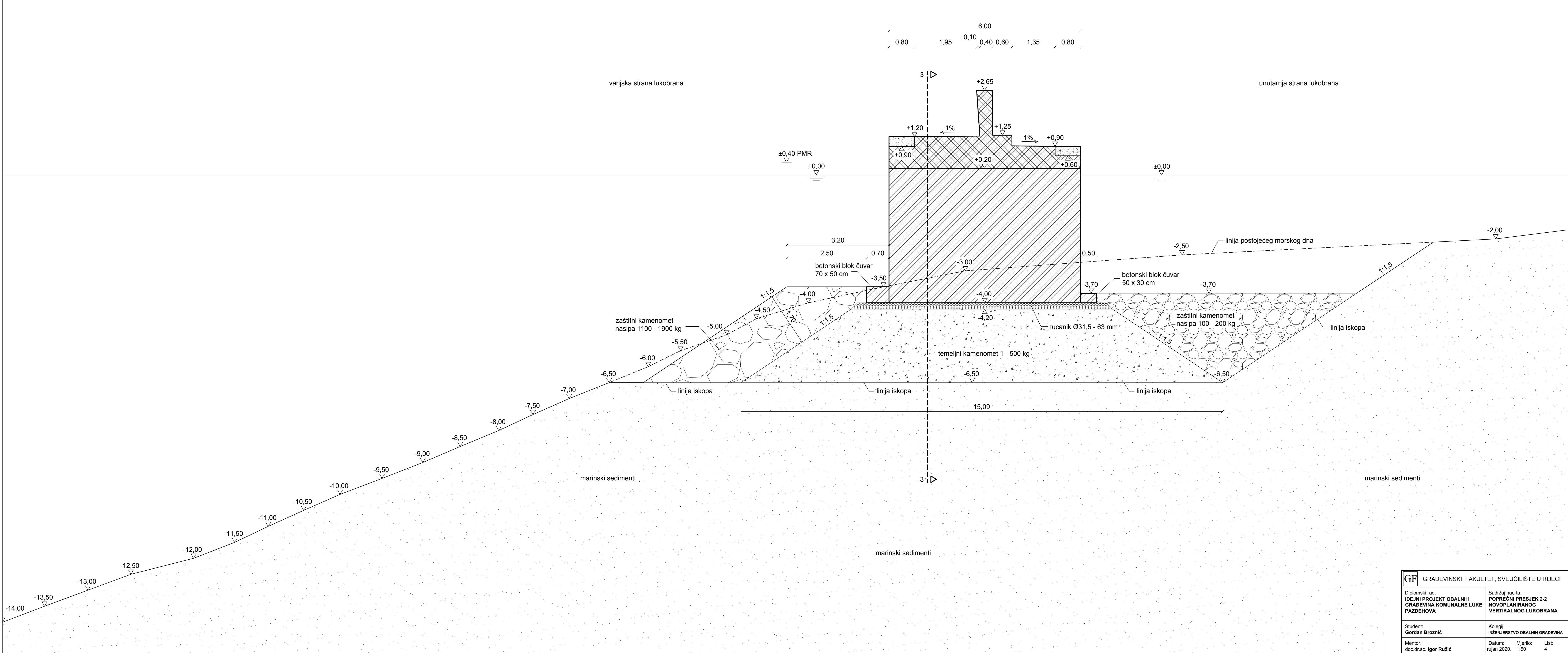


Legenda:

- GRANICA ZAHVATA UREĐENJA
 - MM TOŠ - MLIN ZA MASLINE
 - RK POSTOJEĆE RIBARSKKE KUĆICE
 - PO LIJETNA POZORNICA
 - PE PERGOLA S PENJAČICOM
 - DI DJEČJE IGRALIŠTE
- OBRADA PARTERA
- KAMENE POKLOPNICE - KP
 - KAMENE PLOČE - TIP 2 - NOVE
 - NEPRAVILNI KAMEN - TIP 1 - POSTOJEĆI
 - NEPRAVILNI KAMEN - TIP 1 - NOVI
 - PASICA LOMLJENOG KAMENA
 - BETONSKA PLOČA (svjetli brušeni beron s vidljivim agregatom) - TIP 3
 - BETON
 - MONOLITNA APSORBIRAJUĆA PODLOGA / REKICLIRANA GUMA / ŠLJUNAK - TIP 4
 - MONOLITNA BETONSKA KLUPA / LEŽALIKA S DVENOM OBLOGOM
 - KAMENA KLUPA OKO STABLA
 - MJESTO ZA STABLO
 - NATPISNA PLOČA
 - ZAŠTITNI ZID
 - ZIDANA KLUPA
 - BETONSKE KOCKE
 - LINIJSKA REŠETKA
- KOTNI I NIVELACIJSKI PLAN
- 0 ‰ NAGIB UREĐENE POVRŠINE
 - VISINSKE KOTE

