

OBLIKOVANJE PARAPETNIH ZIDOVA NA NASIPNIM GRAĐEVINAMA

LOVRO ŠTEFAN¹, DAMJAN BUJAK¹, HANNA MILIČEVIĆ¹, DALIBOR CAREVIĆ¹

¹ Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Republika Hrvatska

Sažetak

Preljevanje je nepoželjno valno djelovanje koje može uzrokovati štetu na obalnim građevinama i brodicama te ugroziti sigurnost ljudi u lukama i obalnom području. S obzirom na očekivani porast razine mora uzrokovan klimatskim promjenama, raste potreba za učinkovitim i tehnički prihvatljivim rješenjima prilagodbe postojećih lukobrana. Cilj rada je ispitati učinkovitost parapetnog zida s bazenom za umirenje kao rješenja za smanjenje prelijevanja bez potrebe za povišenjem krune lukobrana. Analiza je provedena na primjeru lukobrana u luci Zenta u Splitu korištenjem verificiranog i kalibriranog jednodimenzionalnog numeričkog modela u alatu SWASH, za različite valne i klimatske uvjete. Razmatrano je prelijevanje preko postojećeg profila te devet adaptiranih profila s različitim dimenzijama bazena za umirenje. Rezultati su uspoređeni međusobno i s preporučenim graničnim vrijednostima iz literature te je pokazano da bazen za umirenje značajno smanjuje protoke prelijevanja u odnosu na neadaptirani lukobran. Na temelju inicijalnih rezultata izveden je redukcijski faktor koji opisuje utjecaj bazena za umirenje na prelijevanje kao proširenje postojeće jednadžbe za prelijevanje kod nasipnih građevina od krupnog nabačaja.

Ključne riječi

prelijevanje valova, nasipni lukobran, bazen za umirenje, parapetni zid, numeričko modeliranje, klimatske promjene

1 Uvod

Preljevanje (eng. *overtopping*) preko obalnih građevina predstavlja nepoželjno valno djelovanje koje može uzrokovati znatne štete na građevinama i brodicama te ugroziti sigurnost ljudi u lukama i obalnom području. Riječ je o protoku određenog volumena vode preko krune građevine, pri čemu može biti ugroženo štice područje iza lukobrana, obalnih nasipa ili sličnih konstrukcija. Preljevanje se najčešće kvantificira srednjim protokom prelijevanja po metru širine građevine, a za njegov proračun koriste se empirijske jednadžbe poput onih iz EurOtop priručnika (Van der Meer i dr., 2018). Osim srednjeg protoka, važni su i pojedinačni maksimalni volumeni prelijevanja, budući da mali broj valova može uzrokovati nerazmjerno velike učinke i štete. U nastavku je dana EurOtop jednadžba (1) za izračun prelijevanja kod nasipnih lukobrana s krupnim nabačajem.

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

U jednadžbi (1) q je srednji protok prelijevanja, g je gravitacijsko ubrzanje, H_{m0} je značajna valna visina, R_c je visina krune u odnosu na srednju morsku razinu, γ_f faktor utjecaja hrapavosti, a γ_β faktor utjecaja smjera nailaska valova.

