

Analiza isplativosti izgradnje različitih tipova lukobrana na istočnoj obali Jadranskog mora

Krnjus, Izabela

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:157:190321>

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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

Izabela Krnjus

Analiza isplativosti izgradnje različitih tipova lukobrana na istočnoj obali

Jadranskog mora

Diplomski rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Diplomski sveučilišni studij
Inženjerstvo obalnih građevina**

**Izabela Krnjus
JMBAG: O114026326**

**Analiza isplativosti izgradnje različitih tipova lukobrana na istočnoj obali
Jadranskog mora
Diplomski rad**

Rijeka, srpanj 2019.

ZAHVALA

Ovim se putem želim zahvaliti mentoru dr.sc. Ninu Krvavici na pomoći pri izradi diplomskog rada.

Posebno se želim zahvaliti svojoj obitelji, prijateljima i kolegama za svaku pomoć i veliku podršku tijekom studiranja.

Sažetak

Tema ovog rada je analiza troškova izvedbe nasutih, vertikalnih i kompozitnih lukobrana pri značajnim visinama vala od 2.0, 2.5, 3.0 i 3.5 m te na dubinama mora od -10.0, -15.0, -20.0, -25.0 i -30.0 m. Rad se sastoji od dva dijela – prvog teoretskog dijela i drugog dijela u kojem su dimenzionirani navedeni lukobrani na način da zadovoljavaju uvjete stabilnosti i prelijevanja te su zatim uspoređeni. U prvom su dijelu prvo opisane vrste lukobrana, te tehnologija izvedbe onih koji se najčešće grade. Nakon toga su dani uvjeti koje lukobrani moraju zadovoljavati glede prelijevanja, kao i dopuštene vrijednosti preljevnog protoka. U drugom je dijelu detaljnije prikazan proračun dva reprezentativna lukobrana, a rezultati proračuna ostalih lukobrana prikazani su samo tablično. Na kraju su rezultati prikazani dijagramima kako bi se lakše mogli usporediti. Ovisno o povećanju visine vala ili dubine prikazana je tendencija rasta troškova izvedbe pojedinog lukobrana te je predložena najisplativija vrsta lukobrana pri određenoj visini vala i dubini mora.

Ključne riječi:

Nasuti lukobran, vertikalni lukobran, kompozitni lukobran, prelijevanje, visina vala, kruna lukobrana

Abstract

The topic of this work is cost analysis of rubble mound breakwaters, vertical and composite breakwaters according to different conditions defined by significant wave heights of 2.0, 2.5, 3.0 and 3.5 m and water depths of -10.0, -15.0, -20.0, -25.0 and -30.0 m. This work consists of two parts. First part is theoretical and in the second part breakwaters are designed according to conditions of stability and overtopping and then compared. First part describes different types of breakwaters, construction aspects and conditions for tolerable overtopping. In the second part, a detail calculation is presented for two representative breakwaters, and calculation results for remaining breakwaters are shown tabularly. Calculation results are shown in diagrams so they can be easily compared, and correlation between costs between wave heights and water depths is presented at the end. Also, most economical breakwater type is proposed for a given wave height and water depth.

Keywords:

Rubble mound breakwater, vertical breakwater, composite breakwater, overtopping, wave height, breakwater crown

Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	VRSTE LUKOBRANA	2
2.2.	Odvojeni lukobrani.....	2
2.3.	Nasuti lukobrani.....	3
2.4.	Vertikalni lukobran.....	4
2.5.	Kompozitni lukobrani.....	6
3.	TEHNOLOGIJA GRADNJE LUKOBRANA.....	8
3.2.	Gradnja nasutih lukobrana.....	8
3.2.1.	Struktura nasutog lukobrana	8
3.3.	Gradnja vertikalnog lukobrana.....	12
3.3.1.	Utjecaj mora na armiranobetonsku konstrukciju lukobrana	13
3.3.2.	Ugradnja betona pod morem i podmorski iskopi	14
4.	DIMENZIONIRANJE LUKOBRANA.....	19
4.1.	Dimenzioniranje nasutih lukobrana	19
4.2.	Dimenzioniranje vertikalnih i kompozitnih lukobrana	22
4.3.	Dimenzioniranje obalnog zida s unutarnje strane nasutog lukobrana	24
5.	PRELIJEVANJE VALOVA PREKO LUKOBRANA.....	25
5.1.	Preljevanje preko nasutog lukobrana	29
5.2.	Preljevanje preko vertikalnog lukobrana	32
5.3.	Preljevanje preko kompozitnog lukobrana	34
5.4.	Dopušteno preljevanje	35
6.	REZULTATI	37
6.1.	Proračun nasutog lukobrana	37
6.2.	Proračun obalnog zida.....	49
6.3.	Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana	54
6.4.	Troškovi izvedbe lukobrana.....	77
6.4.1.	Troškovi izvedbe nasutih lukobrana u kombinaciji s obalnim zidom.....	78
6.4.2.	Troškovi izvedbe vertikalnih/kombiniranih lukobrana	80
7.	DISKUSIJA REZULTATA.....	84
8.	ZAKLJUČAK	94
9.	LITERATURA.....	96

Popis slika

Slika 1: Odvojeni višestruki lukobran, UK [8]

Slika 2: Karakteristični poprečni presjek nasutog lukobrana [8]

Slika 3: Karakteristični presjek nasutog lukobrana [7]

Slika 4: Perforirani lukobran u Francuskoj [3, 10]

Slika 5: Perforirani lukobrani u Japanu [3]

Slika 6: Vertikalni (lijevo) i horizontalni (desno) kompozitni tip [3]

Slika 7: Nasuti lukobran od predgotovljenih betonskih elemenata [9]

Slika 8: Vrste predgotovljenih betonskih elemenata [11]

Slika 9: Lukobran obložen antiferima (lijevo) i tetrapodima (desno) [1]

Slika 10: Dubokovodni tip nasutog lukobrana [12]

Slika 11: Nasipavanje pomoću maone [12]

Slika 12: Nasipavanje pomoću utovarivača i konvejera [12]

Slika 13: Utjecaji mora, valova i mijena na AB konstrukciju [12]

Slika 14: Betoniranje u pličaku [12]

Slika 15: Betoniranje kontraktor postupkom [12]

Slika 16: Pre-pak betoniranje [12]

Slika 17: Plovna dizalica s grabilicom [12]

Slika 18: Povlačno jaružalo [12]

Slika 19: Plovno jaružalo [12]

Slika 20: Raspodjela slojeva u poprečnom profilu nasutog lukobrana, prema [13]

Slika 21: Djelovanja na vertikalni lukobran po metodi Goda [13]

Slika 22: Bullnose na vertikalnom lukobranu [1]

Slika 23: Visina run-upa [1]

Slika 24: Mirno prelijevanje [1]

Slika 25: Nejednoliko, prskajuće prelijevanje [1]

Slika 26: Prelijevanje preko krune nasutog lukobrana, [1]

Slika 27: Prelijevanje preko vertikalnog/kompozitnog lukobrana [1]

Slika 28: Selekcijski graf za predviđanje prelijevanja preko vertikalnog i kompozitnog lukobrana, prema [1]

Slika 29: Poprečni presjek nasutog lukobrana

Slika 30: Opterećenja koja djeluju na obalni zid

Slika 31: Nasuti lukobran u kombinaciji s obalnim zidom

Slika 32: Skica kompozitnog lukobrana

Slika 33: Dijagram promjene mase primarne obloge povećanjem visine vala

Slika 34: Dijagram promjene kote krune povećanjem visine vala

Slika 35: Dijagram promjene visine zidića kompozitnog lukobrana povećanjem visine vala (za slučaj kada nema loma vala)

Slika 36: Dijagram promjene visine zidića kompozitnog lukobrana povećanjem visine vala (za slučaj kada dolazi do loma vala)

Slika 37: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -10.0 m

Slika 38: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -15.0 m

Slika 39: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -20.0 m

Slika 40: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -25.0 m

Slika 41: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -30.0 m

Slika 42: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 2,0$ m

Slika 43: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 2,5$ m

Slika 44: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 3,0$ m

Slika 45: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 3,5$ m

Slika 46: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala $H_s = 2,0$ m

Slika 47: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala $H_s = 2,5$ m

Slika 48: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala $H_s = 3,0$ m

Slika 49: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala $H_s = 3,5$ m

Popis tablica

Tablica 1: preporučeni koeficijent stabilnosti K_D [11]

Tablica 2: Vrijednost koeficijenta sloja k_Δ [11]

Tablica 3: Vrijednosti faktora Υ_f [1]

Tablica 4: Klasifikacija protoka prelijevanja, prema [1]

Tablica 5: Ograničenja prelijevanja valova ovisno o vrsti obalne građevine, prema [1]

Tablica 6: Ograničenja prelijevanja za osiguranje sigurnosti iza obalne građevine, prema [1]

Tablica 7: Konstante korištene pri proračun nasutih lukobrana

Tablica 8: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 2,0$ m

Tablica 9: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 2,5$ m

Tablica 10: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 3,0$ m

Tablica 11: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 3,5$ m

Tablica 12: Proračun obalnog zida

Tablica 13: Konstante za proračun obalnog zida

Tablica 14: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.0$ m

Tablica 15: Proračun prelijevanja i količine materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.0$ m

Tablica 16: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.0$ m

Tablica 17: Proračun prelijevanja i količine materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.0$ m

Tablica 18: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.5$ m

Tablica 19: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.5$ m

Tablica 20: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.5$ m

Tablica 21: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.5$ m

Tablica 22: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

Tablica 23: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

Tablica 24: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

Tablica 25: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

Tablica 26: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

Tablica 27: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

Tablica 28: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

Tablica 29: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

Tablica 30: Cijene materijala za izvedbu lukobrana

Tablica 31: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 2,0$ m

Tablica 32: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 2,5$ m

Tablica 33: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

Tablica 34: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

Tablica 35: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2$ m te dubine -10, -15 i -20 m

Tablica 36: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2$ m te dubine -25 i -30 m

Tablica 37: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2,5$ m te dubine -10,-15,-20 m

Tablica 38: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2,5$ m te dubine -25 i -30 m

Tablica 39: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3$ m te dubine -10,-15 i -20 m

Tablica 40: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3$ m te dubine -25 i -30 m

Tablica 41: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3,5$ m te dubine -10,-15,-20 m

Tablica 42: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3,5$ m te dubine -25 i -30 m

1. UVOD

Obalne građevine su građevine izgrađene na granici kopna i mora, a služe za zaštitu akvatorija te prijelaz ljudi i dobara iz plovila na kopno i obratno. Ujedno se grade i u svrhu obrane luka i ostalih infrastruktura od utjecaja valova, a samim time i od poplavlivanja i erodiranja. Naime, kada val koji se približava obali udari u neku vrstu obalne građevine, on se razbija i energija mu se disipira. Na taj je način osigurano mirno područje unutar luke koju građevina štiti. Neke od tih građevina mogu biti odvojene od obale, no uglavnom su s obalom spojene i čine cjelinu. Postoji više vrsta obalnih građevina, no pojam valobrana označuje opći naziv svih konstrukcija koji služe za obranu od valova. Tako u kategoriju valobrana spada i lukobran, a najčešće ga se može vidjeti u obliku vertikalnog zida, nasipa obloženog kamenim ili betonskim elementima ili pak kao njihovu kombinaciju. Dakle, lukobran i valobran imaju približno istu konstrukciju, ali su im funkcije različite. [1, 2, 4, 5]

Kako bi se izbjegle moguće štete ili čak katastrofe, važno je lukobran pravilno projektirati i izgraditi sagledavajući pritom sve aspekte utjecaja na lukobran. Tako se prilikom projektiranja u obzir mora uzeti ne samo stabilnost konstrukcije već i dopušteno prelijevanje preko lukobrana.

Cilj ovoga rada je usporediti troškove izvedbe različitih lukobrana kako bi se mogao definirati najisplativiji tip lukobrana ovisno o dubini mora i visini valova. Kako bi se postigao navedeni cilj, u sklopu ovog diplomskog rada provest će se niz proračuna nasutih i kombiniranih lukobrana za raspon različitih dubina mora i visina valova te odrediti količina materijala potrebna za njihovu izvedbu. Pritom, kako bi se različiti tipovi lukobrana mogli usporediti, isti će se dimenzionirati uz kriterij zadovoljavanja dopuštenog prelijevanja preko izgrađene konstrukcije.

2. VRSTE LUKOBRANA

Lukobran je konstrukcija koja štiti luke i marine od velikog vjetra i visokih valova te tako omogućuje mirno mjesto u kojem se plovila mogu sigurno sidriti. Osim kao zaštita od vjetra i valova, lukobran služi i kao zaštita od pronosa marinskog sedimenta te struja. Obično se grade 100 do 600 m udaljeni od obale. Mogu biti jednostruki – sastavljeni od jednog neprekinutog dijela ili višestruki – sastavljeni od više manjih lukobrana s prolazom između njih. Prema položaju mogu biti paralelni ili okomiti na obalu, ovisno o potrebama i mogućnostima. Tlocrtno gledano, lukobrani mogu biti jednostrani ili dvostrani, a sastoje se od korijena – mjesta gdje su spojeni s kopnom, trupa i glave. Kod odvojenih lukobrana korijen ne postoji već je takav lukobran sastavljen od trupa i dvije glave [6]. Operativni lukobran ima proširenu funkciju – osim što štiti od valova, struja i nanosa, s lučke strane ima i izgrađenu obalu na koju se mogu vezivati brodovi [12]. U nastavku su kratko objašnjene neke specifične vrste lukobrana.

2.2. Odvojeni lukobrani

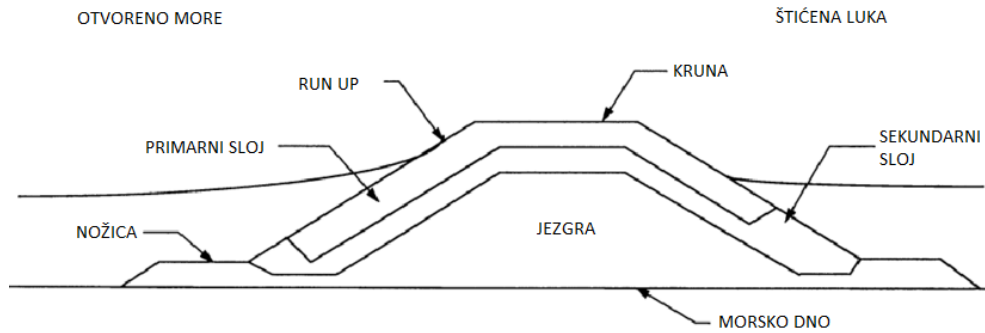
Odvojeni lukobran je građevina koja nema nikakvog fizičkog kontakta s obalom. Uglavnom se gradi paralelno u odnosu na obalu, a cilj njezine izgradnje je ponajviše spriječiti odnošenje sedimenta. S druge strane, takva se vrsta lukobrana može graditi i u svrhu disipacije energije valova, odnosno kako bi se spriječilo da velika energija vala dospije u štice područje poput plaža. [3] Na slici 1 je prikazan odvojeni višestruki lukobran u Elmeru, UK.



Slika 1: Odvojeni višestruki lukobran, UK [8]

2.3. Nasuti lukobrani

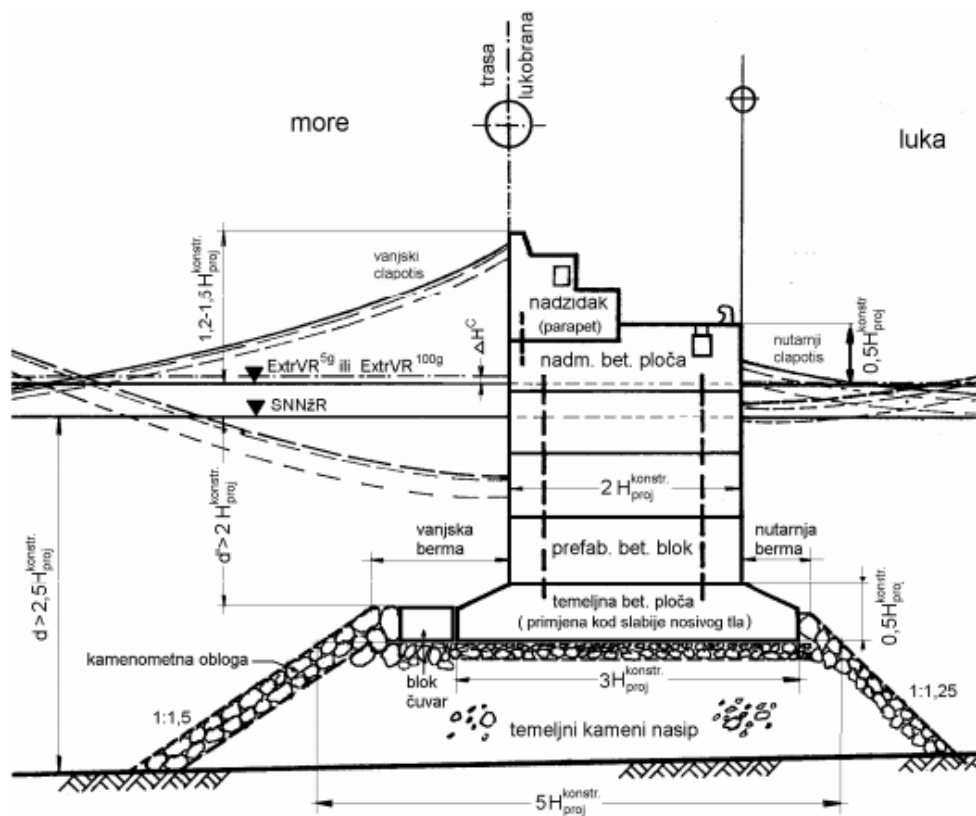
Razlikujemo više vrsta nasutih obalnih građevina no u kontekstu lukobrana najčešće je to nasip obložen velikim i teškim kamenim ili betonskim elementima te će se za potrebe ovog rada pod pojmom nasuti lukobran podrazumijevati baš takav tip konstrukcije. Takav se lukobran sastoji od 3 dijela: jezgre, filtarskog sloja i vanjskog sloja od kamenih ili betonskih jedinica. Nasuti lukobran ima trapezni poprečni presjek, a izvodi se u nagibima od 1:1 do 1:3, ovisno koji se materijal koristi [6]. Nagibi se mogu izvesti kontinuirano ili pak razlomljeno, izvedbom bermi. Povoljan je za izgradnju kod manjih dubina i ako privez brodova nije predviđen [7]. Na slici 2 je karakteristični poprečni presjek nasutog lukobrana. Postupak dimenzioniranja nasutog lukobrana detaljnije je opisan u poglavlju 6.



Slika 2: Karakteristični poprečni presjek nasutog lukobrana [8]

2.4. Vertikalni lukobran

Vertikalni lukobran može biti u obliku vertikalnog betonskog zida ili se pak može sastojati od betonskih blokova koji su postavljeni jedan na drugog ili jedan pored drugog u pravilnom poretku formirajući tako masivni vertikalni zid. Obzirom da su bočne stranice takvog lukobrana ravne, omogućuje privez plovila, a i zauzima malo prostora. Pogodan je za izvedbu pri velikim dubinama jer je kod takvih dubina isplativiji nego nasuti tip. Zbog mogućnosti izvedbe predgotovljenih elemenata, relativno se brzo gradi. Mana mu je ipak to što reflektira valove pa se plovila uz njega otežano kreću i uplovljavaju u luku. Osim toga, nije fleksibilan kod slijeganja, a i javljaju se velika oštećenja i gubitak stabilnosti ako se prekorače projektni uvjeti. Također se javlja problem ako tlo nije dovoljno nosivo za velike težine koje imaju blokovi. [7] Na slici 3 je karakteristični presjek vertikalnog lukobrana, a dimenzioniranje je detaljnije opisano u poglavlju 6.



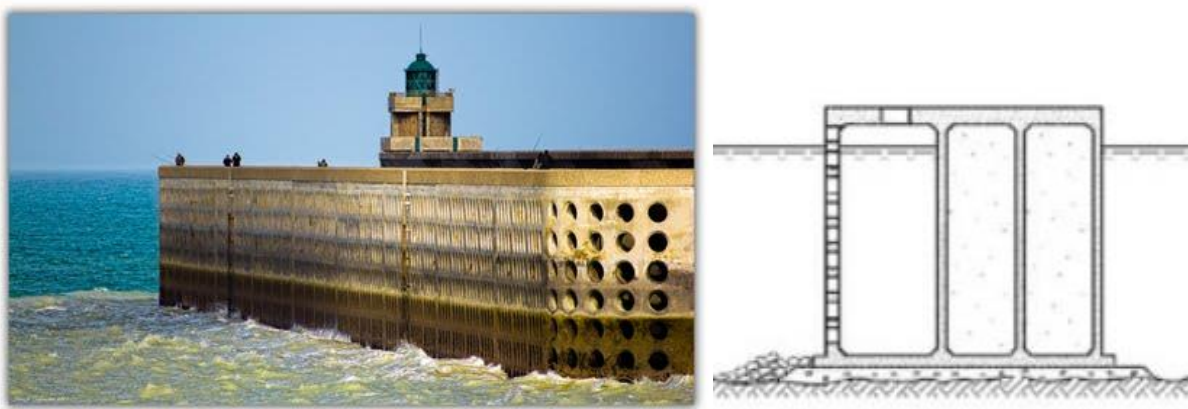
Slika 3: Karakteristični presjek nasutog lukobrana [7]

Postoji više vrsta vertikalnog lukobrana, ali ih se generalno može podijeliti prema načinu gradnje. Tako razlikujemo vertikalne lukobrane izgrađene od kesona, od blokova, perforirane lukobrane, polukružne, dvocilindrične ili pak vertikalne lukobrane u kombinaciji s nasipom. [3]

Kesonski lukobrani se djelovanju vala odupiru vlastitom težinom i težinom ispune. Za plitke vode nisu isplativi, ali zato povećanjem dubine postaju puno isplativiji. Katkad se ispred kesona postavlja dodatni nasip od kamenog materijala kako bi on apsorbirao energiju vala te tako sačuvao kesone. Ipak, u takvom se slučaju može pojaviti neželjeno prelijevanje. [6]

Kod lukobrana sačinjenih od blokova je izrazito bitno da je podloga od čvrstog kamena kako bi došlo do čim manjeg slijeganja. Blokovi se slažu jedan na drugi i to bez preklopa što omogućuje diferencijalno slijeganje. Nakon što nastupi slijeganje, dio iznad mora se betonira što poveže blokove i izravna diferencijalno slegnute elemente. [6]

Perforirani lukobrani su posebni tip kesonskih lukobrana koji na strani nailaska vala imaju rupe ili proreze kroz koje voda ulazi u komore kesona. Na taj se način disipira energija valova, a osim toga dosta dobro utječu i na okoliš jer je vodi omogućeno stalno cirkuliranje. Na slici 4 su perforirani lukobran u Dieppe, Francuska. Sličnog je izgleda i polukružni perforirani lukobran u Japanu prikazan na slici 5. Izvedbom takvog lukobrana se je dobila lagana konstrukcija za tamošnje slabo nosivo tlo, a postigao se veliki efekt disipacije energije. [3]



Slika 4: Perforirani lukobran u Francuskoj [3, 10]

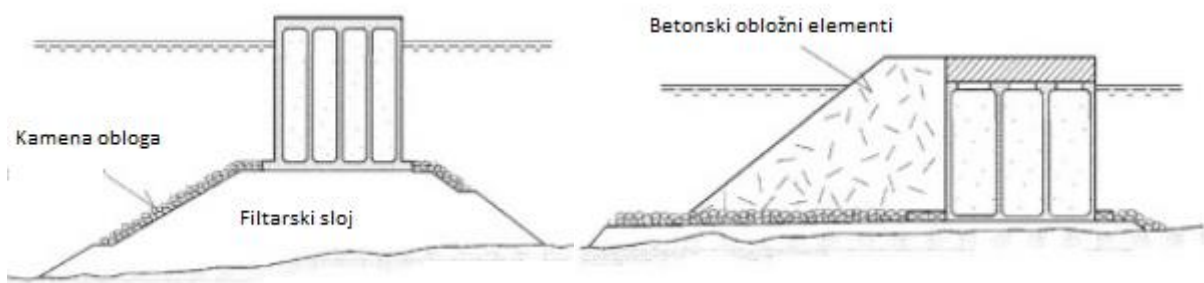


Slika 5: Perforirani lukobrani u Japanu [3]

2.5. Kompozitni lukobrani

Kompozitnim se lukobranima nazivaju kombinacije vertikalnog i nasutog lukobrana. Tako postoje vertikalni i horizontalni kompozitni tip. Kod vertikalnog tipa se kesoni ugrađuju na viši

kameni nasip kako je i prikazano na slici 6. Ekonomičan je kod dubokih voda, međutim zahtijeva određenu količinu kamena za nasip. I dok se kod običnog vertikalnog lukobrana pojavljuje samo refleksija vala, kod vertikalnog kompozitnog pojavljuje se i lom obzirom da valovi udaraju ne samo u kesone već i u nasip. Horizontalni kompozitni lukobran ima na strani nailaska vala kamenu ili betonsku oblogu koja smanjuju refleksiju i prelijevanje. [3,7]



Slika 6: Vertikalni (lijevo) i horizontalni (desno) kompozitni tip [3]

3. TEHNOLOGIJA GRADNJE LUKOBRANA

3.2. Gradnja nasutih lukobrana

Nasuti lukobran može se graditi na svim vrstama temeljnog tla pa čak i na mulju. [12] Povoljan je jer je dosta otporan na djelovanje valova koji ga mogu samo oštetiti, ali ne i srušiti. Lako se konstruira, a osim toga djeluje prirodnije i ima manji utjecaj na okoliš [7]. Ipak, nasuti lukobran nije povoljan za velike dubine kao ni za luke malih dimenzija. Kod velikih dubina se naglo povećava količina nasipa, a time raste i cijena izvedbe lukobrana [7]. Kod luka koje su malih dimenzija, nasuti lukobran nije povoljan jer zbog svojeg nagiba dodatno smanjuje broj mogućih mjesta za sidrenje [6]. Također je potrebno stalno održavanje, a kao najveći nedostatak može se navesti da u standardnom obliku ne može služiti kao pristajalište brodova [3]. Ipak, uz nekakve modifikacije poput kombinacije s obalnim zidom, omogućena je izvedba vezova.

3.2.1. *Struktura nasutog lukobrana*

Kao što je već navedeno u prethodnom poglavlju, nasuti se lukobran sastoji od 3 glavna djela – primarne obloge, filtarskog sloja (sekundarne obloge) i jezgre.

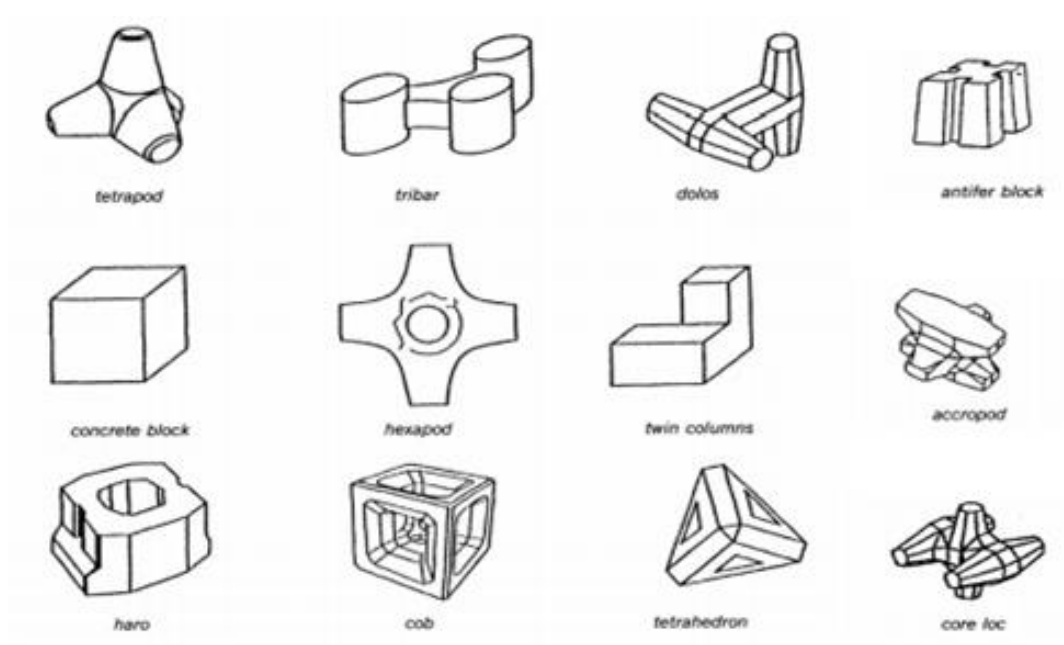
Vanjski (primarni) sloj, koji može biti kameni ili betonski, štiti lukobran od utjecaja valova jer apsorbira većinu energije vala te sprečava nastanak erozije. Filtarski (sekundarni) sloj pak sprečava prolazak energije vala. Kod izgradnje lukobrana potrebno je zadovoljiti filtarsko pravilo, odnosno onemogućiti da sitnije čestice jezgre budu djelovanjem valova isprane kroz šupljine filtarskog sloja što se postiže pravilnim odabirom elemenata obloge. [3]

Vanjski kameni sloj koristi se u područjima gdje je on lako dostupan dok se predgotovljeni betonski elementi koriste u ostalim krajevima. Ako postoji mogućnost korištenja prirodnog kamenog materijala, to smanjuje troškove ostalih materijala, ali i mehanizacije za izvedbu [6]. Ako je obloga kamena, naziva se školjera. Blokovi školjere moraju zadovoljiti uvjete težine, uklještenja i oblika. Težina im mora biti u skladu s veličinom vala, a moraju biti i međusobno dobro uklješteni kako ih valovi ne bi mogli oštetiti. Bitno je i da postoje šupljine između blokova u koje može ući val i tako razbiti svoju energiju [7]. Na slici 7 je prikazan nasuti lukobran od predgotovljenih betonskih elemenata.



Slika 7: Nasuti lukobran od predgotovljenih betonskih elemenata [9]

Betonski elementi obloge mogu doseći veću kilažu od kamenih blokova te se zbog toga ponekad koriste oni iako je na tom području kamen dostupan. Neke vrste kamene obloga su dolosi, tetrapodi, tribari, accropodi, antifer blokovi itd. [6] Na slici 8 su prikazane vrste betonske obloge, a na slici 9 lukobrani sa specijalno položenim antiferima i tetrapodima.

