

Idejno rješenje komunalne luke u uvali Žurkovo

Trinajstić, Filip

Graduate thesis / Diplomski rad

2023

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:157:734330>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-21**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

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



zir.nsk.hr

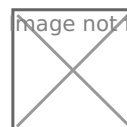


image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Filip Trinajstić

Idejno rješenje komunalne luke u uvali Žurkovo

Diplomski rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Stručni diplomski studij
Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi
Gradnja marina i obala**

**Filip Trinajstić
JMBAG: 0114028817**

Idejno rješenje komunalne luke u uvali Žurkovo

Diplomski rad

Rijeka, srpanj 2023.

Rijeka, 18. lipnja 2023.

Zavod: **Zavod za hidrotehniku i geotehniku**
Predmet: **Gradnja marina i obala**
Grana: **2.05.03 hidrotehnika**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 46

Pristupnik: **Filip Trinajstić (0114028817)**
Studij: **Građevinarstvo; smjer: Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi**

Zadatak: **Idejno rješenje komunalne luke u uvali Žurkovo**

Opis zadatka:

Zadatak uručen pristupniku: 7. ožujka 2023.
Rok za predaju rada: 20. lipnja 2023.

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić



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.



Filip Trinajstić

U Rijeci, 1.7.2023.

ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Igoru Ružiću na mentorstvu, ukazanoj pomoći i susretljivosti tijekom izrade diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se cijeloj obitelji i curi Luciji, koji su mi bili podrška kroz godine studiranja.

Sažetak

Kroz diplomski rad razrađeno je idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo u općini Kostrena. Rješenjem su obuhvaćene tri varijante organizacije luke, te je nakon dobivenih podataka jedna odabrana kao prihvatljivija opcija. Uz organizaciju luke, napravljene su i dvije varijante izvedbe zaštitnog lukobrana, opis izvedbe novog obalnog zida te varijante izvedbe gatova. Rad obuhvaća i pregled prethodnih analiza lokacije kao što su prirodne osnove, povijesni pregled, pregled postojećih projekata uređenja uvale, geološke osobine tla, meteorološke te klimatske podatke. Prikazana je metodologija proračuna te je izveden hidraulički proračun za dvije varijante lukobrana, nasuti i vertikalni uz podvarijante. Uz to, napravljeni su i grafički prilozi koji prikazuju organizaciju vezova u sve tri varijante, dvije varijante lukobrana te poprečne presjeke. Sve varijante predviđaju izvedbu zaštitnog lukobrana kao zaštitu akvatorija luke, obalni zid te privezne gatove. Varijante organizacije i dispozicije vezova razlikuju se u broju dostupnih vezova, krećući se od prve varijante sa 164 veza, do posljednje sa 147 vezova. Također, kroz ovaj rad napravljen je i iskaz količina materijala za gradnju lukobrana te analiza utjecaja zahvata na okoliš i vizuru samog prostora uvale Žurkovo. Najpovoljnije rješenje organizacije luke i izvedbe lukobrana prikazano je kroz grafičke vizualizacije.

Ključne riječi: Kostrena, Žurkovo, idejno rješenje, komunalna luka, lukobran, obalni zid, privez, dispozicija vezova, dimenzioniranje, proračun

Abstract

Through this master's thesis, a conceptual design for the arrangement of the municipal port in the Žurkovo bay in the municipality of Kostrena was developed. Thesis covers three variants of the organization of the port, and after evaluating data, one was chosen as a most acceptable option. In addition to the organization of the port, two variants of the protective breakwater and variants of the piers were also created. The work also includes previous analysis of location, such as the basic data of the locality, a historical overview, an overview of existing bay development projects, geological characteristics of the soil, meteorological and climatic data. The calculation methodology was presented and the hydraulic calculation was performed for both types of breakwater, along with sub-variants for the vertical breakwater. In addition, graphic materials were made that shows the organization of port berths in all three variants, two variants of the breakwater and cross-sections. All variants includes construction of a protective breakwater as protection of the harbor area, coastal wall and mooring piers. Variants of the port organization and berths disposition differ in the number of available berth places, starting from the first variant with 164 berths, to the last with 147. Also, through this work, a calculation of the amount of material for the construction of the breakwater was made, as well as an analysis of the impact of the intervention on the environment and the view of the area of the Žurkovo bay itself. The most favorable solution for the organization of the port and the performance of the breakwater is shown through graphic visualizations.

Key words: Kostrena, Žurkovo, concept design, municipal port, breakwater, coastal wall, mooring, disposition of berths, dimensioning, calculation

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	9
UVOD.....	12
UVALA ŽURKOVO I OKOLNI PROSTOR	12
Predmet zahvata	12
Lokacija.....	12
Povijest	14
Geološka osnova.....	16
Meteorološki i klimatski podaci.....	18
Zaštita okoliša kroz zahvat izgradnje i uporabu.....	21
Prostorno-planska dokumentacija	23
Pregled postojećih projekata	25
PRIJEDLOG UREĐENJA KOMUNALNE LUKE	28
Postojeće stanje vezova u uvali Žurkovo.....	28
Uređenje komunalnih luka i dispozicija vezova	29
Varijantna rješenja gatova, obale i organizacije luke	32
Varijantna rješenja izvedbe gatova	34
Varijanta 1	36
Varijanta 2.....	38
Varijanta 3.....	40
Usporedba varijantnih rješenja.....	42
Prikaz odabranog rješenja	43
Usporedba odabranog rješenja s naručenim rješenjima.....	44
VARIJANTNA RJEŠENJA LUKOBRANA	45
Djelovanja na građevinu	45

Nasuti lukobran.....	47
Opis i tehnologija izvođenja	47
Opis proračuna.....	52
Vertikalni lukobran.....	57
Opis i tehnologija izvođenja	57
Opis proračuna.....	60
DIMENZIONIRANJE LUKOBRANA	61
Ulazni podaci	61
Nasuti lukobran s obalnim zidom	62
Dimenzioniranje boka tijela lukobrana	63
Dimenzioniranje glave lukobrana.....	68
Dimenzioniranje nasutog lukobrana - rekapitulacija.....	72
Dimenzioniranje obalnog zida na lukobranu.....	74
Vertikalni lukobran - Varijanta 1.....	78
Vertikalni lukobran - Varijanta 2-1, Hs= 3,4 m	86
Vertikalni lukobran - Varijanta 2-2, Hs=2,7 m	92
Rekapitulacija.....	93
Difrakcija vala u luci	94
Iskaz količina materijala	96
UTJECAJ NA KRAJOBRAZ I OKOLIŠ	100
ZAKLJUČAK.....	103
GRAFIČKI PRILOZI.....	104
LITERATURA.....	105
PRILOZI.....	107

POPIS SLIKA

Slika 1: Uvala Žurkovo i smještaj u prostoru	13
Slika 2: Uvala Žurkovo	13
Slika 3: Razglednica s fotografijom Žurkova, početak 20. st.	15
Slika 4: Fotografija uvale i novog hotela Lucija, 1968.-1969.	15
Slika 5: Pedološka karta Hrvatske s lokalitetom zahvata	16
Slika 6: Isječak iz Geološke karte Hrvatske, 1:300 000	17
Slika 7: Godišnja i sezonske ruže vjetra, Rijeka, 1981.-2000.	19
Slika 8: Zaštićeni pojas HR3000467 Podmorje Kostrene	21
Slika 9: Isječak iz Prostornog plana općine Kostrena, III. ID, SN 2022-5	24
Slika 10: Varijanta 1 izvedbe lukobrana i prvog gata u uvali	25
Slike 11 i 12: Varijantna rješenja 2 i 3 lukobrana i gatova	27
Slike 13: Postojeće stanje organizacije vezova	29
Slika 14: Primjer nove komunalne luke, San Pelagio-Rovinj	30
Slika 15: Primjer nove komunalne luke, Kaštel Stari	30
Slika 16: Prostor uvale s lukobranom, obalnim zidom i plitkom zonom	34
Slike 17 i 18: Primjer gata na pilotima i pontonskog gata, luka Dunat	35
Slika 19: Raspored gatova i vezova u varijanti 1	36
Slika 20: Raspored gatova i vezova u varijanti 2	38
Slika 21: Raspored gatova i vezova u varijanti 3	40
Slika 22: Vizualizacija varijante "1" rasporeda gatova i uređenja luke	43
Slika 23: Vizualizacija varijante "1" rasporeda gatova i uređenja luke	43
Slika 24: Očuvanje vizure i pogleda prema Kvarnerskom zaljevu	44
Slika 25: Vjetrovalna prognoza Kvarnerkog zaljeva za 50-ogodišnji PP	46
Slika 26: Značajne valne visine i direkcije iz SW smjera za 50-god. PP	46
Slika 27: Gradnja produžetka nasutog lukobrana u Baški	49
Slika 28: Nasipavanje tijela lukobrana	50
Slika 29: Ugradnja kamenih blokova dizalicom s radnje platforme	51
Slika 30: Vrste konstrukcije nasutog lukobrana	52
Slika 31: Slojevi nasutog lukobrana s tipom kamenog materijala	56

Slika 32: Nasuti lukobran s minimalnim dubinama izvođenja slojeva	56
Slika 33: Varijante vertikalnog lukobrana	58
Slika 34: Izgradnja novog vertikalnog lukobrana u Crikvenici	59
Slika 35: Varijante horizontalnog kompozitnog lukobrana	60
Slika 36: Karakteristični presjek nasutog lukobrana s obalnim zidom	62
Slika 37: Presjek nasutog lukobrana s obalnim zidom	74
Slika 38: Horizontalna i vertikalna opterećenja na konstrukciju	77
Slika 39: Karakteristični presjek vertikalnog lukobrana	78
Slika 40: Karakteristični presjek vertikalnog lukobrana	86
Slika 41: Dijagram difrakcije vala u luci, za upadni kut od 90°	94
Slika 42: Usporedba količine materijala za nasuti i vert. tip lukobrana	99
Slika 43: Vizualizacija tijela vertikalnog lukobrana.....	99
Slika 44: Vizualizacija idejnog rješenja uređenja uvale Žurkovo	101
Slika 45: Vizualizacija idejnog rješenja uređenja uvale Žurkovo	102
Slika 46: Vizualizacija idejnog rješenja uređenja uvale Žurkovo	102

UVOD

Ovim diplomskim radom analizirana su rješenja uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo u Kostreni. Radom su obuhvaćeni podaci o trenutnom stanju lokacije, povijesni pregled, njene geološke i meteorološko-klimatske značajke, važeća prostorno-planska dokumentacija te pregled postojećih rješenja uređenja na temelju kojih su napravljena varijantna rješenja organizacije luke i priveznih mjesta te varijante izvedbe lukobrana. Za varijante lukobrana napravljen je proračun konstrukcije i iskaz količina materijala svih elemenata. Organizacija priveznih mjesta unutar luke uključuje 3 varijante s različitim brojem priveznih mjesta i oblikom gatova. Uz proračunske stavke, objašnjena je i tehnologija gradnje i vrste konstrukcija koje se izvode kod ovakvog oblika radova. Završno, napravljena je analiza utjecaja na krajobraz i okoliš za vrijeme radova i kroz uporabu luke i prostora.

UVALA ŽURKOVO I OKOLNI PROSTOR

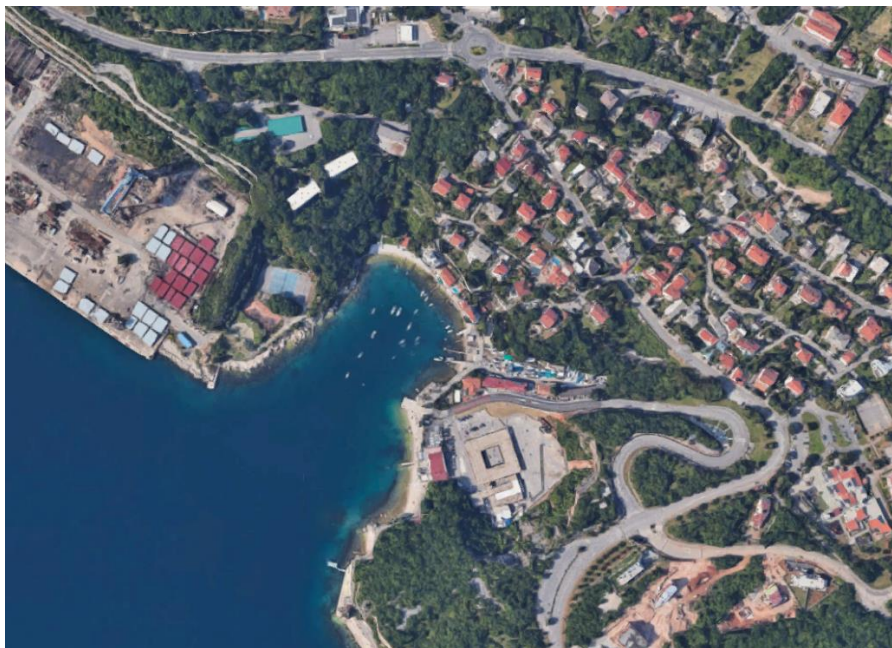
Predmet zahvata

Cilj zahvata uređenja uvale Žurkovo je kvalitetno uređenje prostora luke s osiguravanjem sigurnog mjesta za privez plovila lokalnog stanovništva, osiguravanje dodatnog broja vezova u usporedbi s trenutnim stanjem te uređenje obalnog poteza. Sve navedeno postiže se izvođenjem zaštitnog lukobrana od jugoistočne obale, s priveznim gatovima za vez plovila, obalni zid s jugoistočne i sjeveroistočne strane, prostor za manipulaciju plovilima iz brodogradilišta te novi sidreni sustav u uvali. Kroz ovaj Rad, napravljeno je više varijantnih rješenja rasporeda gatova i vezova te varijanti za izvedbu lukobrana.

Lokacija

Područje uvale Žurkovo smješteno je na obalnom prostoru općine Kostrena, na njenoj zapadnoj strani, između prostora nekadašnjih kamenoloma „Vele kave“ (koji je danas dio obale remontnog brodogradilišta Viktor Lenac) na zapadu i „Male kave“ na istoku, te je sa sjeveroistočne strane omeđeno Ulicom kostrenskih boraca. Prostor oko uvale je djelomično izgrađen s obiteljskim kućama te pomoćnim objektima u svrsi brodogradnje, ugostiteljstva te u privatne svrhe. Obala je sa zapadne strane stjenovita i strma, dok je s istočne strane blaža s djelomično izvedenim obalnim građevinama i putevima. Sjeverni dio na vrhu same uvale je

izgrađen s obiteljskim kućama te s uskom obalnom šetnicom. Uvala i cestovni put s istočne strane smješteni su 250 metara zračne linije južno od Jadranske magistrale odnosno državne ceste DC8. Od uvale pa prema istoku nalazi se više manjih prirodnih žala te betonskih sunčališta i obalna šetnica.



Slika 1: Uvala Žurkovo i smještaj u prostoru (<https://geoportal.dgu.hr> , svibanj 2023.)

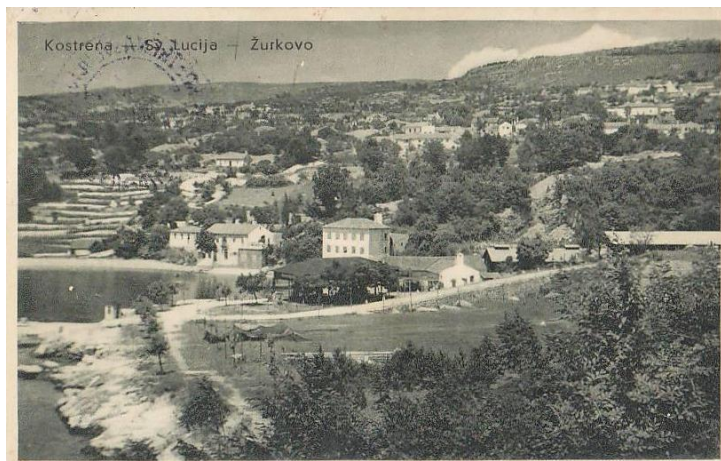


Slika 2: Uvala Žurkovo (foto: autor)

Povijest

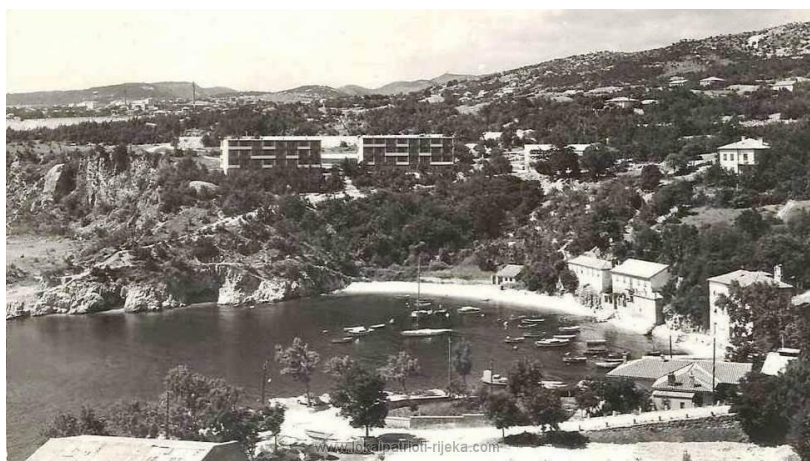
Promatrajući prostor uz samu uvalu, točnije uz njezinu istočnu obalu gdje se danas nalazi parkiralište te ugostiteljski objekt, lako se može primjetiti veliki ravni plato koji je izgledom urezan u prirodnu crtu terena. Radi se o prostoru bivšeg kamenoloma, poznatog pod nazivom "Mala Kava", koji je funkcionirao na tom prostoru. Potreba za eksploatacijom kamena bila je najveća tokom 19. stoljeća, za vrijeme izvođenja radova na gradnji većih objekata kao što su riječki lukobran, plato današnje tržnice i ribarnice u Rijeci, ali i željeznički nasipi na pruzi iz Rijeke prema Karlovcu te prema Postojni. Uz opisani kamenolom, u neposrednoj blizini, sa zapadne strane uvale, prostirao se drugi, znatno veći, pod nazivom "Vela Kava". Danas je i taj kamenolom van originalne funkcije te je u funkciji manipulativne površine remontnog brodogradilišta Viktor Lenac koje posluje u susjednoj uvali Martinščica.

Na obalnom prostoru od Rijeke do Kraljevice postoji duga tradicija djelatnosti vezanih uz pomorstvo te brodogradnju. Tako na prostoru uvale Žurkovo, koja nije bila do tad kvalitetno cestovnim putem povezana s glavnim prometnicama, 1912. godine počinje širenje i uređenje cestovnih puteva i gradnja manjih objekata većinom skladišne namjene, da bi godinu dana kasnije, u uvali bilo osnovano brodogradilište "Nekton". Do tad, u uvali je postojao tek manji dio uređene obale i loša povezanost sa naseljem i ostalim cestama, te slabo organizirana brodogradnja, većinom u privatne vlastite svrhe. Zbog ratnih vremena Prvog svjetskog rata, brodogradilište propada, neko vrijeme dolazi do potpunog zamrzavanja i prestanka rada, ali kroz godine se ponovno pokreće, pod novom upravom 1938. (Josip Bonifačić, brodograditelj iz Punta). Zbog nailaska novih ratnih godina, opet dolazi do prekida rada, ali i ratnih razaranja nastalih bombardiranjem i oduzimanjem materijala i alata. Prolaskom i završetkom ratnih vremena, obnovom gospodarskih objekata i ponovnim pokretanjem proizvodnje brodogradilište ponovno kreće s radom 1956. godine, no do danas u više navrata opet mijenja uprave i vlasništva. Danas, brodogradilište djeluje pod vodstvom Udruge za tehničku kulturu Žurkovo-Kostrena, koja ima za cilj očuvati tradiciju brodogradnje i obnove brodova, posebno drvenih, te očuvanje korištenja starijih tradicionalnih alata i tehnika.



Slika 3: Razglednica s fotografijom Žurkova, početak 20. st.
(izvor: <http://forum.lokalpatrioti-rijeka.com> , 28.4.2023.)

Na obodnim stranama uvale kroz 20. stoljeće dolazi do zapuštanja poljoprivredne djelatnosti koja je bila zastupljena na području Kostrene do tad, prostor zarasta, ili se dio pretvara u građevinske čestice na kojima niču većinom obiteljske kuće. Uz gradnju privatnih objekata, na sjevernoj strani iznad same uvale, 1962. godine otvara se prenočište Lucija sa 2 paviljona, čime se prostor otvara i u turističke svrhe.



Slika 4: Fotografija uvale i novog hotela Lucija, 1968.-1969.
(izvor: <http://forum.lokalpatrioti-rijeka.com> , 28.4.2023.)

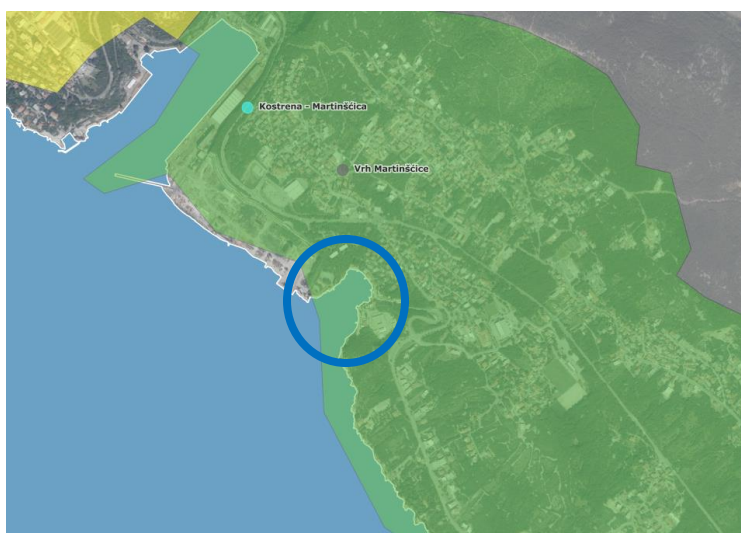
Geološka osnova

Uvala Žurkovo geološki je nastala prostornim spajanjem dva bujična vodotoka. Počeci same jaruge gube se u krškoj zaravni, te se onda strmo spuštaju do mjesta spajanja na samome kraju uvale. Podmorski je dio doline blago nagnut, sa povećanjem dubine sredinom uvale pa sve dublje prema jugu, dok je na ulaznom dijelu podmorja uvale konveksno savijen gdje postaje izraženo strm. (Karašić i sur., 2022.)

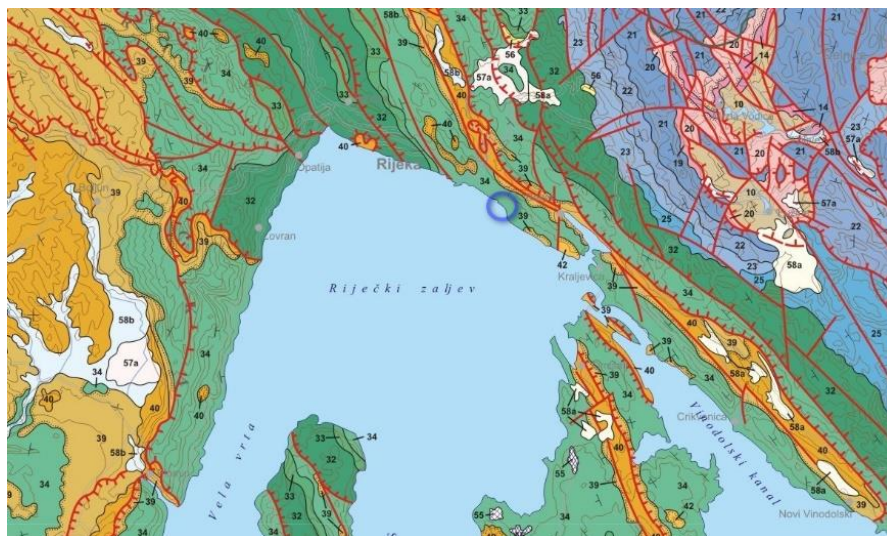
Prema do sad izvedenim geološkim istražnim radovima na području općine Kostrena, uočeno je kako građu kopnenog dijela uglavnom tvore naslage krede, paleogena i kvartara, te antropogene tvorevine novijeg podrijetla. Utvrđeno je kako se naslage krede sastoje od kalcične i dolomitične breče, vapnenca i dolomita u raznim debljinama i u više izmjena, te od rudistnih vapnenaca. Naslage paleogena tvore osnovnu stijensku masu dok su karbonati prostorno najdominantniji. (Karašić i sur., 2022.)

Trošenjem čvrste vapnenačke podloge razvilo se smeđe tlo koje se obično nalazi u slojevima do 50 cm koje je u škrapama i depresijama najčešće u kombinaciji s crvenicom a mjestimično na nekim lokalitetima i crnicom.

Prema inženjersko-geološkoj klasifikaciji navedeni tipovi stijenske mase zatečeni na ovom području, pretežito karbonatnog sastava, pripadaju grupi dobro očvrslih sedimentnih stijena.



Slika 5: Pedološka karta Hrvatske s lokalitetom zahvata (izvor: <https://envi.azo.hr> , 5.5.2023.)



Slika 6: Isječak iz Geološke karte Hrvatske, 1:300 000, označen prostor uvala Žurkovo (izvor: <https://www.hgi-cgs.hr> ,28.4.2023.)

Slično kao i u kopnenom dijelu, u građi obalnog i podmorskog dijela Kostrene, su naslage krede, paleogena te kvartarne tzv. "recentne tvorevine". Naslage krede, kalcitične i dolomitične breče, vapnenci i dolomiti u izmjeni i rudistni vapnenci te vapnenci i kalcitična breča tvore osnovnu stijensku masu. Kvartarne i recentne tvorevine su pokrivač na stjenovitoj podlozi. Na izloženim dijelovima obale, gdje je izraženo djelovanje valova, morsko dno je pretežito kamenito do dubine -10 do -15 m. Bliže obali, u zoni djelovanja vala iznad osnovne stijenske mase vidljive su valutice- komadi stijena nastali drobljenjem, valjanjem i zaobljivanjem zbog kotrljanja u moru te zbog utjecaja morskih valova. Uz valutice, postoje i žala, čija se tijela sastoje od pomičnog šljunka najčešće vapnenačkog podrijetla (Karašić i sur., 2022.)

Na dnu na više mjesta postoje izdanci karbonatne stijenske podloge, koja je inače većinom pokrivena slojem pijeskastog materijala debljine do 1 metra i rahle konzistencije. Debljina pijeskastog materijala biti će važna kod projektiranja lukobrana, odnosno njegovog temeljenja na morsko dno.

Meteorološki i klimatski podaci

Šire riječko područje, pa tako i općina Kostrena, spada u jedno od najkišovitijih regija Hrvatske. Obilne kiše povezane su topografijom terena, odnosno nailaskom ciklona na planinske prepreke koje okružuju riječki zaljev. Govoreći o zastupljenim vjetrovima, bura je svakako karakteristični vjetar sjevernog Jadrana, te je također vezana za topografiju zbog Dinaridskog gorja, u ovom slučaju Velebita, koji razdvaja toplo priobalje od hladnog kontinenta što je osnovni preduvjet za nastanak vjetra ovih karakteristika.

Prema dostupnim podacima, u razdoblju 1971. – 2000. godine, godišnji hod temperature izmjerene na meteorološkoj postaji Rijeka (najbliža postaja lokacije zahvata) pokazuje da je u prosjeku najhladniji mjesec siječanj s prosječnom temperaturom od 5,8 °C, a najtopliji mjesec srpanj odnosno kolovoz sa srednjom mjesečnom temperaturom od 23,1 °C. Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 13,8 °C.

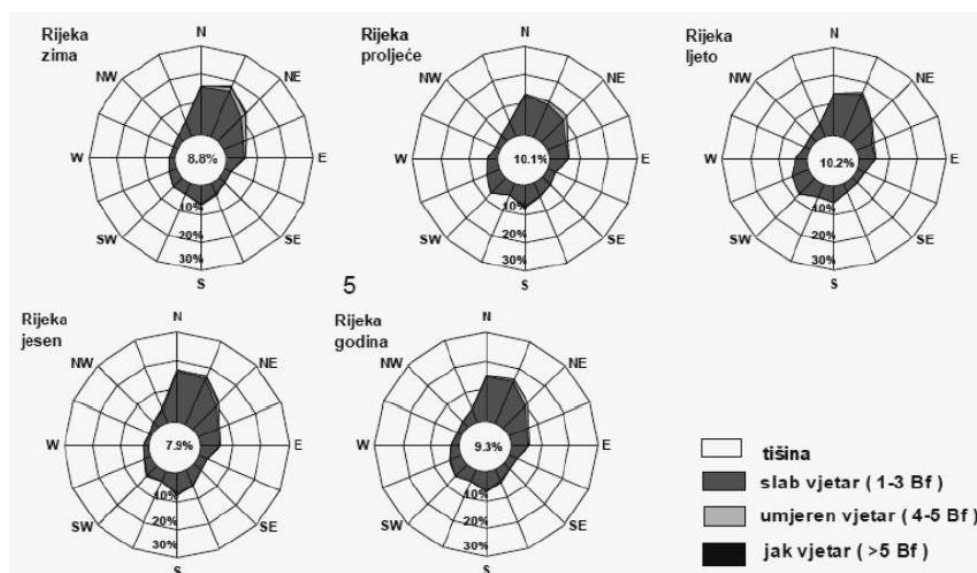
Tablica 1: Temperatura zraka na meteorološkoj postaji Rijeka, za period 1971.-2000.

(izvor: Klimatski atlas Hrvatske, DHMZ, 2008.)

Temperatura zraka (°C) 1971.-2000.												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t	5,8	6,3	8,8	12	16,8	20,3	23,1	23,1	18,8	14,2	9,6	6,8
Tmax	20	21,4	24	27,1	30,2	35,1	35,9	38,1	32,6	28,3	22,2	20,4
Tmin	-11,4	-9,1	-7,7	-0,2	2,1	7,5	10,5	9,1	4,8	0,6	-4,5	-8,9
tmax	9,1	9,9	12,6	15,9	21,1	24,6	27,9	28,1	23,5	18,5	13,2	10,1
tmin	2,9	3,2	5,5	8,4	12,8	16	18,6	18,6	14,9	10,9	6,6	4

Srednja godišnja količina oborina za razdoblje 1995.- 2016. godine iznosi 135 mm. Mjesečna količina oborina vrlo je promjenjiva, pa tako u nekoj godini količina oborina pojedinog mjeseca može znatno odstupati od prosječne vrijednosti. Najveće količine oborina zabilježene su u prosjeku u studenom, a najmanje u ljetnim mjesecima, posebno u srpnju.

Promatrajući podatke za vjetar, možemo utvrditi kako na riječkom području najčešće puše vjetar iz sjeveroistočnog kvadranta, burin- slab vjetar, početna ili završna faza bure, te bura. Ako gledamo jačinu vjetra neovisno o smjeru vjetra možemo primijetiti da na promatranom prostoru prevladava vjetar jačine 1-3 Bf (od povjetarca do slabog vjetra) u 85.9% slučajeva. Učestalost umjerenog jakog vjetra (4-5 Bf) je 4.4%, a jakog vjetra (6 Bf) je 0.04% od čega na olujni vjetar (8 Bf) otpada 0.01%. Prema tome možemo zaključiti kako se jak do olujan vjetar na meteo postaji Rijeka javlja relativno rijetko, dok najčešće bilježimo buru. Najjača zabilježena bura puhala je jačinom od 9 Bf što predstavlja olujni vjetar i veliku opasnost. U vremenu bez vjetra bilježimo tišinu, koja je zastupljena u 9.3%.



Slika 7: Godišnja i sezonske ruže vjetra, Rijeka, 1981.-2000.

(Rekonstrukcija dijela državne ceste DC8, Elaborat zaštite okoliša, IGH, 2020.)

Prolasci ciklona preko područja sjevernog Jadrana uobičajeni su u kasnu jesen, zimu i rano proljeće. Često ih prati pojava toplog i vlažnog vjetra juga uz znatnu naoblaku i oborine. Smjer juga duž jadranske obale je jugoistočni, no zbog specifičnog oblika Riječkog zaljeva ono ima izraženiju južnu komponentu pa je to vjetar SSE ili S smjera. Ljeti, sa stabilnom

anticiklonalnom situacijom koja se zadržava nad Sredozemljem pa tako i nad Jadranom, karakteristično je vedro vrijeme i slabo strujanje opće cirkulacije.

