

Analiza mogućnosti sanacije Pulskeg lukobrana

Kliba, Stefano

Graduate thesis / Diplomski rad

2024

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:157:415035>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Stefano Kliba

Analiza mogućnosti sanacije Pulskog lukobrana

Diplomski rad

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

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

**Stefano Kliba
JMBAG: 0114031723**

Analiza mogućnosti sanacije Pulskog lukobrana

Diplomski rad

Rijeka, kolovoz 2024.

IZJAVA

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

Stefano Kliba

U Rijeci, 30. kolovoza 2024.

ZAHVALA

Prvenstveno se zahvaljujem mentoru Izv. prof. dr. sc. Igoru Ružiću na ukazanom povjerenju, trud i prenesenom znanju tijekom studiranja na diplomskom stručnom studiju građevinarstva.

Posebne zahvale upućujem Nikoli Pajiću i Aleksandru Kovačeviću na ustupljenim slikama izgradnje i zaštite Pulskog lukobrana iz vremena Austro-Ugarske Monarhije.

Također, zahvaljujem se i dipl. ing. građ Marku Martinčiću na pomoći i savjetima vezanim za izradu ovoga rada.

Hvala i mojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju tijekom studiranja, te posebna zahvala djevojci i prijateljima koji su mi pomogli za vrijeme terenskog obilaska Pulskog lukobrana kako bi ovaj diplomski rad bio upotpunjen fotografijama stvarnog stanja.

SAŽETAK:

Zadatak ovog diplomskog rada bio je analizirati postojeće stanje Pulskog lukobrana (PL), te sagledati mogućnost njegove sanacije. Primarni cilj sanacije konstrukcije je sprečavanje daljnjeg propadanja lukobrana, te postizanje zadovoljavajuće stabilnosti i funkcionalnosti.

Rad se sastoji od tekstualnog djela, fotografija, proračuna i nacrtu. U sklopu rada provedena su preliminarna terenska istraživanja u sklopu obilaska lokaliteta.

U uvodnom dijelu naglašena je povijesna važnost Pulskog lukobrana s opisom postojećeg stanja Pulskog lukobrana i idejno rješenje sanacije istog.

Za postojeće stanje utvrđeno je da dolazi do prekomjernog prelijevanja valova preko konstrukcije lukobrana, koje je oko stotinu puta veće od preporučenih vrijednosti. No zbog toga prekomjernog prelijevanja, manja su opterećenja djelovanja valova na prednje lice lukobrana te je postignuta adekvatna stabilnost konstrukcije na prevrtanje i klizanje. Provedeno je dimenzioniranje novog, projektiranog stanja konstrukcije.

Nakon dimenzioniranja prikazana je usporedba postojećeg i projektiranog stanja Pulskog lukobrana uz pomoć tabličnog prikaza i tekstualnog opisa.

Ključne riječi: Pulski lukobran, nasuti lukobran s betonskim nadgrađem, sanacija lukobrana, kompozitni lukobran, overtopping

ABSTRACT:

The task of this thesis was to analyze the current state of the Pula breakwater (PL), and to consider the possibility of its rehabilitation. The primary goal of the rehabilitation of the structure is to prevent further deterioration of the breakwater, and to achieve satisfactory stability and functionality.

The work consists of a textual work, photographs, calculations and drawings. As part of the work, preliminary field research was carried out as part of a tour of the locality.

In the introductory part, the historical importance of the Pula breakwater is emphasized, with a description of the current state of the Pula breakwater and a conceptual solution for its rehabilitation.

For the current situation, it was determined that there is an excessive overflow of waves over the structure of the breakwater, which is about a hundred times higher than the recommended values. However, because of this excessive overflow, the loads of the waves on the front face of the breakwater are smaller, and adequate stability of the structure against overturning and sliding has been achieved. Dimensioning of the new, designed state of the structure was carried out.

After dimensioning, a comparison of the existing and projected state of the Pula breakwater is presented with the help of a tabular representation and a textual description.

Key words: Pula breakwater, multi layer rubble mound breakwater with superstructure, breakwater rehabilitation, composite breakwater, overtopping

SADRŽAJ:

1. Uvod.....	1
2. Općenito o pulskom lukobranu.....	2
2.1 Opis lokacije Pulskog lukobrana	2
2.2 Povijest i gradnja Pulskog lukobrana	5
2.3 Nasuti lukobran; namjena i elementi građevine.....	10
2.4 Specifičnosti Pulskog lukobrana.....	12
3. Postojeće stanje Pulskog lukobrana	14
4. Idejno rješenje sanacije Pulskog lukobrana	27
4.1 Tehnički opis	27
4.2 Proračun vertikalnog lukobrana.....	29
4.3 Proračun postojećeg stanja.....	32
4.3.1 Proračun prelijevanja (Overtopping).....	32
4.3.2 Proračun stabilnosti konstrukcije (Goda).....	38
4.4 Proračun novog betonskog nadgrađa s parapetnim zidom	46
4.4.1 Proračun prelijevanja (Overtopping).....	46
4.4.2 Proračun stabilnosti konstrukcije (Goda).....	48
4.5 Dimenzioniranje veličine zaštitnog bloka nasipa	53

5. Usporedba postojećeg i projektiranog stanja	58
6. Zaključak	60
7. Literatura	62
8. Nacrti.....	63

Popis tablica:

Tablica 1. *Parametri za proračun prelijevanja postojećeg stanja vertikalnog lukobrana*

Tablica 2. *Dimenzije i parametri potrebni za proračun stabilnosti postojećeg stanja lukobrana*

Tablica 3. *Rezultati proračuna horizontalnih i vertikalnih sila te njihovi krakovi (postojeće stanje)*

Tablica 4. *Parametri za proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana s betonskim nadgrađem*

Tablica 5. *Dimenzije i parametri potrebni za proračun stabilnosti lukobrana s betonskim nadgrađem*

Tablica 6. *Rezultati proračuna horizontalnih i vertikalnih sila te njihovi krakovi (novo stanje)*

Tablica 7. *Proračun nasipa kompozitnog vertikalnog lukobrana po metodi Madrigal i Valdes 1995*

Tablica 8. *Preporučeni koeficijenti stabilnosti K_D za dim. pokrovnog sloja nasutog lukobrana po HUDSON-u*

Tablica 9. *Proračun nasutog lukobrana po Hudsonovoj formuli SPM 1977*

Tablica 10. *Dimenzioniranje primarnog sloja s vjerojatnošću oštećenja 30-40%*

Tablica 11. *Usporedba rezultata proračuna postojećeg i projektiranog stanja za Pulski lukobran*

Popis slika:

Slika 1: Topografska karta šire okolice Pulske luke (Geoportal DGU; preuzeto 30.08.2024.)

Slika 2: Ortofoto karta Pulske luke (Google Earth; preuzeto 30.08.2024.)

Slika 3: Pogled na gradnju Pulskeg lukobrana 1910. – 1914. godine s palube bojnog broda SMS Babenberg (privatna kolekcija fotografija Nikole Pajića)

Slika 4: Baraža na Pulskeg lukobranu 1917. godine (privatna kolekcija fotografija Nikole Pajića)

Slika 5: Pogled na pulski lukobran s dimnjaka kotlovnice na poluotoku Mužilju (autor: Stefano Kliba)

Slika 6: Ortofoto prikaz lukobrana iz 2024. godine (Google Earth; preuzeto 01.06.2024.)

Slika 7: Ortofoto prikaz lukobrana iz 1918. godine (privatna kolekcija fotografija Aleksandra Kovačevića)

Slika 8: Pogled na pulski lukobran s dimnjaka kotlovnice na poluotoku Mužilju (autor: Stefano Kliba)

Slika 9: Detalj lukobrana pri korijenu na kojem je vidljiv stupanj oštećenja konstrukcije (autor: Stefano Kliba)

Slika 10: Vanjska (lijevo) i unutarnja (desno) strana Pulskeg lukobrana (autor: Stefano Kliba)

Slika 11: Armaturni čelični profili (šine) na mjestu gdje je došlo do potpunog oštećenja gornjeg sloja betona (autor: Stefano Kliba)

Slika 12: Detalj oštećenja na vanjskoj strani lukobrana (autor: Stefano Kliba)

Slika 13: Detalj nezavršenog dijela Puls kog lukobrana na stacionaži 0+720.00 m (autor: Stefano Kliba)

Slika 14: Detalj sa slike 13. gledan prema korijenu lukobrana (autor: Stefano Kliba)

Slika 15: Vidljiva oštećenja uslijed djelovanja erozije (autor: Stefano Kliba)

Slika 16: Detalj oštećenja vanjske strane lukobrana (autor: Stefano Kliba)

Slika 17: Detalj korodiranih čeličnih profila (autor: Stefano Kliba)

Slika 18: Stanje lukobrana prije 1968. i 2011. godine (Geoportal DGU; preuzeto 22.08.2024.)

Slika 19: Shematski prikaz vertikalnog lukobrana (Predavanja iz kolegija "Obalne građevine" 2022./2023.)

Slika 20: Vidljivo prelijevanje preko postojećeg lukobrana za vrijeme puhanja slabog do umjerenog vjetro jugozapadnog smjera (Garbina) (autor: Stefano Kliba)

Slika 21: Shematski prikaz parametara potrebnih za proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana (EuroTop II; preuzeto 25.07.2024.)

Slika 22: Postojeće stanje glave lukobrana na stacionaži 1+162.15 m za koju se vrši proračun (autor: Stefano Kliba)

Slika 23: Poprečni presjek postojećeg stanja za proračun prelijevanja i stabilnosti vertikalnog lukobrana na stacionaži 1+162.15 m

Slika 24: Dijagram proračuna prelijevanja vertikalnog lukobrana (EuroTop II; preuzeto 25.07.2024.)

Slika 25: Mjerodavna formula za proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana (EuroTop II; preuzeto 25.07.2024.)

Slika 26: Shematski prikaz dimenzija za proračun stabilnosti vertikalnog lukobrana po metodi Goda (Predavanja iz kolegija "Obalne građevine" 2022./2023.)

Slika 27: Formule za proračun parametara stabilnosti vertikalnog lukobrana po metodi Goda (Predavanja iz kolegija "Obalne građevine" 2022./2023.)

Slika 28: Poprečni presjek novog stanja za proračun prelijevanja i stabilnosti vertikalnog lukobrana na stacionaži 1+162.15 m

Slika 29: Poprečni presjek novog stanja za proračun zaštitnih blokova lukobrana na stacionaži 1+162.15 m

Slika 30: Usporedba postojećeg poprečnog presjeka i poprečnog presjeka novog idejnog rješenja na stacionaži 1+162.15 m

1. UVOD

Zadatak ovog diplomskog rada bio je analizirati postojeće stanje Pulskog lukobrana (PL), te sagledati mogućnosti njegove sanacije. Primarni cilj sanacije konstrukcije je sprečavanje daljnjeg propadanja lukobrana, te postizanje zadovoljavajuće stabilnosti i funkcionalnosti.

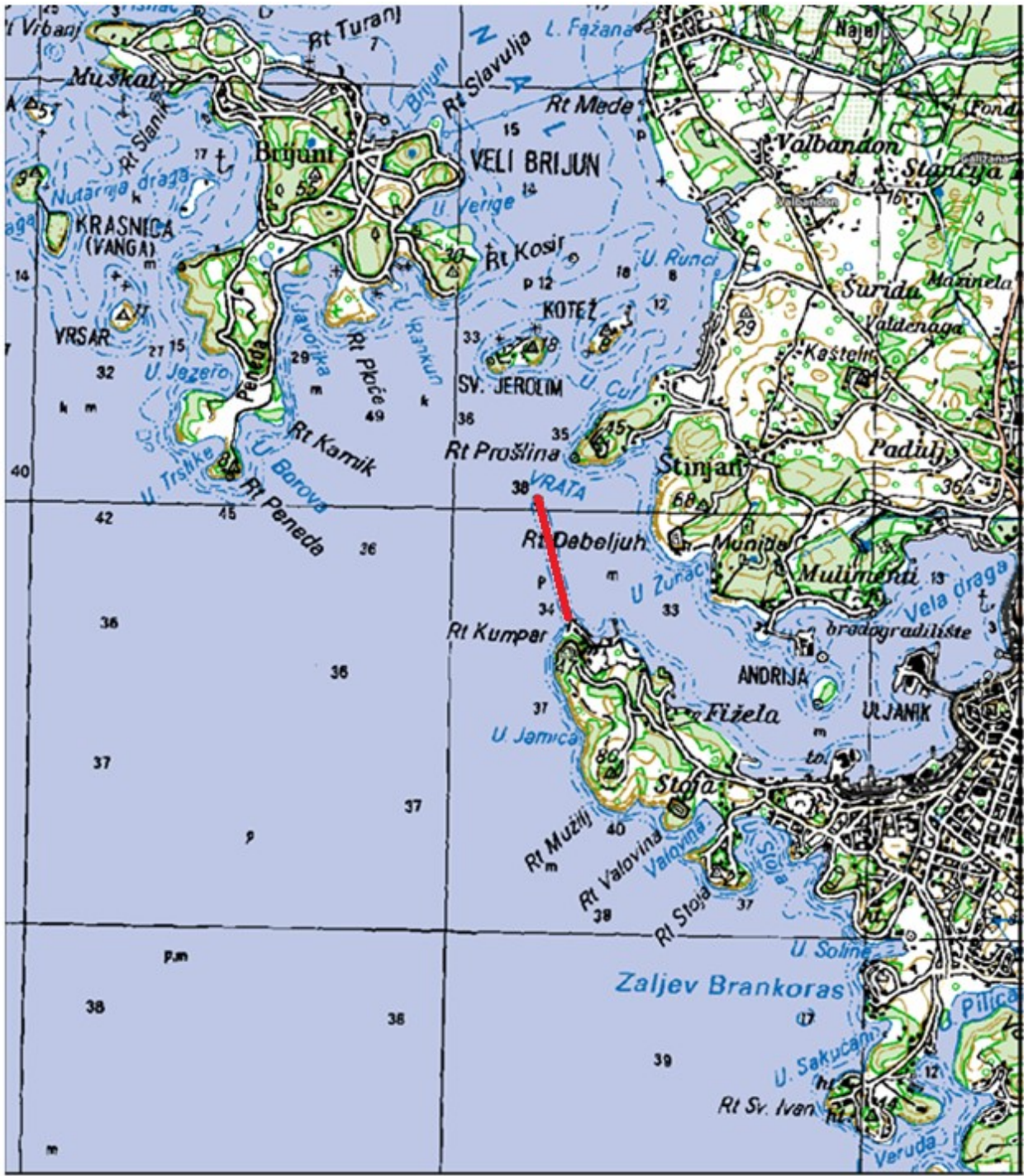
Kroz rad je prikazan i opisan smještaj i lokacija Pulskog lukobrana, njegova povijest od same odluke o izgradnji do danas i opis postojećeg stanja konstrukcije. Kako bi se što više dočarala razina oštećenja na konstrukciji, u sklopu diplomskog rada proveden je i terenski obilazak tijekom kojeg su snimljene broje fotografije koje su priložene u poglavlju koje opisuje postojeće stanje lukobrana.

Proveden je proračun prelijevanja preko konstrukcije za postojeće stanje, kao i za novo stanje s novo izvedenim betonskim nadgrađem. Proveden je i proračun stabilnosti konstrukcije na prevrtanje i klizanje za postojeće i za novo stanje. Naposljetku je provedeno i dimenzioniranje veličine zaštitnih blokova nasipa konstrukcije.

2. OPĆENITO O PULSKOM LUKOBRANU

2.1 Opis lokacije Pulskog lukobrana

Pulski lukobran smješten je na zapadnom dijelu akvatorija Pulske luke (slika 1.). Proteže se u smjeru N-NW, gledano od korijena prema glavi lukobrana, u smjeru od 342 stupnja od smjera sjevera. Početna dubina mora na korijenu lukobrana iznosi 21 metar, dok je dubina na glavi lukobrana nešto manja od 37 metara. Na topografskom prikazu grada Pule (slika 2.) crvenom je bojom označena pozicija lukobrana na rtu Kumpar. S prikaza možemo zaključiti kako je Pulska luka prirodno dobro zaštićena. Na sjeverozapadnoj strani ulaz u luku od valova i nevremena štiti Otok Veliki Brijun dok ga s južne strane štiti poluotok Mužilj. Problem za Pulsku luku predstavlja Lebić ili Garbin. To je vlažan i topao vjetar jugozapadnog smjera koji često donosi velike oborine. Zimi je u pravilu brzina vjetra veća nego ljeti i donosi jaku kišu, a ponekad i snijeg. Za razliku od juga, koje valove stvara na otvorenom moru, garbin puše okomito prema kopnu stvarajući velike i destruktivne valove [4]. Za vrijeme puhanja garbina, na Pulskom lukobranu dolazi do prelijevanja mora preko betonskog nadgrađa (eng. "*overtopping*").



Slika 1: Topografska karta šire okolice Pulske luke (Geoportal DGU; preuzeto 30.08.2024.)



Slika 2: Ortofoto karta Pulske luke (Google Earth; preuzeto 30.08.2024.)

2.2 Povijest i gradnja Pulskog lukobrana

Pulski lukobran, kojim je sužen postojeći prirodni ulaz u luku i sidrište austrougarskih bojnih brodova, jedan je od objekata nakon čije je izgradnje povećana žilavost i sigurnost obrane grada Pule. On je kruna dugotrajnog, planskog, studioznog, grandioznog i iznimno teškog rada na hidrotehničkom uređenju Pulske luke i zaljeva u razdoblju od 1850. do 1918. godine [1].

Iako je i ranijih godina bilo prijedloga za sužavanje prirodnog ulaza u Pulsku luku, sam projekt je napokon realiziran pod zapovjedništvom admirala Rudolfa Grafa Montecuccolija i Antona Hausa. Veliki bojni brodovi poput "Viribusa Unitisa" do tada su uglavnom bili usidreni na vanjskom sidrištu jer im je gaz od 8,74 metara onemogućavao sidrenje uz samu obalu [1].

Sjeverozapadni ulaz u Pulsku luku bio je zaštićen od vjetrova Brijunskim otočjem, a luku je bilo potrebno dodatno zaštititi od snažnog zapadnog vjetra pulenta i jugozapadnog vjetra lebića tj. garbina i velikih valova koje bi oni prouzročili (slika 1. i 2.). Zelenom svijetlu za izgradnju lukobrana, koje je dala tadašnja uprava vojne ratne luke (njem. "*Kriegshafenkommando*"), pridonijelo je i podizanje razine mora u istočnom dijelu Pulske luke, pogotovo na području Arsenala. More je dopiralo do zidina starogradske jezgre, Zlatnih vrata, odnosno na dijelu grada zvanom Pragrande, a za vrijeme puhanja jakih zapadnih i jugozapadnih vjetrova prodiralo je i u podrume Marine Casina, današnjeg Doma hrvatskih branitelja. Prije izgradnje lukobrana neprijateljske brodice i brodovi, a posebno podmornice i pomorski diverzanti, mogli su s lakoćom napasti austrougarske bojne brodove na vanjskom sidrištu luke. To je bilo uvjetovano povećanom moći pomorskog naoružanja kao što su torpeda i morske mine, koje su svoj početni dizajn i konstrukciju dobile 1859. godine u Pulskoj luci [1].

Nakon opsežnih proučavanja i uspoređivanja ostalih ratnih luka i njihovih lukobrana, izbora oblika, dubine, dužine i širine, oceanografskih i hidrografskih ispitivanja, donesena je odluka o gradnji lukobrana. Tada je to bio jedan od najambicioznijih hidrotehničkih projekata u Sredozemlju.

Nakon odluke o gradnji lukobrana izvršene su opsežne i zahtjevne pripreme u pripremanju i stvaranju odgovarajućih platformi za rad. U sjeveroistočnom dijelu poluotoka Mužilj, točnije na prostoru uvale Pod stine (Smokvice) (tal. "*Val de Figo*") u podnožju je "odrezan" popriličan dio brda, izvršen izbor i priprema kamenoloma, zajedno s ostalim materijalom potrebnim za gradnju lukobrana, te su obavljena i završna mjerenja mora i morskog dna na odabranoj trasi [1].