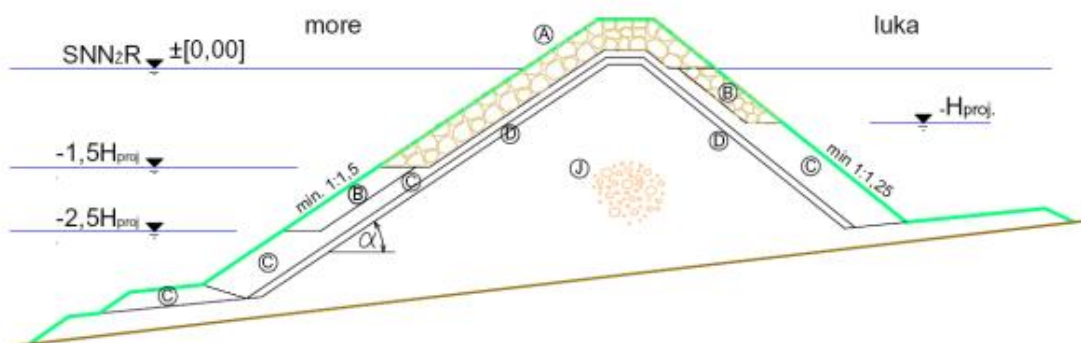


Slika 8: Vrste predgotovljenih betonskih elemenata [11]



Slika 9: Lukobran obložen antiferima (lijevo) i tetrapodima (desno) [1]

Kod plićih mora, primarna se obloga postavlja po cijeloj dubini lukobrana, od krune do nožice jer se očekuje da će val djelovati po cijeloj visini pokosa lukobrana. Kod većih dubina, ona se postavlja samo do neke dubine, najčešće $-1,5H_{pr}$, a ostatak se nadomjesti s manjom sekundarnom oblogom kako je i prikazano na slici 10 [12].



Slika 10: Dubokovodni tip nasutog lukobrana [12]

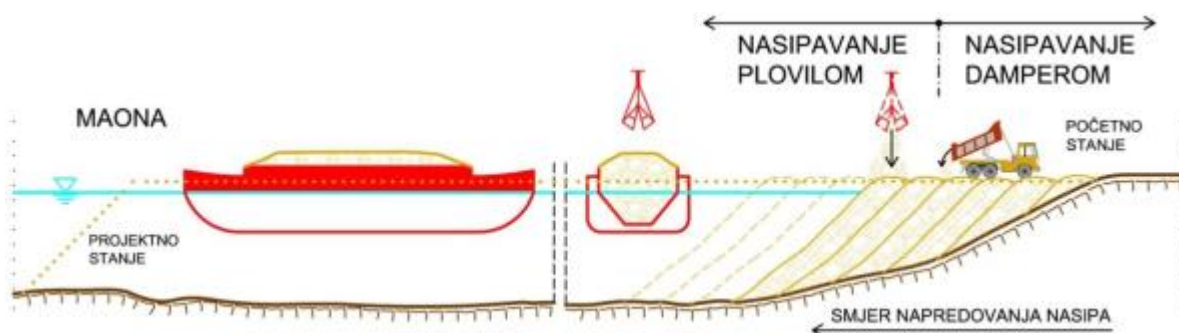
Gdje je:

A primarna obloga, B, C i D filtarski slojevi, J jezgra, H_{pr} projektna visina vala

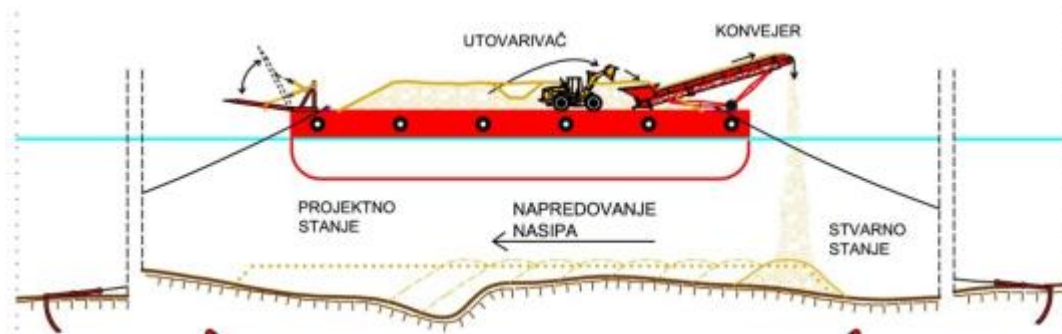
Širina krune lukobrana ovisi u uporabivosti krune. Ako je kruna uporabiva, i širina mora biti veća zbog smještaja mehanizacije za promet ili prekrćavanje. Osim širine, i visina krune ovisi o uporabivosti. Za slučaj kada je kruna uporabiva, mogućnost prelijevanje treba svesti na minimum, a ako je uloga krune samo zaštitna, mogućnost prelijevanje može biti nešto veća. Osim na samu uporabivost krune, kod prelijevanja treba obratiti pažnju i na stabilnost obloge. U jadranskim uvjetima se visina krune lukobrana izračunava u odnosu na petogodišnju visoku morsku razinu uvećanu za visinu projektog vala (maksimalna visina vala u posljednjih 5 godina). Obzirom da kruna jezgre mora uvijek biti iznad razine srednjeg višeg visokog raza, a cijeli je lukobran podložan slijeganju, u toku gradnje se mora predvidjeti nadvišenja na mjestima gdje se očekuju slijeganja.[12]

Nagibi pokosa ovise o vrsti obloge, valovima i vrsti temeljnog tla. Obično se izvode različiti na unutarnjoj lučkoj (1:1,25) i vanjskoj strani (1:1,5), no mogu se izvesti i jednakih nagiba. Maksimalni dopušteni nagib iznosi 1:3. Ako su nagibi strmiji, i opterećenje na temeljno tlo je veće što treba izbjegavati, pogotovo kod slabije nosivih tala. [12]

Baš kao i kod vertikalnog lukobrana, i kod nasutog lukobrana je gradnja moguća ili s kopna (s krune) ili s mora, a odabir između ostalog ovisi o dubini mora, dostupnoj mehanizaciji i cijeni. Najčešće se ugradnja vrši kombinacijom s mora i kopna. Ugradnja materijala s mora moguća je indirektno iz maona ili platformi pomoću grabilica, utovarivača ili konvejera te direktno pomoću prevrtaljki ili klepeta. Platforme i maone su radna plovila koja nemaju vlastiti pogon već su upravljani radnim brodovima - tegljačima. [12] Primjer gradnje nasipa pomoću maone, utovarivača i konvejera prikazan je na slikama 11 i 12.



Slika 11: Nasipavanje pomoću maone [12]



Slika 12: Nasipavanje pomoću utovarivača i konvejera [12]

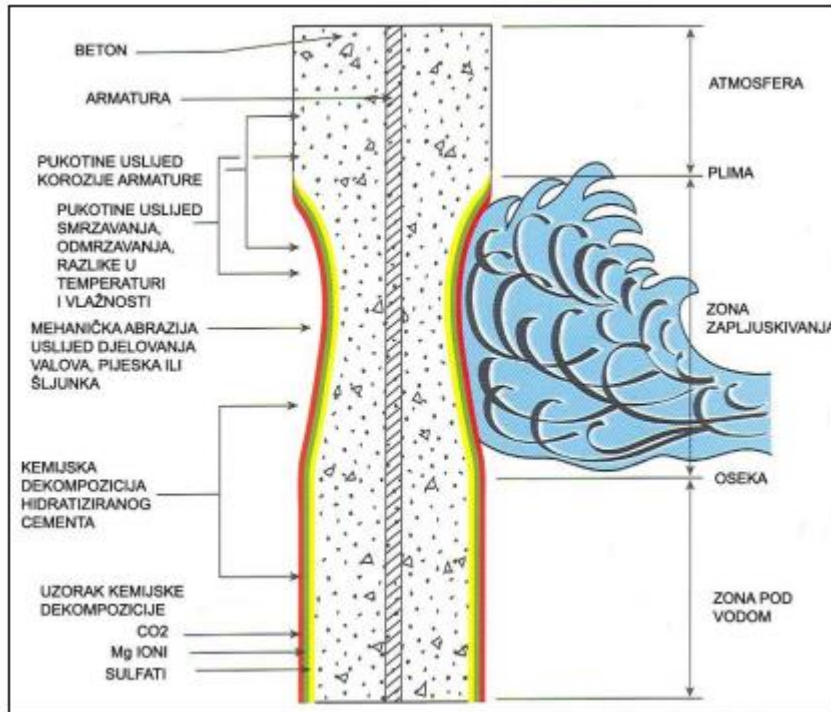
Sama ugradnja materijala može se vršiti na 3 načina – jednostavno istresanje materijala bez posebnog reda ili slaganja, istresanje materijala u formu projektnog profila te slaganje kamenih ili betonskih blokova. Prvi i drugi način se uglavnom koristi kod nasipavanja dna za izvedbu posteljice ili za izvedbu donjeg dijela jezgre, a treći za izvedbu školjere. Nasipavanje jezgre vrši se od korijena prema glavi lukobrana i to uz pomoć konvejera do razine -2,5 m pod morem. Ostali dio jezgre ugrađuje se kopnenom mehanizacijom odnosno damperima s obale ili krune jezgre. Obzirom da jezgra ne smije dugo stajati bez zaštite, kako napreduje izgradnja jezgre tako mora napredovati i izgradnja filtarskog sloja, sa zaostatkom od 30 do 50 m u odnosu na napredak jezgre. Filtarski se sloj, ovisno o krupnoći, ugrađuje grabalicama ili pak svaki blok zasebno. Primarni se sloj ugrađuje obratno, dakle od glave prema korijenu kako bi se omogućilo kretanje mehanizacije po kruni. [12]

3.3. Gradnja vertikalnog lukobrana

Generalno gledano, postoji više vrsta vertikalnih odnosno kompozitnih lukobrana, no betonski i armiranobetonski se najčešće izvode. Obzirom da je armirani beton zbog prisustva čelika vrlo podložan djelovanju soli, treba ga s oprezom birati. Ovisno o uronjenosti konstrukcije, razlikujemo nadmorske i podmorske betone. Nadmorski su oni betoni koji su ugrađeni na suhom, ali su pod stalnim utjecajem mora (vlaženje, prskanje). Podmorski se betoni izvode odnosno betoniraju pod morem, što je poprilično zahtjevno pa ih se često, ukoliko je to moguće, izbjegava. [12]

3.3.1. Utjecaj mora na armiranobetonsku konstrukciju lukobrana

Armiranobetonski elementi su najpodložniji kemijskom djelovanju klorida i sulfata iz morske vode, a utjecaji djelovanja mora, valova, oseke i plime na AB konstrukciju prikazani su na slici 13. Kloridi osim korozije armature izazivaju i degradaciju betona. [12]



Slika 13: Utjecaji mora, valova i mijena na AB konstrukciju [12]

Kemijska razgradnja te luženje sastojaka iz hidratiziranog cementa, pojava i širenje pukotina u betonu ukazuju na degradaciju betona. Karbonatizacija je pojava koja istovremeno na strukturu djeluje i negativno i pozitivno. Produkti karbonatizacije (gips i slabo topivi magnezijev hidroksid) popunjavaju strukturu betona čime se povećava nepropusnost strukture, međutim, negativni učinak je djelovanje na armaturu zbog snižavanja pH vrijednosti čime se povećava rizik od korozije. [12]

Korozija armature predstavlja najveći problem u izvedbi konstrukcija koje su u doticaju s morem. Zbog toga veliku ulogu igra projektiranje, ali i održavanje konstrukcije. Dva su osnovna moguća razloga nastanka korozije: [12]

1. Zbog reakcije hidroksida iz cementa i CO₂ iz atmosfere smanjuje se pH betona što utječe na razaranje zaštitnog sloja betona oko armaturnih šipki (karbonatizacija)
2. Prodiranje klorida u pore oko armature

U uvjetima neizloženosti soli, nakon procesa hidratacije se oko čeličnih šipki stvara zaštitni sloj oksida željeza koji je nepropustan i stabilan dok je pH porne vode u betonu veći od 12. Pri takvim uvjetima čelik nije izložen koroziji, međutim, smanjenjem pH betona uništava se zaštitni sloj te ubrzo nastupa i korozija armature. Posljedice korozije su smanjenje poprečnog presjeka armature, što znači smanjenje nosivosti te pucanje i ljuštenje betona. Do pucanja i ljuštenja dolazi zbog produkta korozije koji zauzimaju puno veći volumen od čelika čime se povećavaju vlačna naprezanja u betonu. Ako su ona veća od vlačne čvrstoće betona, dolazi do stvaranja pukotina i ljuštenja. [12]

Kako bi se maksimalno izbjeglo kemijsko djelovanje mora na konstrukciju, potrebno je beton prilagoditi takvim utjecajima, odnosno napraviti beton koji će imati malu propusnost i mali koeficijent difuzije klorida. Malu propusnost betona može se dobiti odgovarajućom kombinacijom niskog vodocementnog omjera, adekvatnom njegom betona te korištenjem zamjenskih sastojaka za cement, npr. silikatne prašine, zgure ili letećeg pepela. [12]

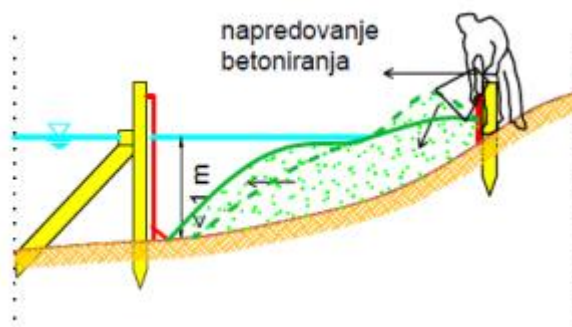
Iako agregat nema veliki utjecaj na koroziju armature, ipak ga je potrebno pažljivo odabrati. Naime, ako je zrno agregata približno jednake veličine kao i debljina zaštitnog sloja, kloridi iz mora će lakše moći prodrijeti do armature. [12]

3.3.2. Ugradnja betona pod morem i podmorski iskopi

Beton se pod vodom mora ugrađivati vrlo oprezno obzirom da bi ga nespretni kontakt s vodom mogao jako razrijediti. Dakle, beton se ne smije ugrađivati na način da slobodno pada jer bi u tom slučaju došlo do segregacije, ali i ispiranja sitnih četica cementa. Isto tako, obzirom da pod vodom vibriranje nije moguće, beton mora biti dovoljno rijedak kako bi u potpunosti ispunio kalup. Ovisno o dubini, traženoj kvaliteti betona i dostupnosti mehanizacije, razlikuje se više vrsta podvodnog betoniranja, a neki su opisani u nastavku. [12]

Betoniranje u plicaku (do 1 m dubine) izvodi se tako da se beton istrese na suhu površinu u nagibu, a onda se on sam svojim tlakom pogurava naprijed do kalupa. Vanjska je površina u

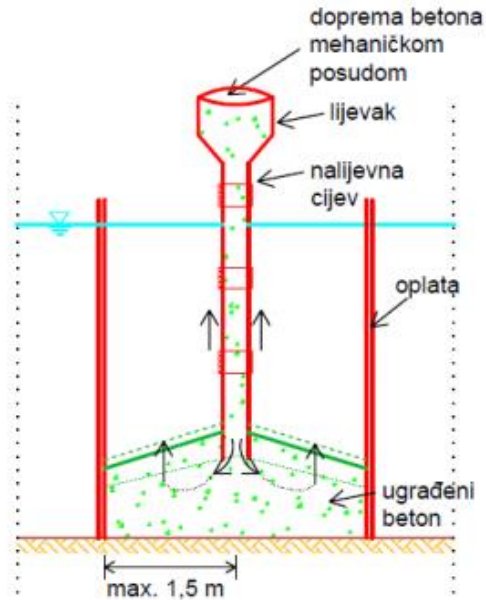
doticaju s vodom gdje će doći do djelomičnog ispiranja, ali se ostatak mase neće isprati. [12]
Takva je vrsta betoniranja prikazana na slici 14.



Slika 14: Betoniranje u pličaku [12]

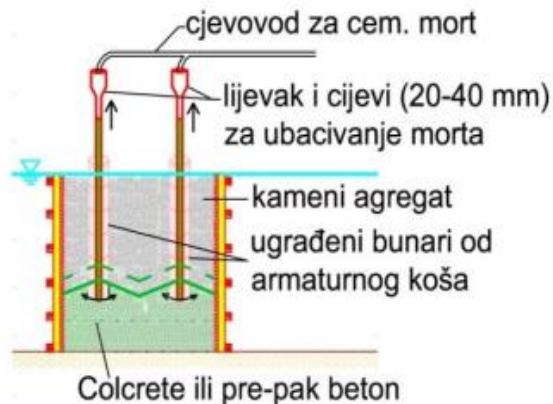
Kada se betoniranje izvodi ručnom ili mehaničkom posudom u kojoj se nalazi svježi beton, ona se puna utiskuje u kalup, odnosno u beton koji se već nalazi u kalupu pa na taj način novi beton ne dolazi uopće u doticaj s vodom. [12]

Najčešće se primjenjuje kontraktor postupak koji se temelji na betoniranju kroz vertikalnu cijev - kontraktor na čijem se kraju nalazi lijevak. Beton se ulijeva kroz vertikalnu cijev čije je dno uvijek uronjeno u beton u kalupu. Betoniranje napreduje od dole prema gore, odnosno prema vrhu oplata. Na taj način, samo beton s površine dolazi u kontakt s vodom. Kada se kalup ispuni, a beton izađe iznad razine vode i stvrdne se, površinski sloj koji je bio u doticaju s vodom se ukloni. [12] Na slici 15 je prikazan kontraktor postupak betoniranja.



Slika 15: Betoniranje kontraktor postupkom [12]

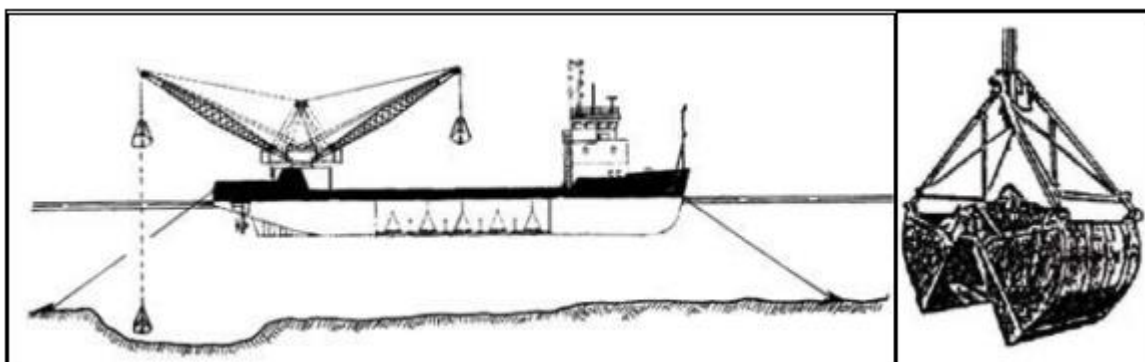
Pre-pak sistemom betoniranja (slika 16) naziva se betoniranje kod kojeg se u kalup prvo ubacuje agregat uniformne granulacije, a tek se kasnije u njega injektira cementni mort preko vertikalnih cijevi. Vertikalne se cijevi uranjaju u armaturne koševе u koje prvotno nije bio ugrađen agregat. Beton koji se koristi pri ovakvom načinu podvodnog betoniranja mora imati dobru protočnost kako bi čim više ispunio šupljine između zrna agregata pa se u smjesu često dodaju kemijski dodaci. [12]



Slika 16: Pre-pak betoniranje [12]

Obzirom na kompleksnost betoniranja pod vodom, za izvedbu vertikalnih lukobrana ili sličnih građevina, uglavnom se izbjegava direktno betoniranje već se masivni betonski blokovi (puni ili šuplji) betoniraju na suhom i kao takvi ugrade podvodno. Postoji više načina same ugradnje blokova no najčešće se primjenjuje ugradnja plovnom dizalicom ili ugradnja s krune lukobrana. No, prvo je potrebno izravnati dno i pripremiti posteljicu na koju se onda slažu betonski blokovi. Posteljica se sastoji od dva dijela - donjeg koji je grubo isplaniran s ravnošću od $\pm 15-25$ cm te gornjeg tucaničkog sloja koji mora biti vrlo točno isplaniran obzirom da se na njega direktno slažu betonski blokovi. [12]

S druge strane, ni iskopi baš kao ni izvedba nasipa pod morem nisu jednostavni zbog uvjeta loše vidljivosti pod morem, smetnje plovila i sl. Najčešće se iskopi mekših materijala vrše iz plovila ili pontona i to različitim grabilicama (slika 17) ili jaružalima (slike 18 i 19). Drugi je način „isisavanje“ mulja pumpama. [12]



Slika 17: Plovna dizalica s grabilicom [12]

Dizalica spušta grabilicu u more kojom se zahvaća materijal, zatim se grabilica zatvara i vadi van te se materijal odlaže na privremeno ili trajno odlagalište. Privremeno je odlagalište često na samom plovilu. [12]



Slika 18: Povlačno jaružalo [12]



Slika 19: Plovno jaružalo [12]

Kod povlačnog jaružala se materijal sakuplja na način da bager povlači žlicu po dnu u koju se tako sakuplja materijal te zatim vadi van. Plovno jaružalo se sastoji od pokretne trake s lopaticama koje iskapaju materijal. [12]

Tvrđi materijali iskapaju se bušenjem rupa i miniranjem ili razbijanjem tvrdog tla pomoću teških utega. [12]

Kada je posteljica pripremljena, slijedi polaganje betonskih blokova. Slaganje blokova se vrši uz kontrolu ronioca, a po posebno geodetski iskolčenim točkama. Nakon što se dosegne željena visina lukobrana, na vrh se postavlja još nekoliko blokova kako bi se povećala težina te time ubrzalo i slijeganje. Nakon određenog vremena blokovi se uklanjaju. Eventualna diferencijala slijeganja saniraju se naknadnim betoniranjem nadvodnog dijela. [12]

4. DIMENZIONIRANJE LUKOBRANA

4.1. Dimenzioniranje nasutih lukobrana

Prilikom proračuna konstrukcije nasutog lukobrana, treba proračunati stabilnost elemenata obloge pri djelovanju vala, slom elemenata obloge, slom pokosa te slom i slijeganje temeljnog tla i nasipa ispod konstrukcije. Za potrebe ovog rada, proračunata je samo stabilnost elemenata obloge i to prema Hudsonovoj formuli [13]:

$$G_A = \frac{\rho_{obl} * g * H_{pr}^3}{K_D * \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1\right)^3 * ctg\alpha} \quad [N] \quad (1)$$

Gdje je:

G_A = težina bloka primarne obloge [N]

ρ_{obl} = gustoća kamene obloge = 2600 [kg/m³]; gustoća betonske obloge = 2400 [kg/m³]

ρ_m = gustoća mora = 1026 [kg/m³]

H_{pr} = projektna visina vala [m]

K_D = eksperimentalni koeficijent obloge za 0 do 5%-tno oštećenje ovisan o tipu obložnih blokova; tablica 1

α = kut nagiba pokosa obloge lukobrana prema horizontali

Debljina sloja primarne obloge izračunava se prema slijedećoj formuli, a nikako ne smije biti manja od debljine dva elementa primarne obloge, [13]:

$$r = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{Y_{obl}}} \quad [m] \quad (2)$$

Gdje je:

r = debljina sloja primarne obloge [m]

n = broj blokova u sloju primarne obloge (uglavnom $n = 2$)

k_{Δ} = koeficijent sloja; tablica 2

G_A = težina bloka primarne obloge

γ_{obl} = zapreminska težina kamene obloge = 26 000 [N/m³]; betonske obloge = 24 000 [N/m³]

Tablica 1: preporučeni koeficijent stabilnosti K_D [11]

PREPORUČENI KOEFICIJENT STABILNOSTI K_D									
Redni broj obloge	Vrsta kamenih /betonskih elemenata	Broj slojeva	Način polaganja elemenata	Bok lukobrana		Glava lukobrana		Nagib pokosa	
				Valovi koji se lome	Valovi koji se ne lome	Valovi koji se lome	Valovi koji se ne lome		
1	Glatki zaobljeni	2	slučajno	1.2	2.4	1.1	1.9	1:1.5; 1:3	
2		>3	slučajno	1.6	3.2	1.4	2.3	1:1.5; 1:3	
3	Oštrobridni lomljeni	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	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	

Tablica 2: Vrijednost koeficijenta sloja k_A [11]

	Vrsta obloge	Način položaja	Redni broj obloge	Koeficijent k_A
KAMEN	Glatki zaobljeni	Slučajno položeni	1	1.02
	Glatki zaobljeni	Slučajno položeni	2	1.02
	Oštrobridni lomljeni	Slučajno položeni	3	1.00
	Oštrobridni lomljeni	Slučajno položeni	4	1.00
	Oštrobridni lomljeni	Specijalno položeni	5	1.00
BETON	Tetrapodi/quadripodi	Slučajno položeni	6	1.04
	Tribari	Slučajno položeni	7	1.02

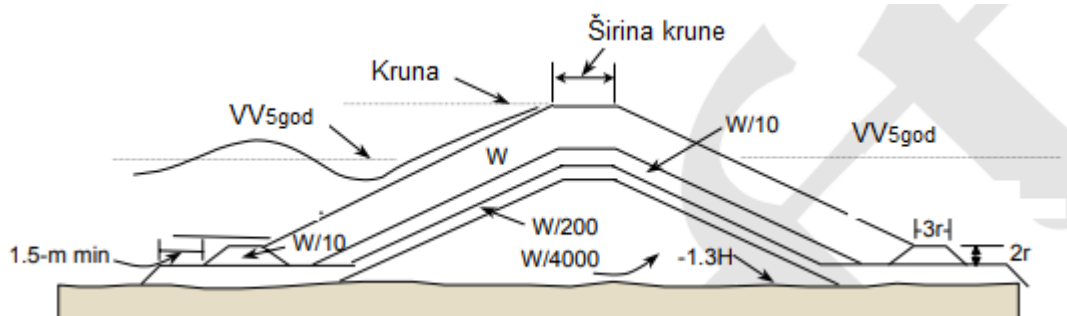
Kada se jednom izračuna težina elemenata G_A , lako se dobije težina elemenata filtarskog sloja i jezgre i to kako slijedi [11]:

Težina elememata prvog međusloja: $G_{10} = \frac{G_A}{10}$ (3)

Težina elemenata drugog međusloja: $G_{200} = \frac{G_A}{200}$ (4)

Težina elemenata jezgre: $G_{4000} = \frac{G_A}{4000}$ (5)

Raspored slojeva te težina elemenata u poprečnom presjeku prikazana je na slici 20 gdje $W = G$ = težina elemenata obloge.



Slika 20: Raspodjela slojeva u poprečnom profilu nasutog lukobrana, prema [13]

Težina elemenata u pojedinom sloju nije jednoznačno određena već postoji određena tolerancija. Tako za primarnu oblogu vrijedi da se mogu ugraditi elementi težine od $0,75G_A$ do $1,25G_A$, za prvi međusloj od $0,7G_{10}$ do $1,3 G_{10}$, za drugi međusloj od $0,5G_{200}$ do $1,5G_{200}$ te za jezgru od $0,3G_{4000}$ do $1,7G_{4000}$. [11]

Debljina filtarskih slojeva izračunava se po istoj formuli kao i debljina primarne obloge jedino se umjesto G_A , uvrsti G_{10} odnosno G_{200} , pa tako vrijedi [11]:

Debljina prvog međusloja: $r_{10} = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_{10}}{Y_{obl}}}$ (6)

Debljina drugog međusloja: $r_{200} = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_{200}}{Y_{obl}}}$ (7)

Jedini uvjet koji pritom ipak mora biti zadovoljen je da debljina sloja ne smije biti manja od 2 elementa u sloju. [11]

Kota krune nasutog lukobrana računa se u odnosu petogodišnju visoku vodu (VV_{5god}) i projektni val (H_{pr}), odnosno prema slijedećoj formuli:

$$k_{krune} = VV_{5god} + 1,25 * H_{pr} \quad (8)$$

Širina krune se izračunava prema formuli:

$$B = n_{krune} * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{obl}}} \quad (9)$$

gdje je n_{krune} broj blokova u kruni, a minimalno (i najčešće) iznosi 3.

4.2. Dimenzioniranje vertikalnih i kompozitnih lukobrana

Prilikom proračuna stabilnosti vertikalnog ili kompozitnog lukobrana, proračunava se stabilnost na klizanje na temeljnoj fugi i između blokova, stabilnost na prevrtanje, te stabilnost plutanja i tegljenja za slučaj da se radi o plutajućim kesonima. U ovom su radu proračunate stabilnost na klizanje i prevrtanje po metodi Goda. U obzir su uzeta djelovanja mora – hidrostatski tlakovi u kombinaciji s hidrodinamičkim tlakovima od valova. Izvanredna opterećenja poput npr. potresa nisu uzeta u obzir u proračunu.

Da bi lukobran bio stabilan na prevrtanje, potrebno je zadovoljiti uvjet da je moment stabilnosti M_{st} veći od momenta destabilnosti M_{dst} . Na moment stabilnosti utječe sama težina lukobrana, umanjena za uzgon, a na moment destabilnosti sile od valova i mora koje lukobran nastoje prevrnuti. Za stabilnost na klizanje, dovoljno je samo da je suma vertikalnih sila veća od sume horizontalnih. Kako bi se stvorila dodatna sigurnost, u proračunu se momenti množe faktorima sigurnosti koji povoljna opterećenja umanjuju, a nepovoljna uvećavaju (prema EUROCODEu). Detaljni postupak proračuna prikazan je u poglavlju 6, a u nastavku su dani samo izrazi za proračun tlakova metodom Goda [13], te skica koja ih opisuje (slika 21).

$$\eta^* = 0,75 * (1 + \cos\beta) * \lambda_1 * H_{pr} \quad (10)$$

$$p_1 = 0.5 * (1 + \cos(\beta)) * (\lambda_1 * \alpha_1 + \lambda_2 * \alpha_2 * \cos(\beta)^2) * \gamma_m * H_p \quad (11)$$

$$p_2 = \left[\left(1 - \frac{h_c}{\eta} \right) p_1 \right] \quad (12)$$

$$p_3 = \alpha_3 * p_1 \quad (13)$$

$$u = \gamma_m * h \quad (14)$$

$$p_u = 0.5 * \left[(1 + \cos(\beta)) \lambda_3 * \alpha_1 * \alpha_3 * \gamma_m * H_p \right] \quad (15)$$

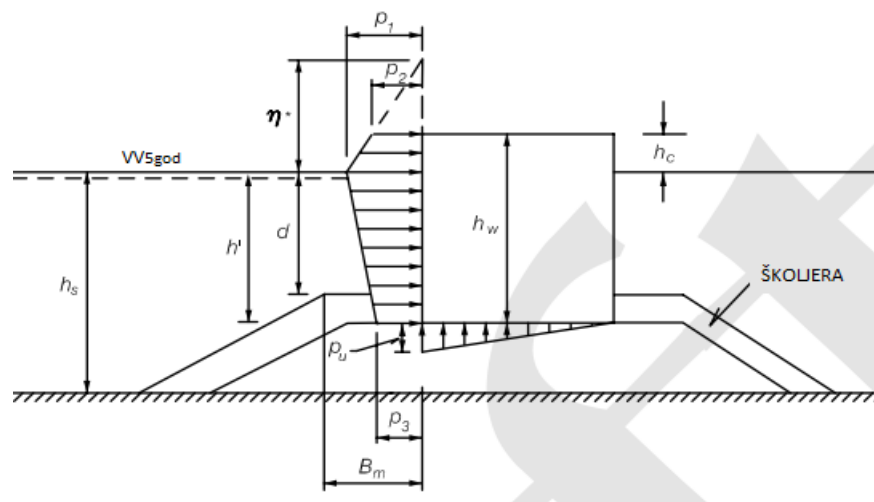
Gdje su slovom p označeni tlakovi prikazani i na slici 21, H_{pr} projektna visina vala, β kut nailaska vala, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$ koeficijenti ovisni o vrsti lukobrana ($\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$ za vertikalni lukobran), γ_m zapreminska težina mora, η , h_c , h visine prikazane na slici, α vrijednosti koje se izračunavaju prema slijedećim izrazima:

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left(\frac{\frac{4\pi * h_s}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi}{L} * h_s\right)} \right)^2 \quad (16)$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} * \left(\frac{H_p}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_p} \right] \quad (17)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s} * \left(1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi}{L} * h_s\right)} \right) \quad (18)$$

Gdje je L dužina vala, a h_b dubina mora na udaljenosti $5H_s$ od lica lukobrana prema otvorenom moru. Visine η^* , h_s , d , h_w i h_c kao i položaj djelovanja tlakova mogu se vidjeti na slici 21.



