

ANALIZA UGROŽENOSTI OD OBALNOG PLAVLJENJA RANJIVIH NASELJA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE

Javna ustanova **Zavod za prostorno uređenje**
PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE



Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja
Primorsko-goranske županije

Nakladnik

Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije

Za nakladnika

Adam Butigan, mag. ing. geod.

Izrađivači dokumenta Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja
Primorsko-goranske županije

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet



Sveučilište
u Rijeci
Građevinski
fakultet

izv. prof. dr. sc. Igor Ružić
Andrea Tadić, mag. ing. aedif.
doc. dr. sc. Nino Krvavica

Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije



Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje
PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE
Vedrana Petrović, mag. oec. spec.
Gorana Ljubičić, dipl. ing. arh.
Dado Jakupović, mag. geogr.

Voditelji projekta

izv. prof. dr. sc. Igor Ružić (GF RI)
Vedrana Petrović, mag. oec. spec. (JU Zavod)

Fotografije na naslovni i pregradnim stranicama

izv. prof. dr. sc. Igor Ružić

Realizacija

Glosa d. o. o. Rijeka

Grafička priprema

Tempora Rijeka

**ANALIZA UGROŽENOSTI
OD OBALNOG PLAVLJENJA
RANJIVIH NASELJA
PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE**

SADRŽAJ

1. UVOD	7
1.1. Prva faza projekta	10
1. 2. Druga faza projekta	11
1. 3. Obalno plavljenje – prognoze	13
1. 4. Prelijevanje valova	15
2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	17
3. MJERE ZAŠTITE OBALNOG PODRUČJA OD PLAVLJENJA	25
3.1. Primjeri mjera zaštite u svijetu	31
3.1.1. Venecija, Italija	31
3.1.2. Kingston upon Hull, Ujedinjeno Kraljevstvo	32
3.1.3. Oostende, Belgija	35
3.1.4. San Diego, SAD	37
3.2. Primjeri mjera zaštite u Republici Hrvatskoj	38
3.2.1. Crikvenica	38
3.2.2. Adaptacijski plan Kaštela	44
3.2.3. Formiranje žala – Baška vs. Rijeka	45
3.2.4. Mali Lošinj	47
4. ANALIZA PLAVLJENJA ODABRANIH OBALNIH NASELJA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE	49
4.1. Cres	50
4.1.1. Plavljenja obalnog područja Cresa	53
4.1.2. Numeričke simulacije valovanja	60
4.2. Rab	64
4.2.1. Plavljenja obalnog područja Raba	65
4.2.2. Numeričke simulacije valovanja	75
4.3. Punat	76
4.3.1. Plavljenja obalnog područja Punta	77
4.3.2. Numeričke simulacije valovanja	82

4.4. Volosko	85
4.4.1. Plavljenja obalnog područja Voloskog	87
4.4.2. Numeričke simulacije valovanja	91
4.5. Sintezni pregled rezultata	92
5. PRIJEDLOG MJERA ZAŠTITE OD OBALNOG PAVLJENJA	97
5.1. Cres	98
5.2. Rab	101
5.3. Punat	103
5.4. Volosko	104
6. PROSTORNO-PLANSKI I URBANISTIČKI KRITERIJI I SMJERNICE ZA POSTOJEĆE IZGRAĐENE STRUKTURE I PLANIRANE ZONE GRAĐENJA TEMELJENI NA PRIMJERIMA ANALIZIRANIH NASELJA	109
7. PRIJEDLOG MOGUĆIH MJERA I SMJERNICA ZA UMANJENJE NEGATIVNIH POSLJEDICA UZROKOVANIH PODIZANJEM RAZINE MORA U PRIMORSKO-GORANSKOJ ŽUPANIJI	117
8. ZAKLJUČAK	121
9. POPIS LITERATURE	125
Popis tablica	131
Popis slika	131
Popis dijagrama	134



A photograph of a street in a coastal city, likely Poreč, Croatia, during a flood. The street is completely submerged in brown, muddy water. On the right side, there are several multi-story buildings. A modern building with a glass facade is on the far left. Next to it is a traditional building with light-colored stucco walls, red wooden shutters on the windows, and decorative wrought-iron balconies. Further down the street, there's a building with a blue and white sign that reads "HSU". To the right of the HSU building, there's a yellow building with a red spray-painted tag on its wall. The water level is very high, reaching up to the bottom of the windows and doors of the buildings. Some metal scaffolding stands in the water near the HSU building.

1. UVOD

Podizanje morske razine globalna je pojava koju mareografi na području Sredozemnog mora bilježe već od kraja 19. stoljeća (Pirazzoli, 1996.). Ljudi, životi, ekosustavi, građevine i infrastruktura u mnogim obalnim naseljima već doživljavaju ozbiljne, negativne posljedice ubrzanog porasta razine mora i varijabilnosti klime. Obalni gradovi nesrazmjerno su pogodjeni međudjelovanjem različitih klimatskih i morskih utjecaja, dijelom zbog izloženosti različitih dobara, gospodarskih aktivnosti i velikog broja ljudi koncentriranih u uskom priobalnom pojasu, s otprilike desetinom svjetske populacije i fizičke imovine smještene u niskim obalnim zonama (do 10 m n. m.). Utjecaj ubrzanog rasta morske razine primarno je zabilježen u zaklonjenim dijelovima obala. Očituje se smetnjama i čestim plavljenjima tijekom visokih plima, salinizacijom slatkih voda, promjenom ekosustava, povećanom erozijom i štetama uzrokovanim obalnim plavljenjem. Naselja na obali, koja već sada ovise o mjerama zaštite, suočavaju se sa znatnim povećanjima troškova potrebnih za održavanje postojećih razina zaštite. Ako se more digne do razine pri kojoj se dostižu finansijska i tehnička ograničenja, bit će potrebno provesti sustavne promjene, poput preseljenja milijuna ljudi (IPCC, 2021.).

Posljedice utjecaja klimatskih promjena vidljive su u gospodarskim sektorima, iako opseg šteta ovisi o djelatnosti i regiji. Nedavni ekstremni olujni događaji u svijetu izazvali su velike troškove jer su oštećeni imovina i državne infrastrukturne građevine. U RH do sada su zabilježena manja oštećenja, uglavnom kratkotrajna i lokalna (poput garbina u Rovinju, plavljenja...). Klimatski utjecaji i očekivani rizici nisu u dovoljnoj mjeri uključeni u planiranje prostora, a nije ni osigurano dovoljno finansijskih sredstava za prilagodbu.

Očekuje se da će se ekstremni događaji pogoršati jačinom i učestalošću te ubrzati promjene u ekosustavima. Veća učestalost smanjiti će vrijeme koje ekosustavi mogu koristiti za obnovu. Posljedice će biti za ljude, imovinu, infrastrukturu, sigurnost opskrbe hranom, kulturnu i prirodnu baštinu, a osobito za mjere ublažavanja klimatskih promjena na obali. Naselja uz more s ovim se rizicima suočavaju već sada, a ubrzat će se nakon 2050. godine i nastaviti i nakon 2100. godine, čak ako stane zagrijavanje Zemlje (IPCC, 2021.). Ako se ne provedu određene mjere zaštite, **povijesne razine ekstremnih razina mora do kraja 21. stoljeća javljat će se godišnje**, dodatno pogoršavajući navedene rizike.

U izješču Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC, 2021.) ključnu ulogu u smanjenju izloženosti i ranjivosti na klimatske promjene čini adaptacija. U umjetno stvorenim sustavima adaptacija se definira kao proces prilagodbe trenutnom ili očekivanom stanju klime te klimatskim utjecajima, radi smanjenja šteta ili iskorištavanja mogućih pogodnosti. Adaptacija je često organizirana oko otpornosti u smislu povratka i vraćanja u prethodno stanje nakon poremećaja. Općenito, otpornost ne podrazumijeva samo sposobnost održavanja osnovne funkcije, identiteta i strukture sustava, već i sposobnost preobrazbe.

Osnovne prepreke su ograničeni resursi, manjak sudjelovanja privatnog sektora i javnosti, nedovoljna relokacija finansijskih sredstava i činjenica da se problem porasta morskih razina ne smatra prioritetom.

IPCC naglašava da u mnogim dijelovima Europe postojeće i planirane adaptacijske mjere nisu dovoljne kako bi se izbjegao preostali rizik¹, pogotovo kod tzv. scenarija visoke pouzdanosti koji podrazumijeva porast prosječne globalne temperature za 1,5 °C. Preostali rizici mogu rezultirati gubitkom staništa i ekosustava, neuspjehom usjeva, racionalizacijom vode tijekom suša u južnoj Europi, i gubitkom kopna.

Rast (ekstremnih) razina mora i s tim vezano obalno plavljenje posebno su značajne posljedice klimatskih promjena s aspekta prostornog planiranja i upravljanja obalnim područjem (Republika Hrvatska, 2020.). **Kvalitetna adaptacija zahtjevat će odmak od kratkoročnog planiranja i osiguranje pravodobne i odgovarajuće primjene mjera.** Uključivi, nepristrani i pravedni putovi prilagodbe ključni su za razvoj prostora otpornoga na klimatske promjene. Uspjeh prilagodbe u konačnici će ovisiti o razumijevanju mogućnosti i akcija adaptacije te njihove isplativosti i učinkovitosti za svaku pojedinu lokaciju. Prema tome, učinkovite mjere prilagodbe priobalja zahtjevaju precizne i detaljne informacije o karakteristikama obala i hazarda od obalnog plavljenja, i analizu funkcioniranja postojećih sustava obrane obalnog područja (Amadio et al., 2022.).

Istodobno u Republici Hrvatskoj utjecaj klimatskih promjena na prostorni razvoj nije prepoznat u zakonodavstvu prostornog uređenja (Republika Hrvatska, 2020.), iako primjeri dobre prakse postoje na lokalnim razinama u obalnim, prostornim ili adaptacijskim planovima i raznim strategijama prilagodbe klimatskim promjenama, npr. Grad Zadar (2018.), Šibensko-kninska županija (2015.), Grad Rovinj (2019.), Grad Poreč (2019.), Kaštela (Margeta et al., 2019.). Ipak, jako je malo mjera za prilagodbu promjeni klime zapravo i primijenjeno (RH Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020.).

Na području Primorsko-goranske županije (PGŽ) također se krenulo s aktivnostima za umanjenje negativnih utjecaja klimatskih promjena. Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije i Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci proveli su projekt „Analiza ranjivosti obalnog područja Primorsko-goranske županije zbog podizanja razine mora“ tijekom 2020. godine. U nastavku se daje kratki pregled ostvarenih rezultata prve faze projekta.

¹ Preostali (rezidualni) rizik tumači se kao preostala mogućnost za nanošenje štete osobama, imovini ili okolišu, nakon svih mogućih napora za smanjenje predvidivih opasnosti (Europska agencija za okoliš).

1.1. Prva faza projekta

U okviru projekta (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, JU Zavod za prostorno uređenje PGŽ) provedena je primarna procjena ranjivosti čitavoga obalnog područja Županije. Razvijena je metodologija analize obalne ranjivosti, koja je prilagođena specifičnostima razvedene i geološki nehomogene obale istočnog Jadrana i PGŽ-a. Obalna ranjivost definirana je uz pomoć standardno korištenog indeksa obalne ranjivosti (engl. *coastal vulnerability index*, CVI) koji se sastoji od više pojedinačnih podindeksa:

- geološke građe
- obalnog nagiba
- djelovanja valova
- plavljenja obale i
- povoljnog učinka žala.

Ranjivost obalnog pojasa PGŽ-a zbog podizanja razine mora većinom je povoljna. Vrijednosti zbirnog CVI-ja pokazale su da je tek manji dio obale Županije ugrožen (13 %). **Najnepovoljnije vrijednosti indeksa obalne ranjivosti uglavnom su uz naseljena područja koja su već danas ugrožena od obalnog plavljenja.** Analiza varijable obalnog plavljenja ukazuje da je gotovo četvrtina obale Županije (24 %) ugrožena. Realnim povećanjem razine mora za 60 cm sadašnji udio obale ranjiv na obalno plavljenje bi se povećao na nešto manje od 30 %. Kod ekstremnih događaja popraćenih povećanjem razine mora za 120 cm, taj udio bi se pak povećao na čak 35 % obalne linije. Rezultate analize obalnog plavljenja potrebno je sagledati u kontekstu nedovoljno preciznih geodetskih podloga, što je naglašeno i u ostalim istraživanjima na području Hrvatske pa se ukazuje na potrebu za izradom detaljnih snimki obalnog područja.

Ta znanstveno-stručna analiza ranjivosti Županije omogućila je lociranje najugroženijih područja koja je potrebno podrobnije analizirati na detaljnim podlogama za točniju procjenu ranjivosti. Pokazalo se kako su najugroženija obalna područja upravo ona naseljena, posebno starija naselja poput Rijeke, Cresa, Malog Lošinja, Velog Lošinja, Raba, Punta, Voloskog i sl.

Ekstremni klimatski događaji poput olujnih nevremena praćenih ekstremnim obořinama i visokim valovima, već sada sve češće i snažnije pogađaju obale Kvarnera, a u posljednjih desetak godina zabilježene su i rekordno visoke razine mora (Republika Hrvatska, 2020.). Šteta na obalnom području zbog tih pojava može biti višestruka i značajna, a i troškovi povezani s oštećenjima postaju sve veći. Stoga je bitno provesti kvalitetnu analizu obalne ugroženosti, pogotovo kada se u obzir uzme kulturno i ekonomsko značenje Jadrana i njegove obale za Primorsko-goransku županiju.

1.2. Druga faza projekta

Na temelju rezultata primarne procjene ranjivosti izdvojena su četiri posebno ranjiva naselja (Slika 1):

- **Cres**
- **Rab**
- **Punat** i
- **Volosko.**

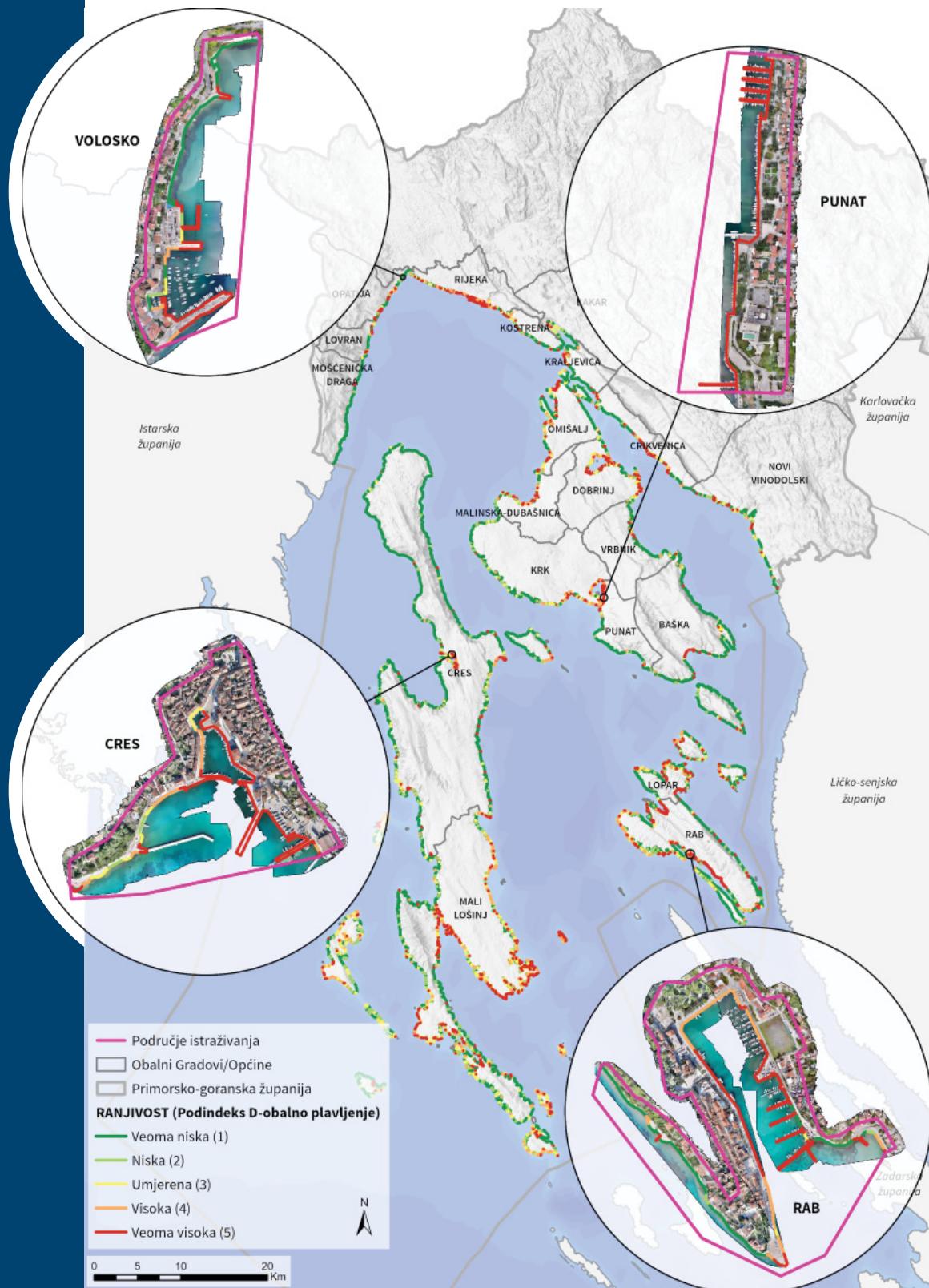
Podindeksi obalne ranjivosti s obzirom na obalno plavljenje ukazali su na umjerenu (Volosko) do veoma visoku ranjivost (Punat, Cres i Rab). U studiji „Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja Primorsko-goranske županije“ provedene su detaljne analize ugroženosti tih naselja koja su među najugroženijim naseljima PGŽ-a, prvenstveno od obalnog plavljenja za današnje i predviđene razine mora. **Razrađena je metodologija za precizne analize plavljenja, temeljene na detaljnim podlogama visoke preciznosti** (trodimenzionalni oblaci točaka). Snimanje naselja Cres, Rab, Punat i Volosko provela je tvrtka GEO-W d. o. o. Rijeka u sklopu projekta „Ranjivost obalnog područja PGŽ-a“. Snimanje iz zraka obavljeno je bespilotnom letjelicom DJI PHANTOM 4 Advanced.

Provredene su analize ranjivosti za sadašnje stanje i više scenarija podizanja morske razine (MR), koji se mogu prilagoditi različitim prognozama podizanja razine mora. Naime, predviđanja podizanja razine mora ovise o velikom broju promjenjivih ulaznih parametara. Procjene se često ažuriraju, na osnovi podataka iz nadgrađenih modela, preciznih podloga i već nastalih promjena.

Nakon toga obavljene su numeričke simulacije valovanja u akvatorijima istraženih naselja. Analizirana je i propagacija poplavnih valova, definiranih kao rezultanta djelovanja povišenih razina mora i valova, na kopneni dio.

Izrađene su karte obalnog plavljenja za više scenarija podizanja razine mora, prikazani su pozitivni i negativni primjeri dosadašnjeg korištenja prostora obalnih naselja s obzirom na obalno plavljenje, a time i očekivano podizanje razine mora. Predložene su i potencijalne mjere umanjenja negativnih posljedica podizanja razine mora, sve radi njihove primjene u izradi prostorno-planske dokumentacije.

ANALIZA UGROŽENOSTI
OD OBALNOG PAVLJENJA
RANJIVIH NASELJA
PRIMORSKO-GORANSKE
ŽUPANIJE



Slika 1. Pregledna karta i indeks obalne ranjivosti s obzirom na obalno plavljenje (CVI d) analiziranih naselja preuzet iz prve faze istraživanja (TK 1 : 200 000, 1 : 25 000, DGU, 2015.)

1.3. Obalno plavljenje – prognoze

Porast morske razine utjecat će na značajan broj Europljana. Trećina stanovnika Europske unije živi unutar 50 km od obale. BDP koji stvara taj dio populacije iznosi više od 30 % ukupnog BDP-a cijele Europske unije. Gospodarska vrijednost obalnih područja unutar 500 m od mora iznosi 500 – 1.000 milijardi eura. Procjenjuje se da su troškovi nepoduzimanja mjera protiv učinaka klimatskih promjena u obalnim područjima veći od godišnjih troškova poduzimanja mjera, koji su do 2020. godine procijenjeni na oko 6 milijardi eura. Istodobno, neto koristi prilagodbe iznosile bi do 4,2 milijarde eura (Europska komisija, 2011.).

Obalno plavljenje je u Europi prema IPCC-u (2021.) jedan od četiri ključna rizika povezana s klimatskim promjenama, zajedno uz povećanje smrtnosti i promjene ekosustava zbog vrućine, utjecaj suša na poljoprivredu te nestašicu vode. Porastom globalne temperature za 3 °C, iznosi šteta i broj ljudi na koji će utjecati povećanje intenziteta oborina i plavljenje, mogli bi se udvostručiti. Očekuje se da će se štete od obalnih plavljena do kraja 21. stoljeća povećati deset puta, čak i više (ili ranije) ukoliko se ne dopune trenutne mjere adaptacije i ublažavanja. Porast morske razine egzistencijalna je prijetnja za priobalne zajednice i njihovo kulturno naslijeđe, pogotovo nakon 2100. godine.

Čest uzrok poplava u priobalu su i promjene razine mora pod utjecajem meteoroških parametara – olujni uspori. Za razliku od astronomske sastavnice – plime, koja je deterministička sastavnica pri određivanju morske razine, olujni uspor ovisi o atmosferskom tlaku i vjetru. Prema tome, prilikom dugoročnog planiranja i analize rizika potrebno je proučiti i ovu nedeterminističku varijablu sa stajališta statistike (Cid et al., 2016). Cid je sa suradnicima (2016.) definirao Jadran kao jednu od lokacija gdje se najčešće javljaju te pojave. Naglasili su da postojeće procjene visine uspora nisu precizne za sjeverni dio Jadrana. Modeli predviđanja općenito nisu precizni na ovom području (Marcos et al., 2009.). U radovima Cida i suradnika iz 2014. i 2016. kao objašnjenje lošijih performansi modela navode se gruba horizontalna rezolucija i male dubine. U plitkim akvatorijima kvalitetne simulacije primarno zahtijevaju visoku prostornu rezoluciju modela podmorja (batimetrija) te točne vrijednosti koeficijenata trenja. Još jedan razlog slabije kvalitete rezultata modeliranja je i činjenica da je Kvarner pod čestim utjecajem meteocunamija (Šepić et al., 2012.) koji se također teško predviđaju, zbog nedostatka preciznih podloga i složene morfologije obale i podmorja, te nedostatka lokalnih mareografa. Horizontalna rezolucija globalnih modela općenito nije dovoljna za analizu razina mora na manjim zemljopisnim područjima poput Jadrana ili Hrvatske (Cid et al., 2016.; Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2017.).

U Izvještaju o procijenjenim utjecajima i ranjivosti na klimatske promjene po pojedinih sektorima, u dokumentu Ministarstva zaštite okoliša i energetike (MZOE) iz 2017. godine, navedeno je nekoliko izvora i projekcija promjena za područje Jadra-

na. IPCC je 2007. godine prepostavio najmanji očekivani porast globalne morske razine tijekom 21. stoljeća od 64 ± 14 centimetara. Ta se vrijednost podudara s prognozama Orlića i Pasarića (2013.). IPCC 2013. novim izvješćem predviđa globalni rast morske razine do 2065. godine za 19 – 33 cm, odnosno za 22 – 38 cm za scenarij s većom emisijom stakleničkih plinova (RCP8.5)².

Neke analize (npr. Nauels et al., 2017.) uzimaju u obzir još i topljenje i lomljenje leda na Antarktiku te upozoravaju da će to povećati razine spomenute u izvješćima IPCC-a. Ako se ne bi poduzelo ništa po pitanju ublažavanja klimatskih promjena, do 2100. godine more bi poraslo za 57 – 130 cm, odnosno za 95 – 189 cm u tzv. SSP5 scenariju³. Prema istom istraživanju, rast morske razine mogao bi se ograničiti na 34 – 75 cm do kraja stoljeća kada bi se primjenile ambiciozne mjere za smanjenje klimatskih promjena. Uz najgori scenarij klimatskih promjena i osnovne ublažavajuće mjere prognoziran je prosječni rast morske razine od 91 centimetra (vjerojatni raspon 61 – 132 cm).

Sve navedene studije i projekcije naglašavaju da budući porast razine mora neće biti ravnomjeran u svim područjima. Procesi koji nisu pokrenuti klimatskim promjenama, poput ljudskih aktivnosti i lokalnog slijeganja terena, važni su u pogledu relativnih promjena razina mora na obali. Dok se očekuje da će se relativna važnost klimom uvjetovanog porasta razine mora tijekom vremena povećavati, lokalne procese treba uzeti u obzir za točnije projekcije i utjecaje razine mora visoke pouzdanosti (IPCC, 2019.).

U Jadransu su znanstvenici istraživali mjerene vrijednosti morskih razina duž hrvatske obale. Rad Barića i suradnika (2008.) navodi da će za razdoblja do 2030., 2050. i 2100. godine doći do porasta razine mora za 18 ± 12 cm, 38 ± 14 cm i 65 ± 35 centimetara. Čupić je sa svojim suradnicima (2011.) računao trendove porasta razine Jadranskog mora analizom podataka s triju mareografskih postaja. Podaci su ukazali na ubrzani porast srednje razine mora u promatranom razdoblju (1955. – 2009.). Do istog su zaključka došla i istraživanja Jadrana duž talijanske obale (Tsimplis et al., 2012.).

Osobito opasne mogu biti pojave olujnih uspora, ako se podudaraju s plimom, vjetrovnim valovima i kretanjem mase vode prema plitkoj obali (Penzar et al., 2001.). Stoga nije isključeno da se mogu pojaviti i veće razine mora od prognoziranih, kao što je već zabilježeno na mareografu u Bakru 2008., 2012. i 2018. godine. Lokalne pojave meteocunamija izazvale su plavljenja obale u luci Malog Lošinja 2008. i 2010. godine.

² Scenarij visokih emisija CO₂ do kojeg bi došlo bez provedbe politika ublažavanja klimatskih promjena, a podrazumijeva porast temperatura za 4,3 °C do 2100. godine (<https://climatenexus.org/climate-change-news/rcp-8-5-business-as-usual-or-a-worst-case-scenario/>)

³ Slučaj nekontroliranog i brzog porasta gospodarstva i korištenja energije (<https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>)

Te su procjene i dokumenti uzeti u obzir prilikom donošenja **Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj** iz 2020. godine. U ovom su dokumentu tako izdvojene sljedeće prognoze porasta srednje razine mora:

- 19 – 33 cm za razdoblje do 2065. godine (IPCC, 2013.) te
- **32 – 65 cm** (prema ostalim spomenutim izvorima) do 2100. godine.

1.4. Preljevanje valova

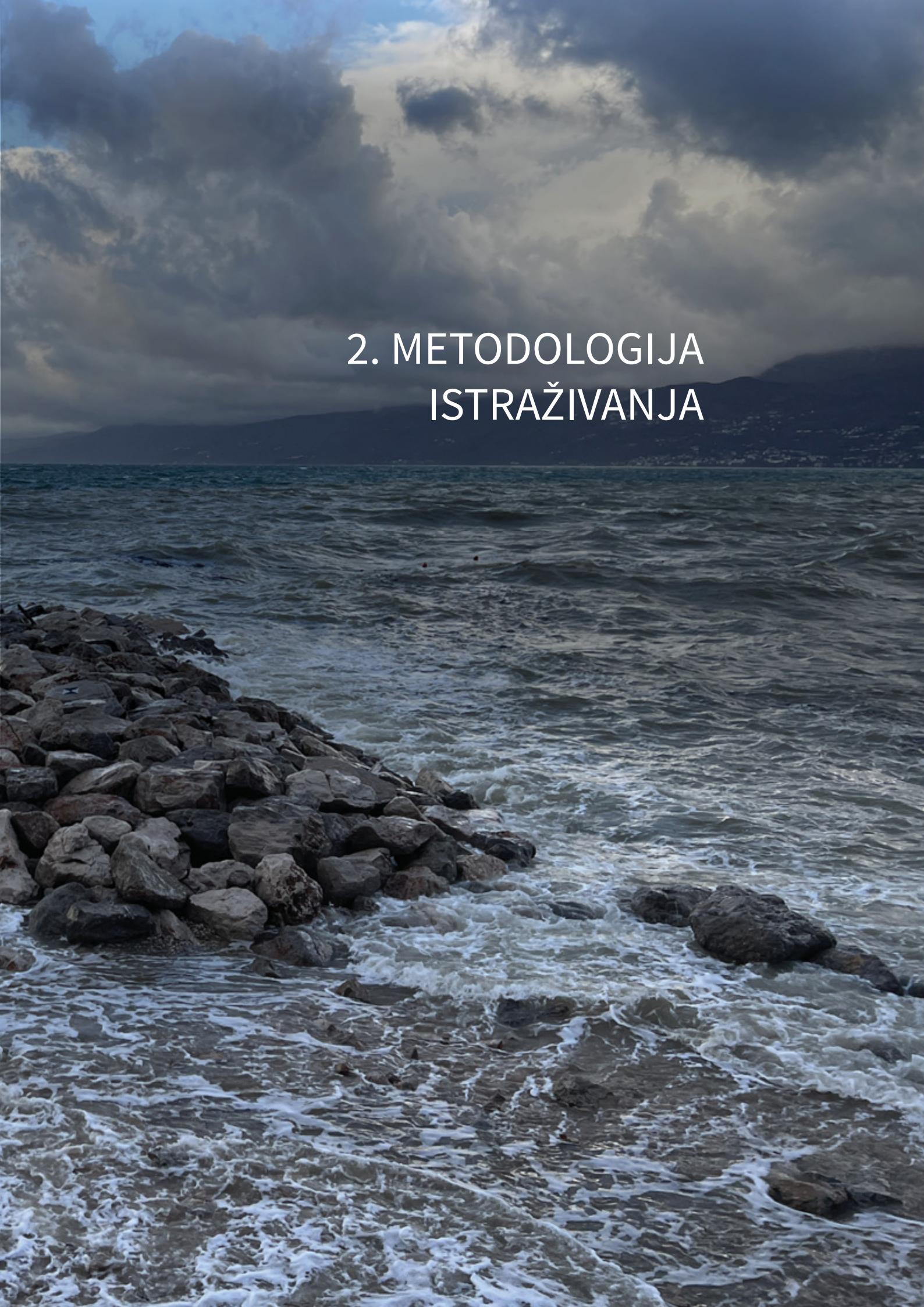
Rizik od prelijevanja valova u obalnim će se područjima povećati zbog predviđenog porasta morske razine i povećanja intenziteta olujnih aktivnosti zbog klimatskih promjena. To će dovesti do promjena u valnim procesima u priobalju, te posljedično povećati prijetnje obalnim naseljima, infrastrukturom i obali, što se već odvija posljednjih desetljeća. Povećanjem razine mora smanjit će se disipacija energije valova procesom opličavanja valova, što će u kombinaciji s povećanjem intenziteta olujnih nevremena povećati valove na samoj obali. Valovi koji se prelijevaju preko obale mogu izazvati oštećenja građevina i obalne infrastrukture, a time i velike gospodarske štete, i predstavljati opasnost za ljudе. Nepovoljan učinak prelijevanja valova dodatno će se povećati s obzirom na očekivani porast broja stanovnika u priobalju, pogotovo u niskim i urbaniziranim zonama.

Prema izvješću IPCC-a iz 2019. godine, prosječne značajne visine valova u Sredozemlju bi se u budućnosti čak trebale i smanjiti (scenarij RCP8.5), no to ne vrijedi za ekstremna valovanja. Promjene morskih razina bi se trebale mijenjati zbog porasta morske razine i određenih mjera za prilagodbu. Prognozirane promjene visina valova bit će uzrokovane promjenama meteoroloških trendova, ali promjene u plimama mogu posredno dovesti do lokalnog povećanja obalnog hazarda.

Razumijevanje budućih promjena u riziku povezanom s prelijevanjem valova preko obalnih konstrukcija ključno je za uspješno upravljanje sustavima zaštite obalnog područja (EurOtop, 2018.). Povećava se vjerojatnost nastanka gospodarskih šteta i gubitaka zbog prelijevanja valova, što je potrebno primijeniti u planiranju obalnog područja.

Različite vrste obalnih konstrukcija zahtijevaju različite metode za procjenu količina prelijevanja, ali je smanjenje rizika osnovni kriterij pri projektiranju, održavanju i prilagodbi svih obalnih konstrukcija (EurOtop, 2018.).



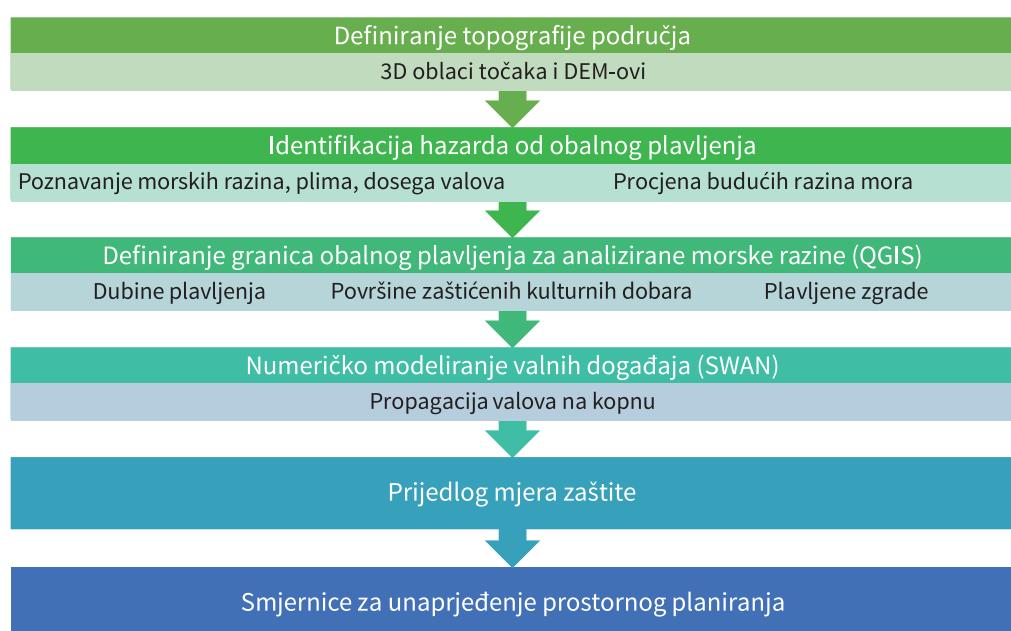


2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje predstavlja nastavak procjene ranjivosti utvrđene spomenutom prvom fazom projekta. Prvotno ocjenjivanje obalne ranjivosti provedlo se na razini cijele Primorsko-goranske županije u mjerilu 1 : 25 000. Naglašeno je da detaljnije i točnije analize zahtijevaju bolja mjerila podloga, te da je **za donošenje mjera za obranu od nepovoljnih posljedica rasta morske razine prije potreban pojedinačan pristup svakoj ugroženoj lokaciji**. Stoga su ovim projektom provedene analize obalnog plavljenja četiriju naselja: Cresa, Raba, Punta i Voloskog, čije su obale u prethodnim ispitivanjima označene ranjivima i veoma ranjivima, s visokim vrijednostima CVI-ja.

Osnovni metodološki koraci za analize plavljenja nakon prvotne (univerzalne) definicije obalne ranjivosti dane su na dijagramu toka (Dijagram 1.).

Dijagram 1. Definiranje topografije područja



Odgovarajuća istraživanja koja će dati precizne rezultate ugroženosti priobalja zahtijevaju rad na odgovarajućim podlogama prikladne visinske preciznosti (poželjno ± 5 cm). Većina znanstvenih i stručnih radova s tematikom plavljenja obalnog područja ističe upravo nedovoljno precizne podloge kao značajan problem prilikom detaljnih znanstvenih i prostornih analiza (RH, 2020.). **Za usvajanje i provedbu mjera za ublažavanje posljedica poplava potrebno je provesti cjelovite analize plavljenja obalnog područja i kartirati ugrožena područja.** Prvi je korak stoga *definiranje topografije područja* izradom kvalitetnih podloga visoke rezolucije (FEMA, 2021.). Generiranje oblaka točaka i digitalnih elevacijskih modela (engl. *Digital Elevation Model*, DEM) uz pomoć fotogrametrijskih postupaka i dronova jednostavna je, brza i jeftina tehnika za dobivanje 3D modela terena uz centimetarsku točnost.

Snimanje naselja Cresa, Raba, Punta i Voloskog provela je tvrtka GEO-VV d. o. o. Rijeka. Snimanje iz zraka obavljeno je bespilotnom letjelicom DJI PHANTOM 4 Advanced (digitalna kamera DJI f = 24 mm). Izrada digitalne ortofoto karte visoke rezolucije i digitalnog modela terena obavljena je pomoću programa za fotogrametriju i kartiranje uz pomoć bespilotnih letjelica, *PIX4Dmapper*. Geodetsko snimanje pomoćnih i kontrolnih točaka obavljeno je pomoću dvofrekventnog satelitskog sustava za kinematiku, GNSS uređaja Trimble R4 i preciznom mjernom stanicom Trimble S8. Izmjera je obavljena u službenom položajnom (HTRS96) i visinskom (HVRS71) sustavu Republike Hrvatske.

