

Kvantifikacija rizika od prirodnih katastrofa u analizi životnog ciklusa građevina na obalnim područjima

Željana Nikolić¹, Toni Kekez¹

¹Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, 21000 Split

***Sažetak** Prilikom analize životnog ciklusa građevina nužno je uzeti u obzir i potencijalno djelovanje prirodnih katastrofa, koje mogu značajno utjecati na vrijednost građevina, troškove održavanja kao i na troškove sanacije mogućih šteta. Područje Grada Kaštela izloženo je potencijalnom djelovanju različitih prirodnih katastrofa uslijed guste naseljenosti na priobalnom području te blagom nagibu terena i niskoj obali. Ovakva područja često su karakterizirana učestalim djelovanjem morskih valova i podizanja morske razine uslijed različitih oceanografskih i klimatskih uvjeta. Također, zbog svoje guste naseljenosti i velikog broja povijesnih građevina, ali i zbog izražene potresne opasnosti, ovakva područja prepoznata su i kao visokorizična na djelovanje potresa. Primjenom pristupa predloženog u ovom radu omogućuje se monetarna kvantifikacija rizika od prirodnih katastrofa, kako bi se rezultati implementirali u analizu životnog ciklusa građevina u skladu s načelima kružne ekonomije.*

***Cljučne riječi:** Procjena rizika, potres, poplava, analiza životnog ciklusa*

1. Uvod

Obalna urbana područja mediteranskog podneblja, pa tako i jadranske obale, izložena su potencijalnom djelovanju različitih prirodnih opasnosti. Cijela jadranska obala nalazi se u području umjerenog do visokog potresnog rizika zbog izražene potresne opasnosti, guste naseljenosti i velikog broja starih zgrada s nedovoljnom potresnom otpornošću, među kojima su i stoljećima stare građevine velike povijesne, kulturne i arhitektonske važnosti. S druge strane, zbog nepovoljnih klimatskih utjecaja dolazi do plavljenja obale uslijed podizanja razine mora, što je posebno izraženo na izgrađenim područjima s niskim obalama i blagim nagibom terena.

S ciljem podizanja otpornosti i sigurnosti građana i društva u cjelini potrebno je razviti mehanizme i metodologije sprječavanja, upravljanja i prevladavanja ovakvih rizika na razini pojedinačnih zgrada, naselja, lokalnoj razini gradova i šire. Ovakve metodologije bi pomogle gradskim, županijskim i državnim institucijama da učinkovito upravljaju procesima vezanim za opasnosti, što uključuje kapitalizaciju postojećeg znanja u području upravljanja različitim opasnostima, definiranje mogućih scenarija i detaljnu analizu teritorijalnih ranjivosti, utvrđivanje prioriteta i poduzimanje mjera za sanaciju i povećanje otpornosti ugroženih zgrada i područja.

Planiranje i implementacija mjera za smanjenje rizika od djelovanja prirodnih katastrofa nužno je kako bi se smanjili potencijalni negativni utjecaji tijekom životnog ciklusa pojedine građevine. Međutim, mjere povećanja otpornosti građevina na djelovanje prirodnih katastrofa ovise i o njihovoj ekonomskoj isplativosti. Analiza životnog ciklusa građevine (engl. *Life-Cycle Assessment*) temelji se na ekonomskim procjenama mogućih troškova, kako bi se osigurala održivost tijekom cijelog životnog ciklusa građevine [1]. Prilikom analize troškova, najveći dio se odnosi na visinu početne investicije [2] dok se potencijalni utjecaj prirodnih katastrofa i pripadajući troškovi uglavnom zanemaruju. Stoga je tijekom analiza životnog ciklusa građevina nužno implementirati i troškove povezane sa štetama od potencijalnog djelovanja prirodnih katastrofa u analizu životnog ciklusa pojedine građevine kako bi se u cijelosti procijenili pripadajući troškovi [3].