Slika 21: Djelovanja na vertikalni lukobran po metodi Goda [13]

Dodatno se, za slučaj kompozitnog lukobrana mora proračunati i donji nasuti dio, odnosno masa te veličina elemenata obloge i to prema slijedećim formulama [13]:

$$N_s^3 = 26,8 * \left(\frac{d}{h_s}\right)^{0,58} \quad (19)$$

$$D_{50} = \frac{H_{pr}}{\Delta * N_s} \quad (20)$$

$$\Delta = \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m}\right) - 1 \quad (21)$$

$$M_{50} = \rho_{obl} * D_{50}^3$$

Pritom je N_s broj koji opisuje stabilnost elementa, D_{50} je promjer, a M_s je srednja vrijednost mase elementa školjere.

4.3. Dimenzioniranje obalnog zida s unutarnje strane nasutog lukobrana

Obalni zid predviđen je u kombinaciji s nasutim lukobranom kako bi se osiguralo mjesto veza za brodove te omogućila uporabivost krune. Kod proračuna stabilnosti obalnog zida provjerava se stabilnost na klizanje i prevrtanje, i to istim postupkom kao i za vertikalni lukobran. Dakle, za stabilnost na klizanje se provodi usporedba horizontalnih i vertikalnih sila, a za stabilnost na prevrtanje usporedba momenata stabilnosti i destabilnosti Razlika je jedino u djelovanjima, obzirom da se kod obalnog zida u obzir ne uzima djelovanje vala već samo razliku hidrostatskih pritisaka ispred i iza zida te aktivne pritiske od tla. Skica s tlakovima i silama je prikazana u poglavlju 6 gdje je dat i detaljan postupak proračuna.

5. PRELIJEVANJE VALOVA PREKO LUKOBRANA

Prelievanje preko lukobrana računato je prema drugom izdanju EuroTop priručnika iz 2018. godine [1]. Priručnik je temeljen na europskim istraživanjima, no može ga se koristiti i šire.

Priručnik daje smjernice za analizu i predviđanje prelijevanja valova preko obalnih građevina. Prvenstveno je izdan za pomoć vladi, agencijama, savjetnicima i konzultantima koji se bave obranom od poplavlivanja, a osim toga, može poslužiti prilikom projektiranja lukobrana obzirom da uključuje nove tehnike predviđanja prelijevanja valova preko nasipa, lukobrana, obalnih zidova i ostalih obalnih građevina. U EuroTop priručniku su prvo opisane vrste građevina i objašnjeni parametri, a zatim su dane upute kako bi se rezultati trebali interpretirati. Također su dane i dopuštene vrijednosti prelijevanja ovisno o vrsti strukture kao i različite metode procjenjivanja prelijevanja. Priručnik je prvenstveno koncentriran na nasipima te nasutim, kosim i vertikalnim lukobranima. [1]

Za razumijevanje prelijevanja preko krune lukobrana potrebno je razumjeti pojmove vezane uz valove i samu konstrukciju lukobrana koji su ukratko objašnjeni u nastavku.

Visina vala koja se koristi kod izračuna prelijevanja se opisuje kao prosječna vrijednost najviše značajne visine trećine vala, $H_{1/3}$. Drugačije se još može opisati kao slučajna značajna visina vala na nožici lukobrana, H_{m0} , odnosno H_s . [1]

Period vala je veličina koja opisuje ciklus trajanja vala, a označava se kao T_p ako govorimo o vršnom periodu, T_m ako je to prosječni period vala i $T_{1/3}$ kod značajnog perioda. Često se u proračunima pojavljuje $T_{m-1,0}$. To je period koji više značaja daje dugačkim periodima u spektru nego prosječnim periodima. [1]

Strmost vala, S_0 , označuje odnos visine vala u odnosu na duljinu vala, a ukazuje na uzrok nastanka vala – vjetar ili nešto drugo. Strmost vala $S_{m-1,0}$ odgovara spektralnom periodu $T_{m-1,0}$. [1]

Nožica se gradi ispred lukobrana, na kontaktu lukobrana s obalom, a svrha joj je povećanje stabilnosti lukobrana i zaštita od erozije. Kod vertikalnog lukobrana, nožica se nalazi na bazi ispred lukobrana, a kod kompozitnog lukobrana ispred nasutog dijela. [1]

Pod pojmom obala u ovom se kontekstu podrazumijeva dio batimetrije morskog dna koja se nalazi ispred obalne konstrukcije. Karakteriziraju je valni procesi uzrokovani dubinom poput razbijanja valova. Može biti horizontalna ili blagog nagiba do 1:10. Ako je nagib veći od 1:10, tada se obalu može smatrati kao dio konstrukcije. Obala može biti duboka, plitka, vrlo plitka ili čak izuzetno plitka, a ovisno o tome valovi se drukčije ponašaju. [1]

Berma je dio konstrukcije lukobrana koja se obično izvodi horizontalno ili u nagibu do 1:15. Obično se izvode na visini projektirane razine vode jer su tu najučinkovitije. Berma stvara blaži nagib pa se tako kruna lukobrana može izvesti niže nego u slučaju kada berma nije izvedena. [1]

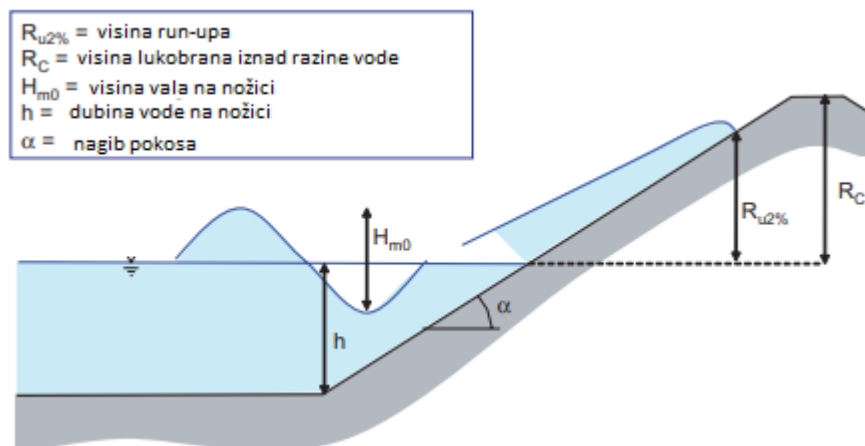
Da bi se spriječilo razarajuće vertikalno djelovanje vala nakon udara, izvode se konstrukcije poput parapetnog zida ili tzv. bullnose na kruni lukobrana koji će spriječiti da se voda prelije preko. Bullnose je dio konstrukcije, odnosno neka vrsta zida koja u gornjem dijelu ima izbočenje okrenutu prema moru. Veličina takvih građevina ima veliku ulogu u prelijevanju, a na slici 22 je prikazano kako se pod utjecajem bullnosea val naglo diže u zrak, ali se zatim vraća u more, ne prelijeva se. Često se zbog tog razloga zid izvodi i blago zakošeno. [1]



Slika 22: Bullnose na vertikalnom lukobranu [1]

Run-up je pojava koja opisuje uzdizanje vode uz konstrukciju ili obalu kao posljedica djelovanja vala. Može izazvati eroziju premještanjem materijala ili podlokavanjem. Visina run-upa je vertikalna udaljenost između najviše točke run-upa i normalne razine vode. Obzirom na prirodu valova, svaki će val imati drukčiji run-up. Često se kao karakteristični parametar za opis

run-upa koristi $R_{u2\%}$. To je visina run-upa koja se pojavljuje u samo 2% nadolazećih valova. [1]
 Slika 23 prikazuje visinu run-upa u odnosu na ostale parametre vala.



Slika 23: Visina run-upa [1]

Pod pojmom prelijevanja potrebno je razlikovati dvije fizikalne veličine, a to su q , preljevni protok te V_{max} , maksimalni preljevni volumen. Isto tako, postoje različite vrste prelijevanja poput npr. kontinuiranog mirnog prelijevanja ili raspršenog prelijevanja, a obje su vrste prikazane na slikama 24 i 25. [1]



Slika 24: Mirno prelijevanje [1]



Slika 25: Nejednoliko, prskajuće prelijevanje [1]

Ovisno o vrsti lukobrana razlikuju se formule za V_{\max} i q kao i njihove dopuštene vrijednosti, pa su tako u nastavku prikazane formule za izračun izdizanja vala, preljevog protoka i volumena prelijevanja za pojedinu vrstu lukobrana.

Za proračun visine izdizanja vala (eng. run-up), koristi se slijedeća formula:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1,75 * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} \quad (22)$$

gdje su:

$R_{u2\%}$ = visina run-upa

H_{m0} = procijenjena značajna visina vala

γ_f = faktor propusnosti i hrapavosti obloge

γ_β = faktor nagiba vala

Faktor γ_b se prema EurOtopu naziva utjecajnim faktorom za bermu, faktor r_B je faktor veličine berme te pokazuje odnos širine i dužine berme, dok je r_{db} reduksijski faktor visine berme u odnosu na normalnu razinu vode. Izrazi za izračun ta tri faktora dana su u nastavku.

$$\gamma_b = 1 - r_B(1 - r_{db}) \quad (23)$$

$$r_B = \frac{B}{L} \quad (24)$$

gdje su B širina berme, a L dužina berme.

$$r_{db} = 0,5 - 0,5 \cos\left(\pi \frac{d_b}{2H_{m0}}\right) \quad (25)$$

d_b = vertikalna udaljenost sredine berme i normalne razine vode

5.1. Prelijevanje preko nasutog lukobrana

Prelijevanje preko krune nasutog lukobrana računa se prema slijedećem izrazu [1], a prikazano je na slici 26:

$$q = 0,1035 \sqrt{g * H_{m0}^3} * \exp\left[-\left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta}\right)^{1,3}\right] \quad (26)$$

gdje je:

q = preljevni protok

H_{m0} = procijenjena značajna visina vala

R_c = visina lukobrana iznad normalne razine vode

γ_f = faktor propusnosti i hrapavosti obloge

γ_β = faktor nagiba vala

γ_β ovisi o kutu nailaska vala β i računa se prema izrazu

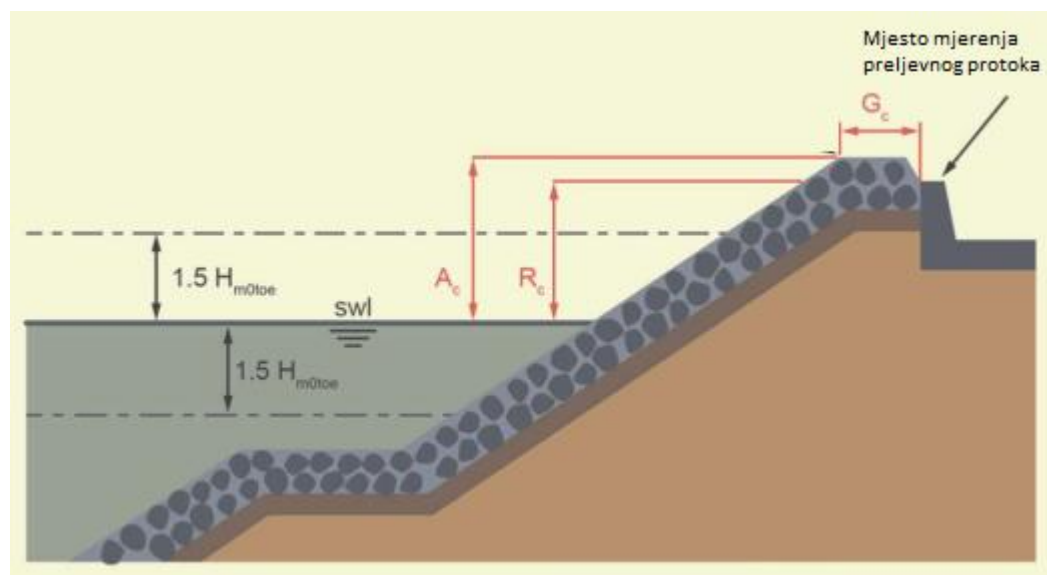
$$\gamma_\beta = 1 - 0,0063 * |\beta| \quad \text{za } 0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$$

za $|\beta| > 80^\circ$ može se računati s $\beta = 80^\circ$

Faktor propusnosti i hrapavosti γ_f ovisi o vrsti obloge i prikazan je u tablici 3.

Tablica 3: Vrijednosti faktora γ_f [1]

Vrsta obloge	γ_f
Glatka nepropusna površina	1.00
Kamen (1 sloj, nepropusna jezgra)	0.60
Kamen (1 sloj, propusna jezgra)	0.45
Kamen (2 sloja, nepropusna jezgra)	0.55
Kamen (2 sloja, propusna jezgra)	0.40
Kocke - qubes (1 sloj, specijalno položene)	0.49
Kocke - qubes (2 sloja, slučajno postavljene)	0.47
Antiferi	0.50
HARO	0.47
Tetrapodi	0.38
Dolosi	0.43
Accropodi I	0.46
Xbloc, Accropodi II	0.44
Cupidi (1 sloj)	0.49
Cupidi (2 sloja)	0.47



Slika 26: Prelijevanje preko krune nasutog lukobrana, [1]

Maksimalni prelijevni volumen preko krune lukobrana računa se po formuli [1]:

$$V_{\max} = a * [\ln(N_{0w})]^{1/b} \quad (27)$$

gdje je V_{max} maksimalni preljevni volumen, a a i b su koeficijenti koji se računaju prema slijedećim formulama [1]:

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma(1+\frac{1}{b})} \right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}} \right) \quad (28)$$

$$b = 0,73 + 55 * \left(\frac{q}{q * H_{m0} T_{m-1,0}} \right) \quad (29)$$

$T_{m-1,0}$ = period vala

Vjerojatnost prelijevanja se prema EurOtopu označuje kao P_{ov} , a osim po formuli u nastavku može ga se izračunati i kao odnos N_{ow} / N_w [1].

$$P_{ov} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0.02} \frac{R_c}{R_{u2\%}} \right) \right] \quad (30)$$

gdje su:

R_c = visina lukobrana iznad normalne razine vode

$R_{u2\%}$ = visina run-upa koja se pojavljuje u samo 2% nadolazećih valova

N_{ow} = broj valova koji prelijevaju

N_w = broj slučajnih valova

Za nasute lukobrane koji imaju bermu vrijedi slijedeća formula [1]:

$$q = 0,1035 \sqrt{g * H_{m0}^3} * \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{BB} \gamma_{\beta}} \right)^{1,3} \right] \quad (31)$$

gdje je:

q = preljevni protok

H_{m0} = procijenjena značajna visina vala

R_c = visina lukobrana iznad normalne razine vode

γ_f = faktor propusnosti i hrapavosti obloge

γ_{BB} je utjecajni faktor za lukobrane s bermom, a izračunava se prema izrazu [1]:

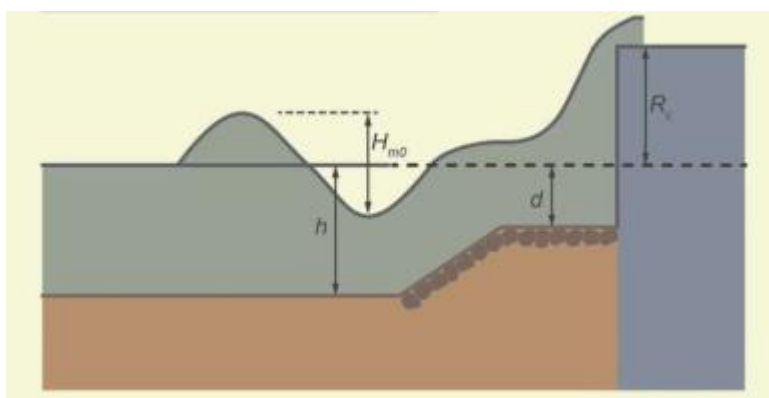
$$\gamma_{BB} = 0,68 - 4,1s_{m-1,0} - 0,05 \frac{B}{H_{m0}} \quad \text{za djelomično preoblikovane berme}$$

$$\gamma_{BB} = 0,70 - 8,2s_{m-1,0} \quad \text{za potpuno preoblikovane berme} \quad (32)$$

Gdje je $s_{m-1,0}$ strmost vala, a B širina berme.

5.2. Prelijevanje preko vertikalnog lukobrana

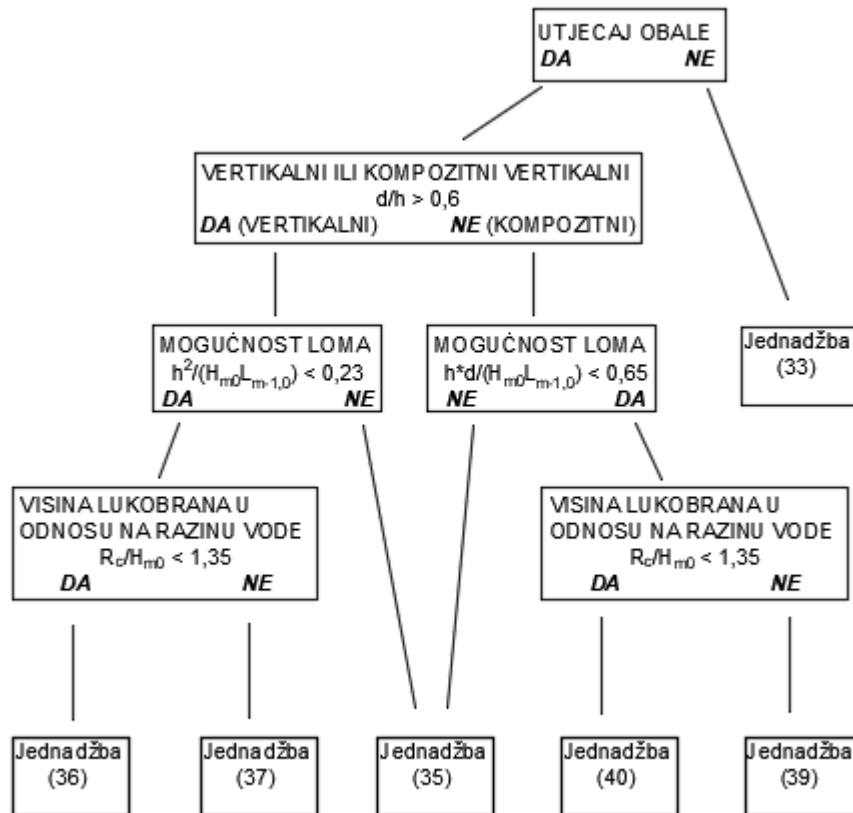
Prelijevanje kod vertikalnog lukobrana između ostalog ovisi i o utjecaju obale, mogućnosti loma vala te visini lukobrana u odnosu na normalnu razinu vode. Ovisno o tome, koristi se drukčija formula za izračun preljevnog protoka. Na slici 27 je prikazano prelijevanje vala preko vertikalnog lukobrana te ključni parametri za izračun preljevnog protoka.



Slika 27: Prelijevanje preko vertikalnog/kompozitnog lukobrana [1]

Za potrebe razlikovanja vertikalnog od kompozitnog lukobrana, koristi se odnos $\frac{d}{h}$. Ako je $\frac{d}{h} > 0,6$, lukobran se smatra vertikalnim. U suprotnom lukobran je kompozitni. Pritom se slovom d označuje dubina vode, a slovom h dubina vode na nožici. [1]

EurOtop daje selekciju odabira formula za preljevni protok (ovisno o uvjetima mora i lukobrana) koja je grafički prikazana na slici 28.



Slika 28: Seleksijski graf za predviđanje prelijevanja preko vertikalnog i kompozitnog lukobrana, prema [1]

Za slučaj da obala nema utjecaj na valove, što ovisi o dubini, prelijevanje se računa prema sljedećoj formuli [1]:

$$q = 0,047 \sqrt{g * H_{m0}^3} * \exp \left[- \left(2,35 \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{1,3} \right] \quad (33)$$

Ako obala ipak ima utjecaj na valove, slijedi daljnja selekcija prema mogućnosti loma valova i visini lukobrana u odnosu na normalnu razinu vode.

Do loma vala ne dolazi ako je zadovoljena formula (34) te se tada prelijevanje računa po formuli (35).

$$\frac{h^2}{H_{m0} L_{m-1,0}} > 0,23 \quad (34)$$

$$q = 0,062\sqrt{g * H_{m0}^3} \exp(-2,61 \frac{R_c}{H_{m0}}) \quad (35)$$

Za slučaj da postoji mogućnost loma vala, potrebno je provjeriti i visinu lukobrana $\frac{R_c}{H_{m0}}$ iznad normalne razine vode.

Ako vrijedi $\frac{R_c}{H_{m0}} < 1.35$, za proračun prelijevanja se koristi izraz [1]:

$$q = 0,0155\sqrt{g * H_{m0}^3} * \left(\frac{H_{m0}}{h*s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \exp(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}) \quad (36)$$

A u suprotnom, odnosno ako je $\frac{R_c}{H_{m0}} > 1.35$ slijedeći izraz [1]:

$$q = 0,0020\sqrt{g * H_{m0}^3} * \left(\frac{H_{m0}}{h*s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3} \quad (37)$$

gdje su:

q = prelivni protok

H_{m0} = procijenjena značajna visina vala

R_c = visina lukobrana iznad normalne razine vode

h = dubina vode na nožici

$s_{m-1,0}$ = strmost vala

5.3. Prelijevanje preko kompozitnog lukobrana

Za slučaj kombiniranog, kompozitnog lukobrana, cijeli se postupak ponavlja uz slične formule.

Kao što je već navedeno, ako je lukobran kompozitni, mora vrijediti da je $\frac{d}{h} < 0,6$.

Za provjeru loma valova koristi se slijedeća formula [1]:

$$\frac{h*d}{H_{m0}L_{m-1,0}} < 0,65 \quad (38)$$

Ako ne postoji mogućnost loma valova, odnosno ako je (38) > 0.65, za izračun preljevnog protoka koristi se izraz (35).

Ako je lom vala moguć, tada se provjerava visina lukobrana prema istoj formuli kao i za vertikalni lukobran, $\frac{R_c}{H_{m0}} > 1.35$ te se ovisno o tome odabire određena formula. Dakle, ako je $\frac{R_c}{H_{m0}} > 1.35$, koristi se [1]:

$$q = 1,3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} * 0,0014 \sqrt{g * H_{m0}^3} * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3}, \quad (39)$$

a ako je $\frac{R_c}{H_{m0}} < 1.35$ koristi se

$$q = 1,3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} * 0,011 \sqrt{g * H_{m0}^3} * \left(\frac{H_{m0}}{h * s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right). \quad (40)$$

5.4. Dopusšteno prelijevanje

Obzirom da se prosječni preljevni protok lako može izmjeriti, lako ga se može i klasificirati prema pojavama koje uzrokuje kako je to prikazano i u tablici 4.

Tablica 4: Klasifikacija protoka prelijevanja, prema [1]

Protok	Pojava
$q < 0.1 \text{ l/s/m}$	Neznačajno u odnosu na čvrstoću i stabilnost krune i stražnjeg dijela konstrukcije
$q = 1 \text{ l/s/m}$	Na kruni i pokosu sa strane obale travnata površina ili glinoviti materijal mogu početi erodirati. Kamena ili betonska obloga ne erodira
$q = 10 \text{ l/s/m}$	Značajno prelijevanje kod nasipa. Za velike visine valova može se pojaviti erozija na strani luke ili na oblozi nasutog lukobrana
$q = 100 \text{ l/s/m}$	Kruna i unutarnji pokosi nasipa moraju biti zaštićeni asfaltom ili betonom. Kod nasutih obloženih lukobrana, valovi se mogu početi odbijati pa zato i kruna i vanjski pokos moraju biti obloženi betonskim ili kamenim elementima

Međutim, ne određuje samo protok jačinu prelijevanja već i visina vala. Valovi veće visine daju veće prelijevanje nego manji valovi.

Dopušteno prelijevanje određuje se na temelju pojava koje određeni protok izaziva, a koje su za građevinu prihvatljive. Osim sigurnosti konstrukcije lukobrana, potrebno je obratiti pozornost i na sigurnost plovila i opreme u luci.[1] Ograničenja prelijevanja prikazana su u tablicama 5 i 6.

Tablica 5: Ograničenja prelijevanja valova ovisno o vrsti obalne građevine, prema [1]

Vrsta lukobrana	q (l/s/m)	Vmax (l/m)
Nasuti obloženi lukobran, $H_{m0} > 5$ m; bez oštećenja	1.0	2000-3000
Nasuti obloženi lukobran, $H_{m0} > 5$ m; stražnja strana projektirana na prelijevanje vala	5.0-10.0	10000-20000
Zatravljena kruna i pokos prema obali, održavana trava, $H_{m0} = 1-3$ m	5.0	2000-3000
Zatravljena kruna i pokos prema obali, ne održavana trava, mahovine, šupljine, $H_{m0} = 0.5-3$ m	0.1	500
Zatravljena kruna i pokos prema obali, $H_{m0} < 1$ m	5.0-10.0	500
Zatravljena kruna i pokos prema obali, $H_{m0} < 0.3$ m	bez granica	bez granica

Tablica 6: Ograničenja prelijevanja za osiguranje sigurnosti iza obalne građevine, prema [1]

Šteta	q (l/s/m)	Vmax (l/m)
Značajna šteta ili potapanje većih jahti; $H_{m0} > 5$ m	>10	>5000-30000
Značajna šteta ili potapanje većih jahti; $H_{m0} = 3-5$ m	>20	>5000-30000
Potapanje manjih brodova vezanih 5 - 10 m od zida; $H_{m0} = 3-5$ m; šteta na većim jahtama	>5	>3000-5000
Sigurno za veće jahte, $H_{m0} > 5$ m	<5	<5000
Sigurno za manje brodove vezane 5 - 10 m od zida, $H_m = 3-5$ m	<1	<2000
Šteta na opremi udaljenoj 5 - 10 m	≤1	≤1000

6. REZULTATI

U ovom su poglavlju prikazani proračuni nasutog, vertikalnog i kompozitnog lukobrana te obalnog zida u svrhu procjene količine materijala te isplativosti izvedbe neke vrste lukobrana u određenim uvjetima dubine mora i visine vala. Proračun je proveden za dubine mora -10, -15, -20, -25 i -30 m te za visine vala od 2.0, 2.5, 3.0 i 3.5 m što ukupno daje 40 vertikalnih odnosno kompozitnih lukobrana te 20 nasutih lukobrana.

Troškovi izvedbe obalnog zida su obračunati pod ukupnim troškovima izvedbe nasutog lukobrana obzirom da se izvode u kombinaciji. Kompozitni lukobran je proračunat za dva slučaja: u prvom slučaju vertikalni betonski dio seže do dubine -5 m, a u drugom slučaju do dubine -10 m.

Detaljni postupak proračuna stabilnosti, prelijevanja i količina materijala prikazan je za dubinu -15,0 m te značajnu visinu vala od 2,5 m. Proračun za ostale dubine i visine vala je zbog jednostavnosti prikazan samo tablično.

Potrebno je napomenuti da su rezultati generalizirani te samo približno točni te je za svaki pojedini slučaj moguća još dodatna optimizacija. Također, treba napomenuti kako je za projektiranje betonskih elemenata oba lukobrana potrebno, pored proračuna prikazanih ovdje, provesti i provjeru najvećih dopuštenih naprezanja u tlu, što ponekad zna biti i najkritičnija provjera stabilnosti lukobrana.

6.1. Proračun nasutog lukobrana

U nastavku je prikazan primjer proračuna stabilnosti elemenata obloge nasutog lukobrana, prelijevanje preko krune te količine materijala u poprečnom presjeku za ulazne parametre vala $H_s = 2.5$ m te dubinu $d = -15.0$ m, dok su ostali slučajevi prikazani u tablicama ispod proračuna.

Ulazni parametri:

Značajna visina vala: $H_s = 2,5$ m

Dubina lukobrana: $d = 15$ m

Razina visoke vode: $VV_{5god} = 1,2$ m

Gustoća mora: $\rho_m = 1025 \text{ kg/m}^3$
 Specifična težina mora: $\gamma_m = \rho_m * g = 1055,25 \text{ N/m}^3$
 Projektna visina vala: $H_{pr} = 1,27 * H_s = 4,45 \text{ m}$

Provjera loma vala

$d \geq 2,5H_s \longrightarrow$ nema loma vala

$15 \text{ m} \geq 2,5 * 2,5 \text{ m}$

$15 \text{ m} \geq 8,75 \text{ m}$

Neće doći do loma vala!

Obloga

Vrsta obloge: obloga 4 (oštrobridni lomljeni slučajno položeni kamen, $n = 2$)

Gustoća kamena: $\rho_{obl} = 2600 \text{ kg/m}^3$

Specifična težina kamena: $\gamma_{obl} = \rho_k * g = 25506 \text{ N/m}^3$

Broj slojeva: $n = 2$

Nagib pokosa lukobrana: $\text{ctg}\alpha = 1,5$

Koeficijent sloja: $k_\Delta = 1,02$

Koeficijent stabilnosti: $K_D = 4,0$

Dimenzioniranje primarnog sloja nasutog lukobrana:

Proračun mase elemenata primarne obloge vrši se po Hudsonovoj formuli, odnosno po formuli (1).

Masa primarne obloge:

$$M_A = \frac{\rho_{obl} * H_{proj}^3}{K_D * \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_{mora}} - 1\right)^3 * \text{ctg}\alpha} = \frac{2600 * 2,5^3}{4 * \left(\frac{2600}{1025} - 1\right)^3 * 1,5} = 3822,8 \text{ kg}$$

Težina primarne obloge:

$$G_A = M_A * g = 3822 * 9,81 = 37501,8 \text{ N}$$

Debljina primarnog sloja izračunava se po formuli (2):

$$r_A = n * k_{\Delta} * \left(\frac{G_A}{\gamma_{obl}} \right)^{\frac{1}{3}} = 2 * 1 * \left(\frac{37501,8}{25506} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,3 \text{ m}$$

Obzirom da je jako teško dobiti kamen uniformne granulacije iz kamenoloma, dopušteno je ugraditi dio kamena koji je nešto lakši odnosno teži od proračunatog. Tako se određuje raspon masa koji ugrađeni kamen mora zadovoljiti. Raspon masa elemenata primarne obloge iznosi:

$$M_{A125\%} = 1,25 * M_A = 4778 \text{ kg}$$

$$M_{A75\%} = 0,75 * M_A = 2867 \text{ kg}$$

Dimenzioniranje sekundarnog sloja nasutog lukobrana

Masa elemenata sekundarne obloge izračunava se u odnosu na masu elemenata primarne obloge. U prvom se međusloju masa elemenata umanjuje 10 puta u odnosu na masu elemenata primarne obloge, a u drugom međusloju 200 puta.