Ukupan raspon plimnih oscilacija kreće se od oko 30 cm u južnom Jadranu do oko 120 cm u Tršćanskom zaljevu, dok srednja dnevna amplituda iznosi 34,6 cm na mareografu u Bakru, koji je najbliži mjestu zahvata. Karakteristike plimnog signala dolaze analizom podataka sakupljenih na mareografskim postajama u dugom vremenskom razdoblju, kao i pomoću numeričkih modela širenja plimnog signala. Sezonske oscilacije razine Jadranskog mora su pretežno uzrokovane godišnjim hodom ukupne toplinske bilance, što ima za posljedicu zagrijavanje i hlađenje površinskog morskog sloja. Najviše razine mora u Jadranu se javljaju u jesenskim mjesecima (listopad-prosinac), a najniže u proljetnim i ljetnim mjesecima. U tablici koja slijedi možemo vidjeti podatke s mareografske postaje Bakar za 2020. godinu s srednjim vrijednostima te rasponima na mjesečnoj i godišnjoj razini. (Vojković, 2016.)

Tablica 2: Mareografski podaci za mareograf Bakar, za 2020. godinu (Izvješće o mareografskim mjerenjima, HHI, 2021.)

Mjesec / Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godišnji srednjak Annual mean value
<i>Voda / Water</i>													
SVV / MHW	84,4	88,8	86,9	84,9	91,1	101,5	93,2	99,4	96,9	108,1	91,2	120,3	95,6
SNV / MLW	48,3	52,5	53,6	52,6	57,5	64,1	58,7	64,7	64,4	75,5	59,4	80,4	61,0
Raspon / Range	36,1	36,3	33,4	32,3	33,6	37,4	34,5	34,7	32,5	32,6	31,8	40,0	34,6
SVVV / MHHW	88,8	94,8	93,3	91,0	96,6	109,6	99,2	104,6	100,9	114,1	98,3	126,0	101,4
SNNV / MLLW	37,2	44,2	49,2	46,7	48,4	57,9	47,8	54,8	57,2	68,3	52,0	70,9	52,9
Raspon / Range	51,6	50,6	44,1	44,3	48,3	51,7	51,4	49,8	43,7	45,9	46,3	55,1	48,6
NVV / HHW	101,0	128,0	150,0	111,0	114,0	128,0	107,0	140,0	135,0	144,0	114,0	166,0	128,2
NNV / LLW	17,0	21,0	22,0	31,0	21,0	40,0	29,0	37,0	37,0	52,0	40,0	46,0	32,8
Raspon / Range	84,0	107,0	128,0	80,0	93,0	88,0	78,0	103,0	98,0	92,0	74,0	120,0	95,4
Maksimalni raspon / Maximum range: 149,0 cm													

Zaštita okoliša kroz zahvat izgradnje i uporabu

Uvidom u Kartu zaštićenih područja na prostoru Republike Hrvatske, vidljivo je kako neposredno do uvale Žurkovo postoji zaštićeni pojas „HR3000467 Podmorje Kostrene“ koji spada pod zaštitu Natura 2000. Prema GeoPortalu i podacima o zaštićenom pojasu, vidljivo je kako se radi o zaštiti podmorskog djela uz obalu, sa grebenima i preplavljenim ili dijelom preplavljenim morskim špiljama. (Izvor: <https://www.bioportal.hr/gis/>, svibanj 2023.)



Slika 8: Zaštićeni pojas HR3000467 Podmorje Kostrene
(<https://www.bioportal.hr/gis/> , 5.5.2023.)

Prostor same uvale Žurkovo i mjesto izvođenja planiranih radova ne nalazi se na području zaštićenom Zakonom o zaštiti prirode. U širem području oko predmetnog zahvata (5 kilometara) nema drugih zaštićenih područja.

Izvođenjem radova te korištenjem prostora, u usporedbi s trenutnim stanjem, neće doći do značajnijeg utjecaja u smislu degradacije postojećih kopnenih površina. Provedbom zahvata neće se prenamijeniti tlo izvan izgrađenog područja. Za vrijeme izgradnje će zbog izvođenja radova i iskopa dijela morskog dna u svrhu izvedbe lukobrana, gatova, obalnog zida i produblivanja djela luke, doći do zamućenja stupca morske vode što može dovesti do

privremenog narušavanja kakvoće morske vode izvan područja zahvata. Utjecaj zamućenja biti će privremenog karaktera i prestat će završetkom izvođenja radova.

Po završetku radova i kroz korištenje luke za nautičke djelatnosti, glavni negativni utjecaj na stanje vodnih tijela mogu imati izvori onečišćenja od pomorskog prometa i lučkih djelatnosti. Opasnosti od onečišćenja uključuju ispuštanje otpadnih voda i ulja, istjecanje goriva, pranje plovila te neadekvatno zbrinjavanje otpada. Uz pridržavanje mjera opreza te adekvatnog zbrinjavanja otpada, ne očekuje se značajan utjecaj na kakvoću voda tijekom korištenja.

Kao primarno vodno tijelo na području zahvata je more, koje u ovom području prema klasifikaciji Hrvatskih voda ulazi u zonu 0423-RIZ, koja obuhvaća prostor Riječkog zaljeva.

Prema Elaboratu zaštite okoliša za lokaciju uvale Žurkovo, iz podataka Hrvatskih voda, vidljivo je kako je trenutno procijenjeno stanje priobalnog vodnog tijela 0423-RIZ „dobro”, kao i kemijsko stanje, dok je ekološko stanje umjereno, a hidromorfološko stanje ocijenjeno kao „vrlo dobro“. (Karašić i sur., 2022.)

Kao ostala vodna tijela na ovome prostoru, možemo izdvojiti i više izvora na širem području koji su povremenog karaktera te male izdašnosti i često zaslanjeni. Većina tih izvora prema dostupnim mjerenjima ima izdašnost manju od 1 litre u sekundi.

Kada govorimo o podzemnim vodama i vodnim tijelima, treba navesti kako predmetno područje uvale spada u zonu “JKGI-05 RIJEKA – BAKAR” prema klasifikaciji Hrvatskih voda. Cijelo tijelo podzemne vode Rijeka-Bakar prostire se na području od 621 km² te je karakterizirano kao područje pukotinsko-kavernoznom poroznosti. Stanje podzemnog vodnog tijela JKGI-05 Rijeka – Bakar okarakterizirano je kao “dobro” u kategoriji kemijskog, količinskog te ukupnog stanja. (Karašić i sur., 2022.)

Prostorno-planska dokumentacija

Planirani zahvat nalazi se na području Primorsko-goranske županije, unutar Općine Kostrena. Za područje zahvata na snazi su dokumenti prostornog uređenja županijske i općinske razine:

- Prostorni plan Primorsko-goranske županije („Službene novine Primorsko-goranske županije“ br. 32/13, 07/17, 41/18, 04/19, 08/22 i 18/22),
- Prostorni plan uređenja Općine Kostrena („Službene novine Primorsko-goranske županije“ br. 7/01, 22/01, 20/07, 23/07, 02/15, 03/17, 11/17, 03/22 i 05/22) i
- Detaljni plan uređenja Uvale Žurkovo („Službene novine Primorsko-goranske županije“ br. 15/13)

Prema prostornom planu Općine, definirano je kako za uže područje 'Uvala Žurkovo' određuje se "obveza izrade izmjena i dopuna tijekom koje će se za područje obuhvata uvesti privremeni 6-mjesečni moratorij na izdavanje svih akata gradnje izuzev javnih prometnica i projekata komunalne infrastrukture. Za potrebe izmjena i dopuna DPU 'Uvala Žurkovo' koristiti stručnu podlogu-'Stručnu studiju za izradu Prostornog plana Općine Kostrena-katalog studentskih radova', mentora doc.mr.sc. Saše Randića i prof. Ante Kuzmanića, Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, 2013./2014."

Nadalje, prema Detaljnom planu uređenja uvale Žurkovo, definirano je područje "UI", tj. "dio uvale označen kao morska luka za javni promet lokalnog značaja gdje je dozvoljena gradnja objekata koji omogućuju pristajanje plovila na lokalnim linijama te ukrcaj i iskrcaj putnika."

Definiran je i prostor privezišta (PO), za koji stoji da se "određuje za površinu u okviru luke otvorene za javni promet gdje je dozvoljena gradnja objekata za stalni vez čamaca i drugih manjih plovila stanovnika sa područja Općine Kostrena, uz uvjet da je u skladu s mogućnostima prostora te da nije u suprotnosti sa ostalim odredbama za provođenje."



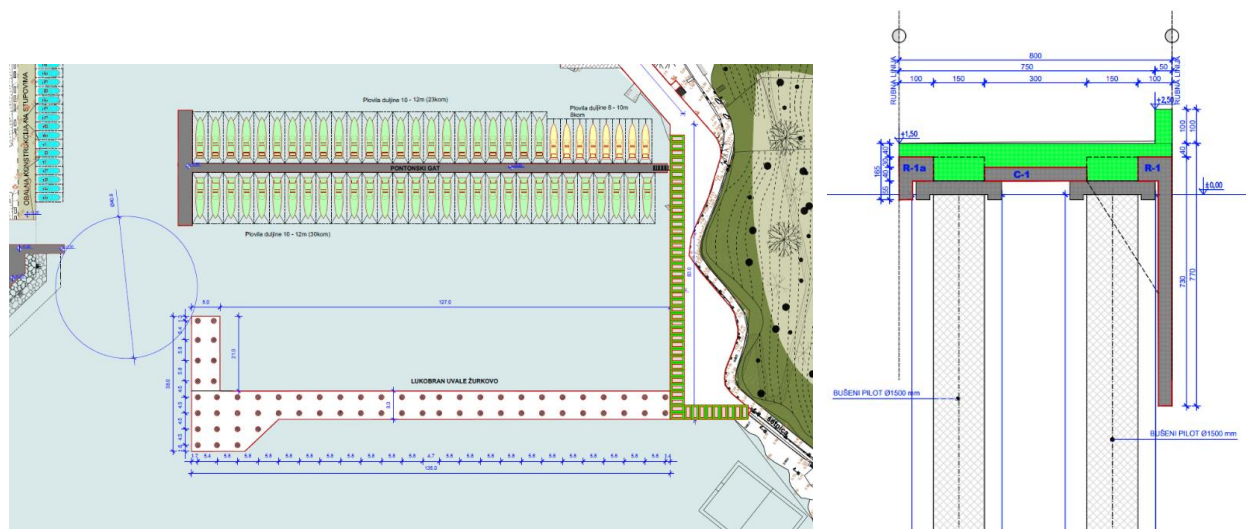
Slika 9: Isječak iz Prostornog plana općine Kostrena, III. ID, SN 2022-5
(<https://zavod.pgz.hr> , 26.4.2023.)

Prema trenutno važećoj prostorno-planskoj dokumentaciji, odnosno prema Prostornom planu Primorsko-goranske županije („Službene novine Primorsko-goranske županije“ br. 32/13, 07/17, 41/18, 04/19, 08/22 i 18/22) i Prostornom planu uređenja Općine Kostrena („Službene novine Primorsko-goranske županije“ br. 7/01, 22/01, 20/07, 23/07, 02/15, 03/17, 11/17, 05/22 i 10/22), područje luke Kostrena s lučkim bazenom Žurkovo definirano je kao “morska luka otvorena za javni promet županijskog značenja”, dok se u Detaljnom planom uređenja Uvale Žurkovo („Službene novine Primorsko-goranske županije“ br. 15/13) bazen Žurkovo definira kao “morska luka za javni promet lokalnog značaja”. Do tog neslaganja u namjeni i opisu predmetne zone dolazi zbog toga što je DPU Uvale Žurkovo donesen prije Odluke o izmjenama Odluke o osnivanju Županijske lučke uprave Bakar-Kraljevica-Kostrena za luke lokalnog značaja („Službene novine Primorsko-goranske županije“ br. 4/14) kojim se luci Kostrena te lučkom bazenu Žurkovo dodjeljuje status “morske luke otvorene za javni promet županijskog značenja”, pod nadležnošću Županijske lučke uprave Bakar-Kraljevica-Kostrena.

Pregled postojećih projekata

Na zahtjev općine Kostrena, izrađeno je više idejnih rješenja za izvedbu nove luke u uvali Žurkovo. U periodu od 2014. do 2022. godine, napravljeno je više projekata koji su uključivali izvedbu lukobrana i gatova za privez plovila. Analizirani projekti uključuju izvedbu lukobrana, koji je smješten po osi koja je položena na samom korijenu uvale, tj. na njenom samom početku. Time se u projektima ostvaruju veći privezni kapaciteti, no treba uzeti u obzir veoma strmu obalu, a time i naglo povećanje dubine na tom području, pa se samim time povećavaju i troškovi izvedbe i materijala.

Prvo analizirano rješenje je ono tvrtke PomGrad Inženjering iz 2017. godine. Pri projektiranju lukobrana pristupilo se rješenju po kojem bi se izgradila konstrukcija lukobrana u obliku slova “L”, koji bi štitio cijelu luku od nailaska valova, a proteže se od ruba jugoistočne obale prema sjeverozapadu. Lukobran bi bio pozicioniran na način da se izbjegnu velike dubine tako da bi najveća dubina postojećeg terena na mjestu izgradnje istog bila na njegovoj glavi i iznosila do 27 m. Duljina trupa cijelog lukobrana je 135 m dok mu je širina 8 metara, a duljina glave 38 m koja bi imala proširenje za okret vozila.



Slika 10: Varijanta 1 izvedbe lukobrana i prvog gata u uvali, tlocrt i presjek lukobrana (Izvor: PomGrad Inženjering; Lukobran uvale Žurkovo, Glavni projekt, 2017.)

Podmorski dio konstrukcije temelji se na bušenim armirano-betonskim pilotima u kompaktnoj čvrstoj stijeni. Kako bi se akvatorij uvale zaštitio od morskih valova između pilota sa vanjske strane prema otvorenom moru će se postaviti valne pregrade, tj. ekrani od predfabriciranih betonskih elemenata. Raspon valne pregrade je 5,8 metara a dubina do koje je potrebno postaviti iste iznosi -6,20 m. (Izvor: PomGrad Inženjering; Lukobran uvale Žurkovo, Glavni projekt, 2017.)

Iako bi ovaj oblik rješenja izvedbe lukobrana smanjio visinu vala i stvorio zaštitu akvatorija luke, treba uzeti u obzir kako zaštitni ekran na vanjskom licu lukobrana ne može u potpunosti razbiti val, pa bi se dio infiltrirao kroz samu konstrukciju u luku. Uzimajući vrijednost od 30% ukupne visine vala, dolazimo do visine od 0,90 metara vala koji bi prošao os lukobrana i našao se u bazenu s vezovima. Pri tome, zbog stjenovite obale i zatvorenog oblika uvale, moramo uračunati i refleksiju vala, kao i difrakciju na samom ulazu u luku. Uzimajući sve prethodno navedene parametre, možemo utvrditi kako postoji rizik od vala visine 1 metar u akvatoriju luke, što izlazi van dopuštenih vrijednosti, koje se kreću do 0,50 m, što kao posljedicu može imati opasnost od oštećenja pontonskih gatova te plovila na vezu.

Druga analizirana varijanta je izrađena od strane tvrtke MareCon d.o.o. U ovoj varijanti pomaknut je korijen primarnog lukobrana prema korijenu uvale, u područje manjih dubina uz obalu, čime se pojeftinjuje trošak izgradnje primarnog lukobrana. Rješenje uključuje i sekundarni lukobran koji je izmaknut u odnosu na primarni, te je izveden prema korijenu uvale u odnosu na primarni. Primarni lukobran planiran je kao vertikalni, dok je sekundarni predviđen kao tip "jetty" odnosno s kamenom obalozaštitom s vanjske strane i uporabnom obalom s unutarnje. Gatovi bi se izveli kao pontonski, paralelno postavljeni. (Izvor: MareCon d.o.o; Idejno rješenje, Rekonstrukcija luke Kostrena, bazen Žurkovo)

Treće analizirano rješenje, također tvrtke MareCon d.o.o., uključuje izvedbu i tercijalnog lukobrana, radi dodatnog smirivanja vala unutar akvatorija. Tercijalni lukobran izveo bi se na glavi jednog od gatova, čineći "T" oblik. Primarni i sekundarni lukobrani izveli bi se kao vertikalne konstrukcije s vezovima, s primarnim lukobranom koji bi se protezao od korijena uvale s jugoistočne strane. Zbog pozicije lukobrana i gatova, ovom se varijantom osigurava

veliki broj vezova svih planiranih kategorija plovila. (Izvor: MareCon d.o.o; Idejno rješenje, Rekonstrukcija luke Kostrena, bazen Žurkovo)



Slike 11 i 12: Varijantna rješenja 2 i 3 lukobrana i gatova (Izvor: MareCon d.o.o; Idejno rješenje, Rekonstrukcija luke Kostrena, bazen Žurkovo)

Sve prethodno navedene i opisane varijante uključuju izvedbu zaštitnog lukobrana, na pilotima ili vertikalnu konstrukciju u obliku betonske konstrukcije na nasipu. Lukobran se pozicionira na samome početku uvale, na jugoistočnoj strani. Na poziciji gdje je planirana izvedba lukobrana, dubine se kreću do 30 metara, što treba sagledati iz financijskog aspekta za izvođenje zahvata. Sva rješenja stvaraju zaštićeni akvatorij s priveznim mjestima za oko 270 plovila od II. do VI. kategorije, koja su smještena na više paralelnih gatova.

PRIJEDLOG UREĐENJA KOMUNALNE LUKE

Postojeće stanje vezova u uvali Žurkovo

U trenutnom stanju organizacije vezova u uvali, plovila su usidrena na morsko dno na betonskim blokovima i lancima, a raspoređena su u više nepravilnih redova te usmjerena prema otvorenom moru. Trenutni raspored priveznih mjesta i sidrišta omogućuje prihvat ukupno 128 plovila. Sidrište je raspoređeno u 10 linija koje se pružaju po širini uvale. Manji dio plovila ima vez uz obalu, većim dijelom uz istočnu stranu uvale na obalnom zidu, a dio preko improviziranih manjih mulova na sjeveroistočnoj strani uvale. Obalni potez je nepravilan, s betoniziranim dijelovima te prirodnim stijinama između. Šetnica je većim dijelom neuređena a na određenim dijelovima i vrlo uska i nepristupačna. U ovom stanju uređenja i organizacije vezova, plovila su nezaštićena od djelovanja vjetrova i valova koji slobodno ulaze u luku i mogu stvarati potencijalno opasne uvjete koji dovode do oštećenja plovila.

Prema trenutnom stanju, možemo utvrditi kako je stupanj organizacije vezova i sigurnost koju pruža od vremenskih neprilika na niskoj razini te kako je nužno uređenje zaštitnih i priveznih građevina za stvaranje povoljnih uvjeta u uvali. Također, trenutno stanje nepovoljno je i s maritimnog aspekta, veliki broj usidrenih brodica znatno otežava pristup plovilima u uvali, što može postati i veoma opasno tijekom nevremena i slabije vidljivosti.



Slike 13: Postojeće stanje organizacije vezova (foto: autor)

Uređenje komunalnih luka i dispozicija vezova

Kad govorimo o uređenju luke komunalnog tipa, govorimo o luci koja služi kao mjesto priveza manjih brodica i plovila koja pretežito koristi lokalno stanovništvo za privatne svrhe kao što su sportski ribolov i rekreacija. Duž Jadrana često susrećemo ovaj tip luka, u različitim stupnjevima uređenja i veličina. Prvenstveno namijenjena lokalnoj zajednici, često u svome sklopu sadrži i prostor za održavanje brodica, kran, rampu te slične pomoćne objekte i sadržaje. Zbog povećanja broja plovila i potrebe za podizanjem kvalitete usluge, raste i broj potrebnih vezova koje općine i gradovi osiguravaju proširenjem postojećih luka i lučica, ali i izgradnjom novih. Tako za primjer možemo izdvojiti nove luke San Pelagio nedaleko od Rovinja prikazanu na slici 14, te luku u Kaštel Starom, na slici 15.



Slika 14: Primjer nove komunalne luke, San Pelagio-Rovinj (<https://www.rovinj-rovigno.hr> , 3.5.2023.)



Slika 15: Primjer nove komunalne luke, Kaštel Stari (<https://www.kastela.org> , 3.5.2023.)

Kako bi luka bila funkcionalna za redovito korištenje, potrebno je izvesti dovoljne manevarske površine na moru za sigurnu plovidbu akvatorijem luke, kao i vezove dovoljnih dimenzija za prihvat plovila. Time ćemo osigurati sigurnu plovidbu i općenito korištenje prostora luke.

Plovila nižih kategorija, s manjim gazom i manjom dužinom, smještaju se u plićim dijelovima luke koji su i najudaljeniji od ulaza, što takvim manjim plovilima s manjim gazom ne stvara problem u manevriranju. Veća plovila pozicioniraju se bliže ulazu u marinu zbog većih dubina na priveznim mjestima, kraćim plovnim putevima i radi lakšeg manevriranja od i do

veza. Najveća kategorija plovila koja je planirana u luci najčešće se postavlja na lukobran marine, okomito ili uzdužno na os lukobrana. Slične kategorije plovila postavljaju se u isti bazen ili isti dio luke, što je praksa radi tehničkih zahtjeva tih plovila.

U projektu luke Žurkovo, na gatovima i lukobranu predviđen je smještaj četiri kategorije plovila:

- 1) plovila do 6 m (II. kat.)
- 2) plovila do 8 m (III. kat.)
- 3) plovila do 10 m (IV. kat.)
- 4) plovila do 12 m (V. kat.)

Za dimenzioniranje priveznih mjesta korištene su smjernice ACI-a, koje propisuju minimalne dimenzije vezova i dubine za sve kategorije plovila. Smjernice su prikazane u tablici.

Tablica 3: Kategorije plovila i dimenzije veza

Kategorija plovila	Duljina plovila (m)	Veličina veza (DxŠ) (m)	Min. dubina za pogon na motor (m)	Min dubina za pogon na jedra (m)
I.	Do 5	6,50 x 2,30	1,05	-
II.	5 – 6	8,00 x 2,50	1,15	2,05
III.	6 - 8	10,0 x 3,00	1,25	2,25
IV.	8 – 10	12,50 x 3,70	1,45	2,65
V.	10 – 12	14,50 x 4,30	1,85	2,95
VI.	12 - 15	18,00 x 5,00	2,05	3,15

U varijantnim rješenjima koja uključuju izvedbu vertikalnog lukobrana, postoji mogućnost izvođenja sezonskog veza za plovila VI. kategorije, odnosno plovila duljine do 15 metara, s vanjske strane lukobrana. Plovila u luci vežu se okomito na vez, sistem koji se naziva “četverovez” ili “mediteranski vez”, koji uključuje privez plovila na dvije točke na obali te dvije točke u moru odnosno na sidreni sustav s blokovima i lancima. Na ovaj način ostavarujemo siguran vez za sva plovila, uz maksimalno iskorištavanje dostupnih površina

gatova i obala za privez najvećeg mogućeg broja plovila. Iznimno, na području lukobrana, moguć je i privez manjeg broja plovila bočno, no taj način nije preporučen radi sigurnosti plovila.

Varijantna rješenja gatova, obale i organizacije luke

Analizirajući oblik uvale te postojeće stanje, prirodna obilježja terena te izgrađene obalne građevine, izrađeno je više prijedloga uređenja i rasporeda gatova u uvali. Varijantna rješenja razlikuju se oblikom gatova te brojem vezova koji bi bili osigurani u uvali izvedbom tog rješenja. Prije izvedbe prijedloga, pristupilo se proračunu minimalnih širina plovnih puteva odnosno ulaza u luku, kako bi se osigurao pristup svim plovilima koja su uzeta u obzir za privez u luci. Unutar luke, osiguran je dvosmjerni plovni put od minimalno 18,5 metara, te ulaz širine 20 metara. Širine plovnog puta kroz bazene zadovoljavaju potrebnu širinu za najveću kategoriju plovila koje je u njemu smješteno. U svakoj varijanti osigurana je minimalno jedna zona za manevar najvećeg projektnog plovila. Varijantom koja obuhvaća izvedbu vertikalnog lukobrana za zaštitu luke, osiguravaju se dodatni vezovi s vanjske strane luke, koji mogu biti korišteni kao sezonski vezovi, u ljetnom periodu, uz napomenu kako ti vezovi moraju biti prazni u vrijeme lošijih vremenskih uvjeta zbog udara valova i vjetera. Uz vanjske vezove u takvoj varijanti lukobrana, osigurala bi se i operativna obala u duljini od oko 35 metara za ukrcaj i iskrcaj putnika s turističkih izletničkih plovila. Kod izvedbe nasutog lukobrana, vanjski vezovi ne bi postojali, te bi bilo moguće koristiti samo unutrašnju stranu lukobrana za vez plovila V. kategorije.

Kako je prethodno već spomenuto, napravljen je proračun minimalne potrebne širine ulaza u luku, kao i minimalnih širina plovnih puteva kroz sam prostor luke. Minimalna širina ulaza u luku izračunata je prema formuli:

$$L_{ulaz} = \max[20 \text{ m}; L_{max} + 2 \text{ m}; B * B_{max}]$$

gdje su L_{max} i B_{max} duljina odnosno širina najvećeg plovila u luci.

Za proračun širine plovnog puta, za dvosmjerni promet korištena je formula:

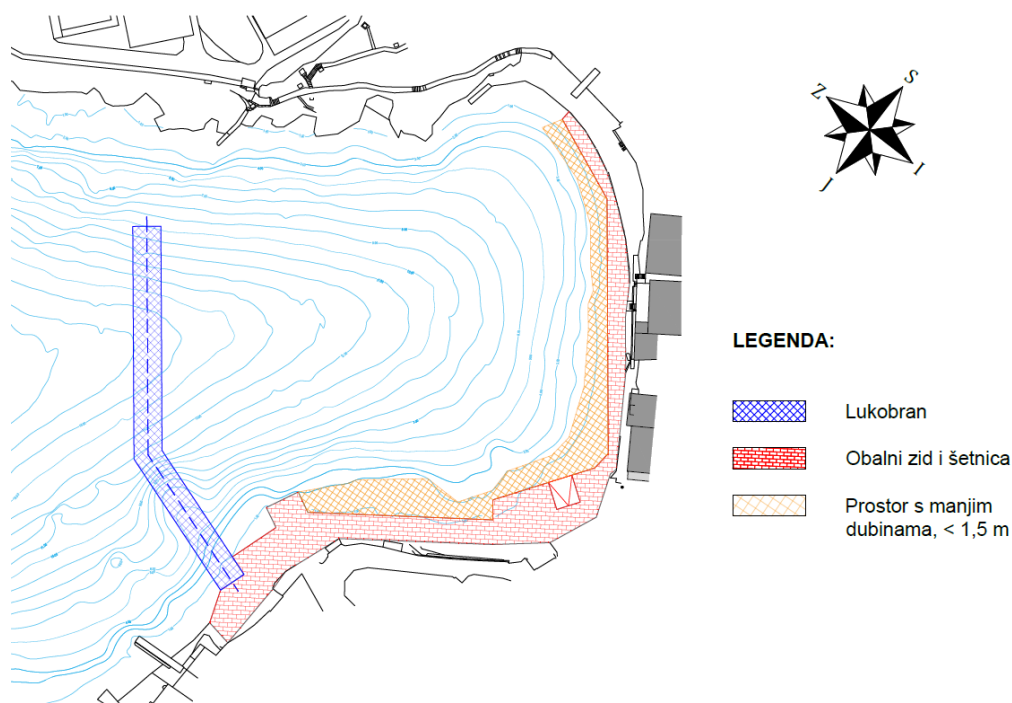
$$L_{plovni\ put} = 5 * B_{max}$$

Širine bazena i plovnog puta kroz bazen izračunate su prema formuli:

$$L_{bazen} = Lb_{lijevo} + Lb_{desno} + 1,3 * max_b$$

gdje su Lb_{lijevo} i Lb_{desno} duljine vezova s lijeve i desne strane bazena, a max_b duljina najvećeg veza u bazenu. Time smo osigurali sigurnu širinu prolaza najvećeg plovila koje je na vezu u proračunatom bazenu.

Prema sadašnjim dubinama koje su mjerenjima utvrđene u uvali, vidljivo je smanjenje dubine uz postojeću obalnu crtu, posebno na sjeveroistočnoj strani uvale. Radi toga, uz novu obalnu liniju, kako bi izbjegli iskop morskog dna i povećanje obujma radova, vezovi su planirani za plovila manjeg gaza iz II. i III. kategorije. Minimalne dubine na vezovima ovise o vrsti odnosno pogonu plovila, a proračun se radi na najniže morske razine s dodavanjem gaza plovila te faktora sigurnosti od 0,50 m. Prema tome, možemo utvrditi kako je dubina od -1,50 metara potrebna na priveznim mjestima za plovila II. kategorije, odnosno -2 metra za plovila IV. kategorije. Potrebno je voditi računa da plovila na jedra zahtjevaju veću dubinu od prethodno navedenih minimalnih, pa će biti potrebno takva plovila smjestiti na vez gdje je dubina veća, odnosno bliže sredini uvale. Na slici 16 vidimo područje male dubine gdje treba voditi računa o gazu plovila koje će biti na vezu.



Slika 16: Prostor uvale s označenim lukobranom, obalnim zidom i plitkom zonom uz obalu (izradio: autor)

Također na slici 16 vidimo novu obalnu liniju, koja će se izvesti proširenjem postojeće, koja je na nekim mjestima, posebno na sjeveroistočnoj strani uvale bila slabo uređena u obliku uske pješačke staze promjenjive kote. Za potrebu proširenja obale u korisnom smislu, biti će potrebna izvedba obalnog zida.

Varijantna rješenja izvedbe gatova

Kroz tri predložene varijante uređenja luke koje su opisane u idućem podpoglavlju, napravljeni su različiti oblici rješenja priveznih gatova. Kad govorimo o njihovoj konstrukciji i tipu iste, možemo spomenuti dvije osnovne vrste koje mogu biti primjenjene u luci Žurkovo. Prva varijanta je izgradnja fiksne konstrukcije, kakva je prikazana na slici 17, koja se sastoji od pilota ugrađenih u morsko dno u čvrstu stijenu, na koje se onda izvodi rasponska konstrukcija, najčešće od predfabriciranih elemenata koji se ugrađuju na mjesto ugradnje dizalicom, s betonskom pločom koja se izvodi na licu mjestu preko gotovih elemenata i koja istu monolitizira.

Druga varijanta uključuje izvedbu gatova od plutajućih pontonskih elemenata koji se izvode od betonskih plutajućih blokova s horizontalnom površinom od armiranog betona ili drvenih elemenata. Plutajući segmenti konstrukcije učvršćuju se međusobno u niz, a sidre se na morsko dno preko lančanica koje su povezane na betonske sidrene blokove na morskom dnu. Takav se gat na obalu povezuje metalnom mostnom konstrukcijom, tzv. “pasarelom”, koja ima omogućen vertikalni pomak kako bi se mogla kretati uslijed plimnih i valnih oscilacija.

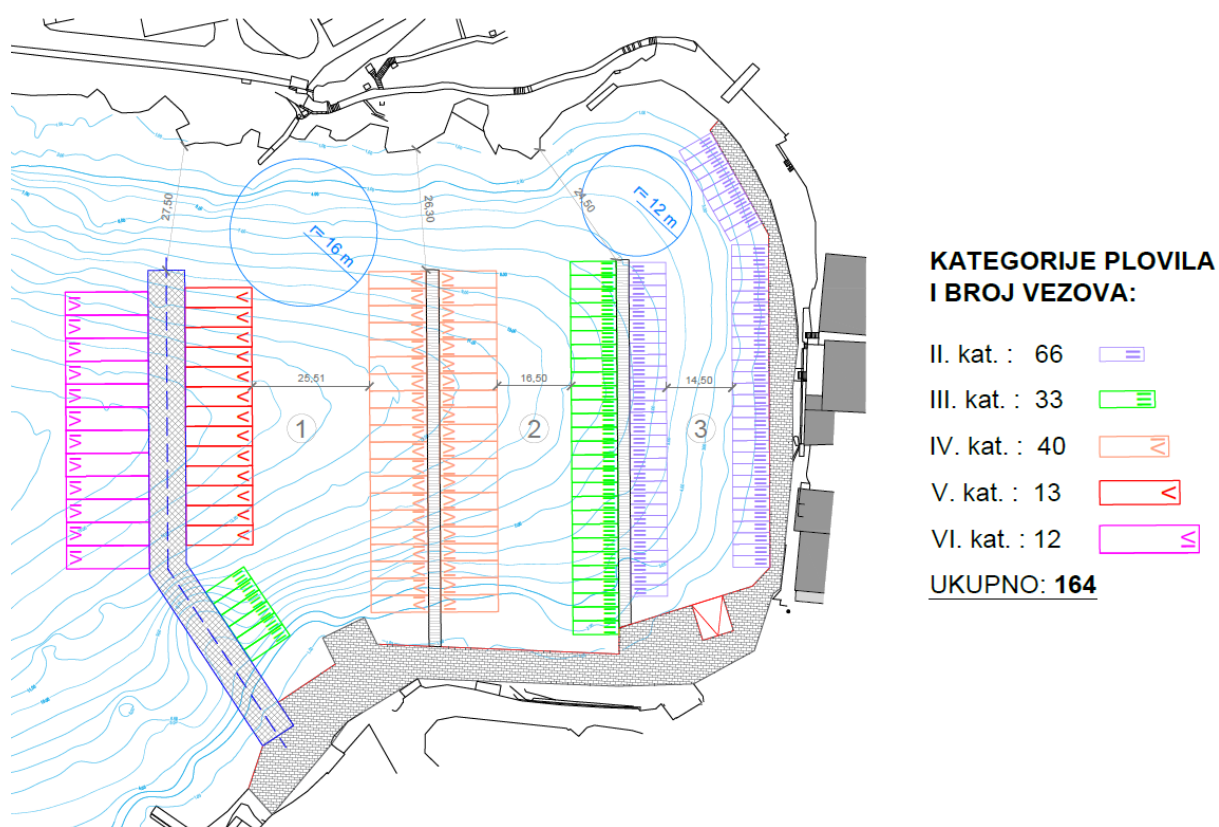


Slike 17 i 18: Primjer gata na pilotima s AB rasponskom konstrukcijom i pontonskog gata, luka Dunat (foto: autor)

Obje varijante omogućuju siguran privez plovila te kretanje ljudi po trupu konstrukcije, a u isti se ugrađuju i potrebne instalacije kao što su energetski kabel i voda. Konstrukcije gatova mogu se izvesti i u obliku koji pruža dodatnu zaštitu i smirivanje vala u luci, pa tako na betonskom gatu na pilotima može biti izveden propusni ekran, dok ponton može biti u obliku valobrana s dodatnim vertikalnim “krilcima” na svojoj donjoj strani.