Budući da se na području Kaštela nalazi veliki broj povijesnih i drugih postojećih građevina, u ovom radu predlaže se pristup kojim se omogućuje ekonomska kvantifikacija rizika od prirodnih katastrofa, kako bi se rezultati mogli implementirati u analize troškova tijekom životnog ciklusa građevina. Grad Kaštela smješten je na hrvatskoj obali Jadranskog mora (Slika 1) te je gradsko područje često izloženo poplavama u priobalnom dijelu zbog djelovanja olujnih uspora i površinskih valova, što često rezultira značajnim oštećenjima obale. Nadalje, na temelju projekcija klimatskih promjena očekuje se porast srednje razine mora, povećavajući potencijalne posljedice i štete na obali. Osim toga, ovo je područje izloženo velikom potresnom riziku zbog guste naseljenosti i velikog broja povijesnih građevina, što može dovesti do velikih materijalnih šteta i ljudskih žrtava tijekom potresa.



Slika 1: Grad Kaštela: (a) geografski položaj u Kaštelanskom zaljevu; (b) povijesni centar Kaštel Kambelovca

Rizik od djelovanja prirodnih katastrofa temelju se na vrednovanju vjerojatnosti pojave prirodne katastrofe koja se potencijalno može dogoditi na određenom području i rezultirajućih posljedica ili štete:

$$\text{Rizik} = \text{Vjerojatnost pojave} \cdot \text{Posljedica}$$

Prilikom procjene rizika od djelovanja prirodnih katastrofa nužno je obuhvatiti višestruko djelovanje različitih pojava, kako bi se donositeljima odluka omogućio cjeloviti pregled i efikasno planiranje [4]. Na području Grada Kaštela, prepoznati su potencijalni rizici od djelovanja potresa i obalnih poplava. Međutim, s obzirom da ove pojave nisu u prirodnoj korelaciji, u ovom radu predložen je pristup kojim se omogućuje jedinstvena kvantifikacija rizika. Pristup se temelji na procjeni očekivane godišnje štete kao koncepta za modeliranje rizika, kojim je moguće ekonomski kvantificirati rizik na razini jedne ili više građevina za bilo koju prirodnu katastrofu. Ovaj metodološki pristup pokazao se učinkovitim [5] jer omogućuje praktičnu usporedbu bitno različitih prirodnih pojava.

U nastavku je demonstriran pristup za pojedinačnu procjenu opasnosti uslijed pojave potresa i poplava te procjenu ranjivosti i šteta na izloženim građevinama na razini pojedine zgrade. Ovaj pristup služi kao temelj za kombiniranu procjenu kroz ekonomsku kvantifikaciju rizika, a sve u svrhu implementacije rezultata procjene rizika u analizu životnog ciklusa građevina na ugroženom području.

2. Metodologija

2.1 Potresni rizik

Potresni rizik može se procijeniti vrednovanjem potencijalnih šteta koje proizlaze iz odabranih potresnih događaja, a temelji se na evaluaciji potresne opasnosti područja i potresne ranjivosti zgrada. U Republici Hrvatskoj definirane su mape potresne opasnosti za povratna razdoblja od 95, 225 i 475 godina, prema kojima potresna opasnost izražena vršnim ubrzanjem tla na lokaciji Grada Kaštela iznosi 0,113 g, 0,161 g, odnosno 0,223 g, gdje je g gravitacijsko ubrzanje. Potresna ranjivost može se procijeniti metodom indeksa potresne ranjivosti. U ovome radu primijenjena je metoda izračuna indeksa potresne ranjivosti izvedena iz talijanskog GNDT pristupa [6, 7], s nekim izmjenama koje su rezultat specifičnih karakteristika zgrada i građevinskih materijala tipičnih za istraživano područje.