Masa obloge 1. međusloja:

$$M_{10} = \frac{M_A}{10} = \frac{3822}{10} = 382,3 \text{ kg}$$

Težina obloge 1. međusloja:

$$G_{10} = M_{10} * g = 382,3 * 9,81 = 3750,2 \text{ N}$$

Debljina 1. međusloja:

$$r_{10} = n * k_{\Delta} * \left(\frac{G_{10}}{\gamma_{obl}} \right)^{\frac{1}{3}} = 2 * 1 * \left(\frac{3750,2}{25506} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,1 \text{ m}$$

Raspon masa obloge 1. međusloja:

$$M_{10,130\%} = 1,3 * M_{10} = 497 \text{ kg}$$

$$M_{10,70\%} = 0,7 * M_{10} = 268 \text{ kg}$$

Masa obloge 2. međusloja:

$$M_{200} = \frac{M_A}{200} = \frac{3822,8}{200} = 19,1 \text{ kg}$$

Težina obloge 2. međusloja:

$$G_{200} = M_{200} * g = 19 * 9,81 = 187,5 \text{ N}$$

Debljina 2. međusloja:

$$r_{10} = n * k_{\Delta} * \left(\frac{G_{200}}{\gamma_{obl}} \right)^{\frac{1}{3}} = 2 * 1 * \left(\frac{187,5}{25506} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,4 \text{ m}$$

Raspon masa obloge 2. međusloja:

$$M_{200,150\%} = 1,5 * M_{200} = 29 \text{ kg}$$

$$M_{200,50\%} = 0,5 * M_{200} = 10 \text{ kg}$$

Dimenzioniranje jezgre nasutog lukobrana

Baš kao i elementi sekundarnog sloja, i masa elemenata jezgre se proračunava u odnosu na masu elemenata primarne obloge, odnosno, umanjena 4000 puta.

Masa elemenata jezgre:

$$M_{4000} = \frac{M_A}{4000} = \frac{3822,8}{4000} = 1,0 \text{ kg}$$

Težina elemenata jezgre:

$$G_{4000} = M_{4000} * g = 1,0 * 9,81 = 9,4 \text{ N}$$

Raspon masa elemenata jezgre:

$$M_{4000,170\%} = 1,7 * M_{4000} = 1,6 \text{ kg}$$

$$M_{4000,30\%} = 0,5 * M_{4000} = 0,3 \text{ kg}$$

Dimenzioniranje krune lukobrana:

Kota krune lukobrana se izračunava prema formuli (8):

$$k_{krune} = VV_{5god} + 1,25H_s = 1,2 + 1,25 * 2,5 = 5,2 \text{ m}$$

Treba napomenuti da je ova vrijednost konzervativna te je zbog optimizacije i vjerodostojnije usporedbe lukobrana visina krune nasutog lukobrana odabrana s obzirom na kriterij maksimalnog dopuštenog prelijevanja. Dakle, usvojena je kota krune od 4,0 m koja zadovoljava na prelijevanje te će se u proračunu u nastavku u obzir uzeti optimizirana kota krune.

Visina lukobrana:

$$V_{luk} = k_{krune} + d = 4 + 15 = 19 \text{ m}$$

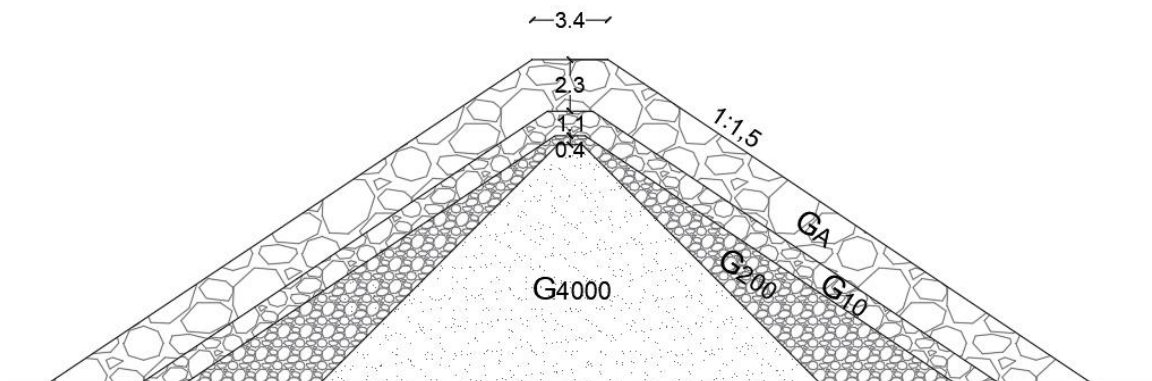
Za izračun širine krune lukobrana koristi se izraz (9):

$$n_k = 3$$

$$B_{po} = n_k * k_{\Delta} * \left(\frac{G_A}{\gamma_{obl}} \right)^{\frac{1}{3}} = 3 * 1,02 * \left(\frac{37501,8}{2600} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,4 \text{ m}$$

Širina krune u ostalim slojevima može se izračunati po istoj formuli, jedino se umjesto težine G_A , koristi težina elemenata sloja za kojeg se krune proračunava.

Na slici 29 je prikazana skica lukobrana na temelju prethodnog proračuna.



Slika 29: Poprečni presjek nasutog lukobrana

Za izračun prelijevanja potrebno je odrediti razliku kote krune i petogodišnjeg visokog vala, odnosno R_c .

$$R_c = k_{\text{kruna}} - v_{5\text{god}} = 4 - 1,2 = 2,8 \text{ m}$$

Faktor hrapavosti γ_f iznosi 0.4, a faktor strmosti vala γ_β 1, a dopušteno prelijevanje iznosi 5 l/s/m.

Prelijevanje za danu visinu krune izračunava se prema izrazu (26) te iznosi:

$$q = 0,1035 \sqrt{g * H_{m0}^3} * \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0,1035 * \sqrt{9,81 * 2,5^3} * \exp \left[- \left(1,35 * \frac{2,8}{2,5 * 0,4 * 1} \right)^{1,3} \right] = 0,0046 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 4,6 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Količina pojedinog materijala u poprečnom presjeku nasutog lukobrana izračunata je na temelju površina trapeza.

Obzirom da su za trapez primarne obloge poznate širina krune, nagib pokosa te ukupna visina valobrana, lako je iz toga izraziti veličine potrebne za izračun površine, a te veličine iznose:

Manja osnovica = širina krune = 3,4 m

Visina lukobrana = 19,0 m

Veća osnovica = manja osnovica + 2 * ctg α * visina lukobrana

Veća osnovica = 3,4 + 2 * 1,5 * 19 = 60,4 m

$$P_{\text{trapez_po}} = \frac{\text{manja osnovica} + \text{veća osnovica}}{2} * \text{visina lukobrana} = \frac{3,4 + 60,4}{2} * 19 \\ = 606,3 \text{ m}^2$$

Prema istim su principima izračunate i površine ostalih trapeza, s time da se svakom slijedećem trapezu smanjuju širina krune i visina.

Širina krune za svaki slijedeći trapez u poprečnom presjeku se izračunava prema formuli (4) pa tako manja osnovica u trapezu prvog i drugog međusloja iznose:

$$B_{10} = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_{10}}{Y_{obl}}} = 3 * 1 * \sqrt[3]{\frac{3750,2}{25506}} = 1,6 \text{ m}$$

$$B_{200} = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_{200}}{Y_{obl}}} = 3 * 1 * \sqrt[3]{\frac{187,5}{25506}} = 0,6 \text{ m}$$

Manja osnovica u trapezu jezgre nije izračunata po istoj formuli, obzirom da formula daje vrlo malu širinu krune zbog male težine elemenata u lukobranu (svega 0,2 m) već je zadržana ista širina krune kao i kod trapeza prvog međusloja, odnosno $B_{4000} = B_{200}$.

Visine trapeza za sekundarnu oblogu i jezgru izračunate su kao razlika između visine lukobrana i debljine pojedinih slojeva, a iznose:

Debljina primarnog sloja: $r_A = 2,3 \text{ m}$

Debljina prvog međusloja: $r_{10} = 1,1 \text{ m}$

Debljina drugog međusloja: $r_{200} = 0,4 \text{ m}$.

Visina trapeza prvog međusloja: $v_{10} = \text{visina lukobrana} - r_A = 19 - 2,3 = 16,7 \text{ m}$

Visina trapeza drugog međusloja: $v_{200} = \text{visina lukobrana} - r_A - r_{10} = 19 - 2,3 - 1,1 = 15,6 \text{ m}$

Visina trapeza jezgre: $v_{4000} = \text{visina lukobrana} - r_A - r_{10} - r_{200} = 20,2 - 2,3 - 1,1 - 0,4 = 15,2 \text{ m}$

Baš kao i za primarnu oblogu, i za sekundarnu oblogu i jezgru je veća osnovica izračunata iz parametara visine, širine krune i nagiba te tako iznose:

1. međusloj: veća osnovica = $B_{10} + 2 * \text{ctg}\alpha * v_{10} = 1,6 + 2 * 1,5 * 16,7 = 51,7 \text{ m}$

2. međusloj: veća osnovica = $B_{200} + 2 * \text{ctg}\alpha * v_{200} = 0,6 + 2 * 1,5 * 15,6 = 47,4 \text{ m}$

Obzirom da je nagib pokosa jezgre 1:1, a ne 1:1,5, to treba uzeti u obzir i prilikom izračuna površine jezgre, odnosno izračuna veće osnovice, koja za taj slučaj iznosi:

Jezgra: veća osnovica = $B_{4000} + 2 * \text{ctg}\alpha * v_{4000} = 0,6 + 2 * 1,1 * 15,2 = 34,0 \text{ m}$

Kada su poznati svi elementi za izračun površina trapeza, oni konačno iznose:

$$P_{\text{trapez}_{1.\text{ms}}} = \frac{1,6 + 51,7}{2} * 16,7 = 446,1 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{trapez}_{2.\text{ms}}} = \frac{0,6 + 47,4}{2} * 15,6 = 377,5 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{trapez}_{\text{jezgra}}} = \frac{0,6 + 34}{2} * 15,2 = 242,4 \text{ m}^2$$

Kada su poznate sve površine trapeza, površine pojedinog sloja dobiju se kao njihove razlike te iznose:

$$P_{\text{po}} = P_{\text{trapez}_{\text{po}}} - P_{\text{trapez}_{1.\text{ms}}} = 606,3 - 446,1 = 160,2 \text{ m}^2$$

$$P_{1.\text{ms}} = P_{\text{trapez}_{1.\text{ms}}} - P_{\text{trapez}_{2.\text{ms}}} = 446,1 - 377,5 = 68,6 \text{ m}^2$$

$$P_{2.\text{ms}} = P_{\text{trapez}_{2.\text{ms}}} - P_{\text{trapez}_{\text{jezgra}}} = 377,5 - 242,4 = 135,0 \text{ m}^2$$

U nastavku, u tablicama 8, 9, 10 i 11 su prikazani izračuni nasutih lukobrana za dubine mora -10.0, -15.0, -20.0, -25.0 i -30.0 m u kombinaciji s visinama vala od 2.0, 2.5, 3.0 i 3.5 m.

U tablici 7 su prikazane konstante koje su korištene u proračunu poput gustoća obloge i mora, koeficijent sloja i stabilnosti i sl.

Tablica 7: Konstante korištene pri proračun nasutih lukobrana

Gustoća mora [kg/m ³]	ρ_m	1,025.00
Specifična težina mora [N/m ³]	γ_m	10,055.30
Razina visoke vode [mm]	VV _{5god}	1.20
Obloga	4	
Gustoća obloge [kg/m ³]	ρ_{obl}	2,600.00
Specifična težina obloge [N/m ³]	γ_{obl}	25,506.00
Koeficijent stabilnosti	K _D	4.00
Koeficijent sloja	k Δ	1.00
Faktor hrapavosti pokosa	γ_f	0.40
Faktor strmosti vala	γ_β	1.00

Tablica 8: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 2,0$ m

ULAZNI PODATCI	Značajna visina vala, H_s [m]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
	Period, T [s]	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Razina VV, vv_{5god} [m]	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Projektni val, H_{pr} [m]	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
Provjera loma vala		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
		Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
OBLOGA	Koeficijent stabilnosti, K_d	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Broj slojeva, n	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Nagib pokosa, $ctg\alpha$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	Koeficijent sloja, k_{Δ}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PRIMARNA OBLOGA	Masa primarne obloge, M_A [kg]	1,957.28	1,957.28	1,957.28	1,957.28	1,957.28
	Težina primarne obloge, G_A [N]	19,200.93	19,200.93	19,200.93	19,200.93	19,200.93
	Debljina primarnog sloja, r_A [m]	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
1.MEĐU SLOJ	Masa_1. međusloj, M_{10} [kg]	195.73	195.73	195.73	195.73	195.73
	Težina_1. međusloj, G_{10} [N]	1,920.09	1,920.09	1,920.09	1,920.09	1,920.09
	Debljina sloja_1. međusloj, r_{10} [m]	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
2.MEĐU SLOJ	Masa_2. međusloj, M_{200} [kg]	9.79	9.79	9.79	9.79	9.79
	Težina_2. međusloj, G_{200} [N]	96.00	96.00	96.00	96.00	96.00
	Debljina sloja_2. međusloj, r_{200} [m]	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
JEZGRA	Masa_jezgra, M_{4000} [kg]	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
	Težina_jezgra, G_{4000} [N]	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80
KRUNA	Kota krune, k_{krune} [mm]	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
	Visina lukobrana, V_{luk} [m]	13.40	18.40	23.40	28.40	33.40
	Širina krune, B_{p0} [m]	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
PRELIJEVANJE	R_c [m]	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
	Faktor hrapavosti pokosa, γ_f	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	Faktor strmosti vala, γ_{β}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Preljevanje, q [m ³ /s]	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74
	Dopušteno prelijevanje, q_{dop} [m ³ /s]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Provjera prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja
POVRŠINA SLOJEVA POPREČNOG PRESJEKA	Površina trapeza prim.obloge [m ²]	305.9	558.1	885.2	1,287.3	1,764.5
	Površina trapeza 1.međusloja [m ²]	215.8	433.4	725.9	1,093.5	1,536.0
	Površina trapeza 2.međusloja [m ²]	177.9	378.8	654.7	1,005.5	1,431.4
	Površina trapeza jezgre [m ²]	113.5	245.1	426.7	658.3	939.9
	Površina primarne obloge [m ²]	90.1	124.7	159.3	193.9	228.5
	Površina prvog međusloja [m ²]	37.9	54.6	71.3	87.9	104.6
	Površina drugog međusloja [m ²]	64.4	133.7	227.9	347.2	491.5
	Površina jezgre [m ²]	113.5	245.1	426.7	658.3	939.9

Tablica 9: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 2,5$ m

ULAZNI PODATCI	Značajna visina vala, H_s [m]	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
	Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
	Period, T [s]	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
	Razina VV, vv_{5god} [m]	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Projektni val, H_{pr} [m]	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
Provjera loma vala		6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
OBLOGA	Koeficijent stabilnosti, K_b	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Broj slojeva, n	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Nagib pokosa, $ctg\alpha$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	Koeficijent sloja, k_{Δ}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PRIMARNA OBLOGA	Masa primarne obloge, M_A [kg]	3,822.81	3,822.81	3,822.81	3,822.81	3,822.81
	Težina primarne obloge, G_A [N]	37,501.81	37,501.81	37,501.81	37,501.81	37,501.81
	Debljina primarnog sloja, r_A [m]	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
1.MEĐU SLOJ	Masa_1. međusloj, M_{10} [kg]	382.28	382.28	382.28	382.28	382.28
	Težina_1. međusloj, G_{10} [N]	3,750.18	3,750.18	3,750.18	3,750.18	3,750.18
	Debljina sloja_1.međusloj, r_{10} [m]	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
2.MEĐU SLOJ	Masa_2. međusloj, M_{200} [kg]	19.11	19.11	19.11	19.11	19.11
	Težina_2. međusloj, G_{200} [N]	187.51	187.51	187.51	187.51	187.51
	Debljina sloja_2. međusloj, r_{200} [m]	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
JEZGRA	Masa_jezgra, M_{4000} [kg]	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Težina_jezgra, G_{4000} [N]	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38
KRUNA	Kota krune, k_{krune} [mnm]	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Visina lukobrana, V_{luk} [m]	14.00	19.00	24.00	29.00	34.00
	Širina krune, B_{p0} [m]	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41
PRELIJEVANJE	R_c [m]	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	Faktor hrapavosti pokosa, γ_f	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	Faktor strmosti vala, γ_{β}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Preljevanje, q [m ³ /s]	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58
	Dopušteno prelijevanje, q_{dop} [m ³ /s]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Provjera prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja
POVRŠINA SLOJEVA POPREČNOG PRESJEKA	Površina trapeza prim.obloge [m ²]	341.8	606.3	945.9	1,360.4	1,850.0
	Površina trapeza 1.međusloja [m ²]	224.8	446.1	742.4	1,113.7	1,560.0
	Površina trapeza 2.međusloja [m ²]	177.0	377.5	652.9	1,003.4	1,428.9
	Površina trapeza jezgre [m ²]	111.7	242.4	423.2	653.9	934.6
	Površina primarne obloge [m ²]	117.0	160.2	203.5	246.7	290.0
	Površina prvog međusloja [m ²]	47.8	68.6	89.5	110.3	131.1
	Površina drugog međusloja [m ²]	65.3	135.0	229.8	349.5	494.3
	Površina jezgre [m ²]	111.7	242.4	423.2	653.9	934.6

Tablica 10: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 3,0$ m

ULAZNI PODATCI	Značajna visina vala, H_s [m]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
	Period, T [s]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Razina VV, v_{v_5god} [m]	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Projektni val, H_{pr} [m]	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81
Provjera loma vala		7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
		Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
OBLOGA	Koeficijent stabilnosti, K_b	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Broj slojeva, n	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Nagib pokosa, $ctg\alpha$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	Koeficijent sloja, k_{Δ}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PRIMARNA OBLOGA	Masa primarne obloge, M_A [kg]	6,605.82	6,605.82	6,605.82	6,605.82	6,605.82
	Težina primarne obloge, G_A [N]	64,803.13	64,803.13	64,803.13	64,803.13	64,803.13
	Debljina primarnog sloja, r_A [m]	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
1.MEĐU SLOJ	Masa_1. međusloj, M_{10} [kg]	660.58	660.58	660.58	660.58	660.58
	Težina_1. međusloj, G_{10} [N]	6,480.31	6,480.31	6,480.31	6,480.31	6,480.31
	Debljina sloja_1.međusloj, r_{10} [m]	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
2.MEĐU SLOJ	Masa_2. međusloj, M_{200} [kg]	33.03	33.03	33.03	33.03	33.03
	Težina_2. međusloj, G_{200} [N]	324.02	324.02	324.02	324.02	324.02
	Debljina sloja_2. međusloj, r_{200} [m]	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
JEZGRA	Masa_jezgra, M_{4000} [kg]	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
	Težina_jezgra, G_{4000} [N]	16.20	16.20	16.20	16.20	16.20
KRUNA	Kota krune, k_{krune} [mnm]	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70
	Visina lukobrana, V_{luk} [m]	14.70	19.70	24.70	29.70	34.70
	Širina krune, B_{p0} [m]	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09
PRELIJEVANJE	R_c [m]	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
	Faktor hrapavosti pokosa, γ_f	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	Faktor strmosti vala, γ_{β}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Preljevanje, q [m ³ /s]	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43
	Dopušteno prelijevanje, q_{dop} [m ³ /s]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Provjera prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja
POVRŠINA SLOJEVA POPREČNOG PRESJEKA	Površina trapeza prim.obloge [m ²]	384.3	662.8	1,016.2	1,444.7	1,948.2
	Površina trapeza 1.međusloja [m ²]	237.7	464.3	765.8	1,142.4	1,594.0
	Površina trapeza 2.međusloja [m ²]	179.4	380.9	657.5	1,009.1	1,435.6
	Površina trapeza jezgre [m ²]	112.0	242.8	423.7	654.6	935.5
	Površina primarne obloge [m ²]	146.6	198.5	250.4	302.3	354.2
	Površina prvog međusloja [m ²]	58.3	83.3	108.3	133.3	158.3
	Površina drugog međusloja [m ²]	67.4	138.1	233.8	354.5	500.1
	Površina jezgre [m ²]	112.0	242.8	423.7	654.6	935.5

Tablica 11: Proračun nasutih lukobrana za visinu vala $H_s = 3,5$ m

ULAZNI PODATCI	Značajna visina vala, H_s [m]	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
	Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
	Period, T [s]	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
	Razina VV, vv_{5god} [m]	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Projektni val, H_{pr} [m]	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
		8.75	8.75	8.75	8.75	8.75
	Provjera loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
OBLOGA	Koeficijent stabilnosti, K_D	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Broj slojeva, n	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Nagib pokosa, $ctg\alpha$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	Koeficijent sloja, k_{Δ}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PRIMARNA OBLOGA	Masa primarne obloge, M_A [kg]	10,489.80	10,489.80	10,489.80	10,489.80	10,489.80
	Težina primarne obloge, G_A [N]	102,904.96	102,904.96	102,904.96	102,904.96	102,904.96
	Debljina primarnog sloja, r_A [m]	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
1.MEĐU SLOJ	Masa_1. međusloj, M_{10} [kg]	1,048.98	1,048.98	1,048.98	1,048.98	1,048.98
	Težina_1. međusloj, G_{10} [N]	10,290.50	10,290.50	10,290.50	10,290.50	10,290.50
	Debljina sloja_1.međusloj, r_{10} [m]	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
2.MEĐU SLOJ	Masa_2. međusloj, M_{200} [kg]	52.45	52.45	52.45	52.45	52.45
	Težina_2. međusloj, G_{200} [N]	514.52	514.52	514.52	514.52	514.52
	Debljina sloja_2. međusloj, r_{200} [m]	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
JEZGRA	Masa jezgra, M_{4000} [kg]	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
	Težina jezgra, G_{4000} [N]	25.73	25.73	25.73	25.73	25.73
KRUNA	Kota krune, k_{krune} [mnm]	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
	Visina lukobrana, V_{luk} [m]	15.40	20.40	25.40	30.40	35.40
	Širina krune, B_{p0} [m]	4.78	4.78	4.78	4.78	4.78
PRELIJEVANJE	R_c [m]	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20
	Faktor hrapavosti pokosa, γ_f	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	Faktor strmosti vala, γ_{β}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Prelijevanje, q [m ³ /s]	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48
	Dopušteno prelijevanje, q_{dop} [m ³ /s]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Provjera prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja	Nema prelijevanja
POVRŠINA SLOJEVA POPREČNOG PRESJEKA	Površina trapeza prim.obloge [m ²]	429.3	721.7	1,089.0	1,531.4	2,048.8
	Površina trapeza 1.međusloja [m ²]	250.9	482.8	789.6	1,171.4	1,628.2
	Površina trapeza 2.međusloja [m ²]	181.7	384.4	662.0	1,014.7	1,442.4
	Površina trapeza jezgre [m ²]	112.2	243.3	424.3	655.3	936.3
	Površina primarne obloge [m ²]	178.4	238.9	299.5	360.0	420.6
	Površina prvog međusloja [m ²]	69.2	98.4	127.5	156.7	185.9
	Površina drugog međusloja [m ²]	69.5	141.1	237.8	359.4	506.0
	Površina jezgre [m ²]	112.2	243.3	424.3	655.3	936.3

6.2. Proračun obalnog zida

U nastavku je prikazan proračun stabilnosti obalnog zida te količina materijala u poprečnom presjeku. Proračun je izveden na temelju zadane kote vrha i dna obalnog zida, a cilj je bio dimenzionirati širinu obalnog zida tako da za dane uvjete konstrukcija bude stabilna na klizanje i prevrtanje. Pritom je širina dimenzionirana na najmanji mogući odnos M_{st}/M_{dst} te V^*f/H , odnosno 1,10. Skica 30 prikazuje tlakove i sile koji djeluju na zid.

Ulazni parametri:

Kota dna zida: $k_d = -5,0$ mnm

Kota obale zida: $k_o = 2,5$ mnm

Razina mora: $vv_{5god} = 1,2$ m

Specifična težina mora: $\gamma_m = 1\,006$ N/m³

Specifična težina betona: $\gamma_b = 2\,400$ N/m³

Specifična težina nasipa: $\gamma_z = 2\,000$ N/m³

Specifična težina uronjenog nasipa: $\gamma_{zc} = 1\,100$ N/m³

Aktivni potisak tla: $k_a = 0,307$

Širina zida: $B = 5,5$ m

Visoka voda iza zida: $vv_{iza} = k_o = 2,5$ m

Geometrija:

$$h_1 = k_o - k_d = 2,5 + 5 = 7,5 \text{ m}$$

$$h_2 = k_o - vv_{5god} = 2,5 - 1,2 = 1,3 \text{ m}$$

$$h_3 = vv_{5god} - k_d = 1,2 + 5 = 6,2 \text{ m}$$

Pritisci:

$$p_1 = k_a * \gamma_{zc} * h_1 = 0,307 * 11 * 7,5 = 25,3 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = \gamma_m * h_2 = 10,06 * 1,3 = 13,1 \text{ kN/m}^2$$

Sile:

$$G = \gamma_b * h_1 * B = 24 * 7,5 * 5,5 = 971 \text{ kN}$$

$$U_1 = \gamma_m * h_3 * B = 10,06 * 6,2 * 5,5 = 343 \text{ kN}$$

$$U_2 = \gamma_m * h_2 * \frac{B}{2} = 10,06 * 1,3 * \frac{5,5}{2} = 36 \text{ kN}$$

$$H_1 = p_1 * \frac{h_1}{2} = 25,3 * \frac{7,5}{2} = 95 \text{ kN}$$

$$H_2 = p_2 * \frac{h_2}{2} = 13,1 * \frac{1,3}{2} = 8,5 \text{ kN}$$

$$H_3 = p_2 * h_3 = 13,1 * 6,2 = 81,1 \text{ kN}$$

Krakovi:

$$v_1 = \frac{B}{2} = \frac{5,5}{2} = 2,8 \text{ m}$$

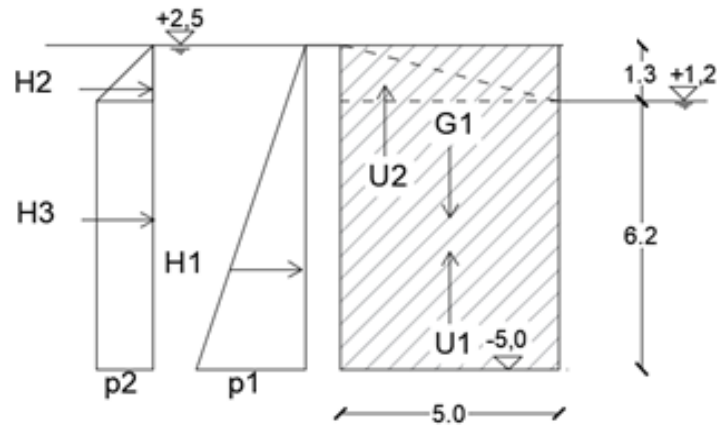
$$u_1 = \frac{B}{2} = \frac{5,5}{2} = 2,8 \text{ m}$$

$$u_2 = \frac{2 * B}{3} = \frac{2 * 5,5}{3} = 3,7 \text{ m}$$

$$k_1 = \frac{h_1}{3} = \frac{7,5}{3} = 2,5 \text{ m}$$

$$k_2 = h_3 + \frac{h_2}{3} = 6,2 + \frac{1,3}{2} = 6,6 \text{ m}$$

$$k_3 = \frac{h_3}{2} = \frac{6,2}{2} = 3,1 \text{ m}$$



Slika 30: Opterećenja koja djeluju na obalni zid

Momenti

$$M_G = G * v_1 = 971 * 2,8 = 2670,3 \text{ kNm}$$

$$M_{U1} = U_1 * u_1 = 343 * 2,8 = 943,4 \text{ kNm}$$

$$M_{U2} = U_2 * u_2 = 36 * 3,7 = 131,9 \text{ kNm}$$

$$M_{H1} = H_1 * k_1 = 95 * 2,5 = 237,4 \text{ kNm}$$

$$M_{H2} = H_2 * k_2 = 8,5 * 6,6 = 56,4 \text{ kNm}$$

$$M_{H3} = H_3 * k_3 = 81,1 * 3,1 = 251,4 \text{ kNm}$$

Provjera stabilnosti:

$$\gamma_{G.dst} = 1.1$$

$$\gamma_{G.stb} = 0.9$$

$$\gamma_{Q.dst} = 1.5$$

Prevrtnje

$$M_{st} = \gamma_{G.stb} * M_G = 0,9 * 2670,3 = 2403,3 \text{ kNm}$$

$$M_{dst} = \gamma_{G.dst} * (M_{U1} + M_{H1}) + \gamma_{Q.dst} * (M_{U2} + M_{H2} + M_{H3})$$

$$M_{dst} = 1,1 * (943,4 + 237,4) + 1,5 * (131,9 + 56,4 + 251,4) = 1958,3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{st}}{M_{dst}} = 1,2$$

Klizanje

$$f = 0,6$$

$$H = \gamma_{G.dst} * H_1 + \gamma_{Q.dst} * (H_2 + H_3) = 1,1 * 95 + 1,5 * (8,5 + 81,1) = 238,9 \text{ kN}$$

$$V = \gamma_{G.st} * G - \gamma_{G.dst} * U_1 - \gamma_{Q.dst} * U_2 = 0,9 * 971 - 1,1 * 343 - 1,5 * 36 = 442,6 \text{ kN}$$

$$V * f = 265,6 \text{ kN}$$

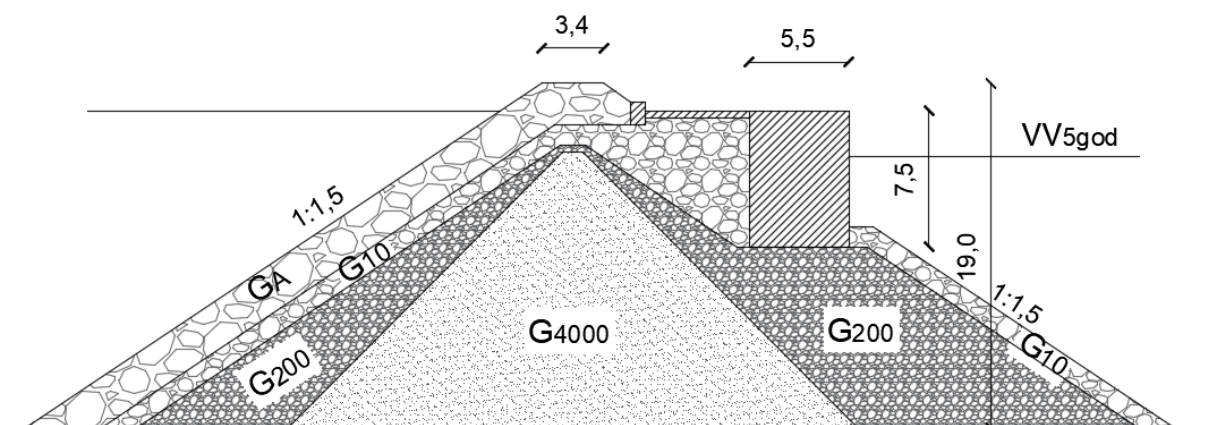
$$\frac{V * f}{H} = \frac{265,6}{238,9} = 1,11$$

Površina obalnog zida:

Površina se izračunava jednostavno, kao umnožak širine i visine:

$$P = B * h_1 = 5,5 * 7,5 = 41,25 \text{ m}^2$$

U konačnici, na slici 31 je dan prikaz obalnog zida u kombinaciji s nasutim lukobranom kako bi se lakše predočile potrebne količine materijala za izvedbu lukobrana.