Analize i prikazi rezultata istraživanja obalnog plavljenja temeljeni su na proizvoda snimanja bespilotnom letjelicom: digitalnoj ortofoto (DOF) karti visoke rezolucije, digitalnom modelu terena (DMT) i 3D oblaku točaka. Prethodno analizama plavljenja, oblaci točaka su se „očistili“ (vozila, plovila, vegetacija i sl.) na osnovi podataka iz fotogrametrijskog softvera o klasifikaciji⁴ pojedine točke te korištenjem tzv. SOR filtera u programu *CloudCompare*. Nakon svakog filtriranja provela se vizualna provjera novih oblaka točaka. U slučajevima kada automatski filteri nisu dali odgovarajuće rezultate, oblaci su se obrađivali i ručno. Prikaz rezultata je na originalnim podlogama (DOF-ovima) koje je dostavila tvrtka GEO-VV d. o. o.

Radi što točnijeg prikaza stanja i definiranja problema specifičnih za pojedinu analiziranu lokaciju, provedena su i **terenska istraživanja**. Ona su uključivala anketiranje lokalnog stanovništva i mjerodavnih službi (Lučka kapetanija, Lučka uprava, jedinice lokalne uprave), mjerjenje visina karakterističnih točaka na obali i prikupljanje fotodokumentacije. Podaci prikupljeni na taj način omogućili su precizno kartiranje obale s obzirom na obalno plavljenje, opis dosadašnjih nepovoljnih događaja, a definirali su se i rubni uvjeti numeričkih simulacija.

Kako bi se identificirali hazardi od obalnog plavljenja, potrebno je poznavati *morske razine, plime, doseg valova i prirodu olujnih uspora*. **Procjene rasta srednje razine mora na hrvatskoj obali kreću se u rasponu od 0,32 m do 0,65 m do 2100. godine**, pri čemu ekstremne procjene dosežu vrijednosti od 1,1 metar. Kada se na njih pribroje utjecaji povremenih ekstremnih razina mora, tijekom olujnih uspora, u rasponu od 0,84 m do 1,15 m, dobivaju se ekstremne povremene razine mora na kraju stoljeća u rasponu od oko 1,4 m do 2,2 m iznad sadašnje srednje morske razine.

Predviđanje budućih razina mora, kao i ekstremnih razina mora izazvanih olujnim usporom nije tema ovog rada, već su obrađeni mogući scenariji porasta srednjih i ekstremnih povremenih razina mora. Porast razina mora istražuje se različitim modelima za različite scenarije, što rezultira velikim odstupanjima predviđenih razina mora. Također dolazi do redovite nadopune i korekcije prognostičkih modela na osnovi prikupljenih novih podataka.

⁴ Klasifikacija točaka se unutar softvera određuje automatski do poluautomatski i daje okvirnu informaciju o tipu snimljenog objekta (vegetacija, tlo, zgrada...).

Opasnost (rizik) od poplave varira ovisno o intenzitetu poplave i o lokaciji. Kod (obalnih) plavljenja opasnost ovisi o brzini strujanja i dubini vode te djelovanju valova (Custer i Nishijima, 2015.; Smith i Wasko, 2012.). Lokacije udaljenije od morske obale bit će sigurnije. Zbog toga su analizirane plavljene površine, dubine vode i visine valova za različite scenarije podizanja razine mora.

U ovom su radu analizirane ekstremne razine mora (tijekom olujnih uspora) u rasponu od već zabilježenih (1,15 m n. m.) do ekstremnih predviđenih (Tablica 1.). Ranije je napomenuto da predviđeni porast razine mora ovisi o korištenom modelu i njegovim ulaznim varijablama zbog čega dolazi do redovitih ažuriranja predviđanja podizanja razine mora. Strategija predviđa porast razine mora do 2100. godine od 0,32 do 0,65 m, pa čak i do vrijednosti od 1,1 metra. Stoga su analizirane posljedice povećanja ekstremnih razina mora za svakih 30 cm visine, što omogućuje tumačenje ovih rezultata za različita predviđanja podizanja razine mora (scenarije). Procjene budućih razina mora vezane su uz znatne neizvjesnosti koje se već nalaze i u izračunu razine mora za historijsku klimu (Branković et al., 2017.).

Tablica 1. Analizirane morske razine

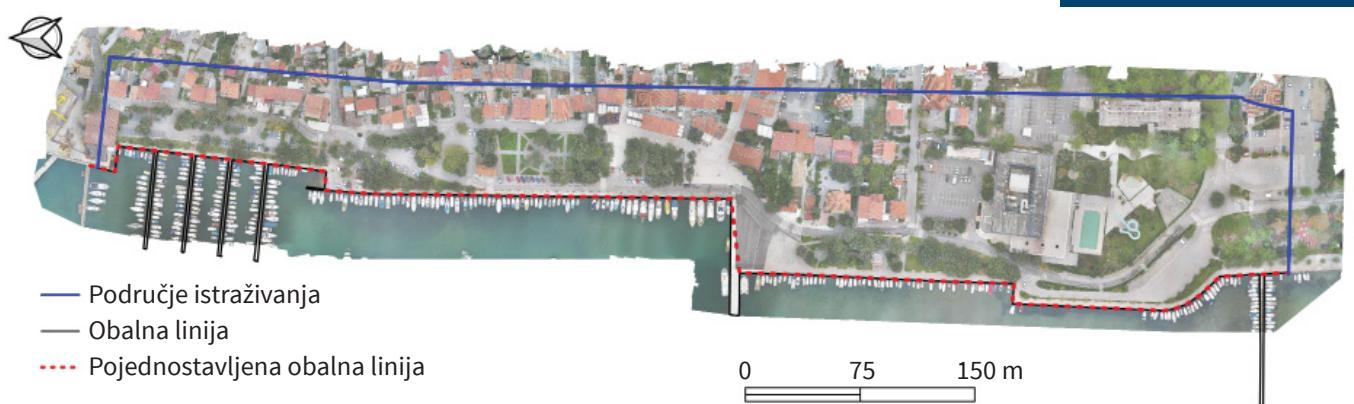


Razina mora od 1,15 m n. m. je već sada zabilježena granica plavljenja na Kvarneru.

Ekstremne povremene razine mora od 1,45 m n. m. moguće je očekivati u skoroj budućnosti, a vjerojatno će biti dosegnute do 2050. godine, prema većini izvora spomenutih u poglavљu 1.3. Obalno plavljenje – prognoze. Prema navedenim izvorima, ekstremne povremene razine mora od 1,75 m n. m. vjerojatno će biti dosegnute do 2100. godine. Ekstremne povremene razine mora od 2,20 m n. m. mogu biti dosegnute do 2100. godine prema Strategiji (RH, 2020.). Ekstremne povremene razine mora od 2,70 m n. m. mogu biti dosegnute do 2100. godine tek prema nekim modelima.

Prema ovim scenarijima, u QGIS-u (verzija 3.16) su na osnovi visina terena određene granice plavljenja. Osnovni ulazni podatak bili su 3D oblaci točaka. Kao rezultat su dobivene veličine plavljenih površina, ali na mjestima zgrada nema podataka o plavljenju. Stoga su se dobivene granice naknadno ručno interpolirale kako bi se odredile cjelovite zone plavljenja koje uključuju i izgrađene površine.

Za potrebe analiza, površine plavljenja dane su i u odnosu na duljinu obalne linije svakog naselja. Uzeta je u obzir pojednostavljena obalna linija, bez molova, gatova i lukobrana, a određena je iz dostavljenih DOF-ova ispitanih područja (primjer Punta na Slici 2.).



Slika 2. Određivanje duljine obalne linije u Puntu

U GIS-u su za svaki scenarij određene i površine zaštićenih kulturnih dobara koje će poplavit. Korištenje geografskoga informacijskog sustava (GIS) omogućuje jednostavno preklapanje slojeva s granicama plavljenja i poligonima koji definiraju grane zaštićenih područja preuzete s Geoportala kulturnih dobara RH (Ministarstvo kulture i medija Republike Hrvatske, 2021.).

Na isti su način definirani i brojevi plavljenih građevina uz pomoć službenih podataka o kućnim brojevima i poligona zgrada preuzetih sa servisa Državne geodetske uprave (DGU, 2019).

Dubine vode obalnog plavljenja bitan su parametar analize opasnosti za ljude, građevine i infrastrukturu (Custer i Nishijima, 2015.; Smith i Wasko, 2012.; Tuscher i Hanak, 2015.). Dubine plavljenja definirane su kao razlika između analizirane razine (visine) mora i kote terena. Za pojedini scenarij podizanja razine mora prikazan je prostorni raspored dubina vode obalnog plavljenja.

Sljedeći korak u analizi plavljenja je (numeričko) *modeliranje valnih događaja*. Tijekom poplava valovi se javljaju na poplavljennim površinama i mogu utjecati na građevine smještene na lokacijama koje su inače iznad razine mora. Simulacijama valovanja za mjerodavne morske razine, smjerove i povratna razdoblja može se procijeniti propagacija valova po kopnu, njihov doseg i količine prelijevanja te odrediti morske razine pri kojima će poplavit infrastruktura.

Numeričke simulacije valovanja provedene su pomoću numeričkog modela SWAN. Numerički model treće generacije za primjenu u obalnim područjima *Simulating Waves Nearshore* (SWAN) temelji se na Eulerovoj formulaciji ravnotežne jednadžbe spektralnoga valnog djelovanja (Booij et al., 1999.). SWAN uzima u obzir sljedeća fizikalna svojstva:

- širenje vala u vremenu i prostoru
- opličavanje valova
- refrakciju uzrokovane strujama i dubinom dna
- promjenu frekvencije zbog djelovanja morskih struja i promjenjivu dubinu
- generiranje valova vjetrom
- nelinearna djelovanja: trostruku i četverostruku interakciju valova
- površinski lom valova
- trenje s dnom i lom zbog promjene dubine
- transmisiju kroz prepreke
- refleksiju od prepreka i
- difraciju.

Holthuijsen et al. (2003.) nadograđuju model promjene parametara valova u plitkom području difracijom. Za numeričke simulacije korišten je JONSWAP valni spektar s parametrom $\gamma = 3,3$.

U radu su provedene numeričke simulacije valovanja istraženih lokacija za kritična valovanja za obalna plavljenja (najčešće juga – SE), pedesetogodišnjega povratnog razdoblja za sadašnju visoku i ekstremnu morskou razinu, te u slučaju povećanja morske razine za 30 i 60 cm. Cilj ovih simulacija je analizirati promjene (povećanja) visine valova u akvatoriju područja istraživanja, a time i djelovanja valova na istraženim lokacijama u slučaju rasta morske razine. Provedene su i simulacije značajnih visina valova poplavljene područja radi definiranja rizika zajedničkog djelovanja plavljenja i valovanja. Rubni uvjeti numeričkih simulacija pojedinih lokacija definirani su iz simulacija valovanja šireg područja, baziranih na uniformnom polju vjetra.

Rezultati numeričkih simulacija valovanja na moru i propagacije valova na kopnenom području korišteni su za sve analize plavljenja. Simulacije su provedene za kombinacije mjerodavnih vjetrova i predviđenih ekstremnih morskih razina. Označena su ugrožena područja (površine) za više scenarija porasta morske razine. Rezultati navedenih analiza korišteni su za kartiranje poplava, što uključuje i utvrđivanje zona koje definiraju područja određenog rizika od plavljenja.

Rezultati istraživanja prikazani su u tekstuallnom i digitalnom obliku (GIS), kao i u foto-realističnom prikazu u obliku trodimenzionalnih oblaka točaka, zbog lakšeg korištenja odnosno razumijevanja predviđenih promjena lokalnog stanovništva. U konačnici je dan prijedlog mogućih mjera i smjernica za umanjenje negativnih posljedica koje će uzrokovati podizanje razine mora.





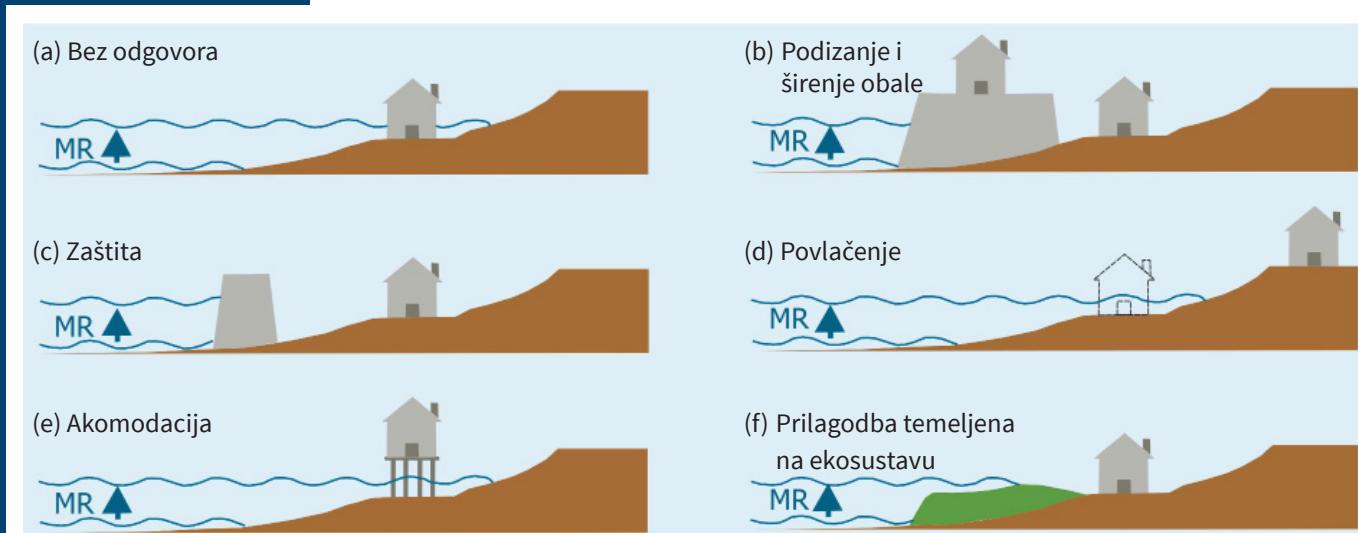
3. MJERE ZAŠTITE OBALNOG PODRUČJA OD PLAVLJENJA

Prema IPCC-u (2021.) adaptacija igra ključnu ulogu u smanjenju izloženosti i ranjivosti na klimatske promjene. Adaptacijske mjere mogu biti anticipativne ili reaktivne, te postupne ili transformacijske. Preobrazbama se mijenjaju temeljna svojstva društveno-ekoloških sustava u očekivanju klimatskih promjena i njihovih utjecaja.

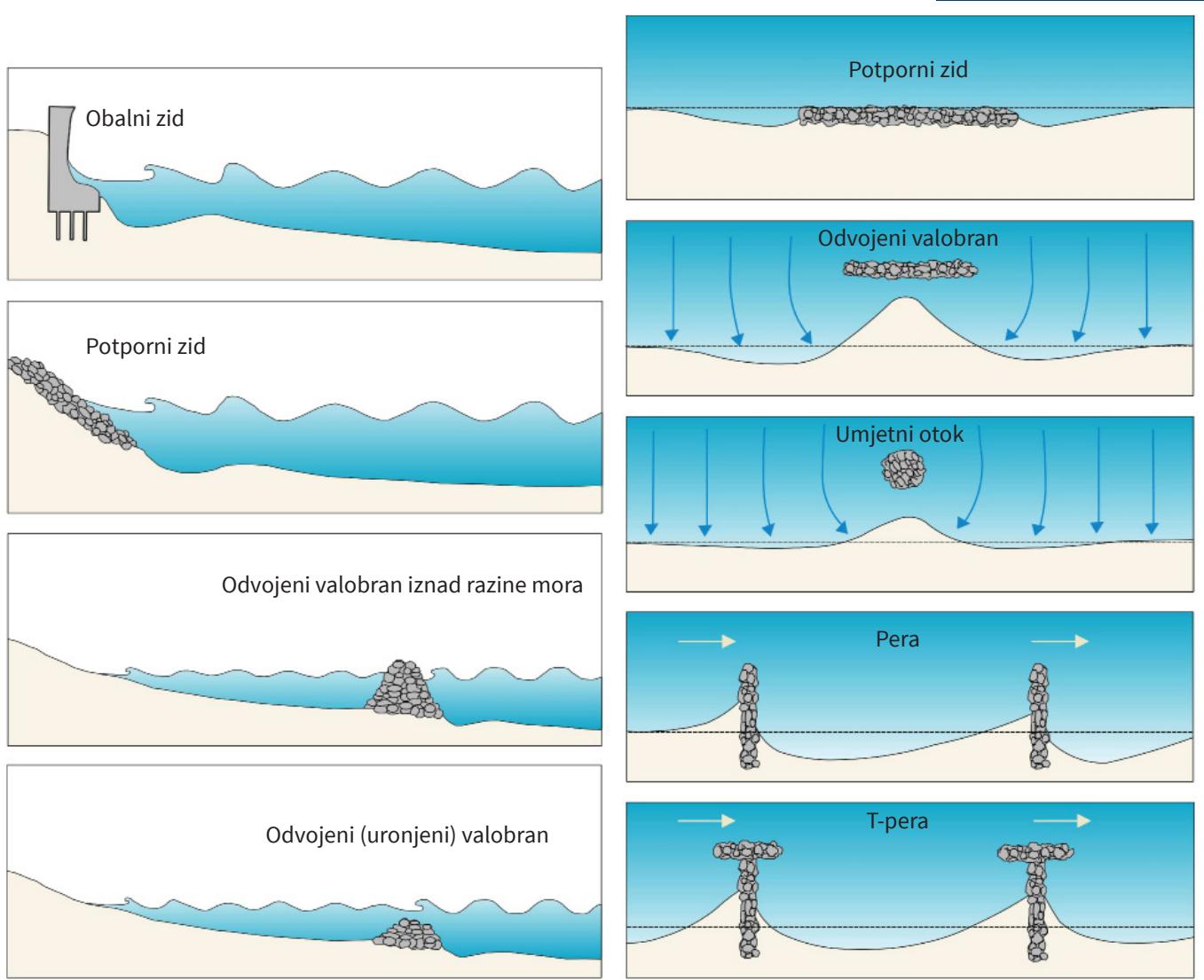
Mogući primjeri za prilagodbu ovom ključnom riziku povezanom s klimatskim promjenama uključuju sustave za rano upozoravanje, osiguranje prostora za zadržavanje vode (retencije) i zelena rješenja, inženjerska rješenja, promjenu u korištenju zemljišta i planirano povlačenje.

Unatoč velikim neizvjesnostima za predviđeni porast razine mora nakon 2050. godine, mnoge se odluke o obalama za buduća razdoblja, od desetljeća pa do više od jednog stoljeća, donose sada (npr. izgradnja i planiranje kritične obalne infrastrukture, radovi na zaštiti obale, planiranje naselja). Odluke se mogu poboljšati uzimajući u obzir relativni porast razine mora, dajući prednost fleksibilnim rješenjima (tj. onima koji se mogu prilagoditi tijekom vremena), podržanim sustavima ranog upozorenja. Činjenica je da će se povremeno odgovori na promjene morati prilagođavati (prilagodljivo donošenje odluka) zajedno s procjenama stručnjaka iz različitih područja i sagledavanjem novih scenarija. Raspon porasta razine mora koji treba uzeti u obzir pri planiranju i provedbi mjera zaštite obalnog područja ovisi o toleranciji rizika dionika. Dionici s većom tolerancijom na rizik (npr. oni koji planiraju ulaganja koja se vrlo lako mogu prilagoditi nepredviđenim uvjetima) često radije koriste vjerojatni raspon projekcija, dok dionici s nižom tolerancijom na rizik (npr. oni koji odlučuju o kritičnoj infrastrukturi) također razmatraju globalne i lokalne srednje razine mora i iznad gornje granice vjerojatnog raspona (globalni porast za 1,1 m za scenarij RCP8.5 do 2100.) te uzimaju u obzir i metode koje karakterizira niža pouzdanost (IPCC, 2019.).

Odgovori na podizanje razine mora prema novijem izvješću IPCC-a iz 2019. pokazani su na Slici 3.



Slika 3. Odgovori na podizanje razine mora (prema: IPCC, 2019.).

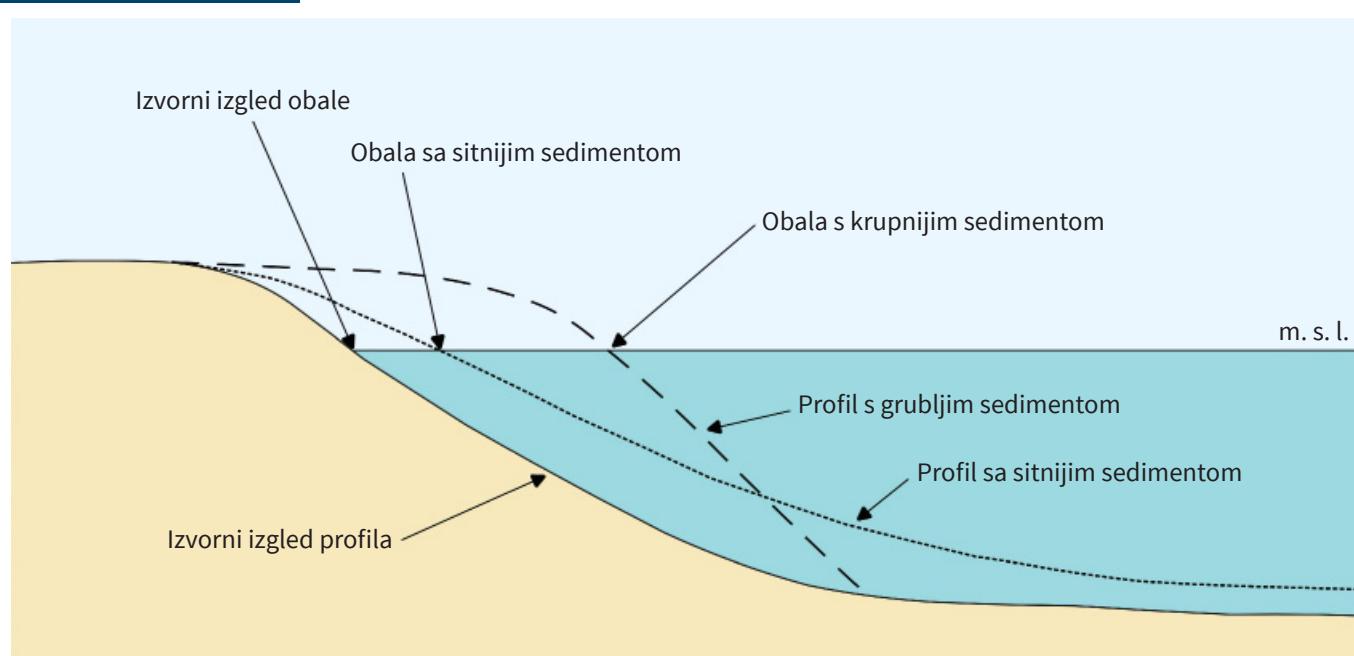


Slika 4. Građevine za zaštitu i obranu obale (izvor: PAP/RAC, 2021.)

Osnovna kategorizacija mjera za prilagodbu klimatskim promjenama je na sive (inženjerske), zelene i socijetalne. Sive opcije odnose se na inženjerska i tehnološka rješenja za poboljšanje prilagodbe infrastrukture. Primjeri tih mjera navedeni su u Tablici 3. (masivna konstruktivska rješenja), a neki su prikazani na Slici 4.

Zelene adaptacijske mjere koriste prirodne ili ekosustavne procese za poboljšanje otpornosti naselja. Poplave s mora, osim što ugrožavaju niska obalna područja, utječu i na sustave odvodnje. Iako izravno ne utječu na plavljenje zbog rasta razina mora, primjena zelenih mjera potrebna je u zaobalu kako bi se sustavi odvodnje rasteretili smanjenjem otjecanja/dotjecanja površinskih i zaobalnih voda (PAP/RAC, 2021.). Naglašava se, međutim, da će zelena infrastruktura također biti ugrožena zbog zatopljenja, ekstremnih vrućina i porasta morske razine.

U Strategiji primjene prirodnih rješenja u prilagodbi na klimatske promjene Grada Zadra (2018.) predložena su prirodna rješenja za ublažavanje utjecaja od poplave obala. Prvo rješenje predlaže izgradnju i jačanje pješčanih dina koje su prirodna



Slika 5. Dohranjivanje plaže (prema: Adriadapt, 2022a)

barijera vjetru i valovima i na taj način štite unutrašnja područja od poplava. Kao prirodno rješenje predloženo je i dohranjivanje plaža (Slika 5.). Kao drugo moguće rješenje, Grad Zadar predlaže izgradnju prirodnih potopljenih valobrana ispred plaže koji bi prigušili visoke valove i smanjili njihov utjecaj na obalu.

Socijetalne adaptacijske mjere podrazumijevaju kvalitetno prostorno planiranje i provedbu socijalnih politika (Adriadapt, 2022b):

- planiranje korištenja zemljišta
 - obalni odmak – definiranje širine pojasa od obalne linije u kojem gradnja nije dopuštena ili je ograničena
 - organizirano povlačenje – izmještanje izloženih ljudi, imovine i aktivnosti izvan obalne zone rizika
- održiv prostorni razvoj obalnog područja
 - racionalna potrošnja prostora
 - očuvanje vrijednosti obalnih krajobraza
 - unaprjeđenje kvalitete izgrađenog prostora
- sustavi ranog upozoravanja
- upravljanje rizikom od katastrofa – potrebno je rizik prepoznati, razumjeti te predvidjeti
- društvene mjere
 - uključenje ugroženog stanovništva u donošenje odluka
 - sustavna izobrazba o klimi.

Općenite mjere i aktivnosti IPCC-a iz 2000. godine navedene su u Tablicama 2. i 3. Orientirane su na prikupljanje podataka o priobalju, izobrazbu javnosti, te na zaštitu, prilagodbu i povlačenje aktivnosti s obale.

Tablica 2. Primjeri važnih aktivnosti za prikupljanje podataka, informiranje i povećanje svijesti za obalnu prilagodbu na klimatske promjene (izvor: IPCC, 2000.)

Mjera	Aktivnost	
Opisivanje priobalnog sustava		
Priobalna topografija i batimetrija	Daljinska istraživanja	mapiranje i snimanje
		videografija
		LiDAR
		satelitsko snimanje
Mjerenja vjetra i valova	valomjerne plutače	
	sateliti	
Mjerenje plima i uspora	mareografi	
Relativna morska razina	mareografi	
	povijesne i geološke metode analiza	
Apsolutna morska razina	sateliti	
	mareografi, sateliti, GPS	
Korištenje zemljišta	zračno i satelitsko daljinsko istraživanje	
Prirodne vrijednosti	analize resursa	
Sociogospodarski aspekti	mapiranje i istraživanje	
Zakonski i podzakonski akti	intervjui, upitnici	
Sociokulturni faktori	intervjui, upitnici	
Procjene klimatskih utjecaja		
Metode temeljene na indeksima	indeks obalne ranjivosti (engl. <i>coastal vulnerability index</i> , CVI)	
	indeks kapaciteta održivosti (engl. <i>sustainable capacity index</i>)	
(Polu)kvantitativne metode	uobičajena metodologija po IPCC-u	
	procjena ranjivosti pomoću zračnih videosnimaka	
	UNEP utjecaj i procjena prilagodbe	
Integrirana procjena	modeliranje spregnutih procesa	
Jačanje svijesti		
Tiskane informacije	brošure, letci, bilteni	
Audiovizualni mediji	novine, radio, TV, filmovi	
Interaktivni alati	uključivanje mladih kroz igre	
	Internet	
	numeričke simulacije	

Tablica 3. Primjeri važnih aktivnosti za zaštitu, povlačenje ili prilagodbu porastu morske razine i ostalih utjecaja klimatskih promjena na priobalje (izvor: IPCC, 2000.)

Mjera	Aktivnost
Zaštita	
Masivna konstrukcijska rješenja	dine, nasipi, zaštitni zidovi
	obalni i potporni zidovi, obaloutvrde
	pera
	odvojeni valobrani (iznad morske razine i uronjeni)
	poplavne brane i barijere
	barijere za prodor slane vode
Prirodna konstrukcijska rješenja	povremeno dohranjivanje plaža
	obnova i stvaranje dina
	obnova i stvaranje močvara
Autohtonu rješenja	pošumljavanje
	drveni zidovi
	kameni zidovi
(Planirano) Povlačenje	
Povećanje ili uspostavljanje zona za povlačenje	
Premještanje ugroženih zgrada i infrastrukture	
Smanjenje ili prekidanje daljnog razvoja u podložnim područjima	
Upravljana reorganizacija aktivnosti i dobara	
Stvaranje zaobalne tampon zone (<i>buffera</i>)	
Prilagodba	
Plan interventnog djelovanja	sustavi ranog upozoravanja
	sustavi evakuacije
Osiguranje od hazarda	
Prilagodba korištenja zemljišta	tehnologije i uporaba (npr. akvakultura, usjevi otporniji na salinitet) ovisne o lokaciji i svrsi
Stroga regulacija u zonama hazarda	
Poboljšanje drenaže	prilagodba promjera cijevi
	povećanje kapaciteta crpki
Desalinizacija	postrojenja za desalinizaciju

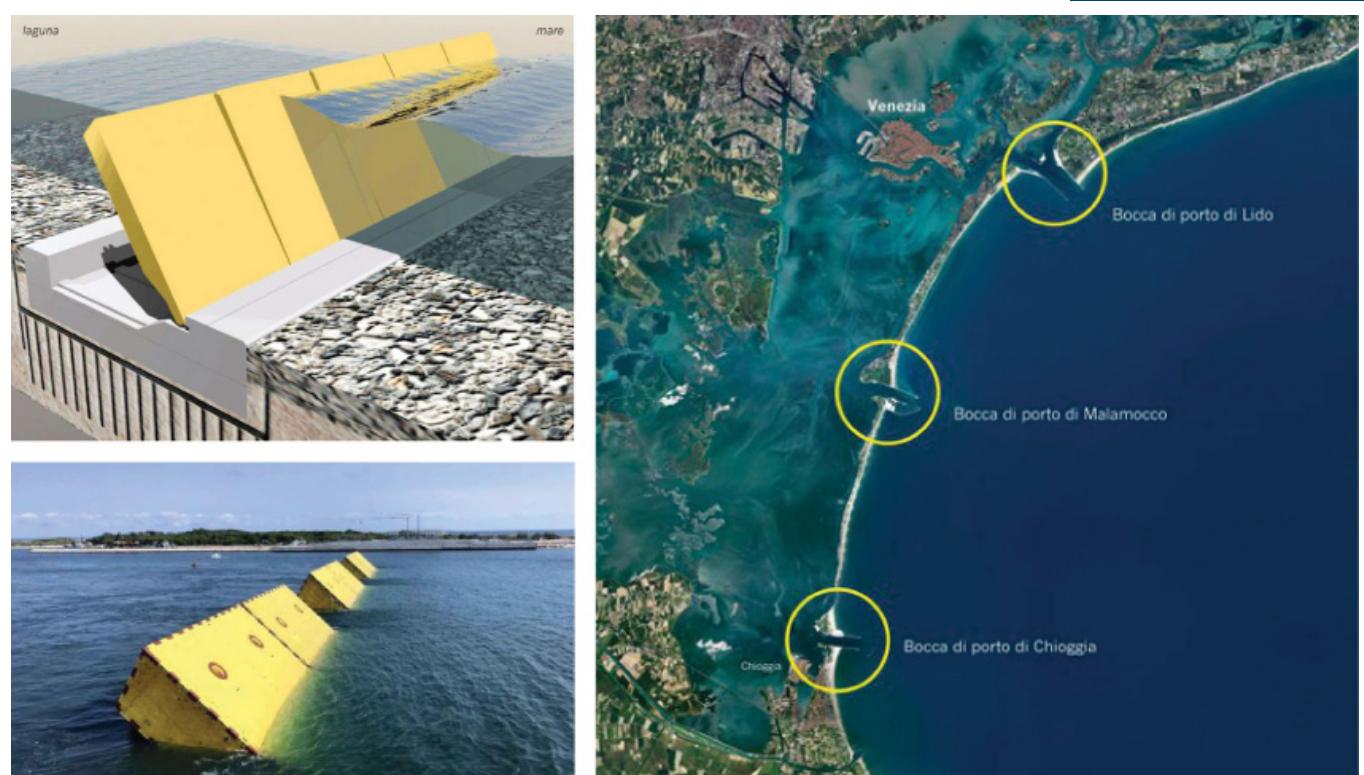
3.1. Primjeri mjera zaštite u svijetu

U sljedećim poglavljima opisana je primjena nekih od navedenih mjera zaštite u svijetu. Ti primjeri dokazuju kako ne postoji univerzalno rješenje problema obalnog plavljenja te da svaka lokacija zahtijeva individualni pristup u provedbi mjera zaštite.

3.1.1. Venecija, Italija

U Veneciji je 2003. godine izveden sustav barijera MOSE, koji se pri visokim razinama mora diže i sprječava prodor mora u venecijansku lagunu (Slika 6.). Projektirana je s ciljem da štiti grad od plavljenja za vrijeme olujnih uspora, pri morskim razinama i do 3 metra. Neki stručnjaci tvrde da je ipak potrebno učiniti više na zaštiti lagune i grada uz MOSE barijeru. Prema njima, problem nije u konstrukciji barijere, već u tome koliko bi se često prolazi zatvarali kada se razina mora digne i visoke plime postanu učestalije i dugotrajnije. Pri porastu razine mora za 50 cm, laguna bi bila zatvorena do 187 dana svake godine (ClimateChangePost, 2016.), što bi imalo nepovoljne ekološke posljedice.

Uz izgradnju sustava MOSE, šetnice i javni prostori u najnižim dijelovima podižu se kako bi se obranili od najčešćih poplava. Trg sv. Marka bi na taj način trebao biti u potpunosti obranjen, iako je nekoliko puta podignut i dosegnuta je najviša visina obale. Ostala će se niska područja s podizanjem moći obraniti od poplava pri razinama mora od barem 110 centimetara (Walraven i Aerts, 2008.).



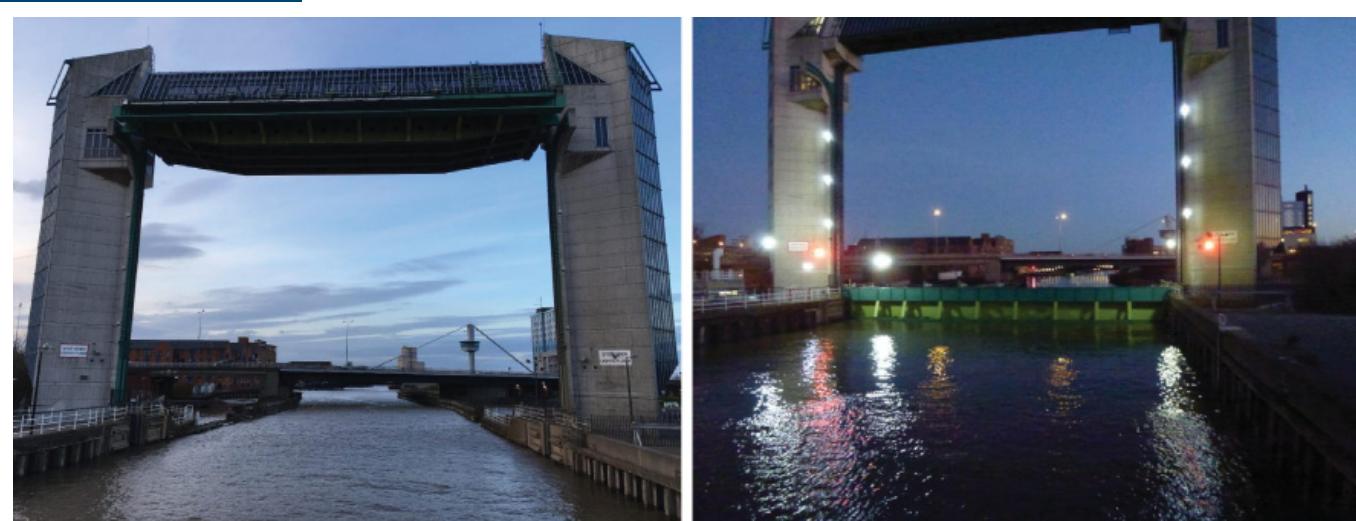
Slika 6. Barijera MOSE koja štiti venecijansku lagunu od plavljenja pri visokim razinama mora (FIRSTonline, 2019.)