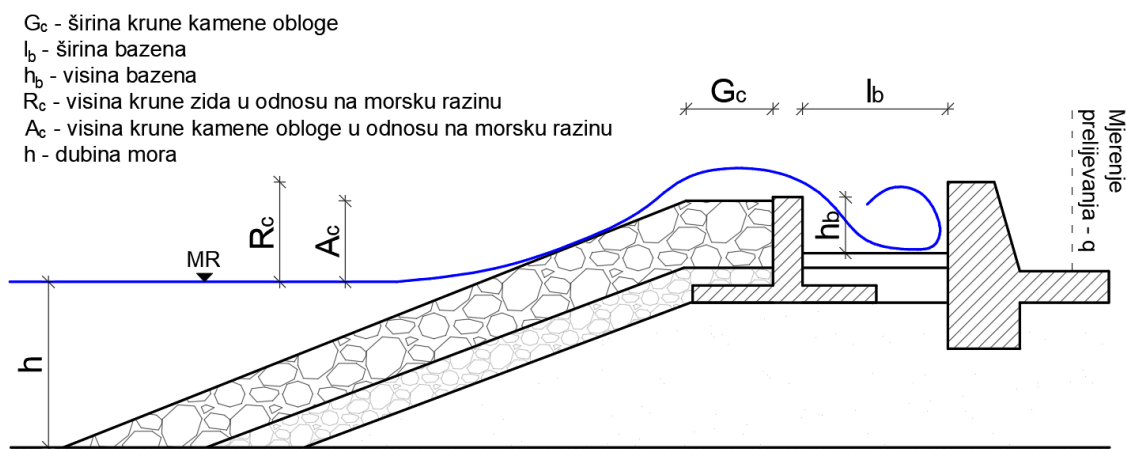
Prihvatljive razine prelijevanja ovise o namjeni građevine, njezinim karakteristikama i načinu korištenja. Za uvjete tipične za marine, kao granična vrijednost za sigurnost lukobrana i brodica često se prihvaća srednji protok prelijevanja do oko 10 l/s/m, dok se za sigurnost kretanja ljudi po kruni lukobrana preporučuje znatno strože ograničenje od približno 1 l/s/m (Van der Meer i dr., 2018). Prekoračenje tih vrijednosti može dovesti do oštećenja unutarnjeg pokosa i krune nasipnih lukobrana, ugrožavanja brodica na unutarnjoj strani lukobrana te ozbiljnog rizika za ljude i vozila.

Opasnost od prelijevanja dodatno se povećava u kontekstu klimatskih promjena. Povećane emisije stakleničkih plinova uzrokuju zagrijavanje atmosfere, topljenje kopnenog leda i termalno širenje oceana, što je između 1993. i 2022. dovelo do porasta razine mora od približno 9,6 cm (Copernicus Marine Service, 2025). Prema projekcijama IPCC-a, do kraja 21. stoljeća očekuje se porast srednje globalne razine mora u rasponu od oko 43 cm za optimistične scenarije do približno 83 cm za nepovoljne scenarije (Oppenheimer i dr., 2019). S obzirom na dugi projektni vijek lukobrana i drugih obalnih građevina, ovaj porast predstavlja ozbiljan izazov pri projektiranju novih i evaluaciji postojećih konstrukcija.

Osim porasta razine mora, moguće su i promjene valne klime, no njihovo predviđanje nosi znatne nesigurnosti zbog izražene prostorne i sezonske varijabilnosti te ograničenja klimatskih modela (Moulin i dr., 2024). Globalni i regionalni modeli upućuju na moguće smanjenje srednjih valnih visina u nekim područjima, ali su lokalno moguća povećanja srednjih i ekstremnih valova (Casas-Prat i dr., 2024). Na Jadranu se očekuje blagi dugoročni porast značajne valne visine (Katalinić, 2019). Dodatno, porast razine mora može umanjiti lomljenje valova u obalnom području i time povećati valna opterećenja na lukobrane (van Gent i dr., 2022). Zbog toga su lokalna predviđanja valne klime opterećena velikim nesigurnostima, ali je porast razine mora vrlo izgledna i ključna projekcija.

U navedenim okolnostima sve je izraženija potreba za adaptacijom postojećih obalnih građevina. Uobičajena rješenja uključuju povišenje krune lukobrana, dodavanje berma na uzvodnoj strani ili kombinaciju tih mjera, čime se smanjuje količina valne energije koja dopijeva do krune (van Gent i Teng, 2023). Iako su ta rješenja učinkovita, često su tehnički zahtjevna, prostorno ograničena ili ekonomski nepovoljna, osobito kod postojećih lukobrana u urbanim sredinama.

Kao alternativno rješenje na lokacijama gdje se zbog estetskih razloga izbjegava povišenje konstrukcije, u novijoj literaturi razmatra se primjena parapetnog zida s bazenom za umirenje (Slika 1), kojim se prihvaća i disipira valna energija na kruni lukobrana. Takva rješenja istraživana su na nasipnim lukobranima i obalnim nasipima te su pokazala značajan potencijal za smanjenje prelijevanja (Pepi i dr., 2024).