Gradnja lukobrana započeta je 1910. godine, s korijenom na rtu Kumpar u smjeru od 350°. Početna dubina iznosila je 21 metar u dužini od 0,7 nautičkih milja, odnosno 1.200,00 metara, dok je na glavi lukobrana dubina iznosila 36 metara. Kao i kod izgradnje svih podvodnih objekata u to vrijeme, i kod Pulskog lukobrana je prva konstruktivna faza bila priprema morskog dna na koje će se položiti taj gigantski pomorski objekt. Pomorski zid takve duljine, širine i težine mora se oslanjati na čvrsto kamenito morsko dno. Iz tog je razloga bilo potrebno ukloniti i najmanji sloj mulja ili blata. Nakon pripreme i čišćenje morskog dna, postavljeni su piloni kojima je bila obilježena trasa lukobrana, počelo je postavljanje velikih kamenih blokova, čija se težina i nagib određivao prema proračunu djelovanja valova i morskih struja. U kamenolomima u okolici Pule, prvenstveno u uvali Mulimenti, otočiću Sv. Jerolim i poluotoku Mužilju, rezani su izrazito veliki kameni blokovi koji su se potom odvozili do predviđenog mjesta i polagali na trasu (slika 3.). Zbog prirode opsežnih podvodnih radova angažiran je velik broj ronilaca s teškom ronilačkom opremom, zajedno s velikim brojem kompresora za dostavu zraka te ronilačkih čamaca. Kako su radovi tekli, broj ronilaca se povećavao, a pratili su ih specijalisti i stručnjaci iz Mornaričke bolnice koji su na raspolaganju imali ronilačke komore za liječenje kesonske bolesti [1].

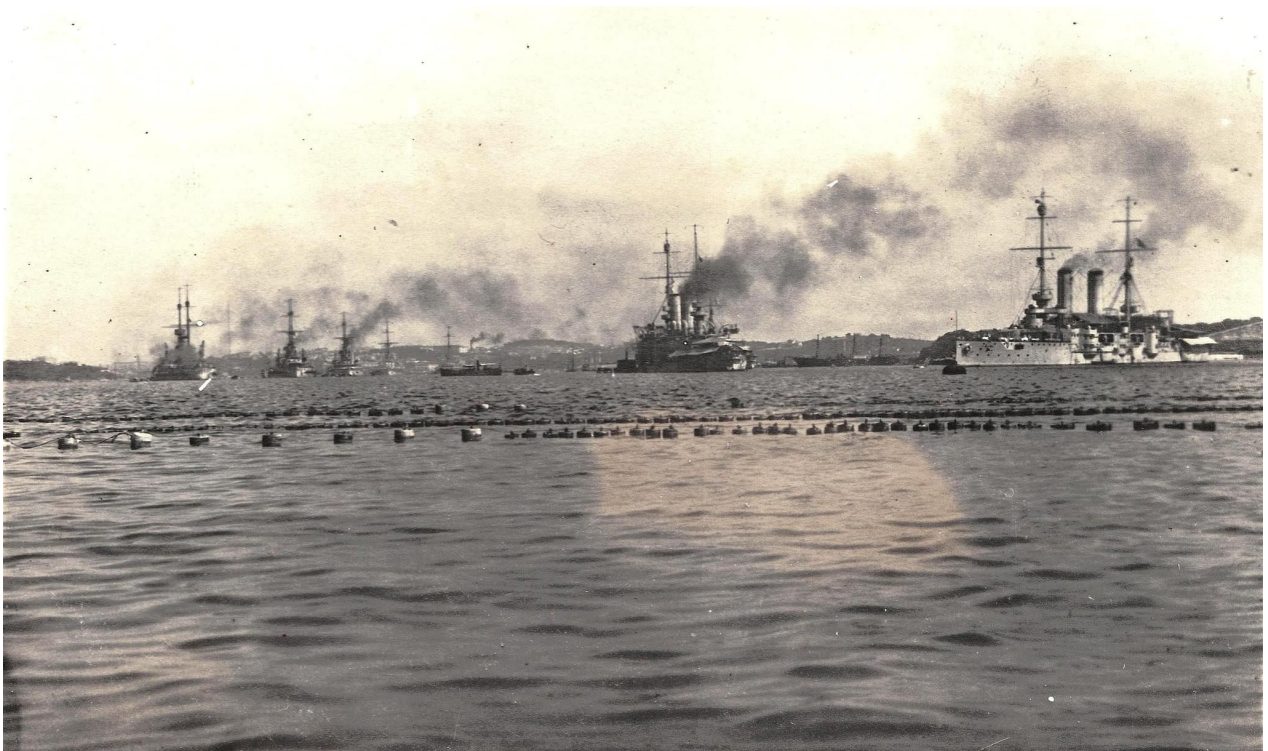
Lukobran je završen 1914. godine, kada se približio rtu Proština (Punta Križa) (tal. "Punta Christo") na susjednoj, sjevernoj strani Pulske luke na udaljenost od otprilike 500 metara, a kroz novonastali su ulaz trgovački i ratni brodovi mogli uplovjavati uz prethodnu najavu i provjeru sa signalne postaje na rtu Proština. Na glavi lukobrana postavljeno lučko svjetlo zelene boje za signalizaciju tijekom noćnih uplovljavanja, a na nekoliko mjesta vrh lukobrana je prekinut kako bi u luku mogli uplovjavati i isplovjavati manji, brzi brodovi [1].



Slika 3: Pogled na gradnju Pulskog lukobrana 1910. – 1914. godine s palube bojnog broda SMS Babenberg (privatna kolekcija fotografija Nikole Pajića)

U slučaju pomorskih bitki, koje su uslijedila ulaskom Italije u rat 1915. godine, taj je uski prolaz bio zatvoren i osiguran protubrodskim i protupodmorničkim barikadama uz dodatnu zaštitu koju su pružala okolna minska polja.

Glavni ulaz u luku bio je zatvoren baražom, žičanom barikadom austrougarskog tipa, na balvane, s protupodmorničkim preprekama od žičanog konopa koji je bio obješen na barikadne balvane, prvo sa samo jednim, a kasnije i s dva reda barikada. Takva je prepreka bila izum kapetana linijskog broda Bena pl. Milenkovića, i na običnoj teškoj barikadi, sastavljenoj od velikih balvana i jakih čeličnih konopa, imala je zavjese, tzv. "festone" od tanjeg žičanog konopa, koje su pri dnu držale željezne kugle. Ova jednostavna, jeftina i laka konstrukcija pokazala se iznimno djelotvornom jer je bila vrlo elastična. Unutar barikade nalazila se protutorpedna mreža (slika 4.), a ispod rta Proština bile su smještene kontrolna postaja, flankirna baterija za njenu obranu i osmatračnica. U tu se barikadu uhvatila francuska podmornica "Curie", koja je 1914. godine pokušala prodrijeti u Pulsku luku. Krajem 1918. godine, pred sam kraj 1. svjetskog rata, preko lukobrana su uspješno prešli talijanski pomorski diverzanti i u osvijetljenoj luci potopili bojni brod "Viribus Unitis" koji je tada bio pod zapovjedništvom države SHS [1].



Slika 4: Baraža na Pulskom lukobranu 1917. godine (privatna kolekcija fotografija Nikole Pajića)

Da austrougarska ratna mornarica nije inzistirala na izgradnji lukobrana i predvidjela ovakav strogi režim ulaza u Pulsku luku za vrijeme rata, napadi na bojne brodove na vanjskom sidrištu za vrijeme prvog svjetskog rata bili bi češći i brojniji [1].

2.3 Nasuti lukobran; namjena i elementi građevine

Lukobrani spadaju u hidrotehničke građevine u moru koje služe za zaštitu luke, marine ili sidrišta od štetnog djelovanja valova, plime i morskih struja. Izvode se od velikih prirodnih kamenih blokova ili od umjetnih betonskih elemenata. Energija valova disipira se na lukobranu preko loma i propagacije valova na pokosu nasipa lukobrana, refleksije valova, transmisije energije kroz tijelo lukobrana i prelijevanjem morske vode preko lukobrana. Disipacija energije valova na samoj konstrukciji lukobrana ovisi o hrapavosti podloge (trenje između valova i obloge lukobrana), propusnosti konstrukcije (adsorpcija energije valova), refleksiji valova na konstrukciju lukobrana i prelijevanju vode preko krune lukobrana.

Nasuti lukobrani sastoje se od:

- jezgre (eng. *core*)
- sekundarnog sloja (eng. *filter layer*)
- primarnog sloja/obloge (eng. *armor layer*)
- nožice nasipa (eng. *toe berm*)

Jezgra se sastoji od grubog materijala, najčešće otpada iz kamenoloma, a nebi smjela sadržavati finije čestice prašine i pijeska. Uglavnom se jezgra izvodi tako da se materijal nasipava direktno iz kamiona/dampera, zbog čega minimalna širina jezgre iznosi 3 metra. Pokos nasipavanja jezgre u moru je 1:1, a samo nasipavanje trebalo bi se izvoditi u periodima kada je more mirno zato što je jezgra veoma osjetljiva na djelovanje valova.

Sekundarni sloj lukobrana sastoji se od kamenog nasipa/kamenometa, a njegova glavna funkcija je zaštita jezgre od ispiranja. Uobičajeno se polaže u dva sloja, a nagib mu je nešto manji od 1:1 (nagiba nasipa jezgre). Sekundarni sloj potrebno je izvesti što je prije moguće kako nebi došlo do ispiranja jezgre (erozija) uslijed djelovanja valova.

Primarna obloga predstavlja glavni sloj obrane konstrukcije lukobrana od štetnog djelovanja valova. U slučaju bilo kakvih nedostataka na tipu, veličini ili razmještaju

kamenih blokova može doći do havarije lukobrana pa je iz tog razloga potrebno posvetiti veliku pažnju tijekom izbora i same ugradnje blokova primarne zaštite.

Nožica nasipa ključan je element koji služi za zaštitu primarne obloge od erozije ili ispiranja materijala [2].

Nasuti lukobrani mogu imati i betonsko nadgrađe sa zidom (eng. superstructure) kao što je slučaj kod Pulskog lukobrana [2].

Nasuti lukobrani primjenjuju se za sve vrste tla na morskom dnu. Takav lukobran iziskuje više održavanja, ali je iznimno otporan na djelovanje valova. U slučaju većeg nevremena može doći do oštećenja ali ne i do potpunog urušavanja pa iz tog razloga nikada ne gubi svoju zaštitnu funkciju. Također, nasuti lukobran iznimno je otporan na ratna razaranja, što je bio bitan faktor kod izgradnje Pulskog lukobrana, obzirom da je klasificiran primarno kao fortifikacijski objekt vojne namjene. Glavna mana nasutih lukobrana je eksponencijalan rast cijene izvođenja zavisno o rastu dubine mora tj. povećanjem dubine eksponencijalno raste i cijena izvođenja [3].

2.4 Specifičnosti Pulskog lukobrana

Kao što je već spomenuto, Pulski lukobran klasificiran je kao nasuti lukobran s betonskim nadgrađem bez dodatnog zida (eng. *“multi layer rubble mound breakwater with superstructure”*). Betonsko nadgrađe izvodi se kako bi povisila kota lukobrana bez podizanja samo krune, uz značajnu uštedu materijala. Nedostatak betonskog nadgrađa je činjenica da značajno povećava opterećenje na primarni sloj lukobrana [2].

U našem slučaju, osim zaštitne funkcije, betonsko nadgrađe lukobrana imalo je i funkciju osmatračnice. Zbog toga su duž lukobrana izgrađene 3 stražarske kućice, od kojih je danas preostala samo jedna uslijed destruktivnog djelovanja valova tijekom godina.

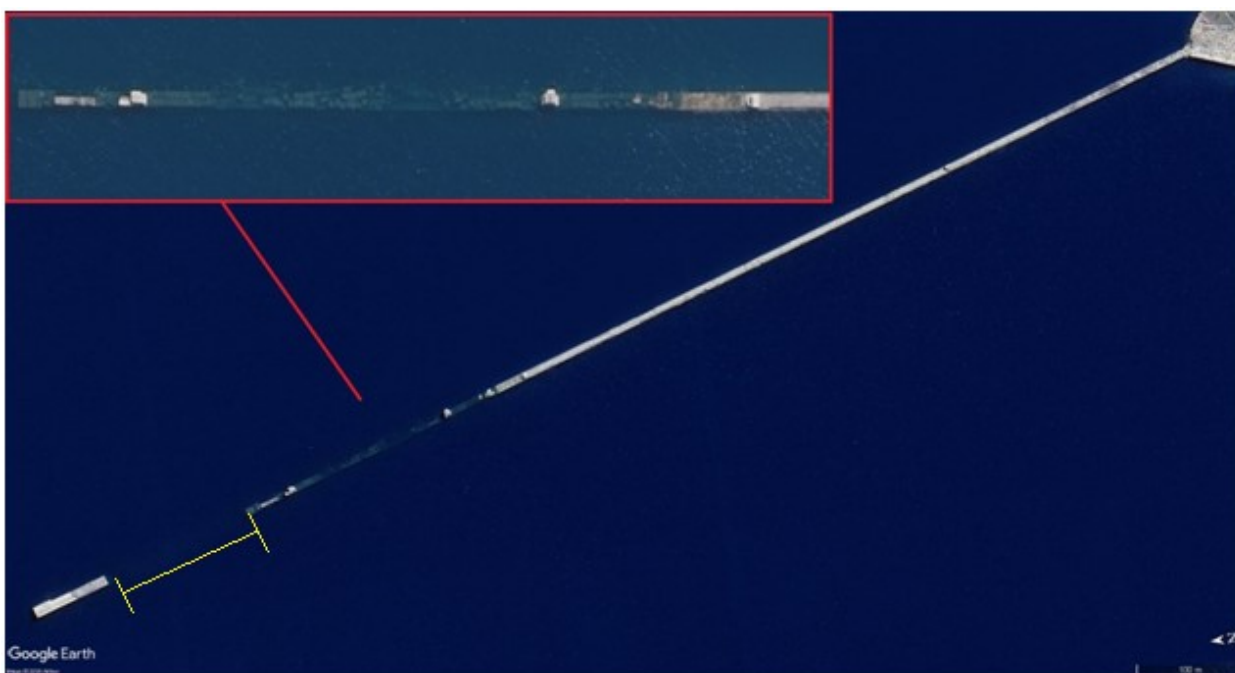


Slika 5: Pogled na pulski lukobran s dimnjaka kotlovnice na poluotoku Musilu

Pulski lukobran nije cjelovit (slika 5), neposredno prije glave lukobrana nalazi se otvor širine cca. 145 metara koji je služio za ulaz manjih plovila u luku preko nasipa lukobrana u vrijeme kada je glavni ulaz u luku bio zatvoren baražom radi zaštite vanjskog sidrišta bojnih brodova (Slika 6; označeno žutom bojom).

3. POSTOJEĆE STANJE PULSKOG LUKOBRANA

Pulski lukobran danas je u vrlo lošem i derutnom stanju. Na ortofoto prikazu (slika 6.) vidljivo je oštećenje dijela lukobrana uslijed destruktivnog djelovanja erozije i valova kroz period od 110 godina. Na uvećanom prikazu primjećujemo razbacane velike kamene blokove nasipa, a gornje betonsko nadgrađe na tom dijelu u potpunosti je uništeno.



Slika 6: Ortofoto prikaz lukobrana iz 2024. godine (Google Earth; preuzeto 01.06.2024.)

S ortofoto fotografije iz 1918. godine vidljivo je da je taj dio lukobrana izvorno postojao, usprkos brojnim mitovima koji govore da lukobran nikada nije u potpunosti završen (slika 7.).

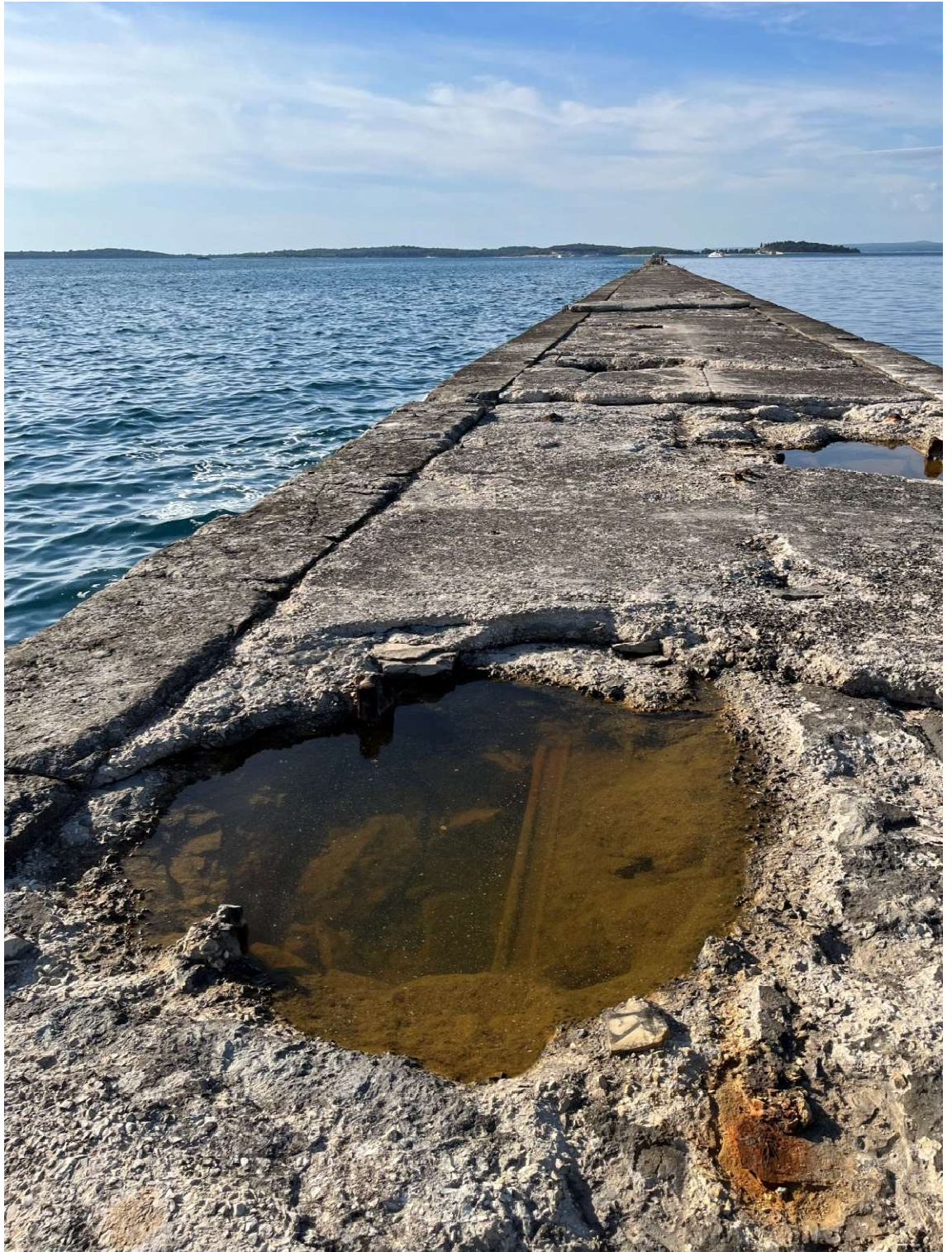


Slika 7: Ortofoto prikaz lukobrana iz 1918. godine (privatna kolekcija fotografija Aleksandra Kovačevića)

Betonsko nadgrađe širine je 7 metara, na samom rubu nalaze se kamene poklopnice a središte je izrađeno od betona. Visina od gornje kote poklopnice do kote mora iznosi 0,80 metara, ovisno o morskim mijenama. Beton je armiran glatkim armaturnim šipkama i povezan s ostatkom konstrukcije pomoću čeličnih šina koje su postavljene horizontalno u uzdužnom smjeru i vertikalno tj. okomito na krunu lukobrana. Na strani otvorenog mora oštećenje nadgrađa je puno izraženije nego na strani Pulske luke. Na većem dijelu strane prema otvorenom moru u potpunosti nedostaju kamene poklopnice, beton je iznimno erodiran i raspucan, a šine su vrlo korodirane. Korijen lukobrana na rtu Kompare također je u lošem stanju. Beton je uglavnom vrlo ispucan, a na mjestima ga uopće nema, odronjeni komadi nalaze se na morskom dnu. Duž cijelog lukobrana postavljeni su čelični prstenovi (aneli) za privez plovila. Većina anela više ni ne postoji uslijed korozije, a preostali aneli su u iznimno lošem stanju, vrlo je vjerojatno da bi došlo do loma i pri najmanjem opterećenju. Glava lukobrana u relativno je dobrom stanju. Betonsko nadgrađe na glavi lukobrana iznosi 9,03 metara. Na njoj se nalazi zeleni svjetionik, koji je u funkciji, a služi kao navigacijsko svjetlo koje označava desnu (eng. Starboard) stranu pri ulasku u Pulsku luku. U nastavku su postavljene slike postojećeg stanja nadmorskog dijela Pulske lukobrana iz svibnja 2024. godine na kojima se vidi postojeće stanje i razna oštećenja konstrukcije.