Slika 31: Nasuti lukobran u kombinaciji s obalnim zidom

U nastavku je tablični prikaz proračuna obalnog zida za različite visine vala, tablica 12.

Tablica 12: Proračun obalnog zida

ULAZNI PARAMETRI	Značajna visina vala	Hs=2.0 m	Hs=2.5 m	Hs=3.0 m	Hs=3.5 m
	Razina VV, vv_5god [m]	1.20	1.20	1.20	1.20
	Kota obale zida, ko [mnm]	2.50	2.50	2.50	2.50
	Kota dna zida, kd [mnm]	-5.00	-5.00	-5.00	-5.00
	Kota krune nasutog lukobrana, kkrune [mnm]	2.50	2.50	2.50	2.50
	Visina zida, v_zid [m]	7.50	7.50	7.50	7.50
	Visoka voda iza zida, Vviza [m]	2.50	2.50	2.50	2.50
	Širina obalnog zida, B [m]	5.50	5.50	5.50	5.50
	VISINE	h1 [m]	7.50	7.50	7.50
h2 [m]		1.30	1.30	1.30	1.30
h3 [m]		6.20	6.20	6.20	6.20
TLAK	p1 [kN/m2]	25.33	25.33	25.33	25.33
	p2 [kN/m2]	13.08	13.08	13.08	13.08
SILE	G1 [kN]	971.03	971.03	971.03	971.03
	U1 [kN]	343.05	343.05	343.05	343.05
	U2 [kN]	35.96	35.96	35.96	35.96
	H1 [kN]	94.98	94.98	94.98	94.98
	H2 [kN]	8.50	8.50	8.50	8.50
	H3 [kN]	81.08	81.08	81.08	81.08
KRAKOVI	v1 [m]	2.75	2.75	2.75	2.75
	u1 [m]	2.75	2.75	2.75	2.75
	u2 [m]	3.67	3.67	3.67	3.67
	k1 [m]	2.50	2.50	2.50	2.50
	k2 [m]	6.63	6.63	6.63	6.63
	k3 [m]	3.10	3.10	3.10	3.10
MOMENTI	MG1 [kNm]	2,670.32	2,670.32	2,670.32	2,670.32
	MU1 [kNm]	943.38	943.38	943.38	943.38
	MU2 [kNm]	131.87	131.87	131.87	131.87
	MH1 [kNm]	237.45	237.45	237.45	237.45
	MH2 [kNm]	56.39	56.39	56.39	56.39
	MH3 [kNm]	251.36	251.36	251.36	251.36
STABILNOST	Moment stabilnosti, Mst [kNm]	2,403.29	2,403.29	2,403.29	2,403.29
	Moment destabilnosti, Mdst [kNm]	1,958.33	1,958.33	1,958.33	1,958.33
	Mst/Mdst	1.23	1.23	1.23	1.23
	Vertikalne sile, V [kN]	442.63	442.63	442.63	442.63
	Horizontalne sile, H [kN]	238.85	238.85	238.85	238.85
	Koeficijent trenja, f	0.60	0.60	0.60	0.60
	V*f/H	1.11	1.11	1.11	1.11
<u>Količine materijala</u>					
	Obalni zid [m2]	41.25	41.25	41.25	41.25

Iz tablice je vidljivo da na proračun obalnog zida ne utječe visina vala, odnosno za sve 4 visine vala, rezultati su identični.

Konstante koje su se u proračunu koristile su prikazane u tablici 13:

Tablica 13: Konstante za proračun obalnog zida

Specifična težina mora	γ_m	10.06
Specifična težina betona	γ_b	23.54
Specifična težina nasipa	γ_n	19.00
Spec. težina uronjenog nasipa	γ_{zc}	11.00
Unutrašnji kut trenja, φ_k	φ_k	38.00
Razina visoke vode	VV_{5god}	1.20
Faktori sigurnosti (prema Eurocodu)	γ_{G_dst}	1.10
	γ_{G_st}	0.90
	γ_{Q_dst}	1.50

6.3. Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana

U nastavku je prikazan primjer proračuna stabilnosti kompozitnog lukobrana na klizanje i prevrtanje za ulazne parametre vala $H_s = 2,5$ m te dubinu -15,0 m, gdje je dno vertikalnog lukobrana na koti -5,0 m, a ostalih 10 m predstavlja nasuti dio. Baš kao i kod obalnog zida, i ovdje je cilj bio odabrati minimalnu širinu lukobrana za koju će lukobran zadovoljavati na prevrtanje i klizanje. Na slici 32 je skiciran kompozitni lukobran iz primjera, zajedno sa svim opterećenjima i dimenzijama.

Ulazni parametri:

Kota dna	$k_d = -15$ m
Značaja visina vala	$H_s = 2.5$ m
Period	$t = 4.5$ s
Dužina vala	$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} = 31.62$ m
Razina visoke vode	$VV_{5god} = 1.2$ m
Kota obale lukobrana	$k_{o1} = 2.5$ mnm
Visina zidića	$v_z = 3.6$ m

Kota dna lukobrana	$k_{dl} = -5 \text{ mmm}$
Gustoća mora	$\rho_m = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Specifična težina vode	$\gamma_m = 10.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Gustoća betona	$\rho_b = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Specifična težina betona	$\gamma_b = 23.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Kut nailaska vala	$\beta = 0$
Projektna visina vala	$H_p = 1.8 * H_s = 1,8 * 2,5 = 4.5 \text{ m}$
Kota vrha zida	$k_z = v_z + k_{ol} = 3,6 + 2,5 = 6.1 \text{ mmm}$
Visina lukobrana	$h_1 = k_{ol} - k_{dl} = 2,5 + 5 = 7.5 \text{ m}$
Dubina na udaljenosti 5 Hs	$h_b = -k_d + vv_{5god} = 15 + 1,2 = 16,2 \text{ m}$

Debljina sloja školjere računa se prema izrazu (20):

$$N_s^3 = 26,8 * \left(\frac{d}{h_s}\right)^{0,58} = 26,8 * \left(\frac{5}{16,2}\right)^{0,58} = 13,55$$

$$D = \frac{H_{pr}}{\Delta * N_s} = \frac{4,5}{\left(\frac{2400}{1025} - 1\right) * \sqrt[3]{13,55}} = 1,2 \text{ m}$$

Pomoćne dimenzije:

$$d = vv_{5god} - k_{dl} - D = 1,2 + 5 - 1,2 = 5 \text{ m}$$

$$h = vv_{5god} - k_{dl} = 1,2 + 5 = 6.2 \text{ m}$$

$$h_c = k_z - vv_{5god} = 6,1 - 1,2 = 4.9 \text{ m}$$

$$h_s = vv_{5god} - k_d = 1,2 + 15 = 16.2 \text{ m}$$

$$h_w = k_z - k_{dl} = 6,1 + 5 = 11.1 \text{ m}$$

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

Širina lukobrana

$$B = 7.4 \text{ m}$$

Širina zidića

$$B_z = 1.5 \text{ m}$$

$$\eta = 0.75 * (1 + \cos(\beta)) * \lambda_1 * H_p = 0.75 * (1 + \cos 0) * 1 * 4.5 = 6.75$$

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left(\frac{\frac{4\pi * h_s}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi}{L} * h_s\right)} \right)^2 = 0.6 + 0.5 \left(\frac{\frac{4\pi * 16.2}{31.63}}{\sinh\left(\frac{4\pi}{31.63} * 16.2\right)} \right)^2 = 0.600$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} * \left(\frac{H_p}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_p} \right] = \min \left[\frac{16.2 - 5}{3 * 16.2} * \left(\frac{4.5}{5} \right)^2, \frac{2 * 5}{4.5} \right] = 0.185$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s} * \left(1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi}{L} * h_s\right)} \right) = 1 - \frac{11.1 - 4.9}{16.2} * \left(1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi}{31.63} * 16.2\right)} \right) \\ = 0.648$$

Tlakovi:

$$p_1 = 0.5 * (1 + \cos(\beta)) * (\lambda_1 * \alpha_1 + \lambda_2 * \alpha_2 * \cos(\beta)^2) * \gamma_m * H_p$$

$$p_1 = 0.5 * (1 + \cos(0)) * (1 * 0.3 + 1 * 0.185 * \cos(0)^2) * 10.06 * 4.5 = 35.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_2 = \left[\left(1 - \frac{h_c}{\eta} \right) p_1 \right] = \left[\left(1 - \frac{4.9}{6.75} \right) * 35.53 \right] = 9.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_3 = \alpha_3 * p_1 = 0.648 * 35.53 = 23.02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$u = \gamma_m * h = 10.06 * 6.2 = 62.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_u = 0.5 * [(1 + \cos(\beta)) \lambda_3 * \alpha_1 * \alpha_3 * \gamma_m * H_p]$$

$$p_u = 0.5 * [(1 + \cos(0)) * 1 * 0.3 * 0.648 * 10.06 * 4.5] = 17.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Sile:

$$G_1 = \gamma_b * h_1 * B * 1 = 23.54 * 7.5 * 7.4 * 1 = 1.306 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$G_2 = \gamma_b * v_z * B_z * 1 = 23,54 * 3,6 * 1,5 * 1 = 127.12 \text{ kN}$$

$$U = u * B * 1 = 62,37 * 7,4 * 1 = 461.55 \text{ kN}$$

$$U_w = p_u * \frac{B}{2} * 1 = 17,61 * \frac{7,4}{2} * 1 = 65.14 \text{ kN}$$

$$H_1 = p_2 * h_c * 1 = 9,74 * 4,9 * 1 = 47,72 \text{ kN}$$

$$H_2 = (p_1 - p_2) * \frac{h_c}{2} * 1 = (35,53 - 9,74) * \frac{4,9}{2} * 1 = 63,2 \text{ kN}$$

$$H_3 = p_3 * h * 1 = 23,02 * 6,2 * 1 = 142,74 \text{ kN}$$

$$H_4 = (p_1 - p_3) * \frac{h}{2} * 1 = (35,53 - 23,02) * \frac{6,2}{2} * 1 = 38,78 \text{ kN}$$

Krakovi:

$$v_1 = \frac{B}{2} = \frac{7,4}{2} = 3.7$$

$$v_2 = B - \frac{B_z}{2} = 7,4 - \frac{1,5}{2} = 6.65$$

$$u_1 = \frac{B}{2} = \frac{7,4}{2} = 3.7 \text{ m}$$

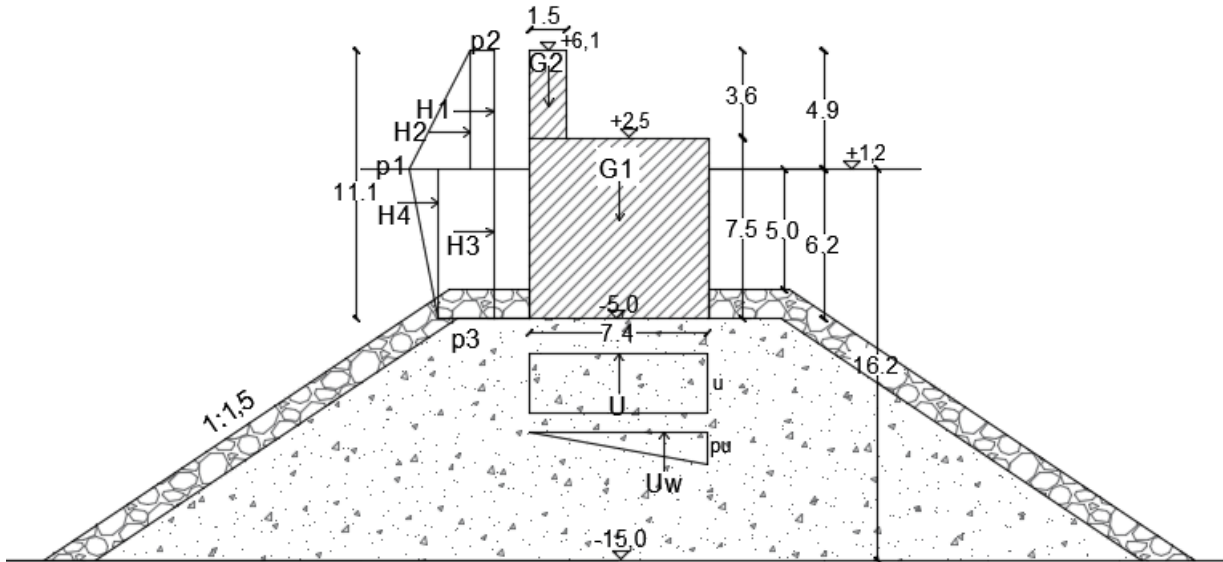
$$u_2 = \frac{2}{3} * B = \frac{2}{3} * 7,4 = 4.93 \text{ m}$$

$$h_1 = h + \frac{h_c}{2} = 6,2 + \frac{4,9}{2} = 8.65 \text{ m}$$

$$h_2 = h + \frac{h_c}{3} = 6,2 + \frac{4,9}{3} = 7.83 \text{ m}$$

$$h_3 = \frac{h}{2} = \frac{6,2}{2} = 3.1 \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{2}{3} * h = \frac{2}{3} * 6,2 = 4.13 \text{ m}$$



Slika 32: Skica kompozitnog lukobrana

Momenti:

$$M_{G1} = G_1 * v_1 = 1306,47 * 3,7 = 4.834 \times 10^3 \text{ kNm}$$

$$M_{G2} = G_2 * v_2 = 127,12 * 6,65 = 845,32 \text{ kNm}$$

$$M_U = U * u_1 = 461,55 * 3,7 = 1.708 \times 10^3 \text{ kNm}$$

$$M_{Uw} = U_w * u_2 = 65,14 * 4,93 = 321,36 \text{ kNm}$$

$$M_{H1} = H_1 * h_1 = 47,72 * 8,65 = 412,77 \text{ kNm}$$

$$M_{H2} = H_2 * h_2 = 63,2 * 7,83 = 495,04 \text{ kNm}$$

$$M_{H3} = H_3 * h_3 = 142,74 * 3,1 = 442,50 \text{ kNm}$$

$$M_{H4} = H_4 * h_4 = 38,78 * 4,13 = 160,29 \text{ kNm}$$

Provjera stabilnosti

$$\gamma_{G.dst} = 1.1$$

$$\gamma_{G.stb} = 0.9$$

$$\gamma_{Q.dst} = 1.5$$

Prevrtanje

$$M_{st} = \gamma_{G.stb} * (M_{G1} + M_{G2}) = 0,9 * (4833,94 + 845,32) = 5.111 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$M_{dst} = \gamma_{G.dst} * M_U + \gamma_{Q.dst} * (M_{H1} + M_{H2} + M_{H3} + M_{H4} + M_{Uw})$$

$$M_{dst} = 1,1 * 1707,75 + 1,5 * (412,77 + 495,04 + 442,5 + 160,29 + 321,36) = 4.626,47 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{st}}{M_{dst}} = 1,10$$

Klizanje

$$f = 0,6$$

$$H = \gamma_{Q.dst} * (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) = 1,5 * (47,72 + 63,2 + 142,74 + 38,78) = 438,66 \text{ kN}$$

$$V = \gamma_{G.stb} * (G_1 + G_2) - \gamma_{G.dst} * U - \gamma_{Q.dst} * U_w$$

$$V = 0,9 * (1306,47 + 127,12) - 1,1 * 461,55 - 1,5 * 65,14 = 684,81 \text{ kN}$$

$$\frac{V * f}{H} = 2,6$$

Provjera prelijevanja:

$$R_c = h_c = 4,9 \text{ m}$$

$$\frac{d}{h_s} = \frac{5}{16,2} = 0,31$$

0,31 < 0,6 → Kompozitni lukobran

$$\frac{h_s^2}{H_s * L} = \frac{16,2^2}{2,5 * 31,63} = 1,03$$

1,03 > 0,65 → Nema loma vala

Za kompozitni lukobran kod kojeg ne dolazi do loma vala, preljevni protok se računa prema izrazu (35).

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

$$q = 0,062 * \sqrt{9,81 * 2,5^3} \exp\left(-2,61 \frac{4,9}{2,5}\right) = 0,00461 \frac{m^3}{s}$$

$$q_{pr} = q * 1000 = 4.61 \frac{l}{s}$$

$$q_{dop} = 5 \frac{l}{s}$$

$q_{pr} < q_{dop} \rightarrow$ Ne dolazi do prelijevanja

Količinu materijala treba izračunati i za betonski i za nasuti dio. Površina nasutog dijela izračunava se po istom principu kao i kod proračuna količine materijala nasutog lukobrana.

Betonski dio

Lukobran $P_L = B * h_1 = 7,4 * 7,5 = 55.5 m^2$

Zidić $P_Z = B_Z * v_Z = 1,5 * 3,6 = 5.4 m^2$

Nasuti dio

Manja osnovica u vanjskom trapezu nasutog dijela iznosi koliko i širina betonskog lukobrana uvećana za 6 m. Nagib pokosa također iznosi 1:1.5, a visina nasipa je diktirana kotom dna vertikalnog betonskog lukobrana i kotom dna lukobrana općenito. Iz tih se podataka lako izračuna i veća osnovica trapeza koja tada iznosi:

$$\text{visina} = -k_d + k_{dl} = 15 - 5 = 10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{veća osnovica} &= (B + 6) + 2 * \text{ctg}\alpha * (-k_d + k_{dl}) = (7,4 + 6) + 2 * 1,5 * (15 - 5) \\ &= 43,4 \text{ m} \end{aligned}$$

gdje je k_d kota dna, a k_{dl} kota dna vertikalnog lukobrana.

Iz tih je podataka jednostavno dobiti površinu koja iznosi:

$$P_{\text{trapez_školjera}} = \frac{7,4 + 6 + 43,4}{2} * 10 = 275,3 \text{ m}^2$$

Površina trapeza jezgre dobije se redukcijom parametara trapeza školjere za debljinu sloja školjere, a iznosi:

$$P_{\text{trapez_jezgra}} = \frac{11 + 41}{2} * 8,8 = 229,7 \text{ m}^2$$

Stvarna površina sloja školjere dobije se kao razlika dvaju trapeza te iznosi 45,6 m².

U tablicama 14 – 29 su prikazani rezultati za ostale visine vala i dubine mora, a konstante koje su pri proračunu korištene su slijedeće:

Specifična težina mora, $\gamma_m = 10,06 \text{ kN/m}^3$,

Kut nailaska vala $\beta = 0^\circ$, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$,

Specifična težina betona, $\gamma_b = 23,54 \text{ kN/m}^3$,

Faktori sigurnosti: $\gamma_{\text{Gdst}} = 1.10$,

Razina visoke vode $v_{v5\text{god}} = 1,2 \text{ mm}$,

$\gamma_{\text{Qdst}} = 1.50$, $\gamma_{\text{Gst}} = 0.90$

Tablica 14: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.0$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20
	Značajna visina vala, H_s [m]	2	2	2	2	2	2
	Period, T [s]	4	4	4	4	4	4
	Dužina vala, L [m]	24.99	24.99	24.99	24.99	24.99	24.99
	Kota obale luk, k_{ol} [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Visina zidića, v_z [m]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
	Kota dna luk, k_{dl} [mnm]	-5	-10	-5	-10	-5	-10
	Debljina školjere, D [m]	0.9	0.0	0.9	0.8	1.0	0.9
	Projektna visina vala, H_p [m]	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, k_z [mnm]	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
	Visina lukobrana, h_1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5	7.5	12.5
	Dubina na udaljenosti $5H_s$, h_b [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2
	d [m]	5.3	11.2	5.3	10.4	5.2	10.3
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2	6.2	11.2
	hc [m]	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
	hs [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2
	hw [m]	9.9	14.9	9.9	14.9	9.9	14.9
	ŠIRINA	Širina lukobrana, B [m]	5.5	6.1	5.8	6.5	6
Širina zidića, B_z [m]		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
η		5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
α_1		0.601	0.601	0.600	0.600	0.600	0.600
α_2		0.080	0.000	0.106	0.015	0.120	0.021
α_3		0.513	0.119	0.630	0.332	0.710	0.477
TLAKOVI	p1 [kN/m ²]	24.66	21.76	25.55	22.26	26.08	22.48
	p2 [kN/m ²]	7.76	6.85	8.04	7.01	8.21	7.08
	p3 [kN/m ²]	12.64	2.60	16.11	7.39	18.53	10.72
	u [kN/m ²]	62.37	112.67	62.37	112.67	62.37	112.67
	pu [kN/m ²]	11.15	2.60	13.70	7.22	15.44	10.36
	SILE	G1 [kN]	971.03	1,794.93	1,023.99	1,912.63	1,059.30
G2 [kN]		84.74	84.74	84.74	84.74	84.74	84.74
U [kN]		343.05	687.30	361.76	732.37	374.23	754.90
Uw [kN]		30.67	7.93	39.72	23.46	46.31	34.71
H1 [kN]		28.72	25.35	29.77	25.92	30.38	26.19
H2 [kN]		31.26	27.58	32.39	28.21	33.06	28.50
H3 [kN]		78.36	29.12	99.87	82.81	114.88	120.08
H4 [kN]		37.26	107.29	29.28	83.22	23.42	65.87
KRAKOVI	v1 [m]	2.75	3.05	2.90	3.25	3.00	3.35
	v2 [m]	4.75	5.35	5.05	5.75	5.25	5.95
	u1 [m]	2.75	3.05	2.90	3.25	3.00	3.35
	u2 [m]	3.67	4.07	3.87	4.33	4.00	4.47
	h1 [m]	8.05	13.05	8.05	13.05	8.05	13.05
	h2 [m]	7.43	12.43	7.43	12.43	7.43	12.43
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60	3.10	5.60
	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47	4.13	7.47
MOMENTI	MG1 [kNm]	2,670.32	5,474.52	2,969.57	6,216.03	3,177.90	6,604.44
	MG2 [kNm]	402.53	453.38	427.96	487.28	444.91	504.23
	MU [kNm]	943.38	2,096.26	1,049.10	2,380.20	1,122.70	2,528.92
	MUw [kNm]	112.46	32.25	153.59	101.67	185.24	155.04
	MH1 [kNm]	231.21	330.76	239.61	338.30	244.57	341.79
	MH2 [kNm]	232.34	342.93	240.78	350.76	245.76	354.37
	MH3 [kNm]	242.92	163.06	309.59	463.76	356.12	672.45
	MH4 [kNm]	154.00	801.12	121.03	621.41	96.79	491.86
STABILNOST	Moment stabilnosti, Mst [kNm]	2,765.57	5,335.11	3,057.78	6,032.98	3,260.53	6,397.80
	Moment destabilnosti, Mdst [kNm]	2,497.11	4,811.07	2,750.90	5,432.08	2,927.69	5,805.08
	Mst/Mdst	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10
	Vertikalne sile, V [kN]	526.83	923.78	540.34	956.83	548.52	968.14
	Horizontalne sile, H [kN]	263.40	284.01	286.96	330.26	302.61	360.97
V*f/H	1.20	1.95	3.14	4.83	3.02	4.47	

Tablica 15: Proračun prelijevanja i količine materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=2.0$ m

PRELIEVANJE	Rc	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
	d/hs	0.475	1.000	0.325	0.639	0.246	0.487
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	2.509	-	5.250	-	-
		-	Nema loma vala	-	Nema loma vala	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	1.19	-	1.70	-	2.21	4.37
		Nema loma vala	-	Nema loma vala	-	Nema loma vala	Nema loma vala
	Prelijevanje, q [m3/s]	4.39	4.39	4.39	4.39	4.39	4.39
	Dopušteno prelijevanje, q_dop [m3/s]	5	5	5	5	5	5
		NEMA PRELIEVANJA	NEMA PRELIEVANJA	NEMA PRELIEVANJA	NEMA PRELIEVANJA	NEMA PRELIEVANJA	NEMA PRELIEVANJA
KOLIČINE MATERIJALA	<u>Nasuti dio</u>						
	Masa elemenata [kg]	1,758.1	0.0	2,177.7	1,545.4	2,545.4	1,806.4
	Manja osnovica [m]	11.5	-	11.8	12.5	12.0	12.7
	Visina [m]	5.0	-	10.0	5.0	15.0	10.0
	Veća osnovica [m]	26.5	-	41.8	27.5	57.0	42.7
	Površina_vanjski trapez [m2]	90.2	0.0	262.5	94.5	511.5	271.1
	<u>Jezgra</u>						
	Manja osnovica [m]	9.7	-	9.9	10.8	10.0	10.9
	Visina [m]	4.1	-	9.1	4.2	14.0	9.1
	Veća osnovica [m]	24.7	-	39.9	25.8	55.0	40.9
	Površina_unutarnji trapez (jezgra) [m2]	71.1	-	225.7	76.2	455.4	236.3
	Površina_školjera [m2]	19.1	0.0	36.9	18.3	56.1	34.7
	<u>Betonski dio</u>						
	Površina lukobrana [m2]	41.3	76.3	43.5	81.3	45.0	83.8
	Površina zidića [m2]	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6

Tablica 16: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.0$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
	Značajna visina vala, Hs [m]	2	2	2	2
	Period, T [s]	4	4	4	4
	Dužina vala, L [m]	24.99	24.99	24.99	24.99
	Kota obale luk, k_ol [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5
	Visina zidića, v_z [m]	2.4	2.4	2.4	2.4
	Kota dna luk, k_dl [mnm]	-5	-10	-5	-10
	Debljina školjere, D [m]	1.0	0.9	1.1	1.0
	Projektna visina vala, Hp [m]	3.6	3.6	3.6	3.6
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, kz [mnm]	4.9	4.9	4.9	4.9
	Visina lukobrana, h1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5
	Dubina na udaljenosti 5Hs, hb [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	d [m]	5.2	10.3	5.1	10.2
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2
	hc [m]	3.7	3.7	3.7	3.7
	hs [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	hw [m]	9.9	14.9	9.9	14.9
	TLAKOVI	Širina lukobrana, B [m]	6.1	6.9	6.2
Širina zidića, Bz [m]		1.5	1.5	1.5	1.5
η		5.4	5.4	5.4	5.4
α_1		0.600	0.600	0.600	0.600
α_2		0.130	0.025	0.137	0.028
α_3		0.764	0.574	0.801	0.641
SILE	p1 [kN/m ²]	26.44	22.63	26.70	22.73
	p2 [kN/m ²]	8.32	7.12	8.40	7.16
	p3 [kN/m ²]	20.20	12.98	21.40	14.58
	u [kN/m ²]	62.37	112.67	62.37	112.67
	pu [kN/m ²]	16.60	12.47	17.41	13.94
KRAKOVI	G1 [kN]	1,076.96	2,030.33	1,094.61	2,059.75
	G2 [kN]	84.74	84.74	84.74	84.74
	U [kN]	380.47	777.44	386.71	788.70
	Uw [kN]	50.64	43.01	53.99	48.77
	H1 [kN]	30.79	26.36	31.10	26.48
	H2 [kN]	33.51	28.69	33.84	28.81
	H3 [kN]	125.23	145.41	132.66	163.27
	H4 [kN]	19.34	54.02	16.43	45.66
MOMENTI	v1 [m]	3.05	3.45	3.10	3.50
	v2 [m]	5.35	6.15	5.45	6.25
	u1 [m]	3.05	3.45	3.10	3.50
	u2 [m]	4.07	4.60	4.13	4.67
	h1 [m]	8.05	13.05	8.05	13.05
	h2 [m]	7.43	12.43	7.43	12.43
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60
	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47
MOMENTI	MG1 [kNm]	3,284.71	7,004.62	3,393.29	7,209.13
	MG2 [kNm]	453.38	521.18	461.85	529.65
	MU [kNm]	1,160.43	2,682.16	1,198.79	2,760.46
	MUw [kNm]	205.92	197.84	223.14	227.61
	MH1 [kNm]	247.89	343.99	250.33	345.52
	MH2 [kNm]	249.10	356.65	251.55	358.24
	MH3 [kNm]	388.21	814.28	411.23	914.29
	MH4 [kNm]	79.94	403.37	67.92	340.92
STABILNOST	Moment stabilnosti, Mst [kNm]	3,364.28	6,773.22	3,469.63	6,964.90
	Moment destabilnosti, Mdst [kNm]	3,033.06	6,124.58	3,124.94	6,316.38
	Mst/Mdst	1.11	1.11	1.11	1.10
	Vertikalne sile, V [kN]	551.06	983.87	555.06	989.31
	Horizontalne sile, H [kN]	313.31	381.71	321.04	396.32
V*f/H	2.93	4.30	2.88	4.16	

Tablica 17: Proračun prelijevanja i količine materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=2.0$ m

PRELIJEVANJE	Rc	3.7	3.7	3.7	3.7
	d/hs	0.197	0.392	0.164	0.328
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	-	-	-
		-	-	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	2.71	5.39	3.20	6.39
		Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
	Prelijevanje, q [m3/s]	4.39	4.39	4.39	4.39
Dopušteno prelijevanje, q_dop [m3/s]	5	5	5	5	
	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	
KOLIČINE MATERIJALA	<u>Nasuti dio</u>				
	Masa elemenata [kg]	2,878.1	2,042.4	3,184.9	2,260.2
	Manja osnovica [m]	12.1	12.9	12.2	13.0
	Visina [m]	20.0	15.0	25.0	20.0
	Veća osnovica [m]	72.1	57.9	87.2	73.0
	Površina_vanjski trapez [m2]	835.7	524.6	1235.9	853.3
	<u>Jezgra</u>				
	Manja osnovica [m]	10.0	11.1	10.1	11.1
	Visina [m]	19.0	14.1	23.9	19.0
	Veća osnovica [m]	70.0	56.1	85.1	71.1
	Površina_unutarnji trapez (jezgra) [m2]	759.2	472.4	1138.1	782.6
	Površina_školjera [m2]	76.5	52.3	97.8	70.7
	<u>Betonski dio</u>				
	Površina lukobrana [m2]	45.8	86.3	46.5	87.5
	Površina zidića [m2]	3.6	3.6	3.6	3.6