3.1.2. Kingston upon Hull, Ujedinjeno Kraljevstvo

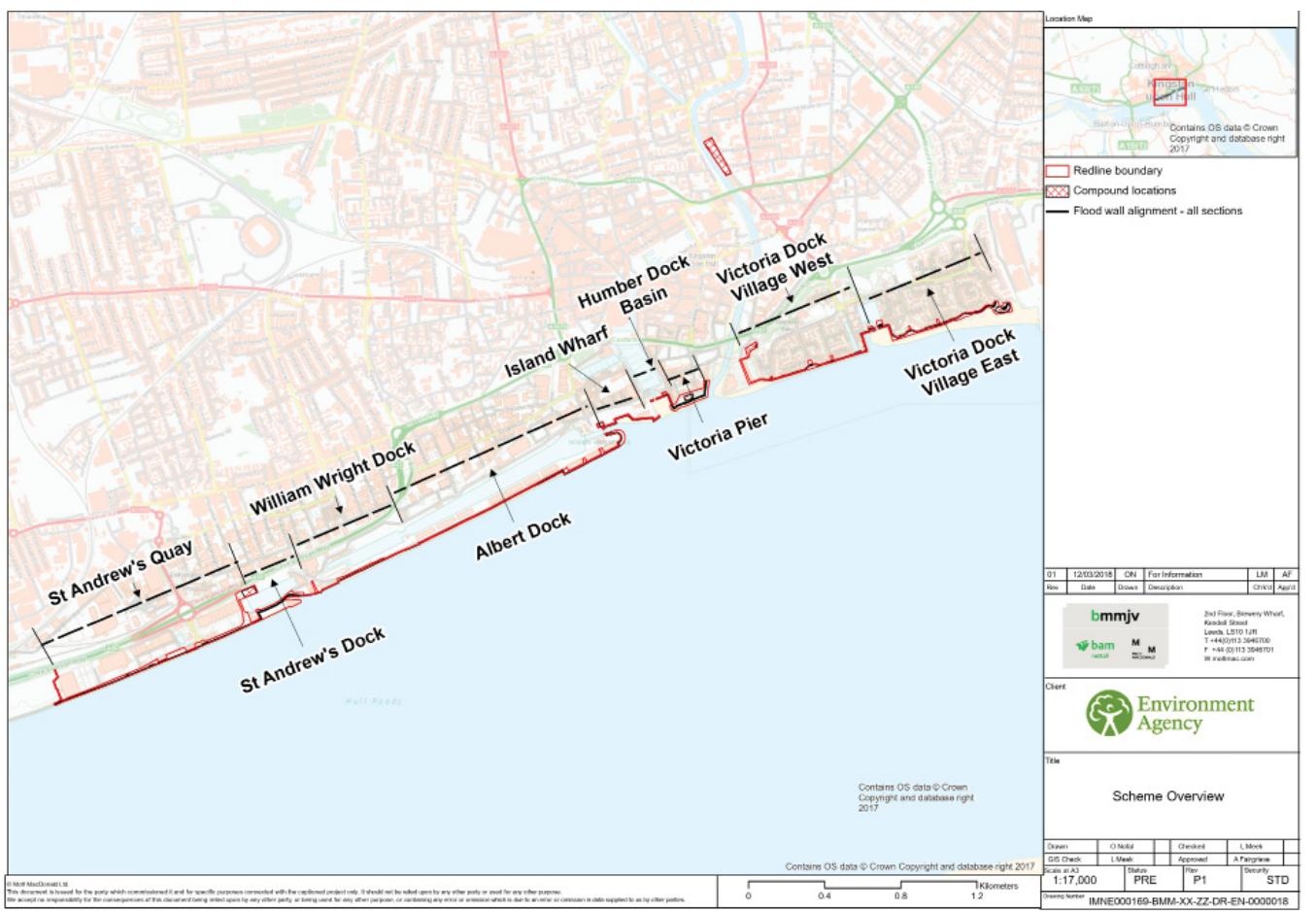
Kingston na rijeci Hull (ili skraćeno Hull) grad je na istoku Engleske koji se većim dijelom nalazi ispod razine mora zbog čega se bori s poplavama. Kroz grad protječe rijeka Hull koja utječe u estuarij rijeke Humber. Prvi sustavi obrane od poplava datiraju od kraja 19. stoljeća, a bili su to betonski obalni zidovi i močvare kao prirodna rješenja. Ponegdje dio obrambenog sustava čine i zidovi različitih stambenih zgrada i skladišta. Godine 1980. izgrađena je barijera (Slika 7.) koja štiti unutrašnjost grada smanjujući uspore u rijeci Hull koji bi se javili zbog visokih razine mora. Široka je oko 30 m i zatvara se kada se prognoziraju ekstremne razine mora. Spuštanje barijere traje oko pola sata (kao i ponovno dizanje) (Fleming et al., 1980.).

Tijekom zadnjih 75 godina na području Hulla dogodile su se tri poplave zbog olujnih uspora i visokih razine mora, a zadnja je bila potkraj 2013. godine kada su zabilježene najviše razine još od 1953. godine. Tijekom visokih plima u proljeće, razine se mora u estuariju diže i do 3 m iznad nekih dijelova naselja.

Nakon poplava 2013. godine uloženo je 42 milijuna funti u sustav zaštite od poplava zbog visokih razine mora, u duljini većoj od 7 km, za zaštitu 113.000 posjeda uz estuarij rijeke Humber. Projekt je započet 2016. godine na najugroženijem dijelu, dok je zaštita ostalih područja završena 2018. godine (Environment Agency UK, 2018.) (Slika 8.). Projektiran je betonski zid uz obalu, a iza zida je izgrađena i uređena šetnica uklopljena u postojeći okoliš (Slika 9.).



Slika 7. Otvorena (lijevo: Risky Cities, 2021.) i zatvorena (desno: Geograph, 2013. ©Malcolm Sandilands) barijera na rijeci Hull



Slika 8. Sustav zaštite od poplava u Hullu (izvor: Environment Agency UK, 2018.)



Slika 9. Novoizgrađeni obalni zid i šetnica (izvor: Environment Agency UK, 2018.)

Tijekom proljeća 2016. u duljini od 520 m ugrađeni su i posebni stakleni paneli kako bi se očuvalo pogled na estuarij (Slika 10.) (East Riding of Yorkshire Council, 2016.). Slični paneli mogu se iskoristiti i kao privremeni sustavi za zaštitu od poplava (IBS Engineered Products, 2016.).



Slika 10. Ugradnja staklenih panela (gore: IBS Engineered Products Ltd, 2016.) i pogled na estuarij rijeke Humber kroz postavljene panele (dolje: Humber Local Enterprise Partnership, 2016.)

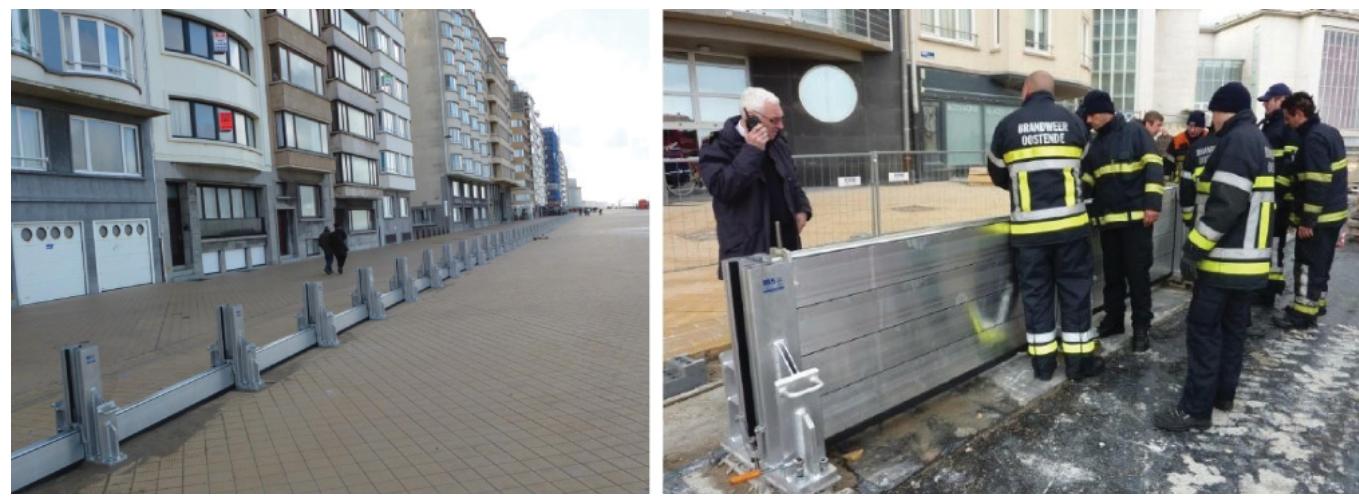
3.1.3. Oostende, Belgija

U mnogim priobalnim gradovima zgrade su izgrađene neposredno uz obalnu šetnicu. Ako su šetnice i zaštićene od djelovanja mora, količina vode koja se prelije tijekom djelovanja visokih valova može zapljušnuti građevine. Prvenstveno vrata i prozori ne mogu izdržati opterećenja od valova. Stoga se u belgijskom gradu Oostendeu, u okviru razrade Plana obalne sigurnosti, provode mjere koje će zaštитiti ljudе i imovinu od oluja tisućugodišnjega povratnog razdoblja. Ozbiljan problem čini prelijevanje valova (Slika 11.).



Slika 11. Preljevanje valova u Oostendeu (izvor: WordPress.com, 2013.)

Iako je između prvog reda građevina i obalne linije ostavljen slobodan veliki prostor (šetnica i plaže), od zapljuškivanja valova često se brane privremenim zidovima kao na Slici 12., nekoliko metara iza obalnog zida. Zid se obično postavlja nakon što sustav za rano upozoravanje najavi olujni događaj. Potrebna visina i odgovarajuća lokacija za postavljanje određuju se modeliranjem (Van Doorslaer et al., 2011.).



Slika 12. Mobilni zid za dodatnu zaštitu od prelijevanja (lijevo: EurOtop, 2018.; desno: Van Doorslaer et al., 2011.)



Slika 13. Plaža ispred obalnog zida, Oostende, Belgija (izvor: Cooper et al., 2020.)

Ispred primarnoga obalnog zida smještenog duž cijele obalne linije grada prostrane su pješčane plaže (Slika 13.). U slučaju podizanja morske razine potrebno je обратити pažnju на takve lokacije i очување sustava jer ће se површина žala uvelike smanjiti bez dohrane и на тај начин мање дисипирати валну енергију (Cooper et al., 2020.).

3.1.4. San Diego, SAD

Kako bi se stanovništvo pripremilo za ubrzano podizanje morske razine, zajednice moraju primjenjivati kratkoročne strategije povezane s dugoročnim rješenjima. Ta-kva prilagodba u fazama (Slika 14.) može pomoći malim, financijski relativno povoljnim i jednostavnim koracima koji će kumulativno rezultirati dugoročnim poboljšanjima sustava zaštite. Na Slici 14. primjer je prilagodbe porastu razine mora u fazama. Ljeva slika prikazuje održavanje postojeće infrastrukture, plaže i ekosustava, dok su dugoročni nacrti za upravljanje obalom još uvijek u fazi izrade. Sljedeća faza podrazumijeva provedbu manjih projekata (dohrana plaže, obnova staništa, podizanje konstrukcija) kako bi se dobilo na vremenu za primjenu većih, dugoročnih rješenja koja će odgovoriti na rast morske razine. U zadnjoj fazi izvedena su ozbiljnija rješenja: infrastruktura je premještena i prilagođena, konstrukcije podignute, sve kako bi se pojačali komercijalni, rekreacijski i prirodni resursi.



Slika 14. Prilagodba u fazama. Lijevo: 2020.; sredina: 2050.; desno: 2080. (izvor: Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, 2019.)

3.2. Primjeri mjera zaštite u Republici Hrvatskoj

Sljedećih nekoliko primjera pokazuju kako se priobalna naselja u Hrvatskoj bore s promjenama razina mora. I ovim se primjerima dokazuje kako je prijeko potreban pojedinačni pristup prilikom provedbe mjera zaštite za ublažavanje posljedica obalnog plavljenja. Prikazani primjeri ističu važnost prostornog planiranja u smanjenju nepovoljnog utjecaja porasta razine mora.

3.2.1. Crikvenica

Grad Crikvenica danas nije izložen obalnom plavljenju zbog provedenoga obalnog odmaka koji se odvijao planski od polovine 18. stoljeća. Nasipavanjem obale dobivene su značajne otvorene površine, koje su većinom ostale neizgrađene i štite Crikvenicu od obalnog plavljenja.

Promjene obalne linije u Crikvenici moguće je pratiti još od ranog 18. stoljeća. Stare karte (Slika 15.) jasno ukazuju na pomicanje obalne linije prema moru od polovine 18. stoljeća, kada su građevine koje su bile prvi red do mora postale udaljenije od obalne linije, a time i zaštićene od plavljenja.



Slika 15. Promjene crikveničke obale: a) prvo vojno snimanje Austro-Ugarske Monarhije, 1774. – 1775.; b) drugo vojno snimanje, 1821. – 1824.; c) treće vojno snimanje, 19. stoljeće; d) katastar Austro-Ugarske Monarhije, 19. st. (izvor: Arcanum Maps)



Slika 16. Crikvenica prije 1968. godine (DGU, 2015.)

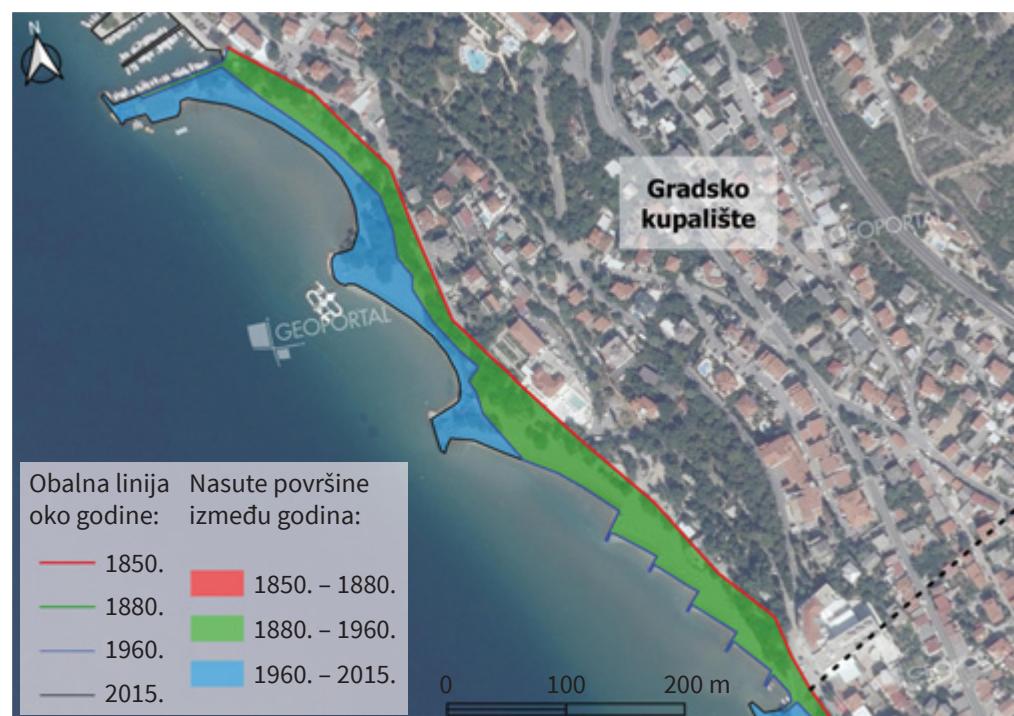
Godine 1870. počela se graditi crikvenička luka, a tijekom 1920. godine završena je i poprimila današnji izgled (Krištafor et al., 1988.). Godine 1894. uređena je Vindolska ulica (ranije Školska) i zasađen je drvoređ, a naredne godine izgrađen je i prvi vodovod od Mavrićeva vrela u Grižanama do hotela Nadvojvode Josipa. Učestalom nasipavanjem mora stvarao se i uređivao obalni put od glavnog pristaništa do Crnog mola, te su oblikovani današnje Strossmayerovo šetalište i parkovi (Milat-Ružić, 2008.).

Na Slici 16. prikazano je stanje obale grada Crikvenice prije 1968. godine.

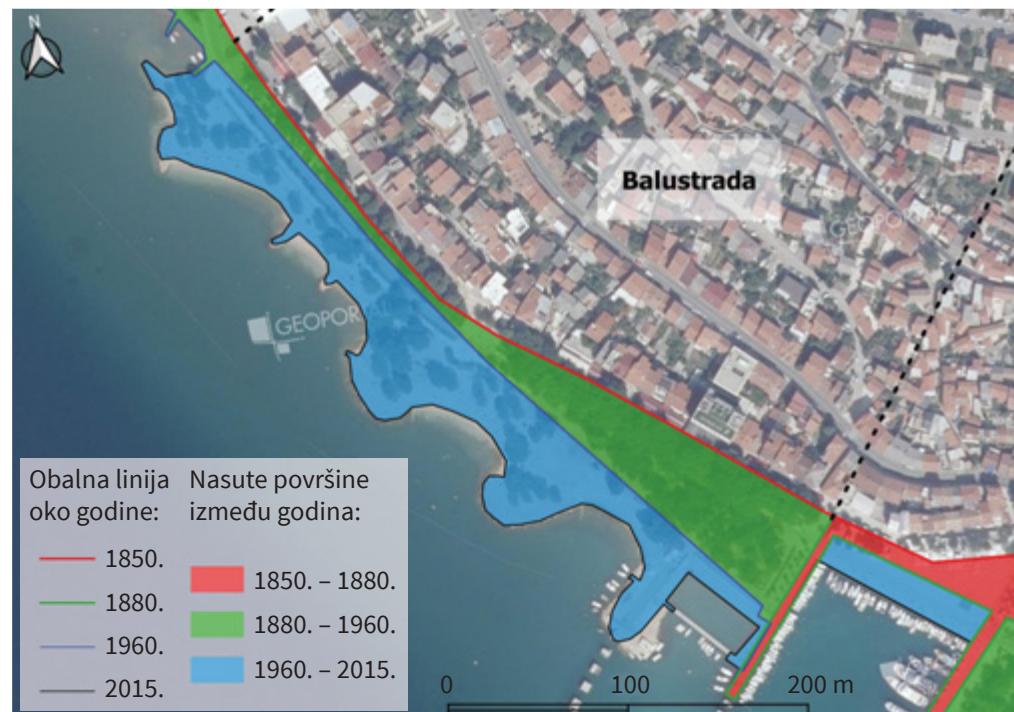
Usporedbom povijesnih karata (Slika 15. i Slika 16.) i današnjeg stanja provedena je procjena nasutih površina.

Pješčano Gradsko kupalište (Slika 17.) uređeno je 1901. godine, a 1910. izgrađeni su paviljoni za razne plažne sadržaje (Škratović, 2008.).

Na Slikama 17 – 20. prikazane su površine nasute tijekom 200 godina na području šireg središta Crikvenice.

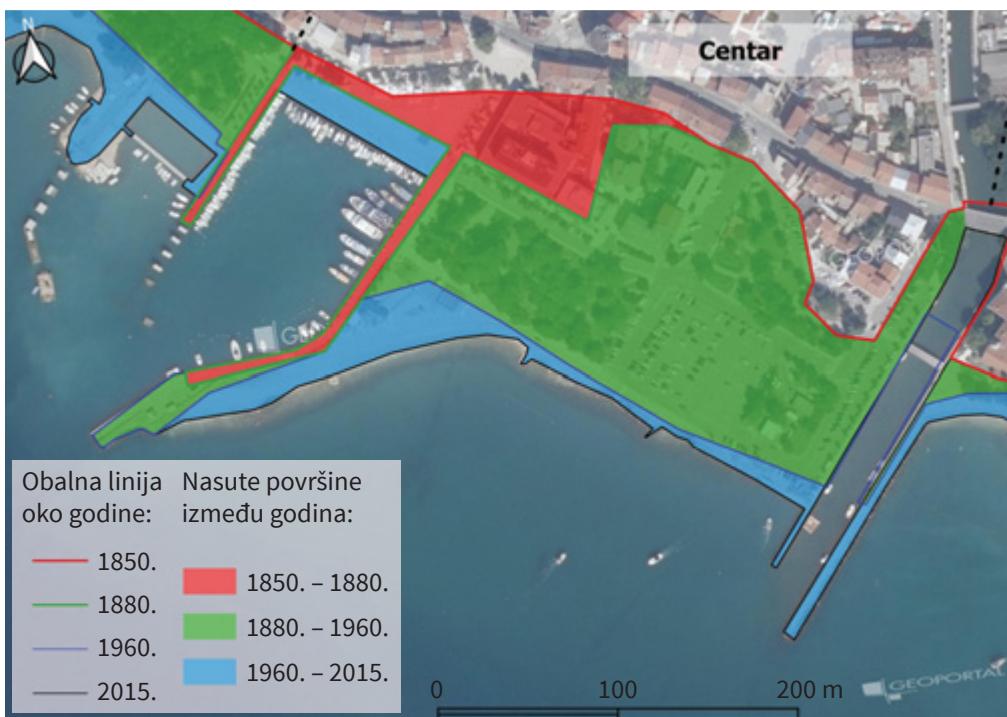


Slika 17. Gradsko kupalište – nasute površine (prema: Arcanum Maps)

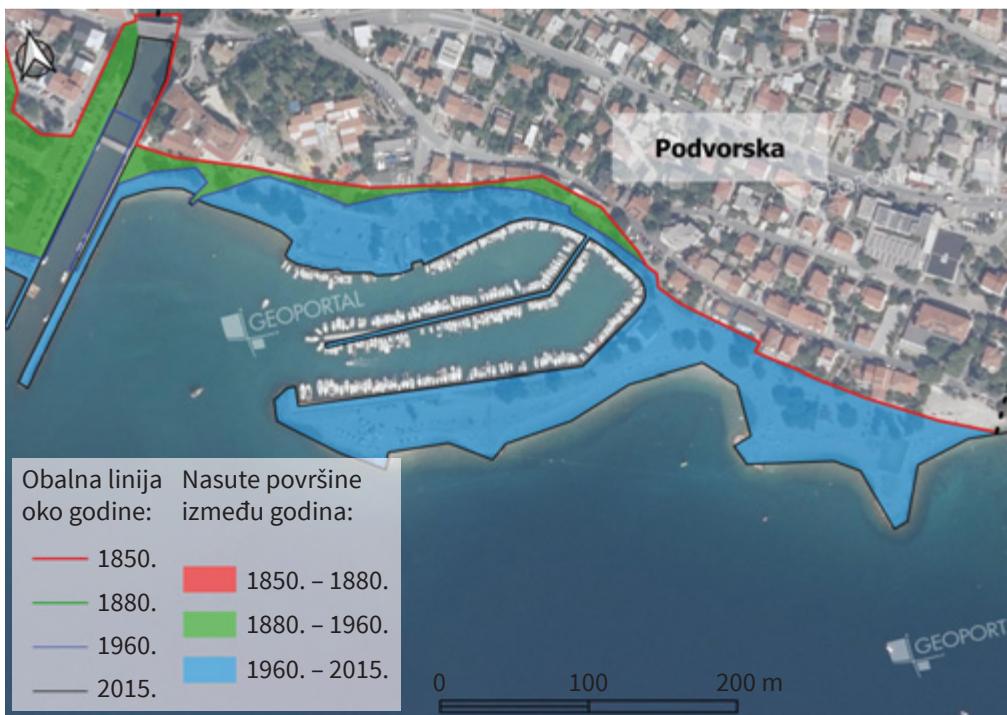


Slika 18. Balustrada – nasute površine (prema: Arcanum Maps)

Okvirne vrijednosti novih površina dane su u Tablici 4. Svaki pomak obalne linije na crikveničkom području sastojao se od širenja javnih površina, uglavnom bez izgradnje. Zbog toga ne dolazi do obalnog plavljenja i posljedičnih oštećenja na zgradama i infrastrukturi. Štete trpe jedino plaže i šetnice (Slika 21.) čija je sanacija relativno jednostavna i nije financijski zahtjevna.



Slika 19. Crikvenica-centar – nasute površine (prema: Arcanum Maps)



Slika 20. Podvorska – nasute površine (prema: Arcanum Maps)

Tablica 4. Površine nasute duž obale u Crikvenici od polovine 19. stoljeća do 2015. godine

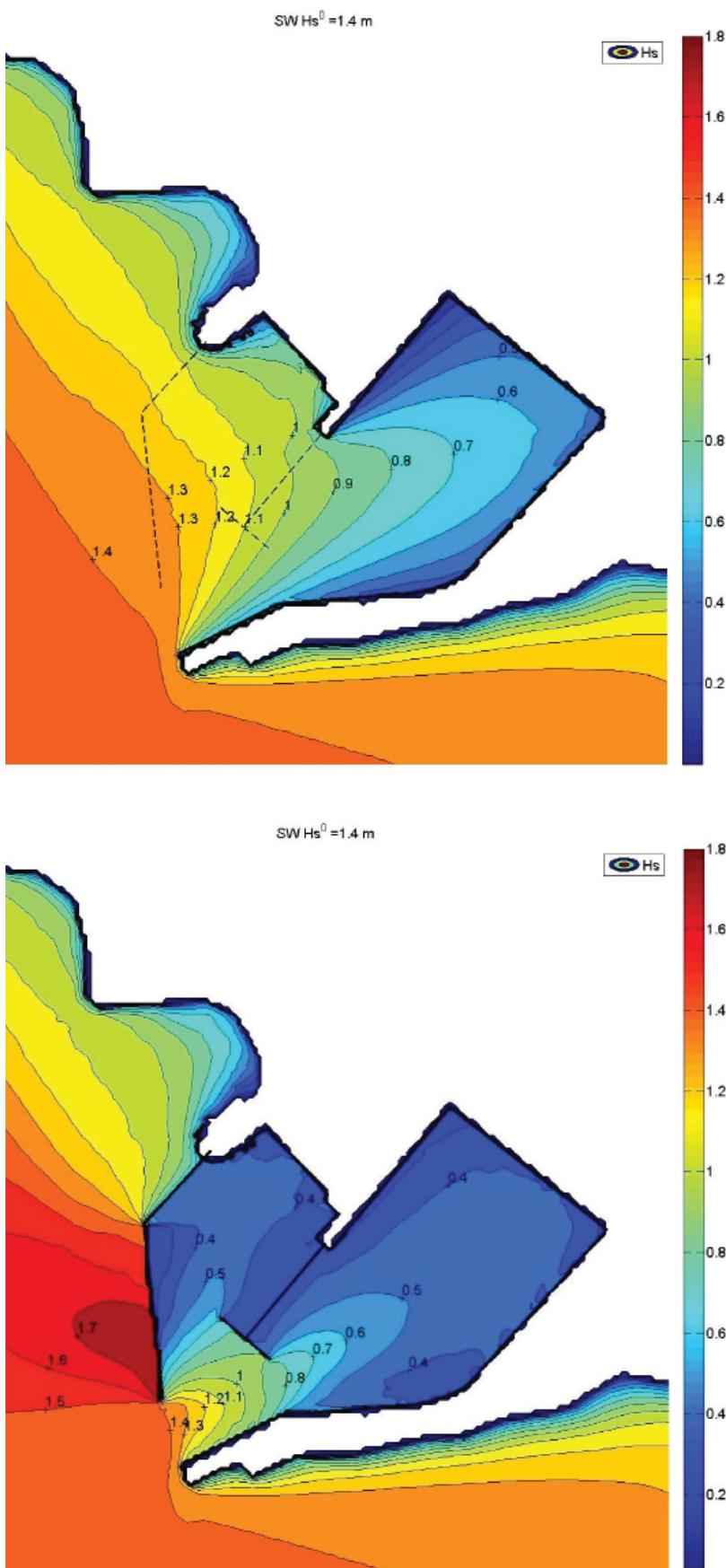
Crikvenica – nove površine [$\times 10^3 \text{ m}^2$]					
Godina (oko)	Gradsko kupalište	Balustrada	Centar	Lučica Podvorska	Ukupno
1850. – 1880.			8,4		8,4
1880. – 1960.	20,1	10,7	32,3	3,8	66,9
1960. – 2015.	10,5	16,4	7,2	32,2	66,3
Ukupno	30,6	27,1	47,9	36	141,6



Slika 21. Oštećenja plaže International u Crikvenici 2018. godine

Postojeći problemi s plavljenjem rezultat su oborinskog otjecanja, visokih razina podzemnih voda i vodnog režima Dubračine, i nastale štete se ne mogu povezati s obalnim plavljenjem. Uspor mora može imati utjecaj na vodostaje Dubračine u Crikvenici.

Na obalnom području grada Crikvenice moguća su značajna poboljšanja na nedavno nasutim dijelovima obale. Novoformirana umjetna žala često su erodirana nakon olujnih nevremena. Uzrok tome može biti neodgovarajući oblik, orientacija i veličina sedimenta žala te njegova izgradnja na nepovoljnoj lokaciji.



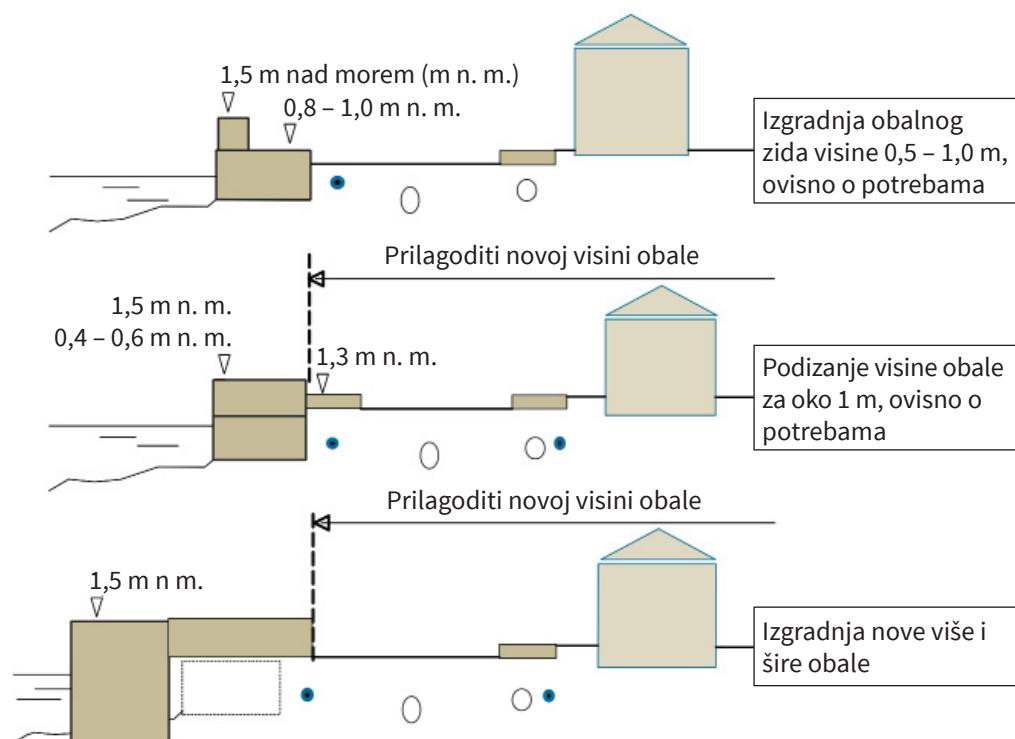
Slika 22. Značajne valne visine, SW smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, MR (morska razina) = 0,60 m n. m., gore: nekadašnje stanje, dolje: nakon izgradnje lukobrana (2021.)

Novi lukobran, izgrađen 2021. godine, značajno je smanjio valovanja u luci, a time i prelijevanja preko obale i obalno plavljenje za današnje i predviđeno stanje. To je primjer kako nova infrastruktura može umanjiti obalno plavljenje. Na Slici 22. prikazani su rezultati numeričkih simulacija valovanja za stanje prije i nakon izgradnje lukobrana.

3.2.2. Adaptacijski plan Kaštela

Plan upravljanja obalnim područjem Grada Kaštela donesen je 2019. godine i njime je definirana izrada akcijskog plana temeljenog na integralnom upravljanju obalnim područjem i prostornom planiranju morskog područja, u skladu s Protokolom o integralnom upravljanju obalnim područjem Sredozemlja⁵ i Metodološkim okvirom za integralno planiranje⁶. Ciljevi ovoga plana bili su (Margeta et al., 2019.):

- racionalnim planiranjem aktivnosti omogućiti održivi razvoj obalnih područja
- sačuvati obalno područje
- osigurati održivo korištenje prirodnih resursa



Slika 23. Potencijalna buduća rješenja podizanja i širenja obalnog zemljišta (izvor: Margeta et al., 2019.)

⁵ Protokol Barcelonske konvencije: EU, 2009. *Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A22009A0204%2801%29>.

⁶ PAP/RAC, 2015. *An Integrative Methodological Framework (IMF) for coastal, river basin and aquifer management*. <http://iczmplatform.org//storage/documents/b1wUPA4UtQvagztjcArnXKnDBV-N0YoqUkg3EWpxi.pdf>.

Studija je uključivala i analizu ranjivosti u odnosu na obalno plavljenje. Grad je podijeljen u tri zone prijetnji, od obalnog plavljenja prema nadmorskoj visini i očekivanom porastu morske razine. Dobivene površine preklopile su se, među ostalim, s ulicama i kućnim brojevima kako bi se definirala osjetljivost izložene imovine.

U suradnji s dionicima, konačno su predložene i adaptacijske mjere (npr. Slika 23.) za očuvanje kulturne baštine Kaštela te istodobni razvoj održivog turizma.

3.2.3. Formiranje žala – Baška vs. Rijeka

Na području je Primorsko-goranske županije dobar primjer zaštite obale od plavljenja i erozije u naselju Baška na otoku Krku. Žala uz Ulicu Palada formirana su 2003. godine kada je izведен zahvat uređenja obale uz ulicu. Prije toga, od 1993. do 2003. godine dolazilo je do čestog oštećenja obalnog zida zbog podlokavanja izazvanog djelovanjem valova. U prvoj fazi pokušavalo se formirati žalo ispred obalnog zida i sanirati oštećeni kameni obalni zid, ali bi nasuti materijal bio brzo odnesen. Kamena školjera izgrađena 2003. godine omogućila je zadržavanje nasutog materijala, što je zaštitilo obalni zid od oštećenja, odnosno podlokavanja (Capić, 2005.). Na Slici 24. prikazana su formirana žala uz Ulicu Palada.

Novoformirana žala koriste se kao kupališta, štite obalni put od podlokavanja, ali i umanjuju potencijalna plavljenja i zapljuškivanja građevina na Ulici Palada, do kojih bi sigurno dolazilo jer su visine ulice od 1,50 do 1,90 m n. m. Žala adsorbiraju većinu energije valova i samo rijetko dolazi do prebacivanja manje količine sedi-



Slika 24. Baška, formirana žala uz Ulicu Palada



Slika 25. Plaža hotela Hilton, u Rijeci tijekom zime 2021./2022.

menta na ulicu. No to su umjetno formirana žala koja nemaju prirodan sustav dohrane, zbog čega ih je potrebno redovito održavati. Površina žala uz Ulicu Pala- da značajno se smanjila od 2004. do 2014. godine zbog gubitka sedimenta (Benac, 2015.). Taj je gubitak posljedica korazije zrna šljunka u tijelima žala i dužobalnog transporta sedimenta prema Veloj plaži. Kako bi se zadržao volumen tijela žala, potrebno je provoditi redovitu sezonsku dohranu.

Na Slici 25. prikazan je primjer plaže ispred hotela Hilton u Rijeci, snimljen tijekom zime 2021./2022.

Ovo je primjer formiranja plaže na nepovoljnoj lokaciji, na kojoj zbog prevelike dubine izgradnje ne dolazi do dovoljnog opričavanja valova. Na tijelo žala dolaze veliki valovi koji izazivaju intenzivne pomake sedimenta žala. Kota partera iza tijela umjetnog žala je preniska zbog čega ne dolazi do formiranja dovoljno visoke berme žala. Nije moguće formiranje „zimskog“ – visokog i strmog profila tijela žala, koji anulira djelovanja valova juga. Posljedično dolazi do prebacivanja veće količine sedimenta na uređeni dio partera iza žala. Djelovanje valova u kombinaciji s prebacivanjem šljunka može izazvati značajna oštećenja.