Metoda indeksa potresne ranjivosti sastoji se u izračunavanja indeksa ranjivosti zgrade na osnovu 11 parametara [6, 7]. Glavni parametri vrednuju vrstu i organizaciju konstrukcijskog sustava, njegovu kvalitetu, posmičnu otpornost u dva međusobno

okomita smjera, položaj zgrade i temelje, izvedbu stropnih konstrukcija, tlocrtnu i visinsku pravilnost, najveću udaljenost između zidova, tipologiju i težinu krova, prisutnost nekonstrukcijskih elemenata i stanje očuvanosti. Svakom parametru dodjeljuje se ocjena od "A", koja odgovara optimalnom stanju, do "D", koja znači loše stanje. Svako od navedenih ocjena dodjeljuje se numerički rezultat. Za vrednovanje utjecaja pojedinih parametara na ukupni indeks ranjivosti koriste se težinski koeficijenti koji uzimaju u obzir relativnu važnost svakog parametra. Indeks ranjivosti I_v izračunava se u obliku:

$$I_v = \sum_i s_{vi} w_i$$

gdje su s_{vi} numerički rezultati za svaku klasu, a w_i težina svakog parametra. Najveća vrijednost indeksa I_v iznosi 438,75. Zatim se indeks normalizira u rasponu 0–100%. Nizak indeks znači da konstrukcija nije osobito ranjiva i ima visoku potresnu otpornost, dok visoki indeks pokazuje da je konstrukcija ranjiva i ima nisku potresnu otpornost.

U ovom radu, analizira se potresna ranjivost zgrada u području Kaštel Kambelovca (Slika 1). Naselje se sastoji se od stare povijesne jezgre sa zgradama građenima između 15. i 19. stoljeća i dijelova izvan jezgre sagrađenima od početka 20. stoljeća do danas (Slika 3). Zgrade u povijesnoj jezgri (Slika 2) izvedene su od kamenih blokova s mortom u sljubnicama, debljine zidova između 45 i 75 cm. Međukatne konstrukcije i krovovi se uglavnom sastoje od drvenih greda i drvene podne obloge koje su pri rekonstrukcijama mjestimično zamijenjene armirano-betonskim pločama.



Slika 2: Tipične zgrade u povijesnoj jezgri Kaštel Kambelovca

Izvan povijesne jezgre zgrade su uglavnom izvedene kao zidane konstrukcije od betonskih ili blokova od opeke, s ili bez AB horizontalnih i vertikalnih serklaža ovisno o vremenu izgradnje i važećim tehničkim propisima (Slika 3).



Slika 3: Zgrade izvan povijesne jezgre Kaštel Kambelovca

Za analizirano područje koje obuhvaća više od 400 zgrada izračunati su indeksi potresne ranjivosti [8] i prikazani na mapi (Slika 4). Najmanji indeks ranjivosti, jednak 2,6, ima dvokatnica pravilnog tlocrta i visine, izrađena kao zidana konstrukcija s horizontalnim i vertikalnim AB serklažima i krutim međukatnim pločama, projektirano prema hrvatskoj normi HRN EN 1998-1:2011 [9]. Najveći indeks ranjivosti, jednak 76,9, dobiven je za Kulu Cambi, kamenu zidanu građevinu iz 15. stoljeća.

