

PRIMJENA BIM-A U IZRADI VARIJANTNIH RJEŠENJA LUKOBRANA U UVALI VELOPIN

APPLICATION OF BIM IN DEVELOPING VARIANT BREAKWATER SOLUTIONS IN VELOPIN BAY

Katarina Tutić*, Neira Torić Malić*

Sažetak

U radu je prikazan postupak projektiranja konstrukcije lukobrana kao privežišta plovila u Uvali Velopin na Malom Lošinju primjenom BIM tehnologije (Building Information Modeling). Ukazano je na važnost ulaznih podataka te njihov utjecaj na projektiranje. Pokazana je prednost primjene BIM tehnologije u okvirima parametarskog modeliranja ovakve vrste konstrukcije. Složena geometrija, uvjeti terena i opterećenja zahtijevaju različite vrste konstruktivnih elemenata te višestruke analize, što, uz probleme uzrokovane valovima, predstavlja izazov za projektiranje. Primjena računalnih programa Allplan i Scia je omogućila brzu i jednostavnu izradu i analizu više varijantnih rješenja u svrhu odabira optimalnog rješenja koje zadovoljava uvjete nosivosti, uporabljivosti i troškova izgradnje.

Ključne riječi: lukobran, Velopin, BIM, proračun pilota, djelovanje valova

Abstract

The paper presents the design process of a breakwater structure based on BIM in Velopin Bay, Mali Lošinj. It highlights the importance of input data and the advantages of using BIM technology in parametric modeling of such structures. The complex geometry, terrain conditions and loads, in addition to wave-related problems, pose a challenge. The use of Allplan and Scia software enables efficient development and analysis of several alternative solutions to select an optimal design which meets the criteria of load-bearing capacity, usability and construction cost.

Keywords: breakwater, wave barrier, Velopin, BIM, pile design, wave action

* Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

E-mail: {katarina.tutic@uniri.hr, ntoric@uniri.hr}@gradri.uniri.hr

1. Uvod

U uvali Velopin koja se nalazi na Malom Lošinju postoji potreba za izvedbom privezišta za plovila. Privezište je dio obale koji je opremljen priveznim sustavom i koji služi za pristajanje plovila. U sklopu GraDiS projekta, u suradnji s tvrtkom Seacon i korištenjem BIM (Building Information Modeling) tehnologije, razvijen je prijedlog lukobrana na pilotima koji će služiti kao privez za plovila. Lukobran je infrastruktura koja pruža zaštitu od izravnog djelovanja mora. Glavni zadatak ovakvih konstrukcija je smanjiti djelovanje valova. Ovisno o njihovom obliku, vrstama elemenata i načinu na koji štite plovila od valova, postoje različite vrste lukobrana. Lukobrani mogu biti nasuti, vertikalni, kombinirani, potopljeni, plutajući i lukobrani koji se izvode na pilotima. U radu je prikazano idejno rješenje konstrukcije lukobrana na pilotima, s posebnim fokusom na razradu i analizu različitih rješenja za oblike valobranih ekrana, što je omogućila upravo primjena BIM računalnih alata kao što su Allplan i Scia. Za vizualizaciju objekta korišten je program Lumion.

Lukobran na pilotima odabran je zbog svoje sposobnosti zaštite brodova od udara valova, olakšavanja pristajanja i pristupa pristaništu te smirivanja vode unutar luke. S obzirom na iskustvo s postojećim sličnim konstrukcijama s valobranim ekranima klasičnog oblika, koji trpe značajna oštećenja od udara valova, usporedbom njihove deformacije i nosivosti te odabira najprikladnijeg rješenja posebna je pažnja je dana analizi različitih oblika i dimenzija valobranih ekrana. S obzirom na kratke vremenske rokove u fazi projektiranja i iterativni postupak dimenzioniranja koji zahtijeva određeno vrijeme, često se pribjegne klasičnim ustaljenim rješenjima za konstrukcije bez dubljih analiza varijantnih rješenja.

BIM tehnologija se zasniva na modeliranju potpunih informacija o svakom elementu konstrukcije istovremeno s modeliranjem 3D geometrije, kao što su npr. vrsta materijala, proizvođač, cijena i sl. Modeliranje geometrije je parametarsko, što znači da se u bilo kojem trenutku mogu jednostavno i brzo ažurirati izmjene, tako da se automatski ažuriraju i sve popratne informacije. Zadavanje opterećenja, pregled i analiza kombinacija primjenom BIM alata kao što je SCIA, također zahtijeva manje vremena, a osigurava veću točnost budući da sadrži već ugrađene postavke prema Eurokod standardima. Kontrola geometrijskih konflikta, grešaka u modelu te vizualizacija rezultata su također neke od prednosti BIM-a. Nakon izrade idejnog projekta, značajno je jednostavnija i relativno automatizirana izrada detaljnog izvedbenog projekta sa svim nacrtima, iskazom masa i dinamičkim planom izvođenja i mogućnosti praćenja izgradnje i troškova projekta u realnom vremenu. Stoga je BIM tehnologija postala neizostavan čimbenik u optimizaciji procesa

projektiranja, izvođenja i upravljanja građevinskim projektima. BIM se kontinuirano razvija kako bi zadovoljio rastuće potrebe za učinkovitim i preciznim projektiranjem te je postao ključan alat za inženjere, arhitekte i stručnjake u građevinskoj industriji. BIM omogućuje precizno modeliranje i simulaciju građevinskih projekata, što pomaže u identifikaciji potencijalnih problema i optimizaciji dizajna prije samog izvođenja. Također, olakšava koordinaciju između različitih struka u građevinskom sektoru te doprinosi povećanju kvalitete i sigurnosti izvedbe projekta. Odabir ove teme odražava sve veću popularnost i široku primjenu BIM tehnologije u suvremenom građevinarstvu te nužnost digitalizacije u građevinskom sektoru. Cilj rada je pokazati prednosti BIM tehnologije kroz procese projektiranja lukobrana, analizirati prednosti i izazove koje BIM pristup donosi u tom kontekstu te pružiti uvid u praktičnu primjenu BIM-a.