Slika 1. Shematski prikaz poprečnog presjeka lukobrana s parapetnim zidom i bazenom za umirenje (Prerađeno prema Pepi i dr., 2024)

Cilj ovog rada je numeričkim modelom ispitati učinkovitost parapetnog zida s bazenom za umirenje kao mjere adaptacije postojećeg lukobrana u luci Zenta u Splitu. Uz analizu smanjenja prelijevanja u različitim uvjetima, cilj je i izvesti redukcijski faktor bazena za umirenje kao proširenje postojeće jednadžbe za prelijevanje kod nasipnih građevina od krupnog nabačaja, čime bi se omogućila njegova primjena u inženjerskom proračunu i početnim fazama projektiranja.

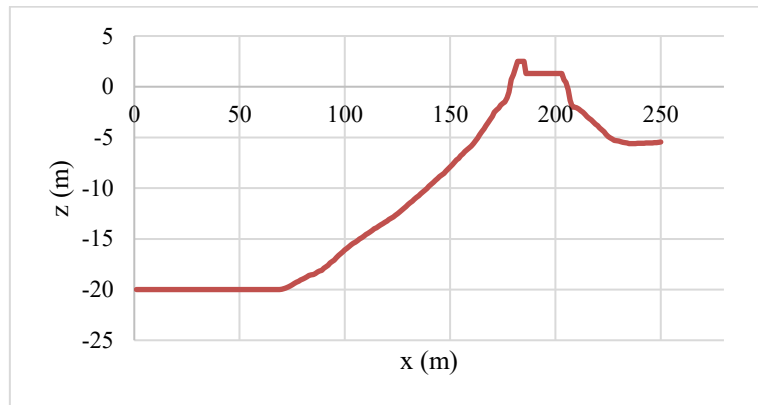
2 Metode

Istraživanje je provedeno na primjeru luke Zenta u Splitu, smještene uz istočnu obalu grada i otvorene prema južnom i jugoistočnom valnom djelovanju. Luka ima važnu komunalnu i nautičku funkciju, s većim brojem vezova za manje brodice i jahte, zbog čega je posebno osjetljiva na posljedice prelijevanja. Na digitalnoj ortofoto karti (Slika 2) prikazana je luka i položaj južnog lukobrana koji je predmet analize. Lukobran je izveden kao nasipna građevina od krupnog kamenog nabačaja te je tijekom dugog razdoblja eksploatacije izložen značajnom valnom opterećenju. Vizualnim pregledom i dostupnim snimkama uočljiva su oštećenja vanjskog i unutarnjeg pokosa, nepravilnosti krune lukobrana te lokalno rasipanje kamenog materijala, što upućuje na smanjenu stabilnost i povećanu osjetljivost na buduća valna djelovanja i prelijevanje.



Slika 2. DOF luka Zenta i neposrednog okruženja

Geometrija postojećeg lukobrana prikazana je na slici profila bez adaptacije parapetnim zidom (Slika 3), koja služi kao referentno stanje za sve daljnje numeričke analize. Dio profila iznad mirne razine izveden je iz Lidar snimke rezolucije 1x1 m koju je proveo DGU za cijelu Hrvatsku, dok je podvodni dio preuzet iz Garminovih batimetrijskih karata i pomorskih karata Hrvatskog Hidrografskog Instituta (HHI). Na temelju tog profila definirani su i modificirani profili lukobrana s parapetnim zidom i bazenom za umirenje, pri čemu su zadržane osnovne značajke postojeće građevine kako bi se osigurala realna procjena učinka predložene adaptacije.



Slika 3. Profil lukobrana bez adaptacije parapetnim zidom

Preljevanje preko lukobrana modelirano je numeričkim alatom SWASH (Simulating WAVes till SHore), koji omogućuje simulaciju nehidrostatskog strujanja sa slobodnim vodnim licem i izravno opisivanje procesa transformacije, lomljenja valova i prelijevanja preko obalnih građevina (SWASH Team, 2025). SWASH se temelji na nelinearnim jednadžbama za tanki, nestlačivi sloj tekućine te je njegova primjenjivost u analizi valnog prelijevanja i sustavima ranog upozoravanja potvrđena u prethodnim istraživanjima (Manz i dr., 2022). Upravo mogućnost izravnog proračuna protoka vode preko krune građevine čini ga pogodnim alatom za ispitivanje učinka geometrijskih izmjena lukobrana.