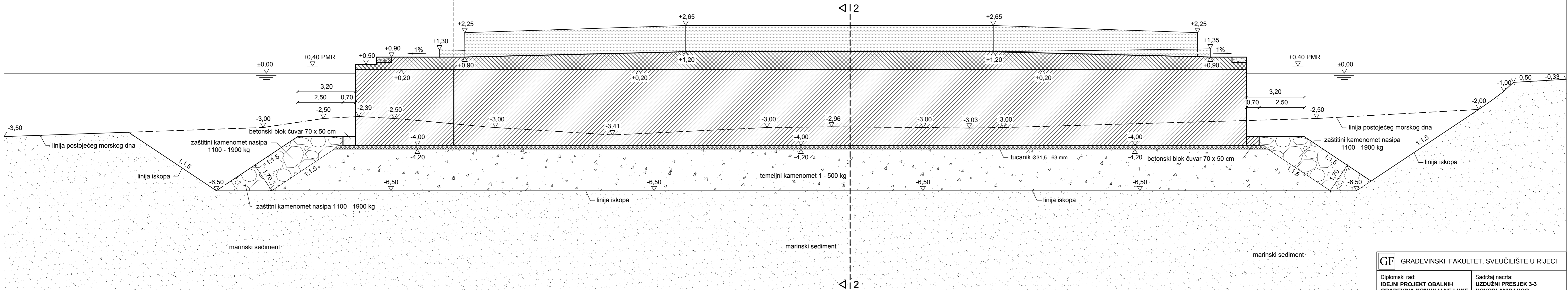
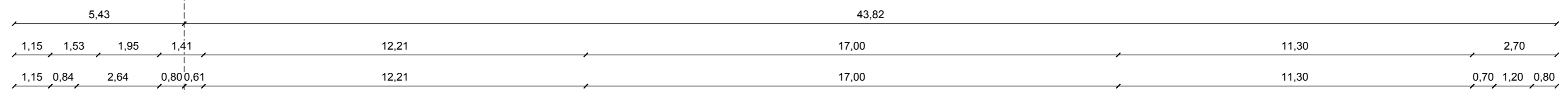


GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: IDEJNI PROJEKT OBALNIH GRAĐEVINA KOMUNALNE LUKE PAZDEHOVA		Sadržaj nacrt: POPREČNI PRESJEK 1-1 POSTOJEĆEG KOMBINIRANOG LUKOBRANA	
Student: Gordan Broznić		Kolegij: INŽENJERSTVO OBALNIH GRAĐEVINA	
Mentor: doc.dr.sc. Igor Ružić		Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:50
		List: 3	



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: IDEJNI PROJEKT OBALNIH GRAĐEVINA KOMUNALNE LUKE PAZDEHOVA		Sadržaj nacrt: POPREČNI PRESJEK 2-2 NOVOPLANIRANOG VERTIKALNOG LUKOBRAVA	
Student: Gordan Broznić		Kolegij: INŽENJERSTVO OBALNIH GRAĐEVINA	
Mentor: doc.dr.sc. Igor Ružić	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:50	List: 4

korijen lukobrana ← tijelo lukobrana →



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: IDEJNI PROJEKT OBALNIH GRAĐEVINA KOMUNALNE LUKE PAZDEHOVA		Sadržaj nacrt: UZDUŽNI PRESJEK 3-3 NOVOPLANIRANOG VERTIKALNOG LUKOBRANA	
Student: Gordan Broznić		Kolegij: INŽENJERSTVO OBALNIH GRAĐEVINA	
Mentor: doc.dr.sc. Igor Ružić	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:100	List: 5