2. Karakteristike uvale Velopin

2.1 Položaj i postojeće stanje

Uvala Velopin je smještena unutar Luke Mali Lošinj, koja je javna luka od županijskog značaja s bazenima Poljana-Runjica i Velopin (Slika 1). Za pravilno dimenzioniranje i temeljenje lukobrana ključni su precizni podaci o obliku i dubini morskog dna, a koji su dobiveni izmjerom terena ovlaštenog inženjera geodezije. Prostorni prikaz postojećeg stanja uvale Velopin izrađen je u računalnom programu Allplan u kojemu je kasnije modelirana i konstrukcija lukobrana. Lukobran se sastoji od više segmenata koji će se međusobno spajati i bit će oslonjen na bušene pilote na kojima će se izvoditi naglavnice. Na naglavnice se postavljaju predgotovljeni valobrani ekrani na koje će biti privezana plovila. Buduće privezište imat će kapacitet za 58 manjih plovila III. i IV. kategorije.



Slika 1. Položaj uvale Velopin unutar Malo Lošinskog zaljeva

2.2 Vjetrovalna klima i uvjeti morskoga dna

Kako bi se konstrukcija lukobrana u uvali Velopin mogla valjano dimenzionirati, potrebno je imati podatke o vjetrovnoj klimi i uvjetima u morskome tlu. U ovome radu je za ulazne podatke kod određivanja uvjeta opterećenja od vjetra i valova korištena studija koju je izradila tvrtka Hydroexpert iz Zagreba [1].

2.2.1 Geotehničke značajke uvale Velopin

U području uvale Velopin prevladavaju svijetlosivi i dobro uslojeni vapnenci iz gornje krede [2]. U toj uvali se nalaze različiti marinski sedimenti koji variraju ovisno o dijelu akvatorija, s grubljim pijeskom u pličim dijelovima te prašinastim pijeskom u dubljim dijelovima. Ukupna debljina sedimentnog prekrivača dobivena batimetrijskog izmjerom [3] do dubine od -10 m n. m. ne prelazi 1 m. Pri određivanju temeljenja konstrukcije, ključno je utvrditi razinu nosive podloge, koja je u ovom slučaju vapnenačka stijena. U prvom metru dubine nalaze se mekane naslage (pijesak i mulj) koje nemaju nosivost i stoga se zanemaruju pri proračunu. Geodetski zavod Rijeka izradio je batimetrijsku kartu morskog dna specifično za potrebe projekta lukobrana u uvali Velopin. Na temelju te karte moguće je odrediti optimalni položaj lukobrana uzimajući u obzir ravnotežu između iskoristivosti materijala i troškova konstrukcije. Potrebno je uzeti u obzir da troškovi značajno rastu s duljinom pilota i postavljanjem u dublje dijelove morskog dna.

2.2.2 Vjetrovalna klima

Kod određivanja vjetrovne klime, ključno je utvrditi brzinu i smjer vjetra. Uobičajeno se smjer vjetra prikazuje ružom vjetrova, koja daje udio svakog pojedinog smjera u postocima. Na meteorološkoj postaji u Malom Lošinju koristi se anemografsko mjerenje vjetra u razdoblju od 1995. do 2007. godine. U ovome radu, koristit će se dugoročna prognoza za satnu brzinu vjetra koju je izradila firma Hydroexpert [1] za uvalu Škverić, s obzirom na to da su uvale udaljene samo 500 metara zračne linije. Brzina vjetra određena je za povratni period od 100 godina za maksimalne udare vjetra u trajanju od tri sekunde. Brzina bure koja puše u SI iznosi 35,70 m/s, dok tramontana djeluje iz smjera SZ brzinom od 33,60 m/s (Slika 2).