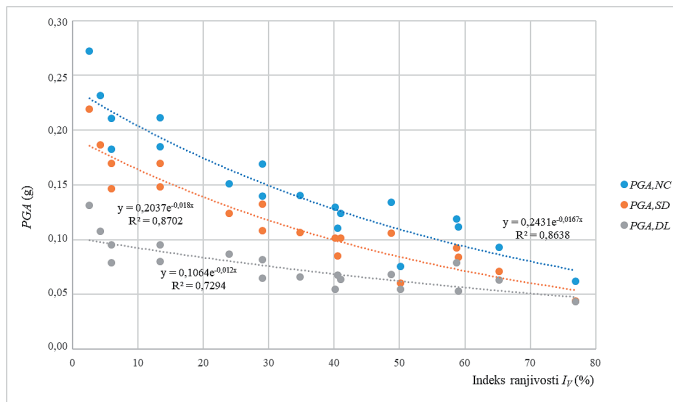


Slika 4: Mapa indeksa ranjivosti

Potencijalne štete za zgrade vrednuju se pomoću indeksa oštećenja koji se u ovom radu određuje iz krivulja potresne ranjivosti zgrada dobivenih kombinirajući indekse potresne ranjivosti i nelinearnu statičku metodu postupnog guranja [8]. Nelinearna statička metoda postupnog guranja [8-10] koristi se za procjenu potresnog ponašanja i kapaciteta zgrade za tri granična stanja koja se izračunavaju iz krivulje kapaciteta prema HRN EN 1998-3:2011 [10]: (1) blizu rušenja (engl. *near collapse*, *NC*) za najveći pomak; (2) značajno oštećenje (engl. *significant damage*, *SD*) za $\frac{3}{4}$ najvećeg pomaka; (3) ograničeno oštećenje (engl. *damage limitation*, *DL*) za pomak na granici popuštanja.

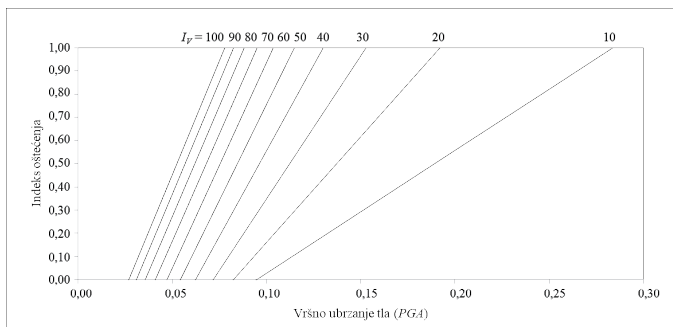
Nelinearna statička analiza provedena je pomoću računalnog programa TREMURI [11] za 10 kamenih zgrada u povijesnom centru i 8 tipova zidanih zgrada izvan povijesnog centra, tipičnih za konstrukcije izgrađene od betonskih ili šupljih blokova od

opeke nakon 1948. godine koje se mogu klasificirati prema razdoblju izgradnje [8]. Iz krivulja postupnog guranja zgrada određena su vršna ubrzanja koja odgovaraju graničnim stanjima ograničenog oštećenja, značajnog oštećenja i sloma (DL , SD i NC) za analizirani uzorak zgrada [8]. Koristeći izračunate indekse ranjivosti za cijelo područje i vršna ubrzanja dobivena za 18 tipičnih zgrada, uspostavljena je veza između indeksa ranjivosti I_V i vršnih ubrzanja PGA za tri granična stanja za sve zgrade na analiziranom području (Slika 5).



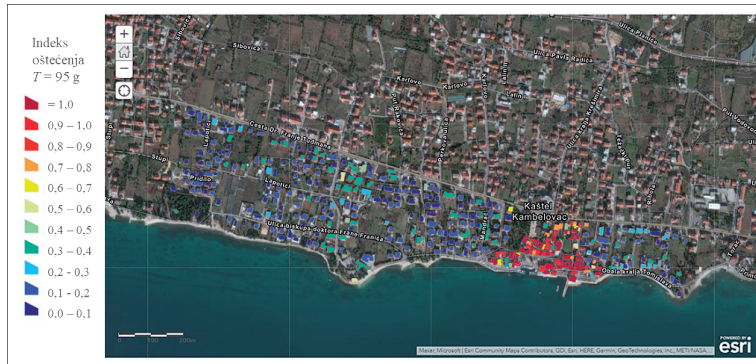
Slika 5: Veza između indeksa ranjivosti i vršnih ubrzanja: I_V - PGA_{DL} , I_V - PGA_{SD} and I_V - PGA_{NC} [8].

Temeljem izračunatih indeksa potresne ranjivosti i karakterističnih vršnih ubrzanja definirane su krivulje potresne ranjivosti (Slika 6) koje predstavljaju ovisnost indeksa oštećenja, indeksa potresne ranjivosti I_V i vršnog ubrzanja tla za analizirano područje [8].



Slika 6: Krivulje potresne ranjivosti za analizirano područje [8].