Tablica 18: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.5$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20
	Značajna visina vala, Hs [m]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Period, T [s]	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	Dužina vala, L [m]	31.63	31.63	31.63	31.63	31.63	31.63
	Kota obale luk, k_ol [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Visina zidića, v_z [m]	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	Kota dna luk, k_dl [mnm]	-5	-10	-5	-10	-5	-10
	Debljina školjere, D [m]	1.1	0.0	1.2	1.1	1.2	1.1
	Projektna visina vala, Hp [m]	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, kz [mnm]	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
	Visina lukobrana, h1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5	7.5	12.5
	Dubina na udaljenosti 5Hs, hb [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2
	d [m]	5.1	11.2	5.0	10.1	5.0	10.1
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2	6.2	11.2
	hc [m]	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
	hs [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2
	hw [m]	11.1	16.1	11.1	16.1	11.1	16.1
	B [m]	7.1	7.3	7.4	7.7	7.7	8
TLAKOVI	Širina lukobrana, B [m]	7.1	7.3	7.4	7.7	7.7	8
	Širina zidića, Bz [m]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	η	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75
	α_1	0.605	0.605	0.600	0.600	0.600	0.600
	α_2	0.141	0.000	0.185	0.024	0.210	0.035
	α_3	0.565	0.214	0.648	0.364	0.716	0.487
SILE	p1 [kN/m2]	33.80	27.41	35.53	28.28	36.68	28.73
	p2 [kN/m2]	9.26	7.51	9.74	7.75	10.05	7.88
	p3 [kN/m2]	19.09	5.86	23.02	10.29	26.27	14.00
	u [kN/m2]	62.37	112.67	62.37	112.67	62.37	112.67
	pu [kN/m2]	15.48	5.86	17.61	9.89	19.45	13.24
	G1 [kN]	1,253.51	2,148.03	1,306.47	2,265.73	1,359.44	2,354.00
G2 [kN]	127.12	127.12	127.12	127.12	127.12	127.12	
U [kN]	442.84	822.51	461.55	867.57	480.26	901.38	
Uw [kN]	54.96	21.40	65.14	38.08	74.90	52.96	
H1 [kN]	45.39	36.81	47.72	37.98	49.26	38.59	
H2 [kN]	60.11	48.75	63.20	50.30	65.24	51.10	
H3 [kN]	118.36	65.67	142.74	115.29	162.90	156.86	
H4 [kN]	45.59	120.65	38.78	100.72	32.27	82.48	
KRAKOVI	v1 [m]	3.55	3.65	3.70	3.85	3.85	4.00
	v2 [m]	6.35	6.55	6.65	6.95	6.95	7.25
	u1 [m]	3.55	3.65	3.70	3.85	3.85	4.00
	u2 [m]	4.73	4.87	4.93	5.13	5.13	5.33
	h1 [m]	8.65	13.65	8.65	13.65	8.65	13.65
	h2 [m]	7.83	12.83	7.83	12.83	7.83	12.83
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60	3.10	5.60
	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47	4.13	7.47
MOMENTI	MG1 [kNm]	4,449.94	7,840.29	4,833.94	8,723.04	5,233.82	9,416.00
	MG2 [kNm]	807.19	832.61	845.32	883.46	883.46	921.59
	MU [kNm]	1,572.09	3,002.15	1,707.75	3,340.16	1,849.02	3,605.50
	MUw [kNm]	260.14	104.16	321.36	195.48	384.49	282.43
	MH1 [kNm]	392.60	502.42	412.77	518.41	426.13	526.73
	MH2 [kNm]	470.84	625.56	495.04	645.47	511.05	655.83
	MH3 [kNm]	366.91	367.78	442.50	645.65	504.97	878.39
	MH4 [kNm]	188.43	900.82	160.29	752.04	133.37	615.87
STABILNOST	Moment stabilnosti, Mst [kNm]	4,731.42	7,805.61	5,111.33	8,645.85	5,505.55	9,303.83
	Moment destabilnosti, Mdst [kNm]	4,247.68	7,053.48	4,626.47	7,809.74	4,973.94	8,404.94
	Mst/Mdst	1.11	1.11	1.10	1.11	1.11	1.11
	Vertikalne sile, V [kN]	672.99	1,110.77	684.81	1,142.11	697.25	1,162.06
	Horizontalne sile, H [kN]	404.16	407.81	438.66	456.43	464.50	493.54
	V*f/H	2.78	4.54	2.60	4.17	2.50	3.92

Tablica 19: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=2.5$ m

PRELIJEVANJE	Rc	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
	d/hs	0.456	1.000	0.310	0.626	0.234	0.476
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	1.586	-	3.319	-	-
		-	Nema loma vala	-	Nema loma vala	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	0.72	-	1.03	-	1.33	2.71
		Nema loma vala	-	Nema loma vala	-	Nema loma vala	Nema loma vala
	Preljevanje, q [m ³ /s]	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61
	Dopušteno prelijevanje, q _{dop} [m ³ /s]	5	6	5	5	5	5
		NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA
KOLIČINE MATERIJALA	<u>Nasuti dio</u>						
	Masa elemenata [kg]	3,433.7	0.0	4,253.4	3,018.4	4,971.6	3,528.0
	Manja osnovica [m]	13.1	-	13.4	13.7	13.7	14.0
	Visina [m]	5.0	-	10.0	5.0	15.0	10.0
	Veća osnovica [m]	28.1	-	43.4	28.7	58.7	44.0
	Površina _{vanjski trapez} [m ²]	95.2	0.0	275.3	97.9	533.4	281.1
	<u>Jezgra</u>						
	Manja osnovica [m]	10.9	-	11.0	11.6	11.2	11.8
	Visina [m]	3.9	-	8.8	3.9	13.8	8.9
	Veća osnovica [m]	25.9	-	41.0	26.6	56.2	41.8
	Površina _{unutarnji trapez (jezgra)} [m ²]	71.8	-	229.7	75.4	463.9	238.2
	Površina _{školjera} [m ²]	23.4	0.0	45.5	22.5	69.5	42.9
	<u>Betonski dio</u>						
	Površina lukobrana [m ²]	53.3	91.3	55.5	96.3	57.8	100.0
	Površina zidića [m ²]	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4

Tablica 20: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 2.5$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
	Značajna visina vala, H_s [m]	2.5	2.5	2.5	2.5
	Period, T [s]	4.5	4.5	4.5	4.5
	Dužina vala, L [m]	31.63	31.63	31.63	31.63
	Kota obale luk, k_{ol} [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5
	Visina zidića, v_z [m]	3.6	3.6	3.6	3.6
	Kota dna luk, k_{dl} [mnm]	-5	-10	-5	-10
	Debljina školjere, D [m]	1.3	1.2	1.3	1.2
	Projektna visina vala, H_p [m]	4.5	4.5	4.5	4.5
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, k_z [mnm]	6.1	6.1	6.1	6.1
	Visina lukobrana, h_1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5
	Dubina na udaljenosti $5H_s$, h_b [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	d [m]	4.9	10.0	4.9	10.0
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2
	hc [m]	4.9	4.9	4.9	4.9
	hs [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	hw [m]	11.1	16.1	11.1	16.1
ŠIRINE	Širina lukobrana, B [m]	7.9	8.2	8	8.4
	Širina zidića, B_z [m]	1.5	1.5	1.5	1.5
	η	6.75	6.75	6.75	6.75
	α_1	0.600	0.600	0.600	0.600
	α_2	0.228	0.041	0.241	0.046
TLAKOVI	α_3	0.766	0.577	0.802	0.642
	p1 [kN/m ²]	37.48	29.03	38.07	29.23
	p2 [kN/m ²]	10.27	7.96	10.43	8.01
	p3 [kN/m ²]	28.71	16.76	30.54	18.78
	u [kN/m ²]	62.37	112.67	62.37	112.67
	pu [kN/m ²]	20.81	15.68	21.79	17.45
SILE	G1 [kN]	1,394.75	2,412.85	1,412.40	2,471.70
	G2 [kN]	127.12	127.12	127.12	127.12
	U [kN]	492.74	923.91	498.98	946.44
	Uw [kN]	82.18	64.28	87.15	73.30
	H1 [kN]	50.33	38.98	51.13	39.26
	H2 [kN]	66.65	51.63	67.71	51.99
	H3 [kN]	177.97	187.67	189.33	210.37
KRAKOVI	H4 [kN]	27.19	68.73	23.36	58.53
	v1 [m]	3.95	4.10	4.00	4.20
	v2 [m]	7.15	7.45	7.25	7.65
	u1 [m]	3.95	4.10	4.00	4.20
	u2 [m]	5.27	5.47	5.33	5.60
	h1 [m]	8.65	13.65	8.65	13.65
	h2 [m]	7.83	12.83	7.83	12.83
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60
MOMENTI	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47
	MG1 [kNm]	5,509.24	9,892.69	5,649.60	10,381.14
	MG2 [kNm]	908.88	947.01	921.59	972.44
	MU [kNm]	1,946.32	3,788.03	1,995.90	3,975.07
	MUw [kNm]	432.82	351.41	464.78	410.46
	MH1 [kNm]	435.35	532.14	442.26	535.91
	MH2 [kNm]	522.11	662.56	530.40	667.26
	MH3 [kNm]	551.72	1,050.94	586.92	1,178.07
STABILNOST	MH4 [kNm]	112.38	513.15	96.54	437.02
	Moment stabilnosti, Mst [kNm]	5,776.31	9,755.73	5,914.07	10,218.22
	Moment destabilnosti, Mdst [kNm]	5,222.50	8,832.13	5,376.86	9,215.66
	Mst/Mdst	1.11	1.10	1.10	1.11
	Vertikalne sile, V [kN]	704.39	1,173.24	705.97	1,187.90
STABILNOST	Horizontalne sile, H [kN]	483.22	520.51	497.29	540.23
	V*f/H	2.43	3.76	2.37	3.66

Tablica 21: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=2.5$ m

PRELIJEVANJE	Rc	4.9	4.9	4.9	4.9
	d/hs	0.187	0.383	0.156	0.321
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	-	-	-
		-	-	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	1.63	3.33	1.92	3.95
		Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
	Preljevanje, q [m3/s]	4.61	4.61	4.61	4.61
	Dopušteno prelijevanje, q_dop [m3/s]	5	5	5	5
		NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA
KOLIČINE MATERIJALA	Nasuti dio				
	Masa elemenata [kg]	5,621.3	3,989.1	6,220.5	4,414.4
	Manja osnovica [m]	13.9	14.2	14.0	14.4
	Visina [m]	20.0	15.0	25.0	20.0
	Veća osnovica [m]	73.9	59.2	89.0	74.4
	Površina_vanjski trapez [m2]	867.8	541.0	1276.8	878.0
	Jezgra				
	Manja osnovica [m]	11.3	11.9	11.3	12.0
	Visina [m]	18.7	13.8	23.7	18.8
	Veća osnovica [m]	71.3	56.9	86.3	72.0
	Površina_unutarnji trapez (jezgra) [m2]	772.9	476.2	1155.3	790.2
	Površina_školjera [m2]	94.9	64.8	121.5	87.8
	Betonski dio				
	Površina lukobrana [m2]	59.3	102.5	60.0	105.0
	Površina zidića [m2]	5.4	5.4	5.4	5.4

Tablica 22: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20
	Značajna visina vala, H_s [m]	3	3	3	3	3	3
	Period, T [s]	5	5	5	5	5	5
	Dužina vala, L [m]	39.05	39.05	39.05	39.05	39.05	39.05
	Kota obale luk, k_{ol} [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Visina zidića, v_z [m]	5.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
	Kota dna luk, k_{dl} [mnm]	-5	-10	-5	-10	-5	-10
	Debljina školjere, D [m]	1.3	0.0	1.4	1.3	1.5	1.3
	Projektna visina vala, H_p [m]	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, k_z [mnm]	8.3	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
	Visina lukobrana, h_1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5	7.5	12.5
	Dubina na udaljenosti $5H_s$, h_b [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2
	d [m]	4.9	11.2	4.8	9.9	4.7	9.9
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2	6.2	11.2
	hc [m]	7.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
	hs [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2
	hw [m]	13.3	17.4	12.4	17.4	12.4	17.4
	Širina lukobrana, B [m]	9.1	8.7	9.5	9	9.9	9.3
	Širina zidića, B_z [m]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
TLAKOVI	η	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
	α_1	0.619	0.619	0.602	0.602	0.600	0.600
	α_2	0.230	0.000	0.299	0.038	0.341	0.053
	α_3	0.624	0.321	0.674	0.410	0.727	0.507
	p_1 [kN/m ²]	46.13	33.64	48.92	34.75	51.11	35.50
SILE	p_2 [kN/m ²]	5.70	7.89	11.48	8.15	11.99	8.33
	p_3 [kN/m ²]	28.80	10.82	32.95	14.26	37.15	17.98
	u [kN/m ²]	62.37	112.67	62.37	112.67	62.37	112.67
	p_u [kN/m ²]	21.01	10.82	22.01	13.41	23.70	16.52
	G1 [kN]	1,606.61	2,559.98	1,677.23	2,648.25	1,747.85	2,736.53
KRAKOVI	G2 [kN]	204.80	173.02	173.02	173.02	173.02	173.02
	U [kN]	567.59	980.25	592.53	1,014.05	617.48	1,047.85
	Uw [kN]	95.58	47.05	104.56	60.34	117.30	76.80
	H1 [kN]	40.44	48.93	71.15	50.54	74.33	51.62
	H2 [kN]	143.55	79.83	116.09	82.45	121.27	84.23
	H3 [kN]	178.59	121.14	204.30	159.67	230.33	201.40
	H4 [kN]	53.71	127.84	49.51	114.76	43.27	98.08
	v1 [m]	4.55	4.35	4.75	4.50	4.95	4.65
MOMENTI	v2 [m]	8.35	7.95	8.75	8.25	9.15	8.55
	u1 [m]	4.55	4.35	4.75	4.50	4.95	4.65
	u2 [m]	6.07	5.80	6.33	6.00	6.60	6.20
	h1 [m]	9.75	14.30	9.30	14.30	9.30	14.30
	h2 [m]	8.57	13.27	8.27	13.27	8.27	13.27
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60	3.10	5.60
	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47	4.13	7.47
	MG1 [kNm]	7,310.05	11,135.89	7,966.82	11,917.13	8,651.83	12,724.84
STABILNOST	MG2 [kNm]	1,710.06	1,375.50	1,513.92	1,427.41	1,583.12	1,479.31
	MU [kNm]	2,582.51	4,264.07	2,814.54	4,563.22	3,056.54	4,872.50
	MUw [kNm]	579.86	272.89	662.22	362.03	774.16	476.14
	MH1 [kNm]	394.25	699.69	661.70	722.65	691.26	738.20
	MH2 [kNm]	1,229.73	1,059.10	959.66	1,093.87	1,002.53	1,117.40
	MH3 [kNm]	553.61	678.38	633.34	894.13	714.02	1,127.85
	MH4 [kNm]	222.02	954.52	204.65	856.85	178.87	732.31
	Moment stabilnosti, Mst [kNm]	8,118.10	11,260.25	8,532.66	12,010.08	9,211.46	12,783.74
STABILNOST	Moment destabilnosti, Mdst [kNm]	7,309.99	10,187.33	7,778.36	10,913.84	8,403.46	11,647.60
	Mst/Mdst	1.11	1.11	1.10	1.10	1.10	1.10
	Vertikalne sile, V [kN]	862.55	1,310.85	856.59	1,333.18	873.60	1,350.76
	Horizontalne sile, H [kN]	624.43	566.60	661.58	611.12	703.81	652.99
	V*f/H	2.30	1.45	2.16	3.64	2.07	3.45

Tablica 23: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=3,0$ m

PRELIJEVANJE	Rc	7.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
	d/hs	0.436	1.000	0.295	0.614	0.222	0.466
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	1.071	-	2.240	-	-
		-	Nema loma vala	-	Nema loma vala	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	0.47	-	0.66	-	0.85	1.79
		Lom vala	-	Nema loma vala	-	Nema loma vala	Nema loma vala
	Prelijevanje, q [m3/s]	4.98	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58
Dopušteno prelijevanje, q_dop [m3/s]	5	6	5	5	5	5	
	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	
KOLIČINE MATERIJALA	<u>Nasuti dio</u>						
	Masa elemenata [kg]	5,933.5	0.0	7,349.9	5,215.8	8,590.9	6,096.5
	Manja osnovica [m]	15.1	-	15.5	15.0	15.9	15.3
	Visina [m]	5.0	-	10.0	5.0	15.0	10.0
	Veća osnovica [m]	30.1	-	45.5	30.0	60.9	45.3
	Površina_vanjski trapez [m2]	101.0	0.0	291.6	101.1	561.3	290.6
	<u>Jezgra</u>						
	Manja osnovica [m]	12.5	-	12.7	12.5	12.9	12.6
	Visina [m]	3.7	-	8.6	3.7	13.5	8.7
	Veća osnovica [m]	27.5	-	42.7	27.5	57.9	42.6
	Površina_unutarnji trapez (jezgra) [m2]	73.5	-	237.6	74.7	478.6	239.7
	Površina_školjera [m2]	27.5	0.0	54.0	26.5	82.7	50.9
	<u>Betonski dio</u>						
	Površina lukobrana [m2]	68.3	108.8	71.3	112.5	74.3	116.3
Površina zidića [m2]	8.7	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	

Tablica 24: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
	Značajna visina vala, H_s [m]	3	3	3	3
	Period, T [s]	5	5	5	5
	Dužina vala, L [m]	39.05	39.05	39.05	39.05
	Kota obale luk, k_{ol} [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5
	Visina zidića, v_z [m]	4.9	4.9	4.9	4.9
	Kota dna luk, k_{dl} [mnm]	-5	-10	-5	-10
	Debljina školjere, D [m]	1.6	1.4	1.6	1.4
	Projektna visina vala, H_p [m]	5.4	5.4	5.4	5.4
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, k_z [mnm]	7.4	7.4	7.4	7.4
	Visina lukobrana, h_1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5
	Dubina na udaljenosti $5H_s$, h_b [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	d [m]	4.6	9.8	4.6	9.8
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2
	hc [m]	6.2	6.2	6.2	6.2
	hs [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	hw [m]	12.4	17.4	12.4	17.4
	TLAKOVI	Širina lukobrana, B [m]	10.3	9.6	10.5
Širina zidića, B_z [m]		1.5	1.5	1.5	1.5
η		8.1	8.1	8.1	8.1
α_1		0.600	0.600	0.600	0.600
α_2		0.370	0.063	0.393	0.070
α_3		0.770	0.585	0.804	0.646
SILE	p_1 [kN/m ²]	52.70	36.02	53.92	36.40
	p_2 [kN/m ²]	12.36	8.45	12.65	8.54
	p_3 [kN/m ²]	40.60	21.08	43.35	23.50
	u [kN/m ²]	62.37	112.67	62.37	112.67
	p_u [kN/m ²]	25.11	19.07	26.20	21.05
	KRAKOVI	G1 [kN]	1,818.47	2,824.80	1,853.78
G2 [kN]		173.02	173.02	173.02	173.02
U [kN]		642.43	1,081.65	654.91	1,104.19
Uw [kN]		129.32	91.55	137.57	103.14
H1 [kN]		76.64	52.39	78.42	52.93
H2 [kN]		125.04	85.47	127.94	86.36
H3 [kN]		251.69	236.08	268.75	263.24
H4 [kN]		37.51	83.68	32.78	72.20
MOMENTI	v1 [m]	5.15	4.80	5.25	4.90
	v2 [m]	9.55	8.85	9.75	9.05
	u1 [m]	5.15	4.80	5.25	4.90
	u2 [m]	6.87	6.40	7.00	6.53
	h1 [m]	9.30	14.30	9.30	14.30
	h2 [m]	8.27	13.27	8.27	13.27
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60
	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47
STABILNOST	MG1 [kNm]	9,365.09	13,559.04	9,732.32	14,129.89
	MG2 [kNm]	1,652.33	1,531.22	1,686.94	1,565.82
	MU [kNm]	3,308.52	5,191.93	3,438.26	5,410.51
	MUw [kNm]	887.96	585.94	962.96	673.84
	MH1 [kNm]	712.74	749.14	729.27	756.91
	MH2 [kNm]	1,033.68	1,133.95	1,057.65	1,145.72
	MH3 [kNm]	780.25	1,322.06	833.12	1,474.14
	MH4 [kNm]	155.06	624.81	135.47	539.06
STABILNOST	Moment stabilnosti, M_{st} [kNm]	9,915.68	13,581.23	10,277.33	14,126.14
	Moment destabilnosti, M_{dst} [kNm]	8,993.91	12,334.97	9,359.81	12,836.06
	M_{st}/M_{dst}	1.10	1.10	1.10	1.10
	Vertikalne sile, V [kN]	891.69	1,370.89	897.37	1,381.69
	Horizontalne sile, H [kN]	736.33	686.44	761.82	712.09
V^*/H	2.02	3.33	1.96	3.23	

Tablica 25: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=3,0$ m

PRELIJEVANJE	Rc	6.2	6.2	6.2	6.2
	d/hs	0.177	0.375	0.147	0.313
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	-	-	-
		-	-	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	1.04	2.20	1.22	2.60
		Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
	Preljevanje, q [m3/s]	4.58	4.58	4.58	4.58
	Dopušteno prelijevanje, q_dop [m3/s]	5	5	5	5
	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	
KOLIČINE MATERIJALA	<u>Nasuti dio</u>				
	Masa elemenata [kg]	9,713.5	6,893.2	10,749.1	7,628.0
	Manja osnovica [m]	16.3	15.6	16.5	15.8
	Visina [m]	20.0	15.0	25.0	20.0
	Veća osnovica [m]	76.3	60.6	91.5	75.8
	Površina_vanjski trapez [m2]	910.0	558.2	1333.1	902.0
	<u>Jezgra</u>				
	Manja osnovica [m]	13.2	12.8	13.3	12.9
	Visina [m]	18.4	13.6	23.4	18.6
	Veća osnovica [m]	73.2	57.8	88.3	72.9
	Površina_unutarnji trapez (jezgra) [m2]	796.9	481.1	1188.2	797.3
	Površina_školjera [m2]	113.1	77.1	144.9	104.7
	<u>Betonski dio</u>				
	Površina lukobrana [m2]	77.3	120.0	78.8	122.5
	Površina zidića [m2]	7.35	7.35	7.35	7.35

Tablica 26: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20	
	Značajna visina vala, H_s [m]	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	
	Period, T [s]	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
	Dužina vala, L [m]	47.25	47.25	47.25	47.25	47.25	47.25	
	Kota obale luk, k_{ol} [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	Visina zidića, v_z [m]	7.9	6.2	7.9	6.2	7.9	6.2	
	Kota dna luk, k_{dl} [mnm]	-5	-10	-5	-10	-5	-10	
	Debljina školjere, D [m]	1.5	0.0	1.6	1.5	1.7	1.5	
	Projektna visina vala, H_p [m]	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, k_z [mnm]	10.4	8.7	10.4	8.7	10.4	8.7	
	Visina lukobrana, h_1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5	7.5	12.5	
	Dubina na udaljenosti $5H_s$, h_b [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2	
	d [m]	4.7	11.2	4.6	9.7	4.5	9.7	
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2	6.2	11.2	
	hc [m]	9.2	7.5	9.2	7.5	9.2	7.5	
	hs [m]	11.2	11.2	16.2	16.2	21.2	21.2	
	hw [m]	15.4	18.7	15.4	18.7	15.4	18.7	
	ŠIRINA LUKOBRANA, B [m]	11.8	10.5	12.3	10.6	12.8	10.9	
ŠIRINA ZIDIĆA, B_z [m]		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
		η	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	
		α_1	0.646	0.646	0.607	0.607	0.601	0.601
		α_2	0.355	0.000	0.459	0.056	0.525	0.077
		α_3	0.684	0.430	0.705	0.467	0.742	0.535
	TLAKOVI	p_1 [kN/m ²]	63.45	40.96	67.58	41.99	71.32	42.98
p_2 [kN/m ²]		1.68	8.45	1.79	8.67	1.89	8.87	
p_3 [kN/m ²]		43.41	17.59	47.64	19.61	52.95	22.98	
u [kN/m ²]		62.37	112.67	62.37	112.67	62.37	112.67	
pu [kN/m ²]		28.02	17.59	27.11	17.96	28.27	20.36	
SILE		G1 [kN]	2,083.29	3,089.63	2,171.57	3,119.05	2,259.84	3,207.33
	G2 [kN]	278.95	218.92	278.95	218.92	278.95	218.92	
	U [kN]	735.99	1,183.06	767.18	1,194.32	798.36	1,228.12	
	Uw [kN]	165.34	92.36	166.73	95.20	180.92	110.95	
	H1 [kN]	15.44	63.39	16.45	64.99	17.36	66.52	
	H2 [kN]	284.16	121.90	302.62	124.98	319.41	127.93	
	H3 [kN]	269.17	197.04	295.37	219.69	328.28	257.37	
	H4 [kN]	62.12	130.84	61.80	125.32	56.96	112.02	
KRAKOVI	v1 [m]	5.90	5.25	6.15	5.30	6.40	5.45	
	v2 [m]	11.05	9.75	11.55	9.85	12.05	10.15	
	u1 [m]	5.90	5.25	6.15	5.30	6.40	5.45	
	u2 [m]	7.87	7.00	8.20	7.07	8.53	7.27	
	h1 [m]	10.80	14.95	10.80	14.95	10.80	14.95	
	h2 [m]	9.27	13.70	9.27	13.70	9.27	13.70	
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60	3.10	5.60	
	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47	4.13	7.47	
MOMENTI	MG1 [kNm]	12,291.41	16,220.53	13,355.12	16,530.97	14,462.98	17,479.92	
	MG2 [kNm]	3,082.39	2,134.49	3,221.86	2,156.38	3,361.34	2,222.06	
	MU [kNm]	4,342.34	6,211.04	4,718.13	6,329.91	5,109.51	6,693.28	
	MUw [kNm]	1,300.68	646.55	1,367.17	672.73	1,543.82	806.21	
	MH1 [kNm]	166.79	947.64	177.63	971.60	187.48	994.51	
	MH2 [kNm]	2,633.21	1,670.01	2,804.29	1,712.24	2,959.86	1,752.61	
	MH3 [kNm]	834.43	1,103.45	915.64	1,230.24	1,017.68	1,441.28	
	MH4 [kNm]	256.75	976.95	255.43	935.73	235.44	836.44	
STABILNOST	Moment stabilnosti, Mst [kNm]	13,836.42	16,519.52	14,919.29	16,818.61	16,041.88	17,731.78	
	Moment destabilnosti, Mdst [kNm]	12,564.36	14,849.04	13,470.19	15,246.70	14,536.90	16,109.16	
	Mst/Mdst	1.10	1.11	1.11	1.10	1.10	1.10	
	Vertikalne sile, V [kN]	1,068.42	1,537.78	1,111.48	1,547.62	1,135.34	1,566.27	
	Horizontalne sile, H [kN]	946.34	769.76	1,014.35	802.47	1,083.02	845.77	
V*f/H	1.88	3.33	1.83	3.21	1.75	3.09		

Tablica 27: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=3,5$ m

PRELIJEVANJE	Rc	9.2	7.5	9.2	7.5	9.2	7.5
	d/hs	0.416	1.000	0.281	0.601	0.210	0.455
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Vertikalni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	0.758	-	1.587	-	-
		-	Nema loma vala	-	Nema loma vala	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	0.32	-	0.45	-	0.57	1.24
		Lom vala	-	Lom vala	-	Lom vala	Nema loma vala
	Preljevanje, q [m3/s]	4.92	4.74	4.86	4.74	4.81	4.74
Dopušteno prelijevanje, q_dop [m3/s]	5	6	5	5	5	5	
	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	
KOLIČINE MATERIJALA	<u>Nasuti dio</u>						
	Masa elemenata [kg]	9,422.1	0.0	11,671.4	8,282.5	13,642.0	9,681.0
	Manja osnovica [m]	17.8	-	18.3	16.6	18.8	16.9
	Visina [m]	5.0	-	10.0	5.0	15.0	10.0
	Veća osnovica [m]	32.8	-	48.3	31.6	63.8	46.9
	Površina_vanjski trapez [m2]	108.4	0.0	312.7	104.9	597.3	302.1
	<u>Jezgra</u>						
	Manja osnovica [m]	14.7	-	15.0	13.7	15.3	13.8
	Visina [m]	3.5	-	8.4	3.5	13.3	8.5
	Veća osnovica [m]	29.7	-	45.0	28.7	60.3	43.8
	Površina_unutarnji trapez (jezgra) [m2]	77.0	-	250.5	74.7	501.6	243.4
	Površina_školjera [m2]	31.4	0.0	62.2	30.2	95.6	58.7
	<u>Betonski dio</u>						
	Površina lukobrana [m2]	88.5	131.3	92.3	132.5	96.0	136.3
Površina zidića [m2]	11.85	9.3	11.85	9.3	11.85	9.3	

Tablica 28: Proračun vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

ULAZNI PODATCI	Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
	Značajna visina vala, H_s [m]	3.5	3.5	3.5	3.5
	Period, T [s]	5.5	5.5	5.5	5.5
	Dužina vala, L [m]	47.25	47.25	47.25	47.25
	Kota obale luk, k_{ol} [mnm]	2.5	2.5	2.5	2.5
	Visina zidića, v_z [m]	6.2	6.2	6.2	6.2
	Kota dna luk, k_{dl} [mnm]	-5	-10	-5	-10
	Debljina školjere, D [m]	1.8	1.6	1.9	1.7
	Projektna visina vala, H_p [m]	6.3	6.3	6.3	6.3
POMOĆNE DIMENZIJE	Kota vrha zida, k_z [mnm]	8.7	8.7	8.7	8.7
	Visina lukobrana, h_1 [m]	7.5	12.5	7.5	12.5
	Dubina na udaljenosti $5H_s$, h_b [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	d [m]	4.4	9.6	4.3	9.5
	h [m]	6.2	11.2	6.2	11.2
	hc [m]	7.5	7.5	7.5	7.5
	hs [m]	26.2	26.2	31.2	31.2
	hw [m]	13.7	18.7	13.7	18.7
	Širina lukobrana, B [m]	13.6	11.2	14	11.5
TLAKOVI	Širina zidića, B_z [m]	1.5	1.5	1.5	1.5
	η	9.45	9.45	9.45	9.45
	α_1	0.600	0.600	0.600	0.600
	α_2	0.572	0.091	0.608	0.101
	α_3	0.778	0.599	0.808	0.652
	α_4	0.778	0.599	0.808	0.652
SILE	p1 [kN/m ²]	74.26	43.82	76.59	44.44
	p2 [kN/m ²]	15.32	9.04	15.80	9.17
	p3 [kN/m ²]	57.76	26.24	61.85	28.99
	u [kN/m ²]	62.37	112.67	62.37	112.67
	pu [kN/m ²]	29.59	22.77	30.71	24.81
	α_5	0.778	0.599	0.808	0.652
KRAKOVI	G1 [kN]	2,401.08	3,295.60	2,471.70	3,383.88
	G2 [kN]	218.92	218.92	218.92	218.92
	U [kN]	848.26	1,261.93	873.21	1,295.73
	Uw [kN]	201.18	127.53	214.97	142.65
	H1 [kN]	114.92	67.82	118.53	68.78
	H2 [kN]	221.00	130.42	227.95	132.26
	H3 [kN]	358.13	293.87	383.48	324.71
	H4 [kN]	51.13	98.46	45.69	86.51
MOMENTI	v1 [m]	6.80	5.60	7.00	5.75
	v2 [m]	12.85	10.45	13.25	10.75
	u1 [m]	6.80	5.60	7.00	5.75
	u2 [m]	9.07	7.47	9.33	7.67
	h1 [m]	9.95	14.95	9.95	14.95
	h2 [m]	8.70	13.70	8.70	13.70
	h3 [m]	3.10	5.60	3.10	5.60
	h4 [m]	4.13	7.47	4.13	7.47
STABILNOST	MG1 [kNm]	16,327.34	18,455.36	17,301.90	19,457.28
	MG2 [kNm]	2,813.15	2,287.73	2,900.72	2,353.41
	MU [kNm]	5,768.16	7,066.79	6,112.46	7,450.44
	MUw [kNm]	1,824.03	952.22	2,006.36	1,093.63
	MH1 [kNm]	1,143.45	1,013.85	1,179.40	1,028.20
	MH2 [kNm]	1,922.69	1,786.69	1,983.14	1,811.99
	MH3 [kNm]	1,110.21	1,645.67	1,188.79	1,818.36
	MH4 [kNm]	211.32	735.13	188.85	645.94
STABILNOST	Moment stabilnosti, M_{st} [kNm]	17,226.44	18,668.79	18,182.35	19,629.62
	Moment destabilnosti, M_{dst} [kNm]	15,662.51	16,973.81	16,543.52	17,792.67
	M_{st}/M_{dst}	1.10	1.10	1.10	1.10
	Vertikalne sile, V [kN]	1,123.15	1,583.66	1,138.58	1,603.24
	Horizontalne sile, H [kN]	1,117.76	885.83	1,163.47	918.38
V^*/H	1.67	2.98	1.63	2.91	

Tablica 29: Proračun prelijevanja i količina materijala vertikalnog/kompozitnog lukobrana za $H_s=3,5$ m

PRELIJEVANJE	Rc	7.5	7.5	7.5	7.5
	d/hs	0.168	0.366	0.139	0.305
	Vertikalni/kompozitni?	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni	Kompozitni
	VERTIKALNI: Lom vala?	-	-	-	-
		-	-	-	-
	KOMPOZITNI: Lom vala?	0.70	1.52	0.82	1.80
		Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala	Nema loma vala
	Prelijevanje, q [m3/s]	4.74	4.74	4.74	4.74
	Dopušteno prelijevanje, q_dop [m3/s]	5	5	5	5
	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	NEMA PRELIJEVANJA	
KOLIČINE MATERIJALA	<u>Nasuti dio</u>				
	Masa elemenata [kg]	15,424.7	10,946.1	17,069.2	12,113.0
	Manja osnovica [m]	19.6	17.2	20.0	17.5
	Visina [m]	20.0	15.0	25.0	20.0
	Veća osnovica [m]	79.6	62.2	95.0	77.5
	Površina_vanjski trapez [m2]	967.4	577.4	1411.3	930.8
	<u>Jezgra</u>				
	Manja osnovica [m]	16.0	14.0	16.3	14.2
	Visina [m]	18.2	13.4	23.1	18.3
	Veća osnovica [m]	76.0	59.0	91.3	74.2
	Površina_unutarnji trapez (jezgra) [m2]	836.4	488.2	1243.2	809.4
	Površina_školjera [m2]	131.0	89.2	168.1	121.4
	<u>Betonski dio</u>				
	Površina lukobrana [m2]	102.0	140.0	105.0	143.8
	Površina zidića [m2]	9.3	9.3	9.3	9.3

6.4. Troškovi izvedbe lukobrana

Prilikom izračuna troškova izvedbe lukobrana korištene su procjene jediničnih cijena prikazane u tablici 30. Kod nasutog lukobrana, cijena ovisi o masi (granulaciji) elemenata obloge. Što se tiče izvedbe vertikalnog lukobrana i obalnog zida, računato je da će se on izvoditi od predgotovljenih betonskih blokova, a samo će se zidić betonirati na licu mjesta i to armiranim betonom C 35/45. Ukupne cijene u tablicama su cijene za 1 m³ materijala.