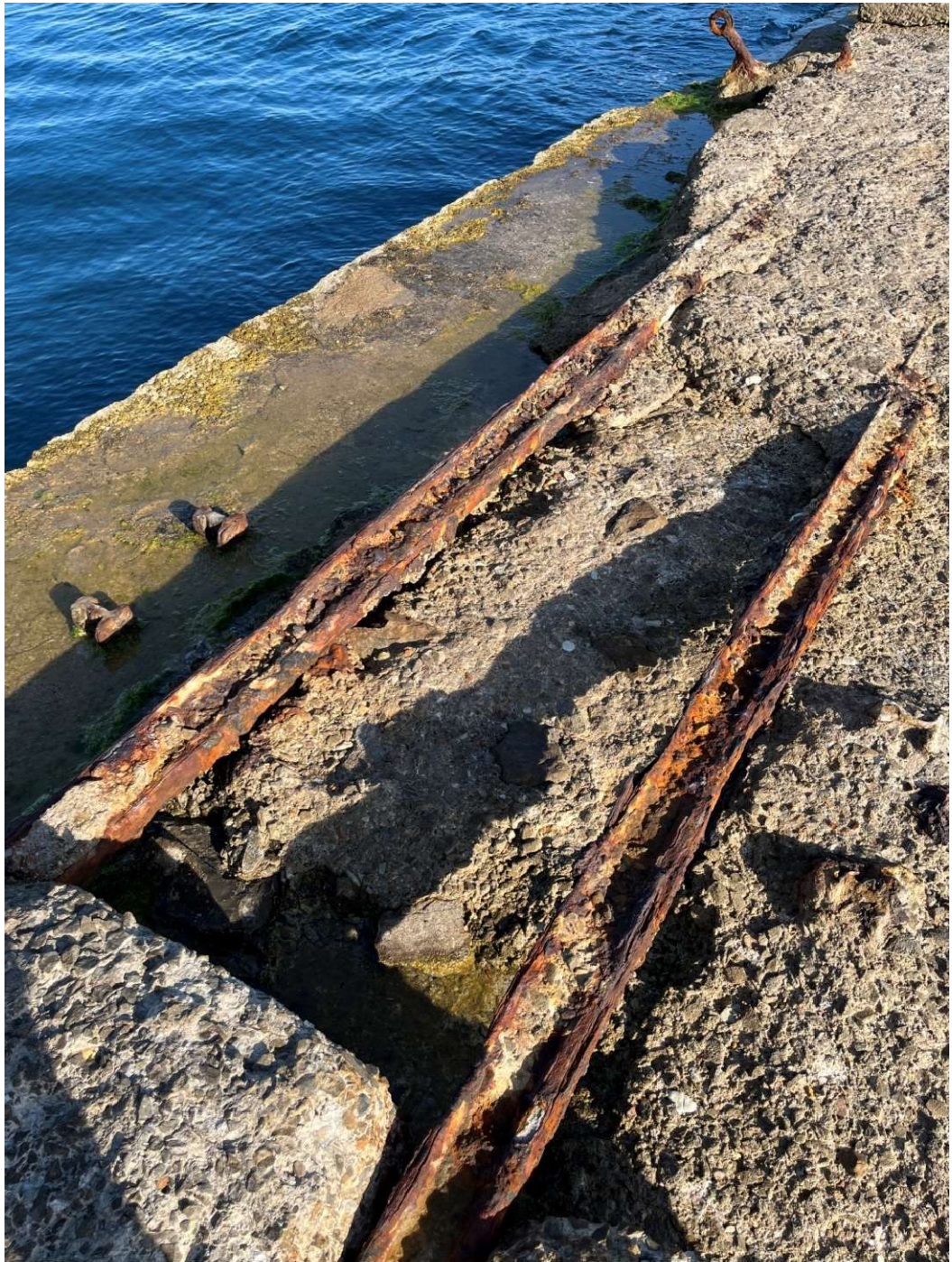
Slika 8: Pogled na pulski lukobran s dimnjaka kotlovnice na poluotoku Mužilju



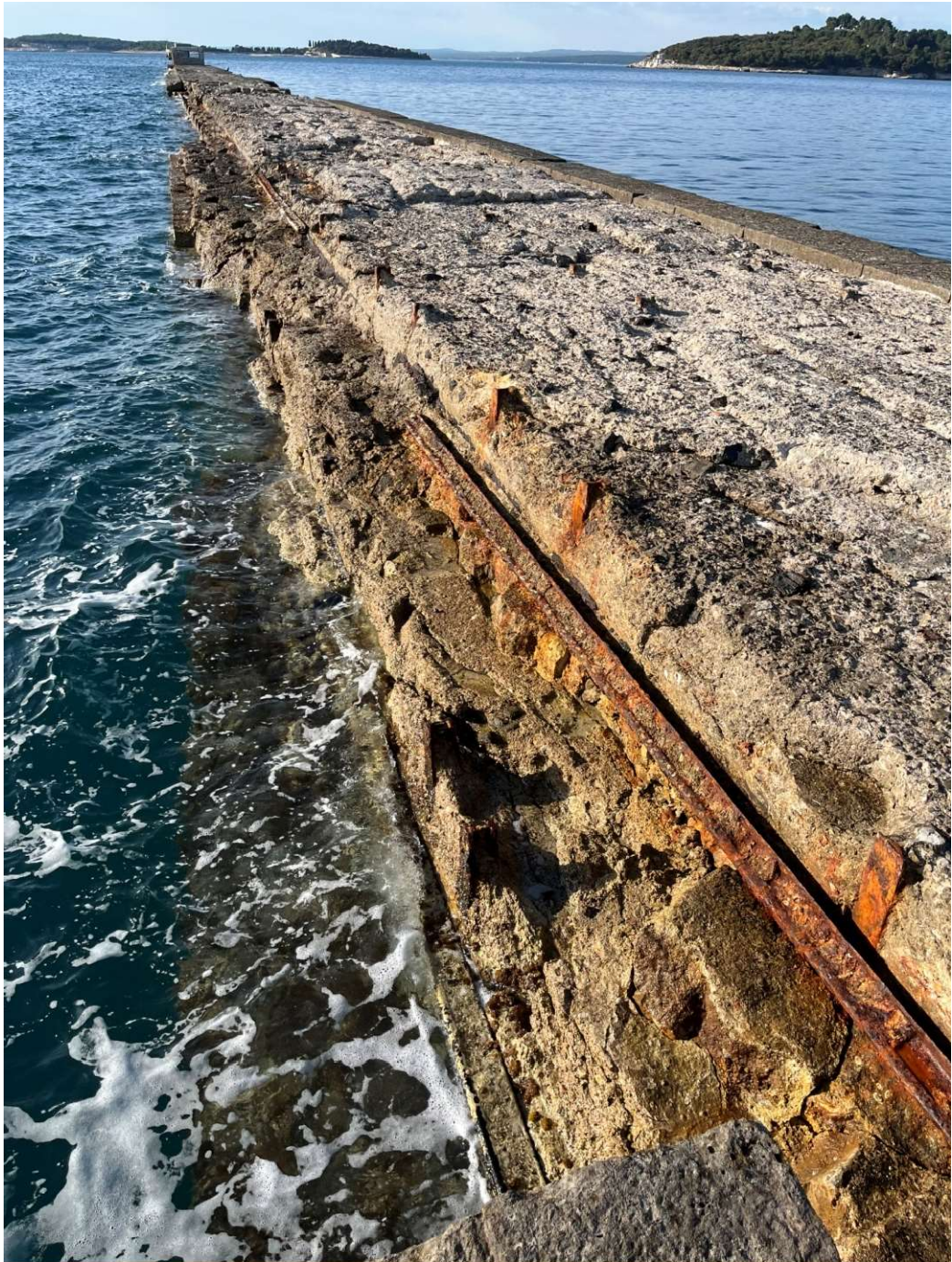
Slika 9: Detalj lukobrana pri korijenu na kojem je vidljiv stupanj oštećenja konstrukcije



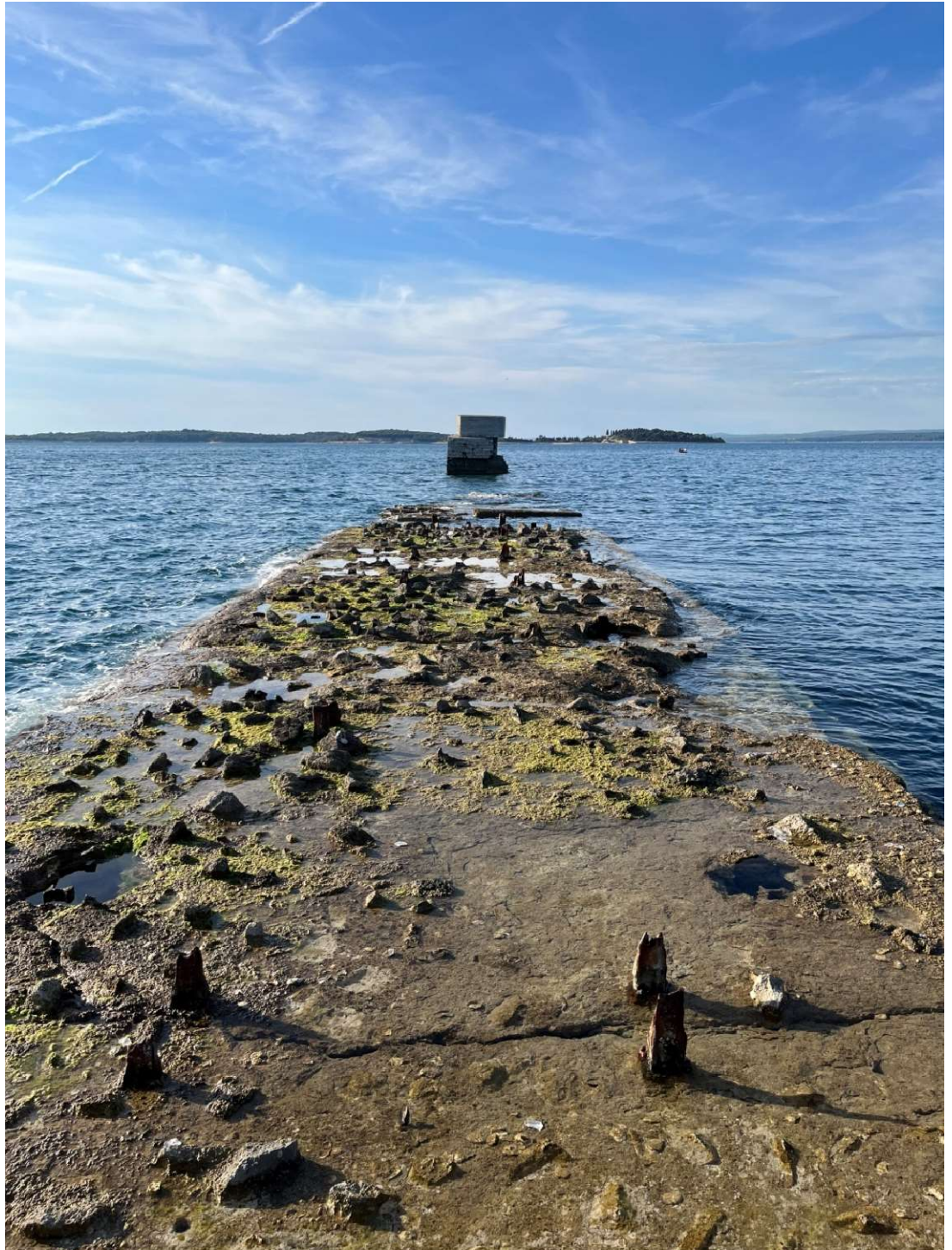
Slika 10: Vanjska (lijevo) i unutarnja (desno) strana Pulskog lukobrana



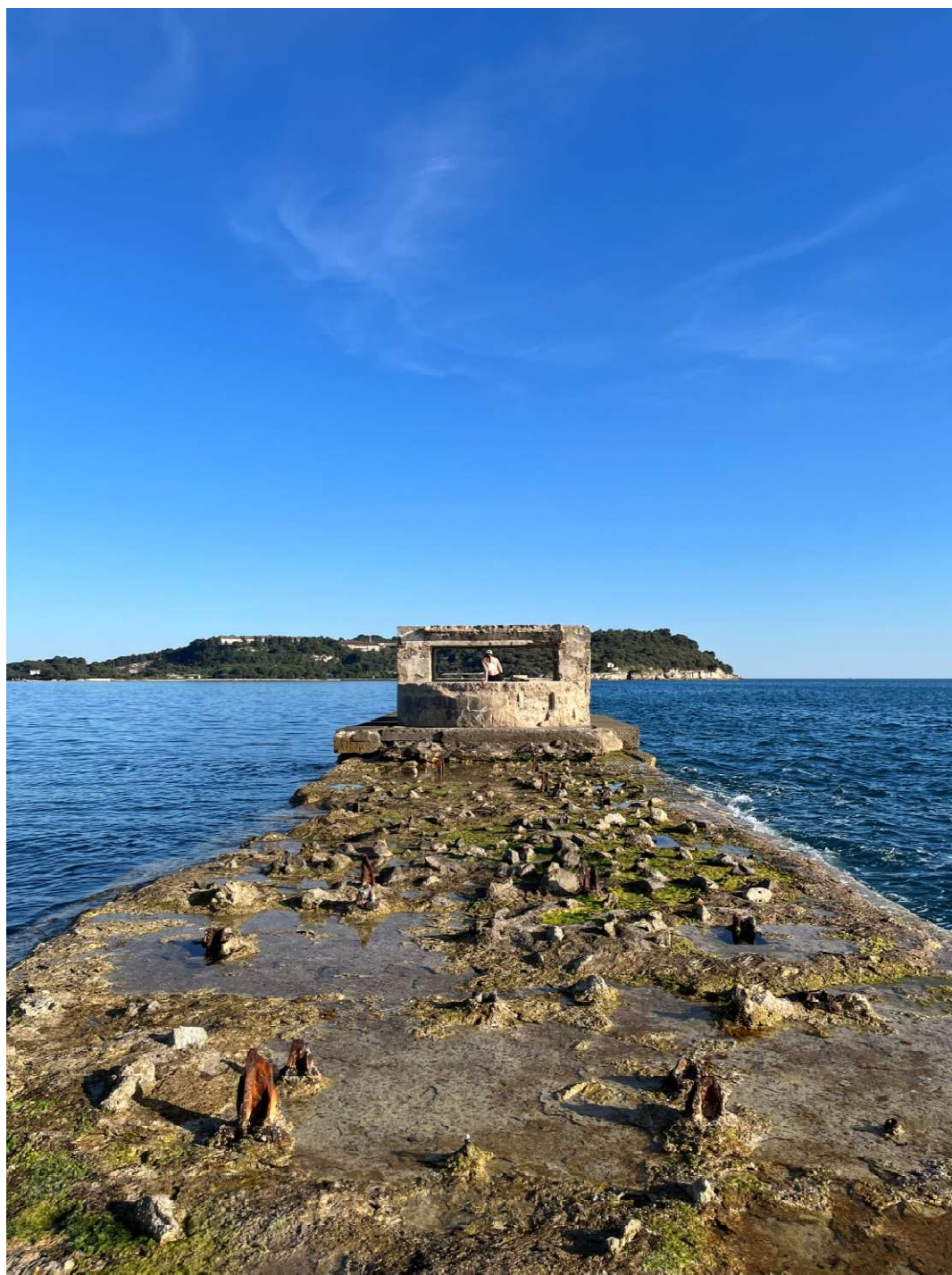
Slika 11: Armaturni čelični profili (šine) na mjestu gdje je došlo do potpunog oštećenja gornjeg sloja betona



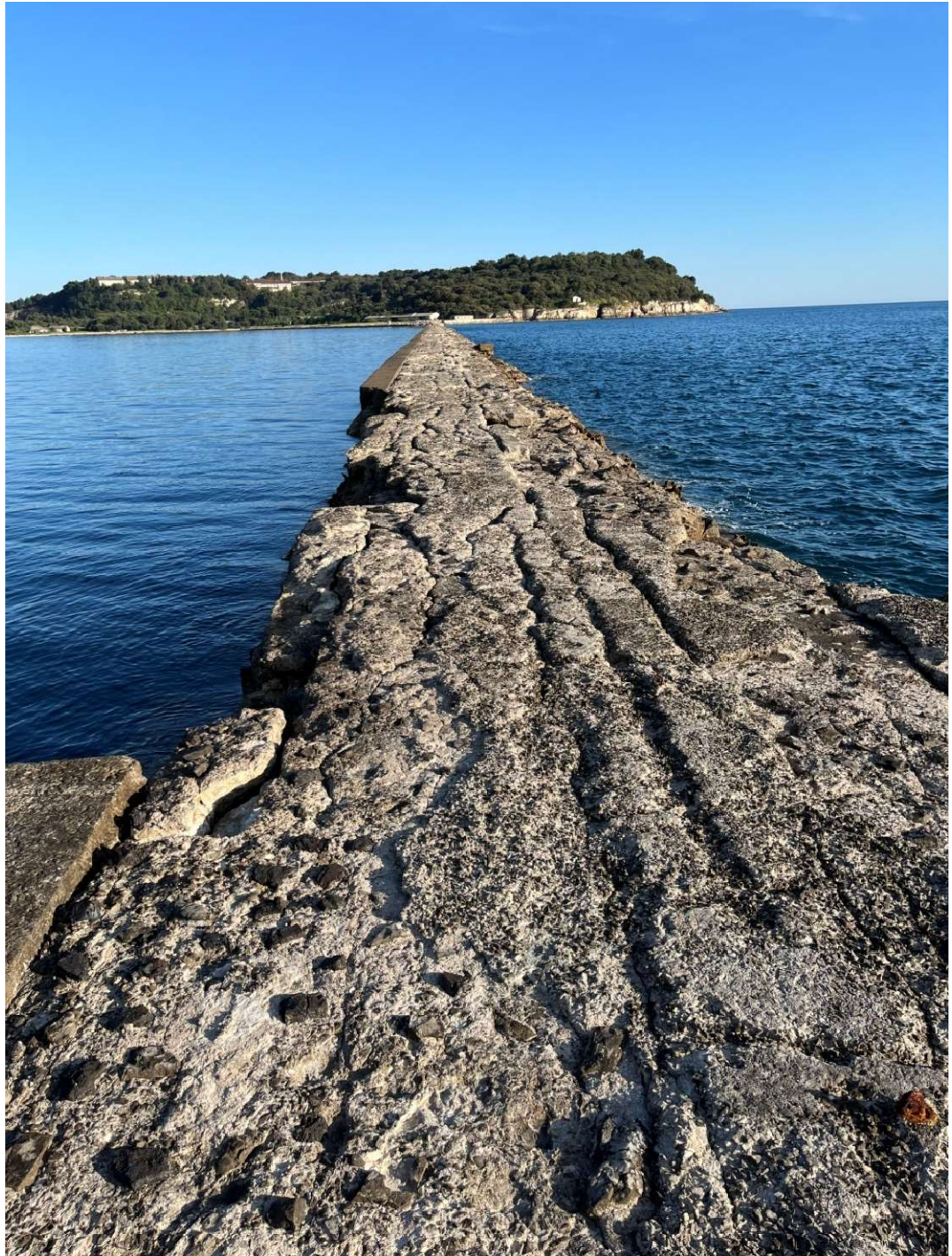
Slika 12: Detalj oštećenja na vanjskoj strani lukobrana