Slika 2. Djelovanje vjetrova na lukobran

2.3 Karakteristike mora

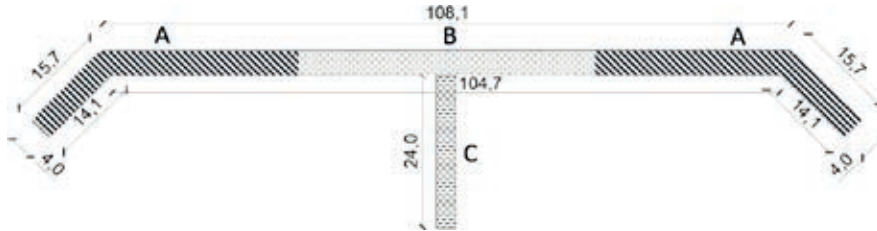
Za precizno određivanje srednjih visina mora na području Malog Lošinja, potrebno je interpretirati dugoročne prognoze morskih razina dobivene na mareografskim stanicama u Rovinju i Bakru. Naime, niz podataka o morskim razinama na samom području Malog Lošinja nije dovoljno dug da bi se mogla provesti analiza ekstremnih visina mora. Ekstremna visina mora za 100-godišnji povratni period iznosi 1,35 m dok ekstremna visina mora za desetogodišnji povratni period iznosi 1,2 m. Malološinjski zaljev, kao relativno zatvoren morski akvatorij, pokazuje različite karakteristike morskih struja na osam mjernih točaka, pri čemu prosječna brzina struje iznosi 0,1 m/s, osim na glavnom ulazu, gdje su zabilježene dvostruke vrijednosti [1]. Valovi koji utječu na plovila i lukobran mogu biti generirani vjetrom, brodovima, šćigama i plimnim valovima, pri čemu su vjetrovni valovi najčešći, karakterizirani visokom energijom i kratkim trajanjem. Za smjer puhanja vjetra SZ, koji uzrokuje veću visinu valova, gdje tramontana prevladava tijekom projektnog razdoblja od 100 godina s brzinom vjetra do 8 Bf, značajna visina vala može se procijeniti kao $H^{100} = 0,75$ m prema [1]. Kako bi se izbjeglo prelijevanje gornja kota lukobrana, određena je prema projektnom valu i maksimalnoj morskoj razini.

3. Oblikovanje konstrukcije lukobrana

3.1. Oblik i dimenzije konstrukcije

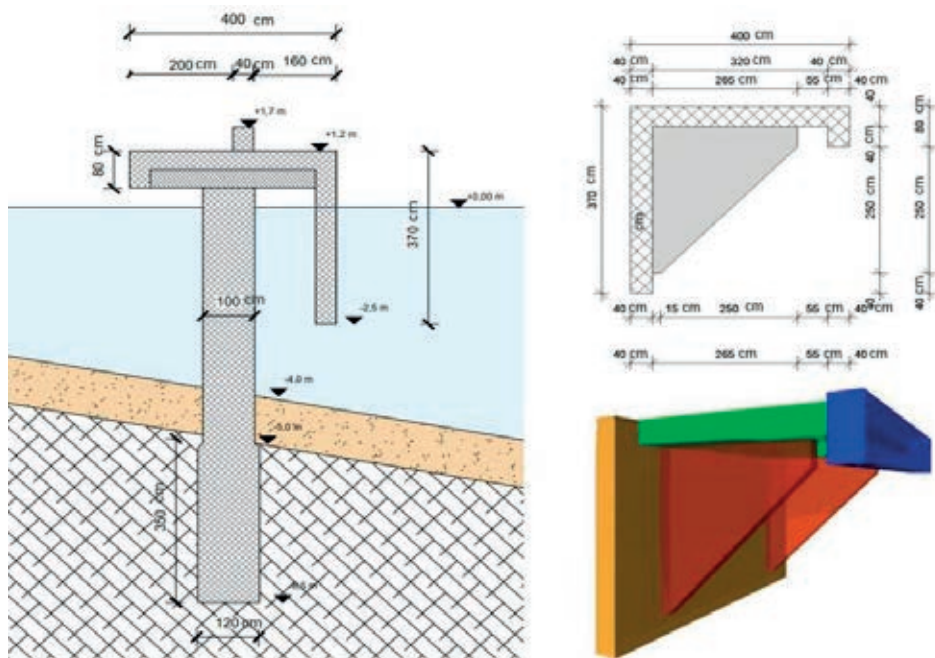
Planirano oblikovanje lukobrana u uvali Velopin služi kao privezište za plovila III. i IV. kategorije. Konstrukcija lukobrana je oslonjena na pilotima na koje se betoniraju naglavnice, a nakon njihove izgradnje postavljaju se valobrani ekrani. U svrhu lakšeg izvođenja, konstrukcija je dilatacijama podijeljena na četiri segmenta (Slika 3). Dio A nalazi se s lijeve

i desne strane dijela B te ima tlocrtni lom pod kutem od 45° , dok je dio B je ravan. Pristupna pasarela (dio C) je okomita na dio B. Tlocrtnne dimenzije konstrukcije su 130×28 m, a efektivna duljina privezišta je 108,1 m.



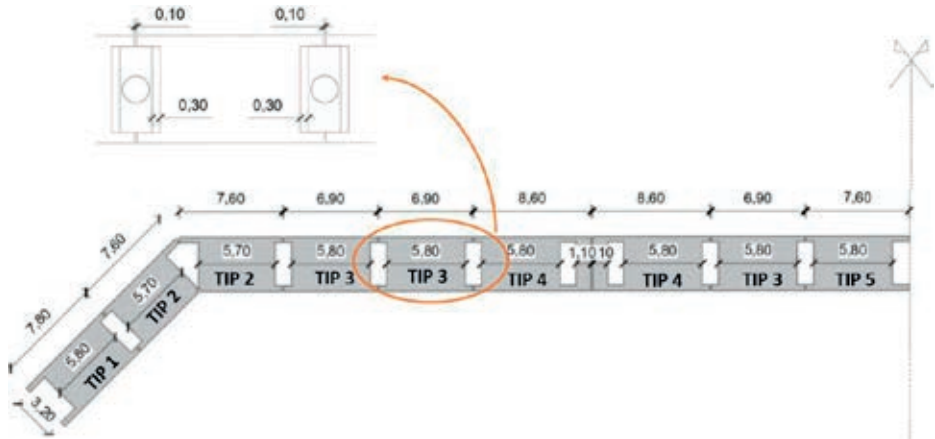
Slika 3. Konstrukcija lukobrana podijeljena na segmente