Tablica 30: Cijene materijala za izvedbu lukobrana

Masa elemenata [kg]		Cijena [kn/m ³]
od	do	
0.1	100	250.00
100	200	400.00
200	350	500.00
350	500	500.00
500	1000	500.00
1000	1500	600.00
1500	2500	600.00
2500	5000	700.00
5000	8000	800.00
8000	14000	1200.00
Predgotovljeni betonski blokovi za lukobran C30/37		2800.00
Armirani beton za izradu AB elemenata C35/45		2000.00

6.4.1. Troškovi izvedbe nasutih lukobrana u kombinaciji s obalnim zidom

U ovom su poglavlju u tablicama 31 - 34 prikazani troškovi izvedbe nasutih lukobrana u kombinaciji s obalnim zidom.

Tablica 31: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 2,0$ m

	H _s =2.0 m				
Značajna visina vala, H _s [m]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
Masa primarne obloge, MA [kg]	1,957.28	1,957.28	1,957.28	1,957.28	1,957.28
Površina primarne obloge [m ²]	90.07	124.68	159.28	193.88	228.48
Primarna obloga [kn]:	54,044.37	74,805.82	95,567.28	116,328.74	137,090.19
Masa_1. međusloj, M10 [kg]	195.73	195.73	195.73	195.73	195.73
Površina prvog međusloja [m ²]	37.93	54.60	71.26	87.93	104.60
Prvi međusloj [kn]:	15,171.35	21,838.35	28,505.35	35,172.35	41,839.36
Masa_2. međusloj, M200 [kg]	9.79	9.79	9.79	9.79	9.79
Površina drugog međusloja [m ²]	64.36	133.65	227.94	347.24	491.53
Drugi međusloj [kn]:	16,090.24	33,413.19	56,986.14	86,809.09	122,882.04
Masa_jezgra, M4000 [kg]	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Površina jezgre [m ²]	113.55	245.13	426.71	658.30	939.88
Jezgra [kn]:	28,386.56	61,282.47	106,678.37	164,574.28	234,970.18
Površina obalnog zida [m ²]	41.25	41.25	41.25	41.25	41.25
Obalni zid [kn]:	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00
UKUPNO_nasuti+obalni zid: [kn]	229,192.52	306,839.83	403,237.14	518,384.45	652,281.76

Tablica 32: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 2,5$ m

	Hs=2.5 m				
Značajna visina vala, H_s [m]	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
Masa primarne obloge, MA [kg]	3,822.81	3,822.81	3,822.81	3,822.81	3,822.81
Površina primarne obloge [m ²]	116.95	160.20	203.46	246.71	289.96
Primarna obloga [kn]:	81,865.96	112,143.08	142,420.20	172,697.33	202,974.45
Masa_1. međusloj, M10 [kg]	382.28	382.28	382.28	382.28	382.28
Površina prvog međusloja [m ²]	47.80	68.64	89.47	110.31	131.14
Prvi međusloj [kn]:	23,902.09	34,319.28	44,736.47	55,153.66	65,570.85
Masa_2. međusloj, M200 [kg]	19.11	19.11	19.11	19.11	19.11
Površina drugog međusloja [m ²]	65.30	135.04	229.78	349.52	494.26
Drugi međusloj [kn]:	16,325.23	33,760.16	57,445.10	87,380.03	123,564.97
Masa_jezgra, M4000 [kg]	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Površina jezgre [m ²]	111.70	242.43	423.16	653.89	934.62
Jezgra [kn]:	27,925.56	60,607.95	105,790.33	163,472.71	233,655.09
Površina obalnog zida [m ²]	41.25	41.25	41.25	41.25	41.25
Obalni zid [kn]:	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00
UKUPNO_nasuti+obalni zid: [kn]	265,518.84	356,330.47	465,892.10	594,203.73	741,265.36

Tablica 33: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 3,0$ m

	Hs=3.0 m				
Značajna visina vala, H_s [m]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
Masa primarne obloge, MA [kg]	6,605.82	6,605.82	6,605.82	6,605.82	6,605.82
Površina primarne obloge [m ²]	146.61	198.51	250.42	302.32	354.23
Primarna obloga [kn]:	117,288.35	158,811.26	200,334.18	241,857.09	283,380.00
Masa_1. međusloj, M10 [kg]	660.58	660.58	660.58	660.58	660.58
Površina prvog međusloja [m ²]	58.34	83.34	108.34	133.34	158.34
Prvi međusloj [kn]:	29,168.74	41,669.37	54,170.00	66,670.63	79,171.25
Masa_2. međusloj, M200 [kg]	33.03	33.03	33.03	33.03	33.03
Površina drugog međusloja [m ²]	67.39	138.08	233.76	354.45	500.14
Drugi međusloj [kn]:	16,847.37	34,519.29	58,441.21	88,613.14	125,035.06
Masa_jezgra, M4000 [kg]	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Površina jezgre [m ²]	111.97	242.85	423.72	654.60	935.48
Jezgra [kn]:	27,993.39	60,712.25	105,931.11	163,649.97	233,868.83
Površina obalnog zida [m ²]	41.25	41.25	41.25	41.25	41.25
Obalni zid [kn]:	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00
UKUPNO_nasuti+obalni zid: [kn]	306,797.85	411,212.18	534,376.50	676,290.82	836,955.14

Tablica 34: Troškovi izvedbe nasutog lukobrana za $H_s = 3,5$ m

	Hs=3.5 m				
Značajna visina vala, Hs [m]	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Dubina lukobrana, d [m]	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
Masa primarne obloge, MA [kg]	10,489.80	10,489.80	10,489.80	10,489.80	10,489.80
Površina primarne obloge [m2]	178.36	238.91	299.47	360.02	420.58
Primarna obloga [kn]:	214,030.93	286,696.03	359,361.13	432,026.22	504,691.32
Masa_1. međusloj, M10 [kg]	1,048.98	1,048.98	1,048.98	1,048.98	1,048.98
Površina prvog međusloja [m2]	69.19	98.36	127.53	156.70	185.87
Prvi međusloj [kn]:	41,516.97	59,017.85	76,518.73	94,019.61	111,520.49
Masa_2. međusloj, M200 [kg]	52.45	52.45	52.45	52.45	52.45
Površina drugog međusloja [m2]	69.50	141.13	237.77	359.40	506.04
Drugi međusloj [kn]:	17,373.96	35,282.87	59,441.78	89,850.69	126,509.60
Masa_jezgra, M4000 [kg]	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Površina jezgre [m2]	112.24	243.26	424.28	655.30	936.32
Jezgra [kn]:	28,059.63	60,814.96	106,070.30	163,825.63	234,080.96
Površina obalnog zida [m2]	41.25	41.25	41.25	41.25	41.25
Obalni zid [kn]:	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00	115,500.00
UKUPNO_nasuti+obalni zid: [kn]	416,481.49	557,311.71	716,891.93	895,222.15	1,092,302.37

Usporedbom cijena izvedbe nasutih lukobrana u kombinaciji s obalnim zidom, uočeno je da se prilikom povećanja dubine mora za 5 m cijena povećava za približno 7 - 8%. Za približno isti se postotak povećava trošak prilikom povećanja vala za 0,5 m.

6.4.2. Troškovi izvedbe vertikalnih/kombiniranih lukobrana

U nastavku, u tablicama 35 - 42 su prikazani troškovi izvedbe vertikalnih i kombiniranih lukobrana na zadanim dubinama mora i visinama vala.

Tablica 35: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2$ m te dubine -10, -15 i -20 m

	Hs=2,0 m					
Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20
Visina vala, Hs [m]	2	2	2	2	2	2
Nasuti dio						
Masa elemenata školjere [kg]	1,758.07	0.00	2,177.75	1,545.43	2,545.44	1,806.36
Površina školjera [m2]	19.09	0.0	36.87	18.34	56.12	34.74
Školjera [kn]:	11,451.33	0.00	22,122.60	11,006.92	39,281.21	20,846.42
Površina_unutarnji trapez (jezgra)	71.09	-	225.66	76.19	455.43	236.32
Jezgra [kn]:	17,771.75	0.00	56,415.42	19,047.49	113,856.56	59,080.48
Betonski dio						
Površina lukobrana [m2]	41.25	76.25	43.50	81.25	45.00	83.75
Lukobran [kn]:	115,500.00	213,500.00	121,800.00	227,500.00	126,000.00	234,500.00
Površina zidića [m2]	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
Zidić [kn]:	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00
UKUPNO_vertikalni/kombinirani:	151,923.08	220,700.00	207,538.03	264,754.41	286,337.77	321,626.90

Tablica 36: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2$ m te dubine -25 i -30 m

	Hs=2,0 m			
Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
Visina vala, Hs [m]	2	2	2	2
Nasuti dio				
Masa elemenata školjere [kg]	2,878.08	2,042.42	3,184.92	2,260.16
Površina školjera [m2]	76.48	52.27	97.75	70.71
Školjera [kn]:	53,534.69	31,364.87	68,427.30	42,426.78
Površina unutarnji trapez (jezgra)	759.21	472.36	1,138.11	782.61
Jezgra [kn]:	189,802.93	118,089.66	284,528.21	195,652.01
Betonski dio				
Površina lukobrana [m2]	45.75	86.25	46.50	87.50
Lukobran [kn]:	128,100.00	241,500.00	130,200.00	245,000.00
Površina zidića [m2]	3.60	3.60	3.60	3.60
Zidić [kn]:	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00
UKUPNO_vertikalni/kombinirani:	378,637.62	398,154.53	490,355.51	490,278.79

Tablica 37: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2,5$ m te dubine -10,-15,-20 m

	Hs=2.5 m					
Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20
Visina vala, Hs [m]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Nasuti dio						
Masa elemenata školjere [kg]	3,433.72	0.00	4,253.41	3,018.41	4,971.57	3,528.05
Površina školjera [m2]	23.38	0.0	45.53	22.49	69.53	42.94
Školjera [kn]:	16,362.82	0.00	31,873.38	15,742.47	48,670.15	30,057.84
Površina unutarnji trapez (jezgra)	71.83	-	229.75	75.42	463.91	238.20
Jezgra [kn]:	17,958.71	0.00	57,436.80	18,854.52	115,978.50	59,550.86
Betonski dio						
Površina lukobrana [m2]	53.25	91.25	55.50	96.25	57.75	100.00
Lukobran [kn]:	149,100.00	255,500.00	155,400.00	269,500.00	161,700.00	280,000.00
Površina zidića [m2]	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
Zidić [kn]:	10,800.00	10,800.00	10,800.00	10,800.00	10,800.00	10,800.00
UKUPNO_vertikalni/kombinirani:	194,221.52	266,300.00	255,510.18	314,896.99	337,148.65	380,408.70

Tablica 38: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=2,5$ m te dubine -25 i -30 m

	Hs=2.5 m			
Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
Visina vala, Hs [m]	2.5	2.5	2.5	2.5
<u>Nasuti dio</u>				
Masa elemenata školjere [kg]	5,621.26	3,989.09	6,220.55	4,414.38
Površina školjera [m2]	94.93	64.81	121.48	87.82
Školjera [kn]:	75,943.08	45,367.97	97,180.85	61,473.89
<u>Površina unutarnji trapez (jezgra)</u>	772.86	476.23	1,155.32	790.16
Jezgra [kn]:	193,213.99	119,057.75	288,831.04	197,539.79
<u>Betonski dio</u>				
Površina lukobrana [m2]	59.25	102.50	60.00	105.00
Lukobran [kn]:	165,900.00	287,000.00	168,000.00	294,000.00
Površina zidića [m2]	5.40	5.40	5.40	5.40
Zidić [kn]:	10,800.00	10,800.00	10,800.00	10,800.00
UKUPNO_vertikalni/kombinirani:	445,857.06	462,225.72	564,811.89	563,813.68

Tablica 39: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3$ m te dubine -10,-15 i -20 m

	Hs=3.0 m					
Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20
Visina vala, Hs [m]	3	3	3	3	3	3
<u>Nasuti dio</u>						
Masa elemenata školjere [kg]	5,933.47	0.00	7,349.90	5,215.81	8,590.87	6,096.47
Površina školjera [m2]	27.47	0.0	53.97	26.46	82.70	50.94
Školjera [kn]:	21,978.20	0.00	43,178.93	21,165.51	99,234.09	40,751.52
<u>Površina unutarnji trapez (jezgra)</u>	73.55	-	237.59	74.69	478.56	239.71
Jezgra [kn]:	18,386.61	0.00	59,398.44	18,673.08	119,639.88	59,926.34
<u>Betonski dio</u>						
Površina lukobrana [m2]	68.25	108.75	71.25	112.50	74.25	116.25
Lukobran [kn]:	191,100.00	304,500.00	199,500.00	315,000.00	207,900.00	325,500.00
Površina zidića [m2]	8.70	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35
Zidić [kn]:	17,400.00	14,700.00	14,700.00	14,700.00	14,700.00	14,700.00
UKUPNO_vertikalni/kombinirani:	248,864.81	319,200.00	316,777.37	369,538.60	441,473.97	440,877.86

Tablica 40: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3$ m te dubine -25 i -30 m

	Hs=3.0 m			
Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
Visina vala, Hs [m]	3	3	3	3
<u>Nasuti dio</u>				
Masa elemenata školjere [kg]	9,713.54	6,893.16	10,749.10	7,628.04
Površina školjera [m2]	113.11	77.14	144.91	104.70
Školjera [kn]:	135,734.46	61,708.11	173,895.17	83,760.54
<u>Površina unutarnji trapez (jezgra)</u>	796.91	481.08	1,188.24	797.27
Jezgra [kn]:	199,226.42	120,269.52	297,058.80	199,317.48
<u>Betonski dio</u>				
Površina lukobrana [m2]	77.25	120.00	78.75	122.50
Lukobran [kn]:	216,300.00	336,000.00	220,500.00	343,000.00
Površina zidića [m2]	7.35	7.35	7.35	7.35
Zidić [kn]:	14,700.00	14,700.00	14,700.00	14,700.00
UKUPNO_vertikalni/kombinirani:	565,960.88	532,677.63	706,153.97	640,778.02

Tablica 41: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3,5$ m te dubine -10,-15,-20 m

	Hs=3.5 m					
	-10	-10	-15	-15	-20	-20
Kota dna, kd [mnm]	-10	-10	-15	-15	-20	-20
Visina vala, Hs [m]	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Nasuti dio						
Masa elemenata školjere [kg]	9,422.14	0.00	11,671.37	8,282.52	13,641.99	9,680.96
Površina školjera [m2]	31.38	0.0	62.19	30.25	95.61	58.74
Školjera [kn]:	37,652.95	0.00	74,630.13	36,297.36	114,737.85	70,491.52
Površina unutarnji trapez (jezgra)	77.00	-	250.52	74.66	501.64	243.36
Jezgra [kn]:	19,249.43	0.00	62,629.49	18,663.85	125,410.73	60,840.68
Betonski dio						
Površina lukobrana [m2]	88.50	131.25	92.25	132.50	96.00	136.25
Lukobran [kn]:	247,800.00	367,500.00	258,300.00	371,000.00	268,800.00	381,500.00
Površina zidića [m2]	11.85	9.30	11.85	9.30	11.85	9.30
Zidić [kn]:	23,700.00	18,600.00	23,700.00	18,600.00	23,700.00	18,600.00
UKUPNO vertikalni/kombinirani:	328,402.38	386,100.00	419,259.62	444,561.21	532,648.57	531,432.20

Tablica 42: Troškovi izvedbe vertikalnog/kombiniranog lukobrana za $H_s=3,5$ m te dubine -25 i -30 m

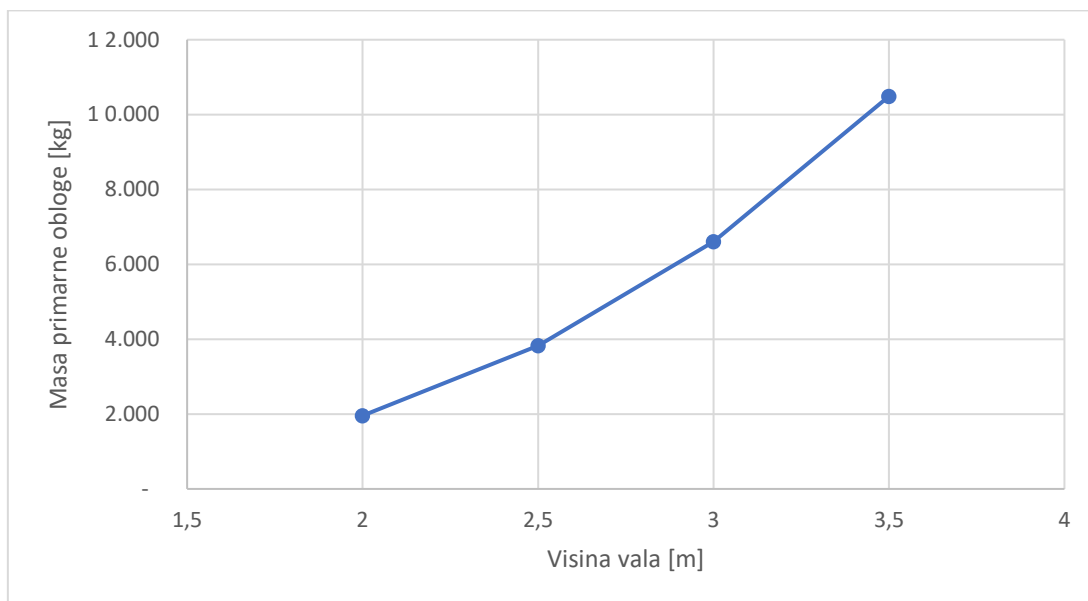
	Hs=3.5 m			
	-25	-25	-30	-30
Kota dna, kd [mnm]	-25	-25	-30	-30
Visina vala, Hs [m]	3.5	3.5	3.5	3.5
Nasuti dio				
Masa elemenata školjere [kg]	15,424.73	10,946.08	17,069.18	12,113.05
Površina školjera [m2]	131.03	89.25	168.06	121.35
Školjera [kn]:	157,233.28	107,095.26	201,675.60	145,624.56
Površina unutarnji trapez (jezgra)	836.35	488.17	1,243.22	809.44
Jezgra [kn]:	209,088.08	122,042.29	310,805.63	202,359.82
Betonski dio				
Površina lukobrana [m2]	102.00	140.00	105.00	143.75
Lukobran [kn]:	285,600.00	392,000.00	294,000.00	402,500.00
Površina zidića [m2]	9.30	9.30	9.30	9.30
Zidić [kn]:	18,600.00	18,600.00	18,600.00	18,600.00
UKUPNO vertikalni/kombinirani:	670,521.36	639,737.56	825,081.23	769,084.38

Baš kao i kod nasutih lukobrana, i kod kompozitnih i vertikalnih lukobrana se trošak izvedbe povećava za 7 – 8% nakon povećanja dubine od 5.0 m, a isti je slučaj i prilikom povećanja visine vala za 0.5 m.

7. DISKUSIJA REZULTATA

U radu je osim usporedbe troškova za sve vrste lukobrana, napravljena i usporedba promjene širine i visine zida uslijed promjene dubine mora i visine vala, promjena kote krune u odnosu na promjenu visine vala te dopušteno prelijevanje kao i povećanje mase primarne obloge uslijed promjene visine vala. U nastavku su prikazani dijagrami dobiveni iz tablica prikazanih u poglavlju 6.

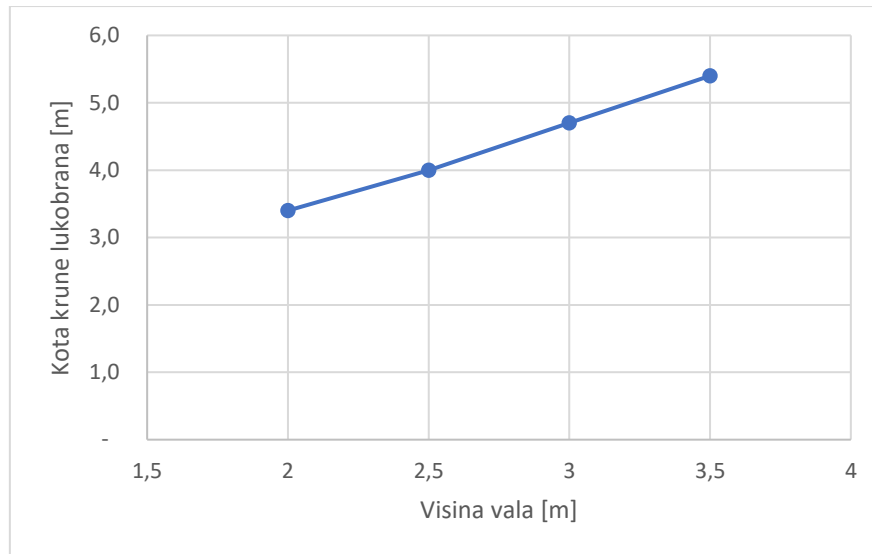
Na slici 33 je prikazan dijagram promjene mase primarne obloge povećanjem visine vala.



Slika 33: Dijagram promjene mase primarne obloge povećanjem visine vala

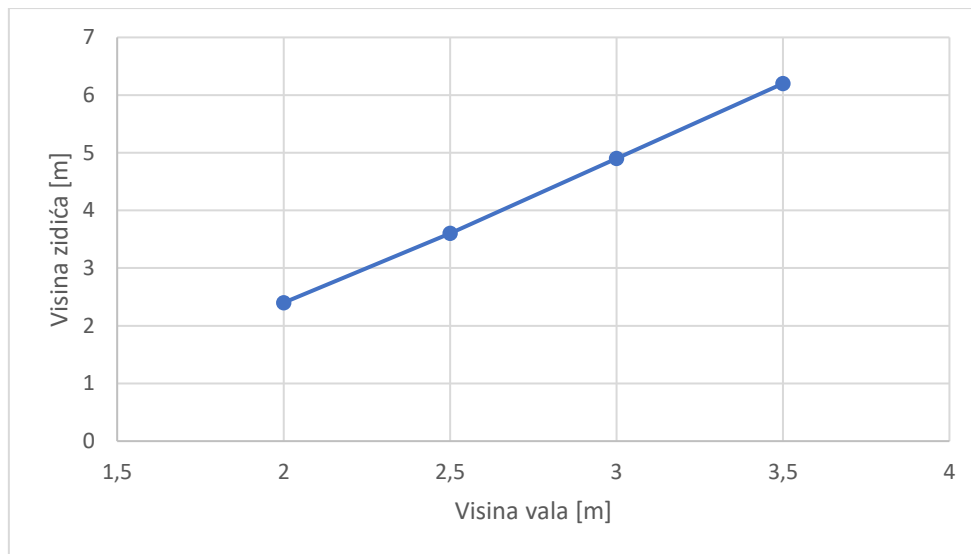
Iz dijagrama je vidljivo da se povećanjem visine vala za samo 0,5 m, masa elemenata naglo povećava, i to za 2 000 kg pri manjim visinama vala te 4 000 kg pri većim visinama.

Na slici 34 je prikazan odnos kote krune i visine vala. Kota krune povećava se linearno prema formuli $k_{krune} = VV_{5god} + 1,25 * H_{pr}$ kako se povećava i visina vala.

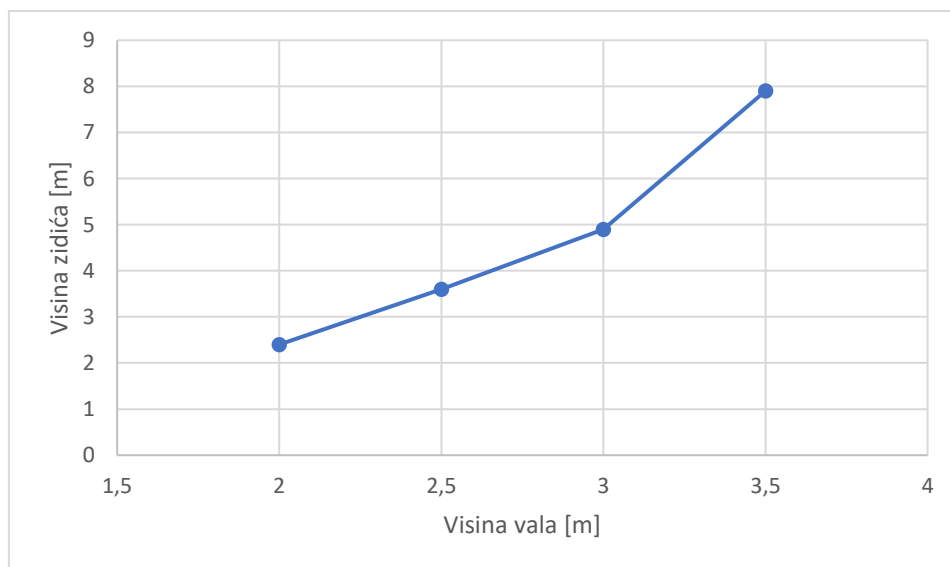


Slika 34: Dijagram promjene kote krune povećanjem visine vala

Visina zidića lukobrana određena je na temelju dopuštenog prelijevanja. Tako je za slučaj kada se ispred lukobrana dešava lom vala, bilo je potrebno povećati samu visinu zidića. Zbog tog razloga postoje dva različita dijagrama koji pokazuju promjenu visine zidića povećanjem vala. Dijagram 35 pokazuje linearno povećanje visine zidića, a vrijedi za sve slučajeve u tablici u kojima ne dolazi do loma vala. Dijagram na slici 36 prikazuje slučajeve u kojima se lom događa, dakle slučajeve za visinu vala $H_s = 3,5$ m na dubinama -10.0, -15.0 i -20.0 m, a gdje se kota dna lukobrana nalazi na dubini -5.0 m, kako je to vidljivo i u tablicama u poglavlju 6.