Slika 13: Detalj nezavršenog dijela Puskog lukobrana na stacionaži 0+720.00 m



Slika 14: Detalj sa slike 13. gledan prema korijenu lukobrana



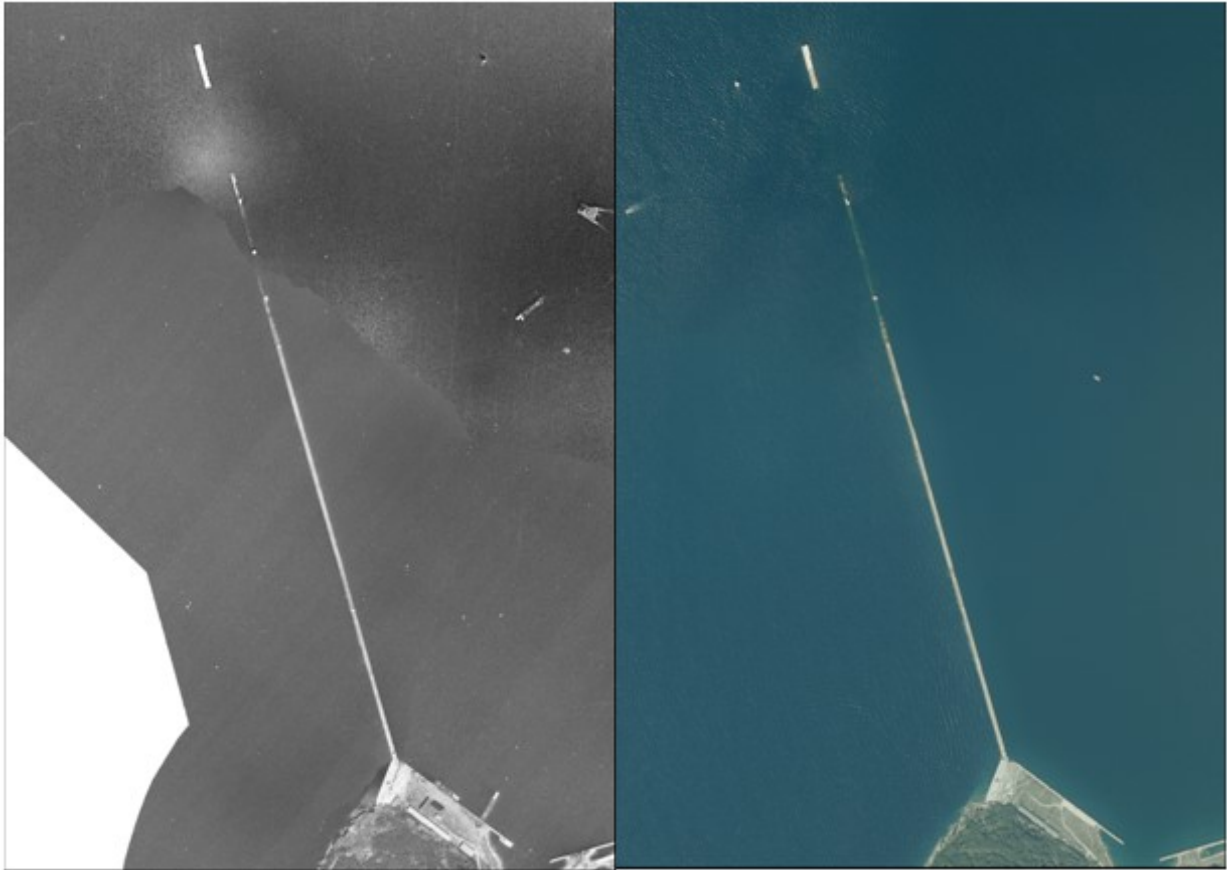
Slika 15: Vidljiva oštećenja uslijed djelovanja erozije



Slika 16: Detalj oštećenja vanjske strane lukobrana



Slika 17: Detalj korodiranih čeličnih profila



Slika 18: Stanje lukobrana prije 1968. i 2011. godine (Geoportal DGU; preuzeto 22.08.2024.)

Na prikazu (slika 18.) vidljivo je kako je kroz period od 43 godine došlo do dodatnih, ali ne i prevelikih oštećenja uslijed djelovanja erozije. Stanje lukobrana nije se previše promijenilo od 2011. do 2024. g.

U planu je bio i ronilački obilazak podmorskog dijela lukobrana kako bi se utvrdilo postojeće stanje konstrukcije ali je isti naposljetku bilo nemoguće izvesti zbog ograničenog pristupa lukobranu.

Izgled poprečni presjeka pretpostavljen je na osnovu podataka koji su bili javno dostupni u vrijeme izrade ovog diplomskog rada.

4. IDEJNO RJEŠENJE SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA

4.1 Tehnički opis

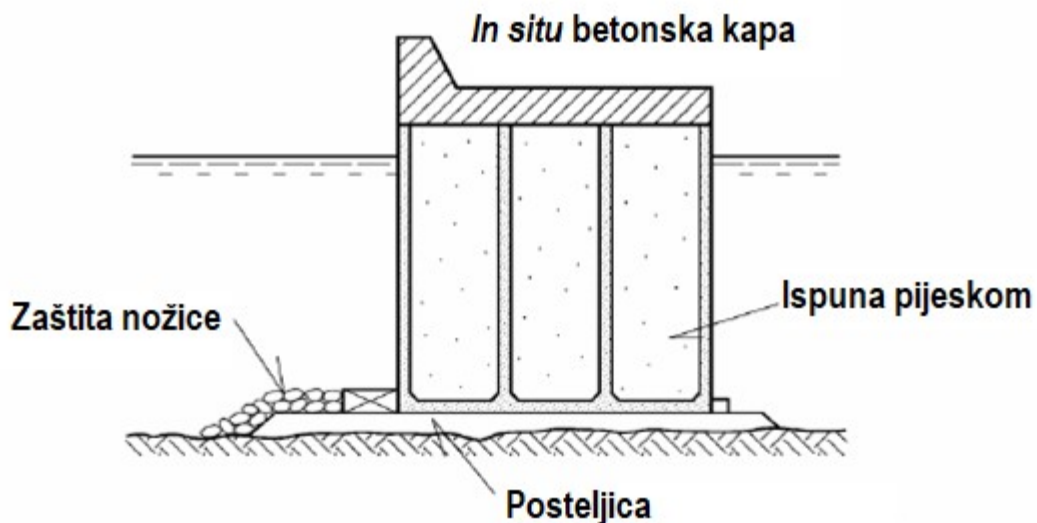
Predmetna građevina na smještena je na Rtu Kumpar na poluotoku Mužilju u Jugozapadnom dijelu Pulske luke (N 44.87648749572222, E 13.79483973634126). Konstrukcija se proteže u smjeru N-NW, gledano od korijena na Rtu Kumpar prema glavi lukobrana, u smjeru od 342 stupnja od smjera sjevera. Duljina lukobrana iznosi 1200,00 metara mjereno od korijena do tjemena, a dubina mora varira od 21 metar na korijenu, do nešto ispod 37 metara na tjemenu. Postojeća konstrukcija izvedena je kao kameni nasip do prosječne dubine od 9,00 metara na kojem je zatim izveden vertikalni lukobran s betonskim nadgrađem bez dodatnog zida. Na kruni postojeće konstrukcije nalazile su se 3 stražarske kućice od kojih je danas preostala samo jedna uslijed destruktivnog djelovanja valova kroz godine. Betonsko nadgrađe izvedeno je od kamenih blokova koji su služili kao izgubljena oplata a središnji dio (jezgra) ispunjen je betonom koji je armiran čeličnim profilima čiji presjek podsjeća na željezničke šine. Na glavi lukobrana, sa jugozapadne strane nalazi se kameno – betonsko nadgrađe koje služi kao zaštita od prelijevanja. Također, na glavi lukobrana smješten je automatizirani svjetionik zelene boje koji označava desnu stranu luke (eng. *Starboard*). Kruna je u relativno lošem stanju, dok je vanjska strana koja gleda prema otvorenom moru u vrlo lošem stanju, u odnosu na unutarnju stranu zbog djelovanja valova kroz period od jednog stoljeća. Duž krune lukobrana nalaze se čelični aneli za privez plovila koji su u vrlo lošem stanju, od kojih neki više niti ne postoje. Postojeće stanje zadovoljava provjere stabilnosti na prevrtanje i klizanje ali postoji problem prelijevanja preko krune lukobrana zbog nedostatka betonskog nadgrađa s dodatnim zidom.

Projektnim rješenjem utvrđeno je kako bi se prelijevanje moglo značajno smanjiti izvođenjem povišenja betonskog nadgrađa s dodatnim zidom. Betonsko nadgrađe povisilo bi se za 0,50 metara, dok bi dodatni zid bio visine 2,00 metra, širine 1,50 metara a izveo bi se duž čitavog jugozapadnog dijela nadgrađa lukobrana (koji gleda prema otvorenom moru). Novo projektirano stanje, također zadovoljava provjere stabilnosti na prevrtanje i klizanje, ali je prelijevanje smanjeno za gotovo 7 puta od početnog prelijevanja za postojeće stanje. Na vanjsku stranu duž čitavog lukobrana bili bi postavljeni zaštitni kameni blokovi čija je veličina utvrđena proračunom.

4.2 Proračun vertikalnog lukobrana

Kada govorimo o proračunu lukobrana, bitno je naglasiti o kakvoj se vrsti lukobrana radi. Ako govorimo o nasutim lukobranima, fokus je na disipaciji valova, dok je u slučaju vertikalnih lukobrana naglasak na refleksiji valova. U našem slučaju, radi se o proračunu vertikalnog lukobrana (slika 19.). Pri proračunu vertikalnog lukobrana, kao i za vrijeme izvođenja istog, potrebno je osigurati stabilnost same konstrukcije, predviđeni tj. proračunati vijek trajanja, kao i cijenu same konstrukcije, kako za vrijeme izvođenja tako i za redovno održavanje nakon početka upotrebe. Konstrukcija lukobrana mora podnijeti sva proračunata opterećenja i mora biti upotrebljiva, sukladno namjeni za koju je projektirana.

Klasični kesonski lukobran s vertikalnim zidom (vertikalni lukobran)



Slika 19: Shematski prikaz vertikalnog lukobrana (Predavanja iz kolegija "Obalne građevine" 2022./2023.)

Sam proračun prvenstveno ovisi o lokaciji na kojoj se planira lukobran. Neki od faktora su dubina morskog dna tj. podloge s dobrom nosivosti, intenzitet i smjer vjetrova na odabranoj lokaciji, te visina i period valova. Konstrukcija se na posljetku klasificira kao zadovoljavajuća ako ona, uz redovna održavanja dosegne projektirani

vijek godina tj. ako je u upotrebljivom stanju i održava prvotnu funkciju za koju je namijenjena za vrijeme i nakon isteka projektiranog vijeka trajanja konstrukcije.

Pri izradi proračuna u obzir uzimamo opterećenja na konstrukciju, a ona se dijele na stalna i promjenjiva. U stalna opterećenja ubrajamo vlastitu težinu konstrukcije, pritisak vode i tla na konstrukciju i raznu opremu na objektu, ako je ima. S druge strane, u promjenjiva opterećenja ulazi opterećenje valovima, vjetrom i ledom, promjena razine mora uslijed djelovanja plime i oseke, opterećenje uzrokovano promjenom temperature i uporabno opterećenje. Najbitniji segmenti proračuna zapravo su uporabno opterećenje, koje pri proračunu uvijek uzimamo kao maksimalno, bilo ono stalno ili promjenjivo, i opterećenje vjetrom. Opterećenje vjetrom je glavna smjernica za dimenzioniranje konstrukcije vertikalnog lukobrana zato što jak vjetar određenog smjera i brzine stvara valove koji imaju neku značajnu visinu i period vala, a ujedno i najveće mjerodavno opterećenje na konstrukciju.

Kod dimenzioniranja vertikalnog lukobrana moramo provesti provjere stabilnosti na prevrtanje i klizanje konstrukcije.

Provjera stabilnosti konstrukcije na prevrtanje prikazana je kao odnos momenta prevrtanja i momenta stabilnosti oko određene točke konstrukcije. Kako bi provjera zadovoljila, moment prevrtanja mora biti jednak ili manji od momenta stabilnosti. Kod momenta prevrtanja uzimamo sile koje djeluju uslijed uzgona vode i pritiska tla, dok u moment stabilnosti ulazi vlastita težina konstrukcije i težina temelja. U nastavku je prikazana formula za provjeru stabilnosti na prevrtanje.

$$F_{s,pr} = \frac{M_{st}}{M_{pr}}$$

$F_{s,pr}$ = faktor sigurnosti na prevrtanje

M_{st} = moment stabilnosti

M_{pr} = moment prevrtanja

Provjera stabilnosti konstrukcije na klizanje prikazana je kao odnos horizontalnih i vertikalnih sila u kombinaciji s trenjem. Kako bi provjera zadovoljila, vertikalne sile moraju biti veće od horizontalnih sila, koje su u proračunu klasificirane kao nepovoljne. U nastavku je prikazana formula za provjeru stabilnosti na klizanje.

$$F_{s,kliz} = \frac{\Sigma V \times \mu_{LUK-TEM}}{\Sigma H}$$

$F_{s,kliz}$ = faktor sigurnosti na klizanje

ΣV = suma vertikalnih sila

$\mu_{LUK-TEM}$ = koeficijent trenja između lukobrana i temelja lukobrana

ΣH = suma horizontalnih sila

U proračunu stabilnosti vertikalnog lukobrana za primjer Puls kog lukobrana koristiti će se metoda Goda, dimenzionirati će se veličina zaštitnog bloka nasipa vertikalnog lukobrana po metodi Madrigal i Valdes (1995.) za zaštitni nasip iz dva sloja, a visina (kota) krune vertikalnog lukobrana dimenzionirati će se na osnovu proračuna prelijevanja preko krune lukobrana po metodi iz EuroTop manuala dostupnog na poveznici na <http://www.overtopping-manual.com>.

4.3 Proračun postojećeg stanja

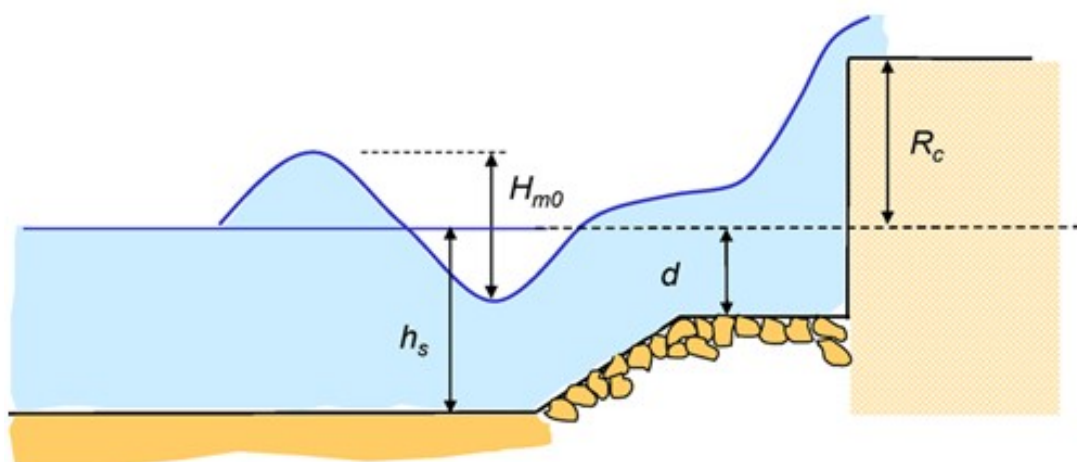
4.3.1 Proračun prelijevanja (*Overtopping*)

Proračun prelijevanja valova preko postojeće konstrukcije Pulskog lukobrana (slika 20.) proveden je prema EuroTop II (*Overtopping manual*). Proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana određuje se za najnepovoljniju realnu situaciju, koja u našem slučaju predstavlja visoku razinu mora povratnog perioda od jedne godine, VV^1 . Nju uzimamo kao mjerodavnu razinu mora zato što nije vjerojatno da će za vrijeme najveće plime istovremeno djelovati i valovi.



Slika 20: Vidljivo prelijevanje preko postojećeg lukobrana za vrijeme puhanja slabog do umjerenog vjetra jugozapadnog smjera (Garbina)

Visoka razina mora za vrijeme povratnog perioda od jedne godine preuzeta je iz Studije "Valna klima za glavni projekt sanacije lukobrana u Puli" iz prosinca 2003. godine MareCon d.o.o. Rijeka, a ona iznosi **0,79 m**. Na slici 21. u nastavku prikazane su osnovne dimenzije potrebne za proračun prelijevanja (slika 21.).

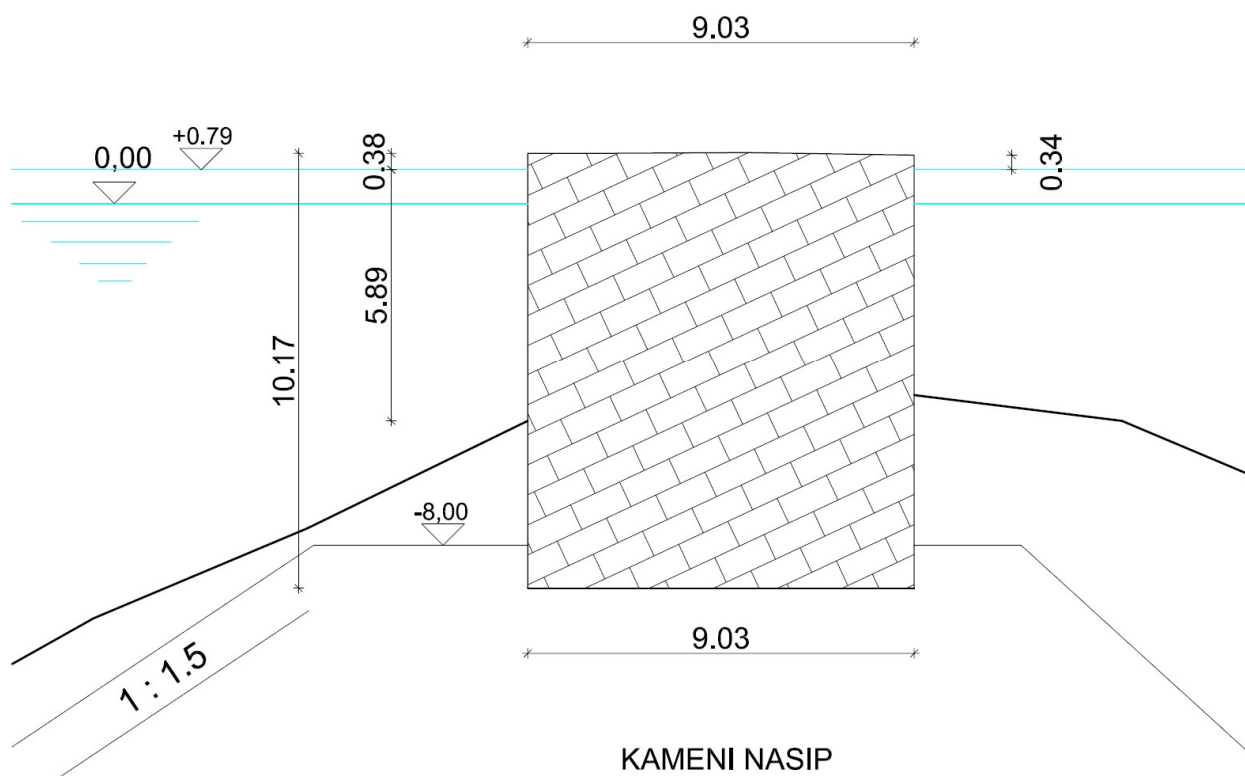


Slika 21: Shematski prikaz parametara potrebnih za proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana (EuroTop II; preuzeto 25.07.2024.)