Prostorni raspored šteta prikazan je kartama indeksa oštećenja istraživanog područja za zadani intenzitet potresa. Odabrana su tri potresna scenarija koja odgovaraju povratnim razdobljima od 95, 225 i 475 godina i zahtijevanim vršnim ubrzanjima tla od 0,113 g, 0,161 g, odnosno 0,223 g. Indeksi oštećenja (engl. *damage index*) zgrada za različite scenarije prikazani su na Slici 7.



(a)



(b)

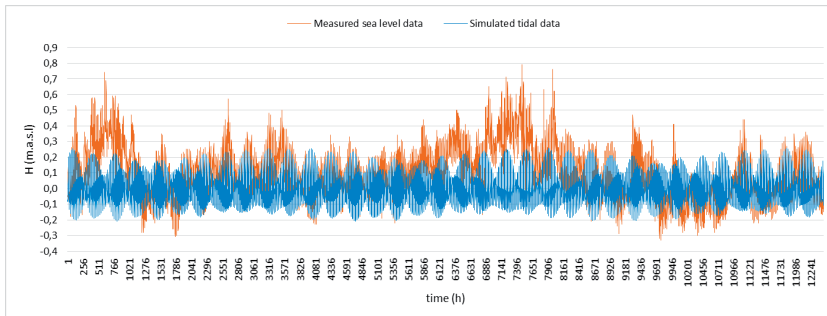


(c)

Slika 7: Mape indeksa oštećenja za povratna razdoblja: (a) $T = 95 \text{ g}$; (b) $T = 225 \text{ g}$; (c) $T = 475 \text{ g}$

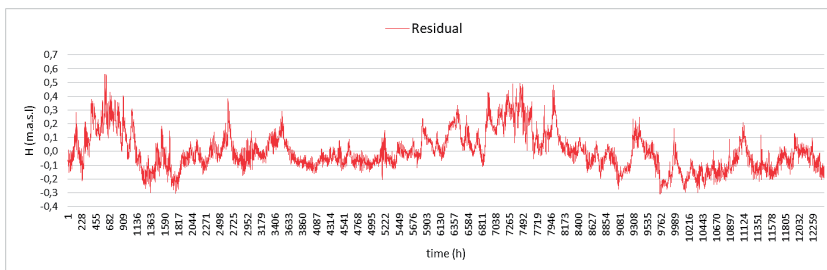
2.2 Poplavni rizik

Obalne poplave predstavljaju značajan problem na području Kaštela te se očekuje da s podizanjem razine mora uslijed klimatskih promjena može doći do daljnjeg pogoršanja. Do plavljenja obale dolazi kada razina mora prijeđe razinu obale te dođe do prelijevanja mora na kopno [12]. Razina mora je pod utjecajem različitih prirodnih mehanizama poput plime i oseke, varijacija atmosferskog tlaka, valova te ostalih djelovanja. Procjena rizika od plavljenja obale temelji se na procjeni ekstremnih razina mora koje uzrokuju plavljenje te izračunu ranjivosti potencijalno izloženih građevina.



Slika 8: Mjerena morska razina (smeđa linija) i simulirane razine plime i oseke (plava linija)

Ekstremne razine mora koje mogu uzrokovati plavljenje obale procijenjene su temeljem dostupnih podataka (Slika 8) s mareografa Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu. Na Slici 8 smeđom linijom prikazani su izmjereni podaci na mareografu dok su plavom linijom prikazani simulirani podaci o razinama plime i oseke. Razlika između izmjerenih i simuliranih podataka na Slici 8 predstavlja rezidualnu razinu mora prikazanu na Slici 9.