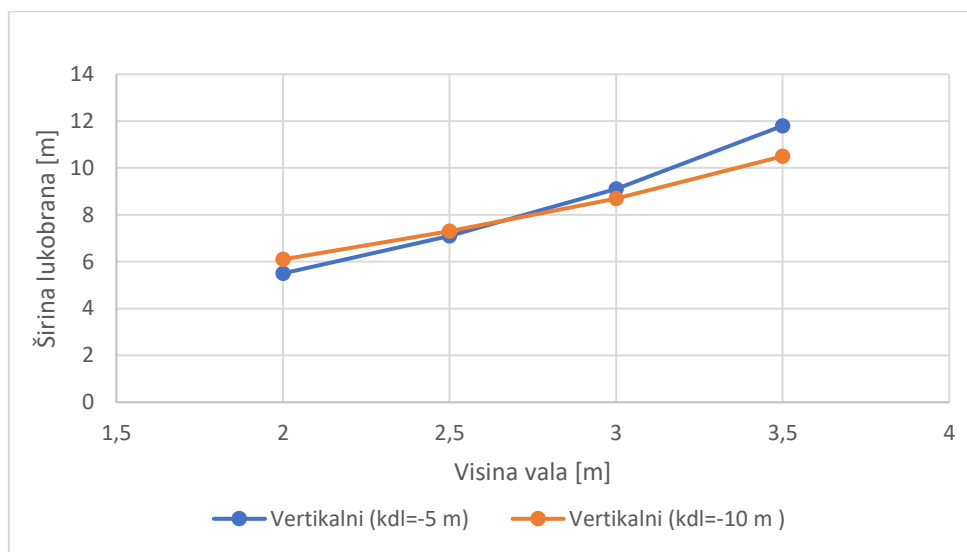
Slika 35: Dijagram promjene visine zidića kompozitnog lukobrana povećanjem visine vala (za slučaj kada nema loma vala)



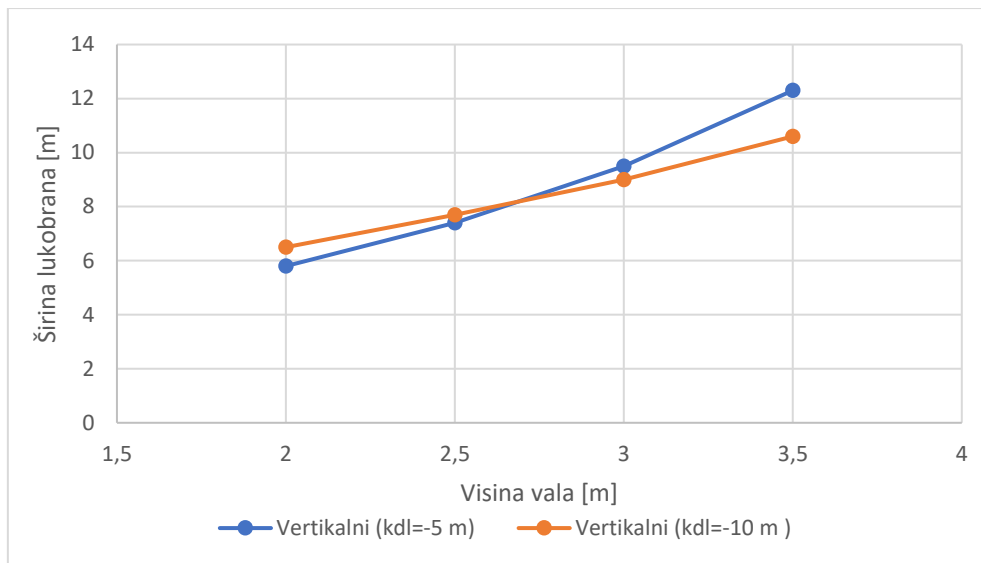
Slika 36: Dijagram promjene visine zidića kompozitnog lukobrana povećanjem visine vala (za slučaj kada dolazi do loma vala)

Usporedimo li dijagrame 37 - 41 koji prikazuju povećanje širine lukobrana zbog povećanja visine vala na određenim dubinama, možemo vidjeti da svi dijagrami imaju sličan oblik, a

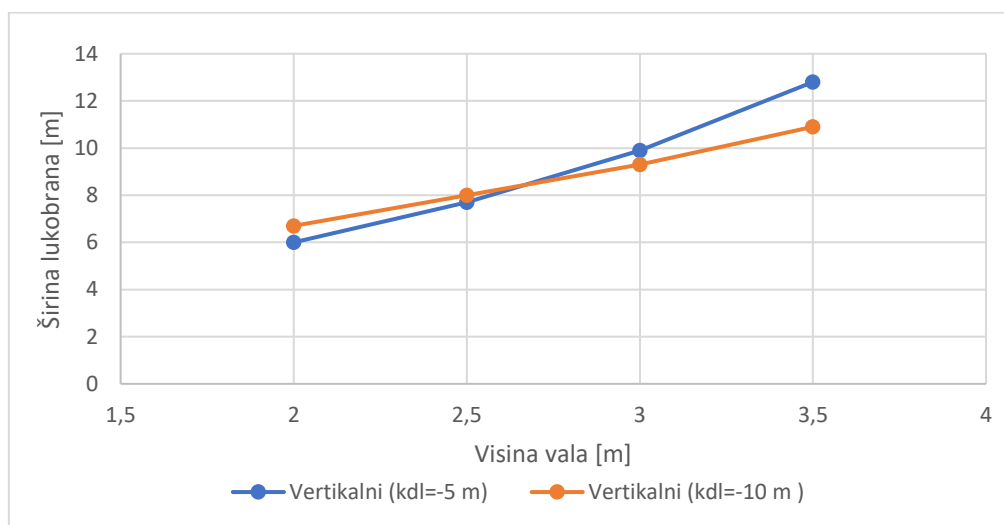
promjena se dešava gotovo pa linearno. Međutim, usporedimo li promjenu širine 2 lukobrana kod kojih vertikalni dio seže do -5.0 m (plava linija), odnosno do -10.0 m (narančasta linija), možemo uočiti da širina lukobrana s kotom -5.0 m raste brže nego kod lukobrana s kotom dna na -10.0 m. Ipak širina tog lukobrana je do visine vala od približno 2.75 m manja nego širina lukobrana s dnom na -10.0 m.



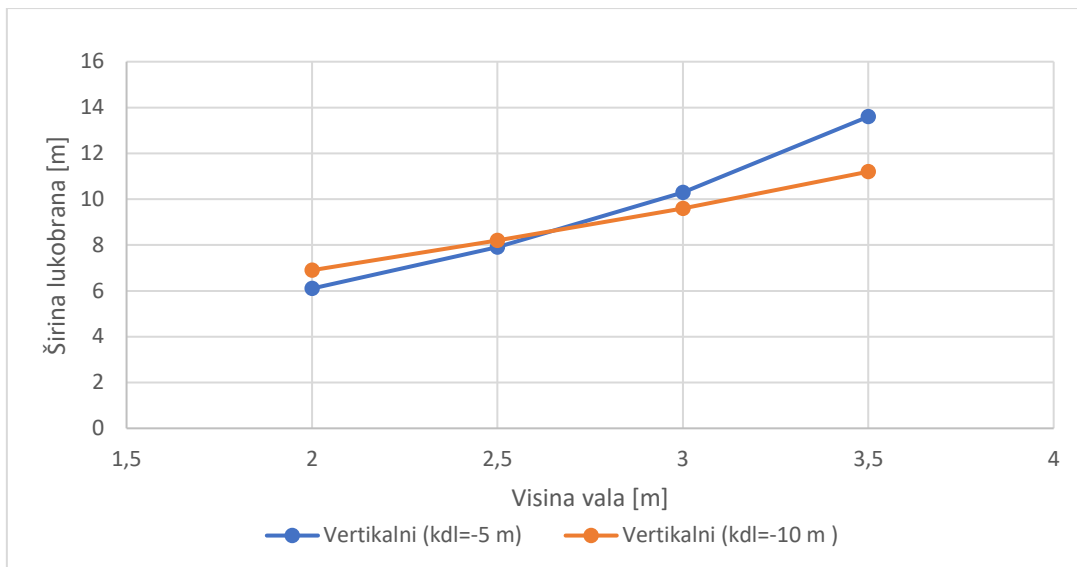
Slika 37: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -10.0 m



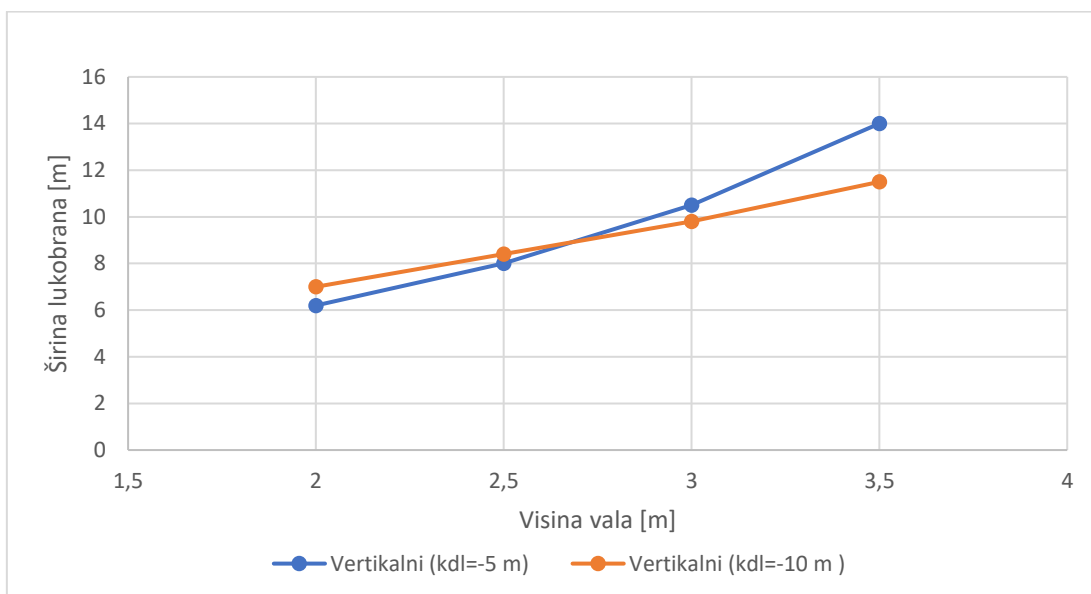
Slika 38: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -15.0 m



Slika 39: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -20.0 m



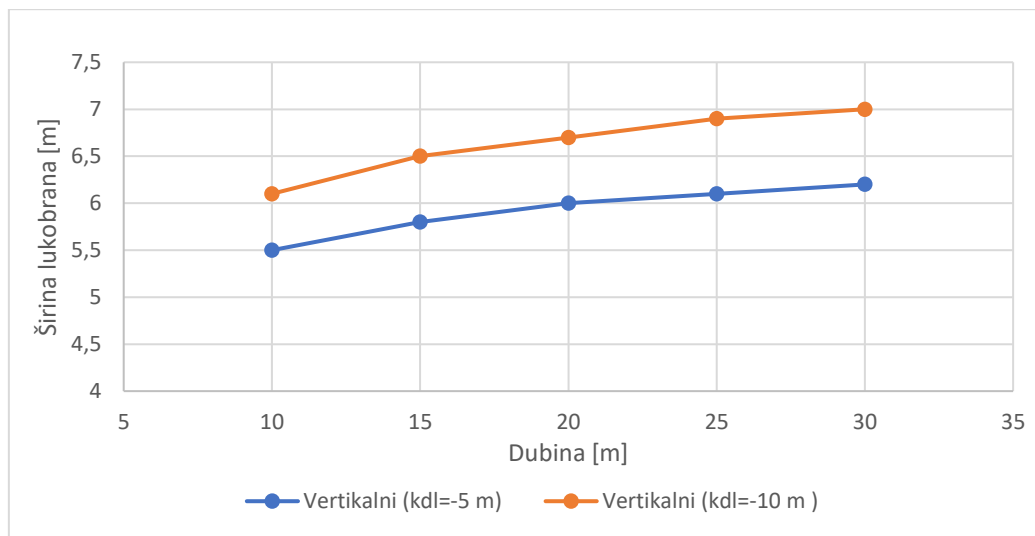
Slika 40: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -25.0 m



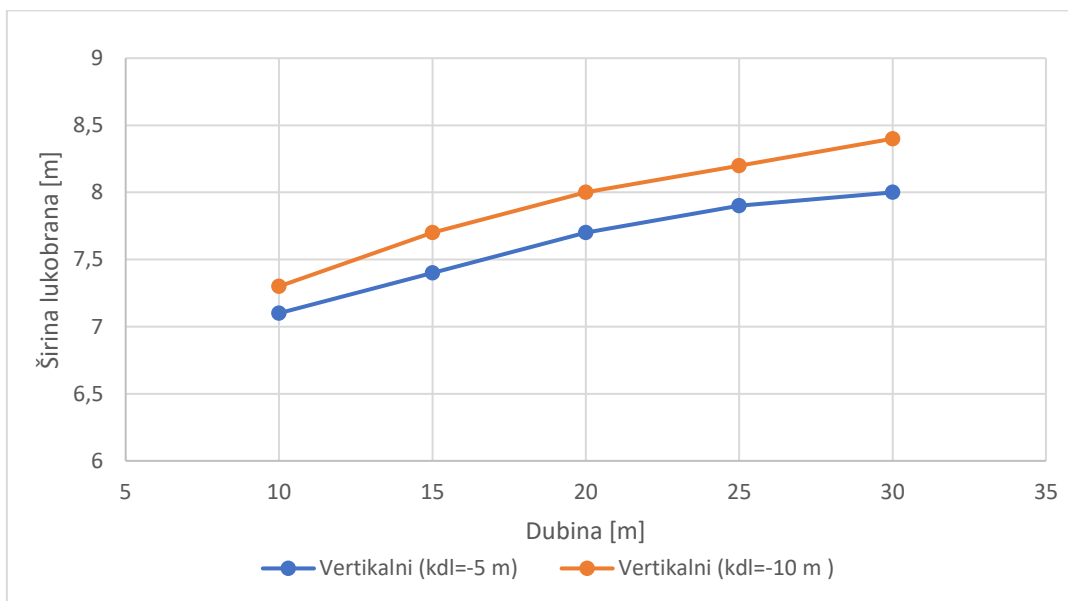
Slika 41: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja visine vala na dubini -30.0 m

Ukoliko promatramo promjenu širine lukobrana povećanjem dubine, a uz konstantnu visinu vala možemo uočiti da se za povećanjem dubine za 20 m, širina lukobrana povećava za nešto više od 1 m.

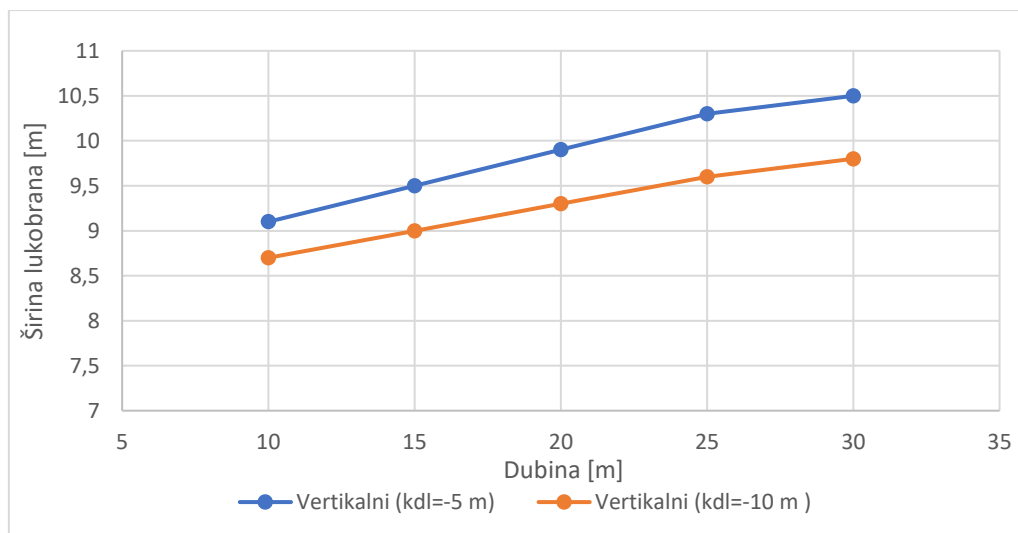
Također, zbog same stabilnosti konstrukcije, jasno je da širina lukobrana kod kojeg dno vertikalnog dijela seže do dubine -10.0 m mora biti veća od širine lukobrana s dnom na -5.0 m, što je vidljivo i na dijagramima 42 - 45.



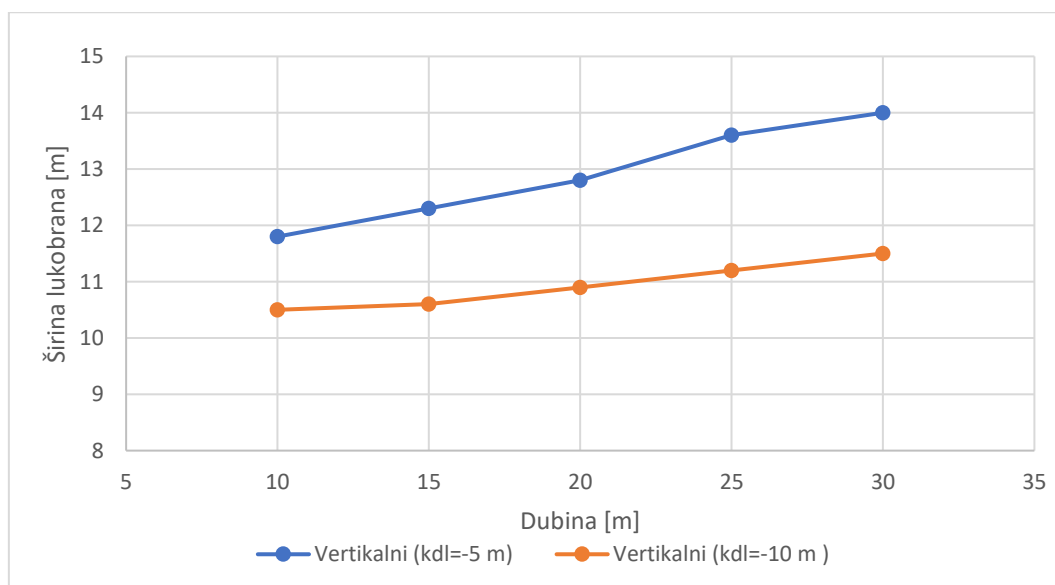
Slika 42: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 2,0$ m



Slika 43: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 2,5$ m



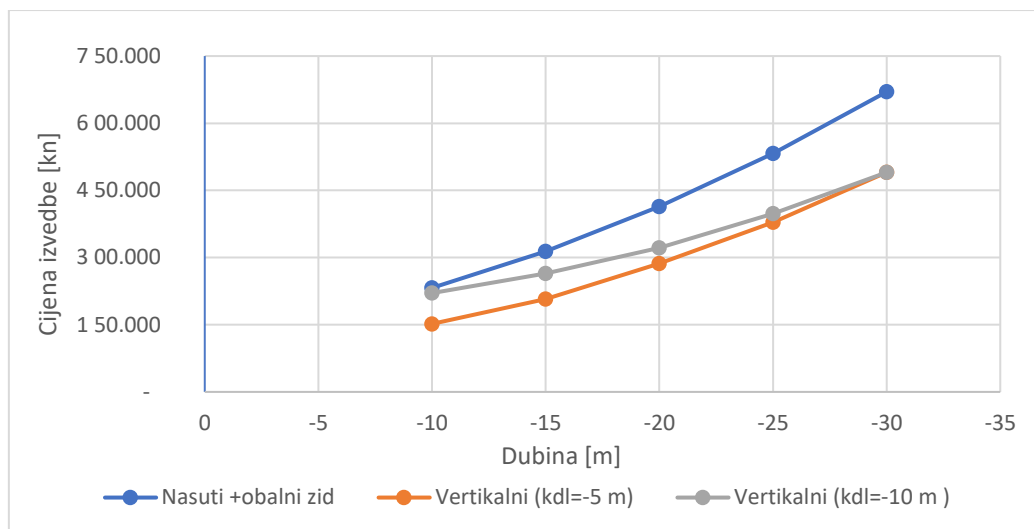
Slika 44: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 3,0$ m



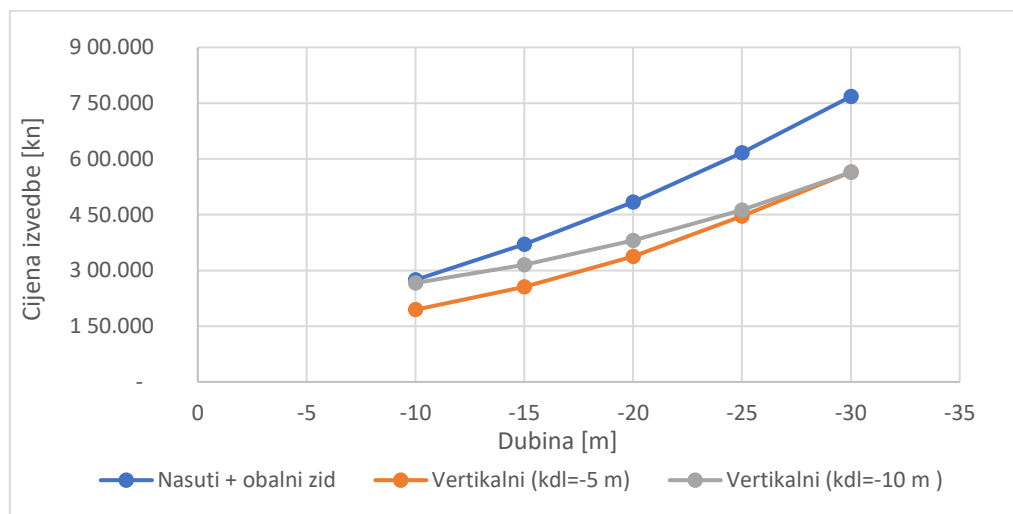
Slika 45: Dijagram promjene širine lukobrana uslijed povećanja dubine za visinu vala $H_s = 3,5$ m

Usporedimo li cijene izvedbe 3 vrste lukobrana pri određenoj visini vala, dobivamo rezultate u obliku dijagrama prikazanih na slikama 46 – 49.

Dijagrami pokazuju da je za dane uvjete dubine i visine vala nasuti lukobran najskuplji, a isplativost dviju vrsta vertikalnih lukobrana se mijenja u odnosu na promjenu dubine mora.

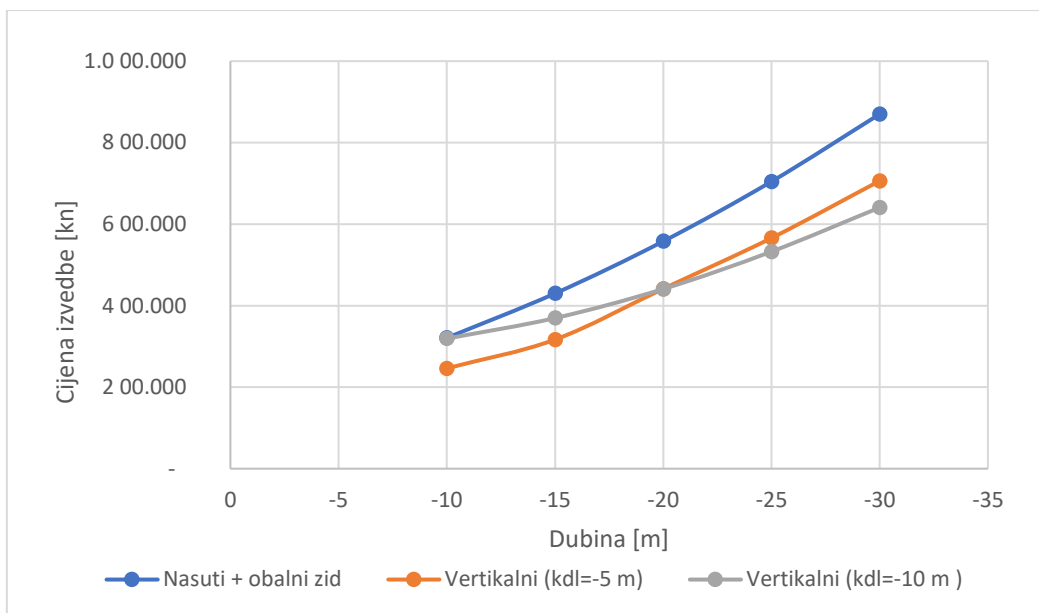


Slika 46: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala $H_s = 2,0$ m

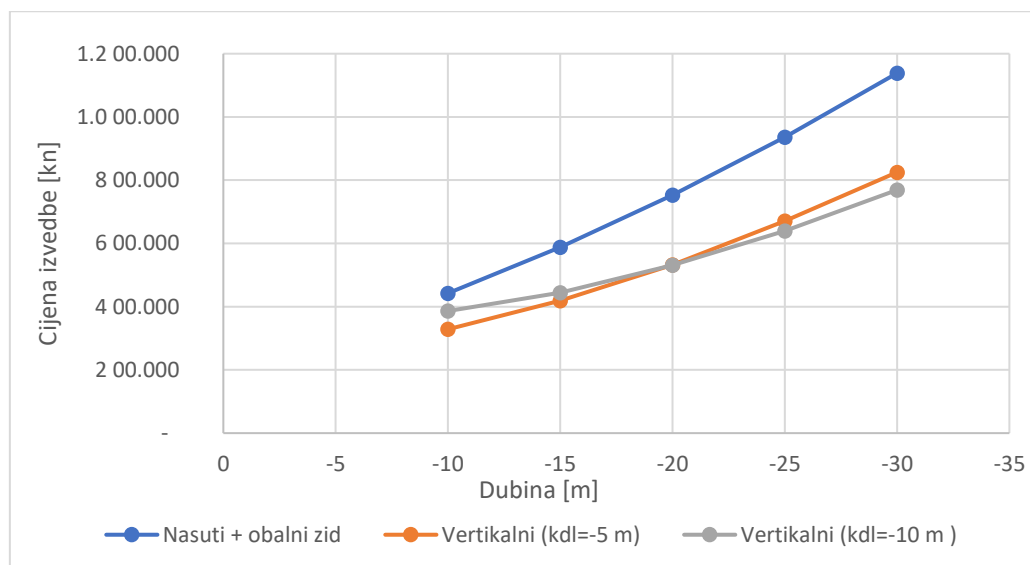


Slika 47: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala $H_s = 2,5$ m

Za visine vala od 2.0 i 2.5 m dijagrami izgledaju gotovo identično – na dubini -10.0 m je cijena vertikalnog zida s kotom dna na -10.0 približno ista kao i za nasuti lukobran, a na dubini -30.0 m je cijena ista kao i vertikalni lukobran s kotom dna na -5.0 m.



Slika 48: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala Hs = 3,0 m



Slika 49: Dijagram dubina – troškovi za visinu vala Hs = 3,5 m

Za visine valova od 3.0 i 3.5 m možemo uočiti da su troškovi oba vertikalna lukobrana približno isti na dubini od 20 m. Cijena izvedbe nasutog je za val od 3.0 m na svim dubinama veća od ostalih solucija, osim na dubini od 10.0 m gdje je približno ista kao i za vertikalni s kotom dna na -10.0 m.

8. ZAKLJUČAK

Lukobrani su građevine koje uvelike doprinose zaštiti luka, a osim toga, ako imaju uporabivu krunu mogu služiti i ostalim svrhama poput mjesta za rekreaciju, mjesta prekrcaja ljudi ili dobara ili pak kao mjesto nekih ostalih događanja. Glede poprečnog presjeka, najčešće se izvode oni tipa zid, nasuti ili pak u kombinaciji, a baš su te tri vrste detaljnije obrađene u ovom radu. Na odabir vrste lukobrana utječe više čimbenika, a neki od njih su potreba za vezovima plovila, zahtijevana veličina luke, dostupnost materijala i mehanizacije, a samim time i troškovi izvedbe pojedine vrste lukobrana.

U ovom su radu prvo opisane vrste lukobrana, načini na koje se pojedini lukobrani izvode, mehanizacija koja je pritom potrebna te uvjeti koji se prilikom gradnje moraju zadovoljiti. Zatim je objašnjen način dimenzioniranja vertikalnog i kompozitnog lukobrana, nasutog lukobrana, ali i obalnog zida kojeg je predviđeno izvesti u kombinaciji s nasutim lukobranom kako bi se omogućio privez plovila, te uporabivost same krune. U radu je, osim na stabilnost na klizanje i prevrtanje kod obalnog zida i vertikalnog lukobrana te stabilnost elemenata obloge nasutog lukobrana, proračunata i stabilnosti na prelijevanje prema priručniku EurOtop. Prelijevanje je bitan faktor proračuna ako se želi postići sigurnost unutar luke. U drugom dijelu rada proveden je proračun lukobrana za različite visine vala od 2.0, 2.5, 3.0 i 3.5 m, te dubine -10.0, -15.0, -20.0, -25.0 i -30.0 m u svrhu odabira najisplativije vrste lukobrana za dane uvjete. Detaljan proračun prikazan je za obalni zid te nasuti i kompozitni lukobran i to za značajnu visinu vala $H_s=2,5$ m i dubinu od -15.0 m. Kod kombiniranog lukobrana, proračun je proveden za dva slučaja – u prvom je slučaju kota dna vertikalnog lukobrana na -5.0 m, a u drugom slučaju na -10.0 m. Nakon dobivenih rezultata, u obliku dijagrama su prikazani odnosi povećanja mase primarne obloge i visine krune kod nasutog lukobrana. Za vertikalni/kompozitni lukobran prikazano je povećanje širine lukobrana uz promjenu dubine i visine vala te povišenje zidića povećanjem vala. Na kraju su konačno napravljene usporedbe troškova svih vrsta lukobrana za pojedine visine vala. Iz dijagrama u poglavlju 7 može se izvesti nekoliko zaključaka. Kod nasutog lukobrana se već povećanjem visine vala za 0.5 m masa elemenata primarne obloge povećava za prosječno 3 000 kg, što znači i povećanje razreda mase u kojem se obloga nalazi, a samim time i povećanje cijene. Ako promatramo promjenu širine vertikalnog/kompozitnog lukobrana uslijed povećanja vala, može se zaključiti da kod kompozitnog lukobrana s kotom dna

vertikalnog dijela na -5,0 m uslijed povećanja visine vala za 0.5 m, širina lukobrana raste za približno 2 m, a kod kompozitnog lukobrana s kotom dna vertikalnog dijela na -10,0 m širina raste za približno 1,5 m. Usporedimo li promjenu širine ta dva lukobrana uslijed povećanja dubine za 10 m, može se uočiti da je kod obje vrste promjena širine puno manja, a iznosi približno 0.3 m.

Nakon analize svih gore navedenih promjena, konačno se mogu usporediti i troškovi izvedbe tri navedene vrste lukobrana. Za visinu vala od 2.0 m vidljivo je da se povećanjem dubine naglo povećavaju i troškovi izvedbe nasutog lukobrana. Ipak, pri dubini -10.0 m, gotovo jednako isplativ koliko i vertikalni lukobran s dnom na koti -10.0 m. Može se reći da je pri ovoj visini vala te za promjenu dubine od -10.0 m pa do -30.0 m generalno najisplativiji kompozitni lukobran s kotom vertikalnog lukobrana na -5.0 m koji je za sve navedene dubine i najjeftiniji. Za visinu vala od 2.5 m, slika je identična, no već pri porastu vala za 0.5 m, najpovoljniji postaje kompozitni s kotom dna vertikalnog dijela na -10.0 m koji je doduše skuplji od vertikalnog s kotom dna na -5.0 m, ali samo do dubine -25.0 m, nakon toga postaje jeftiniji. Slična je situacija i za visinu vala od 3.5 m.

Uzevši u obzir sve provedene analize, može se zaključiti da je nasuti lukobran isplativo izvesti samo pri vrlo malim dubinama i pri malim visinama vala, što se slaže i s prethodnim iskustvima projekatara obalnih konstrukcija. Za visine vala manje od 2.5 m, a za dubine dna od -10.0 do -30.0 m, najisplativijem se pokazao kombinirani lukobran s kotom dna vertikalnog lukobrana na -5.0 m. Za visine vala veće od 2.5 m najbolje je odabrati kombinirani lukobran s kotom dna vertikalnog lukobrana na -10.0 m koji je pri većim dubinama isplativiji od preostala dva lukobrana zbog manje količine nasutog dijela.

9. LITERATURA

1. EurOtop, 2018. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W. i dr., www.overtopping-manual.com
2. The Constructor: <https://theconstructor.org/structures/coastal-protection-structures/14020/>, 27.03.2019.
3. SlideShare: <https://www.slideshare.net/MAamerRaza/breakwaters-and-types>, 27.3.2019.
4. Carević, D., Hidraulička interakcija valoloma i perforiranog valobrana, doktorska disertacija, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2009.
5. Pršić, M., predavanja iz kolegija Pomorske građevine, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2013.
6. Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Breakwater_\(structure\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Breakwater_(structure)), 30.03.2019.
7. Pršić, M., predavanja iz kolegija Vodnogospodaske građevine, Tehničko veleučilište u Zagrebu, 2008.
8. University Madison: <https://universitywimadisonbreakwater.weebly.com/objective-and-background.html>, 27.03.2019.
9. Concrete Layer Innovations: http://www.concretelayer.com/ourreferences?field_region_value=All&field_type_value=accropode&field_water_depth_range_value=0-5m&field_max_unit_size_range_value=All, 08.04.2019.
10. MAP-FRANCE: <http://www.map-france.com/Dieppe-76200/photos-Dieppe.html>,
11. Ružić, I., predavanja iz kolegija Obalno inženjerstvo, Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, 2018., 10.04.2019.
12. Carević, D. i Pršić, M., Pomorske građevine, web skripta, dio 2 i 3, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2018., 14.06.2019.
13. Bucharth, F.H i Hughes, A. S., Fundamentals of design, dio 6, poglavlje 5, 2003., 23.06.2019.