Čitav proračun prelijevanja i stabilnosti proveden je za stacionažu 1+162.15 m koja se nalazi 37 metara od samog kraja glave lukobrana (slika 22.). Poprečni presjek za stacionažu 1+162.15 m dan je u nastavku (slika 23.).



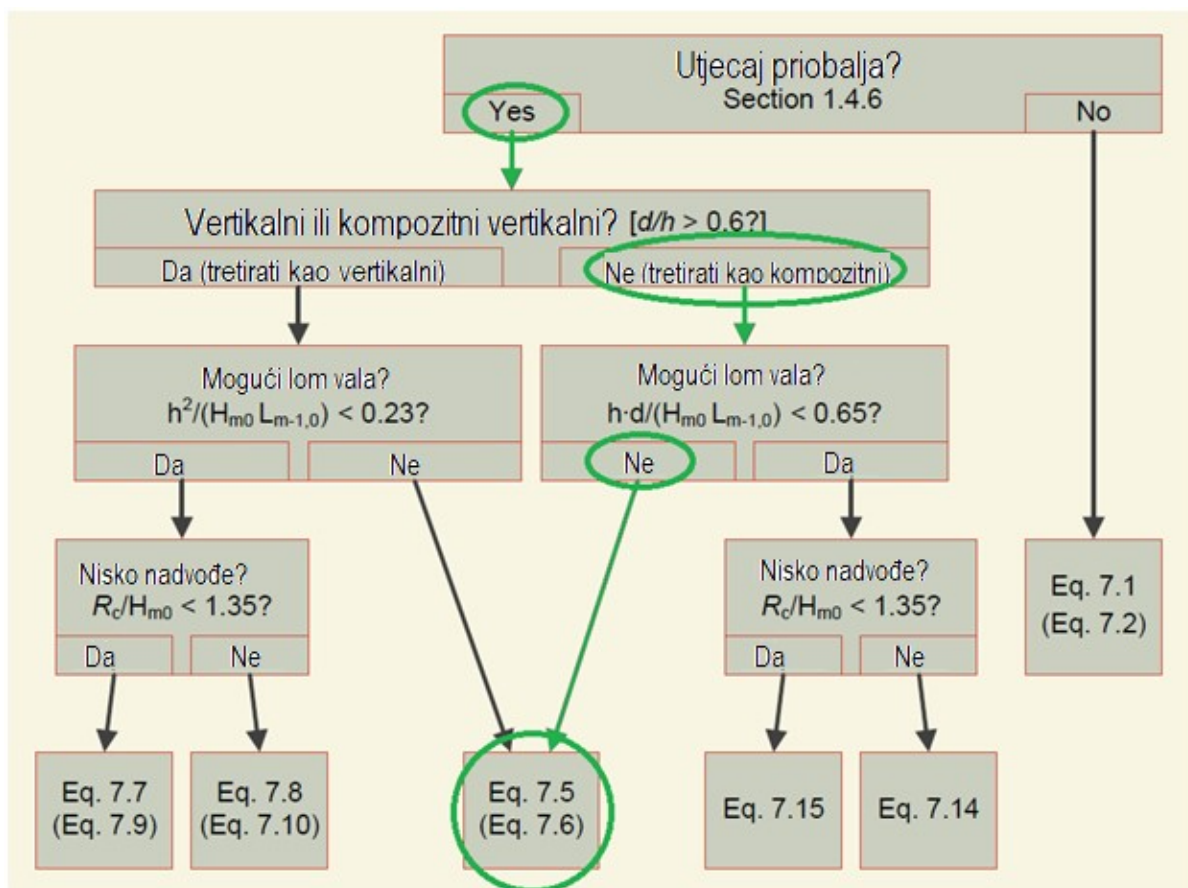
Slika 22: Postojeće stanje glave lukobrana na stacionaži 1+162.15 m za koju se vrši proračun



Slika 23: Poprečni presjek postojećeg stanja za proračun prelijevanja i stabilnosti vertikalnog lukobrana na stacionaži 1+162.15 m.

Značajna visina vala H_s uzima se kao mjerodavna visina vala H_{mo} . Preporučeno dozvoljeno prelijevanje za lukobrane iznosi 10 l/s/m^1 .

Na slici 24. u nastavku prikazan je dijagram proračuna prelijevanja vertikalnog lukobrana po EuroTop II manual-u (slika 24.).



Slika 24: Dijagram proračuna prelijevanja vertikalnog lukobrana (EuroTop II; preuzeto 25.07.2024.)

Tablica 1: Parametri za proračun prelijevanja postojećeg stanja vertikalnog lukobrana

Značajna visina vala	$H_{m0} = H_s$	3.50 m
Dužina vala ($1.56 \times T^2$)	L_s	90.10 m
Visina krune	R_c	0.38 m
Dubina mora ispred konstrukcije, na bermi	d	5.89 m
Dubina mora na nožici nasipa	h	32.00 m

Kao što je vidljivo na dijagramu proračuna (slika 24.), zbog velike dubine od 32,00 m u obzir se uzima utjecaj priobalja (eng. "influence of foreshore").

Za sekciju dijagrama u kojoj je prikazana provjera tipa lukobrana bitan je odnos dubine mora na nožici nasipa lukobrana (**h**) i dubine mora ispred lukobrana na bermi nasipa (**d**) koji nam direktno definira o kakvom se tipu lukobrana radi.

$$\frac{d}{h} = \frac{5.89}{32.00} = 0.184 < 0.6$$

Po rezultatu možemo zaključiti kako se u našem slučaju radi o kompozitnom lukobranu pa iz tog razloga nastavljamo prema sekciji dijagrama u kojoj je prikazana provjera loma vala. U našem slučaju loma vala nema, dolazimo do rubrike u kojoj nam se nude jednadžbe za proračun prelijevanja pod brojem 7.5 i 7.6. Na strani sigurnosti odabiremo jednadžbu 7.6 koja je prikazana na slici 13. u nastavku (slika 25.).

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.062 \exp\left(-2.61 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad 7.6$$

Slika 25: Mjerodavna formula za proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana (EuroTop II; preuzeto 25.07.2024.)

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.062 e^{\left(-2.61 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)}$$

$$q = 0.062 \times \sqrt{9.81 \times 3.5^3} \times e^{\left(-2.61 \frac{0.38}{3.50}\right)}$$

$$q = 960 \frac{l}{s/m^1} > 10 \text{ l/s/m}^1$$

Proračunato prelijevanje (**q**) višestruko je veće od preporučenog, proračun ne zadovoljava.

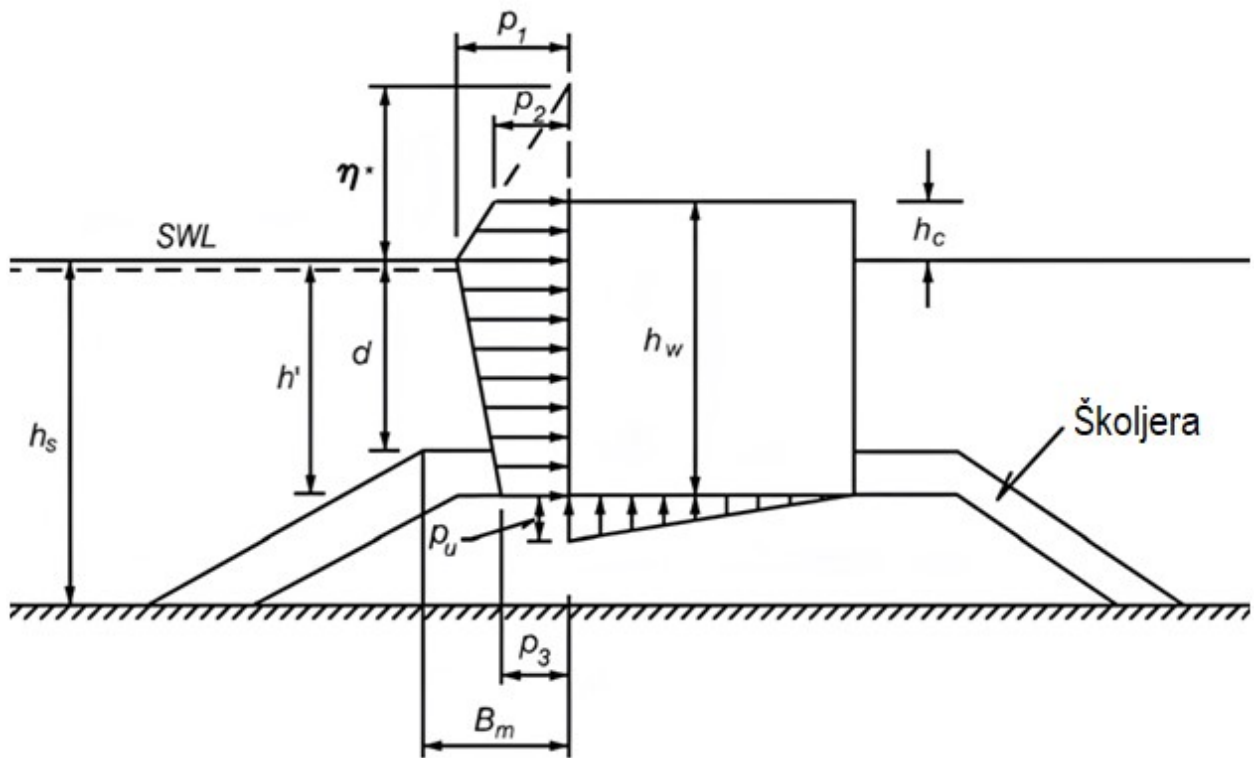
4.3.2 Proračun stabilnosti konstrukcije (Goda)

Proračun stabilnosti konstrukcije za postojeće stanje Puls kog lukobrana proveden je po metodi Goda koja je opisana u poglavlju 4.2. U tablici 2. u nastavku dane su dimenzije i parametri potrebni za proračun konstrukcije, a isti su prikazani na shematskom prikazu na slici 26.

Tablica 2: Dimenzije i parametri potrebni za proračun stabilnosti postojećeg stanja lukobrana

Širina konstrukcije lukobrana	b	9.03 m
Visina konstrukcije lukobrana	hw	10.19 m
Visina od razine mora do vrha krune	hc	0.38 m
Visina izloženog dijela konstrukcije uronjenog u more	d	5.89 m
Visina lukobrana od dna konstrukcije do razine mora	h'	9.79 m
Dubina mora	hs	32.00 m
Dubina mora na udaljenosti od 5*Hs	hb	32.00 m
Kut nailaska vala na konstrukciju u odnosu na njezinu normalu	β	0°
Značajna visina vala	Hs	3.50 m
Period vala	Ts	7.60 sek
Visina projektnog vala	Hproj (1.80*Hs) = Hdesign	6.30 m
Dužina projektnog vala	Lproj (1.56 * Ts²)	90.1 m

Kut nailaska vala na konstrukciju od 90° uzet je kao najnepovoljniji slučaj na strani sigurnosti. Zbog toga je kut nailaska vala na normalu konstrukcije lukobrana (**β**) 0°. Period vala (**Ts**) preuzet je iz literature Zorović, D., *Prilog određivanju duljine vjetrovnih valova na jadrano, "Naše more" 50(3-4)/2003.*, a za visinu vala od 3.50 m iznosi 7.60 sek. Proračun stabilnosti konstrukcije na prevrtanje i klizanje koji je dan u nastavku proveden je pomoću programskog alata Microsoft Office Excel 2007 korištenjem formula za metodu GODA s vježbi iz kolegija "Obalne građevine" (Slika 27.) .



Slika 26: Shematski prikaz dimenzija za proračun stabilnosti vertikalnog lukobrana po metodi Goda (Predavanja iz kolegija "Obalne građevine" 2022./2023.)

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta) \lambda_1 H_{design} \quad (\text{VI-5-147})$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos\beta)(\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_* \cos^2\beta) \rho_w g H_{design} \quad (\text{VI-5-148})$$

$$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right) p_1 & \text{za } \eta^* > h_c \\ 0 & \text{za } \eta^* \leq h_c \end{cases} \quad (\text{VI-5-149})$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (\text{VI-5-150})$$

$$p_u = 0.5(1 + \cos\beta) \lambda_3 \alpha_1 \alpha_3 \rho_w g H_{design} \quad (\text{VI-5-151})$$

$$\alpha_* = \alpha_2$$

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left[\frac{4\pi h_s/L}{\sinh(4\pi h_s/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \text{najmanji od } \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{design}}{d} \right)^2 \quad \text{ili} \quad \frac{2d}{H_{design}}$$

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

Slika 27: Formule za proračun parametara stabilnosti vertikalnog lukobrana po metodi Goda (Predavanja iz kolegija "Obalne građevine" 2022./2023.).

Faktori izmjene (modifikacije) λ zavise o vrsti konstrukcije. U našem slučaju radi se o konvencionalnom vertikalnom zidu stoga slijedi:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$$

Grčki simbol η^* (eta zvijezdica) predstavlja visinu od razine mora do vrha dijagrama poprečnih sila za nadmorski dio lukobrana (Slika 26.). U nastavku je dana formula za izračun vrijednosti η^* .

$$\eta^* = 0,75 \times (1 + \cos\beta) \times \lambda_1 \times H_{design}$$

$$\eta^* = 0,75 \times (1 + 1) \times 1 \times 6,30$$

$$\eta^* = 9,45 \text{ m}$$

Koeficijenti α služe nam za proračun dijagrama poprečnih sila koje djeluju na konstrukciju. U nastavku su dani izrazi za proračun koeficijenata α .

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

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 \times \left[\frac{4\pi \times 32/90,1}{\sinh(4\pi \times 32/90,1)} \right]^2$$

$$\alpha_1 = 0,605$$

$$\alpha_2 = \text{najmanji od } \frac{h_b-d}{3h_b} \left(\frac{H_{design}}{d} \right)^2 \text{ i } \frac{2d}{H_{design}}$$

$$\alpha_2 = \text{najmanji od } \frac{32-5,89}{3 \times 32} \left(\frac{6,30}{5,89} \right)^2 \text{ i } \frac{2 \times 5,89}{6,30}$$

$$\alpha_2 = 0,311$$

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

$$\alpha_3 = 1 - \frac{10,19 - 0,38}{32} \times \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \times 32/90,1)} \right]$$

$$\alpha_3 = 0,759$$

$$\alpha_* = \alpha_2 = 0,311$$

Koeficijenti p predstavljaju veličinu poprečne sile izražene u kN po dužnom metru (m').

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

$$p_1 = 0,5 \times (1 + 1) \times (1 \times 0,605 + 1 \times 0,311 \times 1) \times 1025 \times 10 \times 6,3$$

$$p_1 = 59,180 \text{ kN/m'}$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right) \times p_1$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{0,38}{9,45}\right) \times 59,180$$

$$p_2 = 56,800 \text{ kN/m'}$$

$$p_3 = \alpha_3 \times p_1$$

$$p_3 = 0,759 \times 59,180$$

$$p_3 = 44,889 \text{ kN/m'}$$

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

$$p_u = 0,5 \times (1 + 1) \times 1 \times 0,605 \times 0,759 \times 1025 \times 10 \times 6,30$$

$$\mathbf{p_u = 29,648 kN/m'}$$

Vertikalne sile računaju se kao površina poprečnog presjeka konstrukcije pomnožena sa zapreminskom težinom betona lukobrana na suhom ili uronjenog u morsku vodu, ovisno gdje se određeni dio konstrukcije nalazi. Uzgon se računa kao površina trokuta ispod konstrukcije, gdje se u izračun uzima širina poprečnog presjeka i iznos koeficijenta p_u . Horizontalne sile računaju se preko površina trokuta koje smo dobili pomoću koeficijenata p i visine η^* . U nastavku su prikazane vrijednosti horizontalnih i vertikalnih sila, zajedno s njihovim krakovima. Na osnovu tih podataka provedene su kontrole stabilnosti konstrukcije na prevrtanje i klizanje koje su prikazane u nastavku.

Tablica 3: Rezultati proračuna horizontalnih i vertikalnih sila te njihovi krakovi (postojeće stanje)

VERTIKALNE SILE	kN
G1 (kN)	82.35
G2 (kN)	1285.69
U (kN)	133.86
HORIZONTALNE SILE	kN
H1 (kN)	21.58
H2 (kN)	0.45
H3 (kN)	439.46
H4 (kN)	69.96
KRAKOVI SILA	m
KG1	4.52
KG2	4.52
KU (m)	6.020
KH1 (m)	9.980
KH2 (m)	9.917
KH3 (m)	4.895
KH4 (m)	6.527

Provjera stabilnosti konstrukcije na prevrtanje zadovoljava ako je faktor F_s veći od 1,00.

Točka prevrtanja i sve ostale dimenzije prikazane su u poglavlju Nacrti.

$$F_{s,pr} = \frac{M_{st}}{M_{pr}}$$

$$F_{s,pr} = \frac{G_1 \times KG_1 + G_2 \times KG_2}{U \times KU + H_1 \times KH_1 + H_2 \times KH_2 + H_3 \times KH_3 + H_4 \times KH_4}$$

F_{s,pr}	1.70
-------------------------	-------------

Provjera stabilnosti konstrukcije na klizanje također zadovoljava ako je faktor F_s veći od 1,00.

$$F_{s,kliz} = \frac{\Sigma V \times \mu_{LUK-TEM}}{\Sigma H}$$

$$F_{s,kliz} = \frac{(G_1 + G_2 - U) \times 0,70}{H_1 + H_2 + H_3 + H_4}$$

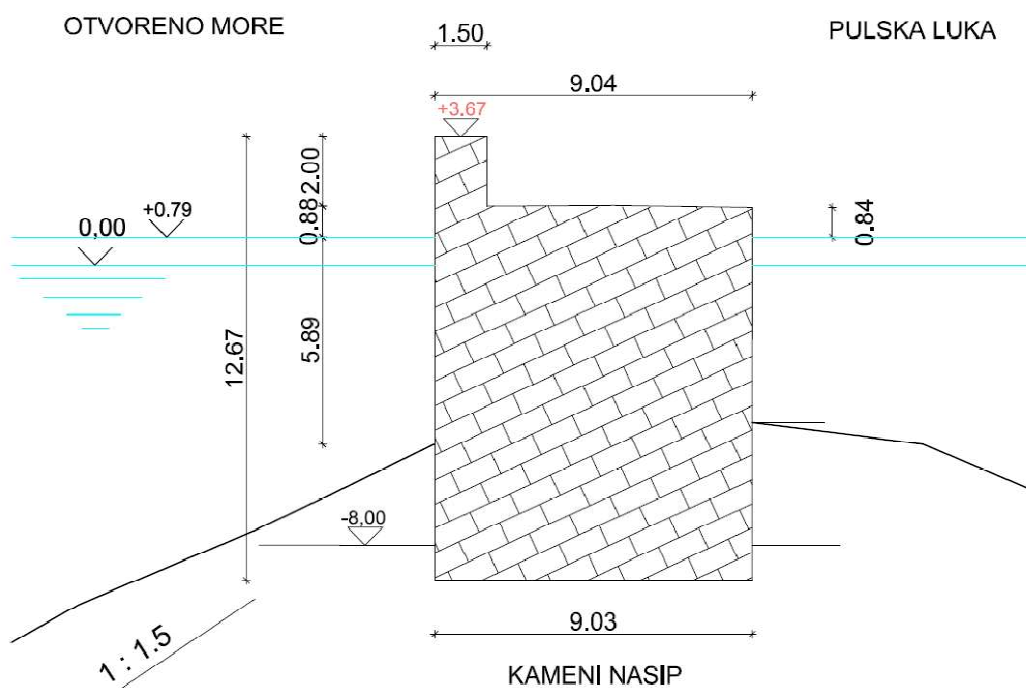


Kako je konstrukcija relativno niska za lukobran po današnjim standardima, zbog velikog prelijevanja imamo manje sile valova koje djeluju na prednje lice konstrukcije. Zbog toga su faktori stabilnosti F_s za konstrukciju puno veći nego što bi bili da je prelijevanje manje.