U ovom radu korišten je jednodimenzionalni (1D) numerički model s regularnom računskom mrežom u horizontalnom smjeru te vertikalnom podjelom u tri sloja, što u biti čini ovaj model 2DV (dvodimenzionalan s jednom dimenzijom u vertikalnom smjeru). Uključeni su nehidrostatski uvjeti. Valovi su definirani JONSWAP valnim spektrom. Model ne uključuje utjecaj djelovanja vjetera, transport tvari ni horizontalne turbulencije, jer se ti procesi smatraju sekundarnima u odnosu na izračun srednjeg protoka prelijevanja u razmatranim uvjetima. Rezultat proračuna je protok prelijevanja na točki iza parapetnog zida na lukobranu. Utjecaj poroznosti se implicitno uzima u obzir kroz povećavanje Manningova koeficijenta kako bi se kalibrirala količina prelijevanja preko krune lukobrana (Manz i dr., 2022).

Numerički proračuni provedeni su za jedan postojeći profil lukobrana i devet profila s parapetnim zidom i bazenom za umirenje različitih dimenzija. Geometrija bazena definirana je njegovom širinom i dubinom, dok je visina parapetnog zida određena u odnosu na krunu postojećeg lukobrana. Na taj je način omogućena analiza utjecaja dimenzija bazena na smanjenje prelijevanja uz zadržavanje realnih konstruktivnih ograničenja.

Valni parametri i razine mora korišteni u simulacijama preuzeti su iz elaborata izrađenog za Grad Split (Šepić i dr., 2025), a korištene vrijednosti prikazane su u tablici 1. Utjecaj klimatskih promjena uzet je u obzir kroz porast razine mora od 60 cm, što je približno srednja vrijednost raspona projekcija IPCC-a za kraj 21. stoljeća (Oppenheimer i dr., 2019). Detaljna analiza budućih promjena valne klime nije se provodila zbog velikih nesigurnosti lokalnih predviđanja.

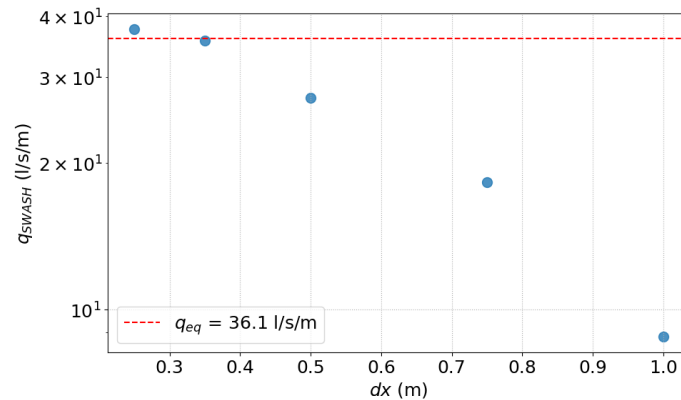
Tablica 1. Definirani klimatski scenariji za numerički model

Scenarij	PP _{razina} [god]	Razina [m]	PP _{valovi} [god]	H_{m0} [m]	T_p [s]
1	5	0,7	100	2,07	5,5
2	100	0,82	5	1,67	4,9
3	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5

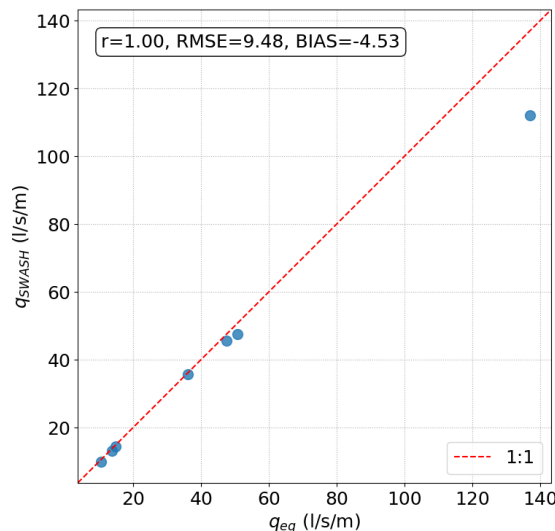
KP označava uključenje porasta razine mora od 60 cm uzrokovanog klimatskim promjenama

Model je verificiran usporedbom jediničnog protoka prelijevanja dobivenog za različite veličine numeričkih ćelija s referentnom vrijednosti iz EurOtop jednadžbe (1). Smanjenjem veličine ćelija uočeno je konvergiranje rješenja numeričkog modela referentnoj vrijednosti, uz sve manje promjene u rješenju dodatnim profinjenjem diskretizirane mreže (Slika 4). Odabrana je veličina ćelije $\Delta x=0,35$ m jer osigurava malo odstupanje (oko 1 %) uz manji računski trošak. Daljnjim smanjenjem ćelija zaključci analize ostaju isti te unutar procijenjene nesigurnosti diskretizacije.