Predviđena je izrada bušenih pilota od betona razreda čvrstoće C35/45 primjenom Benotto tehnologije. Najveća duljina pilota je 10,8 m, na dijelu konstrukcije gdje je morsko dno najdublje (između -5,5 i -6,0 m n. m.). Piloti su izvedeni u vapnenačkoj stijeni na duljini od 3,5 metra, gdje ostvaruju upetost i imaju promjer od 1,2 metra. Na preostaloj duljini, piloti imaju promjer od 1 m. Nakon izvedbe naglavnic na pilotima, postavljaju se valobrani ekrani. Valobrani ekran sastoji se od različitih ravninskih armiranobetonskih elemenata, uključujući zidove, ploče, vijence i rebra. Valobrani ekran promatra se kao zasebna prostorna konstrukcija. Na Slici 4 prikazana je konstrukcija valobranog ekrana naslonjenog na naglavnice i pilote.



Slika 4. Nacrt i digitalni model valobranog ekrana s naglavnicom i pilotom

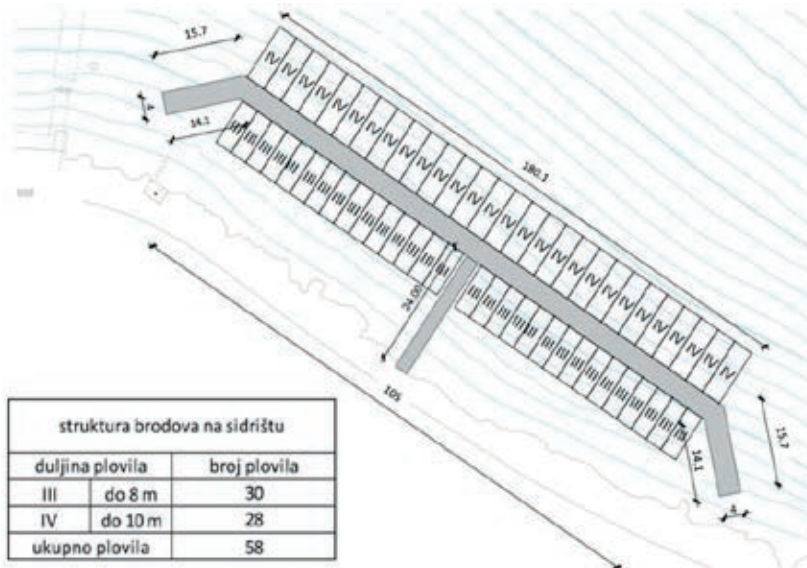
Postoji pet tipova valobranih ekrana, kako je vidljivo na Slici 5. Visina svakog valobranog ekrana iznosi 3,7 m. Radi razmaka između pilota, širina valobranih ekrana varira unutar raspona od 6,9 m do 8,6 m. Valobrani ekran tipa 4 karakterizira veća duljina u usporedbi s drugim ekranima, a također ima i drugačiji oblik s obzirom na to da se nalazi na prepustu konstrukcije. Ostali valobrani ekrani se s obje strane oslanjaju na naglavnice na dužini od 30 cm. Radi jednostavnosti izvođenja i propusnosti konstrukcije valobrani ekrani su međusobno udaljeni za 10 cm.



Slika 5. Tlocrtni položaj valobranih ekrana

3.2. Raspored i kategorizacija plovila

Radi analize opterećenja na lukobranu, potrebno je odrediti vanjska djelovanja na plovila koja će biti privezana na njemu. Za tu svrhu, vrši se kategorizacija plovila ovisno o njihovim dimenzijama [4]. Na lukobranu je predviđen privez plovila III. i IV. kategorije u četverovezu. Na Slici 6 prikazan je položaj plovila u odnosu na lukobran. Detaljne dimenzije plovila izračunate su kao funkcija duljine prema [5].



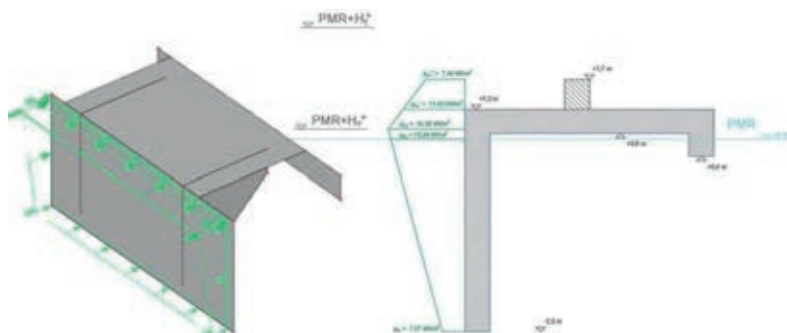
Slika 6. Raspored priveza plovila na lukobran

4. Proračun konstrukcije lukobrana

U proračunu konstrukcije lukobrana obuhvaćene su sve relevantne analize opterećenja s ciljem osiguranja sigurnosti i stabilnosti konstrukcije. To su djelovanje vjetra i valova, privezanih plovila, temperature i potresa. U ovom su radu opisane glavne faze proračuna elemenata konstrukcije koji su se pokazali kao mjerodavni u fazi izvođenja pojedinih dijelova konstrukcije i konstrukcije u fazi uporabe.