3.2.4. Mali Lošinj

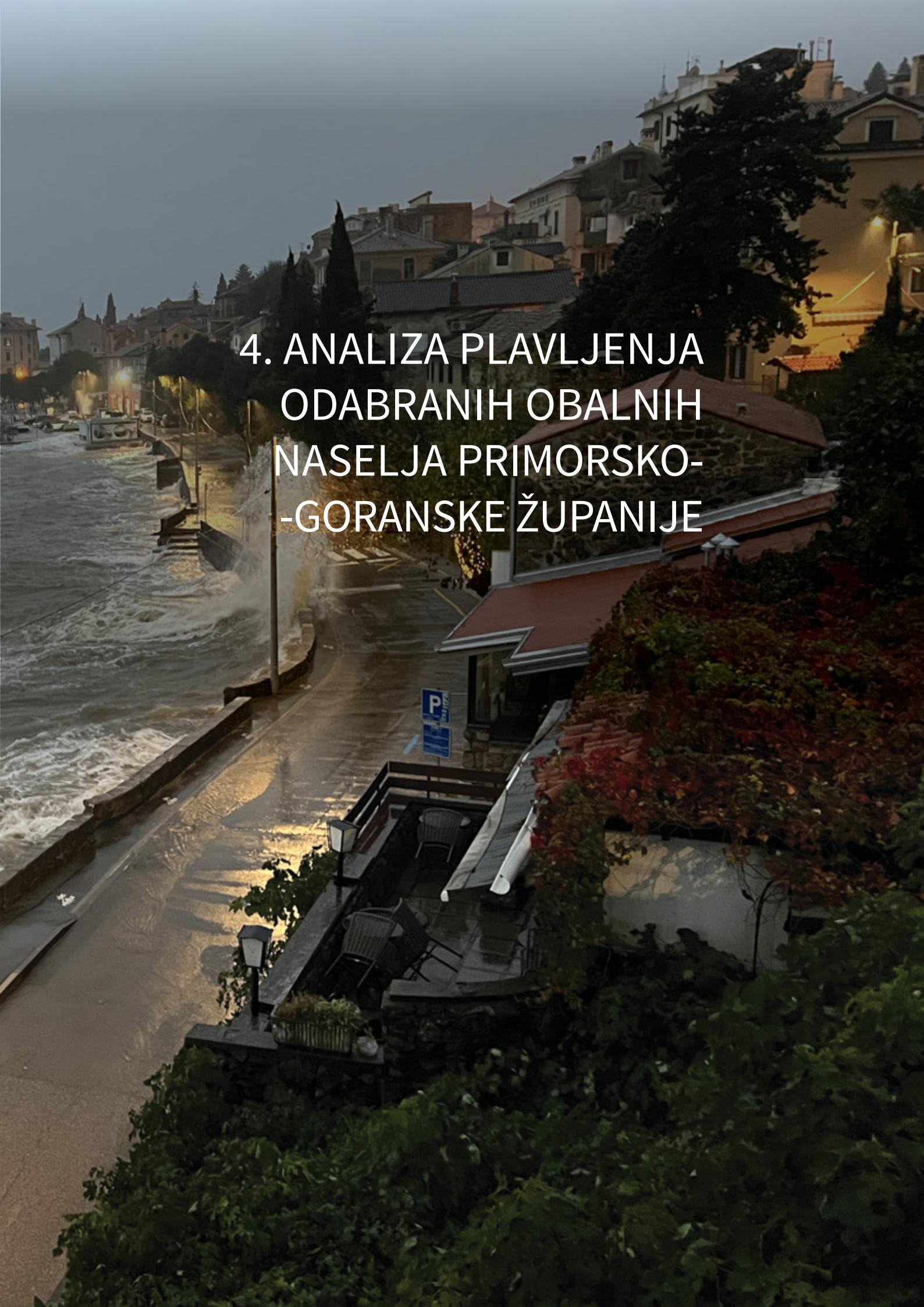
Na Slici 26. prikazana je obala Rive lošinjskih kapetana u Malom Lošinju, preuređena 2006. godine.

U korijenu gradske luke izgrađen je novi obalni zid koji sadrži komore za smanjenje refleksije valova. Kota obalnog zida je viša u odnosu na prijašnju, a obala je prošrena. Tim rješenjem znatno je smanjena agitacija valova u luci, ali je plavljenje obalnog područja grada samo djelomično umanjeno. Stoga Riva lošinjskih kapetana i dalje plavi jer nije učinjeno cijelovito rješenje obrane od obalnog plavljenja. Na lijevom dijelu Slike 26. može se primijetiti detalj kosog nadvišenja obale koji, osim što nije ugodan za hodanje zbog velikoga poprečnog nagiba, ne pruža odgovarajuću zaštitu od obalnog plavljenja nakon što dođe do njezinog prelijevanja valovima.



Slika 26. Mali Lošinj, obala Rive lošinjskih kapetana (*lijevo: Igor Ružić, desno: HR-CRO Croatia*)





A photograph of a coastal town at night. In the foreground, a sea wall made of large concrete blocks runs along the water's edge. Waves are crashing against the wall, creating white foam. To the left, a street lamp illuminates the wet asphalt. In the middle ground, a building with a red roof has a balcony with outdoor furniture. A blue parking sign with a white 'P' is visible. The background shows a hillside covered in houses with various colored roofs, some with lights on. The sky is dark, suggesting it's nighttime.

4. ANALIZA PLAVLJENJA ODABRANIH OBALNIH NASELJA PRIMORSKO- GORANSKE ŽUPANIJE

Provedena je analiza plavljenja obalnih naselja Cresa, Raba, Punta i Voloskog (Slika 1.).

Analizirana su plavljenja tih naselja za najveću zabilježenu morskú razinu od 1,15 m n. m. i više scenarija podizanja razine mora. Najveća zabilježena morska razina od 1,15 m n. m. definirana je rekonstrukcijom razine plavljenja na osnovi opažanja lokalnog stanovništva, zbog čega su moguća određena odstupanja od stvarnih vrijednosti. Za potrebe točnih mjerena i odgovarajućih procjena budućih morskih razina, preporučuje se povećanje broja mareografskih postaja na području Županije.

Za sva istražena naselja najprije je opisana njihova povijesna važnost i razvoj, zatim prikazane površine koje će plaviti s porastom morske razine u budućnosti. Provedene su i numeričke simulacije valovanja za akvatorije i prikazana propagacija valova na poplavljennim površinama za sadašnje i buduće razine mora, te su opisane mogućnosti zaštite od obalnog plavljenja.

4.1. Cres

Osnovica prostornog razvoja grada Cresa datira iz 15. st. kada su podignute gradske zidine. Već u rimsko doba formirano je naselje na mjestu prapovijesne gradine na brdu Bartolomeju. U ranome srednjem vijeku nastalo je naselje uz obalu oko današnje crkve sv. Sidara. U luci, gdje je bila izgrađena većina javnih građevina, ističu se gradska vrata s tornjem za sat (16. st.) i gradska loža (15/16. st.), patricijske palače: Petris, Moise, Rodinis te benediktinski samostan sv. Petra. Tijekom 16. stoljeća podignute su nove gradske zidine, zaštićena je luka, a izgrađene su i brojne patricijske palače, knežev dvor i zvonik katedrale. Grad je nastavio rasti sve do 18. st., ali je ostao unutar zidina. Danas su ostali očuvani dijelovi starih gradskih zidina i okrugla obrambena kula (Hrvatska enciklopedija, 2021a).

Cres (Slika 27.) je sve češće izložen obalnim poplavama izazvanim ekstremnim razinama mora. Do sada najučestalije poplave bile su tijekom zime 2019./2020., čemu je uzrok porast razine mora u kombinaciji s morskim mijenama, valovima i olujnim usporom te mogućim slijeganjem dijela grada. Na užem području grada na kojem su se radile analize plavljenja, prosječna vrijednost CVI-ja za varijablu obalnog plavljenja iznosi **4,5**, što podrazumijeva veoma visoku ranjivost.

Istraženo je područje površine 91.750 m^2 (površina kopnenog područja) i obalna linija ukupne duljine 2.204 metra. Za analize je u obzir uzeta generalizirana obalna linija koja ne uključuje lukobrane i molove, te je duljine 1.219 metara. Geodetska podloga u obliku trodimenzionalnog oblaka točaka rezolucije je 25 centimetara. Rezolucija je smanjena u odnosu na originalnu kako bi se smanjilo vrijeme koje je računalu potrebno za obradu podataka, jer se radilo o gotovo 703 milijuna točaka.



Slika 27. Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)

Slika 27. pokazuje da je **istraženo područje dio kulturno-povijesne urbanističke cjeline** grada Cresa, odnosno nalazi se unutar granice zaštićenih kulturnih dobara.

Na Slici 28. prikazano je tipično obalno plavljenje grada Cresa.

Razlog sve češćem plavljenju Cresa je porast srednje razine mora i povećanje ekstremnih razina mora za vrijeme olujnih uspora. Urbana osnova grada datira iz 15. stoljeća zbog čega su vjerojatna i slijeganja dijela terena, što do sada nije istraženo te ne postoje relevantni podaci. Vjerojatno je došlo i do podizanja razine podzemnih voda u gradskom središtu kao posljedica navedenih procesa.

Grad Cres bio je često izložen bujičnim poplavama i poplavama izazvanim površinskim otjecanjem. Poplave su spriječene izgradnjom retencijske pregrade na području Ulice Turion, 2013. godine (Slika 29.). To je relativno jednostavna i financijski povoljna građevina za obranu od poplave, što je bilo moguće izvesti zbog odgovornog korištenja prostora grada. Izgradnja sličnih građevina često nije moguća zbog neodgovarajuće postojeće izgradnje obalnog područja.



Slika 28. Plavljenje grada Cresa (Novi list, 2020.)

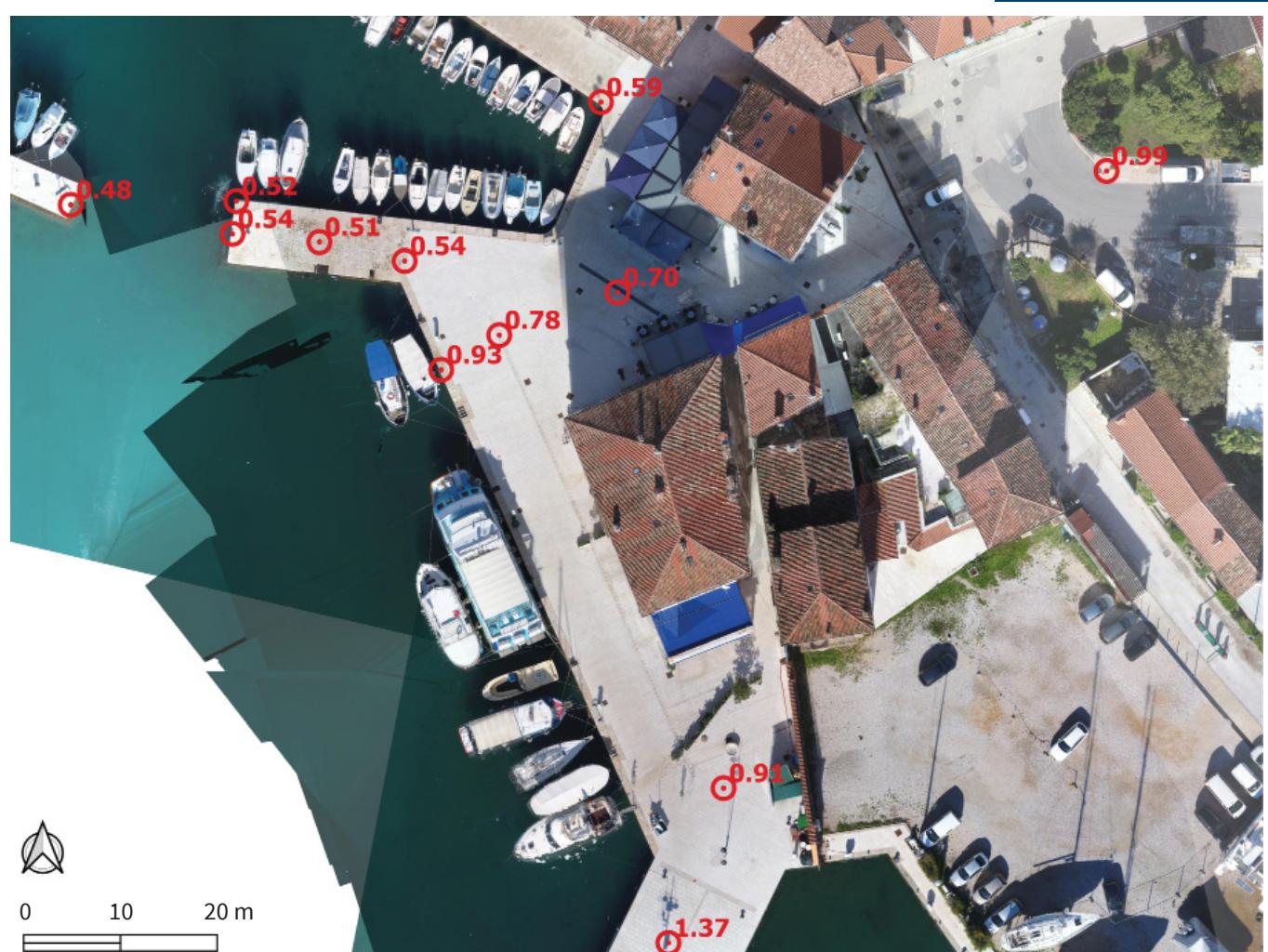


Slika 29. Retencijska pregrada u gradu Cresu izgrađena 2013. godine (Foto: Josip Rubinić, 2022.)

4.1.1. Plavljenja obalnog područja Cresa

Od 15. st. do danas došlo je do podizanja srednje razine mora za više od 50 cm (Šegota, 1976., 1968.), a vjerojatno je došlo i do određenog slijeganja terena. Došlo je i do mogućeg povećanja razine podzemnih voda zbog promjene režima otjecanja o čemu ne postoje točni podaci. U posljednje vrijeme sve češće dolazi do plavljenja središta grada Cresa, prvenstveno zbog podizanja srednje razine mora u odnosu na 15. stoljeće, od kada datira urbana osnova grada.

Na Slici 30. prikazani su rezultati terenskog mjerjenja dosega obalnog plavljenja u gradu. Kod ekstremnih razina mora dolazi do plavljenja područja grada sve do benzinske postaje (INA Cres centar). Rekonstruirana je visina plavljenja iz 2019. godine od oko 1,00 m n. m., što vjerojatno i nije najveća visina poplave zbog dodatnog utjecaja dubine vode i vremena plavljenja. U Cresu ne postoje mjerjenja razina mora pa se nakon terenskog uvida s djelatnicima Lučke uprave Cres zaključilo da su dosadašnje poplave bile oko visine 1,10 m n. m. U dalnjim analizama razina dosadašnjeg plavljenja definirana je visinom 1,15 m n. m. Na najbližem mareografu u Bakru zabilježena je morska razina od 1,27 m n. m.

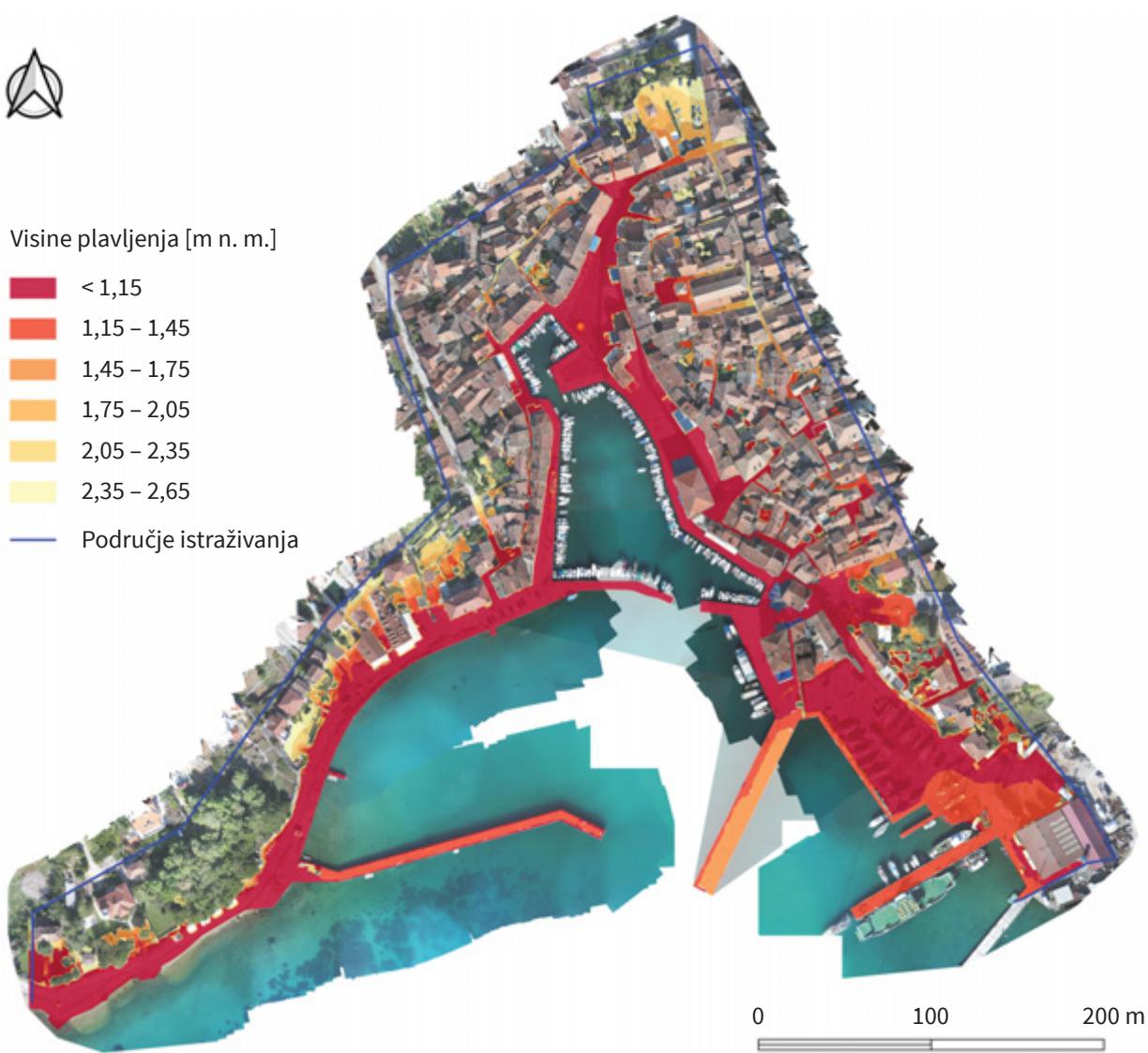


Slika 30. Zabilježeni doseg plavljenja tijekom obalne poplave 2019. godine

Za točno definiranje visine plavljenja, te mjerodavne razine plavljenja za različita povratna razdoblja i eventualnu uspostavu sustava ranog upozoravanja, preporučuje se uspostava trajnog mareografa u luci grada.

Površine obalnog plavljenja u Cresu za analizirane razine mora prikazane su na Slici 31.

Za razine mora 1,15 m n. m., odnosno za postojeća plavljenja, površine plavljenja (bez zgrada) su 23.250 m^2 , a širina obalnog pojasa pod morem je u prosjeku 60 metara. U slučaju očekivanog porasta ekstremne morske razine na 1,45 m n. m., granica plavljenja nalazit će se čak 75 m dalje od trenutne obalne linije, a površine plavljenja za ovaj scenarij iznose 30.160 m^2 . Uzmu li se u obzir i površine građevina koje se nalaze u plavljenim zonama (Slika 32.) veličine površina u svakom scenariju u prosjeku se povećavaju za čak 94 %. Površine plavljenja za sve scenarije dane su u Tablici 5. gdje je i podatak o plavljenoj površini po duljini pojednostavljene obalne linije (1.219,1 m). U duljini takve obalne linije nisu uključeni lukobrani i molovi.

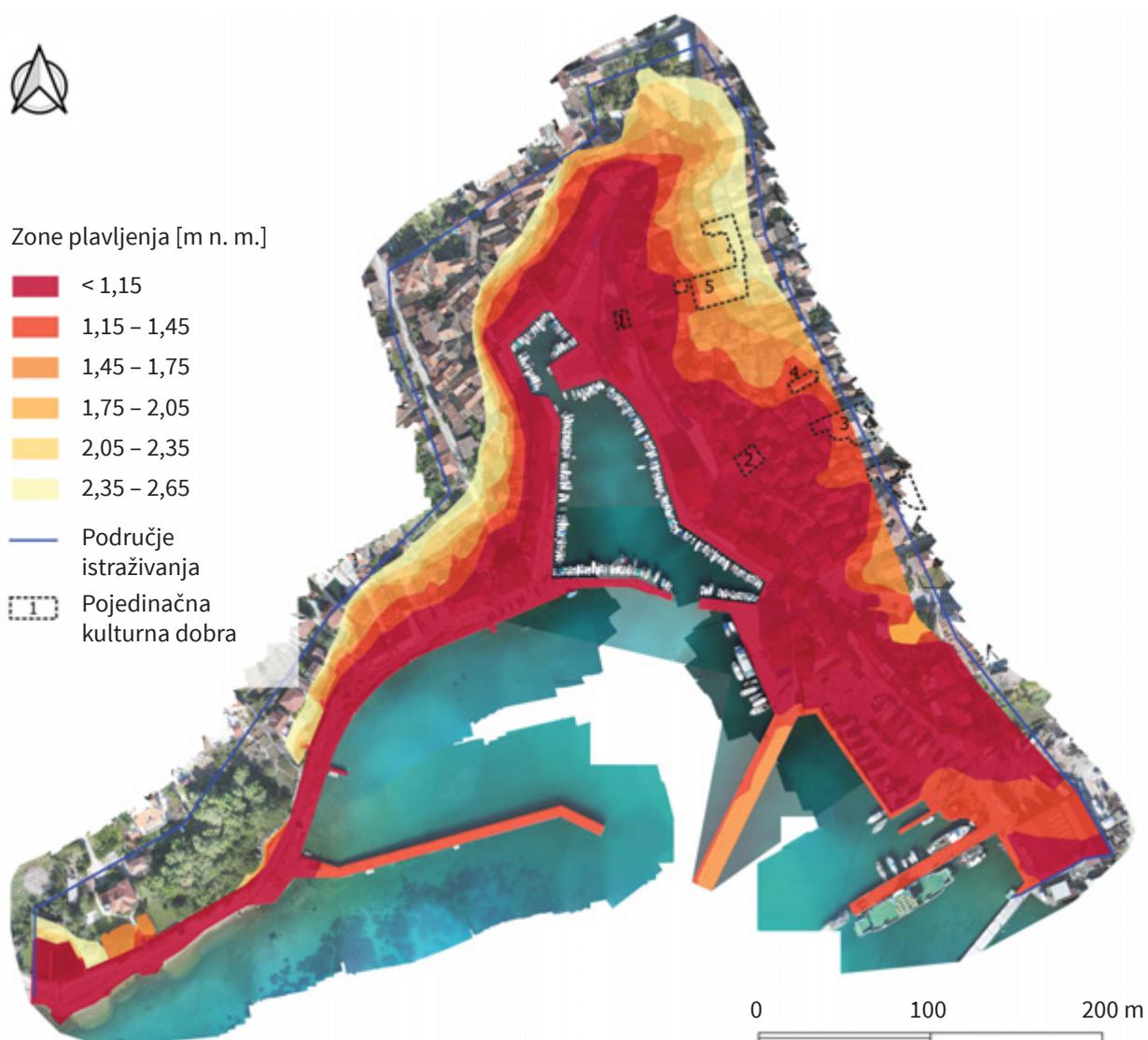


Slika 31. Površine obalnog plavljenja grada Cresa za morske razine od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.

Tablica 5. Plavljenje površine u Cresu pri analiziranim morskim razinama

Razina [m n. m.]	Plavljenja površina [m ²]		Površina po m' OL [m ² /m']		Broj plavljenih zgrada*
	Bez zgrada	Sa zgradama	Bez zgrada	Sa zgradama	
< 1,15	23.249	44.793	19,1	36,7	236 (233)
1,15 – 1,45	30.158	57.683	24,7	47,3	303 (307)
1,45 – 1,75	33.057	64.809	27,1	53,2	367 (372)
1,75 – 2,05	35.090	68.648	28,8	56,3	395 (403)
2,05 – 2,35	37.260	72.499	30,6	59,5	430 (439)
2,35 – 2,65	39.298	76.471	32,2	62,7	463 (473)

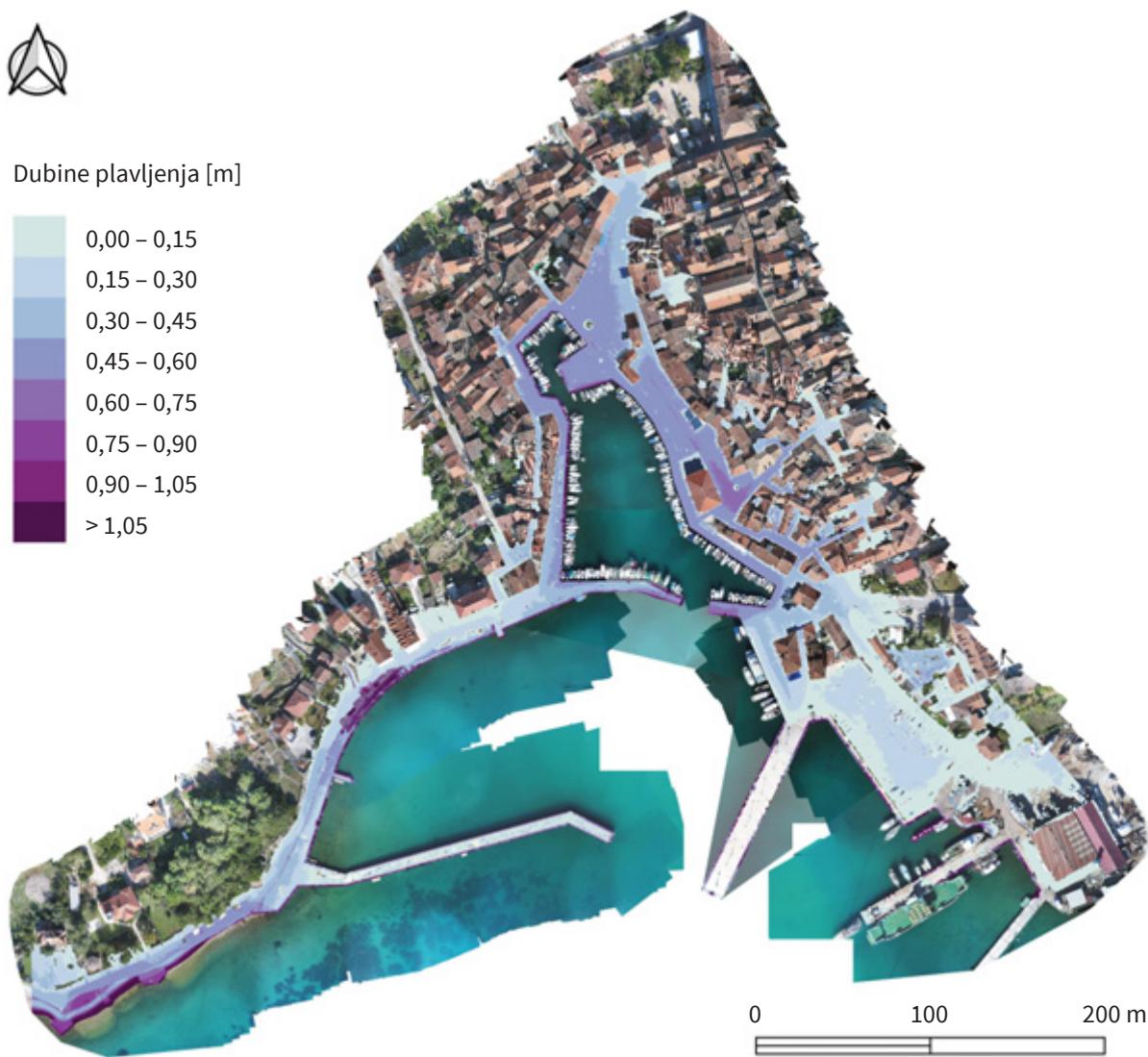
* Prva vrijednost označava plavljenje kućne brojeve (DGU, 2019.), a broj u zagradi broj plavljenih zgrada



Slika 32. Zone obalnog plavljenja u Cresu za morske razine od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m. s uključenim površinama građevina; 1 – Gradska loža, 2 – palača Arsan-Petris, 3 – palača Moise, 4 – crkva sv. Izidora, 5 – crkva sv. Marije Velike

S morskom razinom od 1,15 m n. m. more će doći do nekoliko javnih građevina koje se nalaze u Registru kulturnih dobara RH kao pojedinačna kulturna dobra. To su Gradska loža, palača Arsan-Petris i palača Moise (Slika 32.; oznake 1, 2 i 3). Sljedeći scenarij rasta morske razine dovest će do plavljenja i crkve sv. Marije Velike i crkve sv. Izidora (oznake 4 i 5 na Slici 32.).

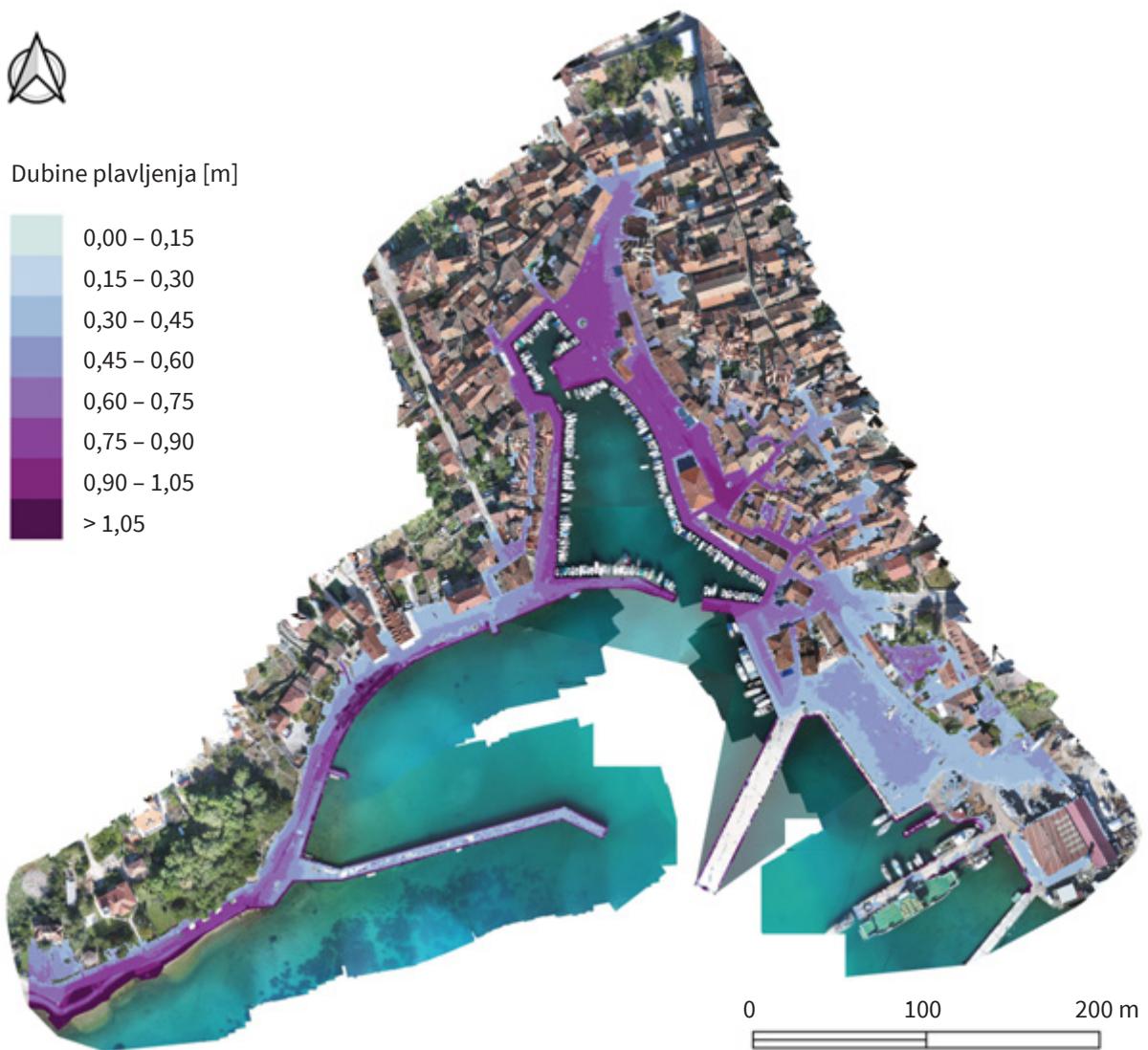
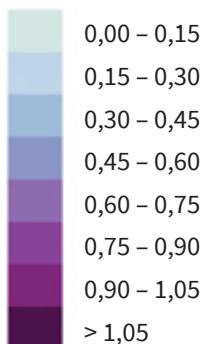
Na Slici 33. prikazane su dubine plavljenja za zabilježeno obalno plavljenje pri razinama mora 1,15 m n. m., a na Slici 34. za očekivanu morskiju razinu 1,45 m n. m. U slučaju obalnog plavljenja do visine 1,15 m n. m., dubine vode većinom su manje od 25 cm, no na nekim lokalitetima poput Trga Frane Petrića, obale Cons i Gradske lože, već sada dubine plavljenja mogu biti veće od 50 cm. To može izazvati određena oštećenja poplavljenih građevina uz otežano funkcioniranje infrastrukture, poput prometnica i kanalizacijskog sustava.



Slika 33. Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morskiju razinu 1,15 m n. m.



Dubine plavljenja [m]



Slika 34. Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morsku razinu 1,45 m n. m.

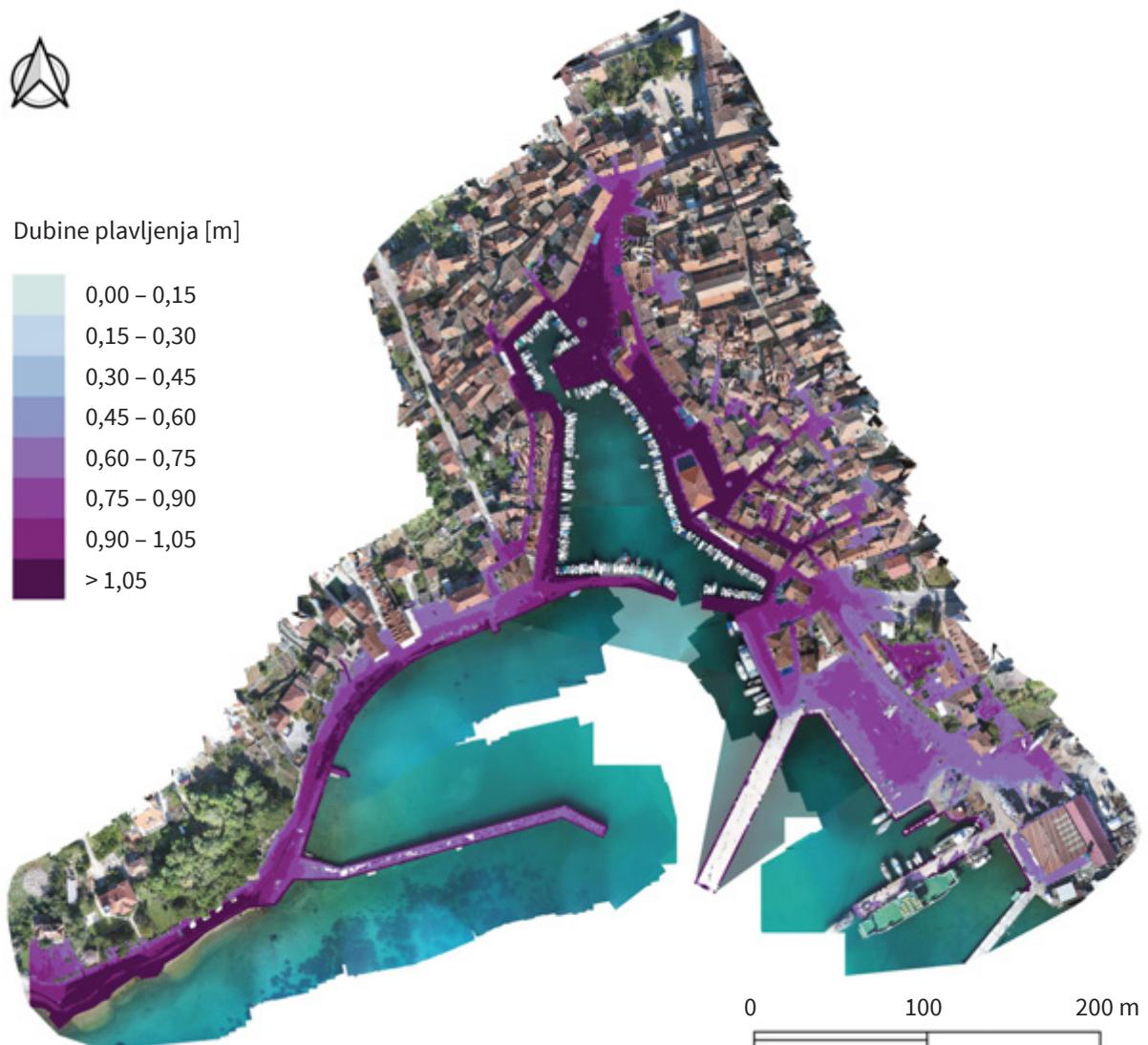
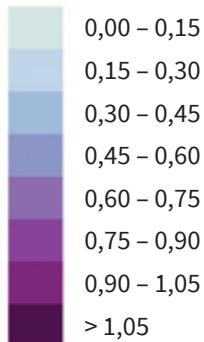
Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morsku razinu 1,45 m n. m. (Slika 34.) mogu izazvati značajnija plavljenja većeg broja zgrada, s mogućim izazivanjem materijalne štete. To je realan scenarij koji se već sada može očekivati. Planove zaštite od obalnog plavljenja preporučuje se temeljiti upravo za morsku razinu 1,45 m n. m. Dubine vode mogu postati opasne i za ljude, a značajni dio infrastrukture neće biti funkcionalan.