Kalibracija numeričkog modela SWASH provedena je podešavanjem Manningova koeficijenta hrapavosti školjere tako da se srednji protok prelijevanja dobiven numeričkim modelom uskladi s referentnom vrijednošću iz EurOtop jednadžbe za odabrano hidrodinamičko stanje ($\eta = 0,70$ m, $R_c=1,80$ m, $H_s = 2,07$ m, $Tp = 5,5$ s). Ispitivanjem više vrijednosti utvrđeno je da koeficijent $n = 0,06$ s/m^{1/3} daje najbolje slaganje. Dodatna provjera na širem rasponu razina mora i valnih uvjeta pokazala je vrlo dobro kvantitativno slaganje između modela i jednadžbe uz mala odstupanja (Slika 5). Veća je razlika uočena kod ekstremnih uvjeta gdje model podcjenjuje prelijevanje u odnosu na jednadžbu, no radi se o scenariju izvan okvira dopuštenih vrijednosti (prelijevanje otprilike 12 puta veće od preporučene granične vrijednosti od 10 l/s/m) te mu se pridaje manji značaj.



Slika 4. Verifikacija rješenja modela smanjivanjem veličine numeričke ćelije



Slika 5. Poklapanje rezultata prelijevanja dobivenih iz jednadžbe i numeričkim modelom

Na verificiranom i kalibriranom modelu provedeno je ukupno 27 numeričkih testova za profile s bazenom za umirenje. Na temelju usporedbe rezultata numeričkog modela i empirijskog proračuna definiran je faktor utjecaja bazena za umirenje, koji kvantitativno opisuje smanjenje prelijevanja uslijed primjene parapetnog zida s bazenom te se koristi za modifikaciju postojeće jednadžbe za prelijevanje kod nasipnih građevina od krupnog nabačaja.

3 Rezultati

U nastavku su prikazani rezultati provedenih numeričkih testova (Tablica 2).

Tablica 2. Rezultati testova po profilima i scenarijima

N	Profil	l_b [m]	h_b [m]	PP _{razina} [god]	Razina [m]	PP _{valovi} [god]	H_{m0} [m]	T_p [s]	q [l/s/m ²]
0	Post.	-	-	5	0,7	100	2,07	5,5	35,7
1	P1	1	0,5	5	0,7	100	2,07	5,5	14
2	P2	2	0,5	5	0,7	100	2,07	5,5	11,4
3	P3	3	0,5	5	0,7	100	2,07	5,5	10,8
4	P4	1	1	5	0,7	100	2,07	5,5	10,8
5	P5	2	1	5	0,7	100	2,07	5,5	8
6	P6	3	1	5	0,7	100	2,07	5,5	6,8
7	P7	1	1,5	5	0,7	100	2,07	5,5	7,4
8	P8	2	1,5	5	0,7	100	2,07	5,5	8,3
9	P9	3	1,5	5	0,7	100	2,07	5,5	6,2
00	Post.	-	-	100	0,82	5	1,67	4,9	14,4
10	P1	1	0,5	100	0,82	5	1,67	4,9	2,9
11	P2	2	0,5	100	0,82	5	1,67	4,9	2,3
12	P3	3	0,5	100	0,82	5	1,67	4,9	2,1
13	P4	1	1	100	0,82	5	1,67	4,9	2,2
14	P5	2	1	100	0,82	5	1,67	4,9	1,6
15	P6	3	1	100	0,82	5	1,67	4,9	1,2
16	P7	1	1,5	100	0,82	5	1,67	4,9	1,4
17	P8	2	1,5	100	0,82	5	1,67	4,9	0,9
18	P9	3	1,5	100	0,82	5	1,67	4,9	0,8
000	Post.	-	-	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	112
19	P1	1	0,5	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	59
20	P2	2	0,5	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	50
21	P3	3	0,5	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	48,5
22	P4	1	1	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	47
23	P5	2	1	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	37
24	P6	3	1	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	32
25	P7	1	1,5	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	36
26	P8	2	1,5	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	32
27	P9	3	1,5	5 + KP	1,3	100	2,07	5,5	28