4.1. Analiza opterećenja

Provedena je analiza uvjeta utjecaja opterećenja na plovila s ciljem određivanja relevantnih opterećenja koja se prenose na konstrukciju lukobrana. Uzimajući u obzir manje dimenzije plovila, utvrđeno je da sile koje nastaju njihovim djelovanjem neće imati značajan utjecaj na lukobran. Kao mjerodavno promjenljivo opterećenje, identificirani su vanjski valovi, čiji je intenzitet određen primjenom Sainflouove metode [6]. Ovaj proračun se temelji na projektiranom nivou mora od 0,7 metara. Sainflou metoda je primjenjiva za duge valove male strmosti te često za veće visine valova daje precijenjene vrijednosti sila, zbog toga što pretpostavlja linearnu aproksimaciju promjene opterećenja po visini valobrana (Slika 7) te potpunu refleksiju valova (nema disipacije energije), zbog čega se češće, kao točnija, koristi metoda Goda budući da je bazirana na empirijskim istraživanjima i uključuje stohastičku komponentu. No, u svrhu jednostavnosti, potrebe rada je korištena Sainflou metoda kao jedna od temeljnih metoda za analizu kvazistatičkog opterećenja od valova.



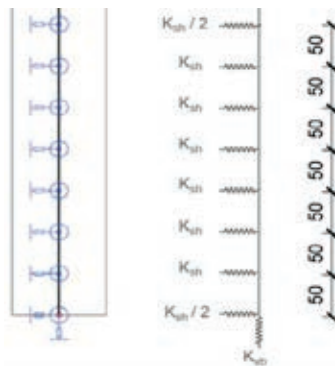
Slika 7. Sainflouova metoda

Također je provedena analiza utjecaja temperaturnog opterećenja, deformacija od skupljanja betona i seizmičkog opterećenja. Opterećenje uzrokovano potresom je određeno prema Eurokodu 8, a rezultati su

prikazani u diplomskom radu [7]. Analizom važeće seizmološke karte, utvrđeno je da za povratno razdoblje od 475 godina horizontalno vršno ubrzanje tla u području Mali Lošinj iznosi 0,08 g ($0,78 \text{ m/s}^2$) [8], što ukazuje na njegovu klasifikaciju kao područja male seizmičnosti. Za konkretnu lokaciju, ključno je odrediti elastični spektar odziva. Podaci dobiveni iz tog spektra se unose u SCIA softver, koji omogućuje primjenu CQC (Complete Quadratic Combination) metode za izračun ukupnih sila i pomaka uzrokovanih potresom. Glavni cilj CQC metode je procijeniti ukupni učinak svih tonova tijekom potresa [9]. Međutim, navedena opterećenja se nisu pokazala kao mjerodavna budući da opterećenja koja uzrokuju valovi stvara najveća naprezanja i deformacije na konstrukciji. Detaljni proračuni analize opterećenja koja djeluju na konstrukciju lukobrana mogu se naći u diplomskom radu [7].

4.2. Proračun pilota i naglavnica

U prvom koraku, razvijen je detaljan računski model pilota koji je poslužio kao temelj za daljnje proračune. Kako bi se osiguralo precizno simuliranje interakcije pilota s morskim dnom i opterećenja na njih, ovaj model uključuje pravilno modeliranje karakteristika tla i ostalih relevantnih parametara. Prilikom proračuna konstrukcije u računalnom programu SCIA, važno je pravilno odrediti način temeljenja konstrukcije. U specifičnom slučaju kada pilot ulazi u stijenu, potrebno je postaviti oslonce na tom mjestu. Oslonci su modelirani kao linearno elastične opruge po cijeloj duljini pilota koja je u stijeni (Slika 8), simulirajući interakciju stijene i pilota.



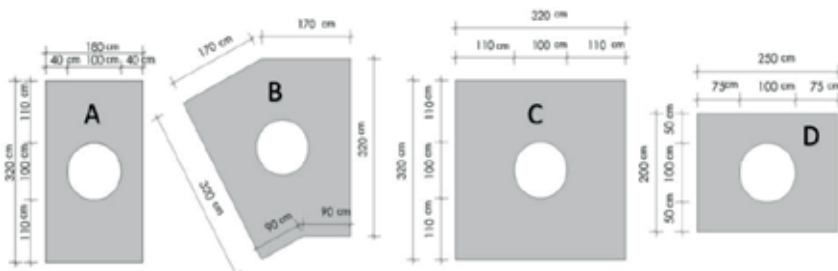
Slika 8. Linearno elastične opruge

Iako se iznad stijene nalazi tlo debljine 1 m, oslonci se ne postavljaju na mjestu gdje je tlo zbog male nosivosti tla. Krutost vapnenca K_s iznosi $90\,000 \text{ kN/m}^3$. Piloti imaju nosivost po bazi i po plaštu. Krutosti opruge duž osi pilota K_{vb} i opruga koje predstavlja nosivost na plaštu K_{sh} izračunata je u [7] prema izrazima:

$$K_{sh} = 0,8 \times K_s \times r \times \pi \times \Delta z = 56,55 \text{ MN/m} \quad (1)$$

$$K_{vb} = K_{sh} \times r^2 \times \pi = 70,69 \text{ MN/m} \quad (2)$$

Nadalje, poseban fokus je bio na proračunu naglavnih elemenata lukobrana. Provedena je analiza različitih tipova naglavnih elemenata korištenih na pojedinim dijelovima lukobrana, koji su prikazani na Slici 9.