Na Slici 35. prikazane su dubine plavljenja za obalno plavljenje grada Cresa pri razinama mora 1,75 m n. m.

Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morsku razinu 1,75 m n. m. (Slika 35.), osim što mogu izazvati značajnija plavljenja većeg broja građevina, mogu biti i opasne za ljude. Dubina plavljenja u većem dijelu središta je viša od 1 m, što može biti opasna dubina, a opasnost se dodatno može povećati djelovanjem valova. To je realan scenarij podizanja razina mora do kraja 21. stoljeća, ali nije isključeno da



Dubine plavljenja [m]

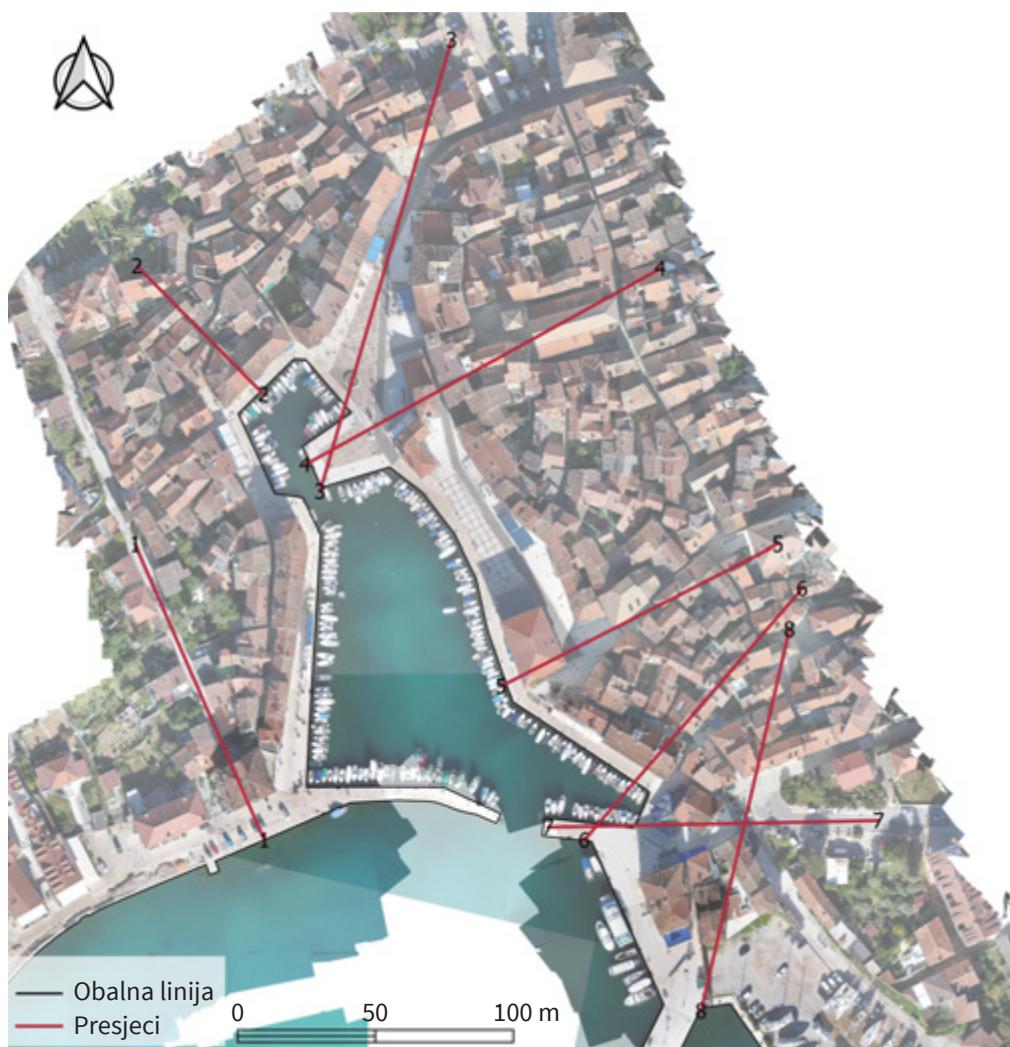


Slika 35. Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morsku razinu 1,75 m n. m.

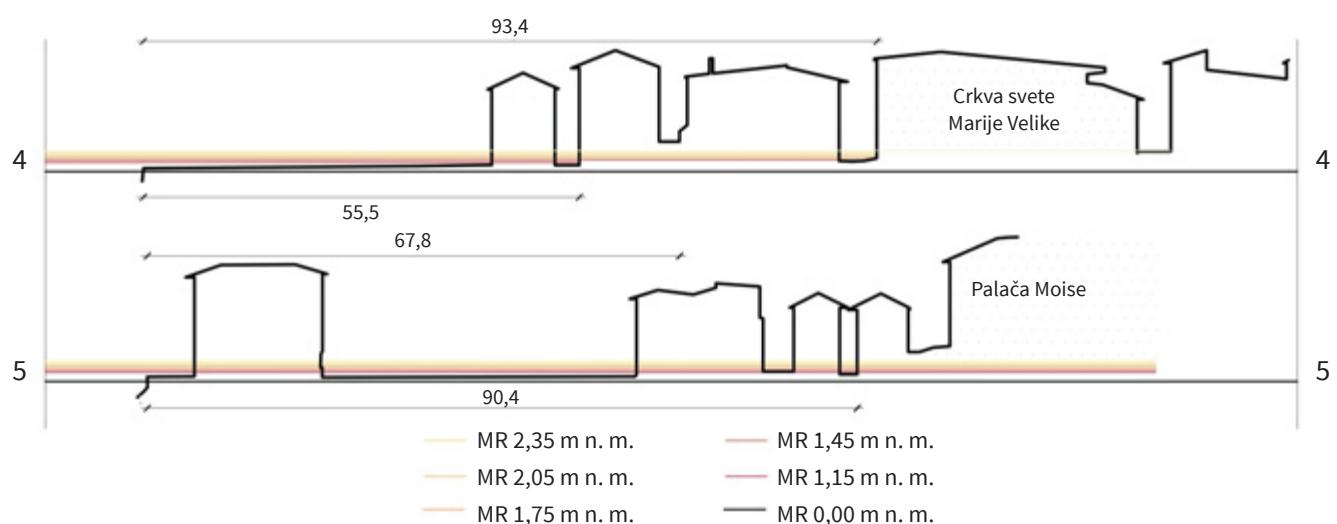
se može pojaviti i ranije. Za takve razine mora lučkim građevinama bitno će se smanjiti funkcionalnost zbog prekomjernog preljevanja. Zbog toga će biti potrebno provesti prilagodbu lučkih građevina u skorijoj budućnosti, preporučljivo u sklopu predviđenih sanacija i održavanja.

Kako bi se dobio dodatan i realan uvid u dubine obalnih plavljenja, učinjen je prikaz poprečnih presjeka s građevinama i razinama plavljenja. Na Slici 36. je situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka grada Cresa. Obrađeno je osam poprečnih presjeka koji su prikazani kao prilozi, dok su detaljnije prikazana i opisana dva specifična presjeka (Slika 37.).

Današnja obalna plavljenja sežu do crkve svete Marije Velike, pa čak i do palače Moise (Slika 37.), ali to za sada ne predstavlja problem jer voda dolazi tek blizu tih zgrada. Iako su te zgrade relativno udaljene od mora, u budućnosti će postati ugrožene. U slučaju podizanja razine mora crkva svete Marije Velike, palača Moise te čitav niz



Slika 36. Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka grada Cresa



Slika 37. Poprečni presjeci 4 i 5

vrijednih građevina u starom gradu postat će ugroženi od obalnog plavljenja te će se morati provesti određene mjere zaštite i prilagodbe.

Cres je već danas izložen značajnom obalnom plavljenju središta grada za razine plavljenja do 1,15 m n. m. Već sada može poplaviti površina od oko 25.000 m², iako su za sada dubine plavljenja većinom male uz građevine pa ne nastaje veća materijalna šteta, niti se javlja opasnost za ljudi. Građevine u središtu brane se jednostavnim pregradama (fosne, vreće s pijeskom) na ulazima. Površina plavljenja povećava se na oko 30.000 m² za morsku razinu od 1,45 m n. m. što je realan scenarioj u skoroj budućnosti za koji je već danas potrebno pripremiti mjere, odnosno postaviti strategiju obrane od obalnog plavljenja. U tom slučaju današnje, jednostavne mjere zaštite više neće biti funkcionalne.

Dalnjim podizanjem razine mora tijekom ekstremnih događaja u gradu neće doći do značajnog povećanja plavljenih površina zbog nagiba terena izvan središta. Većina starog dijela grada Cresa je ravna do blagih nagiba, dok se izvan starog grada nagib terena povećava, a time i ograničava doseg obalnog plavljenja za razne scenarioje (Slika 31.).

Najveći problem daljnog podizanja razina mora bit će povećanje dubine vode za vrijeme poplave, što može biti opasno za ljudi i vozila. Na poplavljenim građevinama mogu nastati oštećenja, a povećanjem dubina vode bitno se smanjuje mogućnost obrane od poplave te učinkovitost jednostavnog ispumpavanja vode. U tim slučajevima funkcioniranje infrastrukture bitno se smanjuje.

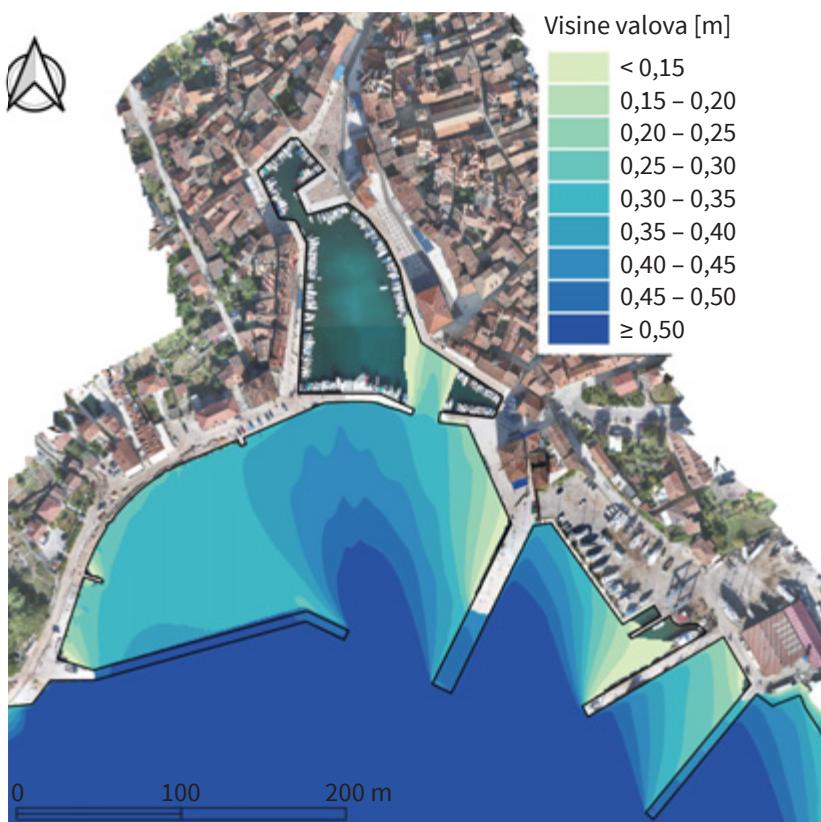
4.1.2. Numeričke simulacije valovanja

U slučaju podizanja razine mora može doći i do povećanja valova u postojećim lukama i na poplavljenim gradskim površinama. Analiza promjene agitacije valova u akvatoriju luke Cres provedena je numeričkim simulacijama valova za današnje obalno plavljenje grada za morsku razinu od 1,15 m n. m. te u slučaju analiziranih porasta razine mora do visine 1,75 m n. m.

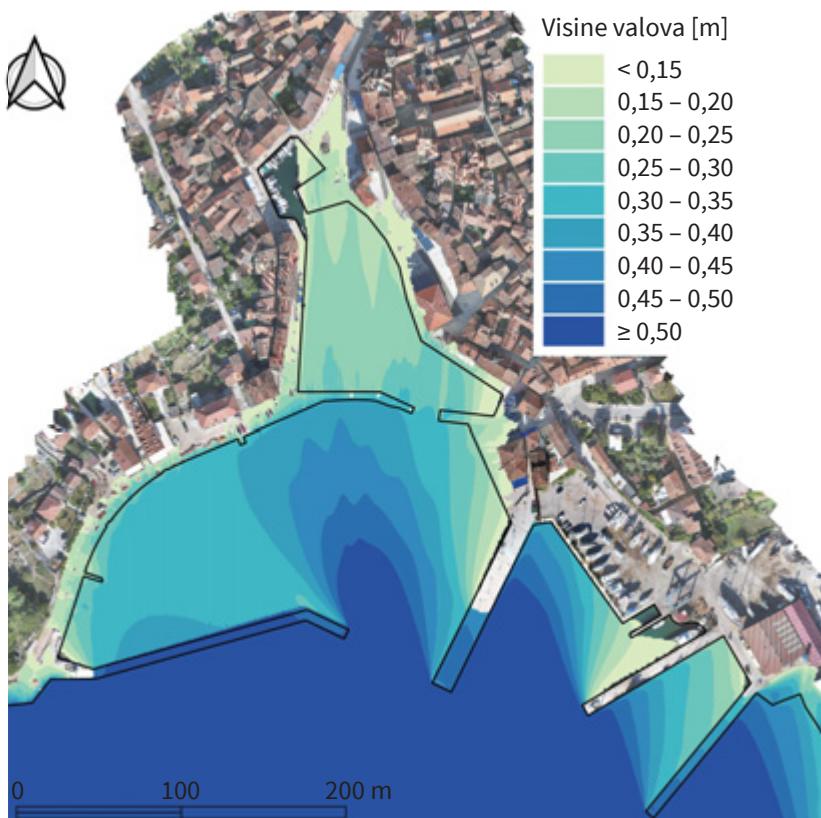
Analize valovanja provedene su primarno za šire područje akvatorija luke Cres, a rezultati numeričkih simulacija valovanja prikazani su na Slikama 38. – 40. Na osnovi rezultata modeliranja šireg akvatorija definirani su rubni uvjeti valovanja za numeričke simulacije valovanja u luci. Prikazani su rezultati za najnepovoljnija valovanja smjera SE (jugo).

Na Slici 38. prikazane su značajne valne visine juga (SE) pedesetogodišnjeg povratnog razdoblja za morsku razinu 0,55 m n. m. Za razine mora niže od 0,55 m n. m. ne dolazi do značajnog valovanja u akvatoriju luke. Novi zapadni lukobran i istočni gat značajno umanjuju agitaciju valova u luci, iako se radi o konstrukcijama lukobrana koje dopuštaju djelomičnu transmisiju valova (Slika 38.).

Na Slici 39. prikazane su značajne valne visine juga (SE) pedesetogodišnjeg povratnog razdoblja u akvatoriju grada Cresa za razinu mora 1,15 m n. m. Za postojeće

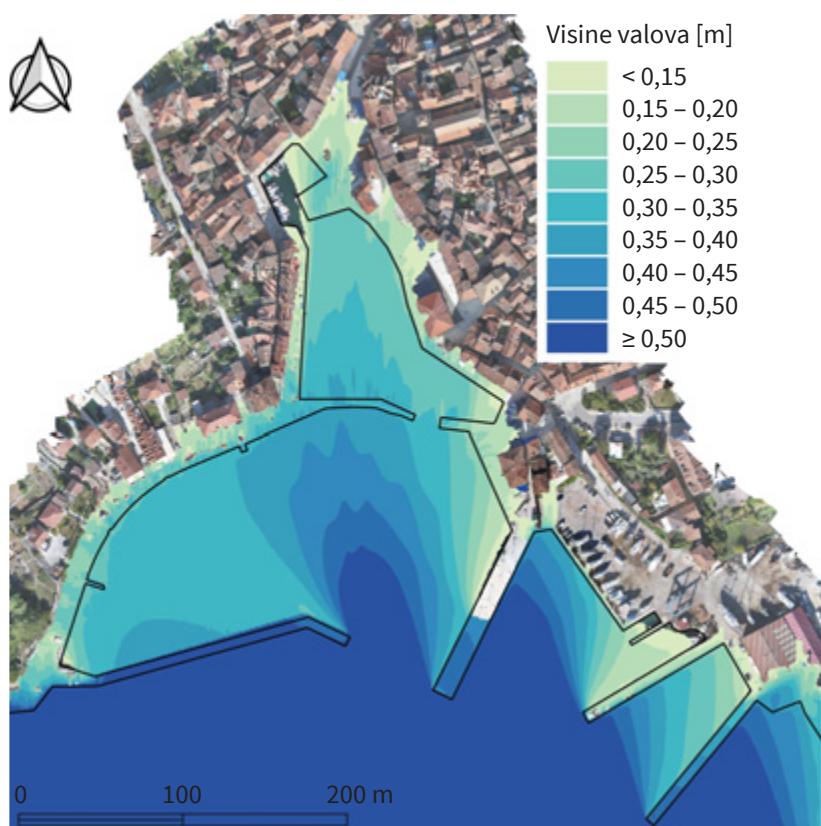


Slika 38. Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 0,55 m n. m.

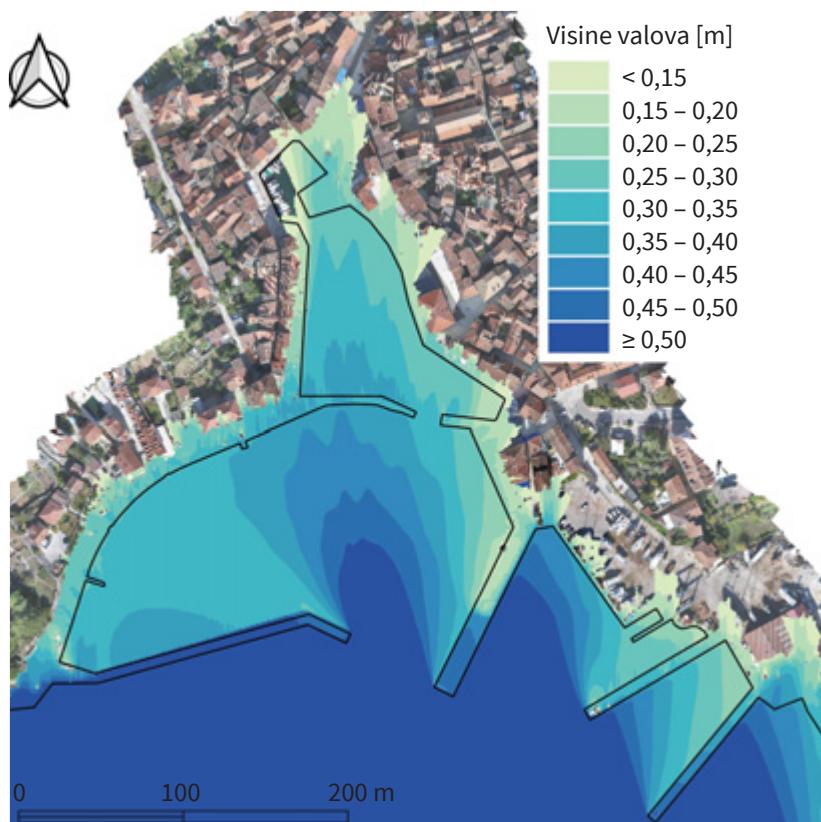


Slika 39. Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 1,15 m n. m.

ANALIZA UGROŽENOSTI
OD OBALNOG PAVLJENJA
RANJVIVIH NASELJA
PRIMORSKO-GORANSKE
ŽUPANIJE



Slika 40. Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 1,45 m n. m.



Slika 41. Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 1,75 m n. m.

stanje plavljenja ne dolazi do pojava značajnih visina valova većih od 10 cm na površinama zahvaćenim obalnim plavljenjem, što nije opasnost za ljude, građevine i infrastrukturu. Tu do izražaja dolazi povoljno djelovanje izgrađene infrastrukture lukobrana koji značajno umanjuju djelovanje valova (Slika 39.). Izgradnjom novoga istočnog lukobrana spriječilo se značajnije prelijevanje valova na obali Lungomare svetog Mikule, istočno od stare luke.

Na slici 40. prikazane su značajne valne visine juga (SE) pedesetogodišnjeg povratnog razdoblja u akvatoriju grada Cresa za razinu mora 1,45 m n. m. U slučaju daljnog porasta razine mora mogu se javiti valovi viši od 25 cm na površinama zahvaćenim obalnim plavljenjem, što u kombinaciji s dubinama plavljenja od oko 1 m (Slika 34.) može predstavljati rizik za ljude, infrastrukturu i građevine (Cao et al., 2022.).

Na Slici 41. prikazane su značajne valne visine juga (SE) pedesetogodišnjeg povratnog razdoblja u akvatoriju grada za razinu mora 1,75 m n. m. U slučaju porasta razine mora tijekom ekstremnih događaja, mogu se javiti valovi viši od 30 cm na površinama zahvaćenim obalnim plavljenjem, s dubinama vode većim od 1 m (Slika 35.), što dodatno povećava opasnosti i potencijalni nastanak oštećenja (Slika 41.). U tom slučaju novoizgrađena obalna infrastruktura (lukobran) također značajno umanjuje djelovanje valova. Funkcioniranje starije obalne infrastrukture bitno je smanjeno zbog prelijevanja – visine obale starih, unutrašnjih lukobrana niže su od 0,75 m n. m. (Slika 30.).

Nužno će biti potrebno provesti sanaciju, odnosno prilagodbu obalnih zidova i lukobrana, a s planiranjem rekonstrukcije potrebno je početi već danas.

Provedene numeričke simulacije valova uzimaju u obzir transmisiju valova na postojećim obalnim konstrukcijama. Za preciznije simulacije valova potrebno je dodatno proučiti geometriju i hidrauličke karakteristike svake obalne građevine, što podrazumijeva i snimku podmorskog dijela građevine. Takve precizne simulacije preporučuje se provesti u sklopu projekata sanacije obalnih građevina.

4.2. Rab

Otok Rab je po svojoj geološkoj građi, odnosno velikom udjelu siliciklastičnih stijena i geomorfološkim značajkama, jedinstven na hrvatskoj obali Jadranskog mora. Duljina obale otoka Raba je oko 123,80 km, a prirodni pjeskoviti žali protežu se čak na 22,41 km, ili na više od 18 % ukupne duljine obale. Manja otpornost siliciklastičnih stijena na učinke marinske erozije kao i brojni žali, čine obale otoka Raba vrlo ranjivim zbog očekivanoga ubrzanog rasta morske razine. Tomu pridonosi i antropogeni utjecaj, prvenstveno vidljiv u stihijskoj ili nestručno obavljenoj izgradnji, što često remeti hidrodinamičku stabilnost tijela žala i utječe na njihovo smanjivanje (Benac et al., 2012.).

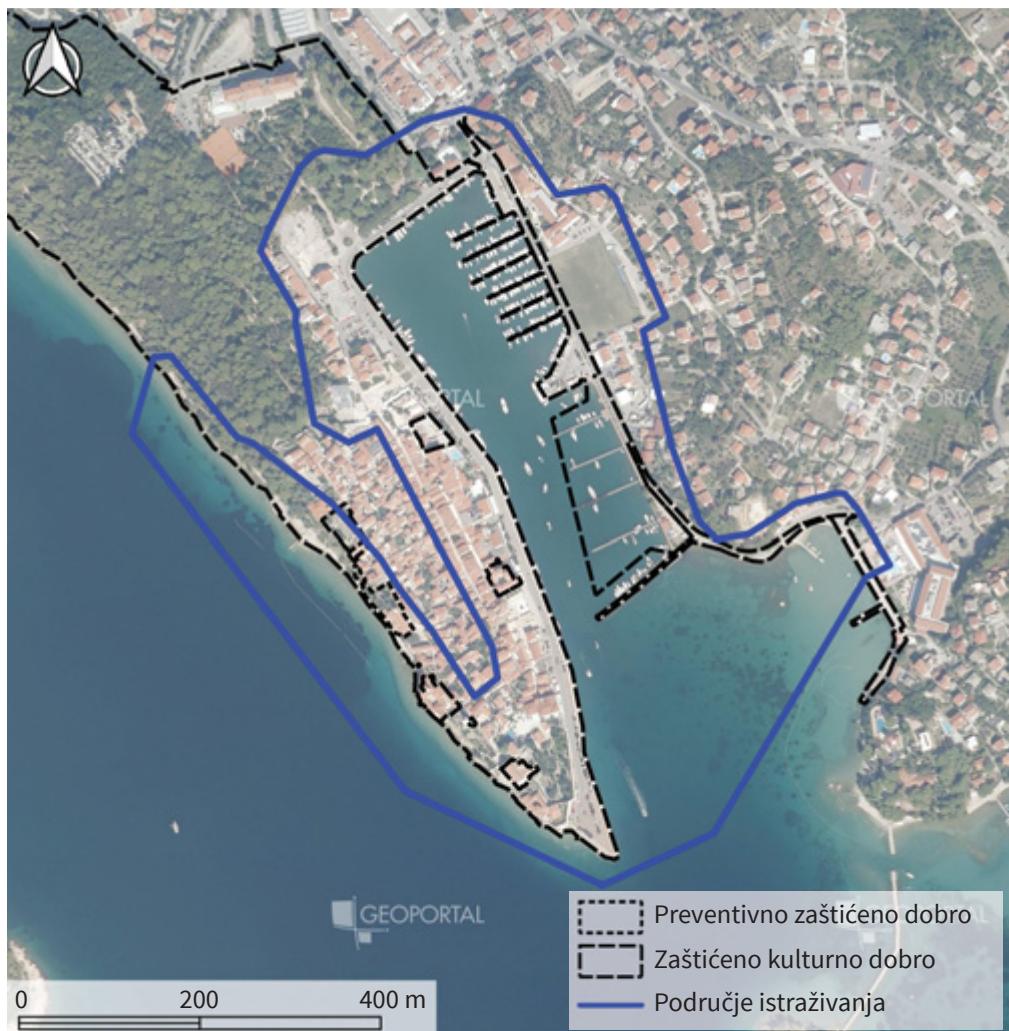
Urbana osnova grada Raba (Slika 42.) datira iz 17. st. kada su razine mora u odnosu na današnje bile niže oko 80 centimetara. **Većina pločnika, prometnica, zgrada, lučke infrastrukture i građevina projektirana je i izgrađena za niže razine mora od današnjih.**

Najstariji dio grada opasan je zidinama (12. – 13. stoljeće) koje su u 20. st. djelomično srušene. Romanika prevladava u urbanističkoj osnovi i najvećem dijelu graditeljskoga naslijeđa Raba. Najvažniji crkveni spomenici smješteni su na poluotoku, gdje sa svoja četiri zvonika i dijelovima gradskih zidina tvore jednu od najljepših arhitektonskih cjelina na Jadranu (Hrvatska enciklopedija, 2021b). Potkraj 15. i početkom 16. st. bilo je podignuto više palača (Dominis – danas hotel Grand, Nimira, Cassio, Crnota, Galzinga i Marinelis).

Od 11. do početka 15. st., zahvaljujući visokom stupnju političke autonomije, Rab je doživio gospodarski i kulturni napredak, o čemu i danas svjedoče romaničke i gotičke crkve te javne i privatne građevine. Početkom 20. stoljeća s razvojem turizma izgrađena je marina, kao i brodogradilište (Hrvatska enciklopedija, 2021b).

Grad Rab (Slika 42.) sve je češće izložen obalnim poplavama izazvanim ekstremnim razinama mora. Do sada najučestalije poplave zabilježene su, kao i u gradu Cresu, tijekom zime 2019./2020., zbog porasta razine mora u kombinaciji s morskim mijenama, valovima i olujnim usporom. Prosječna vrijednost CVI-ja prema varijabli plavljenja obale (za uže analizirano područje grada) za današnje srednje razine mora iznosi **4,35**, te obalu karakterizira visoka razina ranjivosti (Slika 1.).

Istraženo je područje površine 156.650 m² (površina kopnenog područja) i obalna linija ukupne duljine 4.077 metara. Za analize je u obzir uzeta generalizirana obalna linija koja ne uključuje lukobrane i molove, te je duljine 2.643 metra. Geodetska podloga u obliku trodimenzionalnog oblaka točaka rezolucije je 20 centimetara. Rezolucija je smanjena u odnosu na originalnu kako bi se smanjilo vrijeme koje je računalu potrebno za obradu podataka, jer se radilo o gotovo 383 milijuna točaka. Slika 42. pokazuje i da je veći dio istraženog područja unutar granice zaštićene kulturno-povijesne cjeline.



Slika 42. Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)

4.2.1. Plavljenja obalnog područja Raba

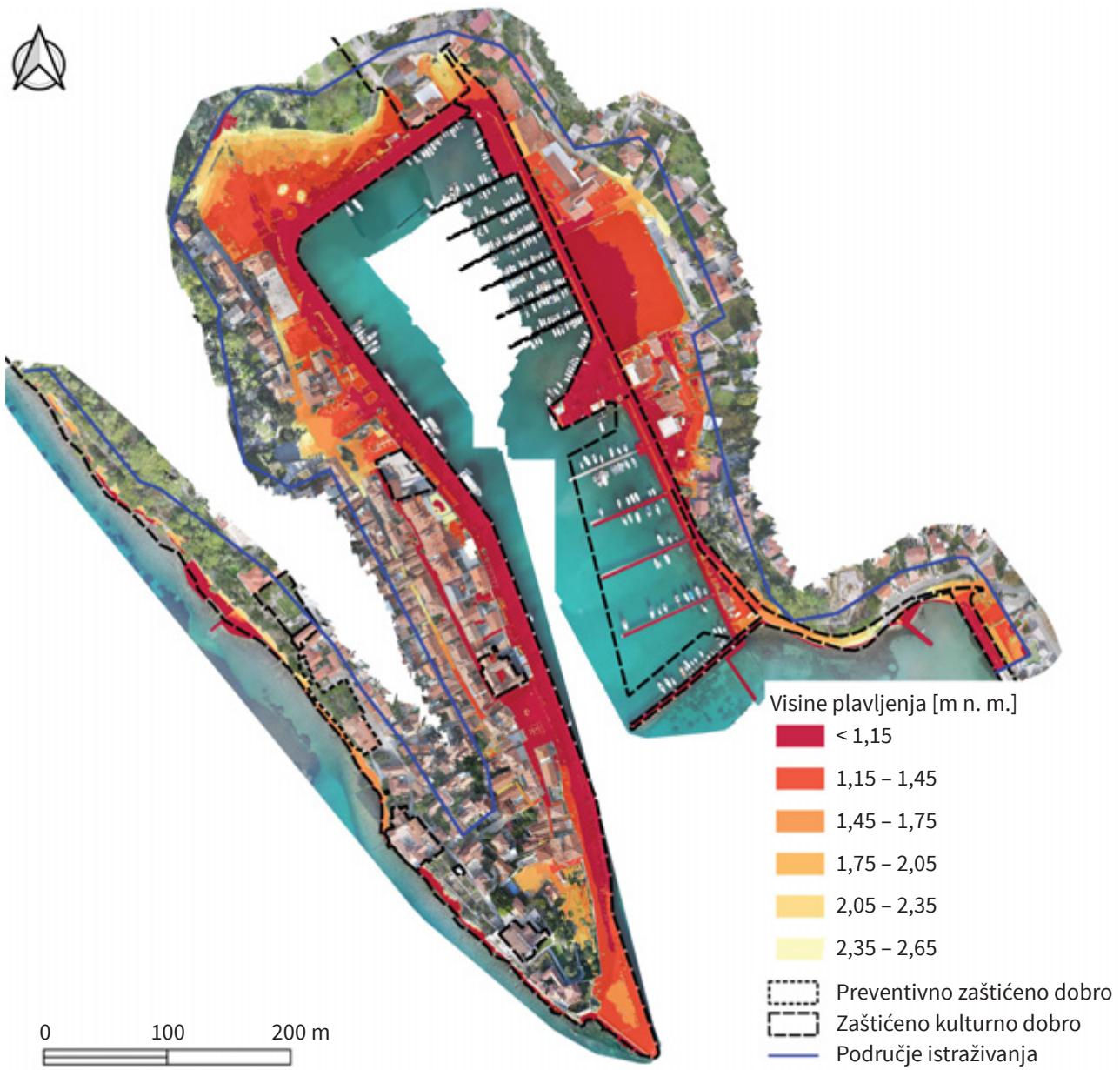
Terensko istraživanje obalnog plavljenja grada Raba provedeno je uz pomoć suradnika iz Lučke uprave Rab. Rekonstruirane su visine plavljenja na terenu pomoću diferencijalnog GPS uređaja. Na Slici 43. prikazano je područje grada ugroženo obalnim plavljenjem.

Na osnovi terenskog obilaska grubo je označeno područje plavljenja (Slika 43.). Vисina dosadašnjega obalnog plavljenja je oko 1,14 m n. m., a za točne podatke potrebno je postaviti mareografsku postaju u akvatoriju grada Raba.



Slika 43. Ugroženo područja grada Raba za vrijeme obalnog plavljenja

Na Slici 44. prikazane su površine obalnog plavljenja grada Raba za analizirane razine mora. Pri morskoj razini 1,15 m n. m., odnosno za postojeća plavljenja, površine plavljenja (bez građevina) su 33.671 m^2 . More zadire u prosjeku 35 m prema kopnu, a na zapadnoj obali luke plavi i cijela Donja ulica koja je smještena 64 m od obalne linije.

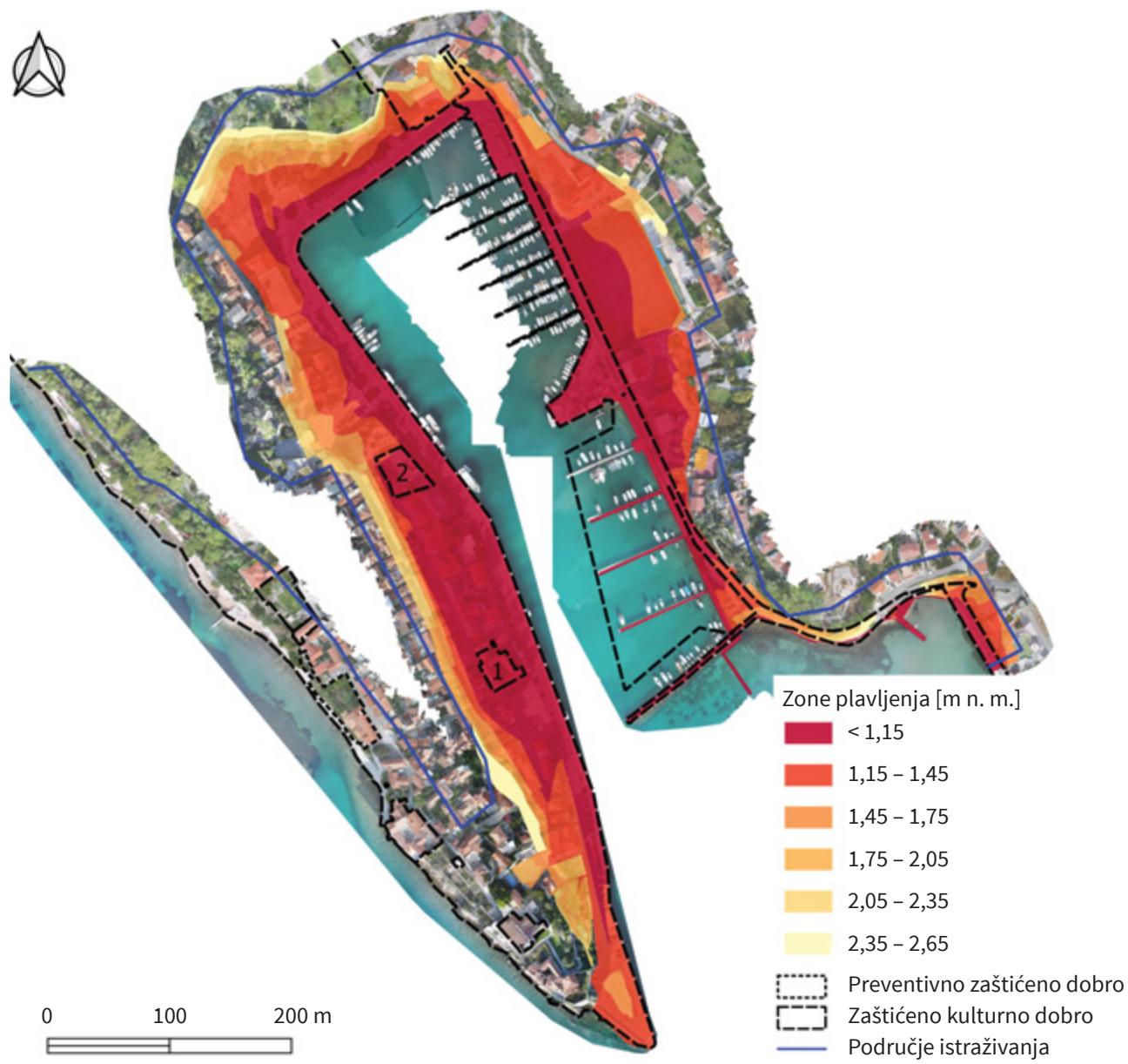


Slika 44. Površine obalnog plavljenja grada Raba za morske razine od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.