Oznakama 0, 00 i 000 označeni su testovi provedeni po definiranim scenarijima za profil Post. - postojeći profil lukobrana bez modifikacije parapetnim zidom i bazenom za umirenje.

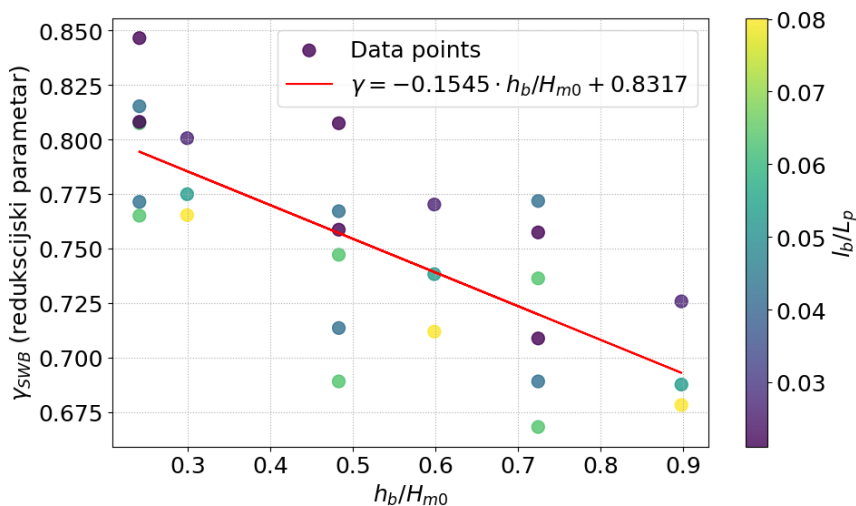
Numeričke simulacije pokazuju da primjena parapetnog zida s bazenom za umirenje dovodi do izrazitog smanjenja prelijevanja u odnosu na postojeće stanje lukobrana bez adaptacije. U scenariju bez klimatskih promjena srednji protoci prelijevanja za postojeći profil lukobrana višestruko premašuju preporučene granične vrijednosti za sigurnost lukobrana i brodice u marini, dok se ugradnjom parapetnog zida s bazenom za umirenje postiže smanjenje prelijevanja reda veličine 4 do 6 puta, ovisno o geometriji bazena. U većini analiziranih varijanti adaptiranog lukobrana srednji protok prelijevanja smanjen je na razine usporedive s preporučenom granicom od oko 10 l/s/m za sigurnost lukobrana i brodice.

Porast razine mora uzrokuje znatno povećanje prelijevanja kod svih analiziranih profila, pri čemu su srednji

protoci prelijevanja za postojeći lukobran višestruko veći u odnosu na scenarij bez klimatskih promjena. Unatoč tome, bazen za umirenje i u tim uvjetima zadržava izražen pozitivan učinak, pri čemu su protoci prelijevanja kod adaptiranih profila i dalje otprilike 2 do 4 puta manji u odnosu na postojeće stanje. Time je potvrđeno da učinkovitost bazena za umirenje nije ograničena samo na trenutačne uvjete, već ostaje značajna i pri povišenoj razini mora. Međutim, preporučene vrijednosti prelijevanja za sigurnost ljudi u ovom slučaju su i dalje premašene, te bi za potpuno otklanjanje opasnosti za ljude bilo potrebno razmotriti mjere poput dodatnog povišenja krune ili ograničenja pristupa ljudima. Rezultati svih testova prikazani su u tablici 2.

Analiza utjecaja geometrije bazena za umirenje pokazuje da je dubina bazena ključni parametar za smanjenje prelijevanja. Povećanjem relativne dubine bazena dolazi do sustavnog smanjenja srednjeg protoka prelijevanja, dok promjene širine bazena imaju sekundaran učinak. Razlike u prelijevanju između varijanti s istom dubinom, ali različitom širinom bazena, znatno su manje od razlika uzrokovanih promjenom dubine.