Varijanta 1

U ovoj varijanti na prostoru buduće luke omogućen je privez ukupno 152 plovila od II. do V. kategorije, s dodatnih 12 vezova VI. kategorije s vanjske strane za sezonski vez ako se izvodi vertikalni lukobran, što čini ukupno 164 veza. Unutar luke, izgradila bi se dva gata za privez plovila druge, treće i četvrtke kategorije. Gatovi mogu biti izvedeni kao fiksne građevine, konkretno na pilotima s rasponskom armirano betonskom konstrukcijom, kao pontonski gatovi sidreni na morsko dno, ili kao kombinacija ove dvije tehnologije. Na mjestu današnje rampe za manipulaciju plovilima iz brodogradilišta izvela bi se nova rampa s malo izmjenjenom orijentacijom, čime bi brodogradilište moglo nastaviti nesmetano s radom, a postoji dovoljno prostora i za izvedbu manje dizalice za nautičke potrebe.



Slika 19: Raspored gatova i vezova u varijanti 1 (Izradio: autor)

Na prostoru budućeg lukobrana, omogućava se privez plovila III. kategorije na korijenu, do loma, a dalje plovila V. kategorije. Kako je prethodno spomenuto, kod izvedbe lukobrana vertikalnog tipa, omogućilo bi se i sezonsko vezivanje plovila s vanjske strane, i to VI. kategorije, uz mogućnost vezivanja jednog plovila VIII. kategorije bočno i/ili stvaranje operativne obale.

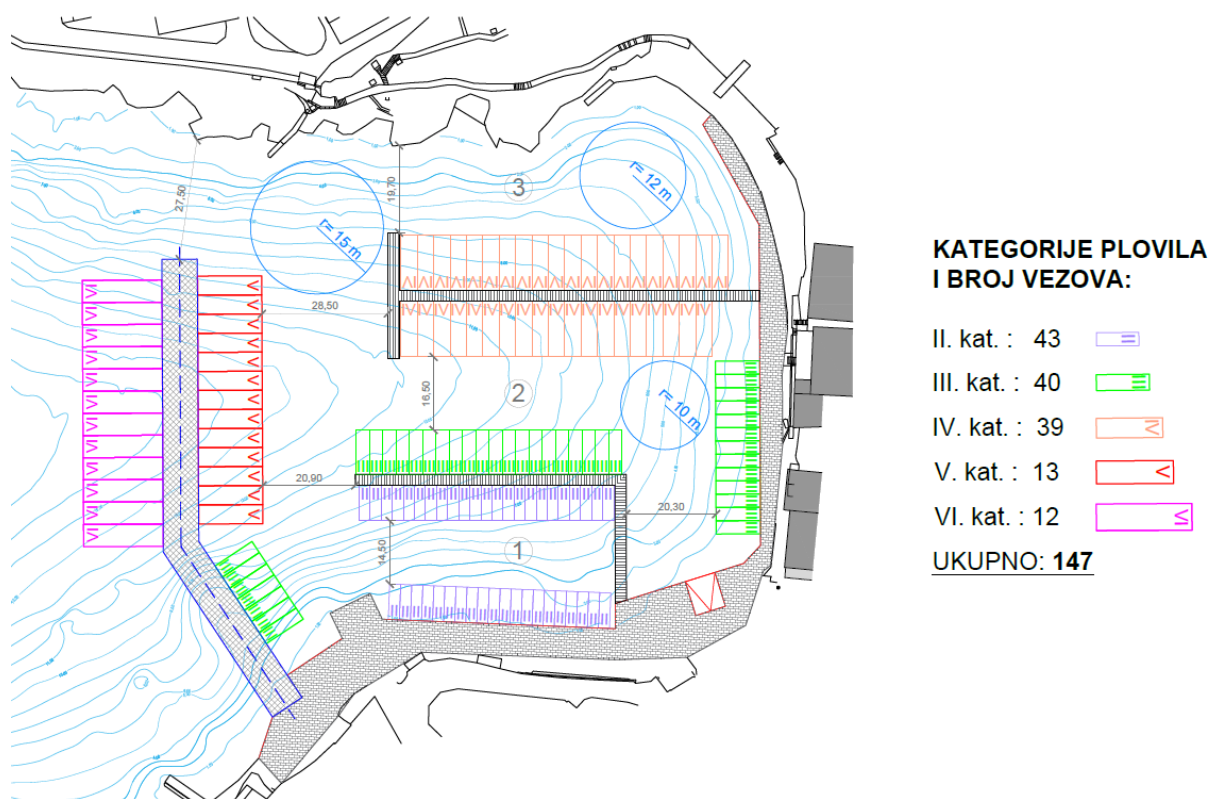
Ukoliko se bude izvodio vertikalni lukobran s varijantom većeg prelijevanja, vezivanje plovila na lukobranu biti će moguće samo sezonski, u periodima mirnijeg vremena s manjim valom, dok u zimskom periodu zbog sigurnosti plovila i ljudi, na lukobranu neće biti moguć privez.

*Tablica 4: Broj vezova po kategorijama plovila za varijantu 1 uređenja luke
(Izradio: autor)*

PLOVILA UZ OBALU I NA GATOVIMA	Duljina plovila (m)	Broj vezova
II. Kategorija	5-6	66
III. Kategorija	6-8	27
IV. Kategorija	8-10	40
UKUPNO		133
VEZOVI NA LUKOBRANU- luka*		Broj vezova
III. Kategorija	6-8	6
V. Kategorija	10-12	13
UKUPNO		19
VEZOVI NA LUKOBRANU- Vani*		Broj vezova
VI. Kategorija	12-15	12
UKUPNO		12
MAKSIMALNI KAPACITET U SEZONI		164

Varijanta 2

Izvedbom gatova i vezova u ovoj varijanti, ostvaruje se ukupno 135 vezova u luci, uz dodatnih 12 sezonskih vezova na vanjskoj strani lukobrana, ukoliko on bude vertikalnog tipa. Uz izvedbu 2 gata, jedan dulji ravnog oblika te drugi "L" oblika, stvaraju se i vezovi uz novu obalnu liniju. Ukoliko postoji potreba za dodatnim smirivanjem mora unutar luke, postoji mogućnost izvedbe dodatnog valobrana na vrhu gata, čime se stvara "T" oblik. Kao oblik izvedbe takvog dodatka, moguće je izvođenje gata na pilotima s propusnim ekranom do dubine koja je proračunom određena, ili izvedba pontonskog valobrana. Potreba za takvim dodatnim rješenjem mora biti utvrđena daljnjim proračunima i valnim modelima.



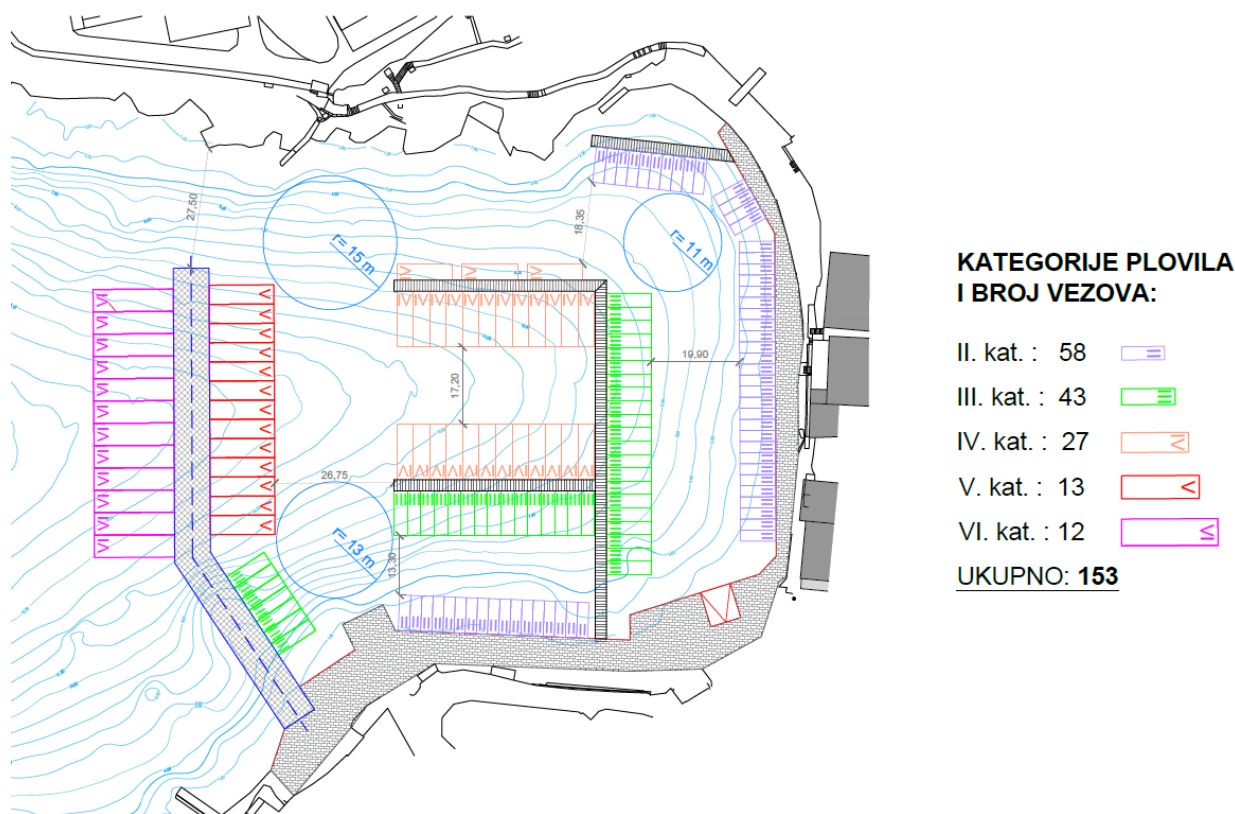
Slika 20: Raspored gatova i vezova u varijanti 2 (Izradio: autor)

*Tablica 5: Broj vezova po kategorijama plovila za varijantu 2 uređenja luke
(Izradio: autor)*

PLOVILA UZ OBALU I NA GATOVIMA	Duljina plovila (m)	Broj vezova
II. Kategorija	5-6	43
III. Kategorija	6-8	33
IV. Kategorija	8-10	39
UKUPNO		115
VEZOVI NA LUKOBRANU- luka*		Broj vezova
III. Kategorija	6-8	7
V. Kategorija	10-12	13
UKUPNO		20
VEZOVI NA LUKOBRANU- Vani*		Broj vezova
VI. Kategorija	12-15	12
UKUPNO		12
MAKSIMALNI KAPACITET U SEZONI		147

Varijanta 3

Na prostoru buduće luke, ovom je varijantom omogućen privez ukupno 141 plovila, uz dodatne sezonske vezove na lukobranu za vertikalno rješenje, ukupno 12 vezova VI. kategorije. Rješenje u akvatoriju luke sastoji se od jednog gata koji na svoja dva kraka omogućuje privez plovila treće i četvrte kategorije, te manjeg pontonskog gata na sjevernoj strani uvale, za vezivanje plovila druge kategorije. Kao i u prethodnim rješenjima, uključena je izvedba obalnog zida, gdje se omogućava vezivanje plovila druge i treće kategorije, te prostor za izvedbu nove rampe za potrebe rada brodogradilišta.



Slika 21: Raspored gatova i vezova u varijanti 3 (Izradio: autor)

*Tablica 6: Broj vezova po kategorijama plovila za varijantu 3 uređenja luke
(Izradio: autor)*

PLOVILA UZ OBALU I NA GATOVIMA	Duljina plovila (m)	Broj vezova
II. Kategorija	5-6	58
III. Kategorija	6-8	36
IV. Kategorija	8-10	27
UKUPNO		121
VEZOVI NA LUKOBRANU- Luka*		Broj vezova
III. Kategorija	6-8	7
V. Kategorija	10-12	13
UKUPNO		20
VEZOVI NA LUKOBRANU- Vani*		Broj vezova
VI. Kategorija	12-15	12
UKUPNO		12
MAKSIMALNI KAPACITET U SEZONI		153

Usporedba varijantnih rješenja

Gatovi su idejno napravljeni u prethodno opisane 3 varijante, razlikujući se oblikom te brojem priveznih mjesta. Broj priveznih mjesta varira ovisno o obliku gata i rasporedom istih, ali i tipu lukobrana. Govoreći o gatovima, možemo spomenuti dva predložena rješenja izvedbe, a to su gat na pilotima te plutajući pontonski gat. Oba rješenja mogu biti kombinirano izvedena, ovisno o zahtjevima te troškovima izvedbe svake navedene varijante.

Utvrđeno je kako vertikalnim lukobranom te varijantom 1 organizacije luke postizemo najveći broj dostupnih vezova, gdje omogućavamo i sezonski privez plovila s vanjske strane tijela lukobrana.

Treba napomenuti kako sve prethodno opisane varijante mogu biti prva faza uređenja prostora uvale, gdje je kasnije moguće nastaviti uređenje u obliku proširenja luke s izvedbom novog nautičkog djela na sjeverozapadnoj obali, čime bi

*Tablica 7: Broj vezova po kategorijama plovila za varijantu 3 uređenja luke
(Izradio: autor)*

Kategorija plovila	VARIJANTA 1	VARIJANTA 2	VARIJANTA 3
	Broj vezova	Broj vezova	Broj vezova
II.	66	43	58
III.	33	40	43
IV.	40	39	27
V.	13	13	13
VI.	12	12	12
UKUPNO	164	147	153

Kao najprihvatljivije rješenje, odabrana je varijanta 1, kojom se postiže najveći broj vezova u luci, kao i najjednostavniji oblik gatova, s dva paralelna gata na kojima je privez omogućen s obje strane po cijeloj dužini od oko 80 metara.

Prikaz odabranog rješenja

Za najpovoljniju varijantu organizacije luke, varijantu 1, napravljene su vizualizacije upotrebom programa "Trimble Sketchup 2021" i alata za vizualizaciju "Enscape". Kroz te alate napravljena je simulacija izgleda uređenja luke s varijantom koja uključuje vertikalni lukobran te 2 paralelna gata koja se protežu od istočne strane uvale, u dužini od oko 80 metara prema sjeverozapadu. Također, prikazana je i nova obalna šetnica smještena na novom obalnom zidu sa istočne i sjeverne strane luke.



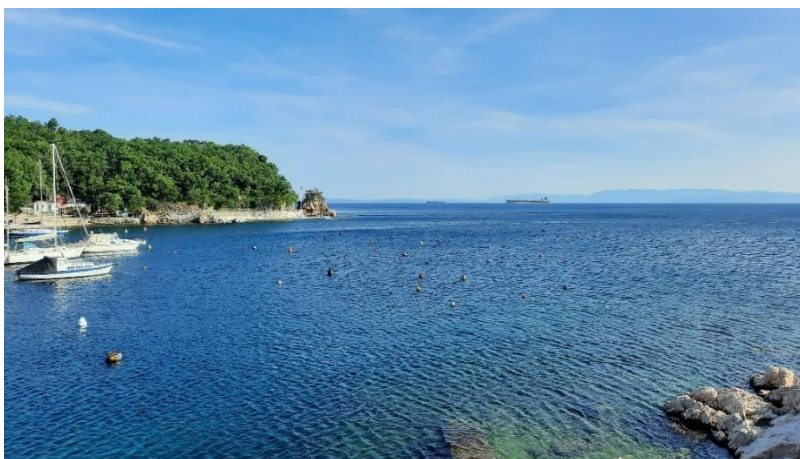
Slika 22: Vizualizacija varijante "1" rasporeda gatova i uređenja luke Žurkovo
(Izradio: autor)



Slika 23: Vizualizacija varijante "1" rasporeda gatova i uređenja luke Žurkovo
(Izradio: autor)

Usporedba odabranog rješenja s naručenim rješenjima

Prethodno odabrana najpovoljnija varijanta izvedbe luke u uvali Žurkovo, varijanta 1, razlikuje se u načinu izvođenja i organizaciji u odnosu na varijante izrađene za potrebe općine Kostrena. Varijanta odabrana u ovome radu pozicionira zaštitni lukobran sjeveroistočno, dublje u uvali, na prostoru s manjim dubinama mora. Ta razlika, smanjuje površinu zaštićenog akvatorija, no isto tako smanjuje i potrebne količine materijala potrebne za izvođenje radova na konstrukciji lukobrana. Samim smanjenjem količina i pojednostavljenjem radova, smanjuju se i troškovi izvođenja, umanjuje se i utjecaj na okoliš. Organizacija gatova kroz opisanu varijantu također smješta gatova i sve vezove na istočnu odnosno sjevernu obalu uvale, te time zapadna obala ostaje u prirodnom obliku bez izvođenja radova. Iako se lukobran pozicionira na način da stvara manji zaštićeni akvatorij od drugih verzija rješenja, stvorilo bi se dovoljno vezova da se zadovolje potrebe lokalnog stanovništva za komunalnim vezovima, što je prioritet i glavni cilj ovakvog zahvata u uvali. Uz to, zbog pozicioniranja lukobrana sjevernije, sačuvalo bi se postojeći žal uz jedriličarski klub, što bi zasigurno očuvalo vizuru prostora i omogućilo daljnje neometano korištenje plaže i sportskih sadržaja (vaterpolo teren, najam jet-ski skutera i sl.). Prostor plaže ostao bi na otvorenom moru, s neometanim pogledom na Kvarnerski zaljev i poznate vizure Učke i Cresa, a isto tako, more bi ostalo jednake kvalitete s prirodnom cirkulacijom i strujanjima, što utječe na kakvoću i dodatno valorizira prostor kao mjesto povoljno za kupanje i rekreaciju.



Slika 24: Očuvanje vizure i pogleda prema Kvarnerskom zaljevu (foto: autor)

VARIJANTNA RJEŠENJA LUKOBRANA

Djelovanja na građevinu

Važan element koji moramo uzimati u obzir kod projektiranja obalne građevine kao što je lukobran je val i valni parametri specifični za područje zahvata. Do potrebnih podataka o valovima za proračun funkcionalnosti iz kojeg ćemo dobiti podatke o prelijevanju te za potrebe proračuna konstrukcije dolazimo instrumentalno tj. kroz mjerenja. Za instrumentalno mjerenje na pojedinim točkama koristi se valograf koji ispisuje valni zapis o fizičkom pomaku mora u funkciji vremena te anemograf kojim se mjeri smjer valova.

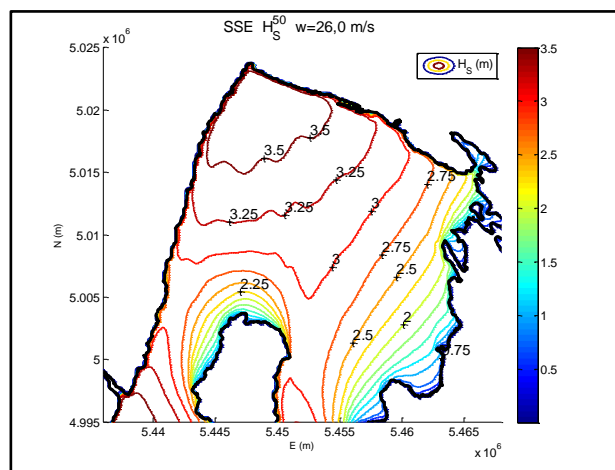
Morski valovi sustavno se ne opažaju na državnoj razini već se mjerenja uglavnom vrše na zahtjev investitora u svrhu izrade pojedinačnih projekata, no valovi se mogu prognozirati i iz vjetrovne klime, koja se sustavno opaža što znači da vjetar također predstavlja značajan ulazni parametar za projektiranje. Kroz prognozu valova, utvrđeni su smjerovi na ruži vjetrova koji imaju najveća odnosno najduža privjetrišta. Za lokaciju uvale Žurkovo, najveća privjetrišta su jugozapad (SW) u duljini od 25 km, te jug (S) od 19 km.

Danas, kroz kombiniranje ulaznih podataka kao što su zabilježene brzine vjetra i smjerovi, uz poznate duljine privjetrišta, moguće je računalnim metodama kroz modeliranje i vizualizaciju podataka doći do traženim vrijednostima koji se tiču vala, posebno za predviđanje visina projektnih valova u budućnosti. Na slične načine, korištenjem povijesnih podataka, trenutnih aktualnih vrijednosti i modeliranja, možemo doći do vrijednosti vjetrovih vrijednosti ili visina plime koje možemo očekivati na nekom području.

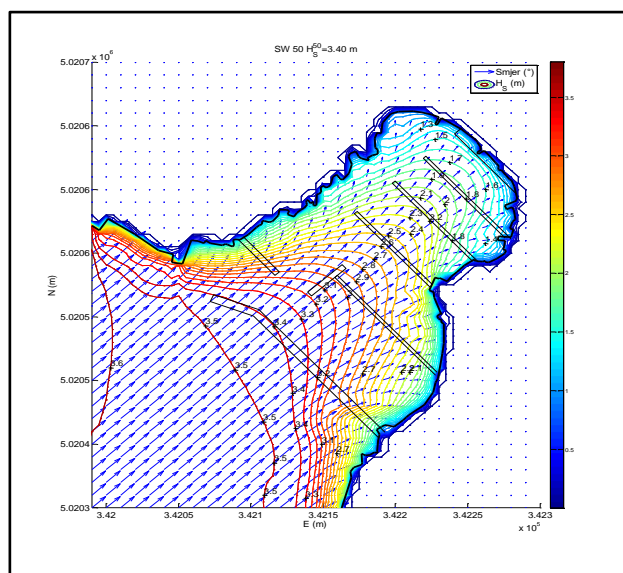
Za provedbu hidrodinamičke analize valovanja korišten je programski paket SWAN Cycle III u kombinaciji s autorskim algoritmima za obradu ulaznih i izlaznih podataka izrađenima u Python 3.6 programskom paketu. Simulating Waves Nearshore (SWAN) je numerički model treće generacije koji se temelji na Eulerovoj formulaciji ravnotežne jednadžbe spektralnog djelovanja valova. Ovaj model omogućuje proračun propagacije valova u priobalnim područjima te uključuje većinu relevantnih fizikalnih procesa, kao što su: generiranje vjetrovnih valova, propagacija valova u vremenskoj i prostornoj domeni, oplićavanje valova, refrakciju valova uzrokovanu morskim strujama i dubinom, lom valova uslijed promjene dubine, trenje s dnom, te transmisiju i refleksiju valova. Također, model je nadograđen

algoritmom za promjenu valnih parametara uslijed difrakcije valova u plitkom području. (MareCon d.o.o., Idejno rješenje, Rekonstrukcija luke Žurkovo)

Na slici 25 prikazano je mjerodavno polje valova šireg akvatorija Riječkog zaljeva, za vjetrovne valove iz smjera SSE, pedeset godišnjeg povratnog perioda.



Slika 25: Vjetrovalna prognoza Kvarnerkog zaljeva za 50-ogodišnji PP, vjetar SSE
(Izvor: MareCon d.o.o., 2022.)



Slika 26. Značajne valne visine i direkcije iz SW smjera za 50-god. povratni period
(Izvor: MareCon d.o.o., 2022.)

Iz slike 26 možemo očitati kako je mjerodavna visina vala za projektiranje obalnih građevina 3,40 m za vanjski lukobran prema idejnom rješenju tvrtke MareCon d.o.o., dok je preliminarnom analizom agitacije valova u uvali Žurkovo značajna visina vala na lokaciji projektiranog lukobrana u ovom radu 2,70 m. Ipak, radi preciznijih podataka koji su stvoreni kroz modele valnih prognoza za idejno rješenje prethodno spomenute tvrtke, za daljnje proračune lukobrana uzeta je vrijednost visine vala od 3,40 metara, odnosno 2,20 i 2,70 metara za prelijevanje i usporedbe vrijednosti. Za provedbu preciznijeg projektiranja dublje u uvali, gdje je lukobran pozicioniran u ovome radu, potrebno je prethodno provesti nove izračune i modeliranja.

Nasuti lukobran

Opis i tehnologija izvođenja







Nasuti lukobran jedan je od najstarijih i vjerojatno najzastupljenijih oblika izvedbe ove hidrotehničke građevine za zaštitu luka i obalnih područja. Gledajući u presjeku, trapezastog je poprečnog presjeka, građen od jednog ili više slojeva kamena i kamenog materijala, različitih granulacija i debljina slojeva, što mora biti prethodno izračunato kroz proračunski dio dimenzioniranja lukobrana. Ovaj tip lukobrana primjenjuje se za sve vrste tla na morskome dnu, pa čak i za mulj.

Osnovnu građu ovog tipa lukobrana čini jezgra, koja zaustavlja transmisiju valova kroz konstrukciju i u luku. Kako ne bi došlo do ispiranja jezgre i odnošenja materijala pod utjecajem mora, izvodi se jedan ili više filterskih slojeva te glavnog primarnog zaštitnog sloja. Pri bazi lukobrana s vanjske i zaštićene unutarnje strane izvodi se nožica nasipa koja dodatno pomaže stabilnosti same konstrukcije.

S vanjske strane lukobrana, prema otvorenom moru, izvodi se primarni sloj lukobrana koji ima svrhu zaštite konstrukcije od direktnog napada valova i smanjenje valne energije. Veći dio energije vala umanjuje se i neutralizira kroz pore između zaštitnog sloja (između kamenog nabačaja ili betonskih elemenata), dio vala reflektira od se od zaštitnog pokosa dok se dio rasprši prelijevanjem.

Uz korištenje prirodnih kamenih materijala, moguća je upotreba betonskih elemenata, konkretno za izvedbu primarnog zaštitnog sloja. Betonski se elementi izvode u više različitih oblika, s različitom težinom pojedinog elementa, čime se postiže bolji stupanj zaštite konstrukcije. Neki od najrasprostranjenijih elemenata su Tetrapodi, Dolos, Tribar, Kolos te Accropod. Betonski se blokovi najčešće smještaju slučajno na pokose u dvoslojnoj primarnoj oblozi. Kod dvoslojne primarne obloge, najčešći tipovi blokova su kameni blokovi, Tetrapodi te Antifer blok. Veći i glomazniji blokovi mogu se koristiti i u dvoslojnoj i jednoslojnoj primarnoj oblozi, po potrebi. Kockasti elementi s rupama (eng. "multi-hole cubes") kod ugradnje postavljaju se uredno u redovitim uzorcima gdje se svaki blok naslanja na susjedni.

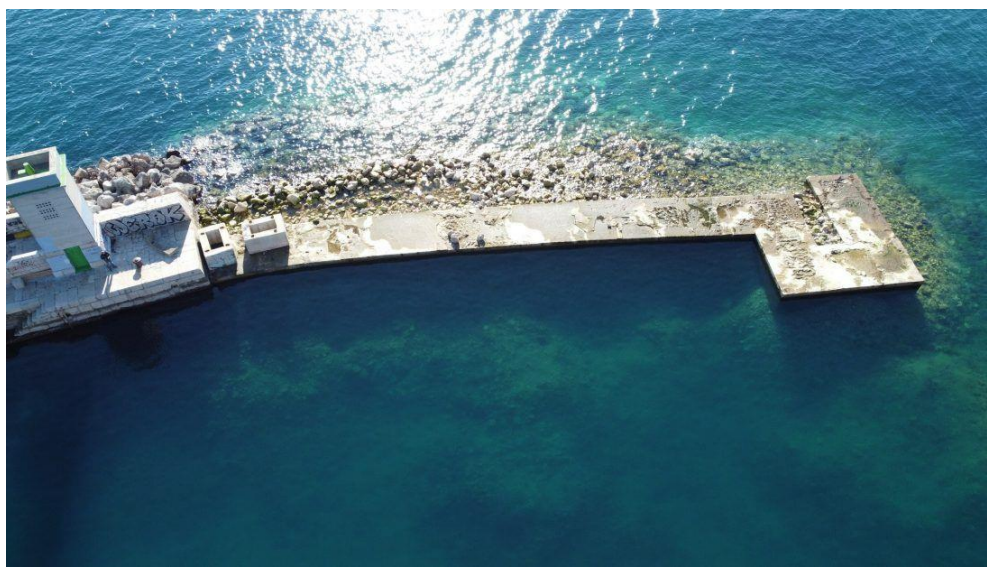
Tablica 8: Tipovi armiranobetonskih prefabriciranih elemenata za primarni zaštitni sloj lukobrana (izvor: <https://www.turbosquid.com>, 20.4.2023.)

		
Tetrapod; FRA 1950.	Dolos; JAR 1963.	Tetrahedron; Japan 1950-ih
		
Core-Loc®; SAD 1996.	Tribar; SAD 1958.	Antifer; FRA 1953.

Kao osnovna podjela ovog oblika lukobrana, možemo navesti plitkovodni te dubokovodni lukobran, koji se razlikuju po svojoj poziciji, u dubljim vodama gdje im presjek raste i povećavaju se potrebne količine materijala te u plićim obalnim vodama gdje se radi na manjim dubinama s manjim količinama materijala. Uz zaštitnu funkciju luke ili akvatorija, moguća je i uporabna funkcija prvenstveno za privez brodova s unutarnje zaklonjene strane kao i manipulacija tereta i strojeva, za što se izvodi betonska berma dovoljne širine i čvrstoće

ovisno o predviđenoj namjeni, koja je prema otvorenom moru zaštićena krunom lukobrana koji spriječava prelijevanje vala u nepovoljnim količinama, što se postiže izvedbom krune dovoljne visine i širine.

Kod projektiranja budućeg nasutog lukobrana, potrebno je osigurati funkcionalnost građevine, hidrauličku i geotehničku stabilnost te voditi računa o dostupnim materijalima za izvedbu konstrukcije te o njihovim količinama. Korištenjem pravilno proračunatih slojeva, osiguravamo stabilnost konstrukcije na sve faktore koji utječu ili mogu potencijalno utjecati na njegovu stabilnost.



Slika 27: Gradnja produžetka nasutog lukobrana u Baški

(Izvor: <https://baska.zluk.hr> , 5.5.2023.)