Pod morem će se u cijelosti naći i Kneževa palača i palača Nimira mala (Slika 45., oznake 1 i 2), kao pojedinačna zaštićena kulturna dobra. Za razinu mora 1,45 m n. m. ukupne površine plavljenja (bez građevina) su 54.369 m^2 , a plavit će građevine udaljene do 56 m od današnje obale. Takve su već danas moguće poplave, a gotovo sigurne do 2050. godine, u slučaju porasta ekstremne razine mora za 30 centimetara.

Uzmu li se u obzir i površine građevina koje se nalaze u plavljenim zonama (Slika 45.), veličine površina u svakom scenariju u prosjeku se povećavaju za 33 %.

Površine plavljenja za sve scenarije dane su u Tablici 6. gdje je i podatak o plavljenoj površini po duljini obalne linije (2.642,7 m).



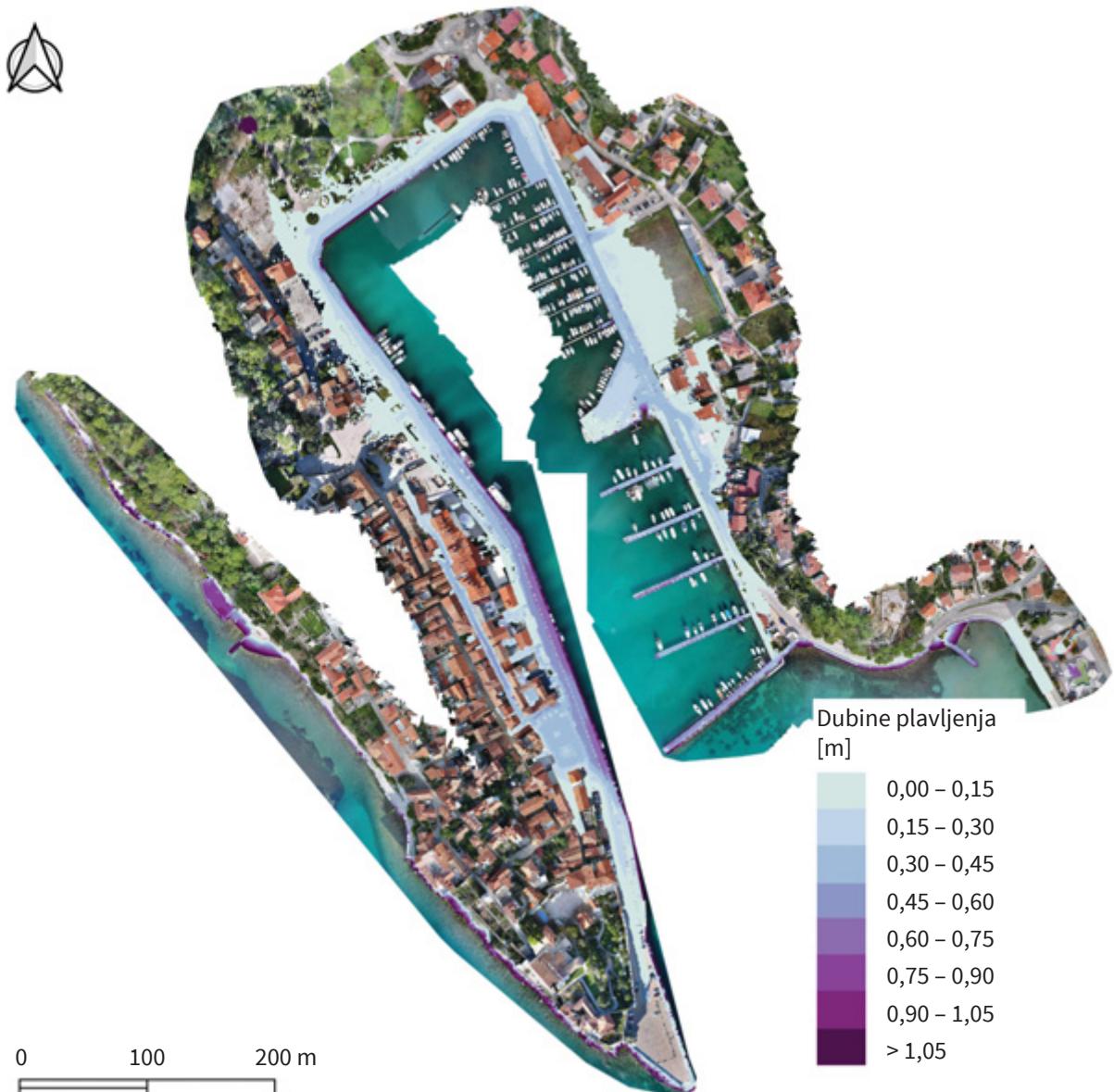
Slika 45. Zone obalnog plavljenja grada Raba; 1 – Kneževa palača, 2 – palača Nimira mala

Tablica 6. Plavljene površine u Rabu pri analiziranim morskim razinama

Razina [m n. m.]	Plavljena površina [m ²]		Površina po m' OL [m ² /m']		Udio zaštićenoga kulturnog dobra [%]*	Broj plavljenih zgrada**
	Bez zgrada	Sa zgradama	Bez zgrada	Sa zgradama		
< 1,15	33.672	46.166	12,7	17,5	80,7	43 (79)
1,15 – 1,45	54.369	74.621	20,6	28,2	88,0	72 (142)
1,45 – 1,75	62.844	84.442	23,8	32,0	89,0	85 (167)
1,75 – 2,05	67.890	89.498	25,7	33,9	88,8	93 (176)
2,05 – 2,35	71.674	94.328	27,1	35,7	89,1	110 (197)
2,35 – 2,65	74.330	96.949	28,1	36,7	89,6	110 (199)

* Udio u plavljenoj površini sa zgradama

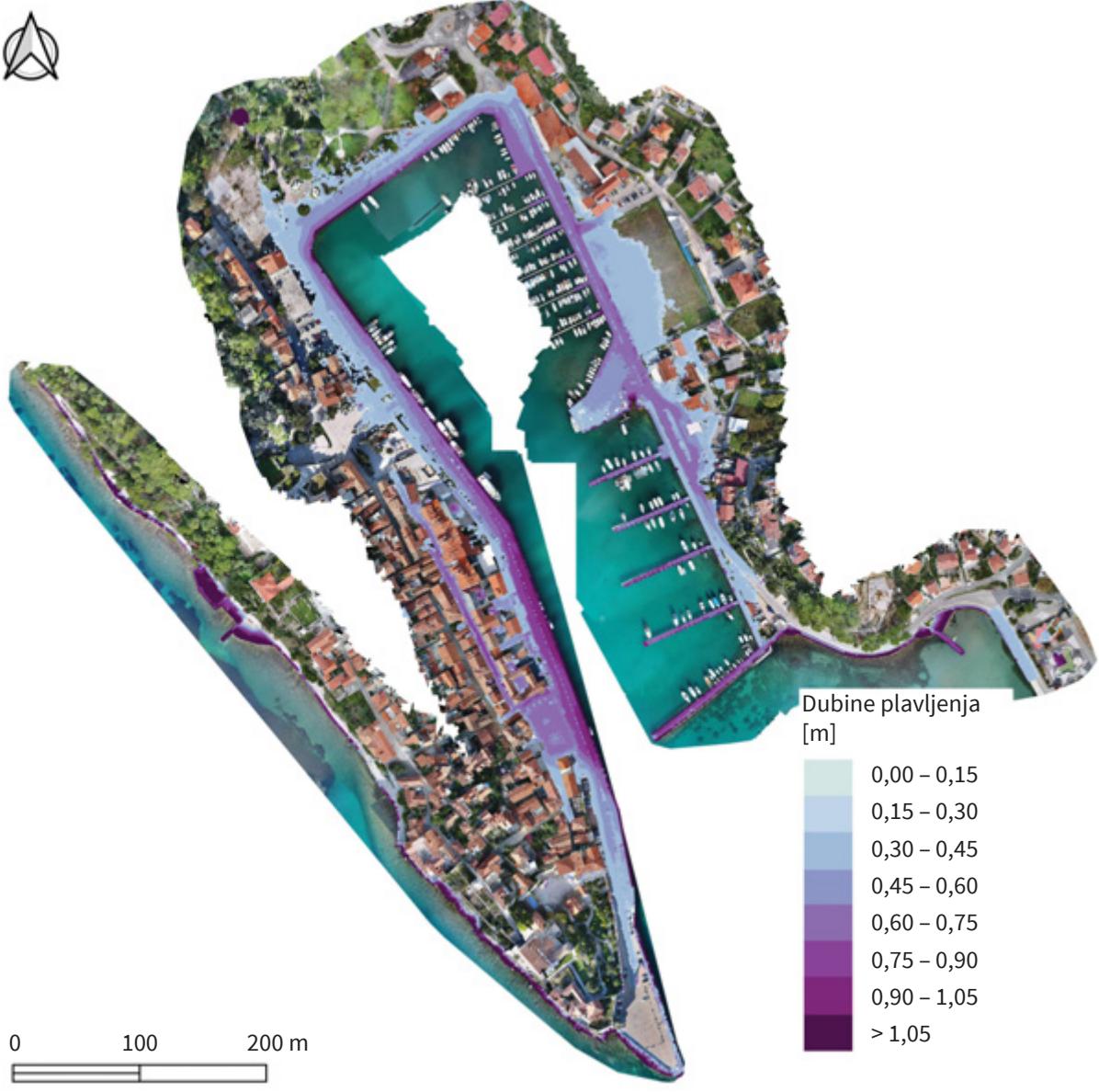
** Prva vrijednost označava plavljene kućne brojeve (DGU, 2019.), a u zagradi je broj plavljenih zgrada.



Slika 46. Dubine vode obalnog plavljenja grada Raba za morsku razinu 1,15 m n. m.

Na Slici 46. prikazane su dubine plavljenja za zabilježeno obalno plavljenje grada Raba za razine mora 1,15 m n. m., a na Slici 47. dubine za morsku razinu od 1,45 m n. m.

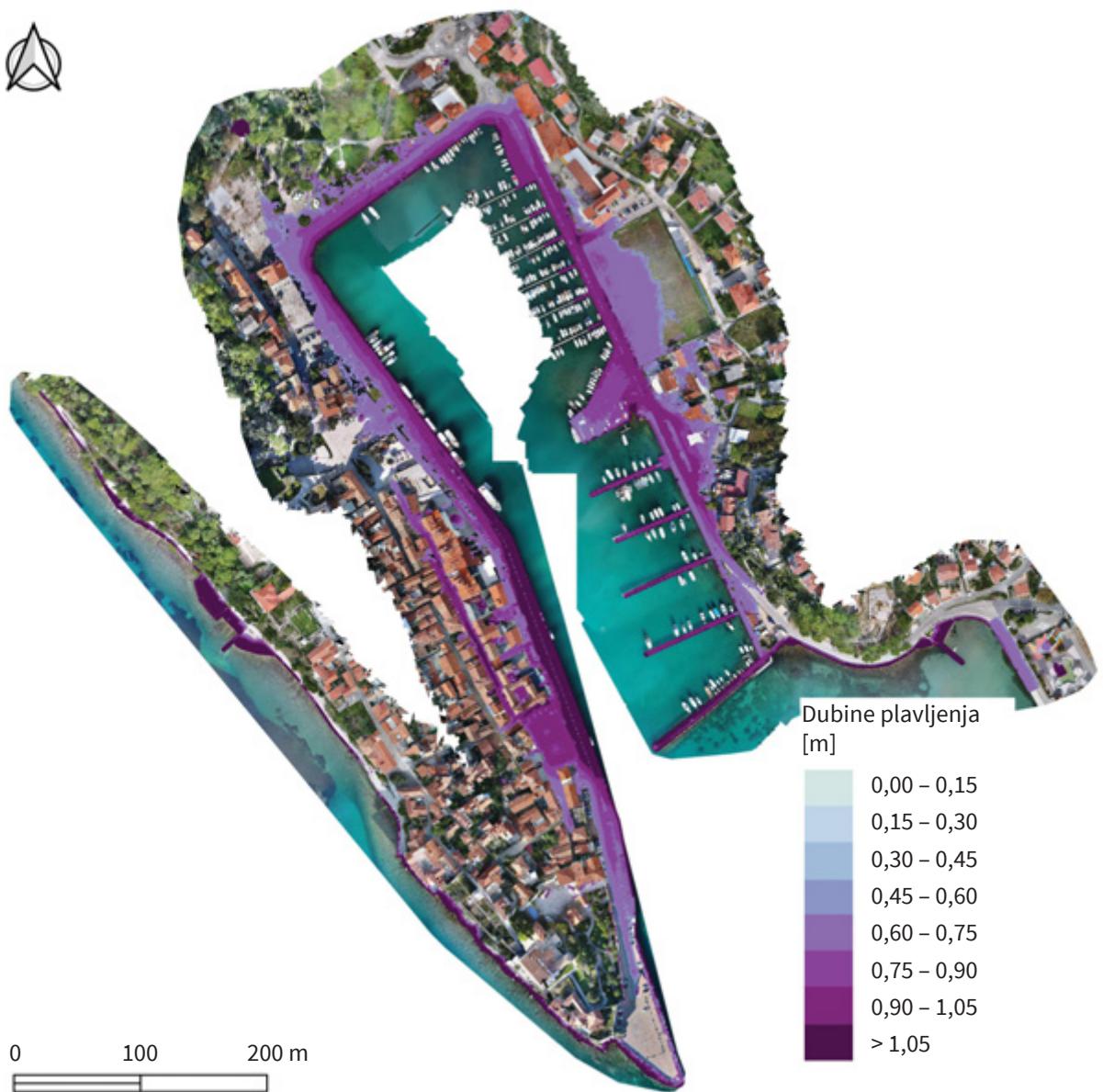
U slučaju obalnog plavljenja do visine 1,15 m n. m., dubine vode većinom su manje od 50 cm, no uz samu obalu i na trgovima (Municipium Arba i Sv. Kristofora) visine su oko 50 centimetara. To već može izazvati određena oštećenja poplavljениh građevina i nefunkcioniranje prometne infrastrukture, kanalizacijskog sustava i obalnih građevina.



Slika 47. Dubine vode obalnog plavljenja grada Raba za morsku razinu 1,45 m n. m.

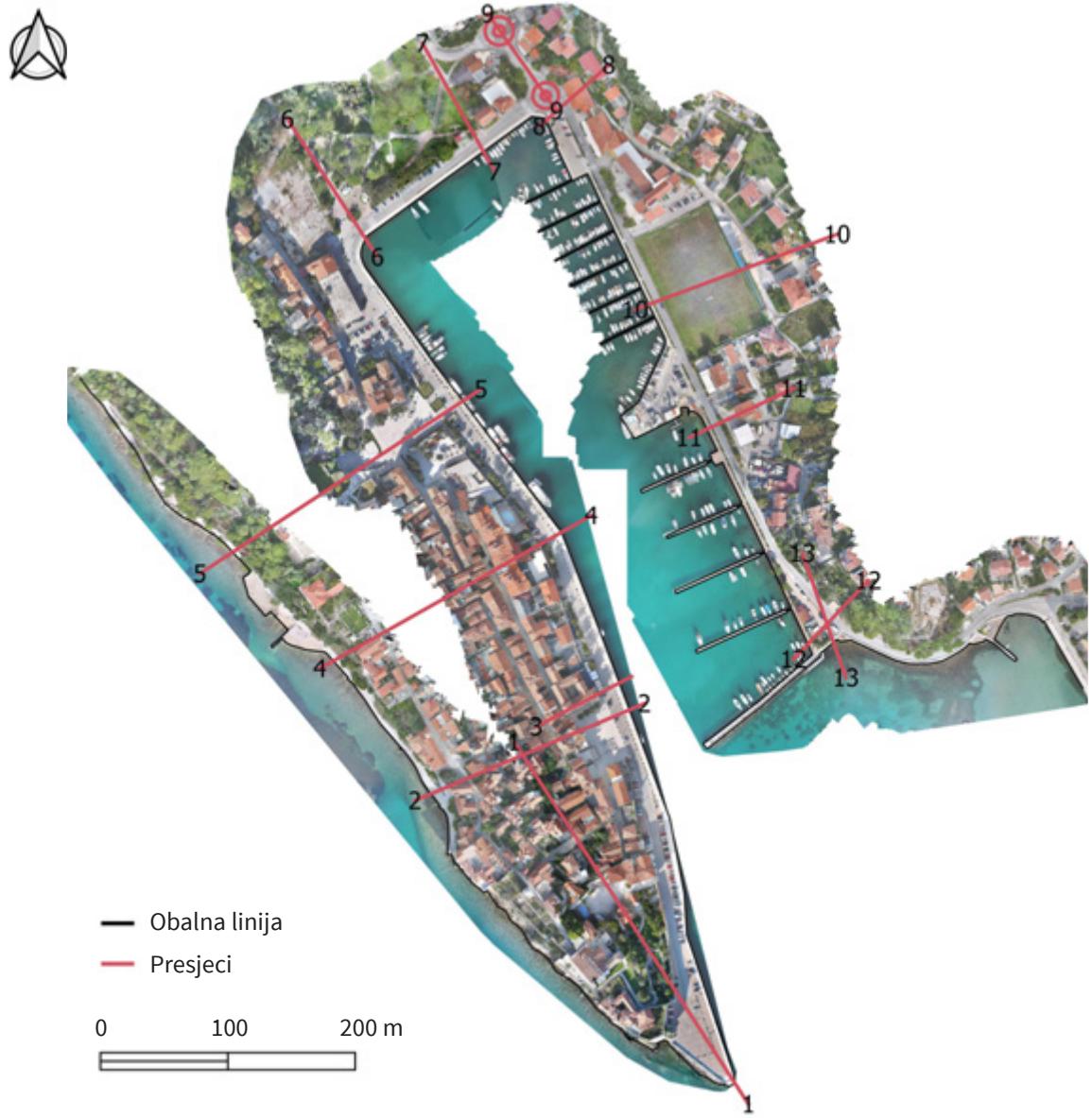
Dubine vode obalnog plavljenja grada za morsku razinu 1,45 m n. m. (Slika 47.) mogu izazvati plavljenja većeg broja građevina, praćena materijalnom štetom. To je realan scenarij koji se već sada može očekivati, a na kojemu je potrebno temeljiti planove obrane od obalnog plavljenja.

Na Slici 48. prikazane su dubine plavljenja grada Raba za razine mora 1,75 m n. m. Osim što mogu izazvati značajnija plavljenja većeg broja građevina, mogu biti i opasne za ljude. Dubina vode u većem dijelu je viša od 1 m, što je opasna dubina vode uz djelovanje valova do visine 30 centimetara. To je realan scenarij podizanja razina mora do kraja 21. st. ali nije isključeno da se može pojaviti i ranije. Za takve razine mora lučkim građevinama bitno će se smanjiti funkcionalnost.



Slika 48. Dubine vode obalnog plavljenja grada Raba za morsku razinu 1,75 m n. m.

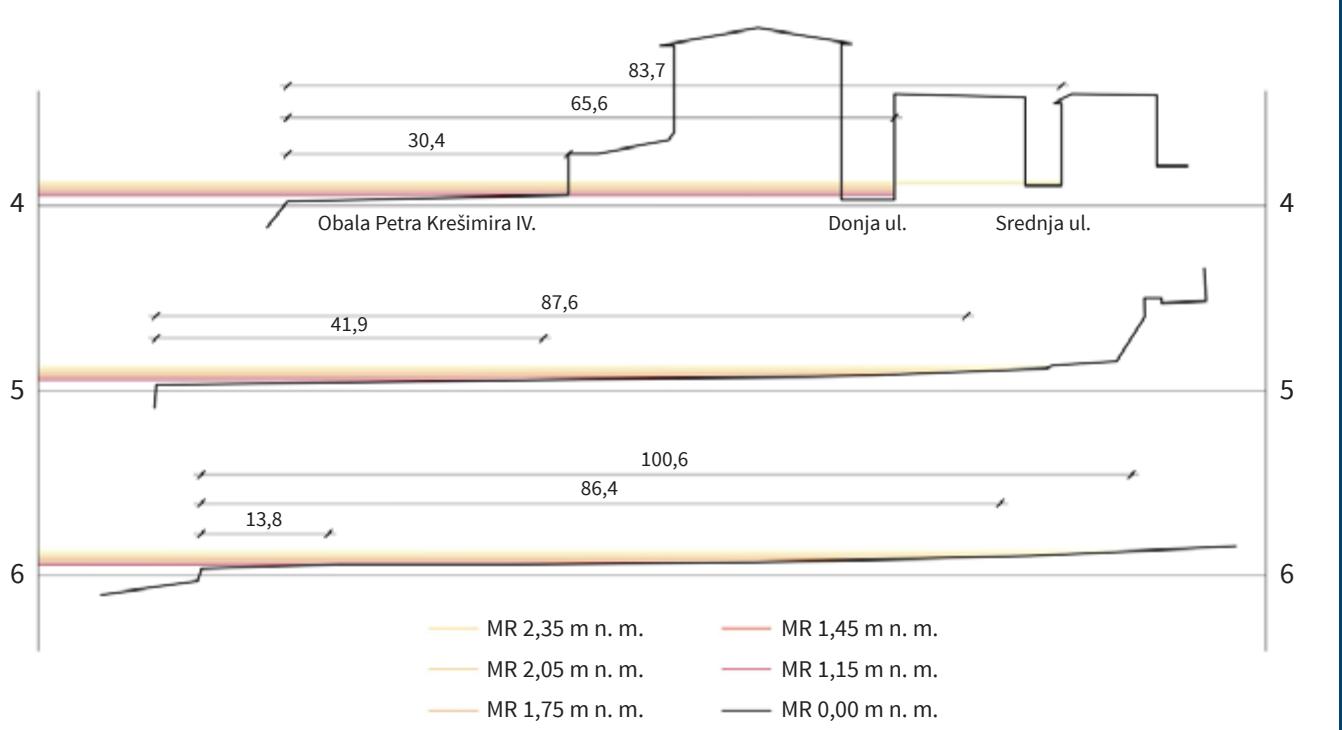
Središte grada Raba već je danas izloženo značajnom obalnom plavljenju za razine plavljenja do 1,15 m n. m. Površina koja može poplaviti već sada je oko 33.500 m^2 . Za sada su dubine plavljenja većinom male uz građevine i ne nastaje veća materijalna šteta. Središte grada brani se postavljanjem prepreka na postojećoj obali i na ulazima u zgrade postavljaju se jednostavne pregrade (fosne, vreće s pijeskom). U tijeku je i nastavak rekonstrukcije Obale Petra Krešimira IV. kojom će se podignuti visina obalnog zida. Površina plavljenja povećava se na oko 55.000 m^2 za morsku razinu od 1,45 m n. m., što je realan scenarij u skoroj budućnosti za koji je već danas potrebno pripremiti mjere, odnosno postaviti strategiju obrane od obalnog plavljenja. Dalnjim podizanjem razine mora tijekom ekstremnih događaja, u gradu neće doći do značajnog povećanja plavljenih površina zbog nagiba terena izvan središta.



Slika 49. Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka grada Raba

Najveći problem daljnog podizanja razine mora bit će povećanje dubine vode za vrijeme poplave, što može biti opasno za ljude i vozila. Na poplavljennim građevinama mogu nastati oštećenja, a povećanjem dubina bitno se smanjuje mogućnost obrane od poplave i učinkovitost ispumpavanja vode. U tim slučajevima funkciranje infrastrukture bitno se smanjuje.

Kako bi se dobio dodatan i realan uvid u dubine obalnih plavljenja, učinjen je prikaz poprečnih presjeka s građevinama i razinama plavljenja. Na Slici 49. situacijski je prikaz obrađenih poprečnih presjeka grada Raba. Obrađeno je 13 poprečnih presjeka koji su prikazani kao prilozi, dok su detaljnije prikazana i opisana tri specifična presjeka 4, 5 i 6 (Slika 50.).

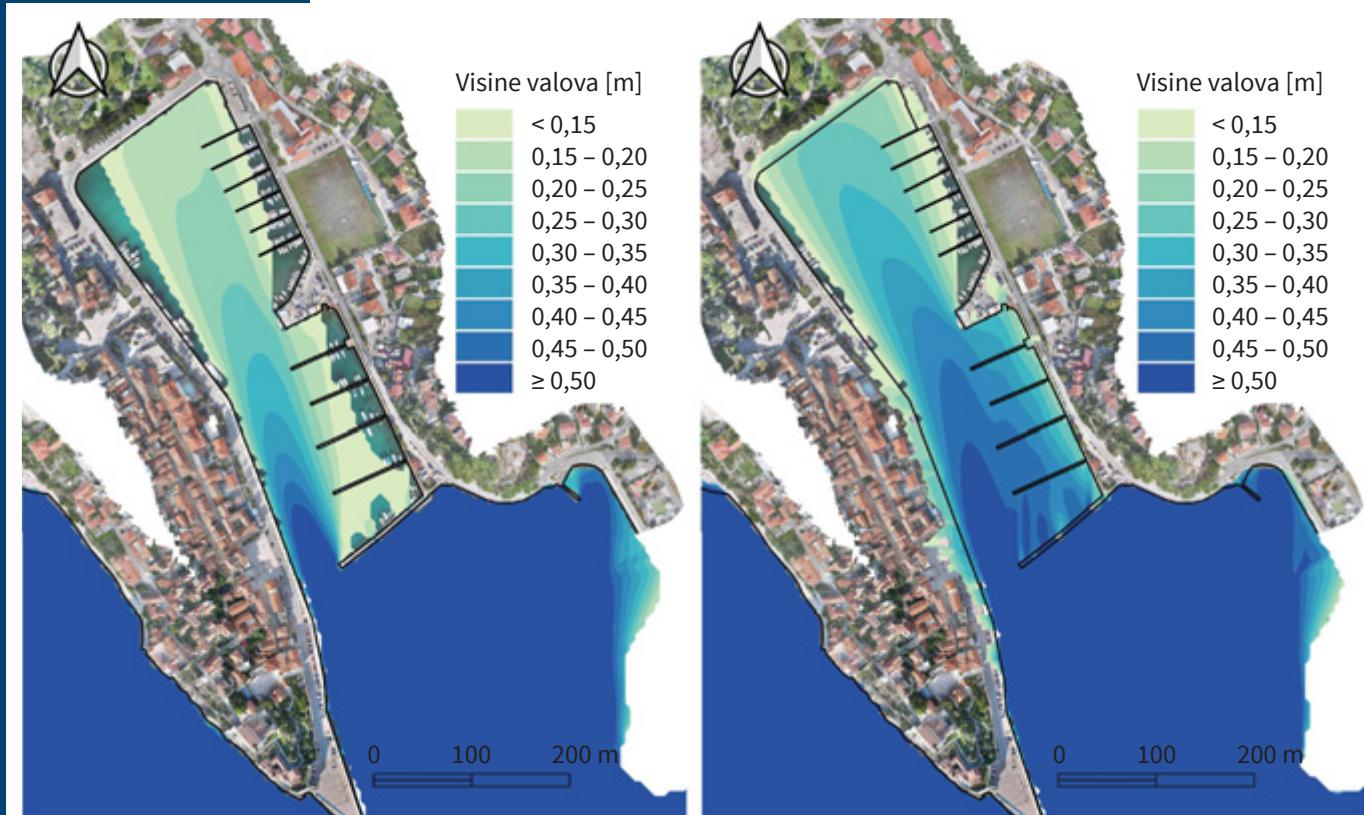


Slika 50. Poprečni presjeci 4 – 6

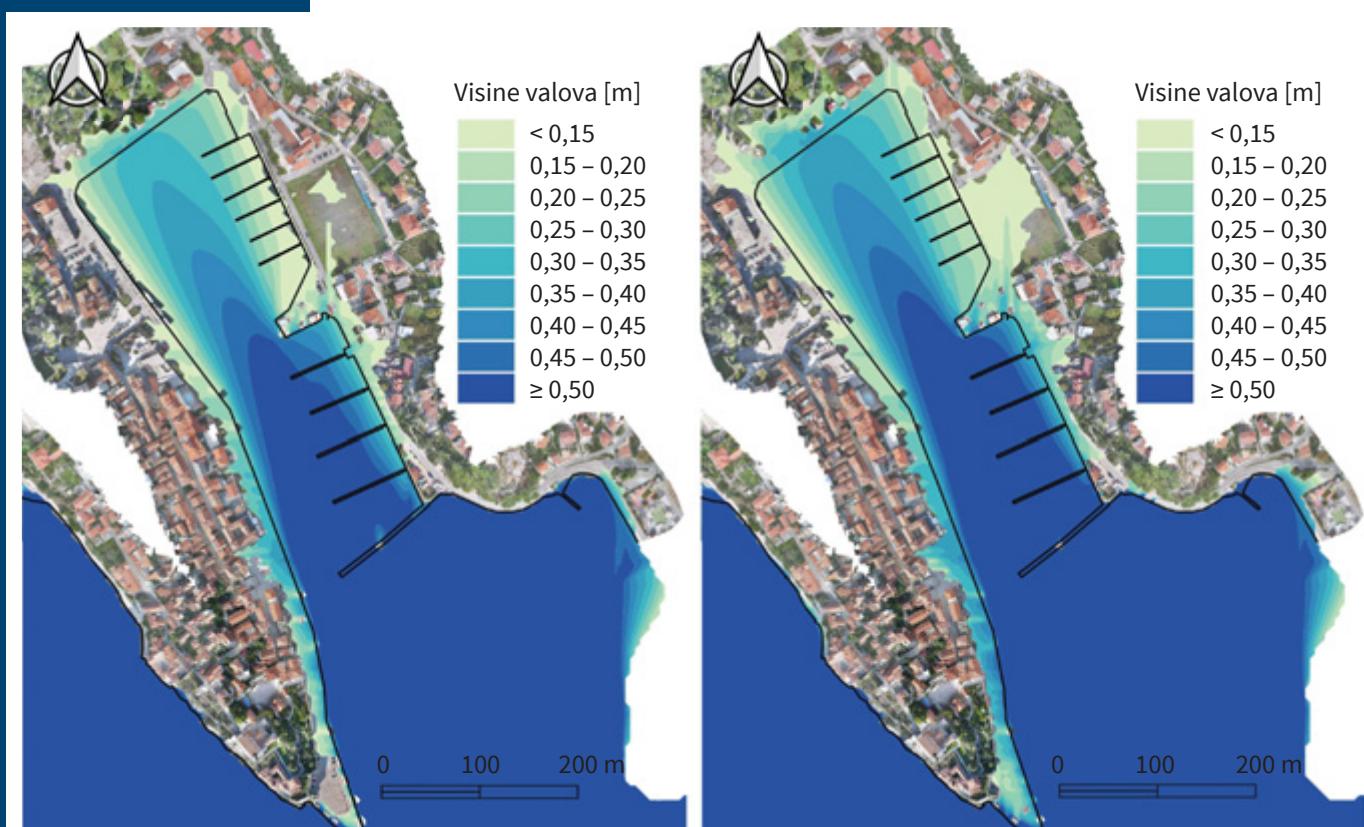
Presjek 4 prikazuje plavljenje Obale Petra Krešimira IV., Donje ulice i Srednje ulice. Zona do Donje ulice izložena je značajnom plavljenju, a Srednja ulica plavit će tek ako dođe do povećanja razine mora za više od 75 centimetara.

Na presjeku 5 prikazano je obalno plavljenja Trga sv. Kristofora, na kojem danas već dolazi do značajnog plavljenja, i to 40 m od obalne linije. Povećanjem razine mora doći će do povećanja površine plavljenja.

Presjek 6 prikazuje plavljenje kopnenog dijela Šetališta M. de Dominisa, koje za sada seže gotovo 14 m od obalne linije. Međutim, doseg plavljenja će se značajno povećati predviđenim podizanjem morske razine zbog malog nagiba terena.



Slika 51. Propagacija i visine valova za morsku razinu 0,55 m n. m. (lijevo) i morsku razinu 1,15 m n. m. (desno)



Slika 52. Propagacija i visine valova za morsku razinu 1,45 m n. m. (lijevo) i morsku razinu 1,75 m n. m. (desno)

4.2.2. Numeričke simulacije valovanja

U slučaju podizanja razine mora može doći i do povećanja valova u postojećim lukama i na poplavljenim gradskim površinama. Analiza promjene agitacije valova u akvatoriju luke Rab provedena je numeričkim simulacijama valova za današnje obalno plavljenje grada za morsku razinu od 1,15 m n. m. te u slučaju analiziranih porasta razine mora do visine 1,75 m n. m.

Analize valovanja provedene su primarno za šire područje akvatorija luke Rab, a rezultati numeričkih simulacija valovanja prikazani su na Slikama 51. i 52. Na osnovi rezultata modeliranja šireg akvatorija, definirani su rubni uvjeti valovanja za numeričke simulacije valovanja u akvatoriju luke Rab. Prikazani su rezultati za najnepovoljnija djelovanja valova iz smjera SE (jugo).

Na lijevom dijelu Slike 51. prikazane su simulacije značajne valne visine juga (SE) pedesetogodišnjeg povratnog razdoblja za morsku razinu 0,55 m n. m. Luka Rab dobro je zaštićena za postojeće stanje valovanja. Zahvaljujući lukobranu, luka je sigurna i valovi se ne šire na rivu.

U slučaju morskih razina od 1,15 m n. m. valovi u luci su nešto viši – do vezova u ACI marini stižu valovi visina do 35 cm, dok su u komunalnom dijelu nešto niži. Valovi dolaze i do obale te se na sjevernom kraju rive zahvaćene plavljenjem još šire i valovi visoki 15 centimetara. Na zapadnom dijelu obale visine mogu dosegnuti i 30 centimetara (Slika 51., desno). Na poplavljenim dijelovima obale dolazi do ograničenog valovanja i visine valova su većinom manje od 20 centimetara.

Za očekivani porast morske razine na 1,45 m n. m. značajne valne visine dodatno rastu (Slika 52., lijevo). Na površini zahvaćenoj poplavom propagirat će valovi visine 25 cm na sjevernoj, te do 35 cm na zapadnoj obali luke. Ti će valovi dodatno povećati oštećenja i opasnosti za stanovništvo. Najnepovoljnija kombinacija plavljenja i djelovanja valova bit će na ulazu u luku, na njezinom zapadnom dijelu, nasuprot glavnom lukobranu. U tom slučaju rizik značajno povećavaju i dubine vode obalnog plavljenja (Slika 47.) koje na najnižim dijelovima obale mogu biti i veće od 1 metra.

Valovi će se u kombinaciji s povremenim ekstremnim razinama mora od 1,75 m n. m. širiti i do 50 m dalje od obalne linije. Na javnim površinama dosezat će visine od 30 cm, a pola luke će postati nefunkcionalno zbog valova viših od pola metra (Slika 52., desno). Južni dio Obale Petra Krešimira IV. najizloženiji je djelovanju valova i obalnog plavljenja, pogotovo dijelovi obale izvan područja zaštite lukobrana – Gat Pumpurela. Za predviđene morske razine od 1,75 m n. m. doći će do značajnog prelijevanja Gata Pumpurela. Navedene negativne učinke umanjiti će sanacija obalnih građevina koja se provodi.

4.3. Punat

Punat je luka i općinsko središte u jugozapadnom dijelu otoka Krka. Leži na obali Puntarske (Košljunske) drage (Slika 53.). Kameno oruđe iz neolitika te arheološki nalazi iz grčkog i rimskog doba svjedoče o naseljenosti od najstarijega doba. Od kulturno-povijesnih spomenika ističu se crkvica sv. Andrije (16. st.) na groblju, stare pučke kuće s masivnim balaturama i mlin za masline, Stari toš, iz 18. st. te župna crkva Sv. Trojstva iz 1777. godine. Godine 1855. izgrađena je crkva sv. Roka i sv. Sebastijana. U okolini se nalazi ladanjska kuća krčkih biskupa (17. st.), a na dnu uvale



Slika 53. Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)

su očuvani ostaci starokršćanske crkvice sv. Dunata (9. st.). U Puntarskoj uvali nalazi se otočić Košljun (Hrvatska enciklopedija, 2021c).

Naselje je zaštićeno kao ruralna graditeljska cjelina koja se razvijala tijekom 19. stoljeća, primarno pod utjecajem brodogradnje (Općina Punat, 2015.). Punat je sve češće izložen obalnim poplavama izazvanim ekstremnim razinama mora. Zima 2019./2020. godine i ovdje je bilo razdoblje najučestalijih poplava. Uzrok tome je porast razine mora u kombinaciji s morskim mijenama, valovima i olujnim usporom.

Cijela je analizirana obala Punta u prethodnom istraživanju obalne ranjivosti ocijenjena s veoma visokom razinom ranjivosti (prosječna vrijednost **5,0**).