4.4 Proračun novog betonskog nadgrađa s parapetnim zidom

4.4.1 Proračun prelijevanja (Overtopping)

Proračun prelijevanja valova preko novog betonskog nadgrađa s betonskim zidom Pulskeg lukobrana također je proveden prema EuroTop II (Overtopping manual). Proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana određuje se za najnepovoljniju realnu situaciju, koja u našem slučaju predstavlja visoku razinu mora povratnog perioda od jedne godine, VV^1 . Nju uzimamo kao mjerodavnu razinu mora zato što nije vjerojatno da će za vrijeme najveće plime istovremeno djelovati i valovi. Visoka razina mora za vrijeme povratnog perioda od jedne godine preuzeta je iz Studije "Valna klima za glavni projekt sanacije lukobrana u Puli" iz prosinca 2003. godine MareCon d.o.o. Rijeka, a ona iznosi **0,79 m**.



Slika 28: Poprečni presjek novog stanja za proračun prelijevanja i stabilnosti vertikalnog lukobrana na stacionaži 1+162.15 m.

Značajna visina vala H_s uzima se kao mjerodavna visina vala H_{mo} . Preporučeno dozvoljeno prelijevanje za lukobrane iznosi **10 l/s/m¹**.

Tablica 4: Parametri za proračun prelijevanja vertikalnog lukobrana s betonskim nadgrađem

Značajna visina vala	$H_{m0} = H_s$	3.50 m
Dužina vala ($1.56 \times T^2$)	L_s	90.10 m
Visina krune	R_c	2.88 m
Dubina mora ispred konstrukcije, na bermi	d	5.89 m
Dubina mora na nožici nasipa	h	32.00 m

Za sekciju dijagrama u kojoj je prikazana provjera tipa lukobrana bitan je odnos dubine mora na nožici nasipa lukobrana (h) i dubine mora ispred lukobrana na bermi nasipa (d) koji nam direktno definira o kakvom se tipu lukobrana radi.

$$\frac{d}{h} = \frac{5.89}{32.00} = 0.184 < 0.6$$

Po rezultatu možemo zaključiti kako se u našem slučaju radi o kompozitnom lukobranu pa iz tog razloga nastavljamo prema sekciji dijagrama u kojoj je prikazana provjera loma vala. U našem slučaju loma vala nema, dolazimo do rubrike u kojoj nam se nude jednadžbe za proračun prelijevanja pod brojem 7.5 i 7.6. Na strani sigurnosti odabiremo jednadžbu 7.6.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.062e^{(-2.61\frac{R_c}{H_{m0}})}$$

$$q = 0.062 \times \sqrt{9.81 \times 3.5^3} \times e^{(-2.61\frac{2.88}{3.50})}$$

$$q = 148 \frac{l}{s} / m^1 > 10 l/s/m^1$$

Proračunato prelijevanje (q) veće je od preporučenog, proračun ne zadovoljava.

Odlučeno je za vrijednost veću od preporučene (10 l/s/m), ali znatno manju od postojeće (960 l/s/m).

4.4.2 Proračun stabilnosti konstrukcije (Goda)

Proračun stabilnosti konstrukcije za novo betonsko nadgrađe Pulskeg lukobrana proveden je po metodi Goda koja je opisana u poglavlju 4.2. U tablici 5. u nastavku dane su dimenzije i parametri potrebni za proračun konstrukcije.

Tablica 5: Dimenzije i parametri potrebni za proračun stabilnosti lukobrana s betonskim nadgrađem

Širina konstrukcije lukobrana	b	9.03 m
Visina konstrukcije lukobrana	hw	12.67 m
Visina od razine mora do vrha krune	hc	2.88 m
Visina izloženog dijela konstrukcije uronjenog u more	d	5.89 m
Visina lukobrana od dna konstrukcije do razine mora	h'	9.79 m
Dubina mora	hs	32.00 m
Dubina mora na udaljenosti od 5*Hs	hb	32.00 m
Kut nailaska vala na konstrukciju u odnosu na njezinu normalu	β	0°
Značajna visina vala	Hs	3.50 m
Period vala	Ts	7.60 sek
Visina projektnog vala	Hproj (1.80*Hs) = Hdesign	6.30 m
Dužina projektnog vala	Lproj (1.56 * Ts²)	90.1 m

Kut nailaska vala na konstrukciju od 90° uzet je kao najnepovoljniji slučaj na strani sigurnosti. Zbog toga je kut nailaska vala na normalu konstrukcije lukobrana (**β**) 0°. Period vala (**Ts**) preuzet je iz literature Zorović, D., *Prilog određivanju duljine vjetrovnih valova na jadrano, "Naše more" 50(3-4)/2003.*, a za visinu vala od 3.50 m iznosi 7.60 sek. Proračun stabilnosti konstrukcije na prevrtanje i klizanje koji je dan u nastavku proveden je pomoću programskog alata Microsoft Office Excel 2007 korištenjem formula za metodu GODA s vježbi iz kolegija "Obalne građevine".

Faktori izmjene (modifikacije) λ zavise o vrsti konstrukcije. U našem slučaju radi se o konvencionalnom vertikalnom zidu stoga slijedi:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$$

Grčki simbol η^* (eta zvijezdica) predstavlja visinu od razine mora do vrha dijagrama poprečnih sila za nadmorski dio lukobrana (Slika 26.). U nastavku je dana formula za izračun vrijednosti η^* .

$$\eta^* = 0,75 \times (1 + \cos \beta) \times \lambda_1 \times H_{design}$$

$$\eta^* = 9,45 \text{ m}$$

Koeficijenti α služe nam za proračun dijagrama poprečnih sila koje djeluju na konstrukciju. U nastavku su dani izrazi za proračun koeficijenata α .

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

$$\alpha_1 = 0,605$$

$$\alpha_2 = \text{najmanji od } \frac{h_b-d}{3h_b} \left(\frac{H_{design}}{d} \right)^2 \text{ i } \frac{2d}{H_{design}}$$

$$\alpha_2 = 0,311$$

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

$$\alpha_3 = 0,759$$

$$\alpha_* = \alpha_2 = 0,311$$

Koeficijenti p predstavljaju veličinu poprečne sile izražene u kN po dužnom metru (m').

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

$$p_1 = 59,180 \text{ kN/m'}$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*} \right) \times p_1$$

$$p_2 = 41,144 \text{ kN/m'}$$

$$p_3 = \alpha_3 \times p_1$$

$$p_3 = 44,889 \text{ kN/m'}$$

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

$$p_u = 29,667 \text{ kN/m'}$$

Vertikalne sile računaju se kao površina poprečnog presjeka konstrukcije pomnožena sa zapreminskom težinom betona lukobrana na suhom ili uronjenog u morsku vodu, ovisno gdje se određeni dio konstrukcije nalazi. Uzgon se računa kao površina trokuta ispod konstrukcije, gdje se u izračun uzima širina poprečnog presjeka i iznos koeficijenta p_u . Horizontalne sile računaju se preko površina trokuta koje smo dobili pomoću koeficijenata p i visine η^* . U nastavku su prikazane vrijednosti horizontalnih i vertikalnih sila, zajedno s njihovim krakovima. Na osnovu tih podataka provedene su kontrole stabilnosti konstrukcije na prevrtanje i klizanje koje su prikazane u nastavku.

Tablica 6: Rezultati proračuna horizontalnih i vertikalnih sila te njihovi krakovi (novo stanje)

VERTIKALNE SILE	
G1 (kN)	72.00
G2 (kN)	82.35
G3 (kN)	1285.69
U (kN)	133.95
HORIZONTALNE SILE	
H1 (kN)	118.50
H2 (kN)	25.97
H3 (kN)	439.75
H4 (kN)	69.81
KRAKOVI	
Kg1	8.28
Kg2	4.52
Kg3	4.52
Ku (m)	6.020
Kh1 (m)	11.230
Kh2 (m)	10.750
Kh3 (m)	4.895
Kh4 (m)	6.527

Provjera stabilnosti konstrukcije na prevrtanje zadovoljava ako je faktor F_s veći od 1,00.

Točka prevrtanja i sve ostale dimenzije prikazane su u poglavlju Nacrti.

$$F_{s,pr} = \frac{Mst}{Mpr}$$

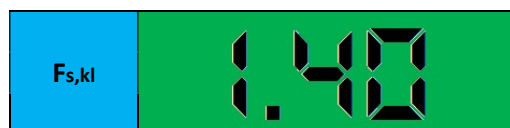
$$F_{s,pr} = \frac{G_1 \times KG_1 + G_2 \times KG_2 + G_3 \times KG_3}{U \times KU + H_1 \times KH_1 + H_2 \times KH_2 + H_3 \times KH_3 + H_4 \times KH_4}$$



Provjera stabilnosti konstrukcije na klizanje također zadovoljava ako je faktor F_s veći od 1,00.

$$F_{s,kliz} = \frac{\Sigma V \times \mu_{LUK-TEM}}{\Sigma H}$$

$$F_{s,kliz} = \frac{(G_1 + G_2 + G_3 - U) \times 0,70}{H_1 + H_2 + H_3 + H_4}$$



4.5 Dimenzioniranje veličine zaštitnog bloka nasipa

Veličina bloka zaštitnog nasipa proračunata je prema metodi Madrigal i Valdes 1995 za zaštitni nasip iz dva sloja. U nastavku je dana formula za proračun zaštitnih blokova nasipa.

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = (5.8 \frac{h_b}{h_s} - 0.6) N_{od}^{0.19}$$

H_s = značajna visina vala

$$\Delta = (\rho_s / \rho_w) - 1$$

ρ_s = gustoća kamenometa

ρ_w = gustoća morske vode

D_{n50} = ekvivalentna dužina kocke mjerodavnog bloka

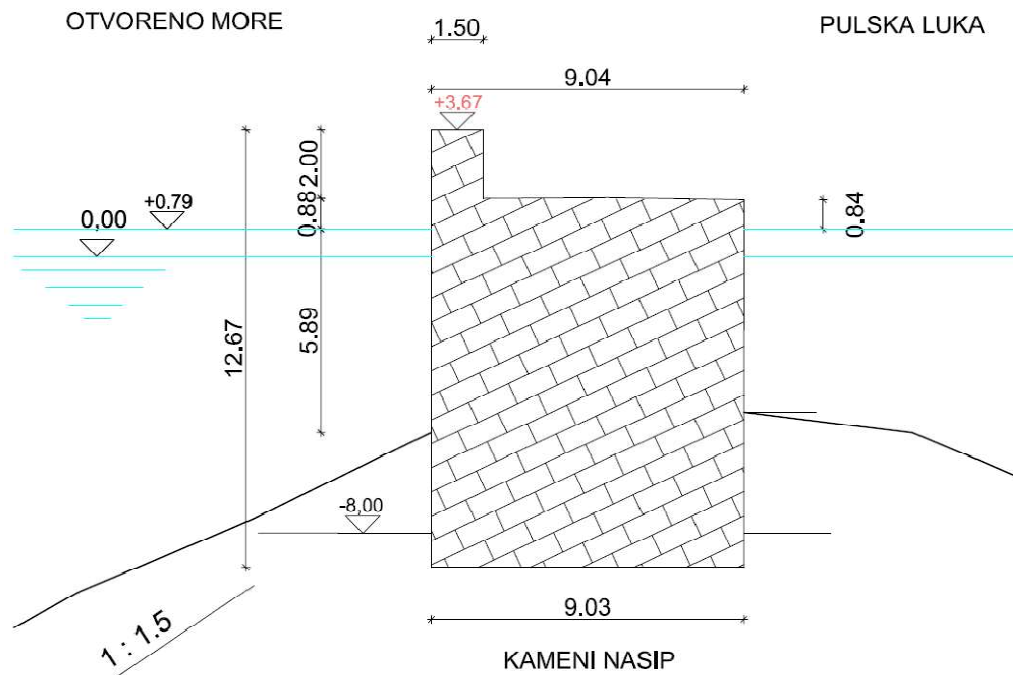
h_b = dubina berme nasipa

h_s = dubina ispred nasipa

N_{od} = broj blokova odvojenih od nasipa

$$\text{gdje je } N_{od} = \begin{cases} \mathbf{0.5} & \text{početak oštećenja} & (1-3\% \text{ jedinica razmješteno}) \\ \mathbf{2} & \text{prihvatljivo oštećenje} & (5-10\% \text{ jedinica razmješteno}) \\ \mathbf{5} & \text{veliko oštećenje} & (20-30\% \text{ jedinica razmješteno}) \end{cases}$$

Proračun se provodi za najnepovoljniju realnu situaciju – srednju razinu mora. Mala je vjerojatnost da će jugozapadni vjetar djelovati u kombinaciji s niskom razinom mora.



Slika 29: Poprečni presjek novog stanja za proračun zaštitnih blokova lukobrana na stacionaži 1+162.15 m

Tablica 7: Proračun nasipa kompozitnog vertikalnog lukobrana po metodi Madrigal i Valdes 1995

PRORAČUN NASIPA KOMPOZITNOG VERTIKALNOG LUKOBRANA – Madrigal i Valdes 1995 za dvoslojni nasip		
Značajna visina vala	H_s	3.50 m
Broj blokova odvojenih od nasipa	N_{od}	5.0
Dubina berme nasipa	h_b	9.00 m
Dubina ispred nasipa	h_s	32.00 m
Gustoća kamenometa	ρ_s	2600 kg/m ³
Gustoća morske vode	ρ_w	1025 kg/m ³
$\Delta = (\rho_s/\rho_w) - 1$	Δ	1.5
Ns	N_s	1.4
Ekvivalentna dužina kocke mjerodavnog bloka	D_{n50}	1.63 m
Masa bloka	M₅₀	11194.45 kg
Težina bloka	W₅₀	109.82 kN

Proračun po Madrigal i Valdes 1995 daje nam prevelike vrijednosti. U nastavku je proveden proračun po Hudsonovoj formuli s vjerojatnošću oštećenja od 30-40 %.

Hudsonova formula za proračun težine zaštitnog bloka primarne obloge.

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

$G_A^{50\%}$ = težina bloka primarne obloge 50%-tne zastupljenosti na granulometrijskoj krivulji materijala za oblogu pokosa uz raspon granulacije 0,75 - 1,25 $G_A^{50\%}$

ρ_m = gustoća morske vode

ρ_{obl} = gustoća mase materijala obloge (kamen vapnenac 2600 [kg/m³])

K_D = eksperimentalni koeficijent stabilnosti obloge za 0 – 5% oštećenje ovisan o tipu obložnih blokova

Tablica 8: Preporučeni koeficijenti stabilnosti K_D za dim. pokrovnog sloja nasutog lukobrana po HUDSON-u

Preporučeni koeficijent stabilnosti K_D									
Dimenzioniranje pokrovnog sloja nasutok lukobrana po HUDSON-u (no damage)									
r.br. Obloge	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		
1	Glatki	2	slučajno	1.2	2.4	1.1	1.9	1:1,5 1:3	
2	zabljeni	>3	slučajno	1.6	3.2	1.4	2.3	1:1,5 1:3	
3	Oštrobridi 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
4		>3	slučajno	2.2	4.5	2.1	4.2	1:1,5 1:3	
5		2	specijalno položeni	5.3	5.8	6.4	7.0	1:1,5 1:3	
6	Tetrapodi Quadripodi	2	slučajno	7.0	8.0	5.0	6.0	1:1,5	
						4.0	5.5	1:2	
							3.5	4.0	1:3
7	Tribari	2	slučajno	9.0	10.0	8.3	9.0	1:1,5	
						7.8	8.5	1:2	
							6.0	6.5	1:3
8	Dolosi	2	slučajno	15.8	31.8	8.0	16.0	1:2	
							7.0	14.0	1:3

Provjera loma valova

$$d \geq H_s = 3,5 \text{ m}$$

$d = 5,89 \text{ m} > 3,5 \text{ m} \rightarrow$ Ne dolazi do loma vala.

$K_D = 4.0$ za oštroidni lomljeni kamen smješten na boku valobrana; valovi koji se ne lome; nagib 1:1.5

Masa bloka primarne zaštite

$$G_A^{50\%} = \frac{\rho g H_{proj}^3}{K_D \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)^3 \text{ctg} \alpha} = \frac{2600 \cdot 9,81 \cdot 3,5^3}{4,0 \cdot \left(\frac{2600}{1025} - 1 \right)^3 \cdot 1,5} = 50237,17 \text{ N} = 50,24 \text{ kN}$$

$$M_A = G_A/g = 50237,17/9,81 = 5121,01 \text{ kg} - \text{odabrano } 5000 \text{ kg}$$

Debljina sloja primarne obloge

$$t = n \times k_{\Delta} \times \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{obl} \times g}} = 2 \times 1,00 \times \sqrt[3]{\frac{50237,17}{2600 \times 9,81}} = 2,5 \text{ m}$$

t = debljina sloja primarne obloge

n = broj blokova u sloju primarne obloge

k_{Δ} = koeficijent sloja (oštroidni kamen; koef. iznosi 1,00 za $n = 2$)

G_A = težina bloka primarne obloge

ρ_{obl} = gustoća mase materijala obloge (kamen vapnenac 2600 [kg/m³])

Tablica 9: Proračun nasutog lukobrana po Hudsonovoj formuli SPM 1977

PRORAČUN NASUTOG LUKOBRANA – Hudsonova formula SPM 1977		
Nagib kamenometa	$ctg\alpha$	1.50
Projektna visina vala H_s	H_{proj}	3.50
Mogućnost oštećenja – 10-15%	$H/H_{D=0}$	1.47
Projektna visina vala – proračun oštećenja	H_{proj}	2.38
Mjerodavni period vala	T_s	7.60 sek
Mjerodavna dužina vala	L_s	90.1 m
Gustoća kamenometa	ρ_s	2600 kg/m ³
Gustoća morske vode	ρ_w	1025 kg/m ³
Koeficijent stabilnosti	K_d	4.0
Masa bloka primarne zaštite	M_{50}	5000 kg
Težina bloka primarne zaštite	W_{50}	50,24 kN

Dimenzioniranje primarnog sloja s vjerojatnošću oštećenja 30-40%

Tablica 10: Dimenzioniranje primarnog sloja s vjerojatnošću oštećenja 30-40%

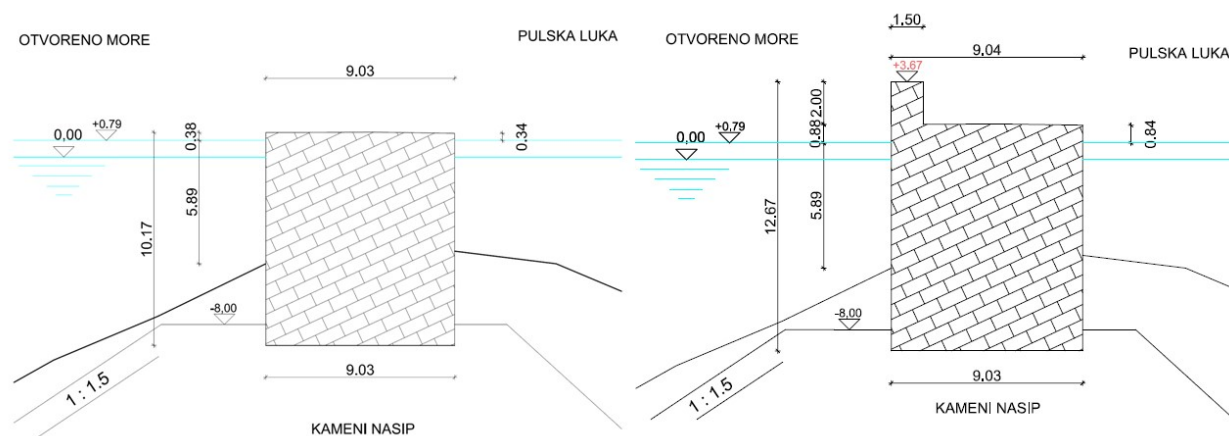
D=	(%)	H/H ₀	H _{proj-D}	(m)	G _D	(kN)
0 - 5		1.00	3.50		50.24	
30 - 40		1.47	2.38		15.79	

$$G_D^{30-40\%} = \frac{\rho g H_{proj}^3}{K_D \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)^3 ctg\alpha} = \frac{2600 \times 9,81 \times 2,38^3}{4,0 \times \left(\frac{2600}{1025} - 1 \right)^3 \times 1,5} = 15796,17 \text{ N}$$

$$= 15,79 \text{ kN}$$

5. USPOREDBA POSTOJEĆEG I PROJEKTIRANOG STANJA

U nastavku su prikazani presjeci postojećeg (lijevo) i projektiranog (desno) stanja za Pulski lukobran. U tablici 7 ispod slike 29. vidljivi su rezultati proračuna za oba slučaja. Usporedbom dobivenih rezultata dolazimo do zaključka da postojeće stanje lukobrana ima značajno manju visinu krune na strani otvorenoga mora. Po današnjim propisima za projektiranje i izvođenje lukobrana takav dizajn nebi zadovoljio, ali ga spašava činjenica da je nizak i zbog toga prolazi kontrole stabilnosti. Zbog te je smanjene visine prelijevanje preko krune gotovo 7 puta veće nego kod novog projektiranog stanja i gotovo stotinu puta veće od preporučenog po EurOtop priručniku, ali je stabilnost konstrukcije na prevrtanje i klizanje puno veća zato što su sile valova koji djeluju na lice lukobrana manje (krakovi sila su manji). Nakon perioda od 110 godina od završetka izgradnje lukobrana, možemo zaključiti kako je konstrukcija solidno izgrađena, glava je gotovo neoštećena glede funkcionalnosti, a nije došlo ni do podlokavanja temelja, što je također vrlo bitno.