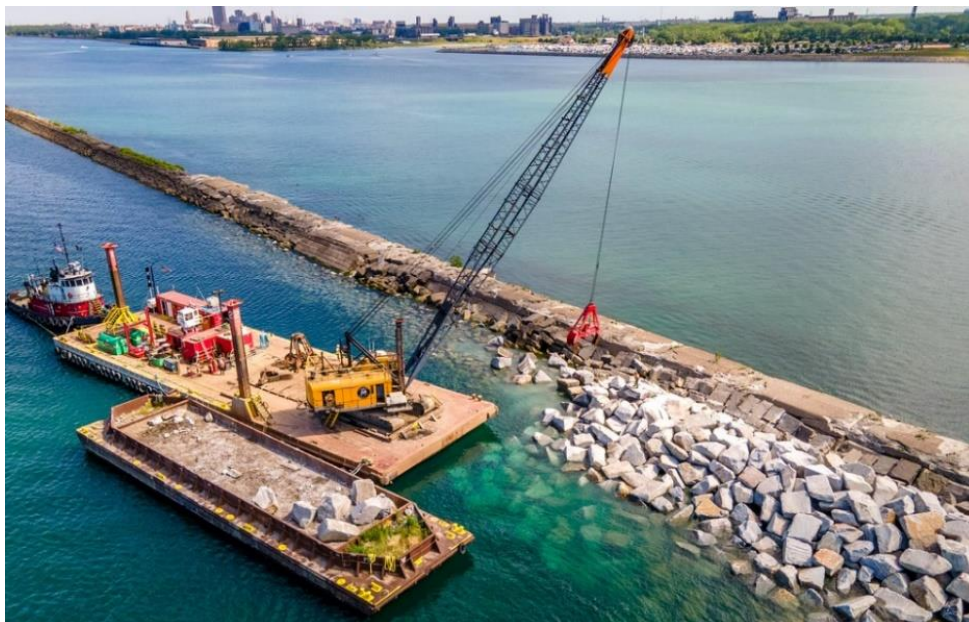
Kada govorimo o izvođenju konstrukcije nasutog lukobrana, možemo navesti tri tehnologije izvođenja radova. Kod gradnje lukobrana koji je u potpunosti povezan s obalom, najčešće se radovi izvode gradnjom sa same obale i tijela lukobrana gdje se postavljanje materijala izvodi sa strojevima koji se kreću po tijelu lukobrana. Krana jezgre lukobrana koja se izvodi minimalno 50 centimetara iznad razine mora služi kao manipulativna površina tijekom izgradnje. Radi toga, Potrebno je izvesti krunu dovoljne širine kako bi se omogućilo kretanje radnih strojeva cijelom dužinom.



Slika 28: Nasipavanje tijela lukobrana

(Izvor: <https://www.facebook.com/VanTunenBv/photos> , 6.5.2023.)

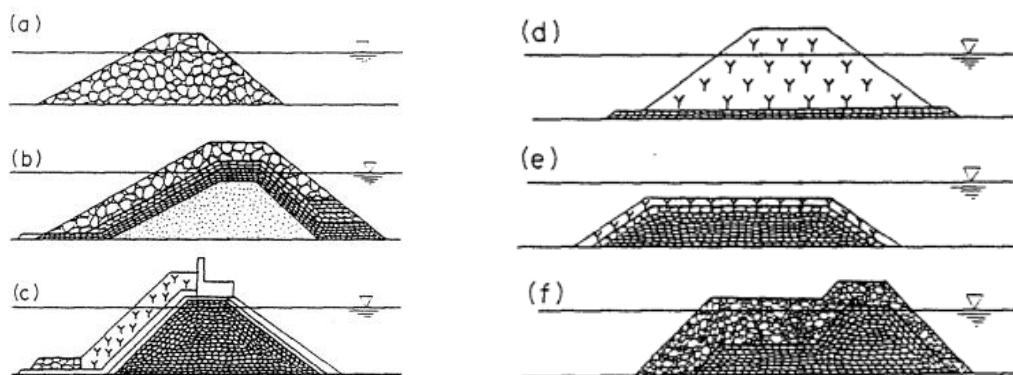
Uz korištenje prethodno navedene metode, često se koristi i metoda izvođenja radova sa plovnih objekata. Ova metoda se koristi u kombinaciji sa prethodno navedenom metodom, ili samostalno, ovisno o zahtjevima. Materijal se u more postavlja sa barži i maona uz pomoć dizalica i bagera koji se također nalaze na plovnim platformama. Plovni objekti su usidreni i vezani čime se osigurava stabilnost i održavanje pozicije. Ovoj se metodi često pribjegava na mjestima gdje kameni materijal ne možemo osigurati cestovnim putem do samog mjesta ugradnje, već se on morskim putem dovozi sa primjerene lokacije. Korištenjem ove metode gradnje, kod većih zahvata, moguća je izvedba lukobrana s paralelnim izvođenjem radova na više pozicija, pošto nije potrebno graditi konstrukciju od korijena prema glavi.



Slika 29: Ugradnja kamenih blokova dizalicom s radnje platforme
(Izvor: <https://www.rybamarine.com/> , 27.4.2023.)

Uz prethodno navedene i opisane metode, moguća je i izvedba suhim načinom, gdje se prethodno izvodi privremena brana, ili se radovi izvode za vrijeme velike oseke ili niskog vodostaja ako se radi o riječnom lukobranu. Ova metoda rijetko je zastupljena kod morskih lukobrana.

Iako je oblik nasutog lukobrana u većoj mjeri uvijek isti, oblik trapeza, postoji više nadograđenih varijanti koje su razvijene zbog različitih potreba, ponajviše radi ojačanja konstrukcije i zaštite od velikih valova, posebno na obalama oceana. Tako uz već opisani oblik nasutog tijela koje se sastoji od jednog ili više slojeva kamenog (ili betonskog) materijala, sa ili bez uporabne krune, imamo i potopljene lukobrane ispod razine mora, te lukobrane s izvedenom zaštitnom bermom prema otvorenom moru.



Slika 30: Vrste konstrukcije nasutog lukobrana (Takahashi S.: Design of vertical breakwaters, 2002.,str. 4)

Opis proračuna

Projektiranje nasutog lukobrana zahtjeva definiranje visine krune konstrukcije, nagiba pokosa, masu blokova obloge i debljinu slojeva na kruni i pokosu, granulometrijski raspon, visinu i dužinu zaštitne nožice lukobrana te masu kamenog materijala u filterskom sloju odnosno u jezgri. Kako smo već prije naveli, svi paramteri moraju biti proračunati uz prethodno poštivanje parametara kao što su funkcionalnost, hidraulička i geotehnička stabilnost te dostupnost materijala za ugradnju.

Kako bismo mogli krenuti sa proračunom konstrukcije, potrebno je prikupiti potrebne ulazne podatke kao što su valne prognoze, podaci o vjetrovima i privjetrištima, razinama srednje i visoke vode (plima). Sa svim potrebnim podacima, možemo krenuti u konkretan proračun, gdje prvo provjeravamo da li dolazi do loma vala na poziciji gradnje lukobrana. Kada se val kreće prema obali, u plitkom moru visina vala teži u beskonačnost, ali postoji fizička granica određene strmosti vala. Kada val prođe tu granicu, dolazi do loma i disipacije energije vala. Strmost vala definira se kao kvocijent visine i dužine vala. Prema tim vrijednostima, vidimo kako val može zadržati stabilnu formu i neće se lomiti samo ako mu je strmost manja od maksimalne strmosti za određenu dubinu. Kada se val kreće prema obali on stvara kružno gibanje koje odumire na dubini koja se zove valni temelj i ta dubina je jednaka polovici valne duljine. Kada se val približava obali koja je plića od valnog temelja, val dolazi pod utjecaj morskog dna čime se smanjuje valna duljina i brzina vala, te dolazi do savijanja vala i promjene smjera vala. Samim skraćanjem valne duljine valovi postaju viši,

vrh vala se kreće brže od valne glavnine te zbog toga dolazi do njegovog loma. Lom vala računama prema formuli:

$$d > 2,5 H_{do}$$

gdje je:

- d – dubina lukobrana
- H_{proj} – visina vala

Ukoliko je ispunjen uvjet da je $d \geq 2,5 * H_{proj}$, odnosno da je dubina mora veća od umnoška dva i pol projektna vala, neće doći do loma vala. Rezultat koji dobijemo, da li dolazi do loma ili ne, utječe na preporučeni koeficijent stabilnosti (K_d) koji ćemo koristiti dalje u proračunu. Po provjeri na lom vala, slijedi izračun težine stabilnih blokova primarne obloge. Za tu svrhu koristimo Hudsonovu formulu (1) koja je dana u obliku:

$$G_A^{50\%} = \frac{\rho g H_{proj}^3}{K_d \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)^3 \text{ctg } \alpha} \quad (1)$$

Kako je već spomenuto, primarna obloga ima zaštitnu ulogu filterskog sloja i jezgre od štetnog utjecaja valova. Izrađuje se od krupnih kamenih blokova ili betonskim elementima (tetrapodi, antiferi...) težine najčešće između 1 do 3 tone. Elementi primarne obloge moraju biti međusobno dobro pozicionirani, kako bi bili uklješteni, čime se dobija bolji prijenos težine sa jednog elementa na drugi. Proračun težine blokova radi se zasebno za glavu i bok lukobrana, kao i za razne lomove koji mogu biti u projektu tlocrta lukobrana. Odvojeni proračun mora se provesti zbog toga što su na glavi lukobrana elementi primarne obloge slabije međusobno uklješteni, te je potrebno povećati njihovu težinu radi stabilnosti i otpora.

Po proračunu težine blokova, možemo napraviti izračun visine i širine krune lukobrana. Visina krune lukobrana, uzevši u obzir kriterij prelijevanja, izračunava se zbrajanjem dosega projektnog vala ($H_{proj}=H_{max5god}$) na vanjskom pokosu i ekstremno visoke morske razine 5- godišnjeg povratnog perioda.

Kod dimenzioniranja uporabne površine na tijelu lukobrana, treba predvidjeti jako malu vjerojatnost prelijevanja dok kod zaštitne krune ta vjerojatnost može biti veća, uz kontrolu kako val koji se prelije ne stvara opasne valne uvjete unutar luke, kao i da ne utječe na stabilnost lukobrana u opasnoj mjeri. Količina dopuštenog prelijevanja ovisi o namjenama uporabne krune, no i o faktoru sigurnosti obloge kod prelijevanja. Proračun visine odnosno kote krune izvodi se prema formuli:

$$\text{Kota krune} = vv (5 \text{ gpp}) + 1,25 H_{proj}$$

Širina krune lukobrana odgovara širini od minimalno 3 elementa primarne obloge i ovisi o kriterijima uporabljivosti i sigurnosti samog lukobrana i izračunava se prema izrazu:

$$B = n \cdot k_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{obl} \cdot g}} = n \cdot k_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{obl}}}$$

Svaki sloj kamenog materijala koji će biti izveden na zahvatu mora biti proračunat, čime utvrđujemo njegovu debljinu i težinu. Kod određivanja debljine, započinjemo s primarnim zaštitnim slojem, oznake "W". Debljina sloja primarne obloge ne može biti manja od 2 elementa u sloju, te stoga s tom vrijednošću idemo u sam proračun po formuli koja je ista kao i za prethodni izračun širine krune:

$$B = n \cdot k_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{obl} \cdot g}} = n \cdot k_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{obl}}}$$

Kod određivanja težine materijala u primarnom sloju, uz određivanje točne vrijednosti, uzimamo i odstupanje $\pm 25\%$, pa se zato i raspon veličina elemenata proračunava od 125%-75% težine kamenog bloka.

Nakon kompletnog izračuna primarnog sloja, idemo na proračunavanje idućeg sloja, te slijede i svi ostali. Treba napomenuti kako se dalje proračun vrši prema istim formulama kako je navedeno za primarni sloj, s tim da se u obzir uzimaju druge vrijednosti, kao što su rasponi težine materijala. Po završetku proračuna vrijednosti za jezgru, dobili smo sve potrebne vrijednosti koje se odnose na debljinu slojeva te težinu kamenog materijala za svaki.

Uz dimenzioniranje slojeva, potrebno je napraviti i proračun zaštitne nožice lukobrana, kod kojeg moramo odrediti njezinu širinu i visinu. U slučaju podloge podložnoj eroziji, moguća je pojava morskog strujanja koje može podizati čestice tla s morskoga dna koje se premještaju prema glavi ili korijenu lukobrana u smjeru djelovanja morske struje. Zbog takvog pomicanja čestica, dolazi do erozije na nožici trupa lukobrana što može dovesti do povećanja strmine pokosa, klizanja temeljnog tla ili cijelog pokosa. Kako bi spriječili veća i opasnija oštećenja na tijelu lukobrana, temeljno tlo potrebno je osigurati od erozije što je moguće postići slojem geotekstila na koji se postavlja tepih od kamenog materijala.

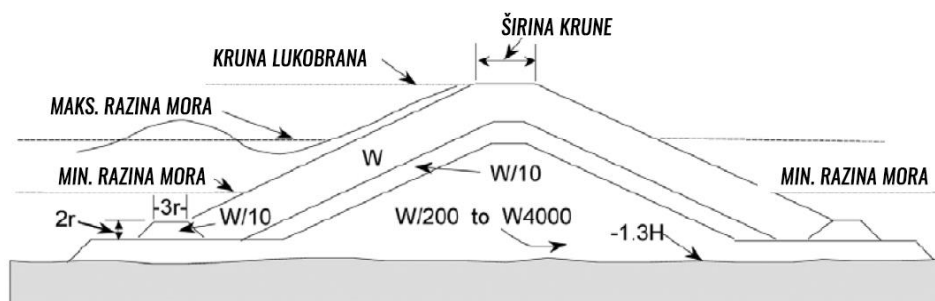
Pri gradnji na stabilnom, neerodiranom tlu, nožicu nije potrebno štititi od erozije, no ovdje se ugrađuje uporni prag koji mora biti otporan na djelovanje vala. Kako bi osigurali stabilnost praga, težina blokova praga računa se s obzirom na pojavu loma valova. U slučaju kada je prag na većoj dubini te ne dolazi do loma vala, težina bloka nožice, G_N proračunava se formulom za stabilnost nožice vertikalnog lukobrana prema izrazu:

$$G_N = \frac{\rho_{obl} g H_{proj}^3}{N_S^3 (\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1)}$$

Gdje je:

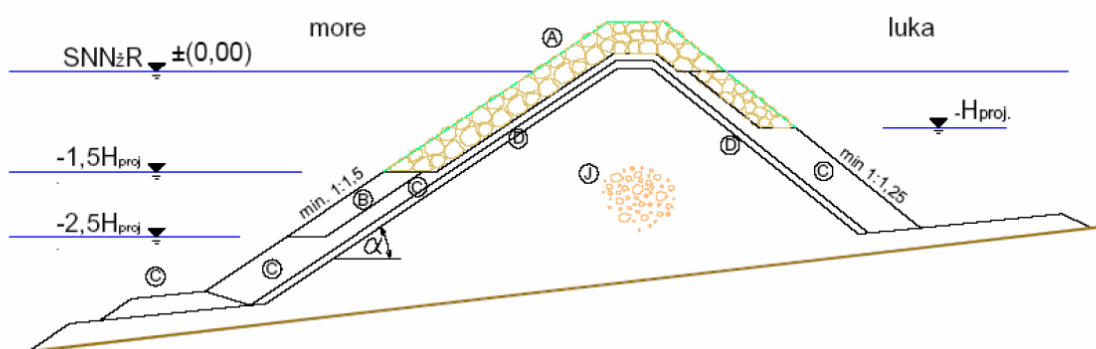
- N_S^3 – broj stabilnosti za proračun stabilnosti nožice vertikalnog lukobrana (prema CERC II 7-244)
- $H_{proj} = H_{max}^{100g} = 2H_s^{100g}$

Ostale vrijednosti iz jednadžbe jednake su kao i u Hudson-ovoj formuli. Za širinu praga uzima se 6 zrna, a za debljinu 2 zrna.



Slika 31: Slojevi nasutog lukobrana s tipom kamenog materijala (Izvor: <http://www.colsen.dk/universitetet/breakwater.pdf>)

Sloj materijala primarne zaštite lukobrana, koji čine najmasivniji kameni ili betonski blokovi, mora biti postavljen do kote pod morem do koje je moguće očekivati utjecaj vala, čime ćemo ostvariti čvrstu i stabilnu zaštitu konstrukcije lukobrana. S vanjske strane lukobrana, prema djelovanju vala, primarni sloj postavlja se do negativne kote koja iznosi $1.5 \times H_{proj}$, dok sa strane štice područja, primarni sloj izvodimo do negativne kote H_{proj} .



Slika 32: Nasuti lukobran s minimalnim dubinama izvođenja slojeva (Izvor: <http://www.colsen.dk/universitetet/breakwater.pdf>)

Vertikalni lukobran

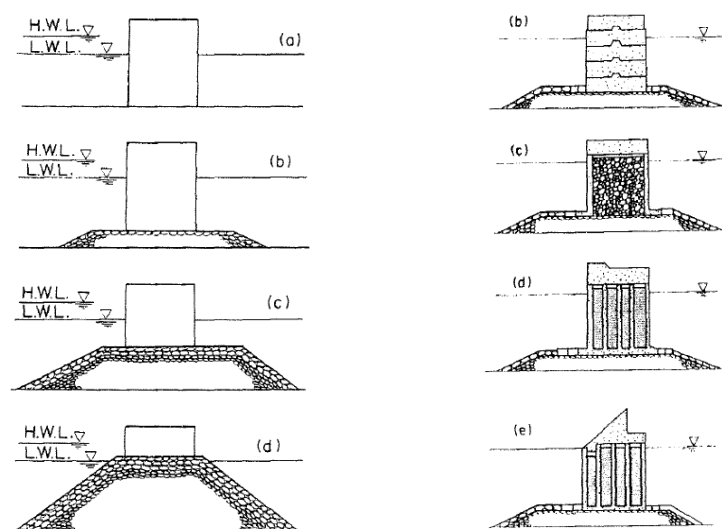
Opis i tehnologija izvođenja

Osnovna konstrukcija vertikalnih lukobrana su betonski blokovi u nizu koji tvore cjelinu lukobrana. Grade se na nasipu od kamenog materijala koji može biti tanji, ili može biti većih dimenzija čime postizemo konstrukciju kompozitnog vertikalnog lukobrana. Uspoređujući vertikalni lukobran s nasutim lukobranom čija je tehnologija opisana u prethodnom podnaslovu, treba istaknuti kako kod vertikalnog dolazi do refleksije vala, što treba uzimati u obzir kod projektiranja i planiranja. Refleksija može stvarati nepovoljne uvjete na ulazu u luku, stvarajući jako uzburkano more i otežavajući promet plovila. U odnosu na nasuti lukobran koji svojim dimenzijama, posebno u većim dubinama, zauzima znatnu površinu, vertikalni lukobran je manjih i kompaktnijih dimenzija, čime se postiže ekonomičnost ali i brža izvedba. Velika prednost vertikalnog lukobrana je bolje korištenje površina na tijelu lukobrana, pa se tako s lučke zaštićene strane bez potrebe za izvedbom dodatnih konstrukcija može osigurati prostor za privez plovila, manipulativne površine za promet vozila, pješaka i dizalica, kao i skladišnih prostora ako se radi o većim širinama lukobrana. Kako je prije spomenuto, uz osnovni tip vertikalnog lukobrana, postoji i kompozitni lukobran koji se izvodi na prethodno uređeni temeljni nasip.

Kod odabira vrste lukobrana, preporučeno je da se vertikalni lukobrani izvode na mjestima s dubinom većom od 2,5-3,0 visine projektnog vala čime se osigurava od loma vala na vertikalnom licu koje je izloženo mehaničkim utjecajima vala, te time smanjujemo i mogućnost oštećenja konstrukcije lukobrana. S morske strane izvodi se vertikalni zid da bi se spriječilo prelijevanje valova i zaštitila konstrukcija lukobrana te korisna površina s lučke strane. Radi osiguravanja stabilnosti konstrukcije i sprečavanja nastanka oštećenja, vertikalni lukobran zahtjeva kvalitetno temeljenje i temeljno tlo. iako se najčešće izvodi na nasipnom materijalu, po potrebi se može temeljiti i na pilotima.

Vertikalni lukobran se izrađuje u raznim oblicima s obzirom na poprečni presjek. Najčešće korišteni oblici izvedbe su betonski monolitni blokovi, armiranobetonski kesoni i plutajući armiranobetonski kesoni koji se potapaju na mjestu ugradnje. Zajedničko svim spomenutim oblicima je izvedba u blokovima koji se u montaži pozicioniraju i sljubljuju međusobno tvoreći niz koji se nakon pozicioniranja i slijeganja na morsko dno monolitiziraju spajanjem

nad morem izvedbom armirano-betonske ploče. Zaštitni zid koji čini krunu ugrađuje se od gotovih elemenata ili se izvodi na licu mjesta od armiranog betona koji se ugrađuje u kampadama. Završetkom grubih konstrukcijskih radova, slijedi završno uređenje ovisno o namjeni koja je planirana na tijelu lukobrana- šetnica, vezovi, prometnica i sl.



Slika 33: Varijante vertikalnog lukobrana (LWL-niska razina mora, HWL-visoka razina mora), (Takahashi S.:Design of vertical breakwaters, 2002.,str. 4-5)

Kod projektiranja vertikalnih lukobrana koristi se više provjerenih metoda do kojih se došlo iskustveno i eksperimentalno. Kod izvedbe na mjestu gdje nema prelijevanja i loma vala, primjenjuje se metoda Sainflou, izvedena 1928. godine. Sainflouova formula pojednostavljena je tako da je omogućila raspodjelu valnog tlaka na dio iznad i ispod morske razine. Primjena je jednostavna s obzirom da je raspodjela tlaka ispod morske razine sa strane otvorenog mora i luke linearna. Za vertikalni lukobran kod kojeg dolazi do loma vala na licu i prelijevanja, proračun stabilnosti izvodi se prema metodi Goda iz 1974. godine. Ovaj se izračun temelji na teoriji nelinearnog vala te se uzima valni pritisak na način da se uzima u obzir dvije komponente tlaka- lom i promijenjivi dio komponente tlaka. Proširenjem potrebnih parametara metoda je primjenjiva na različite tipove vertikalnih konstrukcija. Uz prethodno opisane dvije metode proračuna, treba još izvodvojiti metode Minikin iz 1963. i Hiroi iz 1919. godine. Svaka od navedenih formula odnosno oblika proračuna stabilnosti

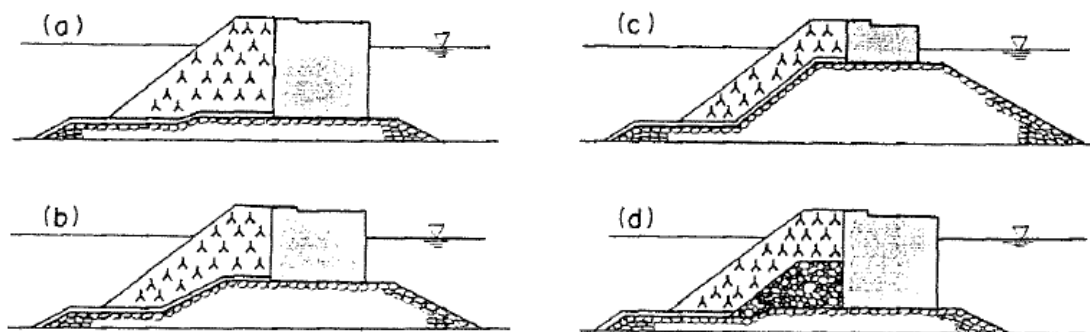
vertikalnog lukobrana primjenjuje se za drugačiji oblik ulaznih podataka, uvjeta na mjestu gradnje te utjecaja koji se mogu javiti na konstrukciji.



Slika 34: Izgradnja novog vertikalnog lukobrana u Crikvenici (Izvor: <https://www.crikva.hr> , pristup 25.4.2023.)

Kako je već prethodno navedeno, dimenzioniranje obalnih građevina pa tako i vertikalnih lukobrana, složen je i temeljit proces koji zahtjeva prikupljanje mnogo ulaznih podataka za mjesto izvedbe. Kako se radi o građevini koja može imati i namjensku funkciju u pomorskom prometu, ona mora biti otporna na udare i vlačne sile od plovila.

Napomenimo kako uz navedeni klasični oblik vertikalnog i kompozitnog vertikalnog lukobrana postoji i horizontalni kompozitni lukobrani. Radi se o vertikalnom zidu koji se s morske strane prekriven kamenim ili betonskim blokovima za disipaciju vala. Ova vrsta lukobrana slična je nasutom lukobranu koji se izvodi u vrlo sličnom presjeku, samo što se kod njega unutarnji obalni zid izvodi po potrebi i nije obavezni dio konstrukcije. Funkcija blokova kod ovog oblika konstrukcije je da smanje snagu vala i veličinu reflektiranog vala čime se ovaj oblik smatra kvalitetnijim te unaprijeđenim tipom vertikalnog lukobrana.



Slika 35: Varijante horizontalnog kompozitnog lukobrana (Takahashi S.:Design of vertical breakwaters, 2002.,str. 5)

Opis proračuna

Konstrukcija mora podnijeti sva opterećenja koja su uzeta u proračun te mora biti upotrebljiva za što je planirana. Proračun same konstrukcije razlikuje se i po lokaciji gdje se nalazi, zbog vrijednosti sila koje će na tom mjestu utjecati na stabilnost i čvrstoću. Ako projektirana konstrukcija, uz redovno održavanje ostane sposobna za upotrebu, možemo zaključiti da su proračunski dio te izvedba zadovoljavajući.

Opterećenja koja djeluju na vertikalni lukobran dijele se na statična opterećenja, gdje spadaju vlastita težina, uzgon, hidrodinamički pritisci mora, te promjenjiva opterećenja gdje uključujemo opterećenje vjetrom i valovima te uporabno opterećenje.

Kod dimenzioniranja zidova moramo napraviti provjere na prevrtanje i klizanje. Provjera stabilnosti na prevrtanje izražena je kao odnos momenta prevrtanja i momenta stabilnosti. Kako bi proračun zadovoljio, moment prevrtanja mora biti manji ili jednak momentu stabilnosti. U moment prevrtanja ulaze sile od pritiska tla, mora te uzgon, dok u moment stabilnosti ulaze sile vlastite težine i težina temelja. Provjera stabilnosti na klizanje je izražena isto kao odnos, točnije kao odnos između vertikalnih sila sa trenjem i horizontalnih sila. Za stabilnost na klizanje nepovoljne su horizontalne sile, koje zaključno moraju biti manje od vertikalnih.

DIMENZIONIRANJE LUKOBRANA

Ulazni podaci

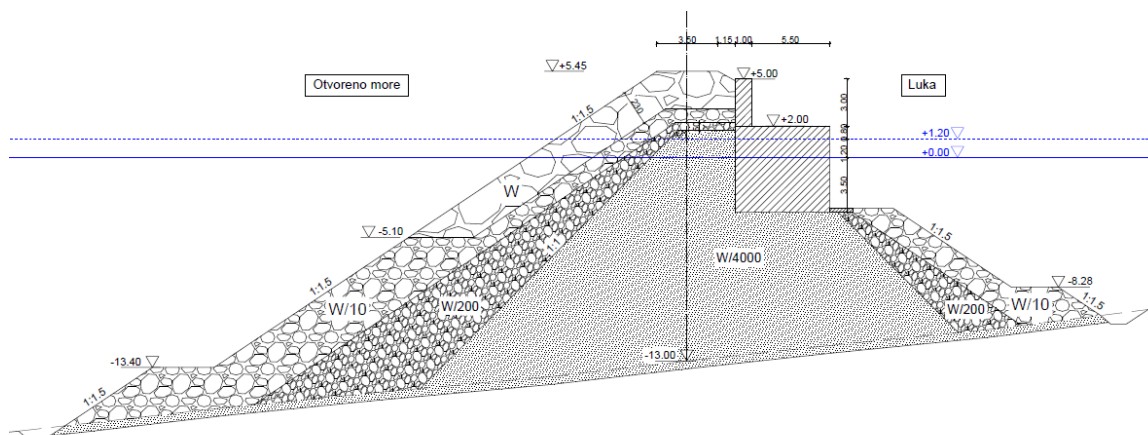
Za uvalu Žurkovo, za potrebe planiranja i projektiranja buduće luke, izrađene su numeričke simulacije postojećeg stanja valova za povratni period od 50 godina. Kroz računske simulacije, stvoreni su rezultati vektorskih prikaza valova za najutjecajnije smjerove djelovanja vjetra. Dobivene valne visine za korištene brzine vjetra iskazane su u tablici koja slijedi. Kao najnepovoljnije djelovanje odabran je smjer vjetra SW za koji se dobiva visina vala $H_S^{50} = 3,40$ m. Za potrebe dimenzioniranja parametara lukobrana, korišteni su valni parametri iz studije koju je izradila tvrtka MareCon d.o.o. za potrebe izrade idejnog rješenja uređenja uvale Žurkovo.

Tablica 9: Brzine vjetra i valni parametri za 50-ogodišnji povratni period (Izvor: MareCon d.o.o., 2022.)

SMJER VJETRA	BRZINA VJETRA	H_S^{50}
SSE	26 m/s	2,90 m
S	24 m/s	3,20 m
SW	24 m/s	3,40 m
W	16 m/s	1,70 m

Nasuti lukobran s obalnim zidom

Na slici 36 prikazan je karakteristični presjek nasutog lukobrana s obalnim zidom. Kroz presjek vidimo sve slojeve kamenog materijala u različitim granulacijama koje je potrebno izvesti.



Slika 36: Karakteristični presjek nasutog lukobrana s obalnim zidom (Izradio: autor)

Za prikazani presjek proveden je pomorsko hidraulički proračun kamenometa nasutog lukobrana.

Podaci potrebni za dimenzioniranje:

Značajna visina vala $H_s = 3,40$ m

Dubina lukobrana $d = 13,0$ m

Razina visoke vode v.v. = 1,20 m

Gustoća obloge (kamen) $\rho_{obl} = 2600$ kg/m³

Gustoća betona $\rho_{bet} = 2400$ kg/m³

Gustoća mora $\rho_m = 1025$ kg/m³

Dimenzioniranje boka tijela lukobrana

Za početak, izvodimo proračun konstrukcije na boku tijela lukobrana, na jednom od odabranih profila. Time ćemo utvrditi vrijednosti koje će biti korištene za izvedbu konstrukcije.

Proračun loma vala:

$$d > 2,5 * H_{proj}$$

$$13 > 2,5 * 3,40$$

$$13 > 8,5$$

Ne dolazi do loma vala!

Kako je proračunom utvrđeno da ne dolazi do loma vala, iz tablice očitavamo vrijednosti iz stupca za valove koji se ne lome.

Tablica 10: Koeficijenti za proračun mase i debljine kamenog materijala (Izvor: Materijali s kolegija Obalne građevine, 2022.)

Vrsta elementa pokrovnog sloja	Broj slojeva	Način smještaja	Bok valobrana		Glava valobrana		nagib
			Lomljeni i valovi	Valovi koji se ne lome	Lomljeni valovi	Valovi koji se ne lome	
Glatki zabljeni	2	slučajno	1.2	2.4	1.1	1.9	1:1,5 1:3
	>3	slučajno	1.6	3.2	1.4	2.3	1:1,5 1:3
Oštrobridni lomljeni kamen	2	slučajno	2.0	4.0	1.9	3.2	1:1,5
					1.6	2.8	1:2
					1.3	2.3	1:3
	>3	slučajno	2.2	4.5	2.1	4.2	1:1,5 1:3
	2	specijalno položeni	5.3	5.8	6.4	7.0	1:1,5 1:3

Za pokrovni sloj koristit će se oštrobridni lomljeni kamen, za koji vrijedi:

- oštrobridni lomljeni kamen $KD = 5,8$, specijalno položeni
- koeficijent sloja $k_{\Delta} = 1,0$
- broj slojeva $n = 2$
- nagib $1:1,5 \rightarrow \text{ctg}\alpha = 1,5$

Primarni sloj:

Masa bloka primarne zaštite:

$$G_A = W = \frac{\rho_{obl} * g * H_{proj}^3}{K_D * \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1\right)^3 * ctg\alpha} = \frac{2600 * 9,81 * 3,4^3}{5,8 * \left(\frac{2600}{\rho_{1025}} - 1\right)^3 * 1,5}$$

$$G_A = W = 31914,48 \text{ N}$$

$$M = \frac{31914,48}{9,81} = 3253,26 \text{ kg}$$

Visina krune:

$$h_{krune} = v.v. + 1,25 * H_{proj}$$

$$h_{krune} = 1,2 + 1,25 * 3,4$$

$$h_{krune} = 5,45 = 5,50 \text{ m}$$

Širina krune:

$$B = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{obl} * g}} = 3 * 1 * \sqrt[3]{\frac{31914,48}{2600 * 9,81}}$$

$$B = 3,23 \text{ m} = 3,50 \text{ m}$$

Debljina primarnog sloja:

$$B = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{obl} * g}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{31914,48}{2600 * 9,81}}$$

$$t = 2,16 \text{ m} = 2,30 \text{ m}$$

Granulometrijski raspon primarnog sloja:

GRANULOMETRIJSKI RASPON		125-75%	Mj. jed.
Wmax	1,25*W	39893,10	N
Mmax	1,25+M	4066,57	Kg
Wmin	0,75*W	23935,86	N
Mmin	0,75*M	2439,94	Kg

Masa bloka primarne zaštite iznosi 3253 kg. S rasponom od 75% do 125%, blok primarne zaštite može biti mase od 2439 kg do 4066 kg.