Istraženo je područje površine 74.371 m² (površina kopnenog područja) i obalna linija ukupne duljine 1.643 metra. Za analize je u obzir uzeta generalizirana obalna linija koja ne uključuje lukobrane i molove, te je duljina 919 metara. Geodetska podloga u obliku trodimenzionalnog oblaka točaka rezolucije je 20 centimetara. Rezolucija je smanjena u odnosu na originalnu kako bi se smanjilo vrijeme koje je računalu potrebno za obradu podataka jer se radilo o više od 451 milijun točaka. Slika 53. pokazuje da istraženo područje obuhvaća i dio zaštićenoga kulturnog dobra.

4.3.1. Plavljenja obalnog područja Punta

Na Slici 54. prikazane su površine obalnog plavljenja naselja Punat za analizirane scenarije. Površine plavljenja za razine mora 1,15 m n. m. su 28.324 m², a more će se u prosjeku protezati 40 m u unutrašnjost. Za postojeće stanje može doći do plavljenja većih površina u Puntu, ali plavljenje većinom ne seže do građevina. Površine plavljenja za razine mora 1,45 m n. m. su 35.863 m², a obalna linija će se prosječno pomaknuti za 54 metra.

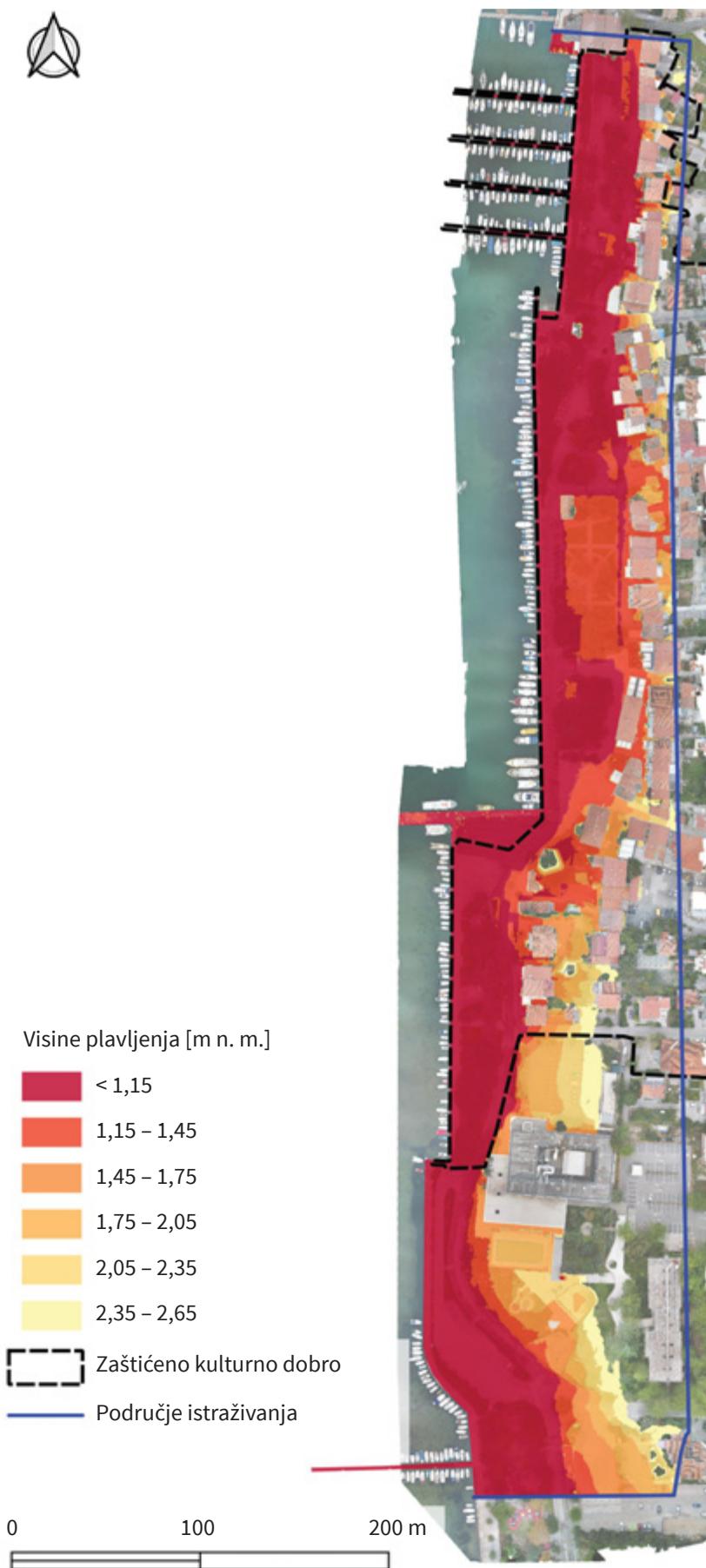
Površine plavljenja za sve scenarije neznatno se povećavaju (prosječno 1,2 puta) kada se pridodaju površine građevina koje će plaviti za pojedinu analiziranu morskou razinu (Slika 55.). Podaci o površinama u odnosu na duljinu obalne linije (918,6 m) dani su u Tablici 7. Predviđenim podizanjem razine mora, zanemarivo će se povećati površine plavljenja zbog povoljnih nagiba.

Tablica 7. Plavljenje površine u Puntu pri analiziranim morskim razinama

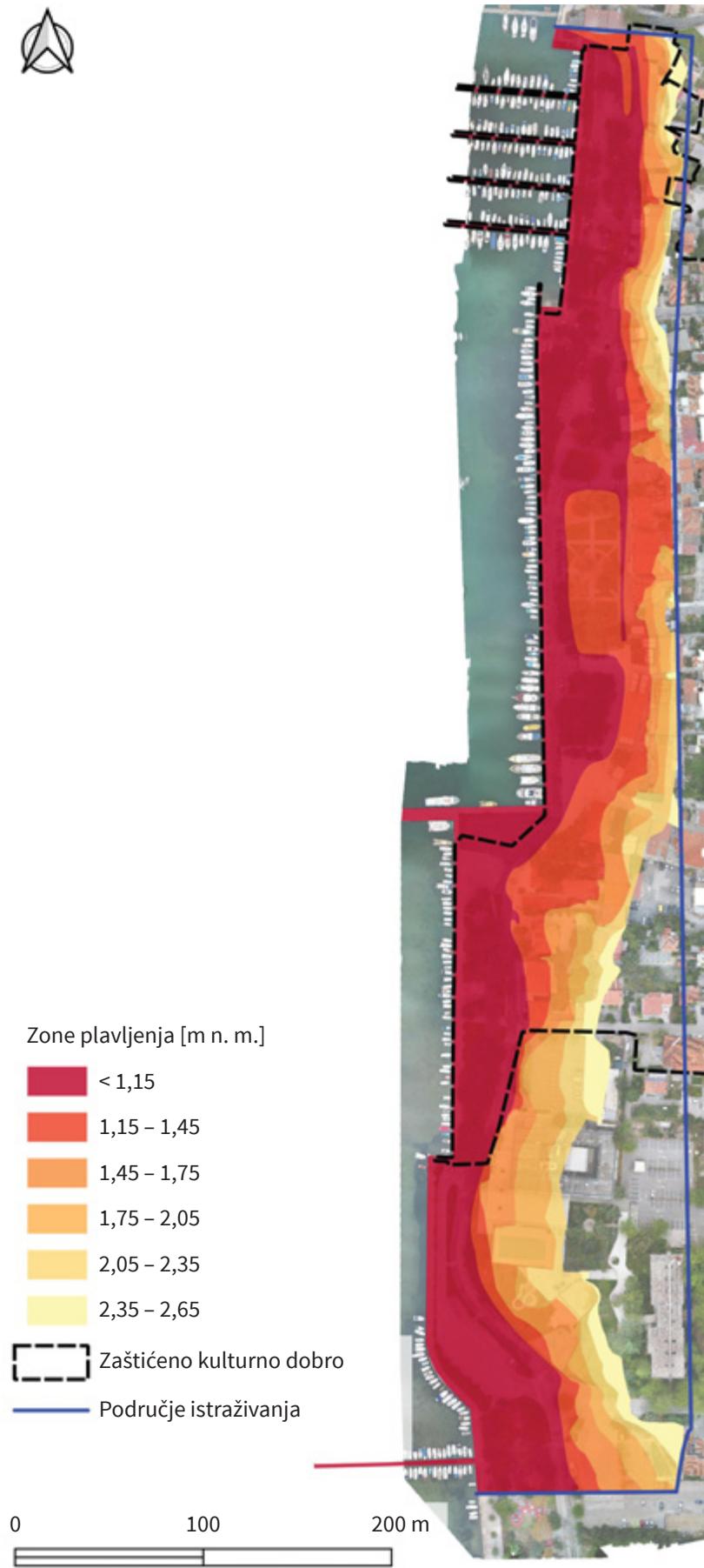
Razina [m n. m.]	Plavljeni površina [m ²]		Površina po m' OL [m ² /m']		Udio zaštićenoga kulturnog dobra [%]*	Broj plavljenih zgrada**
	Bez zgrada	Sa zgradama	Bez zgrada	Sa zgradama		
< 1,15	28.324	28.735	30,8	31,3	69,0	8 (9)
1,15 – 1,45	35.863	40.084	39,0	43,6	73,7	46 (49)
1,45 – 1,75	39.881	47.046	43,4	51,2	77,6	71 (81)
1,75 – 2,05	43.443	52.804	47,3	57,5	75,0	77 (90)
2,05 – 2,35	46.085	57.544	50,2	62,6	73,7	83 (103)
2,35 – 2,65	47.895	59.887	52,1	65,2	73,4	87 (107)

* Udio u plavljenoj površini sa zgradama

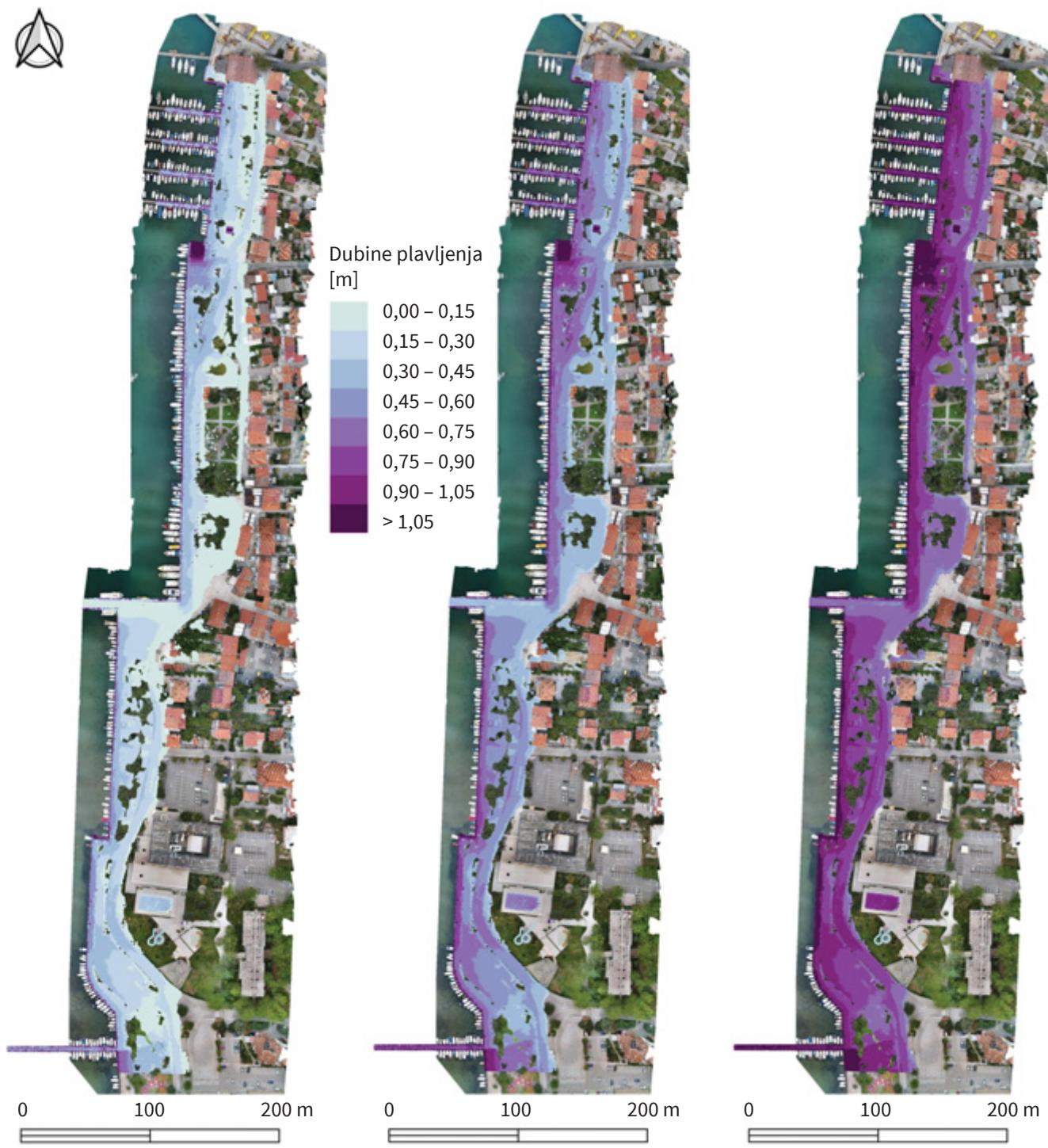
** Prva vrijednost označava plavljenje kućne brojeve (DGU, 2019.), a u zagradi je broj plavljenih zgrada.



Slika 54. Površine obalnog plavljenja Punta za morskú razinu od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.



Slika 55. Zone obalnog plavljenja Punta



Slika 56. Dubine obalnog plavljenja Punta za morsku razinu 1,15 m n. m. (lijeko), morsku razinu 1,45 m n. m. (sredina) i morsku razinu 1,75 m n. m. (desno)

Na Slici 56. prikazane su dubine obalnog plavljenja Punta za razine mora 1,15, 1,45 i 1,75 m n. m. Dubine plavljenja za trenutna plavljenja (1,15 m n. m.) uglavnom su manje od 30 cm pa ne postoje veći rizici.

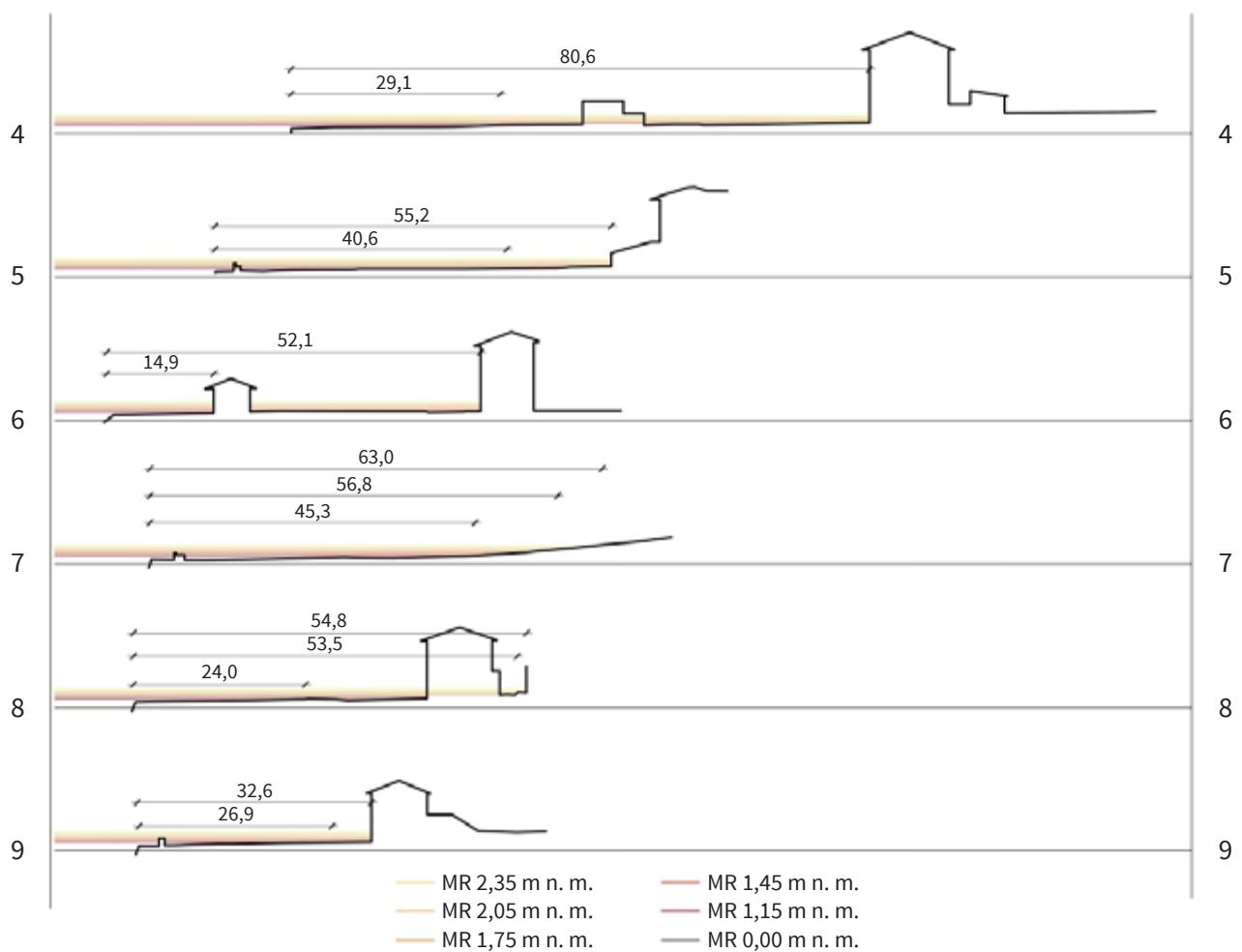
Dubine vode obalnog plavljenja Punta za 1,45 m n. m. (Slika 56., sredina) mogu izazvati plavljenja neizgrađenoga obalnog područja, a voda dolazi do manjeg bro-

ja građevina. To je realan scenarij koji se već sada može očekivati. Planove zaštite od obalnog plavljenja preporučuje se temeljiti upravo za morsku razinu 1,45 m n. m. Dubine vode mogu postati i opasne za ljude, a značajni dio infrastrukture neće biti funkcionalan.

Punat je već danas izložen značajnom obalnom plavljenju središta grada za razine plavljenja do 1,15 m n. m. Površina koja može poplaviti sada je oko 29.000 m^2 . Za sada su dubine plavljenja neznatne uz građevine i ne nastaje veća materijalna šteta. Većina plavljenja je na nasutim površinama koje nisu izgrađene, već su javne površine poput parkova, tržnice, prometnica i parkinga (Slika 57. i Slika 58.).



Slika 57. Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka Punta



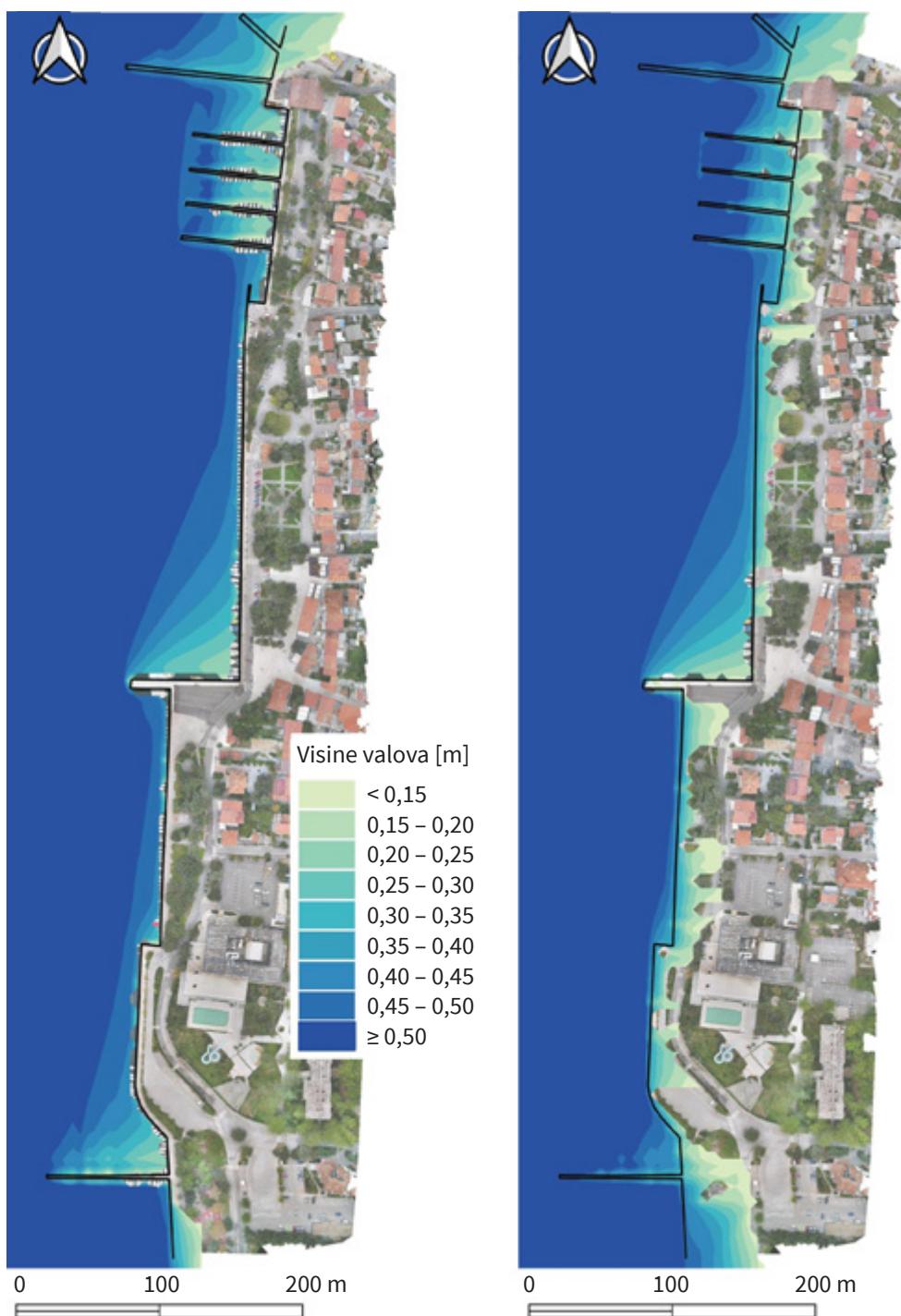
Slika 58. Doseg plavljenja na presjecima 4 – 9

4.3.2. Numeričke simulacije valovanja

U slučaju podizanja razine mora može doći i do povećanja valova u postojećim lukama i na poplavljenim gradskim površinama. Analiza promjene agitacije valova u akvatoriju Puntarske drage provedena je numeričkim simulacijama valova za današnje obalno plavljenje za morskú razinu od 1,15 m n. m. te u slučaju analiziranih porasta razine mora do visine 1,75 m n. m.

Analize valovanja provedene su primarno za šire područje akvatorija Puntarske drage, a rezultati numeričkih simulacija valovanja prikazani su na Slikama 59. i 60. Na osnovi rezultata modeliranja šireg akvatorija definirani su rubni uvjeti valovanja za numeričke simulacije valovanja ispred istraženog područja Punta. Prikazani su rezultati za najnepovoljnija valovanja smjera SW (lebić).

Na Slici 59. (lijevo) prikazane su simulacije valovanja pri morskoj razini 0,55 m n. m., za smjer SW i pedesetogodišnje povratno razdoblje. Do obale dolaze valovi značajne visine od 40 centimetara. S već danas zabilježenim porastom razine mora na 1,15 m n. m. valovi će se širiti i na obalu – otprilike 20 m od obalne linije doći će

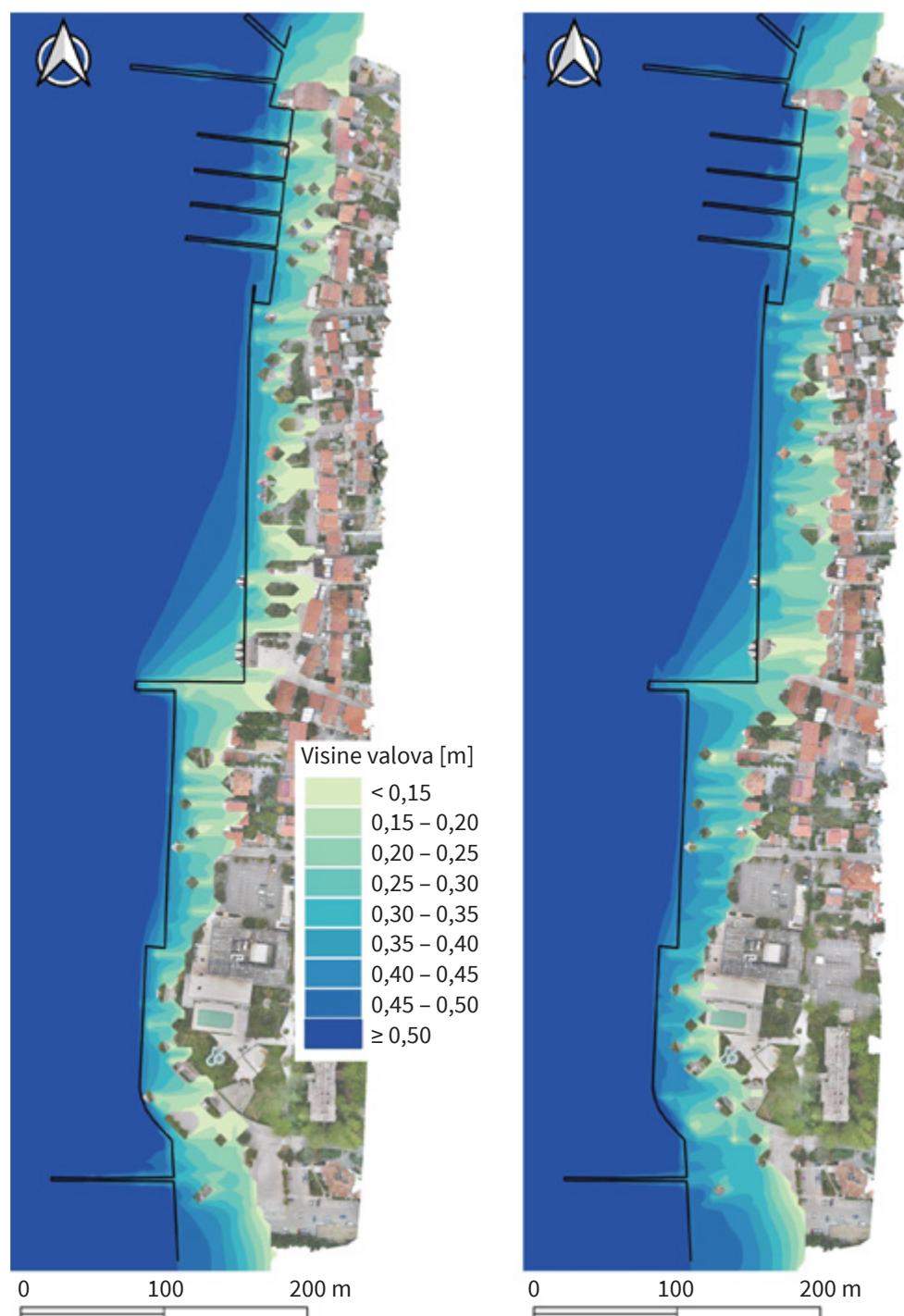


Slika 59. Propagacija i visine valova za morsku razinu 0,55 m n. m. (lijevo) i morsku razinu 1,15 m n. m. (desno)

valovi značajne visine 10 cm (Slika 59., desno). Iako će na obalu nailaziti nešto viši valovi, oni neće dosezati zgrade te ne bi trebala nastajati materijalna šteta.

Rastom morske razine na 1,45 m n. m. valovi će propagirati dalje prema naselju i visine od 10 cm dosezat će i prvi red građevina (Slika 60., lijevo). Rivom će se pak širiti valovi visine 30 centimetara.

S ekstremnim razinama mora od 1,75 m n. m. doseg valova na kopnu neće se značajno povećati, u odnosu na prethodni opisani scenarij. Međutim, do zgrada će stizati viši valovi (oko 20 cm), a u užem pojasu uz obalnu liniju i Obalom širit će se valovi visina većih od 35 centimetara (Slika 60., desno).



Slika 60. Propagacija i visine valova za morskou razinu 1,45 m n. m. (lijevo) i morskou razinu 1,75 m n. m. (desno)

4.4. Volosko

Volosko (Slika 61.) je staro obalno naselje na istočnoj obali Istre. Urbanistički je danas sraslo s 2 km jugozapadno udaljenom Opatijom, ali je dobro sačuvana stara jezgra zbijenoga ribarskoga sredozemnoga naselja, koje leži amfiteatralno oko male jedrenjačke luke u kojoj pristaju brodovi s gazom do 3 metra. Dobro je zaštićena od vjetrova i ima gat za sitnije popravke manjih brodova. Najstariji je dio naselja jezgra smještena oko male luke, gdje su se nalazila spremišta za robu koja se utovarivala na brod ili otpremala do Kastva. Već gradnjom ceste Rijeka – Poklon – Pazin počeo je novi razvoj naselja i otvaranje širega zaleđa, posebno nakon 1860. godine, te nakon prolaska u blizini željezničke pruge Rijeka – Ljubljana.

Tri su osnovna tipa građevina (Grad Opatija, 2007.; Hrvatska enciklopedija, 2021d; Istrapedia, 2017.):

- jednostavne tradicionalne ribarske kuće
- nešto ukrašenije „kapetanske zgrade“ nastale tijekom razvoja pomorstva u 18. i 19. st., te
- veće i reprezentativnije profane zgrade i ljetnikovci nastali na rubovima naselja tijekom razvoja Grada Opatije.

Od 1967. godine povijesna urbana cjelina naselja Volosko upisana je u Registar kulturnih dobara RH na listu zaštićenih kulturnih dobara kao kulturno-povijesna cjelina. Zaštićena cjelina naselja Volosko obuhvaća najstariju jezgru naselja i pojas reprezentativnih vila s kraja 19. st. i početka 20. st. koje se grade uz morski pojas od Črnikovice do Lipovice. Slika 61. pokazuje da je cijelo istraženo područje unutar granice zaštićenoga kulturnog dobra. Analizirana obalna linija za sadašnje razine mora umjerene je ranjivosti na obalno plavljenje (prosječni CVI iznosi **3,2**).

Istraženo je područje površine 21.701 m^2 (površina kopnenog područja) i obalna linija ukupne duljine 1.251 metar. Za analize je u obzir uzeta generalizirana obalna linija koja ne uključuje lukobrane i molove, te je duljine 764 metra. Geodetska podloga u obliku trodimenzionalnog oblaka točaka rezolucije je 20 centimetara. Rezolucija je smanjena u odnosu na originalnu kako bi se smanjilo vrijeme koje je računalu potrebno za obradu podataka jer se radilo o više od 320 milijuna točaka. Smanjenjem rezolucije dobio se dovoljno točan model terena s nešto više od 1,1 milijun točaka.

ANALIZA UGROŽENOSTI
OD OBALNOG PAVLJENJA
RANJIVIH NASELJA
PRIMORSKO-GORANSKE
ŽUPANIJE



Slika 61. Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)

4.4.1. Plavljenja obalnog područja Voloskog

Na Slici 62. prikazane su površine obalnog plavljenja naselja Volosko za razine mora 1,15 m n. m., odnosno za postojeća plavljenja. Površine plavljenja su 2.025 m². Obalna linija pomaknut će se prema unutrašnjosti tek za 4,5 metara. Za slučaj porasta razine mora na 1,45 m n. m. pod morem će se naći obalni pojas prosječne širine 9 m, a površine će se udvostručiti u odnosu na prethodni scenarij.

Pridodaju li se površine građevina na jugu naselja koje će more dosegnuti, površine plavljenja neznatno će se povećati (Slika 63.). Površine plavljenja za sve scenarije dane su u Tablici 8. gdje je i podatak o plavljenoj površini po duljini obalne linije (764,2 m).

Tablica 8. Plavljeni površini u Voloskom pri analiziranim morskim razinama

Razina [m n. m.]	Plavljeni površina [m ²]		Površina po m' OL [m ² /m']		Broj plavljenih zgrada*
	Bez zgrada	Sa zgradama	Bez zgrada	Sa zgradama	
< 1,15	2.025	2.025	2,6	2,6	0 (0)
1,15 – 1,45	4.370	4.713	5,7	6,2	8 (8)
1,45 – 1,75	6.359	6.751	8,3	8,8	11 (10)
1,75 – 2,05	7.377	8.203	9,7	10,7	12 (12)
2,05 – 2,35	8.573	9.401	11,2	12,3	14 (16)
2,35 – 2,65	9.216	10.069	12,1	13,2	16 (20)

* Prva vrijednost označava plavljeni kućne brojeve (DGU, 2019.), a u zagradi je broj plavljenih zgrada.



Visine plavljenja [m n. m.]

< 1,15
1,15 – 1,45
1,45 – 1,75
1,75 – 2,05
2,05 – 2,35
2,35 – 2,65

— Područje istraživanja



Slika 62. Površine obalnog plavljenja Voloskog za morskou razinu od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.



Zone plavljenja [m n. m.]

- < 1,15
- 1,15 – 1,45
- 1,45 – 1,75
- 1,75 – 2,05
- 2,05 – 2,35
- 2,35 – 2,65

— Područje istraživanja

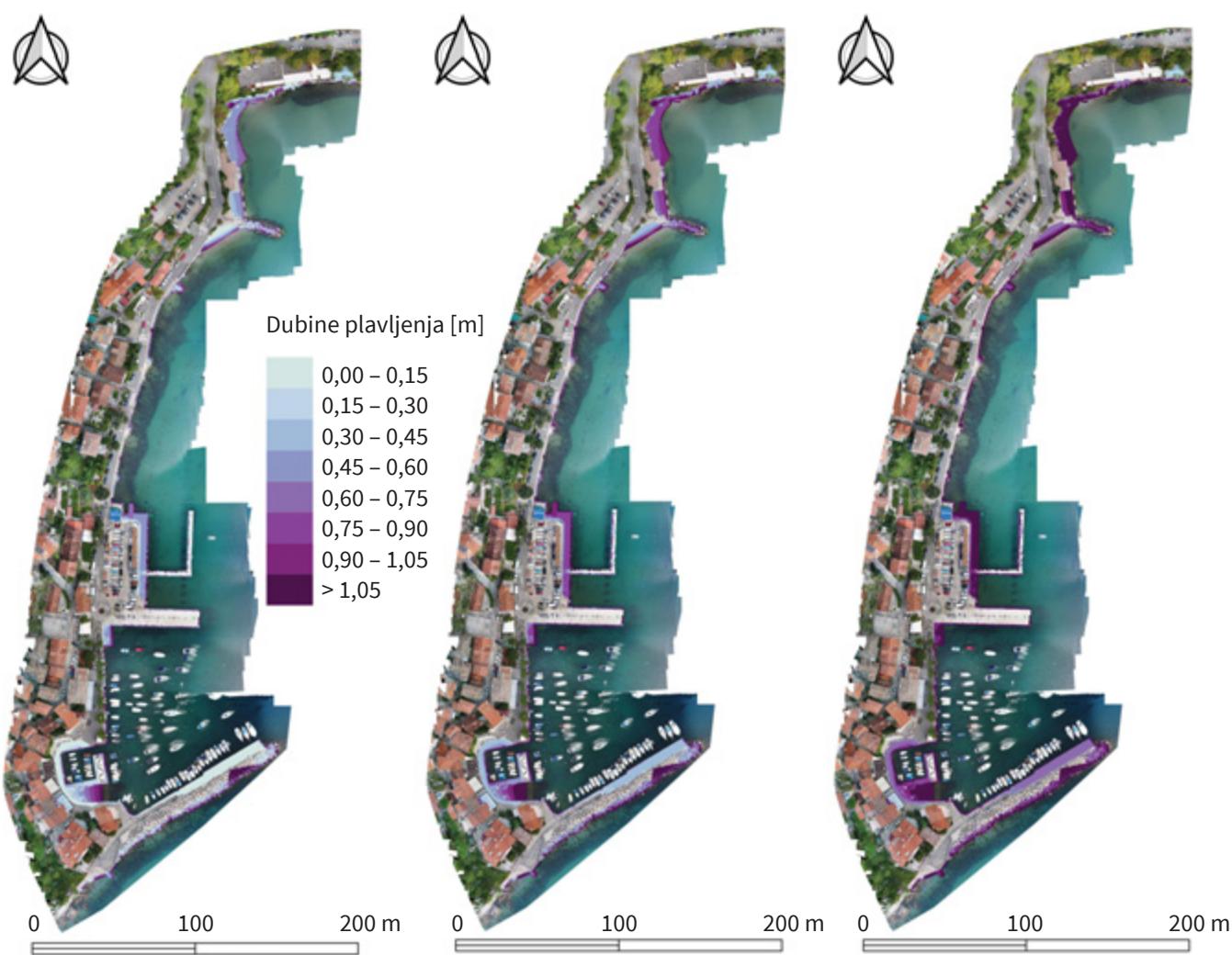


Slika 63. Zone plavljenja u Voloskom

Na Slici 64. (lijevo) prikazane su dubine plavljenja za zabilježeno obalno plavljenje naselja Volosko za razine mora 1,15 m n. m.