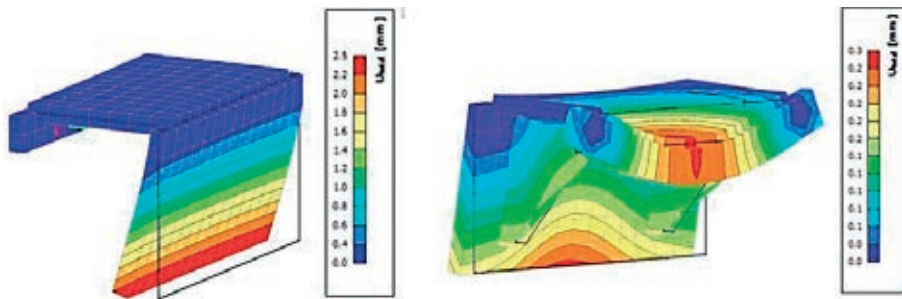
Slika 9. Tipovi naglavnih konstrukcija

Za svaki tip su izračunate dimenzije i provjerena nosivost za djelujuća opterećenja. Sve naglavnice izvode se monolitno od betona C35/45 i armature B500B. Debljina svih naglavnica iznosi 40 cm. Uz njezinu vlastitu težinu, na svaku naglavnicu djeluju stalno i promjenjivo opterećenje. Stalno opterećenje uzrokovano je valobranim ekranom, koji svojom težinom naliježe na naglavnu konstrukciju, te armiranobetonskim serklažem, koji se izvodi na naglavnoj konstrukciji nakon postavljanja valobranog ekrana. Promjenjivo opterećenje koje djeluje na naglavnu konstrukciju nastaje prilikom ugradnje valobranog ekrana i armiranobetonskih serklaža, a uzima u obzir kretanje ljudi i strojeva prilikom gradnje.

4.3. Dimenzioniranje valobranog ekrana

Uobičajeno se valobrani ekrani izrađuju kao betonski prostorni plošni elementi. No, kako se u praksi pokazalo da su pod utjecajem djelovanja valova često podložni oštećenju (odlamanje vertikalnog dijela ekrana), potrebno ih je ukrutiti vertikalnim rebrima. U okviru analize konstrukcije valobranog ekrana, posebna pažnja posvećena je odabiru optimalnog položaja rebara. Provedeni su temeljiti proračuni za različite varijante, uključujući ekrane bez rebara (varijanta 1), kao i one s rebrima smještenim na udaljenosti od 70 cm (varijanta 2) i 100 cm (varijanta 3) od ruba. Važno je napomenuti da se valobrani ekrani izvode kao predgotovljeni elementi izrađeni od visokokvalitetnog betona C35/45 i armature B500B. Kod proračuna valobranog ekrana, isti se promatra kao zaseban sustav koji

se sastoji od armiranobetonskih elemenata, uključujući zidove, ploče, vijence i rebra. Pri daljnjem proračunu, nužno je uzeti u obzir stalna opterećenja koja djeluju na valobrani ekran, poput vlastitog opterećenja, uzgona i težine valobranog zidića. Također, bitno je analizirati promjenjiva opterećenja koja proizlaze iz izvođenja zidića te utjecaj vanjskih i unutarnjih valova. Sve ove čimbenike treba pažljivo procijeniti kako bi se osiguralo ispravno dimenzioniranje i stabilnost valobranog ekrana. Položaj rebara na valobranom ekranu ima značajan utjecaj na nosivost same konstrukcije. Analizirajući varijantu 2 valobranog ekrana, primjećujemo smanjenje naprezanja i deformacija u odnosu na varijantu 1 bez rebra (Slika 10). Osim toga, za varijantu 2 potrebna je manja količina armature, posebno u poprečnom smjeru.



Slika 10. Pomaci valobranih ekrana varijante 1 (lijevo) i varijante 2 (desno)

U slučaju varijante 3, primjećuje se pomak rebara prema središtu ekrana, ali razlike u rezultatima u odnosu na varijantu 2 nisu značajne, iako se naprezanja povećavaju. Postavljanje rebra ima pozitivan utjecaj na karakteristike valobranog ekrana, a kao optimalan položaj odabran je varijanta 2 s udaljenim težištem rebara od ruba ekrana za 70 cm. Nakon što je odabran zadovoljavajući položaj armiranobetonskih rebara, potrebno je provesti proračun svih valobranih ekrana. Svi valobrani ekrani imaju debljinu stijenske od 40 cm. Uspoređujući karakteristike valobranih ekrana, može se zaključiti da valobrani ekran tipa 1 (Slika 6) zahtijeva najveću količinu armature po metru dužine, što je posljedica većih inercijalnih sila u tom tipu ekrana. Kritičan utjecaj na valobrane ekrane ima djelovanje vanjskih valova na zidove. S obzirom na to da valobrani ekran tipa 4 ima najveću dužinu zida, očekivalo bi se da će imati najveće sile, no to nije slučaj jer se taj tip ekrana oslanja na poseban način, s otvorom na gornjoj ploči i oslanjanjem na naglavnu konstrukciju s obje strane. Takvo oslanjanje omogućuje smanjenje sila i momenata te manju potrebu za armaturom. Valobrani ekran tipa 5 zahtijeva najmanju količinu armature po metru dužine, budući da ima najmanju dužinu zida.