Sekundarni sloj:

Masa bloka sekundarnog sloja:

$$G_B = \frac{W}{10} = 3191,45 \text{ N}$$

$$W = 325,33 \text{ kg}$$

Debljina sekundarnog sloja:

$$t = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_B}{\rho_{obl} * g}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{3191,45}{2600 * 9,81}}$$

$$t = 1,05 \text{ m} = 1,10 \text{ m}$$

Granulometrijski raspon sekundarnog sloja:

GRANULOMETRIJSKI RASPON		130-70%	Mj. jed.
Wmax	1,30*W	4148,88	N
Mmax	1,30+M	422,92	Kg
Wmin	0,70*W	2234,01	N
Mmin	0,70*M	227,73	Kg

Masa kamenog bloka u sekundarnom sloju iznosi 325 kg, dok u granulometrijskom rasponu od 70% do 130%, blok može biti mase od 227 kg do 422 kg.

Drugi međusloj:

Masa bloka drugog međusloja:

$$G_C = \frac{W}{200} = 159,57 \text{ N}$$

$$W = 16,27 \text{ kg}$$

Debljina drugog međusloja:

$$t = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_C}{\rho_{obl} * g}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{159,57}{2600 * 9,81}}$$

$$t = 0,37 \text{ m} = 0,50 \text{ m}$$

	GRANULOMETRIJSKI RASPON	150-50%	Mj. jed.
Wmax	1,50*W	239,36	N
Mmax	1,50+M	24,40	Kg
Wmin	0,50*W	79,79	N
Mmin	0,50*M	8,13	Kg

Drugi međusloj kamenog materijala ima masu od 16 kg, s rasponom 50% od 150%, što uključuje materijal mase od 8 kg do 24 kg.

Jezgra:

Proračun jezgre:

$$G_D = \frac{W}{4000} = 7,98 N$$

$$W = 0,81 kg$$

GRANULOMETRIJSKI RASPON		170-30%	Mj. jed.
Wmax	1,50*W	13,56	N
Mmax	1,50*M	1,38	Kg
Wmin	0,50*W	2,39	N
Mmin	0,50*M	0,24	Kg

Kameni materijal u jezgri ima masu od 0.80 kg, s rasponom od 30% do 170%, što uključuje kamenomet od 0.24 kg do 1.38 kg.

REKAPITULACIJA			
Sloj	Oznaka	Masa	Debljina (m)
Primarni	A	W	2,3
Sekundarni	B	W/10	1,1
Drugi međusloj	C	W/200	0,5
Jezgra	D	W/4000	/

Dimenzioniranje glave lukobrana

Dimenzioniranje glave provodi se na isti način kao i bok tijela lukobrana, uz uzimanje drugog koeficijenta iz tablice.

Proračun loma vala:

$$d > 2,5 * H_{proj}$$

$$11 > 2,5 * 3,40$$

$$11 > 8,5$$

Ne dolazi do loma vala!

Kako je proračunom utvrđeno da ne dolazi do loma vala, iz tablice očitavamo:

Vrsta elementa pokrovnog sloja	Broj slojeva	Način smještaja	Bok valobrana		Glava valobrana		nagib
			Lomljeni valovi	Valovi koji se ne lome	Lomljeni valovi	Valovi koji se ne lome	
Glatki zabljeni	2	slučajno	1.2	2.4	1.1	1.9	1:1,5 1:3
	>3	slučajno	1.6	3.2	1.4	2.3	1:1,5 1:3
Oštrobridni lomljeni kamen	2	slučajno	2.0	4.0	1.9	3.2	1:1,5
					1.6	2.8	1:2
					1.3	2.3	1:3
	>3	slučajno	2.2	4.5	2.1	4.2	1:1,5 1:3
	2	specijalno položeni	5.3	5.8	6.4	7.0	1:1,5 1:3

- oštrobridni lomljeni kamen $KD = 7,0$

- koeficijent sloja $k\Delta = 1,0$

- broj slojeva $n = 2$

- specijalno položeni

- nagib 1:1,5 $\rightarrow \text{ctg}\alpha = 1,5$

Primarni sloj:

Masa bloka primarne zaštite:

$$G_A = W = \frac{\rho_{obl} * g * H_{proj}^3}{K_D * \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1\right)^3 * ctg\alpha} = \frac{2600 * 9,81 * 3,4^3}{7,0 * \left(\frac{2600}{\rho_{1025}} - 1\right)^3 * 1,5}$$

$$G_A = W = 26416,98 \text{ N}$$

$$M = \frac{26416,98}{9,81} = 2692,86 \text{ kg}$$

Širina krune:

$$B = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{obl} * g}} = 3 * 1 * \sqrt[3]{\frac{26416,98}{2600 * 9,81}}$$

$$B = 3,04 \text{ m} = 3,50 \text{ m}$$

Debljina primarnog sloja:

$$B = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{obl} * g}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{26416,98}{2600 * 9,81}}$$

$$t = 2,02 \text{ m} = 2,30 \text{ m}$$

Granulometrijski raspon primarnog sloja:

GRANULOMETRIJSKI RASPON		125-75%	Mj. jed.
Wmax	1,25*W	33021,23	N
Mmax	1,25*M	3366,08	Kg
Wmin	0,75*W	19812,74	N
Mmin	0,75*M	2019,65	Kg

Sekundarni sloj:

Masa bloka sekundarnog sloja:

$$G_B = \frac{W}{10} = 2641,70 \text{ N}$$

$$W = 269,29 \text{ kg}$$

Debljina sekundarnog sloja:

$$t = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_B}{\rho_{obl} * g}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{3191,45}{2600 * 9,81}}$$

$$t = 0,94 \text{ m} = 1,00 \text{ m}$$

Granulometrijski raspon sekundarnog sloja:

GRANULOMETRIJSKI RASPON		130-70%	Mj. jed.
Wmax	1,30*W	3434,21	N
Mmax	1,30+M	350,07	Kg
Wmin	0,70*W	1849,19	N
Mmin	0,70*M	188,50	Kg

Drugi međusloj

Masa bloka drugog međusloja:

$$G_C = \frac{W}{200} = 132,08 \text{ N}$$

$$W = 13,46 \text{ kg}$$

Debljina drugog međusloja:

$$t = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_C}{\rho_{obl} * g}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{132,08}{2600 * 9,81}}$$

$$t = 0,35 \text{ m} = 0,50 \text{ m}$$

GRANULOMETRIJSKI RASPON		150-50%	Mj. jed.
Wmax	1,50*W	198,13	N
Mmax	1,50+M	20,20	Kg
Wmin	0,50*W	66,04	N
Mmin	0,50*M	6,73	Kg

Jezgra:

Proračun jezgre:

$$G_D = \frac{W}{4000} = 6,60 N$$

$$W = 0,67 kg$$

GRANULOMETRIJSKI RASPON		170-30%	Mj. jed.
Wmax	1,50*W	11,23	N
Mmax	1,50+M	1,14	Kg
Wmin	0,50*W	1,98	N
Mmin	0,50*M	0,20	Kg

REKAPITULACIJA			
Sloj	Oznaka	Masa	Debljina (m)
Primarni	A	W	2,3
Sekundarni	B	W/10	1
Drugi međusloj	C	W/200	0,5
Jezgra	D	W/4000	/

Dimenzioniranje nasutog lukobrana - rekapitulacija

Nasuti lukobran izvest će se od oštrobriidnog lomljenog kamena, ukupno četiri tipa granulacije, koje su prikazane u idućoj tablici. Najsitniji materijal postavlja se u jezgru same konstrukcije, dok najkrupniji stvara zaštitu s vanjske strane te na kruni. Isto tako, slojevi moraju biti izvedeni u debljinama koje su također navedene u tablici. Krana lukobrana izvodi se na završnoj koti od +5,50 m, s širinom od 3,50 m.

Tablica 11: Rekapitulacija boka nasutog lukobrana (Izradio: autor)

SLOJ	OZNAKA SLOJA	MASA KAMENA (Kg)	RASPON MASE (%)	MIN. DEBLJINA SLOJA (m)
Primarni	W	3253,26	75-125	2,3
Sekundarni	W/10	325,33	70-130	1,1
Drugi međusloj	W/200	16,27	50-150	0,5
Jezgra	W/4000	0,81	30-170	/

Za glavu nasustog lukobrana, proveden je odvojeni proračun debljine slojeva i mase kamenog materijala. Isto kao i bok lukobrana, glava se izvodi od četiri sloja oštrobriidnog lomljenog kamena različitih granulacija, s završnom kotom krune od +5,50 m.

Tablica 12: Rekapitulacija glave nasutog lukobrana (Izradio: autor)

SLOJ	OZNAKA SLOJA	MASA KAMENA (Kg)	RASPON MASE (%)	MIN. DEBLJINA SLOJA (m)
Primarni	W	2692,86	75-125	2,3
Sekundarni	W/10	269,29	70-130	1,0
Drugi međusloj	W/200	13,46	50-150	0,5
Jezgra	W/4000	0,67	30-170	/

Kako je spomenuto u potpoglavlju *Djelovanja na građevinu*, za proračun nasutog lukobrana u ovome radu, korištena je visina vala od 3,40 m za pedesetogodišnji povratni period, no, radi pozicioniranja osi lukobrana dublje u prostor uvale, postoji mogućnost korištenja manje vrijednosti visine vala, koji bi u tom slučaju iznosio 2,70 metara. Ako se koristi spomenuta manja vrijednost, izvedba konstrukcije lukobrana bila bi izvedena prema drugačijim parametrima. U tablici 12 prikazan je pojednostavljeni proračun za bok nasutog lukobrana koristeći spomenutu manju vrijednost vala. Treba napomenuti kako bi bilo potrebno provesti nova modeliranja valnih podataka s većom preciznošću, kako bi se utvrdile precizne vrijednosti ulaznih podataka za projektiranje lukobrana.

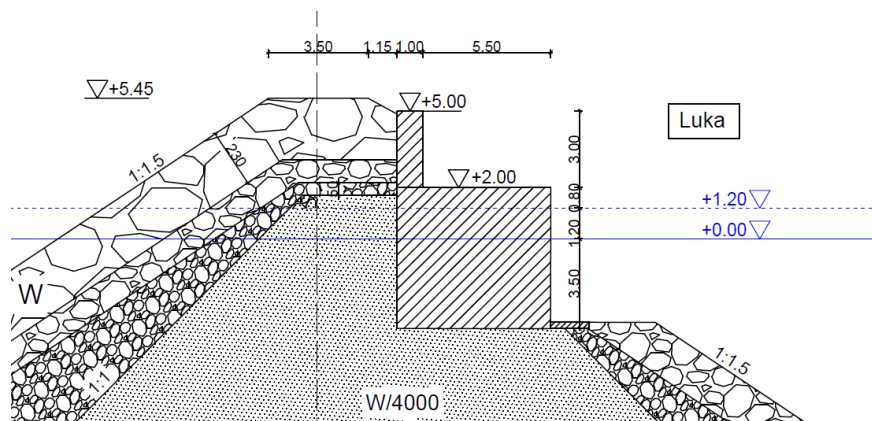
*Tablica 13: Pojednostavljeni proračun za bok nasutog lukobrana, $H_s=2,70$ m
(Izradio: autor)*

STAVKA	VRIJEDNOST	MJER. JEDINICA
Visina krune lukobrana	4,57	[m]
Širina krune lukobrana	2,57	[m]
Masa primarnog sloja (W)	1629	[Kg]
Debljina primarnog sloja	1,70	[m]

Iz tablice je vidljivo kako dolazi do smanjenja svih vrijednosti u usporedbi s proračunima napravljenima za nasuti lukobran s ulaznom vrijednošću vala visine 3,40 m.

Dimenzioniranje obalnog zida na lukobranu

Na slici 37 prikazan je poprečni presjek nasutog lukobrana s detaljem obalnog zida s zaštićene unutarnje strane.



Slika 37: Presjek nasutog lukobrana s obalnim zidom (Izradio: autor)

Za prikazani poprečni presjek provedeni su proračuni stabilnosti. Kako bi mogli napraviti provjere stabilnosti konstrukcije na prevrtanje i klizanje, prethodno je potrebno izračunati vrijednosti sila koje djeluju na konstrukciju te njenu vlastitu težinu.

Ulazni podaci:

$\beta = 0^\circ$ - nagib pokosa

$\alpha = 90^\circ$ - nagib stražnjeg lica zida

$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ - zapreminska težina kamenoga nasipa

$\gamma' = 11 \text{ KN/m}^3$ - zapreminska težina kamenoga nasipa u vodi

$\gamma = 23 \text{ KN/m}^3$ - zapreminska težina betonskog zida

$\gamma' = 13 \text{ KN/m}^3$ - zapreminska težina betonskog zida u vodi

$\rho = 40^\circ$ - kut trenja

$\gamma_c / \gamma \rho = 1,25$ - parcijalni koeficijent sigurnosti za kut trenja

Koeficijent aktivnog potiska tla

$$K_a = 0,217$$

Vlastita težina zida:

$$G_1 = Bt \times hst \times \gamma_{AB} = 5,0 \times 3,95 \times 24 = 474,00 \text{ KN/m}$$

$$G_2 = Bt \times hst \times \gamma_{AB} = 5,0 \times 3,85 \times 15 = 288,75 \text{ KN/m}$$

$$G_3 = B \times h \times \gamma_{AB} = 1,5 \times 0,8 \times 24 = 28,80 \text{ KN/m}$$

$$\text{Ukupno Guk} = 791,55 \text{ Kn/m'}$$

Geostatička naprezanja:

$$\sigma_0 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_1 = 3 * \gamma = 3 * 18 = 54 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 + 0,80 * \gamma = 54 + 0,80 * 18 = 68,40 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_3 = \sigma_2 + 4,70 * \gamma' = 54 + 4,70 * 11 = 120,10 \text{ kN/m}^2$$

Aktivni potisak:

$$p_0 = \sigma_0 * k_A * y_G = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$p_1 = \sigma_1 * k_A * y_G = 54 * 0,217 * 1 = 11,72 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = \sigma_2 * k_A * y_G = 68,40 * 0,217 * 1 = 14,84 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = \sigma_3 * k_A * y_G = 120,10 * 0,217 * 1 = 26,06 \text{ kN/m}^2$$

$$pw_1 = 4,7 * y_{gw} * y_w = 63,45 \text{ kN/m}^2$$

$$pw_2 = 3,5 * y_{gw} * y_w = 47,25 \text{ kN/m}^2$$

Horizontalne sile:

$$P_1 = \frac{3 * p1}{2} = 17,58 \text{ kN}$$

$$P_2 = 2 * p1 = 23,44 \text{ kN}$$

$$P_3 = 2 * (p2 - p1) = 6,25 \text{ kN}$$

$$P_4 = 3,5 * p2 = 51,95 \text{ kN}$$

$$P_5 = 3,5 * \left(\frac{p3 - p2}{2}\right) = 19,63 \text{ kN}$$

$$P_6 = 4,7 * \left(\frac{pw1}{2}\right) = 149,11 \text{ kN}$$

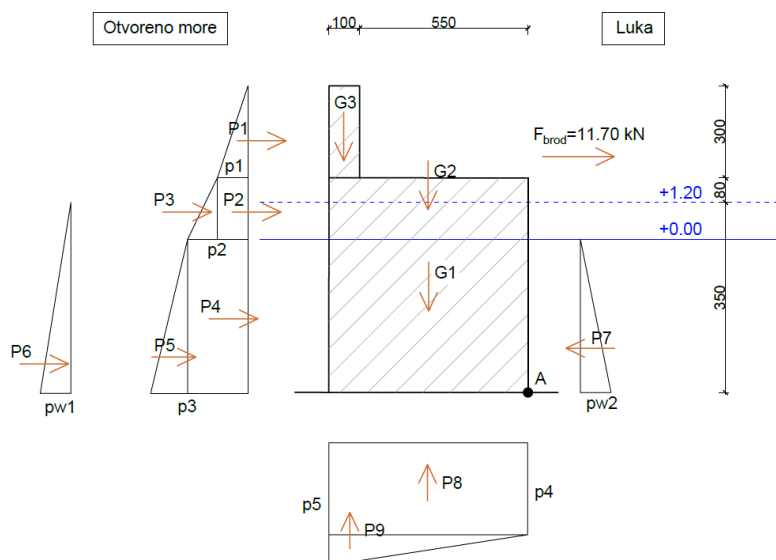
$$P_7 = 3,5 * \left(\frac{pw2}{2}\right) = 82,69 \text{ kN}$$

$$P_{brod} = 11,70 \text{ kN}$$

Vertikalne sile- uzgon:

$$P_8 = 6,5 * p4 = 307,13 \text{ kN}$$

$$P_9 = 6,5 * \left(\frac{p5 - p4}{2}\right) = 68,86 \text{ kN}$$



Slika 38: Horizontalna i vertikalna opterećenja na konstrukciju (Izradio: autor)

Kontrola stabilnosti na prevrtanje:

$$M_{st} = (G_1 * k(G1) + G_2 * k(G2) + G_3 * k(G3)) * y_{g_{stb}} = 2000,36 \text{ kNm}$$

$$M_{dst} = (P8 * k(P8) + P9 * k(P9) + P1 * k(P1) + P2 * k(P2) + P3 * k(P3) + P4 * k(P4) + P5 * k(P5) + P6 * k(P6) - P7 * k(P7)) * y_{g_{dst}} + P_{brod} * k(P_{brod}) * y_{q_{dst}} = 1623,32 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{st}}{M_{dst}} = 2000,36 > 1623,32$$

Provjera zadovoljava!

Kontrola stabilnosti na klizanje:

$$P = y_{g_{dst}} * (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P_{brod}) - y_{g_{stb}} * p7 = 233,20 \text{ kNm}$$

$$V = y_{g_{stb}} * (G1 + G2 + G3) - y_{g_{dst}} * (U1 + U2) = 265,08 \text{ kNm}$$

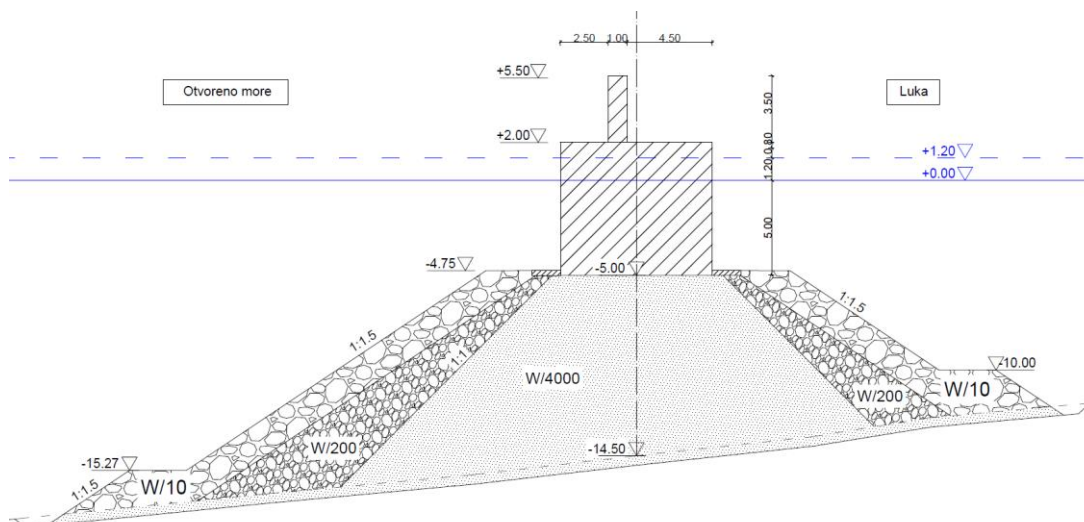
$$\frac{V}{P} = 265,08 > 233,20$$

Provjera zadovoljava!

Prema rezultatima koje smo dobili u provjerama, možemo zaključiti da je konstrukcija obalnog zida na lukobranu stabilna te da je u ovom presjeku otporna na prevrtanje i klizanje.

Vertikalni lukobran - Varijanta 1

Na slici 39 prikazan je karakteristični presjek prve varijante vertikalnog lukobrana.



Slika 39: Karakteristični presjek vertikalnog lukobrana (Izradio: autor)

U ovoj varijanti, napravljeno je dimenzioniranje vertikalnog lukobrana koji dopušta malo prelijevanje preko krune zida, te time omogućava siguran vez na tijelu lukobrana s unutarnje strane.

Ulazni i zadani podaci za proračun vertikalnog lukobrana:

Dubina lukobrana: $d = 6,2 \text{ m}$

Visina značajnog vala: $H_s = 3,4 \text{ m}$

Period značajnog vala: $T_s = 5 \text{ s}$

Visoka morska razina (petogodišnji povratni period): $vv_{5gpp} = 1,2 \text{ m}$

Kota vrha lukobrana: 2 m

Kota dna lukobrana: -5 m

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

Zapreminska težina suhog betona: $\gamma_B = 23 \text{ kN/m}^3$

Zapreminska težina uronjenog betona: $\gamma_{B'} = 13 \text{ kN/m}^3$

Širina lukobrana: $B = 8 \text{ m}$

Kota vrha krune lukobrana = 5,5 m

Širina krune lukobrana: $B = 1$ m

Koef. trenja lukobrana_temelj: $\mu = 0,7$

Kut nailaska vala na lukobran: 30 deg

Visina projektnog vala:

$H_{proj} = 1,8 \times H_s = 1,8 \times 3,4 = 6,12$ m

Duljina projektnog vala:

$L_{proj} = 1,56 \times T_s^2 = 1,56 \times 5^2 = 39$ m

Visina do koje djeluje pritisak vala:

$\eta = 0,75 \times (1 + \cos\beta) \times \lambda_1 \times H_{proj} = 0,75 \times (1 + 0,15) \times 1 \times 6,12 = 5,29$ m

$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$; modifikacijski faktori ovisni o tipu konstrukcije - za vertikalni lukobran iznose 1

Iz presjeka napravljenog u AutoDesk AutoCAD-u očitane su dimenzije konstrukcije:

$d = 6,2$ m

$h_w = 10,5$ m

$h_s = 6,2$ m

$h_c = 4,3$ m

$B = 8$ m

h_b = dubina mora na udaljenosti od $5 \times H_s$ od lukobrana na morskoj strani

$5 \times 3,4 = 17$ m

$h_b = 8$ m

Dalje, izveden je postupak proračuna pritiska i sila koje djeluju na konstrukciju:

Utjecaj perioda vala na raspodjelu pritiska:

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 * \left[\frac{\frac{4\pi * h_s}{L}}{\sinh * \left(\frac{4\pi * h_s}{L} \right)} \right]^2 = 0,6 + 0,5 * \left[\frac{\frac{4\pi * 6,2}{39}}{\sinh * \left(\frac{4\pi * 6,2}{39} \right)} \right]^2 = 0,752$$

Porast valnog pritiska zbog plitkog nasipa:

$$\alpha_2 = \min \left[\left(\frac{h_b - d}{3 * h_b} \right) * \left(\frac{H_{proj}}{d} \right)^2 ; \left(\frac{2 * d}{H_{proj}} \right) \right] = \min \left[\left(\frac{8 - 6,2}{3 * 8} \right) * \left(\frac{6,12}{6,2} \right)^2 ; \left(\frac{2 * 6,2}{6,12} \right) \right]$$

$$= 0,073; 2,026$$

Uzimamo manju vrijednost: 0,073

Linearna raspodjela pritiska:

$$\alpha_3 = 1 - \left(\frac{h_w - h_c}{h_s} \right) * \left[1 - \frac{1}{\cosh * \frac{2\pi * h_s}{L}} \right] = 1 - \left(\frac{10,5 - 4,3}{6,2} \right) * \left[1 - \frac{1}{\cosh * \frac{2\pi * 6,2}{39}} \right]$$

$$= 0,649$$

U idućim koracima napravljen je proračun pritiska na prednjoj strani obalnog zida, izloženom valovima:

$$\beta = 30^\circ$$

$$\cos\beta = 0,154$$

$$p_1 = 0,5 * (1 + \cos\beta) * (\lambda_1 * \alpha_1 + \lambda_2 * \alpha * \cos\beta) * \gamma_w * H_{proj}$$

$$p_1 = 0,5 * (1 + 0,154) * (1 * 0,752 + 1 * 0,073 * 0,154) * 10 * 6,12$$

$$= 26,637 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

$$\eta > h_c$$

$$5,29 > 4,30$$

Zadovoljava

$$p_2 = \left(1 - \frac{h_c}{\eta}\right) * p_1 = \left(1 - \frac{4,3}{5,29}\right) * 26,637 = 5,017 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

$$p_3 = \alpha_3 * p_1 = 0,649 * 26,637 = 17,277 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

Uzgon i uzdižući pritisak proračunati su formulom:

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

$$p_u = 0,5 * (1 + 0,154) * 1 * 0,752 * 0,649 * 10 * 6,12 = 17,237 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

Iduće, proračunata su opterećenja djelovanja valova na konstrukciju i težišta:

$$P_1 = h_c * p_2 = 4,3 * 5,017 = 21,576 \text{ kN/m}'$$

$$kP_1 = 8,35 \text{ m}$$

$$\Delta P_1 = (p_1 - p_2) * \frac{h_c}{2} = (26,637 - 5,017) * \frac{4,3}{2} = 46,481 \text{ kN/m}'$$

$$k\Delta P_1 = \frac{h_c}{3} + d = 7,633 \text{ m}$$

$$P_2 = p_3 * d = 17,277 * 6,2 = 10,711 \text{ kN/m}'$$

$$kP_2 = \frac{d}{2} = 3,10 \text{ m}$$

$$\Delta P2 = (p1 - p3) * \frac{d}{2} = 29,01 \text{ kN/m'}$$

$$k\Delta P2 = \frac{2 * d}{3} = 4,13 \text{ m}$$

$$Pu = pu - \frac{B}{2} = 17,237 - \frac{8}{2} = 13,237 \text{ kN/m'}$$

$$kPu = \frac{2 * B}{3} = 5,33 \text{ m}$$

Kako postoji mogućnost priveza plovila na tijelo lukobrana, potrebno je napraviti proračun sila koje se javljaju od plovila na konstrukciji. Iako je za očekivati kako valovi u luci neće znatnije utjecati na plovila i sile koje se onda javljaju na gat, jak vjetar, posebno S i SSE, mogu znatnije utjecati na situaciju na pristanu te se u takvim uvjetima mogu javiti jače sile na konstrukciju lukobrana. Iz tog razloga, radi se proračun na najnepovoljniji vjetar, u ovom slučaju jugoistočnjak (SSE):

$$V_{vj} = 26 \text{ m/s (SSE)}$$

$$L_{brod} = 12 \text{ m (duljina broda)}$$

$$h_{brod} = 2,5 \text{ m (prosječna visina broda)}$$

$$\alpha = 9^\circ \text{ (kut koji os broda zatvara s okomicom na smjer vjetra)}$$

$$C = 0,92 \text{ (koeficijent napadne hidrodinamične sile optjecanja)}$$

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

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

$$A = L_{brod} * \cos\alpha * h_{brod} = 29,63 \text{ m}^2$$

Sila kojom brod djeluje na obalu računa se prema izrazu:

$$F_{brod} = C * A * \frac{\rho_{zrak} * V_{vjetar}^2}{2} = 0,92 * 29,63 * \frac{1,27 * 26^2}{2} = 11,70 \text{ kN}$$

Zadnje vrijednosti koje je potrebno proračunati za kompletiran izračun prije provjera jesu one za vlastitu težinu konstrukcije. Konstrukcija vertikalnog lukobrana podijeljena je u 2 segmenta, tijelo lukobrana te zid odnosno kruna, s time da je tijelo računato posebno za dio ispod razine more te za dio iznad. Na taj način uzete su u obzir zapremninske težine suhog i uronjenog betona.

$$G1_{uronjen} = (hs * B) * yB' = (6,2 * 8) * 13 = 644,80 \text{ kN/m'}$$

$$G2_{suh} = (h_{nadvodno} * B) * y_{luk} = (0,80 * 8) * 23 = 147,20 \text{ kN/m'}$$

$$k_{lukobran} = \frac{B}{2} = 4 \text{ m}$$

$$G3_{zid} = (B_{kruna} * h_{zid}) * y_{luk} = (1 * 3,5) * 23 = 80,5 \text{ kN/m'}$$

$$k_{zid} = 4,5 \text{ m}$$

$$U_{lukobran} = d * B * y_w = 6,2 * 8 * 10 = 496 \text{ kN/m'}$$

$$k_{Uzgon} = \frac{B}{2} = 4 \text{ m}$$

Po završetku izračuna svih prethodnih stavki, sila i opterećenja koje se javljaju na konstrukciji, možemo napraviti provjere na prevrtanje i na klizanje.

Pod opterećenjem potiska mora i valova, te sile uzgona moguća je situacija u kojoj se konstrukcija prevrće oko točke A. Faktor sigurnosti na prevrtanje se definira kao odnos momenta stabilnosti i momenta prevrtanja. Ukupni proračunati moment stabilnosti mora biti veći od momenta prevrtanja.

$$\Sigma M_{st} = (G1 + G2) * k_{lukobran} + G3_{zid} * k_{zid} - U_{lukobran} * k_{zid} = 1546,25 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{prevrtanje} &= P1 * k_{P1} + P2 * k_{P2} + \Delta P1 * k_{\Delta P1} + \Delta P2 * k_{\Delta P2} + F_{brod} * k_{brod} \\ &= 848,79 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{\Sigma M_{st}}{\Sigma M_{prev}} = \frac{1546,25}{848,79} = 1,82$$

$$1,59 > 1,2$$

Faktor sigurnosti na klizanje predstavlja odnos horizontalnih sila koje potiču proces klizanja i umnoška vertikalne rezultante zida i faktora trenja između zida i tla. Na klizanje mogu utjecati opterećenja aktivnog potiska tla ako se radi o obalnom zidu, ili u ovom slučaju potisak vode. Kako bi zid bio otporan na navedena opterećenja, mora biti izveden sa dovoljnom projektiranom vlastitom težinom. Proračun i provjeru izvodimo prema formulama:

$$\Sigma V = G1 + G2 + G_{zid} - P_u = 363,263 \text{ kN}$$

$$\Sigma H = P1 + P2 + \Delta P + F_{brod} = 119,48 \text{ kN}$$

$$\frac{\Sigma V * \text{koef. trenja}}{\Sigma H} = 2,128$$

$$2,128 > 1,5$$

Kroz prethodno proračunate stavke, utvrđeno je kako konstrukcija lukobrana zadovoljava aspekte sigurnosti te možemo zaključiti kako je poprečni presjek dovoljnih dimenzija da bude stabilan na predviđenom mjestu. Konstrukcija će se moći nositi s silama koje mogu utjecati na stabilnost, kao što su valovi, vjetar te sile prouzročene vezanim plovilima.

Kako bi utvrdili da li kota krune lukobrana zadovoljava zaštitu od prelijevanja, provedena je provjera prema metodologiji proračuna danoj u priručniku EuroTop (2018.) Prelijevanje valova preko lukobrana javlja se uslijed valova koji nailaze na lice lukobrana okomito ili pod kutem. Ako su razine valova dovoljno velike, voda može prijeći preko vrha konstrukcije, što može biti problematično kako za konstrukciju lukobrana, tako i za imovinu koja se nalazi na lukobranu te iza njega u luci. Velike visine vala koji prelijeva, mogu dovesti do velikih količina prelijevanja, čak i ako su srednje količine prelijevanja vrlo male, tj. ako je dopuštena granica prelijevanja prekoračena, to dovodi do većih količina prelijevanja, pritom uništavajući imovinu.