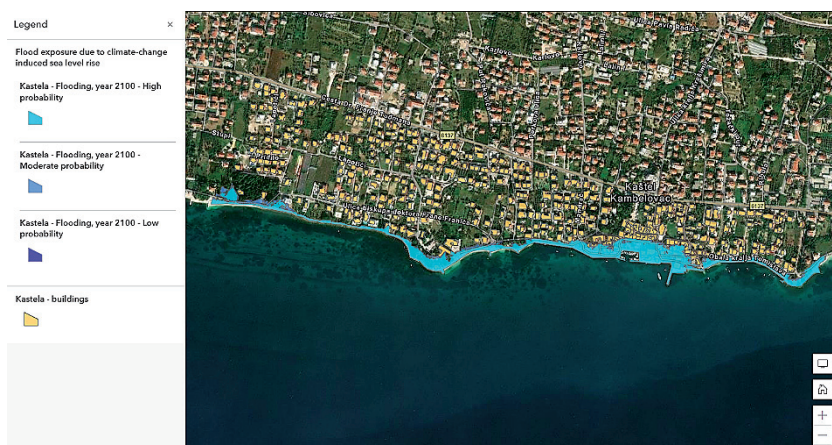


Slika 9: Rezidualni dio morske razine

Rezidualna razina mora pod utjecajem je ostalih prirodnih djelovanja koji osim pli-

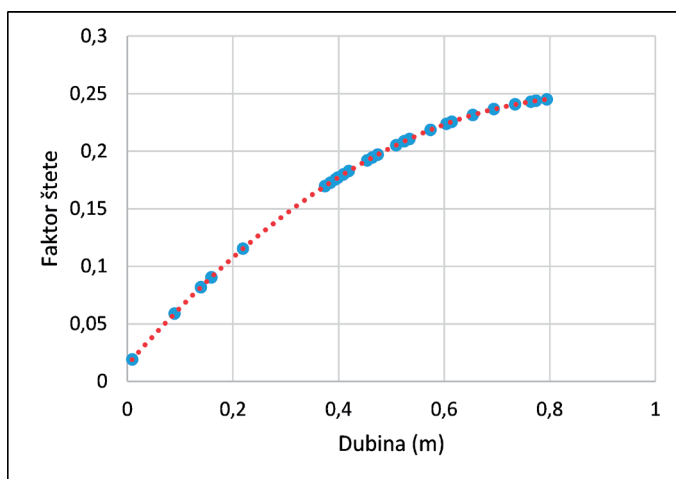
me i oseke, također imaju utjecaj na razinu mora, stoga je rezidualna razina mora opisana funkcijom gustoće vjerojatnosti. Ekstremne razine mora i povezani scenariji plavljenja obale određeni su temeljem podataka o maksimalnoj plimi u kombinaciji s ekstremnim rezidualnim razinama mora koje su izračunate iz funkcije gustoće vjerojatnosti. Odabrane vjerojatnosti pojave ekstremnih razina mora odnosno povratni periodi jednaki su 25, 100 i 250 godina.

Za predmetno područje Kaštel Kambelovca izrađen je digitalni model terena prostorne rezolucije 5x5 cm, koji je korišten za vizualizaciju podataka (Slika 10) i određivanje prostornog obuhvata poplave za pojedini simulirani scenarij. Najveći prostorni obuhvat poplave od tri odabrana scenarija odgovara scenariju za povratni period od 250 godina. Područja s najnižom obalom najviše su poplavljena, što se posebno odnosi na povijesnu jezgru gdje je visina obalne crte najniža.



Slika 10: Simulirani scenarij plavljenja obale u Kaštel Kambelovcu za 100-godišnji povratni period

Potencijalne štete na građevinama uslijed izloženosti poplavama procijenjene su temeljem krivulje odnosa poplavne dubine i odgovarajuće štete. Krivulja odnosa dubine i štete konstruirana je na temelju evaluacije niza parametara koji su ključni za nastajanje štete na građevini kada je izložena djelovanju poplave. Vrsta materijala od kojih je izgrađena građevina predstavlja ključni faktor u nastajanju štete na nosivoj konstrukciji građevine. Starost građevine i njeno opće stanje u pogledu održavanja također doprinose šteti te konačno, broj etaža građevine definira izloženu površinu, posebice ukoliko se građevina sastoji i od podrumске etaže. Veličine štete normalizirane su na skali 0-1, gdje 1 predstavlja apsolutnu štetu na građevini u iznosu od 1000 €/m². Konačna krivulja odnosa dubine i štete za područje Kaštel Kambelovca prikazana je na Slici 11.