5. Analiza konstrukcije lukobrana

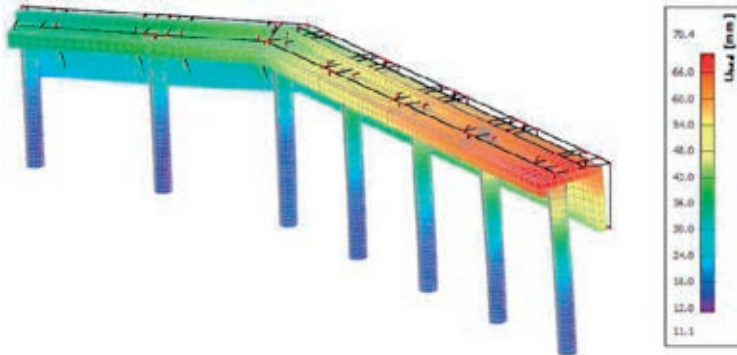
Nakon detaljne analize svakog segmenta konstrukcije i odabira elemenata s najboljim karakteristikama, može se pristupiti proračun konstrukcije kao cjeline. Na Slici 11 prikazan je prostorni model kompletnog konstrukcijskog sistema lukobrana. U svrhu jednostavnosti proračuna, svaki dio konstrukcije koji je odvojen dilatacijama obrađuje se zasebno. Oslonci preuzimaju ili nadomještaju opterećenje koje bi inače nosio odvojeni segment. Ovi oslonci smješteni su duž bočnih segmenata i mogu biti fizičke konstrukcije poput stupova, potpornih zidova ili sidrišta.



Slika 11. Prostorni prikaz konstrukcije

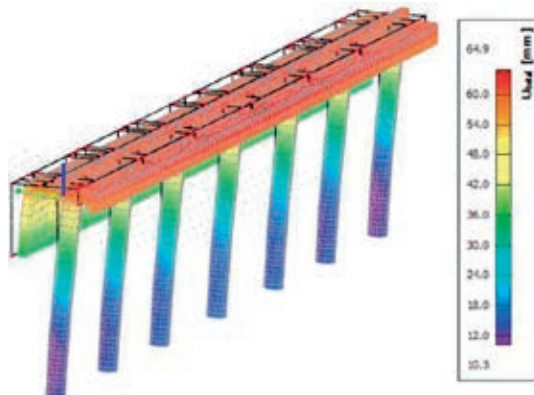
U diplomskom radu [7] detaljno su prikazane vrijednosti uzdužnih i poprečnih sila, kao i momenata, koji se javljaju na pilotima i ostalim plošnim dijelovima konstrukcije. Nakon temeljite analize dijagrama inercijalnih sila, identificirana su kritična područja u konstrukciji, s posebnim naglaskom na spojevima pilota i konstrukcije, što ukazuje na potrebu za dodatnom armaturom u tim područjima. Također, izvršeno je određivanje minimalnih zahtjeva za armaturom u pilotima i plošnim dijelovima konstrukcije te je predložena odgovarajuća armatura za ugradnju. U nastavku ovoga rada bit će prikazani samo maksimalni pomaci dijelova konstrukcije odvojene dilatacijama, kako bi se mogao usporediti koji dio konstrukcije će biti najviše opterećen, kao i identificirati najkritičnija područja koja zahtijevaju posebnu pažnju prilikom projektiranja. Ova analiza maksimalnih pomaka omogućuje nam bolje razumijevanje opterećenja i ponašanja konstrukcije u realnim uvjetima te pruža osnovu za optimizaciju dizajna i izbor odgovarajućih konstrukcijskih rješenja. Dio konstrukcije A karakterizira tlocrtni lom pod kutom od 45°. Ovaj dio konstrukcije obuhvaća pilote čija duljina varira od 8,3 m do 10,8 m pri čemu se najznačajnije inercijalne sile javljaju kada vanjski valovi djeluju u kombinaciji s korisnim opterećenjem i stalnim opterećenjem. Otpornost tla ili stijene ima ključnu ulogu u postizanju ravnoteže s horizontalnim opterećenjem koje djeluje na konstrukciju. U skladu s graničnim stanjima uporabljivosti, konstrukcija mora zadovoljiti uvjet pomaka koji su manji od 86,4 mm [7]. Na Slici 12 prikazane su maksimalne deformacije za dio konstrukcije A, pružajući

vizualni prikaz očekivanih maksimalnih pomaka u tom dijelu konstrukcije.



Slika 12. Maksimalne deformacije za dio konstrukcije A

Segment B se nalazi u jednoj ravnini i oslonjen je na ukupno sedam pilota iste duljine od 10,8 m. Na Slici 13 prikazani su maksimalni pomaci konstrukcije prilikom djelovanja vanjskih valova i korisnog i stalnog opterećenja. Važno je napomenuti da su maksimalne deformacije koje se javljaju na gornjem rubu valobranog ekrana manje od dopuštenih pomaka od 86,4 mm, što zadovoljava uvjet graničnog stanja uporabljivosti. Može se uočiti da segment B pokazuje manje deformacije u usporedbi s dijelom A pod istim opterećenjem. To se događa jer segment A ima tlocrtni lom i stoga je podložan opterećenju valova iz različitih smjerova.



Slika 13. Maksimalne deformacije za dio konstrukcije B

Segment C konstrukcije predstavlja pristupnu pasarelu, koja nije izložena utjecaju plovila. Osim toga, segment C ne posjeduje valobrane ekrane te stoga utjecaj valova nije uzet u obzir prilikom projektiranja. Duljina pilota varira u rasponu od 6,3 m do 10,3 m i prilagođena je dubini morskog dna. Za segment C, relevantna kombinacija opterećenja uključuje vlastitu težinu, korisno opterećenje i utjecaj temperature. Maksimalne

deformacije segmenta C prikazane su na Slici 14. S obzirom na manja opterećenja koja djeluju na segment C u usporedbi s dijelovima A i B, pretpostavlja se da će biti potrebna manja količina armature kako bi se osigurala potrebna čvrstoća i stabilnost konstrukcije.