U slučaju da oprema nije zaštićena, prelijevanje treba ograničiti na ≤ 1 l/s/m, ako visina upadnog projektnog vala $Hm0$ prelazi 4-5 m. Zbog toga, napravljen je proračun gdje je prelijevanje ograničeno na 1 l/s/m:

$$\frac{q}{\sqrt{g * Hm0^3}} = 0,062 * \exp \left[-2,61 * \frac{Rc}{Hm0} \right]$$

$$\frac{0,001}{\sqrt{9,81 * 2,2^3}} = 0,062 * \exp \left[-2,61 * \frac{Rc}{2,2} \right]$$

$$\exp \left[\frac{-2,61}{2,2} * Rc \right] = 1,578 * 10^{-3} / \ln$$

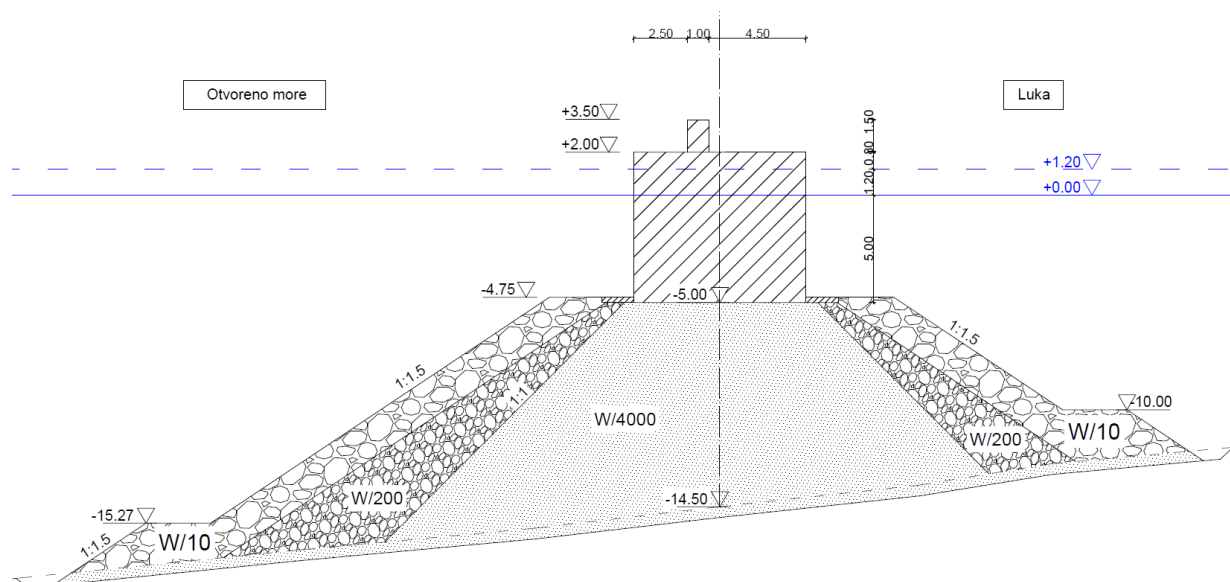
$$-1,1864 * Rc = -6,4516$$

$$Rc = 5,44 \text{ m}$$

Proračunom prema EuroTop metodi, za vertikalni lukobran, utvrđeno je kako kota zida lukobrana mora biti na +5,44 metra kako bi se zadovoljili uvjet za prelijevanje u vrijednostima do 1 l/s/m. Kako je kroz dimenzioniranje lukobrana kota krune zida postavljena na +5,50 m, možemo utvrditi da do većeg prelijevanja neće doći te da su time konstrukcija lukobrana te imovina iza zida i u luci zaštićeni.

Vertikalni lukobran - Varijanta 2-1, $H_s = 3,4$ m

Na slici 40 prikazan je karakteristični presjek vertikalnog lukobrana, varijanta 2.



Slika 40: Karakteristični presjek vertikalnog lukobrana (izradio: autor)

Radi kvalitetnijeg odabira varijantnog rješenja za izvedbu zaštitnog lukobrana na prostoru zahvata uređenja luke, napravljen je proračun za vertikalni lukobran, koji je u osnovi isti s prethodno izračunatom varijantom; pozicioniran je na istoj osi te ima iste elemente i dimenzije glavne konstrukcije kao i prethodno navedeni. Glavna razlika je visina kote zida koji je na tijelu lukobrana. U ovoj varijanti napravljen je proračun stabilnosti i proračun prelijevanja za varijantu gdje je kota spuštена na visinu +3,50 metara, odnosno 2 metra niže od vrijednosti iz prethodnog izračuna. Tim smanjenjem kote želi se postići manja potrebna količina materijala a samim time i cijena radova, ali i manji utjecaj na vizuru prostora.

Proračun je proveden na isti način, prema Goda metodi, te je u nastavku dan prikaz sa izračunatim vrijednostima.

Ulazni podaci:

Kota vrha lukobrana: 2 m

Kota dna lukobrana: -5 m

Širina lukobrana: $B = 8$ m

Kota vrha krune lukobrana: kotakrone = 3,5 m

Širina krune lukobrana: $B_{krune} = 1$ m

Visina do koje djeluje pritisak vala:

$$\eta = 0,75 \times (1 + \cos\beta) \times \lambda_1 \times H_{proj} = 0,75 \times (1 + 0,15) \times 1 \times 6,12 = 5,29 \text{ m}$$

$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$; modifikacijski faktori ovisni o tipu konstrukcije - za vertikalni lukobran iznose 1

Iz presjeka napravljenog u AutoDesk AutoCAD-u očitane su dimenzije konstrukcije:

$$d = 6,2 \text{ m}$$

$$hw = 8,5 \text{ m}$$

$$hs = 6,2 \text{ m}$$

$$hc = 2,3 \text{ m}$$

$$B = 8 \text{ m}$$

hb = dubina mora na udaljenosti od $5 \times H_s$ od lukobrana na morskoj strani

$$5 \times 3,4 = 17 \text{ m}$$

$$hb = 8 \text{ m}$$

Dalje, izveden je postupak proračuna pritiska i sila koje djeluju na konstrukciju:

Utjecaj perioda vala na raspodjelu pritiska:

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 * \left[\frac{\frac{4\pi * hs}{L}}{\sinh * \left(\frac{4\pi * hs}{L} \right)} \right]^2 = 0,752$$

Porast valnog pritiska zbog plitkog nasipa:

$$\alpha_2 = \min \left[\left(\frac{h_b - d}{3 * h_b} \right) * \left(\frac{H_{proj}}{d} \right)^2 ; \left(\frac{2 * d}{H_{proj}} \right) \right] = 0,073; 2,026$$

Uzimamo manju vrijednost: 0,073

Linearna raspodjela pritiska:

$$\alpha_3 = 1 - \left(\frac{h_w - h_c}{h_s} \right) * \left[1 - \frac{1}{\cosh * \frac{2\pi * h_s}{L}} \right] = 0,351$$

Zatim slijedi proračun pritisaka na prednjoj strani obalnog zida, izloženom valovima:

$$\beta = 30^\circ$$

$$\cos\beta = 0,154$$

$$p_1 = 0,5 * (1 + \cos\beta) * (\lambda_1 * \alpha_1 + \lambda_2 * \alpha * \cos\beta) * \gamma_w * H_{proj} = 26,637 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

$$\eta > h_c$$

$$5,29 > 2,30$$

Zadovoljava

$$p_2 = \left(1 - \frac{h_c}{\eta} \right) * p_1 = 15,07 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

$$p_3 = \alpha_3 * p_1 = 17,277 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

Zatim radimo proračun uzgona i uzdižućeg pritiska što je proračunato formulom:

$$p_u = 0,5 * (1 + \cos\beta) * \lambda_3 * \alpha_1 * \alpha_3 * \gamma_w * H_{proj} = 17,237 \text{ kN} / \text{m}^2 / \text{m}'$$

Iduće, proračunata su opterećenja djelovanja valova na konstrukciju i težišta:

$$P1 = h_c * p2 = 34,66 \text{ kN/m'}$$

$$kP1 = 7,35 \text{ m}$$

$$\Delta P1 = (p1 - p2) * \frac{h_c}{2} = 13,29 \text{ kN/m'}$$

$$k\Delta P1 = \frac{h_c}{3} + d = 6,96 \text{ m}$$

$$P2 = p3 * d = 10,711 \text{ kN/m'}$$

$$kP2 = \frac{d}{2} = 3,10 \text{ m}$$

$$\Delta P2 = (p1 - p3) * \frac{d}{2} = 29,01 \text{ kN/m'}$$

$$k\Delta P2 = \frac{2 * d}{3} = 4,13 \text{ m}$$

$$Pu = pu - \frac{B}{2} = 13,237 \text{ kN/m'}$$

$$kPu = \frac{2 * B}{3} = 5,33 \text{ m}$$

Prije izvođenja provjera još treba napraviti proračune za vlastitu težinu konstrukcije i uzgon iste:

$$G1_{uronjen} = (hs * B) * yB' = 644,80 \text{ kN/m'}$$

$$G2_{suh} = (h_{nadvodno} * B) * \gamma_{luk} = 147,20 \text{ kN/m'}$$

$$k_{lukobran} = \frac{B}{2} = 4 \text{ m}$$

$$G3_{zid} = (B_{kruna} * h_{zid}) * \gamma_{luk} = 34,5 \text{ kN/m'}$$

$$k_{zid} = 4,5 \text{ m}$$

$$U_{lukobran} = d * B * \gamma_w = 496 \text{ kN/m'}$$

$$k_{Uzgon} = \frac{B}{2} = 4 \text{ m}$$

Po završetku izračuna svih prethodnih stavki, sila i opterećenja još preostaje napraviti provjere na prevrtanje i na klizanje.

Ukupni proračunati moment stabilnosti mora biti veći od momenta prevrtanja.

$$\Sigma M_{st} = (G1 + G2) * k_{lukobran} + G3_{zid} * k_{zid} - U_{lukobran} * k_{zid} = 1339,25 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{prevrtanje} &= P1 * k_{P1} + P2 * k_{P2} + \Delta P1 * k_{\Delta P1} + \Delta P2 * k_{\Delta P2} + F_{brod} * k_{brod} \\ &= 661,27 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{\Sigma M_{st}}{\Sigma M_{prev}} = \frac{1339,25}{661,27} = 2,02$$

$$2,02 > 1,2$$

Provjera zadovoljava!

Faktor sigurnosti na klizanje proračunavamo i izvodimo provjeru prema formulama:

$$\Sigma V = G1 + G2 + G_{zid} - P_u = 317,26 \text{ kN}$$

$$\Sigma H = P1 + P2 + \Delta P + F_{brod} = 99,39 \text{ kN}$$

$$\frac{\Sigma V * \text{koef. trenja}}{\Sigma H} = 2,23$$

$$2,23 > 1,5$$

Provjera zadovoljava!

Kako bi provjerili količine prelijevanja koja se mogu javiti, napravljen je proračun prema EuroTop metodi za vertikalni lukobran. Kod izračuna, uzimamo kotu lukobrana od +3,50 metara te val za petogodišnji povratni period visine 2,20 m. Kao i u prošlom izračunu prelijevanja, proračun radimo preko formule:

$$\frac{q}{\sqrt{g * Hm0^3}} = 0,062 * \exp \left[-2,61 * \frac{Rc}{Hm0} \right]$$

$$\frac{q}{\sqrt{9,81 * 2,2^3}} = 0,062 * \exp \left[-2,61 * \frac{3,5}{2,2} \right]$$

$$q = 0,020 = 20 \text{ l / s / m}$$

Iz izračuna za prelijevanje možemo utvrditi kako se količina prelijevajuće vode znatno povećala u usporedbi s varijantom koja je uključivala kotu zida višu za 2 metra. Vrijednosti koje proizlaze iz ovog izračuna upućuju na to da po izvedbi ovog rješenja, prostor iza samog tijela lukobrana, odnosno vezovi koji su pozicionirani uzduž lukobrana, mogu biti u funkciji samo za vrijeme mirnijih vremenskih uvjeta. Privez plovila za vrijeme većih valova može dovesti do oštećenja plovila ali i imovine na lukobranu ako nije pravilno zaštićena.

Vertikalni lukobran - Varijanta 2-2, Hs=2,7 m

Kako je već prethodno spomenuto kod dimenzioniranja lukobrana, napravljena je i varijanta izračuna s drugom visinom vala od 2,70 metara, te je za navedenu visinu u tablici 13 napravljen pojednostavljeni prikaz dimenzioniranja vertikalnog lukobrana.

*Tablica 14: Pojednostavljeni proračun vertikalnog lukobrana, Hs=2,70 m
(Izradio: autor)*

STAVKA	OZNAKA	VRIJEDNOST	MJER. JEDINICA
Visina projektnog vala	H_{proj}	4,86	m
Visina djelovanja pritiska vala	η	4,20	m
Preljevanje preko krune (+3,50 m)	q	29	l/s
Provjera na prevrtanje	/	2,58	/
Provjera na klizanje	/	2,85	/

Iz prethodne tablice možemo zaključiti kako bi promjenom ulazne vrijednosti vala dobili u ovom slučaju veće vrijednosti odnosno visine projektnog vala i visine djelovanja pritiska vala, kao i preljevanje preko krune. Uz to, vrijednosti provjera na prevrtanje i klizanje se također razlikuju te o tome treba voditi računa. Važan element je preljevanje, čija nam nešto veća vrijednost utječe na sigurnost priveza plovila i korištenje površine samog lukobrana.

Rekapitulacija

Vertikalni lukobran izvest će se u dva segmenta. Prvi segment je izvedba nasipa od 3 kamena materijala različitih granulacija s kojim će se stvoriti baza za izvedbu drugog segmenta, odnosno armirano betonske vertikalne konstrukcije. Nasip se izvodi do najviše kote od -5,00 m, gdje se polaže konstrukcija lukobrana od armiranog betona. Konstrukcija se izvodi do kote +2,00 m, što uključuje i završnu oblogu poda. Ukupna dužina lukobrana iznosi 108,41 m. Po dužini tijela lukobrana izvodi se zaštitni zid s prorezima za prolaz ljudi. Zid se izvodi do ukupne visine od +5,50 m ili +3,50 m, ovisno o varijanti vertikalnog lukobrana. Širina zida iznosi 1 m, dok je ukupna širina presjeka lukobrana 8 m. U tablici 15, prikazana je usporedba varijantnih rješenja izvedbe vertikalnog lukobrana s različitom visinom zaštitnog zida. Također, kako je spomenuto i izračunato u prethodnom potpoglavlju, promjenom vrijednosti visine vala, mijenjamo visine pritiska vala na konstrukciju te količinu prelijevanja preko konstrukcije. Uz to, dolazi i do promjena na koeficijente stabilnosti kod prevrtanja i klizanja, što utječe na sigurnost i otpornost konstrukcije lukobrana.

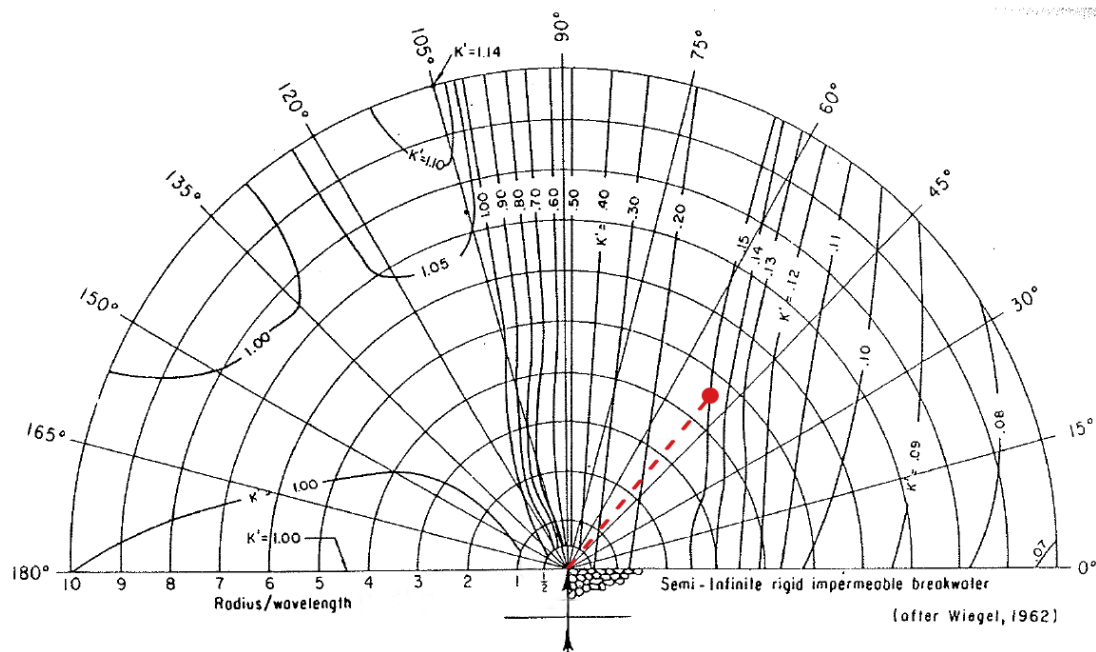
Tablica 15: Rekapitulacija varijantnih rješenja vertikalnog lukobrana (Izradio: autor)

	MJERNA JEDINICA	VARIJANTA 1 (zid +5,50 m)	VARIJANTA 2 (zid +3,50 m, Hs=2,2 m)	VARIJANTA 2-2 (zid +3,50 m, Hs= 2,7 m)
Preljevanje	l/s	1	20	29
Provjera na prevrtanje	/	1,59	3,22	2,58
Provjera na klizanje	/	2,12	3,55	2,85

Difrakcija vala u luci

Difrakcija ili ogib je deformacija valova na ravnom dnu koja nastaje u slučaju kada se ispred dijela polja valova prepreči vertikalna prepreka na pr. lukobran. Rezultat je bočnog rasprostiranja energije (uzduž grebena vala) koji se time javlja i iza prepreke. Očituje se širenjem i zaokretanjem valova u području geometrijske sjene iza prepreke i smanjenjem visine valova. Može biti jednostrana i dvostrana. Jednostrana difrakcija se odvija oko jednog kraja prepreke, a drugi kraj prepreke je u beskonačnosti i nema utjecaja. Dvostruka difrakcija se odvija između dviju ne previše razmaknutih prepreka (npr. ulaz u luku između dvaju lukobrana). Koeficijent difrakcije daje se uobičajeno u obliku praktičnih dijagrama. (Pršić, 2010.)

Kako bi odredili visinu vala u zaklonjenom prostoru iza lukobrana, postavljena je jedna točka prema kojoj onda izvodimo izračun. Za određivanje valne visine unutar luke korišten je dijagram difrakcije s upadnim kutem vala od 90° , dok je točka na kojoj se određuje valna visina udaljena 47 m od glave lukobrana te ista zatvara kut od 51° s linijom pružanja lukobrana.



Slika 41: Dijagram difrakcije vala u luci, za upadni kut od 90°

Proračun visine vala na odabranoj poziciji izvršen je prema formuli:

$$H_d = k_d * H_i$$

gdje je:

H_d = visina difrakcijskog vala

k_d = koeficijent ovisan o zaklonjenosti točke

H_i = visina projektnog vala (korišten val za 5-godišnji PP)

$$H_d = 0,15 * 2,2 = 0,33 \text{ m}$$

Kroz izračun, utvrđena je visina difrakcijskog vala od 0,33 metra, što je zadovoljavajuća vrijednost za prostor luke. Iz gore prikazanog dijagrama, vidljivi su veći koeficijenti a samim time i visine difrakcijskog vala u području koji je direktno izložen otvorenom moru, pa prema tome možemo primjetiti kako će na tom području val biti veći od dozvoljenih 0,50 m za akvatorij luke. Ovaj se problem može riješiti korekcijom duljine lukobrana ili kvalitetnijim pristupom, izvedbom sekundarnog lukobrana.

Iskaz količina materijala

Iz grafičkih priloga napravljen je iskaz količina kamenog materijala za nasuti i vertikalni lukobran. Napravljen je izračun po presjecima (profilima), izračunate su srednje vrijednosti koje su zatim množene s duljinom lukobrana od 108,41 m.

Nasuti lukobran:

A-A(1)	0+45,40	
Sloj	Oznaka	Površina (m ²)
Jezgra	W/4000	266,03
Drugi međusloj	W/200	109,87
Sekundarni sloj	W/10	128,52
Primarni sloj	W	50,82

C-C	0+73,82	
Sloj	Oznaka	Površina (m ²)
Jezgra	W/4000	401,49
Drugi međusloj	W/200	157,01
Sekundarni sloj	W/10	137,90
Primarni sloj	W	50,82

D-D	0+107,82	
Sloj	Oznaka	Površina (m ²)
Jezgra	W/4000	184,82
Drugi međusloj	W/200	70,49
Sekundarni sloj	W/10	91,00
Primarni sloj	W	50,82

Slojevi			Prosjek (m ²)	Volumen (m ³)
1	Jezgra	W/4000	284,13	30802,53
2	Drugi međusloj	W/200	112,46	12191,78
3	Sekundarni sloj	W/10	119,14	12915,96
4	Primarni sloj	W	50,82	5509,39

Vertikalni lukobran:

A-A(2)	0+25,80	
Sloj	Oznaka	Površina (m ²)
Jezgra	W/4000	10,52
Drugi međusloj	W/200	2,87
Sekundarni sloj	W/10	17,85
Primarni sloj	W	0

B-B	0+53,75	
Sloj	Oznaka	Površina (m ²)
Jezgra	W/4000	178,34
Drugi međusloj	W/200	63,65
Sekundarni sloj	W/10	71,80
Primarni sloj	W	0

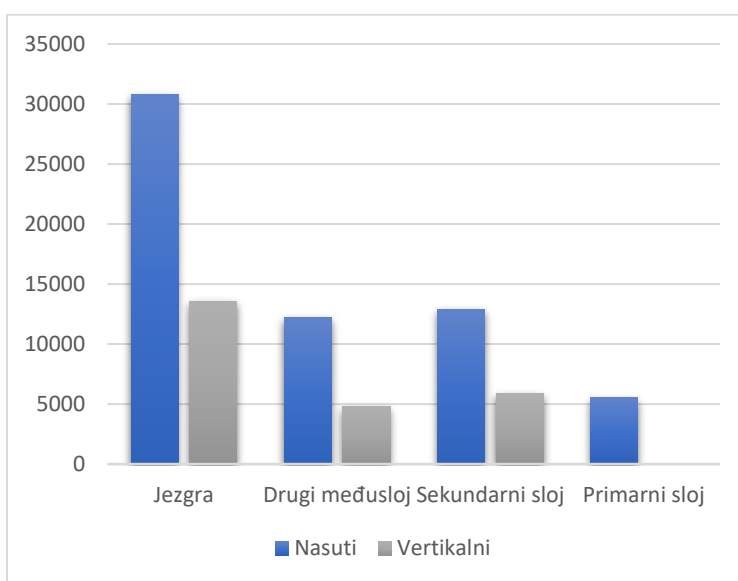
C-C	0+73,82	
Sloj	Oznaka	Površina (m ²)
Jezgra	W/4000	234,3
Drugi međusloj	W/200	85,25
Sekundarni sloj	W/10	80,12
Primarni sloj	W	0

D-D	0+107,82	
Sloj	Oznaka	Površina (m ²)
Jezgra	W/4000	77
Drugi međusloj	W/200	24,58
Sekundarni sloj	W/10	46,26
Primarni sloj	W	0

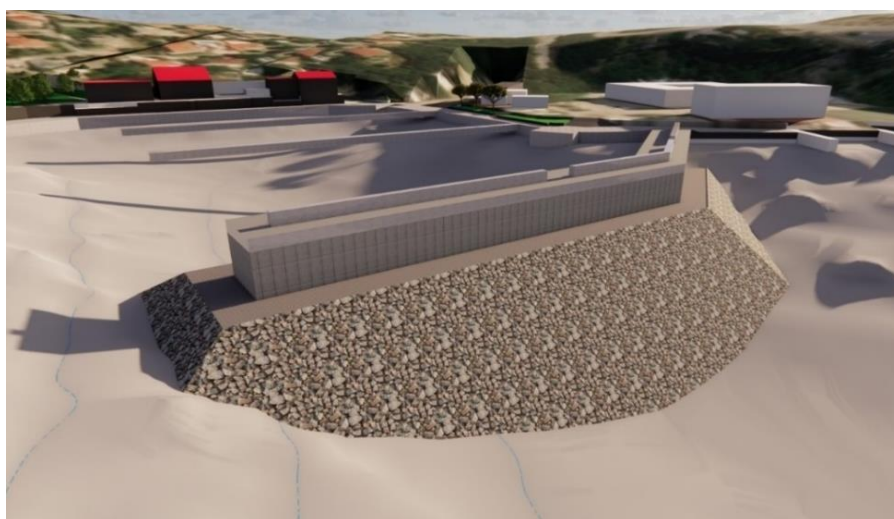
Slojevi			Prosjeak (m²)	Volumen (m³)
1	Jezgra	W/4000	125,04	13555,56
2	Drugi međusloj	W/200	44,08	4778,71
3	Sekundarni sloj	W/10	54	5854,14
4	Primarni sloj	W	0	0

Iz provedenog proračuna vidljiva je znatna razlika u volumenu potrebnog kamenog materijala, gdje su veće količine potrebne za gradnju lukobrana nasutog tipa u usporedbi s vertikalnim. Količine materijala direktno utječu na cijenu izgradnje, pa je ovo važna stavka o kojoj treba voditi računa kod odabira vrste konstrukcije. Uz to, potrebno je provesti analizu da li je prethodno izračunata količina materijala dobavljiva iz lokalnih kamenoloma u potrebnim količinama.

Kako je vertikalni lukobran prema količinama materijala ekonomičnije rješenje, a radi vizualizacije veličine nasipa takvog lukobrana, napravljen je 3D model konstrukcije prikazan na slici 43, iz kojeg možemo jasnije vidjeti izgled tijela samog lukobrana od nasipa te oblik konstrukcije vertikalnog dijela odnosno betonskih kesona koji čine glavni dio ovog tipa lukobrana.



Slika 42: Usporedba količine materijala (m³) za nasuti i vertikalni tip lukobrana
(Izradio: autor)



Slika 43: Vizualizacija tijela vertikalnog lukobrana (Izradio: autor)

UTJECAJ NA KRAJOBRAZ I OKOLIŠ

Uređenje uvale i stvaranje komunalne luke uključuje formiranje lukobrana, izvedbu priveznih gatova te uređenje postojećeg i izgradnja novog obalnog zida. Zahvatom uređenja formirali bi se svi uvjeti za siguran i pristupačan vez plovila, što je pozitivan korak za stanovnike općine te njene posjetitelje, ali i stvorila bi se suvremeno uređena površina s obalnom šetnicom, što svakako pridonosi općem dojmu i privlačnosti prostora. Iako bi došlo do promjena u vizuri iz razloga što bi gradnja lukobrana djelomično promijenila izgled prema i iz uvale, on bi u nekim svojim varijantnim rješenjima imao minimalan utjecaj na vizuru. Ovdje govorimo o vertikalnom lukobranu s zaštitnim zidom manje visine, čime ne bi došlo do ometanja pogleda prema Kvarnerskom zaljevu, što svakako pridonosi općem dojmu.

Uređenjem obalnog zida i izvedbom gatova, stvorila bi se organizirana situacija s priveznim mjestima, koja je do sad bila rješena brojnim plutačama u više redova te priručnim improviziranim gatovima raširenim po cijelom prostoru uvale. Ovime bi se došlo do organizirane i uredne situacije što je svakako pozitivan iskorak u uređenju.

Obalna šetnica, kao i šetnica na lukobranu, pridonose sadržaju koji ovaj prostor nudi, pa će time, uz uređenje s hortikulturom, rasvjetim tijelima te urbanom opremom kao što su klupice, koševi za smeće, info ploče, pridonijeti općem dojmu uređenja mjesta.

Kako je već spomenuto u jednom od poglavlja, tokom radova može doći do negativnih utjecaja, najviše u smislu buke i zamućenja mora, no možemo zaključiti kako je to prolaznog karaktera te će po završetku radova doći do normalizacije. Tokom normalne uporabe lučkog područja, glavni negativni utjecaj na stanje ekološki osjetljivih područja imaju izvori onečišćenja od pomorskog prometa i lučkih djelatnosti, što uključuje ispuštanje otpadnih voda i otpadnih ulja, istjecanje goriva, pranje plovila te neadekvatnog zbrinjavanja otpada. Kako bi prethodno navedene opasnosti sveli na minimum, uz pridržavanje mjera opreza moguće je znatno smanjiti rizike kako bi izbjegli bilo kakva onečišćenja tla, mora i zraka.

Unutar obuhvata se planira postavljanje ambijentalne rasvjete po obalnim šetnicama gdje se kreću i zadržavaju korisnici šireg okruženja, posjetitelji, lokalno stanovništvo i turisti te sami

korisnici luke. Ugradnja prigušene ambijentalne rasvjete omogućila bi produženo vrijeme korištenja prostora te ne bi stvarala smetnju za stanovnike obližnjih stambenih objekata.

U neposrednoj blizini planiranoga zahvata, planira se uređenje turističke zone Žurkovo. Gledajući u cjelini s planiranim zahvatom rekonstrukcije lučkoga bazena Žurkovo možemo zaključiti kako su zahvati međusobno kompatibilni i pozitivni.

Zaključno, možemo utvrditi kako se rekonstrukcijom poboljšava kvaliteta usluge s obzirom da će zahvat imati pozitivan utjecaj po stanovništvo u neposrednoj blizini koji se očituje u valorizaciji same lokacije. Na samoj lokaciji zahvata uz povećanje dostupnih vezova, uređenjem obalnog dijela šireg područja uvale Žurkovo povećati će se atraktivnost prostora i raznolikost ponude čime će se dodatno doprinijeti valorizaciji čitavog prostora.



Slika 44: Vizualizacija idejnog rješenja uređenja uvale Žurkovo (Izradio: autor)



Slika 45: Vizualizacija idejnog rješenja uređenja uvale Žurkovo (Izradio: autor)



Slika 46: Vizualizacija idejnog rješenja uređenja uvale Žurkovo (Izradio: autor)

ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad, napravljeno je više varijantnih rješenja uređenja uvale Žurkovo, koji uključuju gradnju novog zaštitnog lukobrana, uređenje obalnog zida s izvedenom šetnicom te izvedbu priveznih gatova za privez plovila lokalnog stanovništva.

Prijedlog uređenja i organizacije gatova i obalnog zida izrađen je u 3 varijante s različitim dispozicijama gatova i brojem dostupnih vezova, od kojih je varijanta 1 najpovoljnija i pruža najveći broj vezova za komunalni privez plovila od II. do V. (i VI. u sezoni) kategorije.

Za lukobran, napravljen je proračun dva osnovna tipa lukobrana, nasuti i vertikalni, uz podvarijantu vertikalnog lukobrana s manjim visinama zaštitnog zida. Upravo zadnje opisana podvarijanta pruža najekonomičnije i vizualno najbolje rješenje za zaštitu luke, uz mogućnost priveza najvećeg broja plovila u luci i po osi samog lukobrana. Kako bi dobili najtočnije ulazne podatke

Analizom difrakcije vala utvrđeno je smirivanje vala u luci gradnjom lukobrana, no vidi se potreba za dodatnim rješenjem u obliku sekundarnog lukobrana radi smirivanja mora na prostoru cijelog akvatorija kroz cijelu godinu.

Kako bi smanjili utjecaj zahvata na okoliš, ponajviše na more, neće se izvoditi iskop radi produbljenja mora u luci, već će vezovi biti raspoređeni tako da plovila najmanjeg gaza budu smještene na prostor manjih dubina. Spomenimo i kako pridržavanjem mjera opreza i zaštite, tokom gradnje i kroz uporabu luke, smanjujemo rizike od zagađenja i negativnih efekata na okoliš te stanovništvo te time ne dolazi do negativnih posljedica izvedbom zahvata uređenja. Zaključno, pregledom svih izvedenih rješenja uređenja, možemo utvrditi kako zahvat može pozitivno utjecati na kvalitetu komunalne usluge te će se unaprijediti atraktivnost prostora i raznolikost ponude čime će se dodatno doprinijeti valorizaciji čitavog prostora uvale Žurkovo.

GRAFIČKI PRILOZI

List:	Nacrt:	Mjerilo:
1.	Dispozicija vezova, varijanta 1	1:1500
2.	Dispozicija vezova, varijanta 2	1:1500
3.	Dispozicija vezova, varijanta 3	1:1500
4.	Tlocrt nasutog lukobrana	1:250
5.	Tlocrt vertikalnog lukobrana	1:250
6.	Presjek nasutog lukobrana, A-A(1)	1:200
7.	Presjek nasutog lukobrana, C-C	1:200
8.	Presjek nasutog lukobrana, D-D	1:200
9.	Presjek vertikalnog lukobrana, malo prelijevanje, A-A(2)	1:150
10.	Presjek vertikalnog lukobrana, malo prelijevanje, B-B	1:150
11.	Presjek vertikalnog lukobrana, malo prelijevanje, C-C	1:200
12.	Presjek vertikalnog lukobrana, malo prelijevanje, D-D	1:150
13.	Presjek vertikalnog lukobrana, veliko prelijevanje, A-A(2)	1:150
14.	Presjek vertikalnog lukobrana, veliko prelijevanje, B-B	1:150
15.	Presjek vertikalnog lukobrana, veliko prelijevanje, C-C	1:200
16.	Presjek vertikalnog lukobrana, veliko prelijevanje, D-D	1:150

LITERATURA

- Karašić M. et al. (2022.): Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat rekonstrukcije luke otvorene za javni promet županijskog značaja Kostrena- bazen Žurkovo, Rijeka
- MareCon d.o.o. (2022.): Idejno rješenje, Rekonstrukcija luke otvorene za javni promet županijskog značaja Kostrena, bazen Žurkovo
- PomGrad Inženjering (2017.): Glavni projekt, Lukobran uvale Žurkovo u Kostreni
- Pršić, M. (2011.): Plovni putevi i luke, skripta, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- Pršić, M. (2013.): Pomorske građevine, Pogl 1: Detaljno projektiranje lukobrana, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- Takahashi S. (2002.): Design of vertical breakwaters, Port and Airport Research Institute, Japan
- van der Meer et. al. (2018.): EurOtop Manual on wave overtopping of sea defences and related structures, Second Edition
- van der Meer et. al. (2017.): Design and Construction fo Berm Breakwaters, Volume 40, World Scientific Publishing Co., Singapore
- Dr. sc. Igor Ružić, materijali s kolegija *Gradnja marina i obala i Obalne građevine*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2022.
- Miroslav I. (2022.): Projekt umjetnog žala u uvali Žurkovo, Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
- Dangubić D. (2019.): Idejno rješenje marine u Ližnjanu, Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
- Radić I. (2019.): Prijedlog rješenja lukobrana marine na otoku Ugljanu, Završni rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

WEB IZVORI

<https://oss.uredjenazemlja.hr/map> , pristup travanj/svibanj 2023.