Na temelju 27 provedenih numeričkih testova izveden je redukcijski faktor bazena za umirenje, kojim se kvantitativno opisuje utjecaj bazena na smanjenje prelijevanja u odnosu na vrijednosti dobivene osnovnom empirijskom jednadžbom za nasipne građevine. Analiza rezultata pokazuje da se vrijednost redukcijskog faktora sustavno smanjuje s povećanjem relativne dubine bazena, što upućuje na jasnu i stabilnu ovisnost između geometrije bazena i učinkovitosti smanjenja prelijevanja. Ta je ovisnost prikazana na slici 6, gdje je vidljiv izražen opadajući trend.



Slika 6. Redukcijski faktor bazena za umirenje u ovisnosti o relativnoj dubini bazena

Linearnom regresijom izvedena je jednadžba (2) koja povezuje redukcijski faktor s relativnom dubinom bazena, čime je omogućena njegova jednostavna procjena i primjena u inženjerskoj praksi. U jednadžbi (2) uz regresijske koeficijente dana je standardna devijacija. Uključivanjem dobivenog redukcijskog faktora u postojeću jednadžbu za izračun prelijevanja dobiva se modificirana jednadžba (3) primjenjiva na nasipne lukobrane adaptirane parapetnim zidom i bazenom za umirenje. Na taj je način kvantitativno obuhvaćen učinak bazena za umirenje, a rezultati potvrđuju da se ovakva adaptacija može smatrati učinkovitom mjerom smanjenja prelijevanja, osobito u uvjetima povećanih valnih opterećenja i porasta razine mora. Valja napomenuti kako se za sada radi o inicijalnim testovima unutar ovog rada koji vrijede za raspon vrijednosti kakvi su vidljivi u tablici 2.

$$\gamma_{SWB} = (-0,1545 \pm 0,0281) \cdot \frac{h_b}{H_{m0}} + (0,8317 \pm 0,0654) \quad (2)$$

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0,09 \cdot \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_{SWB}} \right)^{1,3} \right] \quad (3)$$

U jednadžbama (2) i (3) γ_{SWB} je faktor utjecaja bazena za umirenje, h_b je dubina bazena za umirenje, q je srednji protok prelijevanja, g je gravitacijsko ubrzanje, H_{m0} je značajna valna visina, R_c je visina krune u odnosu na srednju morsku razinu, γ_f faktor utjecaja hrapavosti, a γ_β faktor utjecaja smjera nailaska valova.

4 Zaključak

Parapetni zid s bazenom za umirenje pokazao se učinkovitim rješenjem za smanjenje prelijevanja na nasipnim lukobranama, osobito u slučajevima kada povišenje krune nije tehnički, prostorno ili ekonomski prihvatljivo. Numeričke analize provedene na primjeru lukobrana u luci Zenta u Splitu ukazuju na značajno smanjenje srednjih protoka prelijevanja u odnosu na postojeće stanje, kako u trenutnim uvjetima, tako i u scenarijima s povećanom razinom mora. Time se smanjuje rizik od oštećenja konstrukcije, ugrožavanja brodica u luci te nesigurnih uvjeta za kretanje ljudi po kruni lukobrana. Ipak, u nepovoljnijim klimatskim scenarijima može biti potrebno razmotriti i dodatne mjere adaptacije.

Analiza utjecaja geometrije bazena za umirenje pokazala je da dubina bazena ima dominantan utjecaj na smanjenje prelijevanja, dok širina bazena ima manji učinak. Na temelju provedenih numeričkih simulacija izveden je redukcijski faktor koji omogućuje kvantitativno obuhvaćanje utjecaja bazena za umirenje na prelijevanje i njegovo uključivanje kao dopune postojećoj empirijskoj jednadžbi za izračun prelijevanja kod nasipnih građevina od krupnog nabačaja. Time se proširuje primjenjivost postojećih proračunskih alata na lukobrane adaptirane parapetnim zidom i bazenom za umirenje, osobito u početnim fazama projektiranja i procjene učinkovitosti adaptacijskih mjera.