Slika 11: Krivulja odnosa dubine plavljenja i faktora štete

3. Kvantifikacija rizika u analizi životnog ciklusa građevina

Pri analizama životnog ciklusa, donošenje odluka nužno je temeljiti na cjelovitoj i sveobuhvatnoj procjeni troškova tijekom cijelog životnog vijeka građevine što uključuje i kvantifikaciju rizika od prirodnih katastrofa. Budući da djelovanje potresa i poplava predstavlja dvije pojave koje nisu prirodno povezane, jedinstvena kvantifikacija rizika predstavlja poseban izazov. Stoga je predložen pristup modeliranju rizika koji omogućuje jedinstvenu procjenu rizika za obje pojave, a koji se temelji se na izračunu očekivane godišnje štete:

$$\text{Očekivana godišnja šteta (EAD)} = \int_0^1 \text{Oštećenje } D(p) dp$$

Izračun veličine očekivane godišnje štete temelji se na izračunu očekivane vrijednosti distribucije godišnje štete, konstruirane temeljem određenih vrijednosti šteta D za pojedine scenarije prirodnih katastrofa odgovarajuće vrijednosti pojave p [13]. Primjena ovog pristupa rezultira s novčanom vrijednosti očekivanog troška odnosno štete na godišnjoj razini, koja predstavlja osrednjenu vrijednost štete koja se može pojaviti tijekom određenog razdoblja životnog ciklusa građevine.

Za odabrane potresne scenarije odgovarajuće vjerojatnosti pojave odnosno povratnog razdoblja od 95, 225 i 475 godina, izvršena je procjena potencijalnih šteta na građevinama temeljem predstavljenih metodologija za procjenu oštećenja. Nadalje, za odabrane poplavne scenarije koji odgovaraju povratnim razdobljima od 25, 100 i 250 godina također su analizirane veličine novčanih šteta na pojedinim građevinama. Koristeći dobivene rezultate procjene šteta za obje prirodne katastrofe i odgovarajuće vjerojatnosti pojave, definirana su krivulje godišnje štete čije su očekivane vrijednosti godišnje štete za promatrano područje Kaštel Kambelovca prikazane u Tablici 1.

Tablica 1: Veličine očekivane godišnje štete za područje Kaštel Kambelovca izloženo potencijalnom djelovanju potresa i plavljenja obale

Prirodna katastrofa	Očekivana godišnja šteta (€/god)	€/god/građevina
Potres	263.000,00	6.262,00
Poplava	71.000,00	1.690,00

Iz rezultata prikazanih u Tablici 1 vidljivo je da je veličina očekivane godišnje štete za promatrano područje značajno veća za potres nego za poplavu. Razlog tome jest što potres kao prirodna pojava može prouzročiti značajno veću štetu na građevinama u usporedbi s poplavama. Djelovanje potresa na građevinu jednoliko je rasprostranjeno duž svih etaža, dok je štetno djelovanje poplava uglavnom ograničeno na prizemnu etažu te eventualno podrumске prostorije. Međutim, očekuje se da će klimatske promjene utjecati na dodatno podizanje razine mora te se očekuje da će posljedično utjecati na povećanje vrijednosti očekivane godišnje štete u budućnosti.

4. Zaključak

Analiza životnog ciklusa građevine temelji se na ekonomskim procjenama mogućih troškova. Sve dok se najveći dio troškova odnosi na visinu početne investicije postoji potencijalni utjecaj prirodnih katastrofa na veličinu ukupnih troškova. Stoga je tijekom analize životnog ciklusa građevine nužno implementirati i troškove povezane sa štetama od potencijalnog djelovanja prirodnih katastrofa kako bi se u cijelosti procijenili pripadajući troškovi. Procjena rizika predstavlja temelj za analizu potencijalnog štetnog utjecaja od djelovanja prirodnih katastrofa. Primjer Grada Kaštela demonstrira kako se na istom području prepoznalo potencijalno štetno djelovanje prirodno nepovezanih katastrofa. Stoga je razvijen pristup za jedinstvenu analizu rizika od potresa i poplava, koji je u konačnici rezultirao s prosječnom veličinom troškova koji mogu potencijalno nastati na godišnjoj razini, na razini pojedine zgrade ili naselja. Rezultati su pokazali da je veličina očekivane godišnje štete na promatranom području značajno veća za djelovanje potresa u usporedbi s poplavama. U konačnici, ovakvim pristupom omogućeno je kvantificiranje potencijalnog štetnog utjecaja prirodnih katastrofa u procjeni ukupnih troškova pri analizi životnog ciklusa građevine.