<https://meteo.hr> , pristup travanj/svibanj 2023.

<https://zavod.pgz.hr> , pristup travanj/svibanj 2023.

<https://www.hhi.hr> , pristup travanj/svibanj 2023.

<http://pedologija.com.hr> , pristup travanj/svibanj 2023.

<https://www.hgi-cgs.hr/geoloske-karte/> , pristup travanj/svibanj 2023.

<http://tzo-kostrena.hr> , pristup travanj/svibanj 2023.

<https://kostrena.hr> , pristup travanj/svibanj 2023.

<https://www.zlu-bakar-kraljevica.hr> , pristup travanj/svibanj 2023.

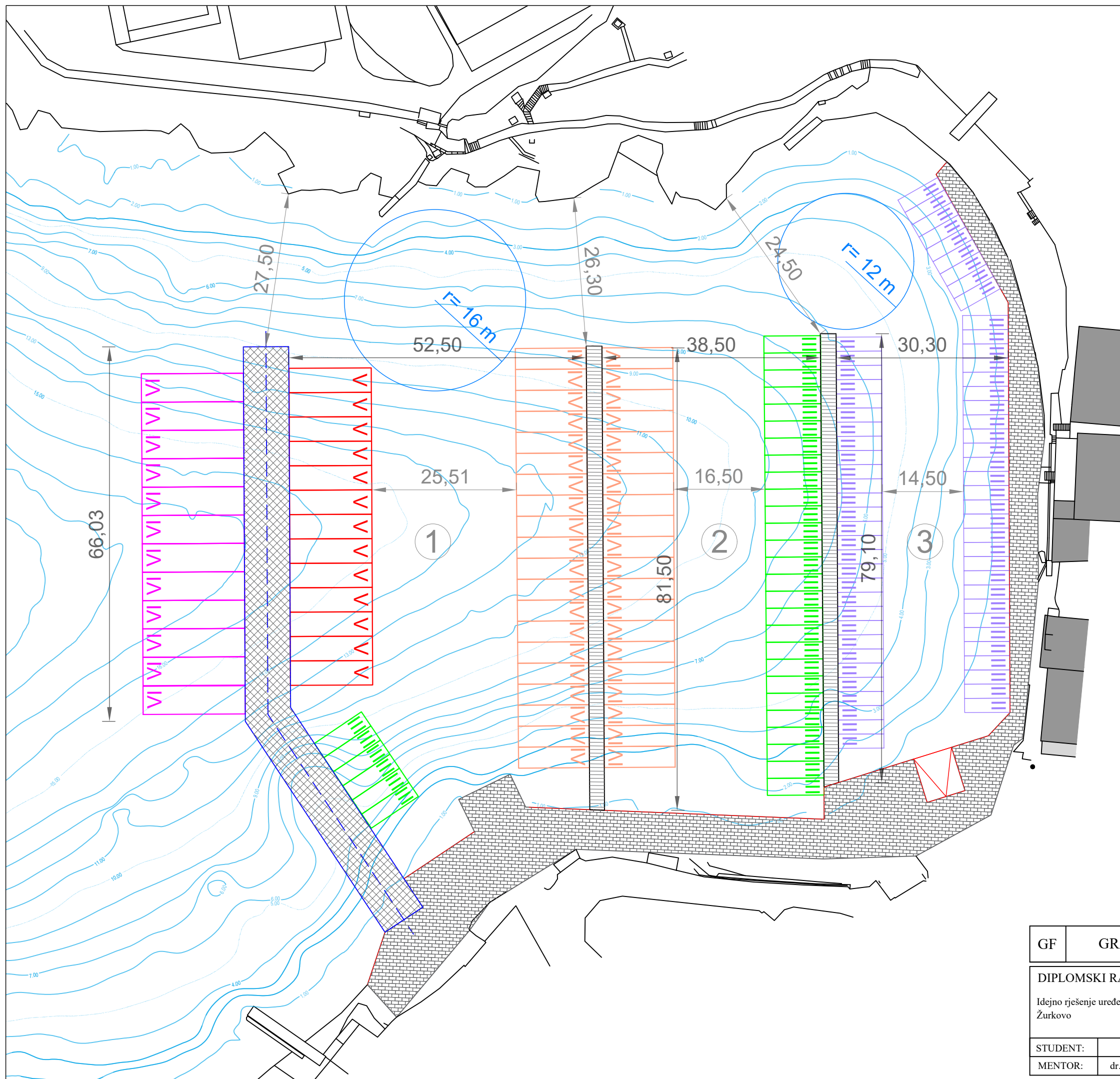
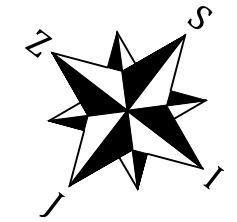
<http://forum.lokalpatrioti-rijeka.com> , pristup travanj/svibanj 2023.

<https://www.publications.usace.army.mil> , pristup travanj/svibanj 2023.

<http://www.colsen.dk/universitetet/breakwater.pdf> , pristup svibanj 2023.

PRILOZI

DISPOZICIJA VEZOVA Varijanta 1, M1:1500

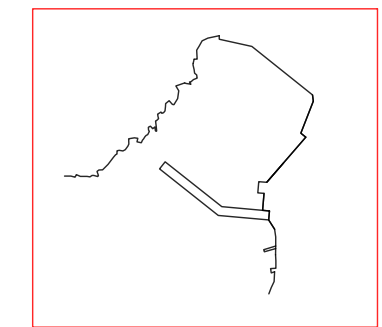


VARIJANTA 1

VEZ U LUCI	
Kategorija veza:	Broj vezova:
II.	66
III.	33
IV.	40
V.	13
UKUPNO:	152

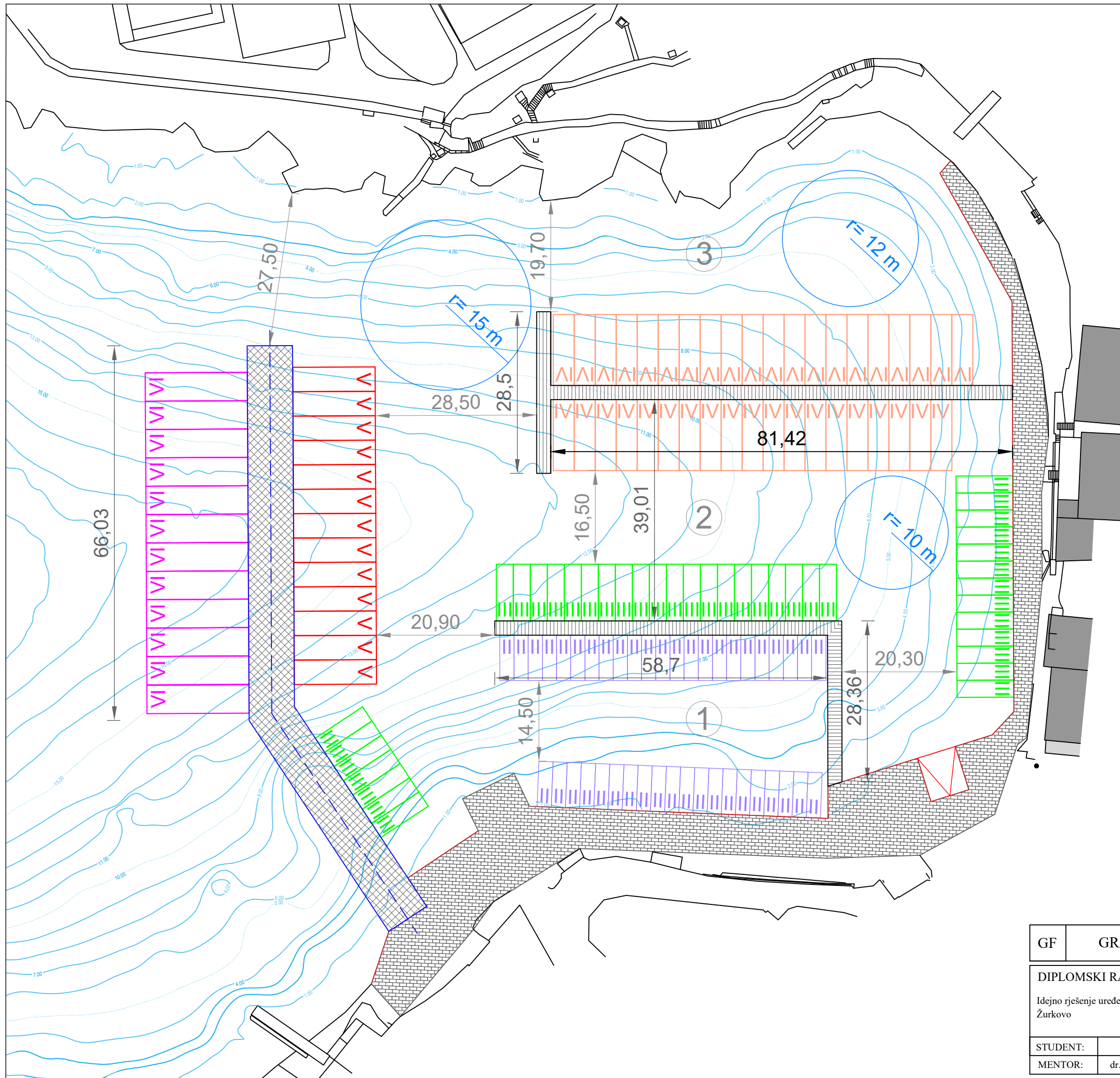
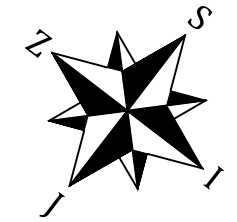
SEZONSKI VEZ*	
Kategorija veza:	Broj vezova:
VI.	12
UKUPNO:	12

*Sezonski vez samo za vert. lukobran



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Dispozicija vezova, Varijanta 1, odabrano rješenje
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:1500
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.građ.	DATUM:	Svibanj 2023. 1.

DISPOZICIJA VEZOVA Varijanta 2, M1:1500

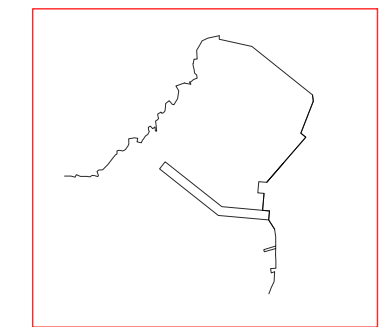


VARIJANTA 2

VEZ U LUCI	
Kategorija veza:	Broj vezova:
II.	43
III.	40
IV.	39
V.	13
UKUPNO:	135

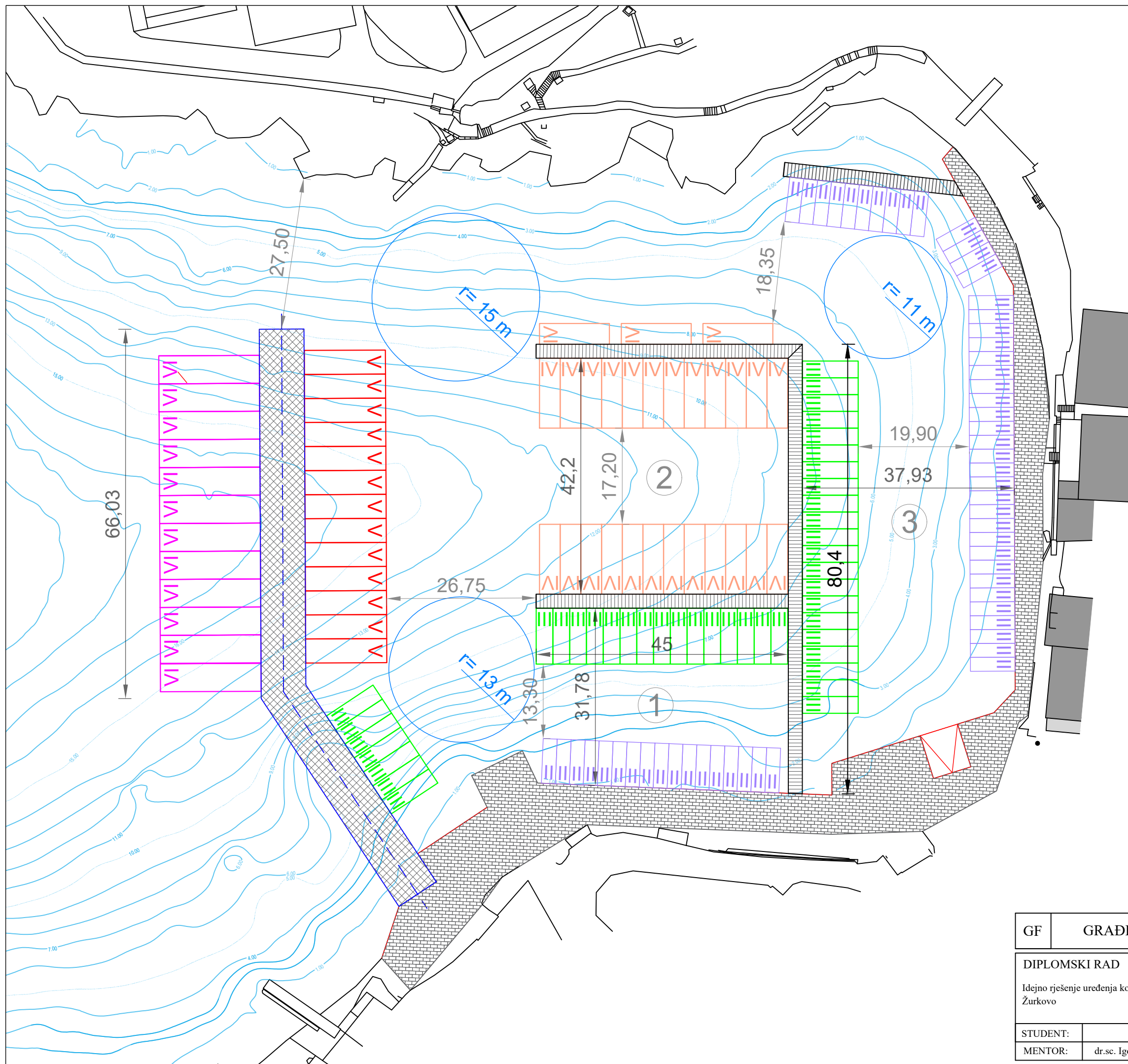
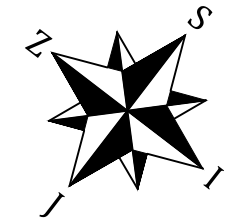
SEZONSKI VEZ*	
Kategorija veza:	Broj vezova:
VI.	12
UKUPNO:	12

*Sezonski vez samo za vert. lukobran



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Dispozicija vezova, Varijanta 2
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:1500
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.građ.	DATUM:	Svibanj 2023. 2.

DISPOZICIJA VEZOVA Varijanta 3, M1:1500

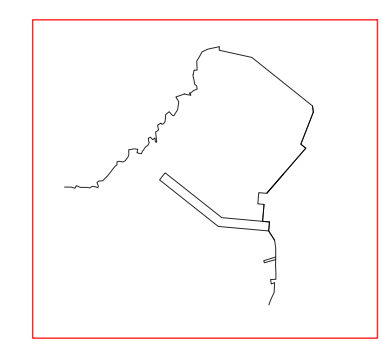


VARIJANTA 3

VEZ U LUCI	
Kategorija veza:	Broj vezova:
II.	58
III.	43
IV.	27
V.	13
UKUPNO:	141

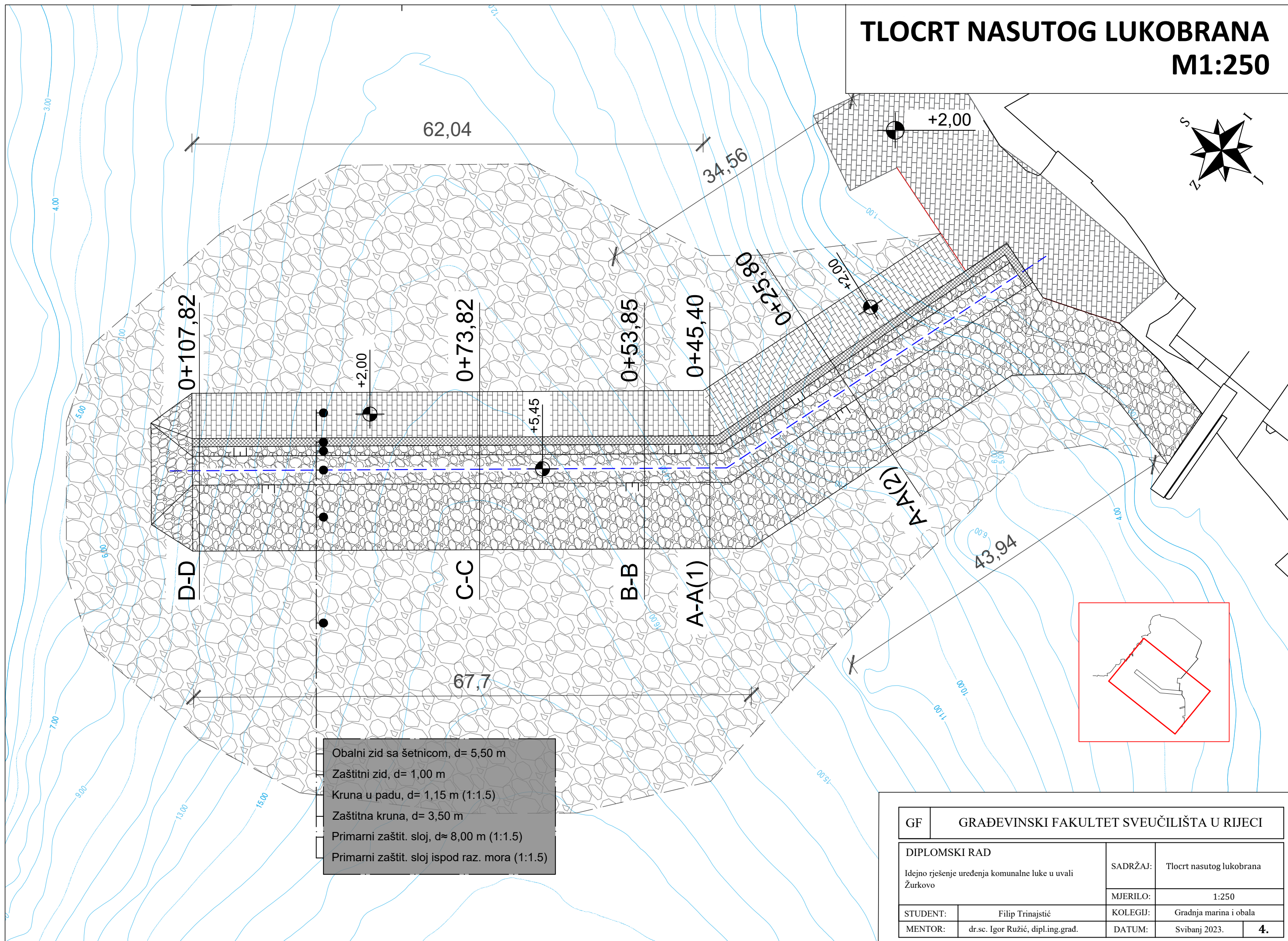
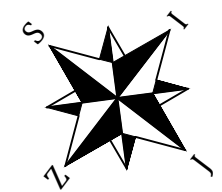
SEZONSKI VEZ*	
Kategorija veza:	Broj vezova:
VI.	12
UKUPNO:	12

*Sezonski vez samo za vert. lukobran



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Dispozicija vezova, Varijanta 3
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:1500
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.građ.	DATUM:	Svibanj 2023. 3.

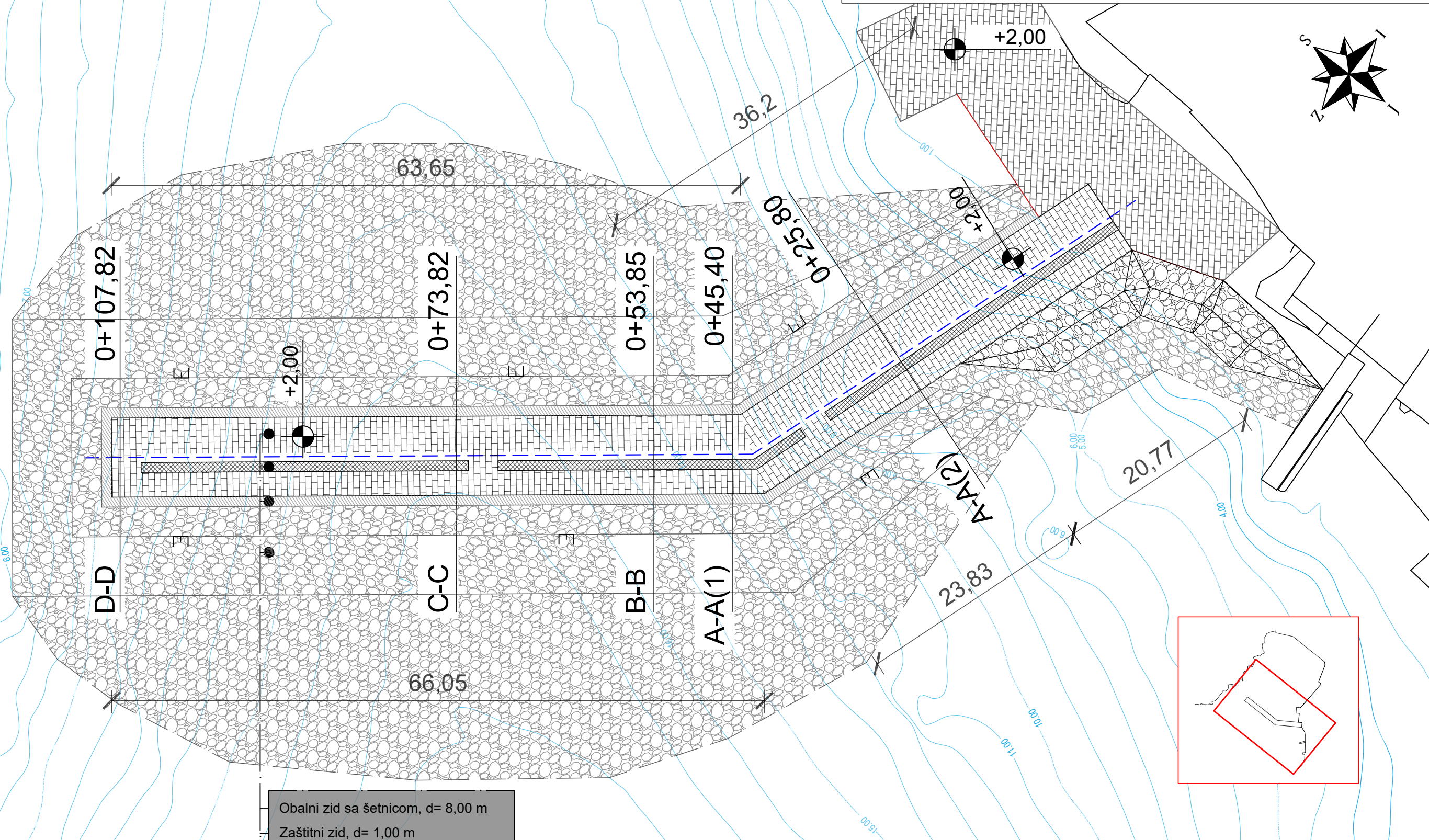
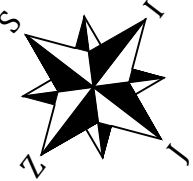
TLOCRT NASUTOG LUKOBRANA M1:250



- Obalni zid sa šetnicom, d= 5,50 m
- Zaštitni zid, d= 1,00 m
- Kruna u padu, d= 1,15 m (1:1.5)
- Zaštitna kruna, d= 3,50 m
- Primarni zaštit. sloj, d≈ 8,00 m (1:1.5)
- Primarni zaštit. sloj ispod raz. mora (1:1.5)

GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Tlocrt nasutog lukobrana
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:250
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.građ.	DATUM:	Svibanj 2023. 4.

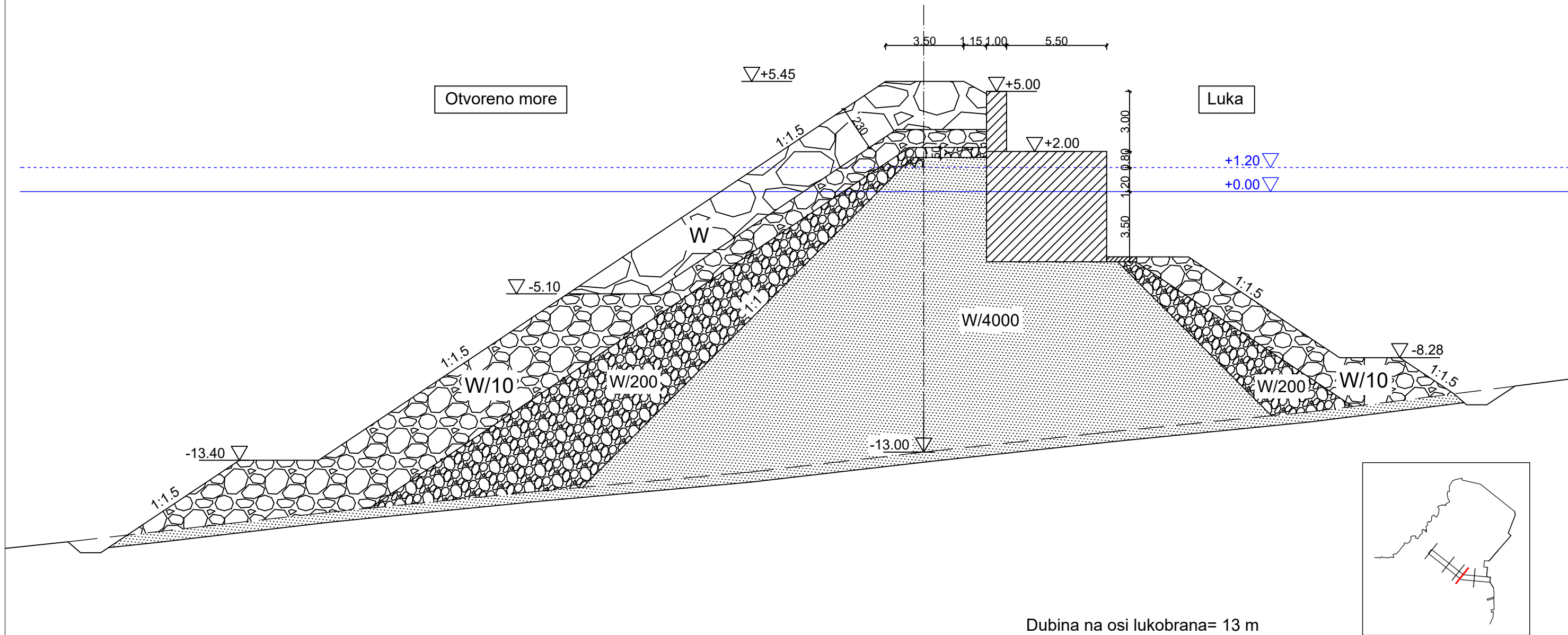
TLOCRT VERTIKALNOG LUKOBRANA M1:250



- Obalni zid sa šetnicom, d= 8,00 m
- Zaštitni zid, d= 1,00 m
- Zaštita uz dno lukobrana, d= 1,15 m
- Nasip lukobrana, d≈ 8,00 m

GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Tlocrt vertikalnog lukobrana
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:250
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.građ.	DATUM:	Svibanj 2023. 5.

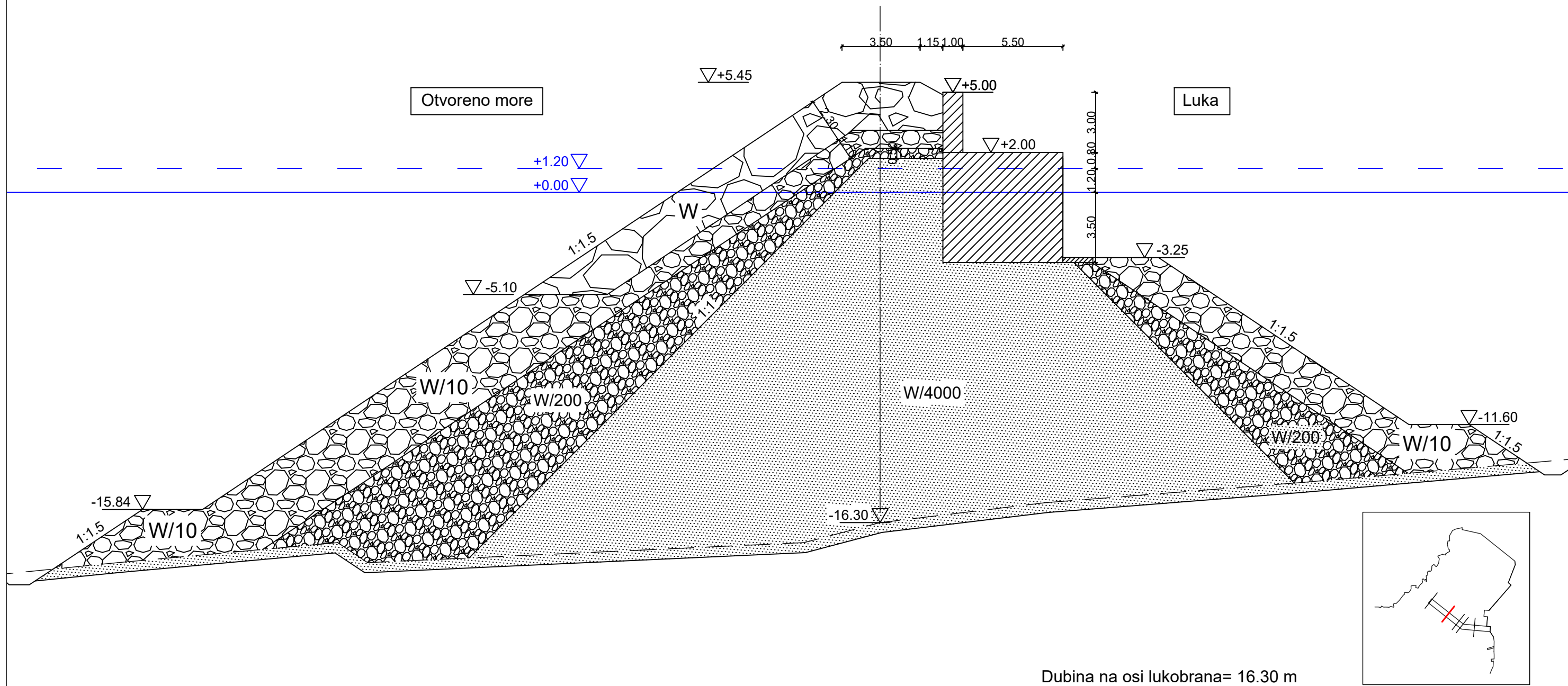
**NASUTI LUKOBRAN, PRESJEK 1,
A-A(1), 0+45,40
M1:200**



Dubina na osi lukobrana= 13 m

GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Presjek nasutog lukobrana, A-A(1),0+45,40 m
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:200
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 6.