Treba naglasiti da se dobiveni rezultati temelje na inicijalnom skupu numeričkih testova provedenih za ograničen raspon geometrijskih i valnih uvjeta. Iako rezultati jasno ukazuju na potencijal i učinkovitost predloženog rješenja, za općenitiju primjenu u inženjerskoj praksi potrebno je proširenje seta testova, uključujući širi raspon geometrija, valnih uvjeta i razina mora, kako bi se povećala pouzdanost i primjenjivost predloženog pristupa.

Literatura

- Casas-Prat, M., Hemer, M.A., Dodet, G., Wang, X.L., Semedo, A., Aarnes, O.J., Breivik, Ø., Camus, P., Erikson, L.H., Fan, Y., Mori, N., Shimura, T., Timmermans, B., Wang, H. i Wehner, M.F. (2024) 'Wind-wave climate changes and their impacts', *Nature Reviews Earth & Environment*, vol. 5, br. 1, str. 23–42. [Online]. Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00502-0>
- Copernicus Marine Service (2025) 'Ocean climate portal: sea level', *Copernicus* [Online]. Dostupno na: <https://marine.copernicus.eu/hr/ocean-climate-portal/sea-level> (Pristupljeno: 15. siječnja 2026.)
- Katalinić, M. (2019) *Modeliranje vjetrovnih valova u Jadranskom moru za primjene u brodogradnji i pomorstvu*. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:346677>
- Manz, A., Zóximo, A.C. i Garzon, J.L. (2022) 'Application of SWASH to compute wave overtopping in Ericeira Harbour for operational purposes', *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, br. 12, str. 1881. Dostupno na: <https://doi.org/10.3390/jmse10121881>
- Moulin, A., Mentaschi, L., Clementi, E., Verri, G. i Mercogliano, P. (2024) 'Projections of the Adriatic wave conditions under climate changes', *Frontiers in Climate*, vol. 6 [Online]. Dostupno na:

<https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1409237>

Oppenheimer, M., Glavovic, B.C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A.K., Abd-Elgawad, A., Cai, R., Cifuentes-Jara, M., DeConto, R.M., Ghosh, T., Hay, J., Isla, F., Marzeion, B., Meyssignac, B. i Sebesvari, Z. (2019) Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities, u Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B. i Weyer, N.M. (ur.) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge: Cambridge University Press, str. 321–445. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.006>

Pepi, Y., Streicher, M., Romano, A., Troch, P. i Franco, L. (2024) 'Effectiveness of stilling wave basins in reducing wave overtopping on dikes and rubble mound breakwaters', u *Proceedings of the 9th International Conference on Physical Modelling in Coastal Engineering (Coastlab24)*, Delft, Netherlands, 13–16 May 2024. Delft: TU Delft OPEN Publishing. Dostupno na: <https://doi.org/10.59490/coastlab.2024.787>

SWASH Team (2025) *SWASH user manual: SWASH version 11.01A*. Delft: Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section. Dostupno na: <http://www.tudelft.nl/swash>

SWASH Team (2025) *SWASH scientific and technical documentation: SWASH version 11.01A*. Delft: Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section. Dostupno na: <http://www.tudelft.nl/swash>

Šepić, J., Lončar, G., Bujak, D. i Vojković, M. (2025) *Izrada stručne analize dostupnih podataka mjerenja razine mora i valnih parametara, te izrada procjene vjerojatnosti poplavlivanja splitske obalne linije u trenutnoj i budućoj klimi uz uvažavanje utjecaja valova – u ovisnosti o porastu razine mora. Završni elaborat*. Split: Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Splitu. Naručitelj: Grad Split; Splitsko-dalmatinska županija; Republika Hrvatska.

Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. i Zanuttigh, B. (2018) *EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application* [Online]. Dostupno na: <http://www.overtopping-manual.com>

van Gent, M.R.A. i Teng, D. (2023) 'Climate adaptation of coastal structures: application of adaptation pathways for rubble mound breakwaters', *Coastal Engineering Proceedings* [Online]. Dostupno na: <https://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/12209>

van Gent, M.R.A., Wolters, G. i Capel, A. (2022) 'Wave overtopping discharges at rubble mound breakwaters including effects of a crest wall and a berm', *Coastal Engineering*, vol. 176, čl. br. 104151. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104151>