Slika 30: Usporedba postojećeg poprečnog presjeka i poprečnog presjeka novog idejnog rješenja na stacionaži 1+162.15 m

Širina lukobrana ostala je nepromijenjena. Cilj te odluke bila je stavka ekonomičnosti, zato što bi širenje i dogradnja postojećeg nasipa bila vrlo skupa i zahtjevna kada govorimo o tehnologiji izvođenja, a sve to zbog velike dubine mora na mjestu na kojem je lukobran izgrađen.

Tablica 11: Usporedba rezultata proračuna postojećeg i projektiranog stanja za Pulski lukobran

	Visina kruna (Rc)	Preljevanje (q)	Fs,pr	Fs,kl	Visoka razina mora (VV ¹)
Postojeće stanje	0,38 m	960 l/s/m'	1,70	1,63	+0,79 m
Projektirano stanje	2,88 m	148 l/s/m'	1,35	1,40	+0,79 m

Preporučeno maksimalno prelijevanje po EurOtop priručniku, kao što je već spomenuto, iznosi 10 l/s/m¹, a ako bi projektirali lukobran s mogućnošću pristupa pješaka, onda bi ono bilo manje od 1 l/s/m¹. Usporedbom tih podataka s našima iz proračuna, vidljivo je da Pulski lukobran ne zadovoljava proračun s obzirom na prelijevanje.

Pri izvođenju novog stanja planirana je i sanacija svi vidljivih oštećenja na čitavoj trasi lukobrana kako bi se povećala trajnost konstrukcije.

Zbog velikog prelijevanja, konstrukcija lukobrana neće biti dostupna za vrijeme nevremena, ali niti ne mora biti, obzirom da je primarna svrha Pulskog lukobrana zaštita Pulske luke od štetnog djelovanja valova.

6. ZAKLJUČAK

Cilj izrade ovog diplomskog rada bio je detaljnije prikazati proces izrade projekta sanacije Pulskog lukobrana i pobliže dočarati koliko je isti danas zapravo oštećen i neodržavan.

Postojeća konstrukcija Pulskog lukobrana ima znatno veću vrijednost prelijevanja od 960 l/s/m^1 od preporučene, koja iznosi 10 l/s/m^1 . Usprkos tome, konstrukcija je kroz period od 110 godina opstala i dokazala da je otporna na prelijevanje, iako je ono gotovo stotinu puta veće od preporučenog. Stoga zaključujemo da je glava lukobrana solidno izgrađena, a može se zaključiti i da nije došlo ni do podlokavanja temelja.

Zbog relativno niske konstrukcije i velikog prelijevanja preko glave lukobrana, sile koje djeluju na prednje lice konstrukcije znatno su manje, stoga su faktori stabilnosti F_s za konstrukciju puno veći nego što bi bili da je prelijevanje manje tj. da je konstrukcija viša, kao što je slučaj kod novog stanja. Prelijevanje za novo stanje, koje iznosi 148 l/s/m^1 neće uvelike utjecati na funkcionalnost konstrukcije zato što ono igra bitnu ulogu kod pretovara tereta, mehanizacije, vezanih plovila i pješaka. Pulski lukobran prvenstveno služi kao obrambena građevina na kojoj nema pretovara tereta, mehanizacije, plovila niti pješaka. Za usporedbu možemo uzeti maksimalno prelijevanje koje EurOtop priručnik preporuča kada govorimo o sigurnosti pješaka, a ono iznosi manje od 1 l/s/m^1 . Zaključujemo kako je prelijevanje na Pulskom lukobranu gotovo 150 puta veće od preporučenog glede sigurnosti pješaka. Zbog toga pristup lukobranu za vrijeme većeg nevremena neće biti moguć, a i ne mora biti, obzirom na njegovu funkcionalnost.

Građevina kao što je Pulski lukobran trebala bi biti prioritet kada govorimo o održavanju i zaštiti postojećih objekata iz razloga što, uz svoju povijesnu važnost kao funkcionalan spomenik iz doba Austro-Ugarske Monarhije, ima i bitnu ulogu u zaštiti Pulske luke od štetnog djelovanja valova tijekom cijele godine.

Iako na prvi pogled proces sanacije i revitalizacije čitavog lukobrana izgleda skup i iznimno zahtjevan, on je zapravo neznatan u odnosu na čitav proces izgradnje takvog lukobrana od samog početka tj. od nule. Da smo u situaciji da lukobran ne postoji, proces izgradnje takvog objekta u današnje vrijeme imao bi enormnu cijenu, a predstavljao bi i veliki izazov glede logistike, organizacije gradnje i izbora same tehnologije gradnje. Dobivanje materijala za gradnju, prvenstveno kamenih blokova, predstavljalo bi veliki problem jer je danas puno teže otvoriti kamenolom u neposrednoj blizini Pulske luke, iz više razloga koji se tiču zaštite okoliša i turizma kao glavne gospodarske grane u Republici Hrvatskoj.

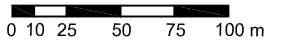
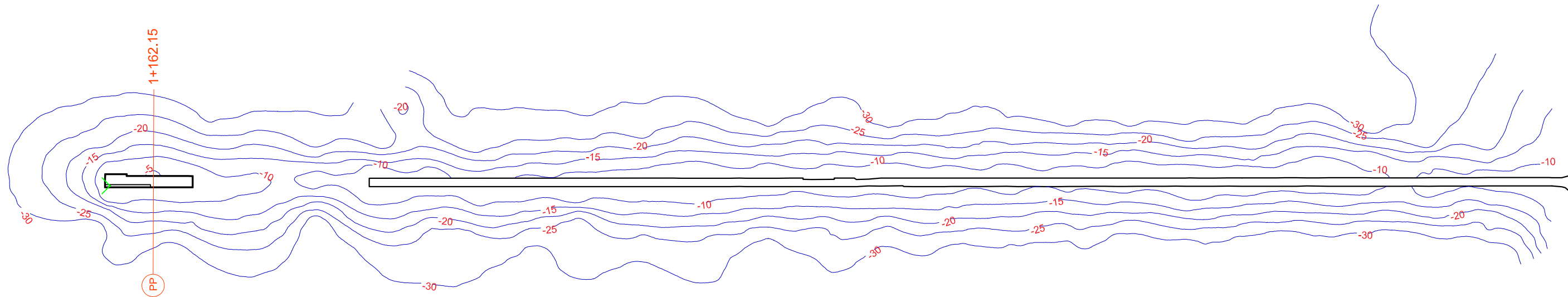
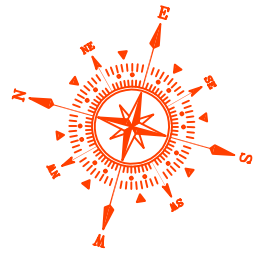
Smatram da je očuvanje Pulskog lukobrana ključno jer on predstavlja prepoznatljivi simbol grada Pule, štiti Pulsku luku od štetnog djelovanja valova i struja te ima veliku povijesnu važnost kao objekt koji je potpomogao razvoju Pulske ratne luke u ono vrijeme, i kakva je ostala do danas.

7. LITERATURA

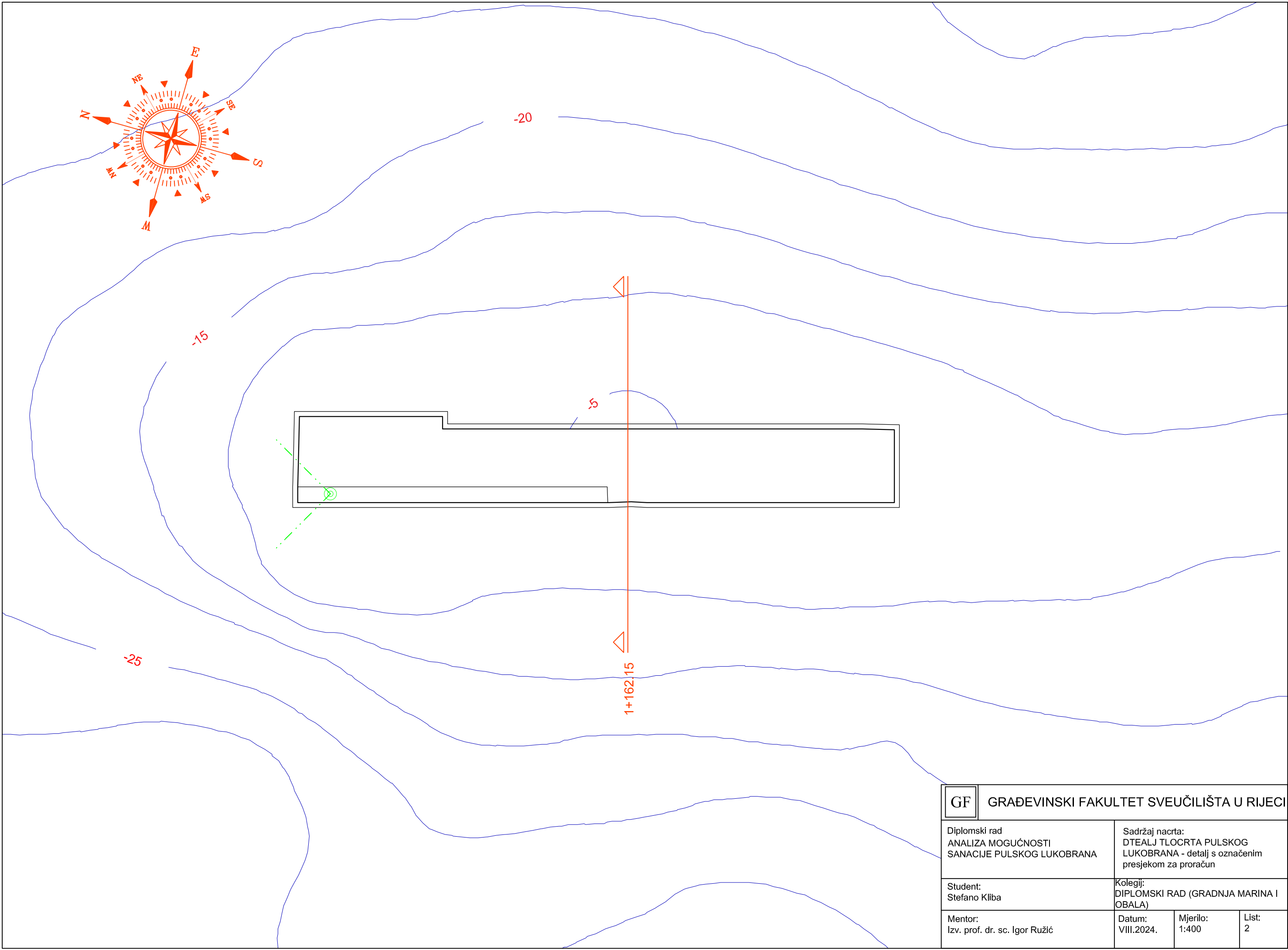
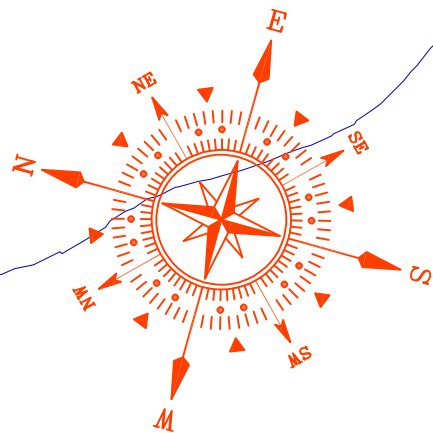
- 1) Perović, B., Luka Pula austrougarskog doba, Lučka uprava Pula, Pula, 2003.
- 2) Ružić, I., predavanja iz kolegija Obalne građevine, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 2022/2023.
- 3) Pršić, M., predavanja iz kolegija Plovni putevi i luke 6.8 dio, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2011.
- 4) garbin. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 2.6.2024. <https://enciklopedija.hr/clanak/garbin>
- 5) OverTopping manual, Pristupljeno 14.7.2024. <http://www.overtopping-manual.com>

8. NACRTI

I.	Situacijski prikaz.....	M 1:3500
II.	Detalj Pulskog lukobrana – detalj s označenim presjekom za pror.....	M 1:400
III.	Poprečni presjek – postojeće stanje.....	M 1:200
IV.	Poprečni presjek – novo stanje.....	M 1:200
V.	Skica s proračunskim dimenzijama – postojeće stanje.....	M 1:200
VI.	Skica s proračunskim dimenzijama – postojeće stanje.....	M 1:200
VII.	Dijagrami unutarnjih sila – postojeće stanje.....	M 1:200
VIII.	Dijagrami unutarnjih sila – novo stanje.....	M 1:200



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA	Sadržaj nacrt: SITUACIJSKI PRIKAZ		
Student: Stefano Kliba	Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)		
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić	Datum: VIII.2024.	Mjerilo: 1:3500	List: 1



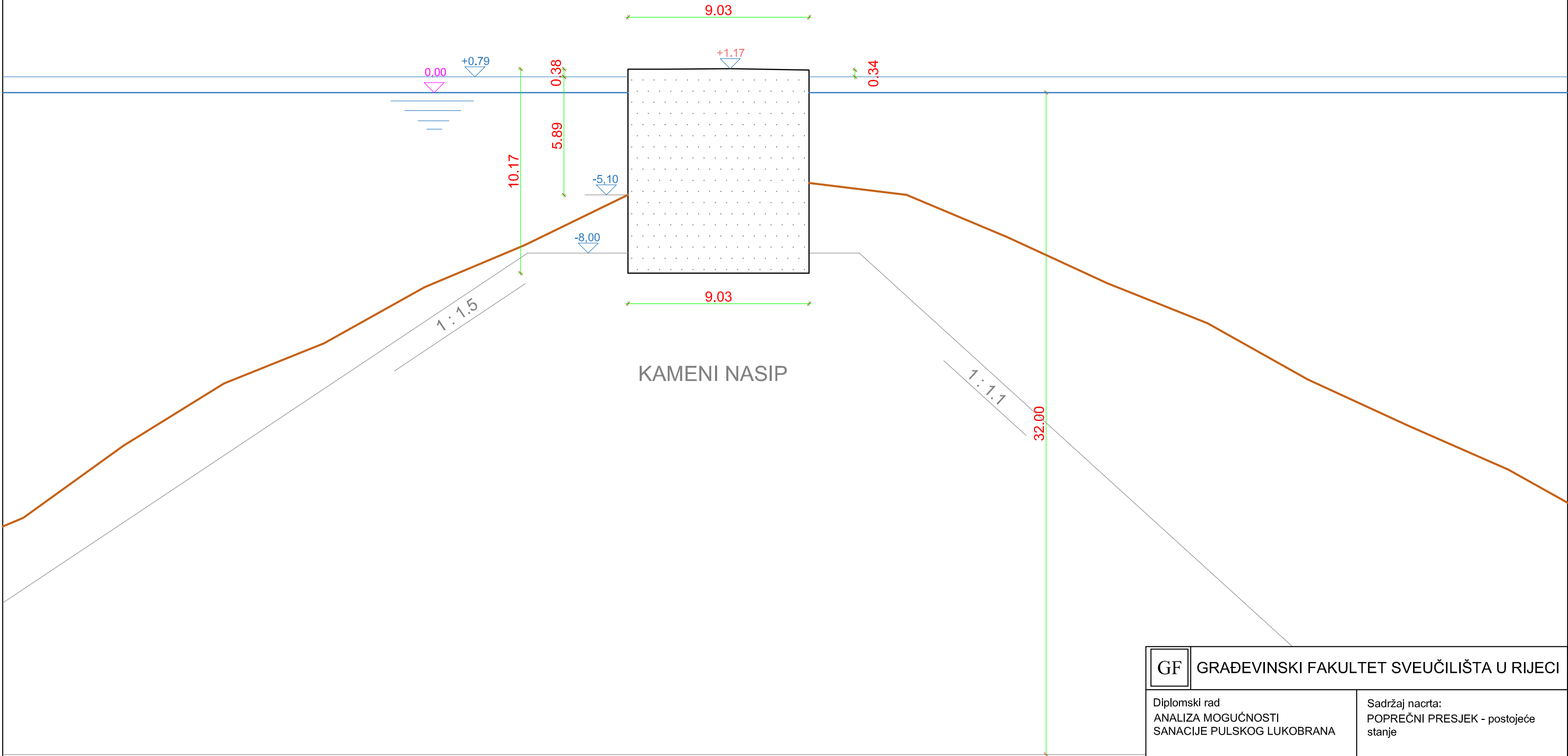
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA		Sadržaj nacrt: DTEALJ TLOCRTA PULSKOG LUKOBRANA - detalj s označenim presjekom za proračun	
Student: Stefano Kliba		Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)	
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić	Datum: VIII.2024.	Mjerilo: 1:400	List: 2

LEGENDA:

- PRVOBITNA PROJEKTIRANA LINIJA NASIPA
- POSTOJEĆA / IZVEDENA LINIJA NASIPA

OTVORENO MORE

PULSKA LUKA



KAMENI NASIP

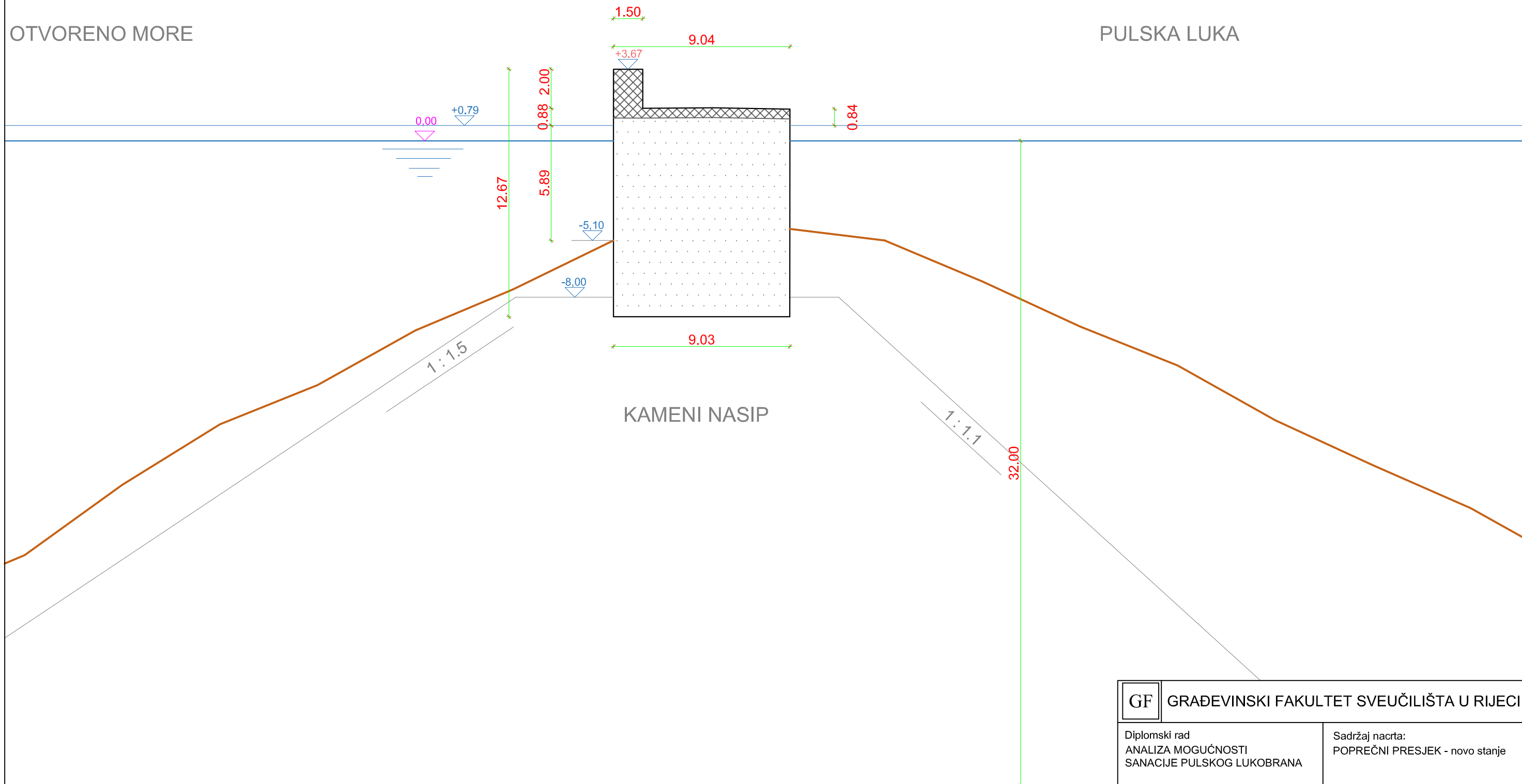
<p>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</p>			
<p>Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA</p>		<p>Sadržaj nacrt: POPREČNI PRESJEK - postojeće stanje</p>	
<p>Student: Stefano Kliba</p>		<p>Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)</p>	
<p>Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić</p>		<p>Datum: VIII.2024.</p>	<p>Mjerilo: 1:200</p>
			<p>List: 3</p>

LEGENDA:

- PRVOBITNA PROJEKTIRANA LINIJA NASIPA
- POSTOJEĆA / IZVEDENA LINIJA NASIPA

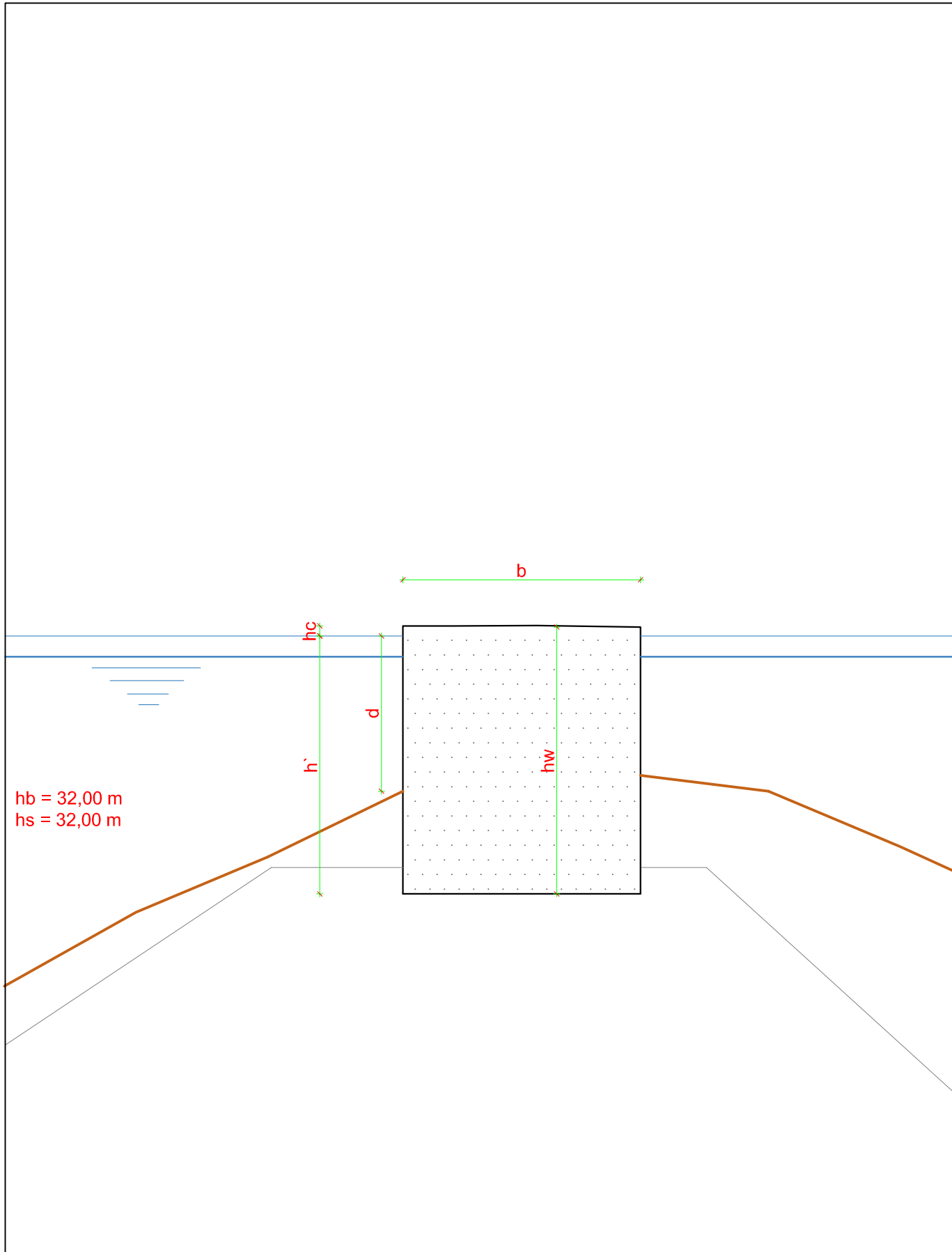
OTVORENO MORE

PULSKA LUKA

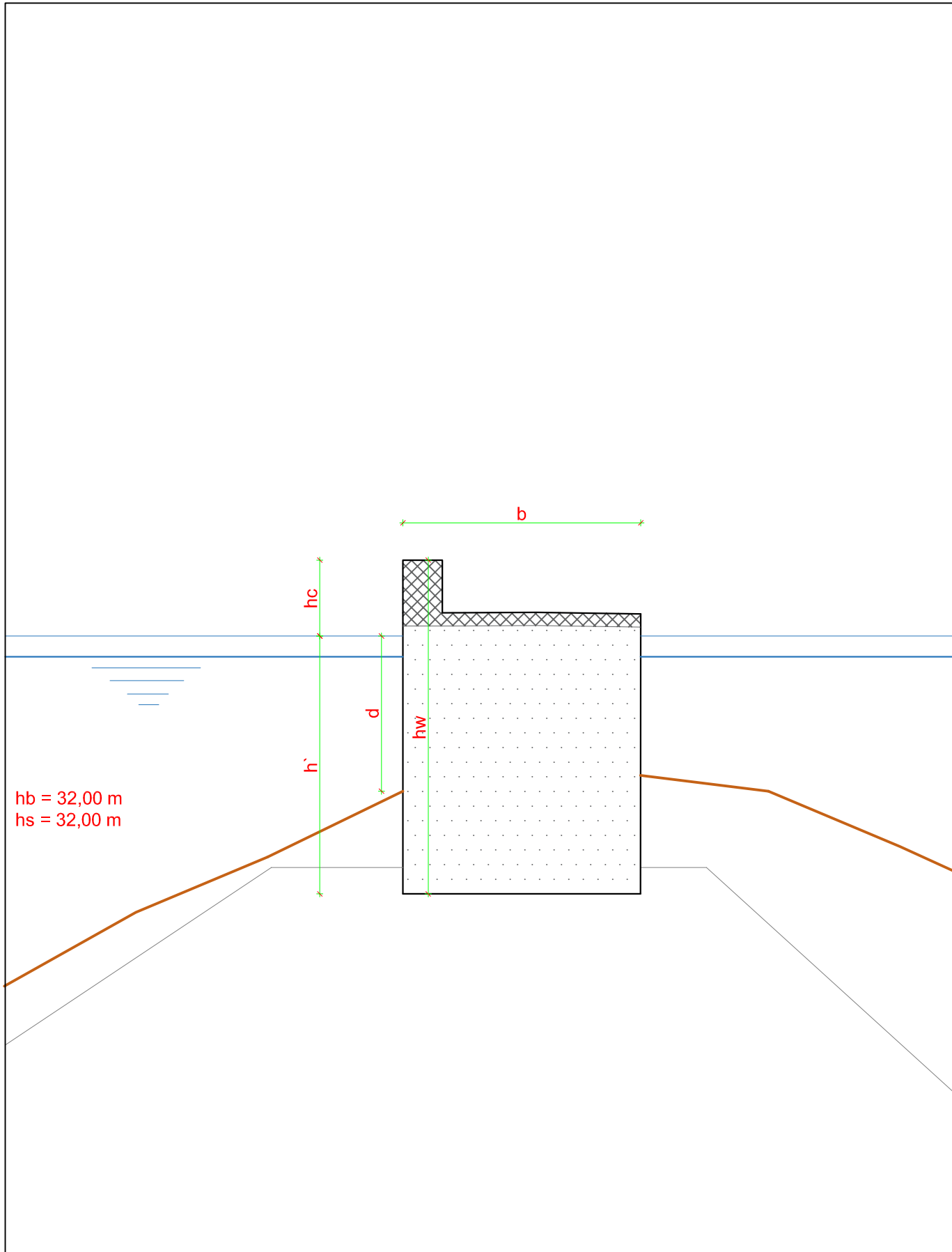


KAMENI NASIP

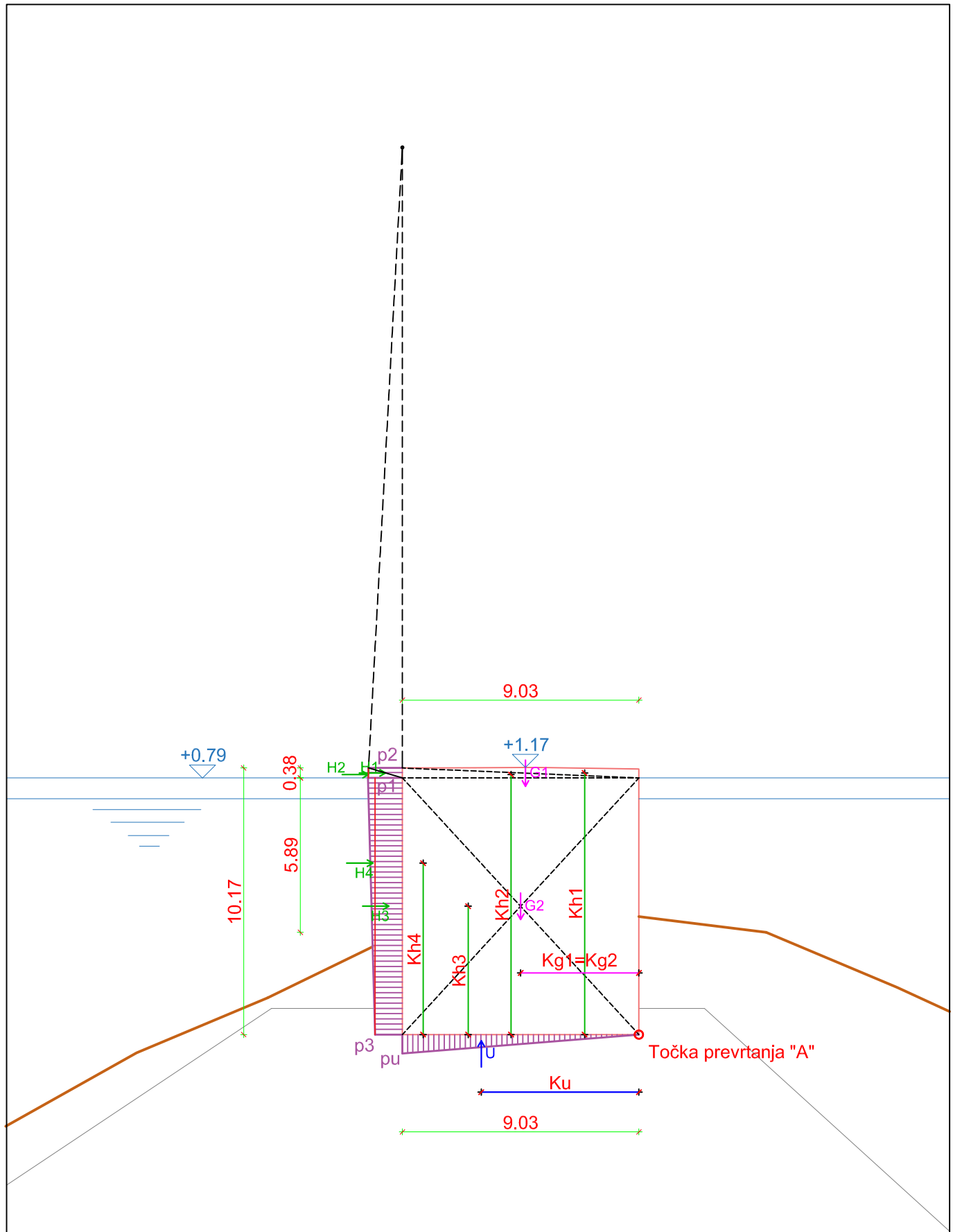
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA		Sadržaj nacrt: POPREČNI PRESJEK - novo stanje	
Student: Stefano Kliba		Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)	
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić	Datum: VIII.2024.	Mjerilo: 1:200	List: 4



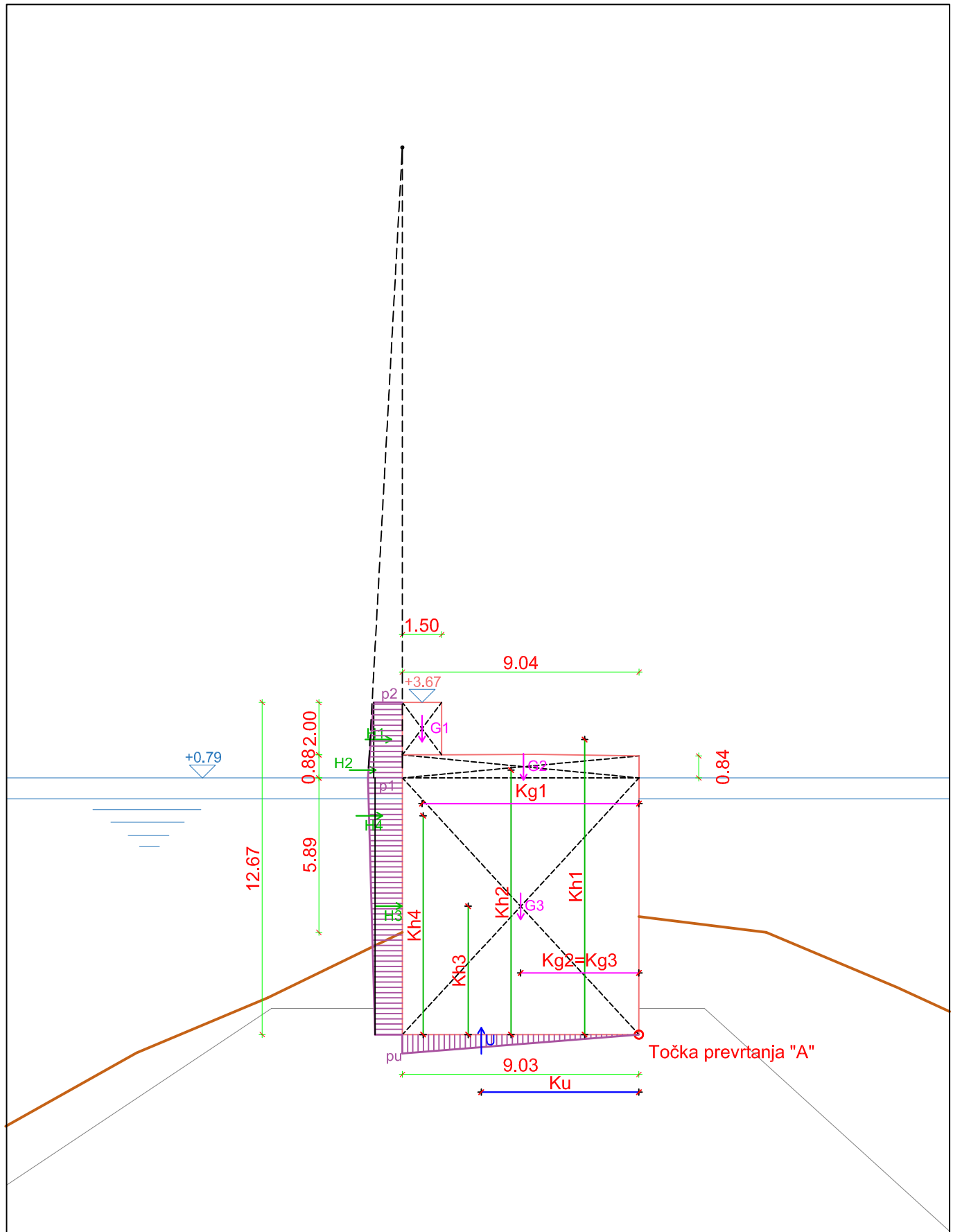
<table border="1"> <tr> <td>GF</td> <td colspan="3">GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</td> </tr> </table>				GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI						
Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA		Sadržaj nacрта: SKICA S PRORAČUNSKIM DIMENZIJAMA - postojeće stanje					
Student: Stefano Kliba		Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)					
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić		Datum: VIII.2024.	Mjerilo: 1:200				
			List: 5				



<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 30px; height: 20px;">GF</td> <td style="padding-left: 5px;"> GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI </td> </tr> </table>				GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI
GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI				
Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA		Sadržaj nacрта: SKICA S PRORAČUNSKIM DIMENZIJAMA - novo stanje			
Student: Stefano Kliba		Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)			
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić		Datum: VIII.2024.	Mjerilo: 1:200		
			List: 6		



<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">GF</td> <td colspan="3">GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI</td> </tr> </table>				GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI						
Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA		Sadržaj nacrtā: DIJAGRAMI UNUTARNJIH SILA - postojeće stanje					
Student: Stefano Klība		Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)					
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić		Datum: VIII.2024.	Mjerilo: 1:200				
			List: 7				



<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 5px;">GF</div> <div> GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI </div> </div>			
Diplomski rad ANALIZA MOGUĆNOSTI SANACIJE PULSKOG LUKOBRANA		Sadržaj nacрта: DIJAGRAMI UNUTARNJIH SILA - novo stanje	
Student: Stefano Kliba		Kolegij: DIPLOMSKI RAD (GRADNJA MARINA I OBALA)	
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić		Datum: VIII.2024.	Mjerilo: 1:200
			List: 8