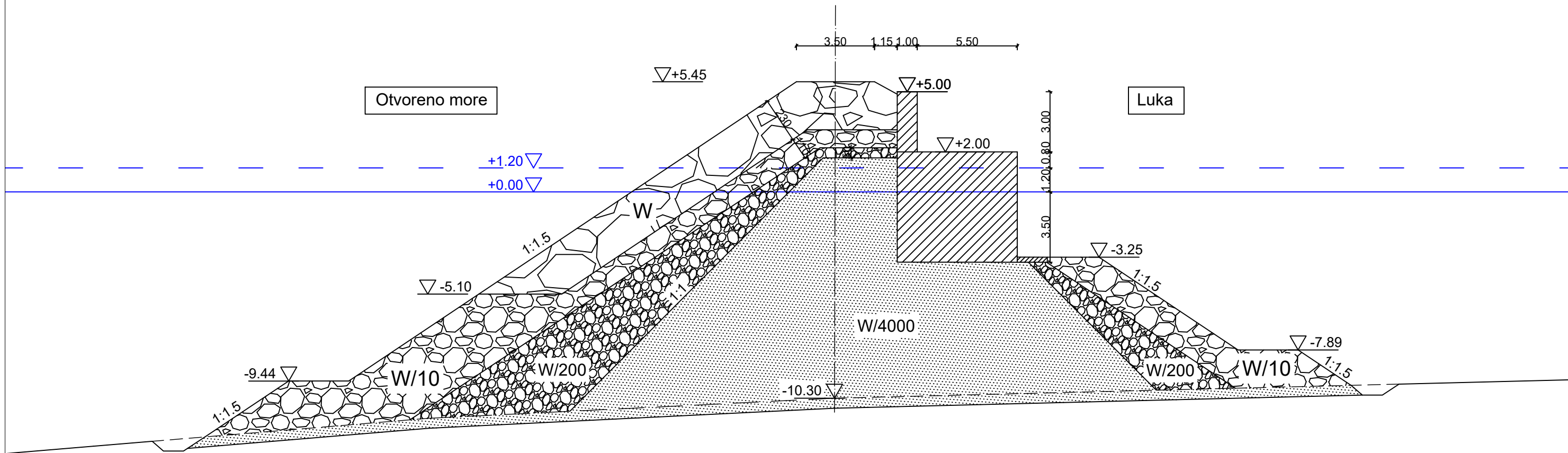
**NASUTI LUKOBRAN, PRESJEK 2,
C-C, 0+73,82
M1:200**



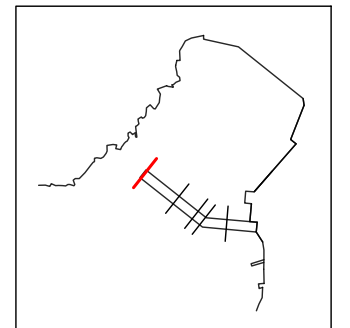
Dubina na osi lukobrana= 16.30 m

GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Presjek nasutog lukobrana, C-C, 0+73,82 m
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:200
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 7.

NASUTI LUKOBRAN, PRESJEK 3, D-D, 0+107,82 M1:200

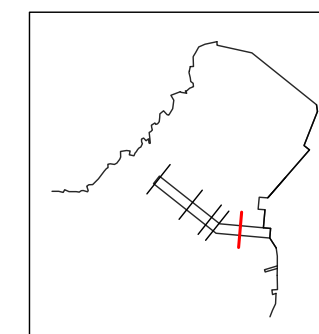
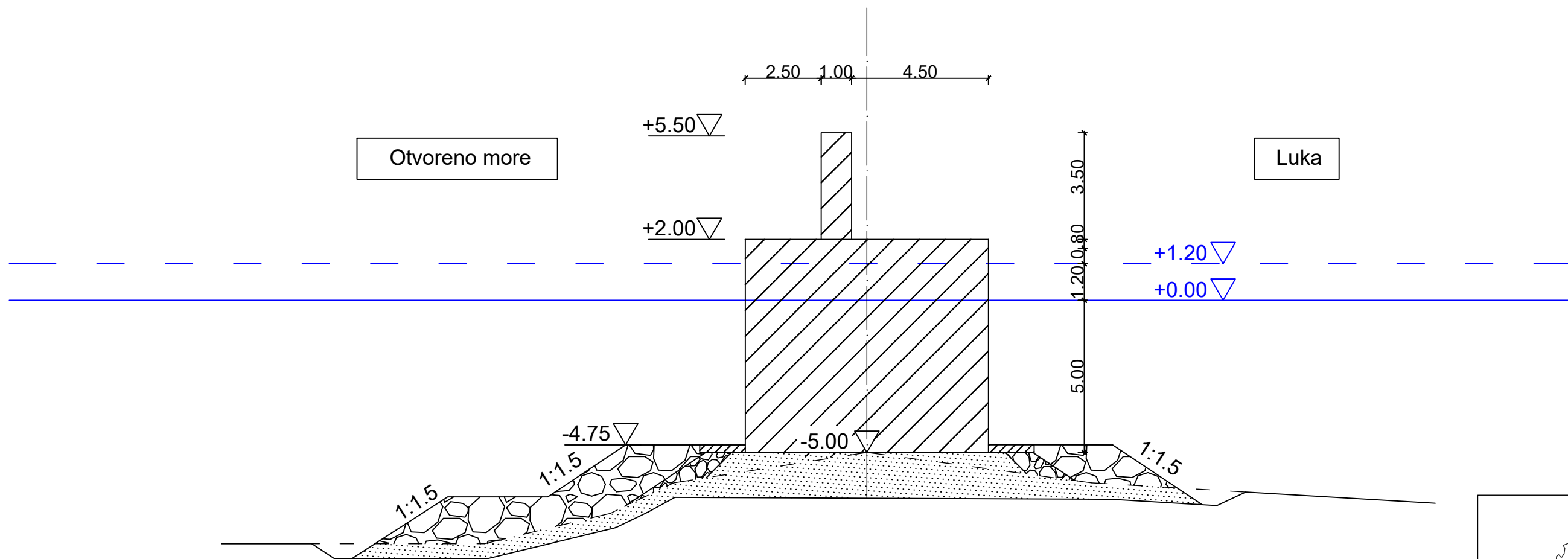


Dubina na osi lukobrana= 10.30 m



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Presjek nasutog lukobrana, D-D, 0+107,82 m
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:200
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 8.

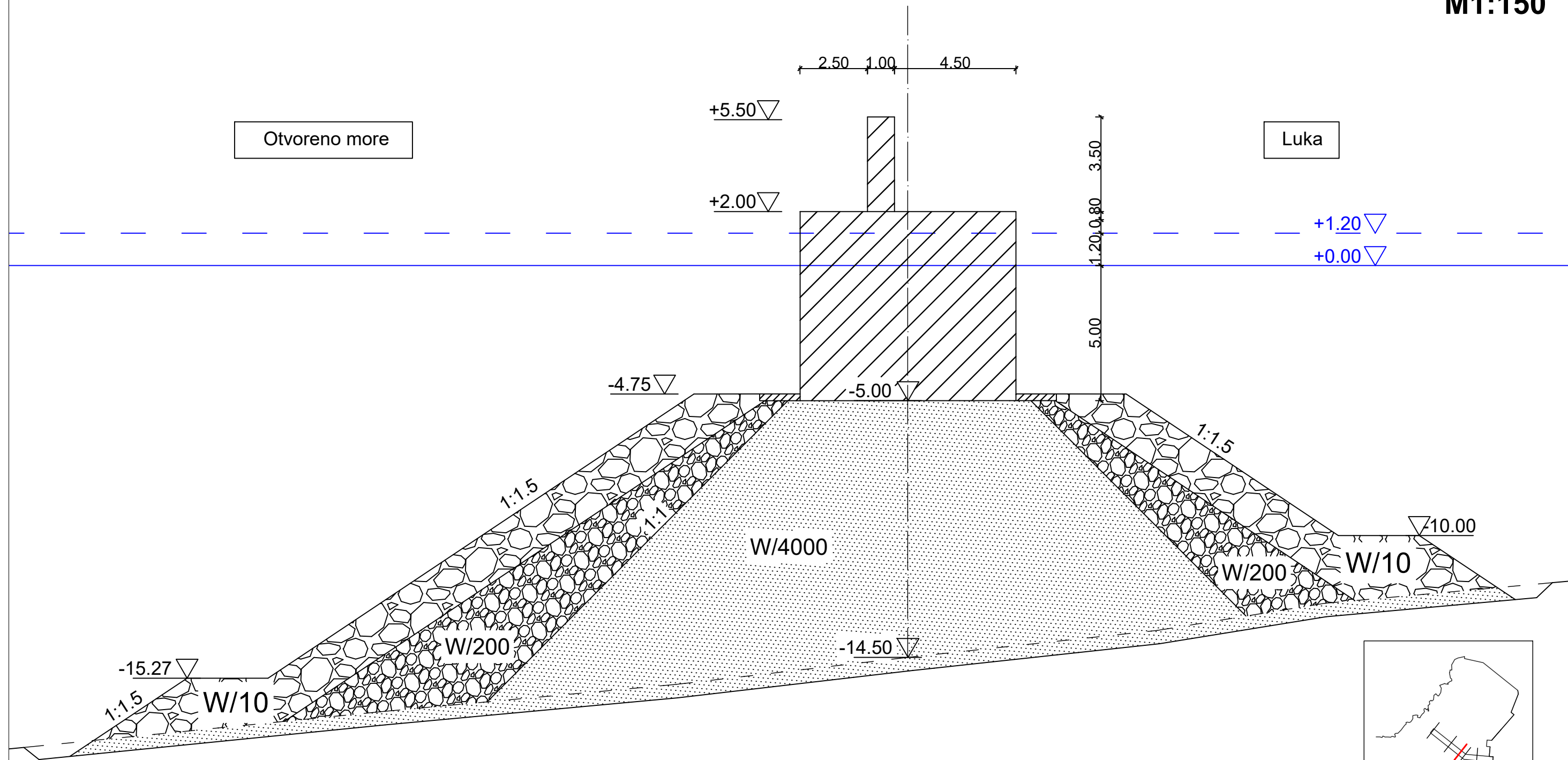
PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, A-A(2), 0+25,80 m M1:150



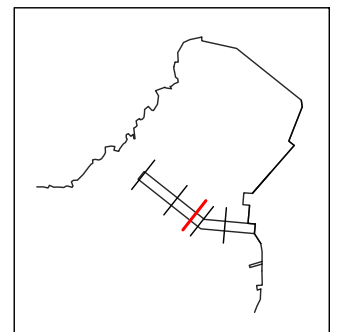
Dubina na osi lukobrana= 5 m

GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo	SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, A-A(2),0+25.80 m Malo prelijevanje preko krune	
	MJERILO:	1:150	
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 9.

PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, B-B, 0+53,75 m M1:150

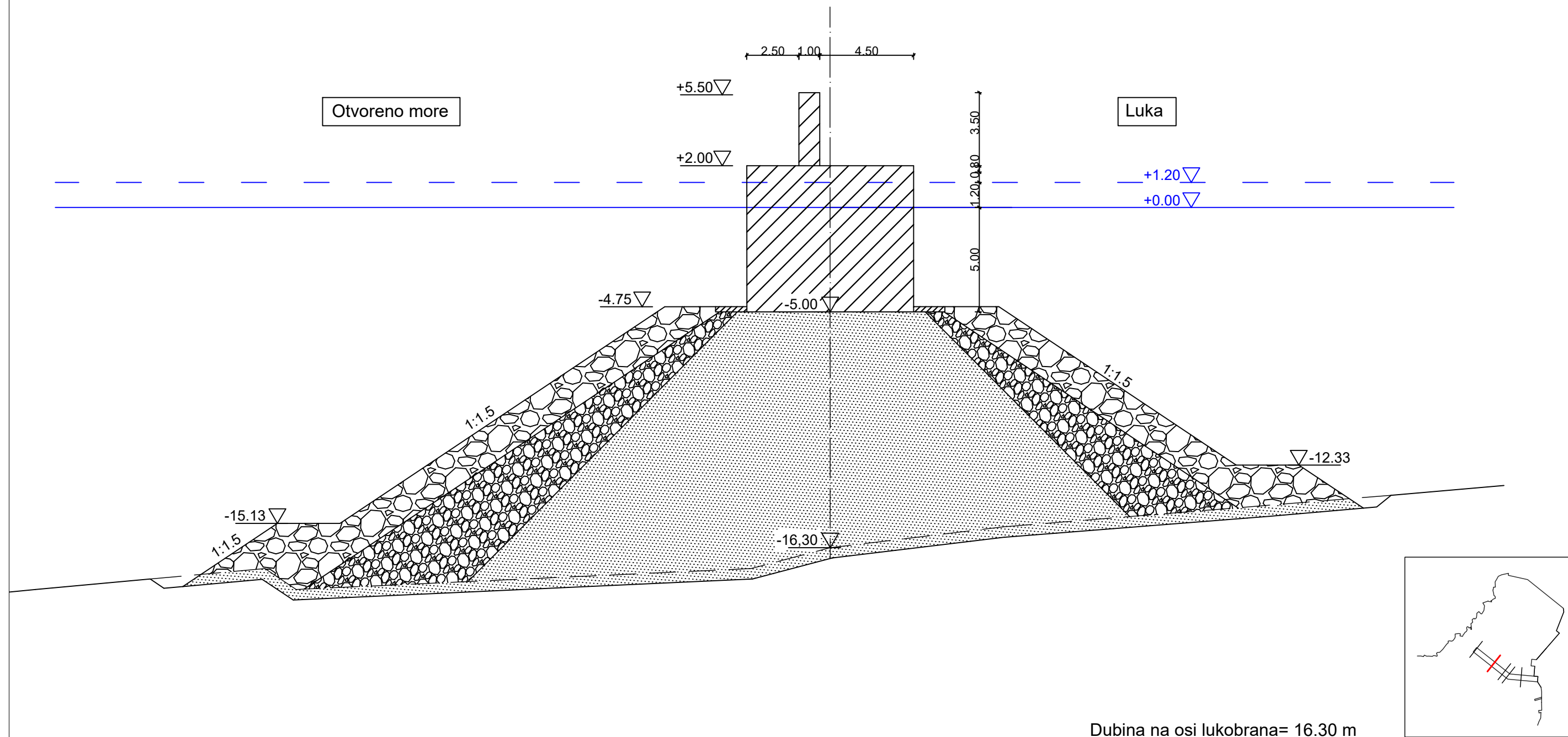


Dubina na osi lukobrana= 14.50 m



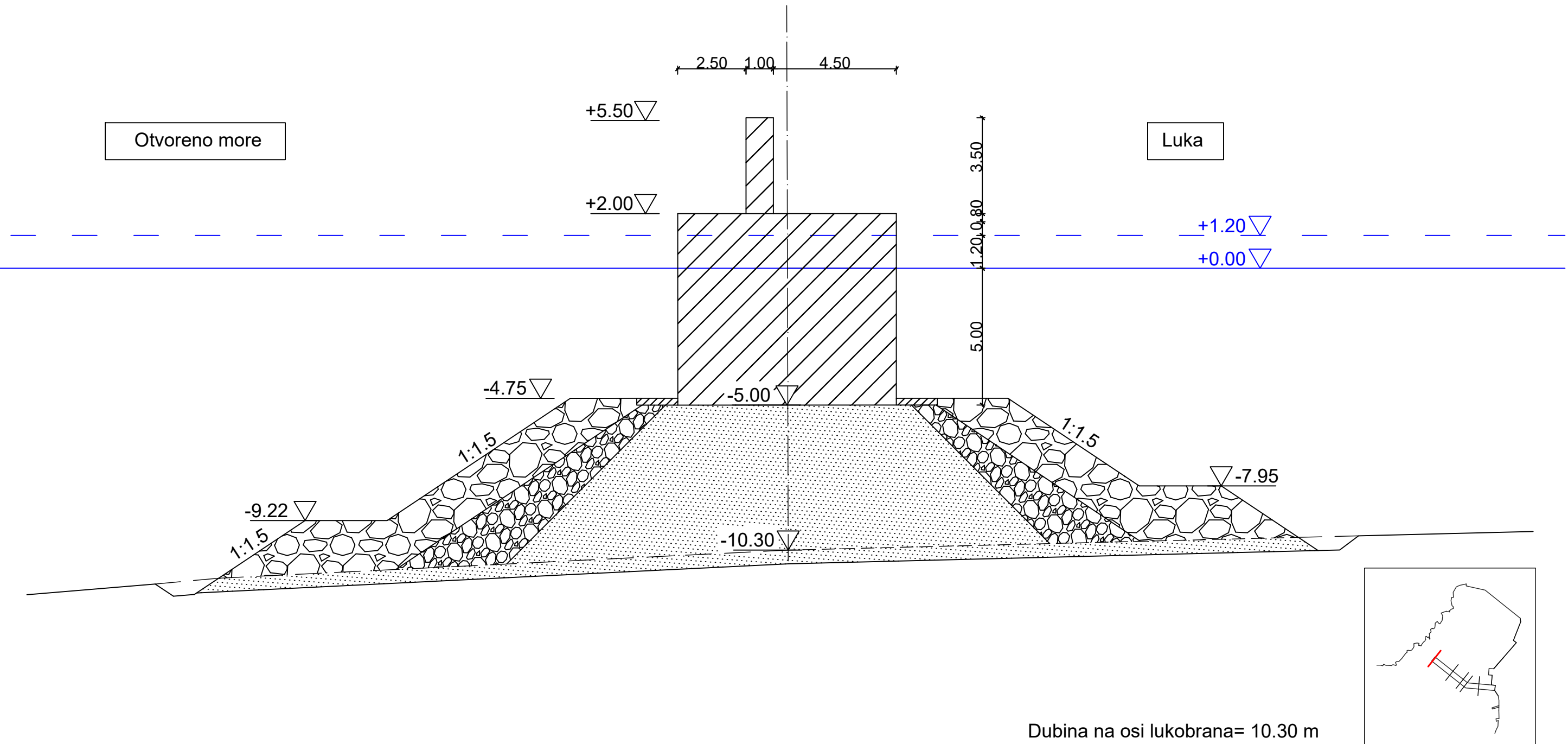
GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo	SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, B-B,0+53,75 m Malo prelijevanje preko krune	
	MJERILO:	1:150	
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 10.

PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, C-C, 0+73,82 m M1:200



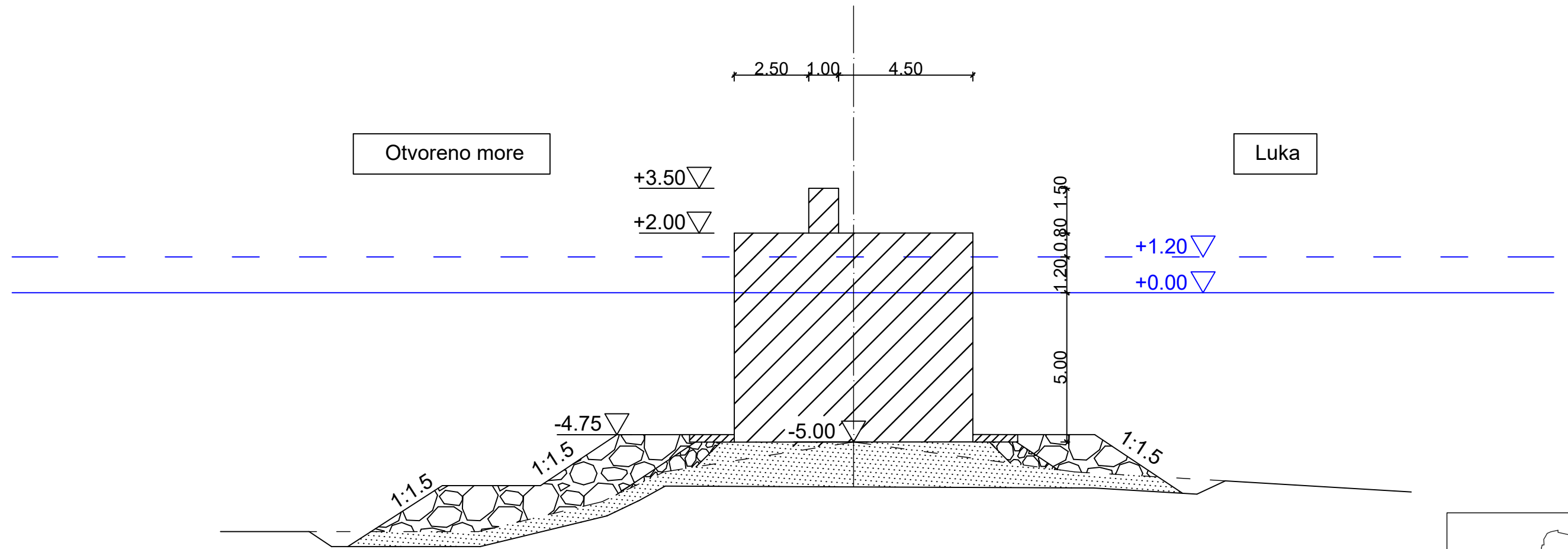
GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, C-C, 0+73,82 m
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo			Malo prelijevanje preko krune
		MJERILO:	1:200
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 11.

PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, D-D, 0+107,82 m M1:150

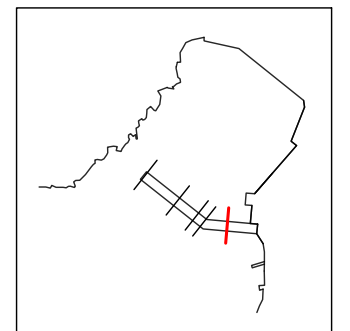


GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, D-D, 0+107,82 m
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo			Malo prelijevanje preko krune
		MJERILO:	1:150
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 12.

PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, A-A(2), 0+25,80 m M1:150

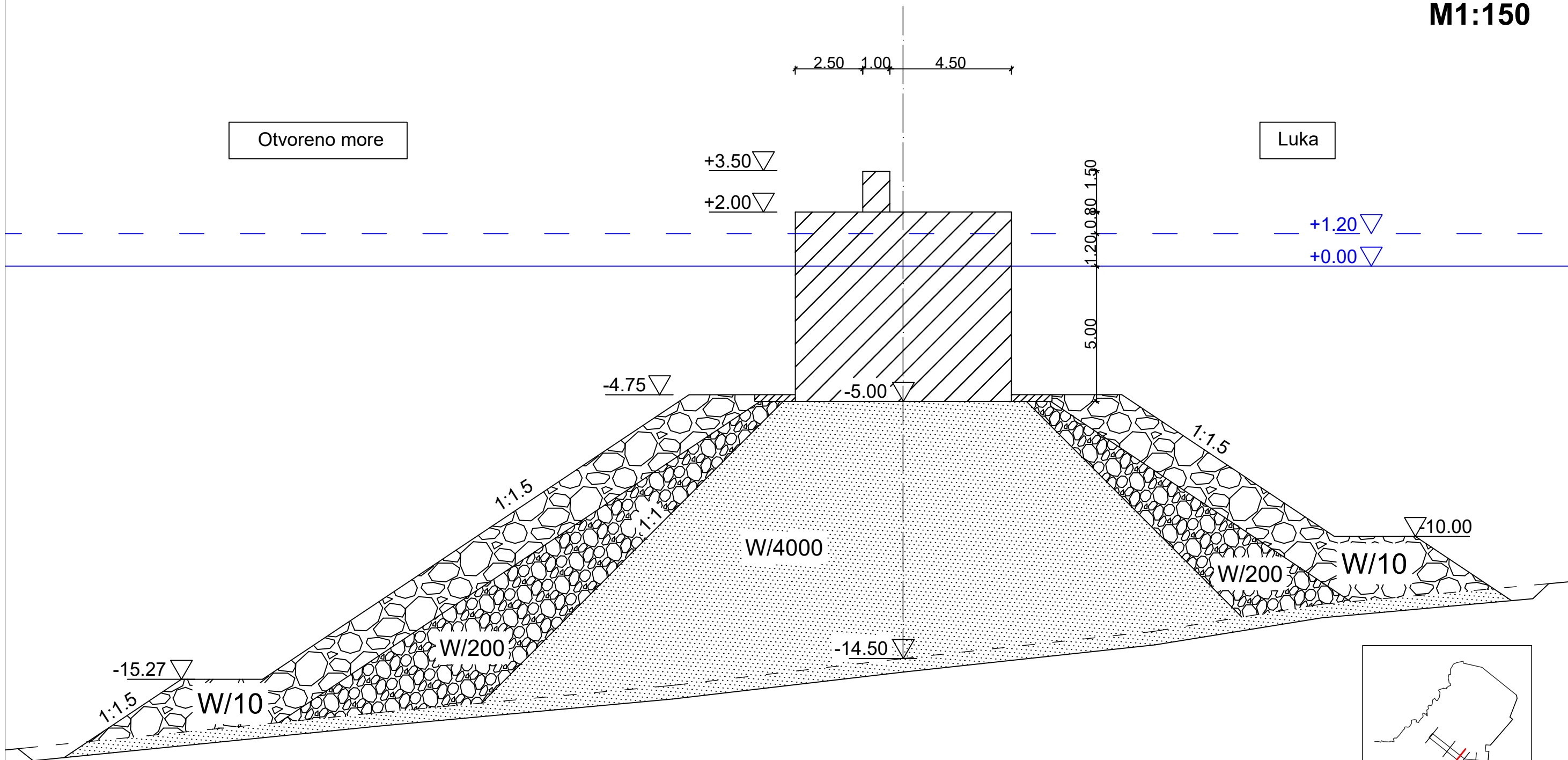


Dubina na osi lukobrana= 5 m



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo	SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, A-A(2),0+25,80 m Veliko prelijevanje preko krune	
	MJERILO:	1:150	
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 13.

PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, B-B, 0+53,75 m M1:150

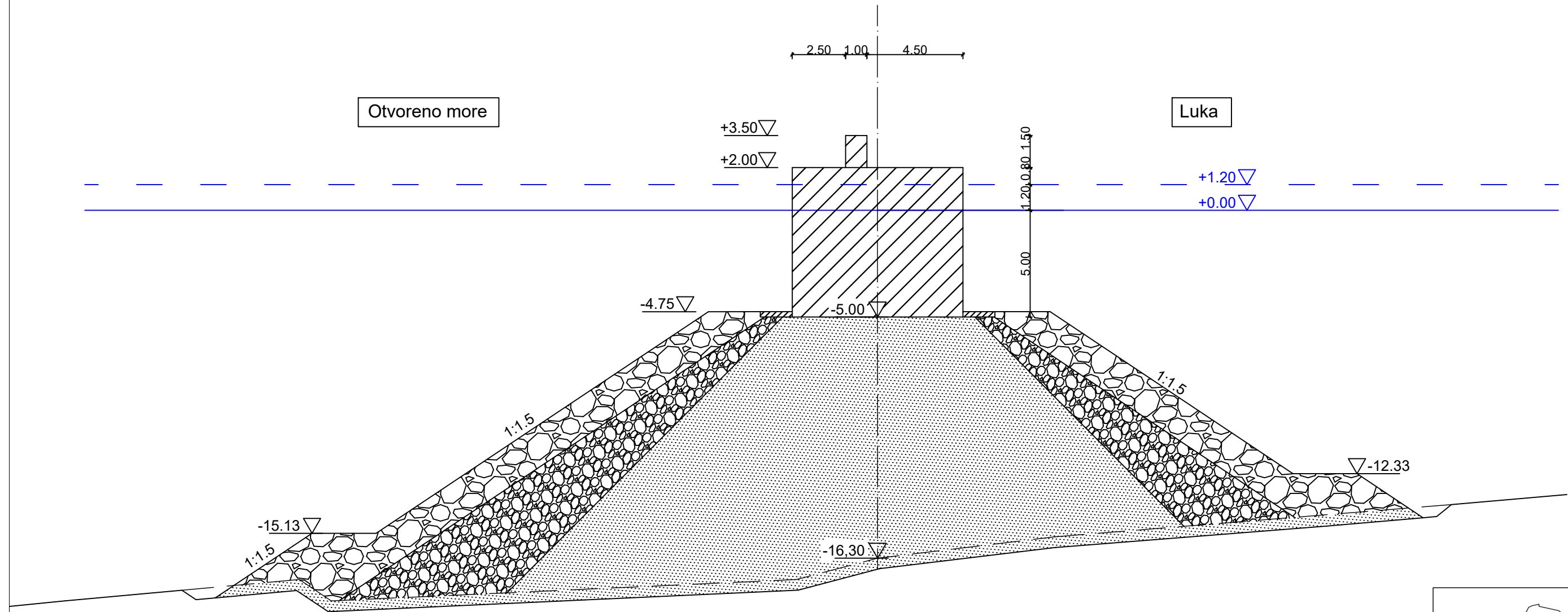


Dubina na osi lukobrana= 14.50 m

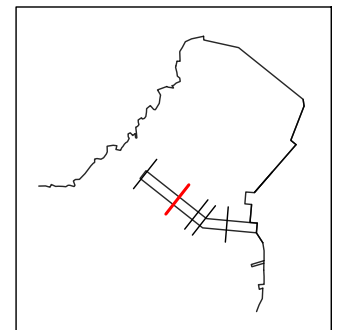


GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, B-B,0+53,75 m Veliko prelijevanje preko krune
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo		MJERILO:	1:150
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 14.

PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, C-C, 0+73,82 m M1:200

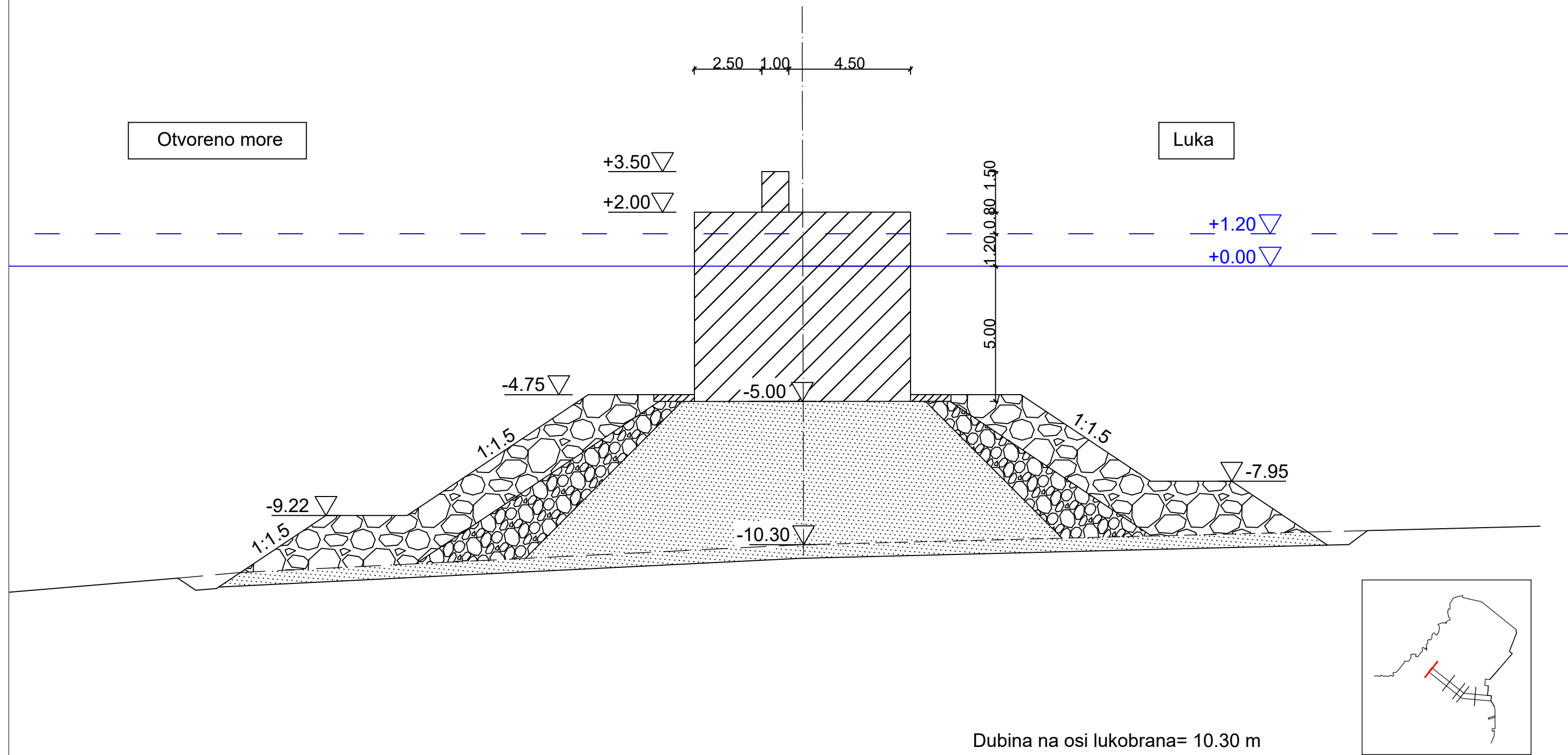


Dubina na osi lukobrana= 16.30 m



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo	SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, C-C, 0+73,82 m Veliko prelijevanje preko krune	
	MJERILO:	1:200	
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 15.

PRESJEK VERTIKALNOG LUKOBRANA, D-D, 0+107,82 m M1:150



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
DIPLOMSKI RAD		SADRŽAJ:	Presjek vertikalnog lukobrana, D-D, 0+107,82 m Veliko prelijevanje preko krune
Idejno rješenje uređenja komunalne luke u uvali Žurkovo			
STUDENT:	Filip Trinajstić	KOLEGIJ:	Gradnja marina i obala
MENTOR:	dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.	DATUM:	Svibanj 2023. 16.