Zahvala

Istraživanje je financirano projektima Europske unije “STRategies for assessing climate change and natural hazards’ impact on urban ecosystems, increasing resilience to ENvironmental hazards, and promoting territorial GrowTH” – STRENGTH i “Preventing, Managing and Overcoming natural-hazards risks to mitiGATE econo-

mic and social impact” - PMO-GATE iz programa Interreg Italija-Hrvatska. Parcijalna financijska potpora dobivena je i projektom Hrvatske vlade i Europske unije iz Operativnog programa kompetitivnosti i kohezije (Projekt KK.01.1.1.02.0027).

5. Literatura

- [1] Hossain K.A., Gencturk B.: Life-Cycle Environmental Impact Assessment of Reinforced Concrete Buildings Subjected to Natural Hazards, *Journal of Architectural Engineering*, **22** (2014) 4, doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000153
- [2] Noshadravan A., Miller T.R.; Gregory J.G.: A Lifecycle Cost Analysis of Residential Buildings Including Natural Hazard Risk, *Journal of Construction Engineering and Management*, **143** (2017) 7, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001286
- [3] Mahmoud M., Cheng G.: Framework for Lifecycle Cost Assessment of Steel Buildings under Seismic and Wind Hazards, *Journal of Structural Engineering*, **143** (2016) 3, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001663
- [4] Mladineo, N., Mladineo, M., Benvenuti, E., Kekez, T., Nikolić, Ž.: Methodology for the Assessment of Multi-Hazard Risk in Urban Homogenous Zones, *Applied Sciences*, **12** (2022) 12843, doi: 10.3390/app122412843
- [5] Wang, Q., Liu, K., Wang, M., Koks, E.E.: A River Flood and Earthquake Risk Assessment of Railway Assets along the Belt and Road, *International Journal of Disaster Risk Science*, **12** (2021) 553-567, doi: 10.1007/s13753-021-00358-2
- [6] GNDT-SSN: Scheda di Espozione e Vulnerabilita e di Rilevamento Danni di Primo e Secondo Livello (Murata e Cemento Armato), Rome, Italy, 1994
- [7] Nikolić, Ž., Runjić, L., Ostojić Škomrlj, N., Benvenuti, E.: Seismic Vulnerability Assessment of Historical Masonry Buildings in Croatian Coastal Area, *Applied Sciences*, **11** (2021) 5997, doi: 10.3390/app11135997
- [8] Nikolić, Ž., Benvenuti, E., Runjić, L.: Seismic Risk Assessment of Urban Areas by a Hybrid Empirical-Analytical Procedure Based on Peak Ground Acceleration, *Applied Sciences*, **12** (2022) 3585, doi: 10.3390/app12073585
- [9] HRN EN 1998-1:2011. *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2011
- [10] HRN EN 1998-3:2011: *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings*, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2011
- [11] 3MURI Software, Professional version, S.T.A. DANA, Torino, 2019
- [12] Nikolić, Ž., Srzić, V., Lovrinović, I., Perković, T., Šolić, P., Kekez, T.: Coastal Flooding Assessment Induced by Barometric Pressure, Wind-Generated Waves and Tidal-Induced Oscillations: Kaštela Bay Real-Time Early Warning System Mobile Application, *Applied Sciences*, **12** (2022), 12776, doi: 10.3390/app122412776
- [13] Kekez, T., Andricevic, R., Knezic, S.: Flood Risk Modeling under Uncertainties: The Case Study of Croatia, *Water*, **14** (2022) 1585, doi: 10.3390/w14101585