Slika 14. Maksimalne deformacije za dio konstrukcije C

6. Zaključak

Prilikom projektiranja i analize konstrukcije lukobrana na pilotima u uvali Velopin utvrđeno je da su ključni faktori za dimenzioniranje konstrukcije dubina, oblik morskog dna i opterećenje koje uzrokuju valovi. Istražni radovi pokazali su se kao neophodni kod ovakve vrste konstrukcija. Primjenom računalnih alata Allplan za modeliranje i SCIA za proračun, u radu je izvršena analiza i usporedba više varijanti valobranih ekrana. Jedan od ključnih rezultata ove analize je potvrda da postavljanje rebara na valobranom ekranu značajno povećava nosivost same konstrukcije. Analiza je također identificirala optimalan položaj tih rebara na valobranom ekranu, što je ključno za poboljšanje stabilnosti i sigurnosti lukobrana. Analizirajući konstrukciju lukobrana možemo zaključiti da dio konstrukcije bez valobranih ekrana i privezanih plovila (dio C) pokazuje najmanje deformacije, dok su dijelovi A i B podložniji većim deformacijama zbog djelovanja valova na površinu zida valobranog ekrana. Važno je istaknuti da se povećanjem dužine pilota proporcionalno povećavaju deformacije na konstrukciji. Duljina izvijanja konstrukcije je veća što su piloti duži. Međutim, skraćivanjem dužine pilota, moguće je smanjiti deformacije bez mijenjanja dimenzija valobranih okvira i naglavnica na jednostavan način. No, uz skraćivanje dužine pilota, potrebno je prilagoditi i položaj konstrukcije, što predstavlja iterativan proces koji je vrlo zahtjevan i dugotrajan. U ovom postupku se istaknula prednost računalnih programa za modeliranje i analizu koji su dio BIM tehnologije. Njihova prednost leži u jednostavnijem, bržem i detaljnijem modeliranju konstrukcije, kao i njenih izmjena i varijantnih rješenja, budući da se radi o parametarskom modeliranju koje omogućuje vrlo jednostavne izmjene u

modelu, koje automatski pokreću sva potrebna ažuriranja (položaj opterećenja, iskaz masa i sl.). Sami modeli su vrlo detaljne i vjerne verzije stvarnih konstrukcija (nazivaju se digitalni blizanci), koji omogućuju vrlo precizno modeliranje i optimizaciju oblika i dimenzija konstrukcija, kao i samog procesa gradnje. Bitno je istaknuti da primjena BIM softvera za projektiranje lukobrana na pilotima pruža značajne prednosti u odnosu na standardni inženjerski pristup. Nakon izračuna i određivanja armature, model se može prenijeti u program Allplan, gdje je moguće detaljno prilagoditi vizualne aspekte modela, izraditi precizan iskaz materijala te dobiti potrebne presjke za tlocrte i nacрте. Nakon toga, model se može uvesti u Lumion radi izrade vizualizacije. Ovaj integrirani pristup znatno štedi vrijeme i jamči veću preciznost modela, istodobno omogućujući brzu prilagodbu projektu. Na taj način je na temelju jednog modela izrađeno i analizirano više njegovih varijanti uz višestruko manji utrošak vremena i energije u odnosu na klasično projektiranje, a istovremeno uz osiguravanje točnosti i povećanje preciznosti proračuna. Iako početna primjena BIM tehnologije može biti izazovna, prednosti ovog modernog, potpuno digitalnog pristupa projektiranju, uključujući uštedu vremena, povećanu preciznost, brze izmjene i visoku kvalitetu kontrole, nedvojbeno opravdavaju početni napor i investiciju, pridonoseći boljoj dinamici i upravljanju troškovima.

Literatura

- [1] Integralna studija osnovnog prostornog rješenja ML zaljeva, t. 3: Dinamika mora Malološinjskog zaljeva, Hydroexpert, Zagreb, 1996.
- [2] Rekonstrukcija raskrižja Kovčanje i Poljana na DC100 i izgradnja dužobalne šetnice i biciklističke staze - Elaborat za ocjenu potrebe procjene utjecaja zahvata na okoliš, Rijekaprojekt d.o.o, siječanj 2019.
- [3] Geodetski zavod Rijeka, Batimetrijska izmjera uvala Velopin, Rijeka, 13.07.2022.
- [4] Uhlmann, A.: Wind Loading on Small Craft for Marine Design; PIANC[5] Myers; Holm; McAllister: Handbook of Ocean and Underwater Engineering; North American Rockwell Corporation 1969.[6] Sainflou, M., 1928. Treatise on Vertical Breakwaters. Annales des Ponts et Chaussées, Paris, 45-75., pristup 27.6.2022.
- [7] Tutić, K., Primjena BIM-a u izradi varijantnih rješenja konstrukcije lukobrana u uvali Velopin. Diplomski rad. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet.
- [8] HRN EN 1998-1:2011
- [9] SCIA Engineer: Help, https://kc.scia.net/Help/tb/dynamics/seismic_mode_superposition_tb.htm, pristup 25.7.2022.