Pri razinama od 1,45 m n. m. more će doći samo do nekoliko građevina na jugu Voloskog. Dubine plavljenja će biti male (Slika 64., sredina) pa ne bi trebala nastati veća šteta. Većina plavljenja je na nasutim površinama koje nisu izgrađene, već su javne površine (poput parkinga u središtu) te prometnice. Zbog odgovarajuće širine neizgrađenoga obalnog pojasa bit će moguće braniti građevine koje bi pri tim (i višim) morskim razinama bile ugrožene.

Ono što će predviđenim podizanjem razine mora postati problem, a vidljivo je na svim kartama, jest plavljenje i prelijevanje lukobrana. Već sada se valovi u Voloskom s malo jačim vjetrom preljevaju na prometnicu, a dizanjem morske razine rast će i njihov doseg ukoliko se ne provedu određene mjere. Rekonstrukcija i prilagodba glavnog lukobrana u luci Volosko bit će relativno jednostavan zahvat zbog tipa konstrukcije.

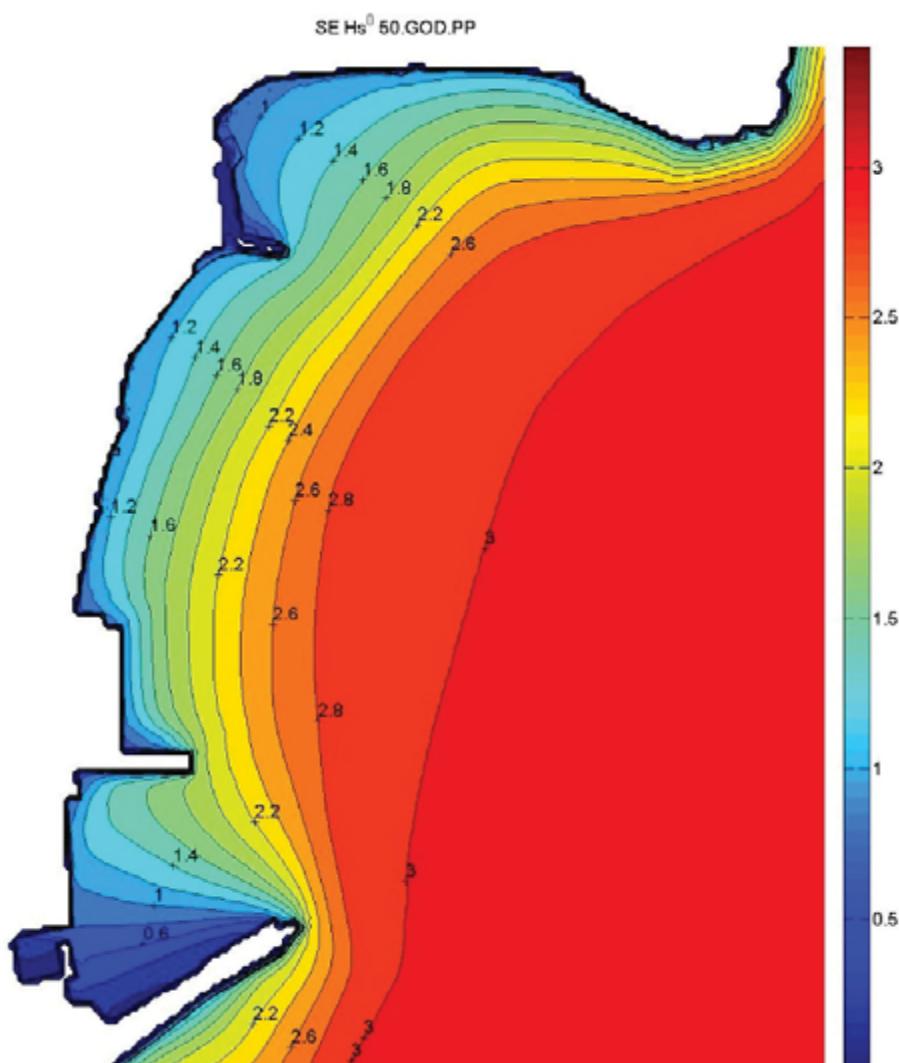


Slika 64. Dubine obalnog plavljenja naselja Volosko za morskou razinu 1,15 m n. m. (lijevo), morskou razinu 1,45 m n. m. (sredina) i morskou razinu 1,75 m n. m. (desno)

4.4.2. Numeričke simulacije valovanja

Analize valovanja provedene su primarno za područje Riječkog zaljeva, a rezultati numeričkih simulacija valovanja prikazani su na Slici 65. Na osnovi rezultata modeliranja šireg akvatorija definirani su rubni uvjeti valovanja za numeričke simulacije valovanja u akvatoriju ispred Voloskog. Prikazani su rezultati za najnepovoljnija valovanja smjera SE (jugo), i to samo za sadašnju maksimalnu razinu mora. Visine valova za različite scenarije plavljenja nisu provedene jer su površine obalnog plavljenja relativno male, a analiziran je problem preljevanja valova na Obali F. Supila.

Na Slici 65. prikazane su značajne valne visine juga u akvatoriju Voloskog za razine mora 1,15 m n. m. Značajne visine valova koji dolaze do Obale Frana Supila su visine od 1,0 do 1,50 m, a na osnovi tih podataka proveden je proračun i procjena preljevanja za više scenarija.



Slika 65. Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, Volosko, morska razina 1,15 m n. m.

4.5. Sintezni pregled rezultata

U ovom poglavlju dan je sintezni pregled rezultata analiza provedenih za četiri istražena naselja, radi naglašavanja razlika u uočenim problemima s kojima se susreću obalna naselja.

Nakon završetka prve faze projekta i definirane ranjivosti obale Primorsko-goranske županije u cijelini, Cres, Rab, Punat i Volosko izdvojeni su za detaljnije istraživanje obalnog plavljenja s obzirom na vrijednosti indeksa obalne ranjivosti. Unutar analiziranih područja tih naselja, prosječne vrijednosti CVI-ja s obzirom na obalno plavljenje (CVI d) iznosile su od 3,2 za Volosko (umjerena ranjivost) do 5,0 za Punat (veoma visoka ranjivost). Osnovna svojstva istraženih obala prikazana su u Tablici 9.

Tablica 9. Karakteristike analiziranih područja

		Cres	Rab	Punat	Volosko
Analizirana površina [m²]		91.750	156.650	74.371	21.701
Duljina obalne linije [m]	Ukupna	2.204	4.077	1.643	1.251
	Generalizirana	1.219	2.643	919	764
Prosječni CVI d *		4,5	4,35	5,0	3,2

* Vrijednost CVI d preuzeta iz prve faze istraživanja (najviša vrijednost: 5,0)

S obzirom na različite veličine obuhvatova istraživanja i duljine obalnih linija, u ovom su istraživanju površine plavljenja izražene po metru dužnom generalizirane obalne linije (OL), m²/m'. Rezultati su prikazani u Tablici 10. za četiri naselja i svaki od šest definiranih scenarija.

Tablica 10. Dosezi plavljenja prema analiziranim scenarijima

	Scenarij	Cres	Rab	Punat	Volosko
Površina plavljenja po m' OL [m ² /m'] *	< 1,15	19,1 (36,7)	12,7 (17,5)	30,8 (31,3)	2,6 (2,6)
	1,15 – 1,45	24,7 (47,3)	20,6 (28,2)	39,0 (43,6)	5,7 (6,2)
	1,45 – 1,75	27,1 (53,2)	23,8 (32,0)	43,4 (51,2)	8,3 (8,8)
	1,75 – 2,05	28,8 (56,3)	25,7 (33,9)	47,3 (57,5)	9,7 (10,7)
	2,05 – 2,35	30,6 (59,5)	27,1 (35,7)	50,2 (62,6)	11,2 (12,3)
	2,35 – 2,65	32,2 (62,7)	28,1 (36,7)	52,1 (65,2)	12,1 (13,2)
Prosječna širina (okomito na OL) poplavljeno pojava [m]	< 1,15	60	35	40	4,5
	1,15 – 1,45	75	56	54	9
Dubina plavljenja [m]**	< 1,15	0,33 (do 0,60)	0,28 (do 0,60)	0,27 (do 0,15)	0,47
	1,15 – 1,45	0,51 (do 0,90)	0,39 (do 0,90)	0,52 (do 0,30)	0,36 (do 0,15)
	1,45 – 1,75	0,76 (> 1,05)	0,63 (> 1,05)	0,78 (do 0,60)	0,49 (do 0,45)

* Prva vrijednost odnosi se na površine bez zgrada, a vrijednošću u zagradi uzete su u obzir i površine građevina koje bi plavile za pojedini scenarij.

** Prva vrijednost odnosi se na medijan dubina izračunat u QGIS-u, a vrijednost u zagradi je najveća dubina plavljenja ispred zgrada za pojedini scenarij.

Rezultati pokazuju da najviše plave Cres i Punat. Iako imaju dosta slične veličine plavljenih površina u odnosu na duljinu obalne linije, u Cresu će more zadirati dalje u grad jer su blaži nagibi terena. Ovdje će i šteta od obalnog plavljenja biti veća jer se građevine nalaze bliže obalnoj liniji, nego u Puntu i Voloskom. Stoga će i dubine plavljenja uz zgrade biti značajno veće, što može predstavljati i opasnost za ljude. S istim problemom suočavaju se i građevine u Rabu.

Preklapanjem plavljenih površina s poligonima zgrada⁷ u zaštićenom obalnom pojasu definiran je i točan broj zgrada koje su ugrožene tijekom pojedinog scenarija. Na isti način određeni su i udjeli površina zaštićenih kulturno-povijesnih cjelina (Tablica 11.).

Tablica 11. Broj plavljenih građevina prema analiziranim scenarijima

	Scenarij	Cres	Rab	Punat	Volosko
Broj plavljenih zgrada	< 1,15	233	79	9	0
	1,15 – 1,45	307	142	49	8
	1,45 – 1,75	372	167	81	10
	1,75 – 2,05	403	176	90	12
	2,05 – 2,35	439	197	103	16
	2,35 – 2,65	473	199	107	20
Ukupni udio površine zaštićenih kulturno-povijesnih cjelina u plavljenoj površini [%]	< 1,15	100	80,7	69,0	100
	1,15 – 1,45		88,0	73,7	
	1,45 – 1,75		89,0	77,6	
	1,75 – 2,05		88,8	75,0	
	2,05 – 2,35		89,1	73,7	
	2,35 – 2,65		89,6	73,4	

Prema rezultatima u Tablici 11. izdvaja se grad Cres s višestruko većim brojem plavljenih zgrada u svakom scenariju, u odnosu na ostala analizirana naselja. Većina plavljenih građevina u Cresu (oko 85 %) u digitalnom katastarskom planu klasificirana je kao kuće. U Rabu, gdje je analizirana površina gotovo dvostruko veća od one u Cresu (Tablica 9.), oko 53 % zgrada pripada toj skupini, dok gotovo trećinu ugroženih građevina u Rabu čine različite gospodarske zgrade. Ti se udjeli odnose na prvi scenarij kojim su definirana današnja plavljenja, a porastom morske razine značajno se ne mijenjaju.

Zahvaljujući odmaku izgradnje od obalne linije u Puntu, uočava se da je tek devet zgrada ugroženo tijekom sadašnjih plavljenja, a i dubine plavljenja uz njih će biti male. Tek tijekom scenarija srednje morske razine od 1,45 m n. m. značajnije raste i broj ugroženih građevina.

⁷ Podatak Državne geodetske uprave

Među plavljenim građevinama u Rabu, već u prvom scenariju, odnosno trenutno, plave i dvije palače upisane u Registar kulturnih dobara RH kao pojedinačna kulturna dobra: Kneževa palača i palača Nimira mala.

U Cresu su tijekom prvog scenarija ugrožene tri građevine iste vrste: Gradska loža, palača Moise i palača Arsan-Petris. S razinama mora višim od 1,15 m n. m. plavit će dodatno i crkva sv. Marije Velike (Snježne) i crkva sv. Izidora, također zaštićena pojedinačna kulturna dobra.

U analiziranom području Punta i Voloskog nema pojedinačnih kulturnih dobara upisanih u Registar koji bi bili ugroženi. Međutim, **u sva četiri naselja većina površine koja će plaviti u svim scenarijima je upisana u Registar kao kulturno-povijesna cjelina** (Tablica 11.). U Cresu i Voloskom plavljenе površine su u cijelosti unutar zaštićenih cjelina. U Rabu je 80 – 90 %, a u Puntu 70 – 78 % poplavljenih površina u granicama kulturno-povijesnih cjelina.

Ono što dodatno ugrožava naselja su valovi koji se pri višim razinama mora šire po poplavljenim površinama. Rezultati numeričkih simulacija valovanja prema analiziranim scenarijima prikazani su u Tablici 12.

Tablica 12. Pregled rezultata valovanja

	Scenarij	Cres	Rab	Punat	Volosko
Valovi na poplavljenim površinama veći od 20 cm	0,55	-	-	-	nije provedena analiza valovanja na poplavljenim površinama
	1,15	-	-	+	
	1,45	+	+	+	
	1,75	+	+	+	
Funkcioniranje obalne infrastrukture*	djelomično smanjeno	smanjeno	u redu	smanjeno	

* Za scenarij 1,45 m n. m.

U Voloskom nije analizirana propagacija valova na poplavljenim površinama jer su plavljenе površine relativno male, kao i dubine plavljenja. Obalna infrastruktura u ostalim naseljima projektirana je na način da se za današnje srednje razine plima (scenarij 0,55) u obalnom području ne šire valovi. Tijekom trenutnih ekstremnih razina mora od 1,15 m n. m. valovi se prelivaju preko lukobrana izgrađenih u Rabu i Cresu, ali oni i dalje štite akvatorije luka i sprječavaju pojavu viših valova na kopnu uz obalnu liniju. Južni lukobran u Voloskom također će za prvi scenarij biti poplavljén. Iako u Puntu more ne doseže kuće tijekom ovog scenarija, na poplavljenim površinama valovi ipak podižu razinu rizika. Podizanjem morske razine na 1,45 m n. m. preko vanjskih (novih) lukobrana u Cresu prelivat će se valovi, ali će njihov povoljan utjecaj na visinu valova u luci i dalje dolaziti do izražaja.

Rezultati ove analize pokazuju da se priobalna naselja s problemima povezanim uz porast morske razine suočavaju u različitim mjerama. **Rizik će uvelike ovisiti o stupnju izgrađenosti obale, udaljenosti građevina od obalne linije i relativnoj dubini plavljenja.**

Prilikom utvrđivanja mjera zaštite obvezna je suradnja s nadležnim konzervatorskim odjelom jer je većina istraženoga plavljenog područja upisana u Registr kulturnih dobara RH.



5. PRIJEDLOG MJERA ZAŠTITE OD OBALNOG PLAVLJENJA



U ovoj studiji prikazano je više prijedloga mjera obrane od obalnog plavljenja, a u ovom je poglavlju dan pregled mjera koje su primjenjive u analiziranim naseljima PGŽ-a.

5.1. Cres

Izgradnjom novoga zapadnog lukobrana 2021. godine i produljenjem operativnoga glavnog gata 2013. godine postigla se značajna zaštita od obalnog plavljenja, prvenstveno prelijevanja valova, pogotovo na obali Lungomare svetog Mikule i na postojećim, unutrašnjim zaštitnim gatovima (Slika 66.).

Zaštitu od obalnog plavljenja grada Cresa potrebno je utvrditi analizom cjelokupnoga obalnog prostora grada. **Nije moguće riješiti samo jedan dio obale ili infrastrukture bez utvrđivanja cjelokupnog stanja.** Potrebno je analizirati mogućnost zaštite od obalnog plavljenja čitave obale i zaobalja grada, te njezin utjecaj na obalnu infrastrukturu, kanalizacijski sustav, odvodnju oborinskih voda, promet (pješački), dispoziciju luke, funkcionalnost građevina, zaštitu spomenika i sl.

Mogućnosti zaštite od obalnog plavljenja grada Cresa bit će poprilično zahtjevne zbog niskih visina postojeće obale i zaštićene kulturne baštine. Većina građevina izgrađena je za visine pločnika oko 1 m n. m., što u većem dijelu starog grada nije moguće jednostavno ispraviti zbog postojećih građevina. **Širenje prema moru i podizanje postojeće obale** stare luke vjerojatno je tek **djelomično moguće**, a ova je rješenja potrebno razmatrati i s gledišta konzervatorske struke, funkcionalnosti luke te ograničenih pješačkih površina na obali.

U zoni plavljenja ne preporučuje se primjena infiltrirajućih površina (npr. parkirališta) kako se dodatno ne bi podignule razine podzemnih voda, već se preporučuje površinske vode najbrže usmjeriti prema moru. Formiranje novih zelenih površina, pa čak i sadnja pojedinačnih stabala, mogu imati pozitivan utjecaj na otjecanje površinskih voda. Međutim, zelenu infrastrukturu moguće je (i poželjno) primijeniti tek izvan zone koju će poplaviti more, na području sliva površinskog otjecanja starog grada Cresa.

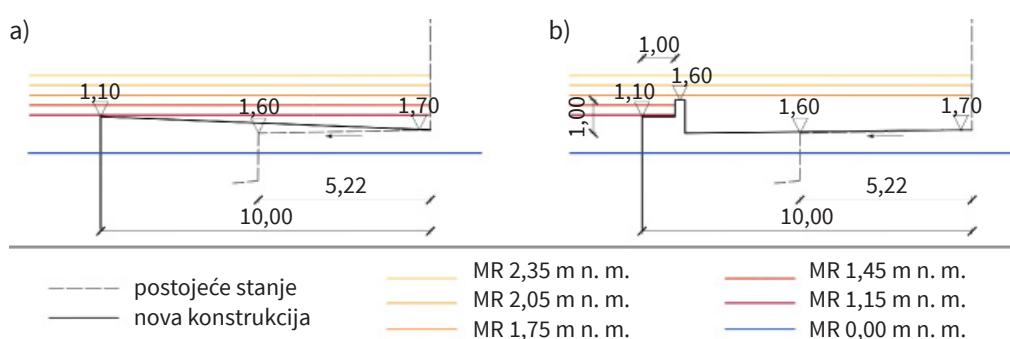
Spomenuta retencija na području Ulice Turion, već sada sprječava plavljenja grada koja su uzrokovana površinskim otjecanjem. Njezina će funkcija u budućnosti još više doći do izražaja zbog predviđenog povećanja intenziteta oborina.

Na rješenju zaštite od obalnog plavljenja grada potrebno je početi raditi čim prije, obvezno **multidisciplinarnim pristupom**. U radnom timu moraju biti urbanisti, inženjeri, konzervatori, arhitekti, oceanografi, ekonomisti, sociolozi i dr.



Slika 66. Cres – promjena obalne linije između 1968. (gore) i 2014. (dolje) (DOF 1968, DOF 2014; prema: DGU, 2015.)

Na Slici 67. prikazane su varijante širenja obale u presjeku 2 (Slika 36.). Na sjevernom dijelu luke širina između obalne linije i građevine je oko 5 m, a prolaz pješaka dodatno je ograničen terasama ugostiteljskih sadržaja. Zaštita od obalnog plavljenja moguća je proširenjem obale i podizanjem njezine kote (Slika 67., a) ili izgradnjom zaštitnog zida na obali (Slika 67., b).



Slika 67. Mogućnost zaštite od obalnog plavljenja podizanjem kote obale (a), ili izgradnjom zaštitnog zida na obali (b)

Prikazano rješenje potrebno je dodatno analizirati s gledišta prihvatljivosti uklapanja u prostor starog grada i neminovnog smanjenja akvatorija luke, iako bi poboljšalo protočnost pješačkog prometa. Kako bi ovakvo rješenje bilo funkcionalno, trebalo bi ga provesti duž cijele obale grada. Predloženo rješenje moguće je provesti izvan starog grada i luke, na Obali svetog Mikule i škveru, gdje su manja ograničenja za proširenje obale i podizanje visine obalnog zida.

Često se kao rješenje predlaže izgradnja pomicne brane na ulasku u staru luku (Slika 68.), po uzoru na onu u Veneciji (opisanu u poglavlju 3.1.1.). To rješenje se nameće zbog velike duljine (razvedenosti) obale starog grada i ograničene mogućnosti njezinoga proširenja. Brana bi zaustavila plavljenja u središtu grada, no izgradnjom brane i popratne obalne infrastrukture (postojećih lukobrana i obala) ne bi se u potpunosti riješio problem obalnog plavljenja, te je potrebno urediti obale istočno i zapadno od lokacije brane – Obala svetog Mikule i škver. Zaključuje se da je za konačan prijedlog mjera zaštite potrebno razmatrati cjelokupni obalni prostor grada Cresa.



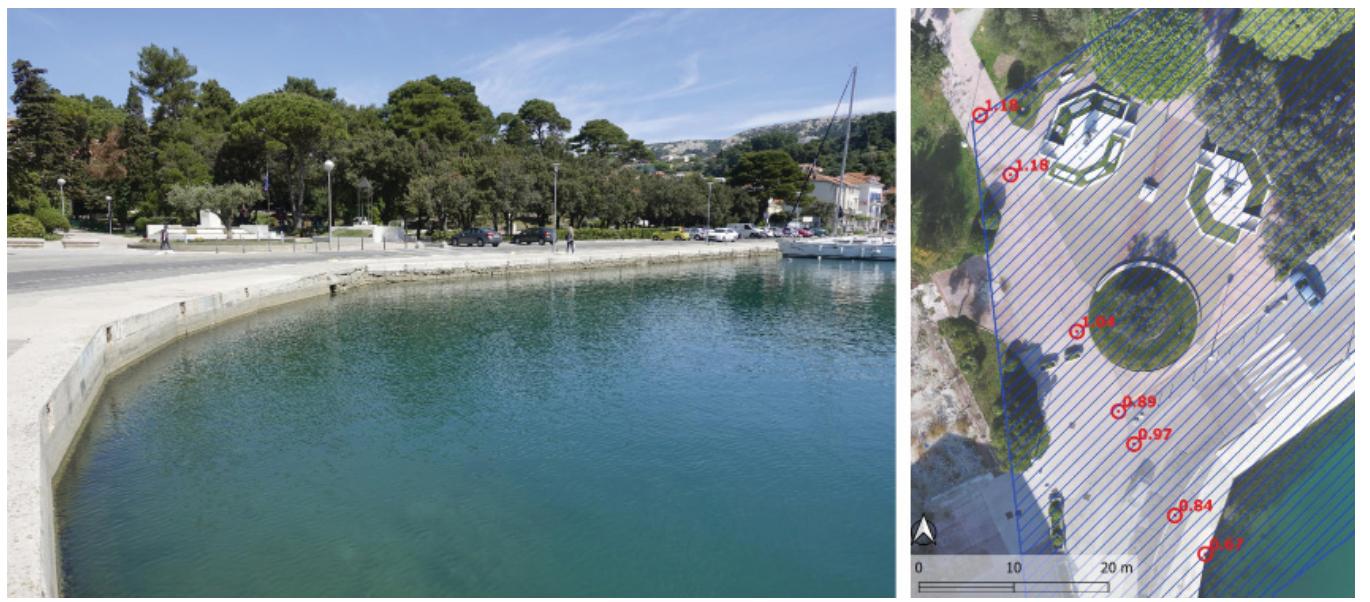
Slika 68. Potencijalna lokacija pomicne brane

5.2. Rab

Na Slici 69. prikazana je rekonstruirana Obala kralja Petra Krešimira IV. koja za sada ne plavi jer je visina obale viša od 1,30 m n. m., no u bliskoj budućnosti vjerojatno će doći do plavljenja tog dijela obale.



Slika 69. Nova obala – visina 1,32 m n. m., za današnje razine mora zadovoljavajuća situacija



Slika 70. Sjeverna obala luke Rab, visina obale oko 0,80 m n. m., često plavi

Na Slici 70. prikazana je sjeverna obala luke Rab, gdje je visina obale oko 0,8 m n. m. zbog čega dolazi do čestog obalnog plavljenja.

Na Slici 71. prikazan je operativni zaštitni lukobran – Pumpurela luke Rab, čije visine već danas nisu zadovoljavajuće zbog plavljenja operativne obale i prekomjer-



Slika 71. Lukobran u gradu Rabu

nog prelijevanja valova. Lukobran je relativno jednostavno rekonstruirati zbog tipa konstrukcije i povoljne dubine okolnog akvatorija. Ta je sanacija upravo u tijeku.

U Rabu za vrijeme visokih razina mora dolazi do plavljenja velikog dijela jezgre grada jer je većina obale niža od 1 m n. m. Vez za plovila na većem dijelu obale luke tijekom visokih morskih razina nije funkcionalan. Obalni zid biva poplavljen te odbojnici plovila više nemaju funkciju, što predstavlja značajan sigurnosni problem vlasnicima brodova i djelatnicima lučke uprave.

Upravo je aktualan projekt izgradnje nove obale na zapadnom dijelu luke (Obala Petra Krešimira IV., Šetalište M. de Dominisa) s višom kotom (oko 1,35 m n. m.) koja je iznad sadašnjih razina plavljenja. To je rješenje koje će djelomično zaštiti staru jezgru grada, a ne rješava ni plavljenje u luci pa će vjerojatno doći do prelijevanja iz nezaštićenih dijelova.

Potrebno je izraditi **cjelokupnu strategiju obrane od obalnog plavljenja** grada Raba, u koju će se uklopiti postojeća djelomična rješenja. S novom strategijom morat će se uskladiti i novi prostorni planovi u skladu s uvjetima zaštite baštine.

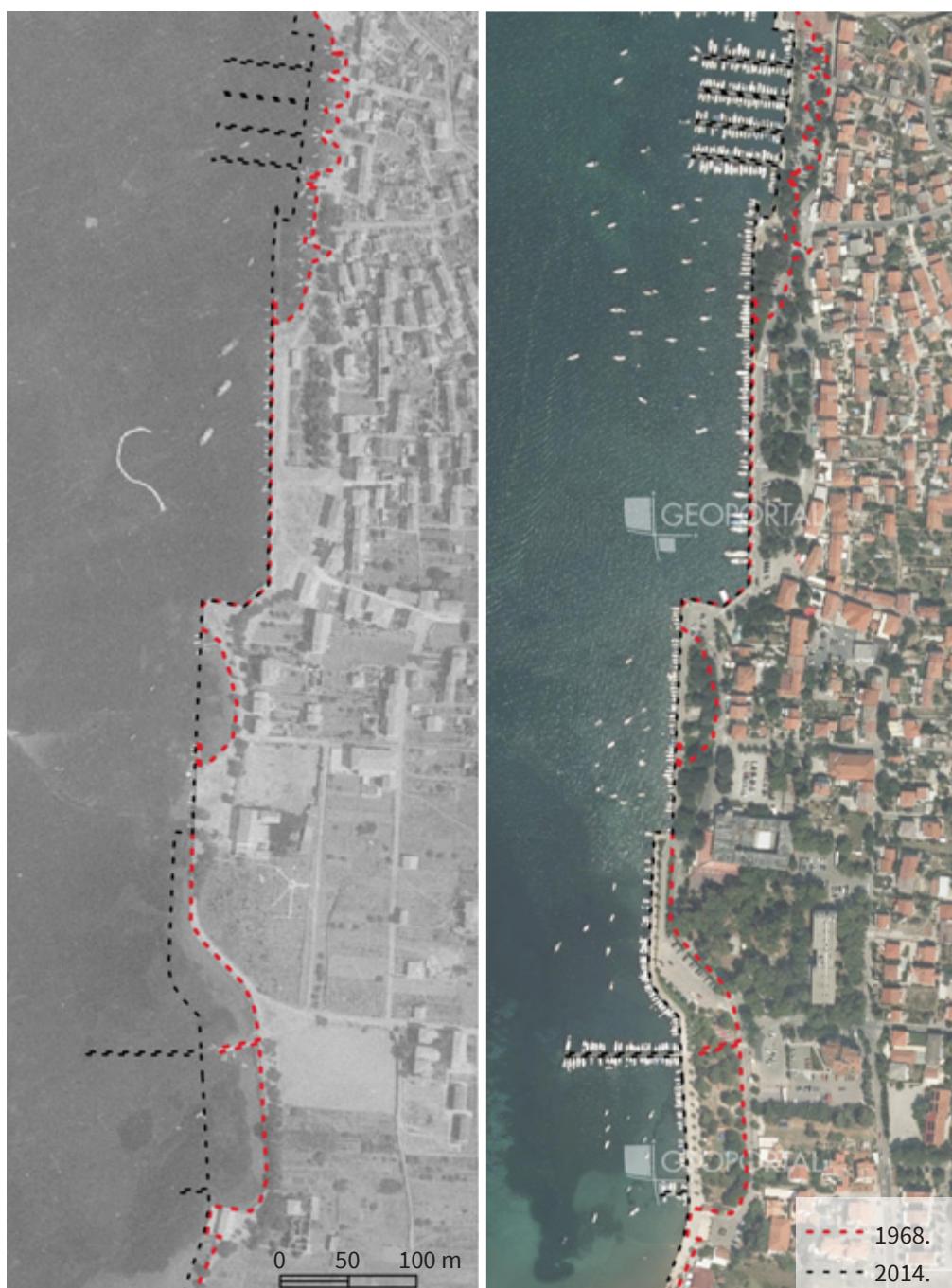
U Rabu je **moguće i širenje obalne linije prema luci**, čime bi se moglo dobiti nove javne površine, ali to je potrebno uskladiti s potrebama za korištenjem lučkog akvatorija i prometa u gradu.

Postojeću **obalnu infrastrukturu potrebno je prilagoditi očekivanim razinama mora**, za što je već danas potrebno započeti planiranje. Glavni lukobran bit će potrebno rekonstruirati s višim kotama parapetnog zida te odgovarajućim pojačanjem kamenometa nasipa. U luci prevladavaju vertikalni zidovi koji povećavaju valove u štićenom akvatoriju luke zbog refleksije valova. Stoga se kod rekonstrukcije obale luke preporučuje umanjiti refleksiju valova.

5.3. Punat

Iako je obala naselja Punat na relativno niskim visinama i nepovoljna je u odnosu na otpornost na obalno plavljenje, ne nastaju značajne materijalne štete, niti se one očekuju predviđenim porastom razine mora.

Na Slici 72. prikazana je promjena obalne linije naselja Punat tijekom druge polovine 20. stoljeća. Obalna linija Punta značajno je pomaknuta prema moru nasipavanjem plitkoga obalnog područja.



Slika 72. Punat – promjena obalne linije između 1968. (lijevo) i 2014. (desno) (DOF 1968, DOF 2014; prema: DGU, 2015.)

Punat ne bi trebao imati problema s obalnim plavljenjima u skoroj budućnosti jer je zaštitio prostor za provedbu mjera zaštite od plavljenja. **Iako danas plave relativno velike površine, u naselju Punat nema veće materijalne štete jer se radi o neizgrađenim javnim površinama** nasutim posljednjih 60-ak godina. Upravo novoformirane, nasute, neizgrađene površine pružaju mogućnost zaštite od predviđenoga obalnog plavljenja u budućnosti. Na tim će površinama biti moguće i podići kotu obale radi zaštite od obalnog plavljenja bez narušavanja vizure naselja.

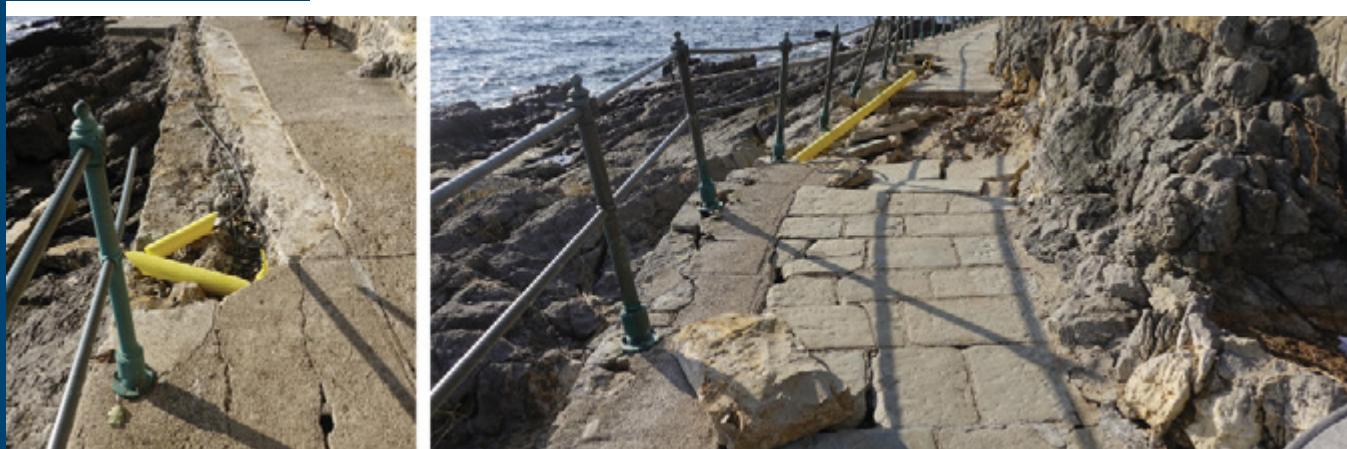
5.4. Volosko

Simulacije valovanja pokazale su nailazak relativno visokih valova na obalnu liniju Voloskoga, u odnosu na ostala ispitana naselja smještena u zaštićenim uvalama i lukama. Valovi već sada zapljuškuju javne površine uz postojeći obalni zid (Slika 73.), a uzrokuju i oštećenja na šetnici (Slika 74.).

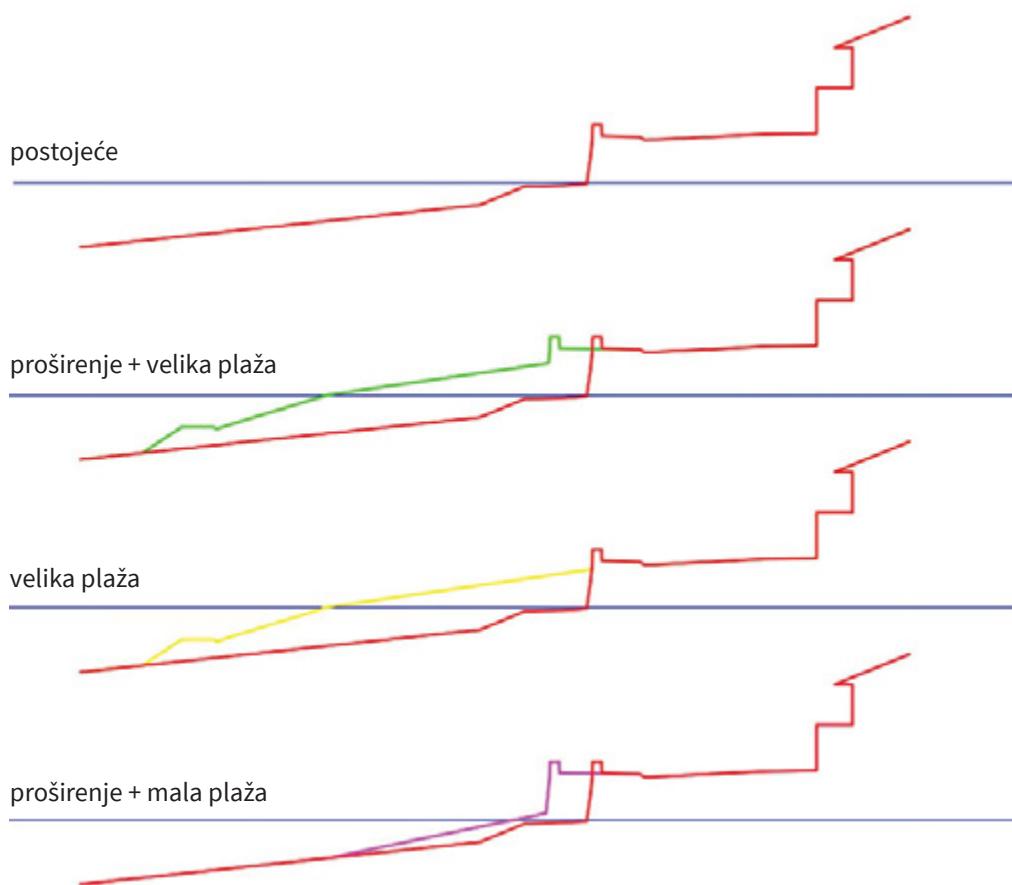
Volosko će se moći **relativno jednostavno štititi od nepovoljnih učinaka** predviđenog podizanja razine mora zbog odgovarajućeg korištenja obalnog prostora. Kako bi se doseg valova smanjio, moguće je izvesti određene građevinske zahvate poput ovih na Slici 75.



Slika 73. Valovi u Voloskom (lijevo: Novi list, desno: Igor Ružić)



Slika 74. Oštećenja šetnice u Voloskom



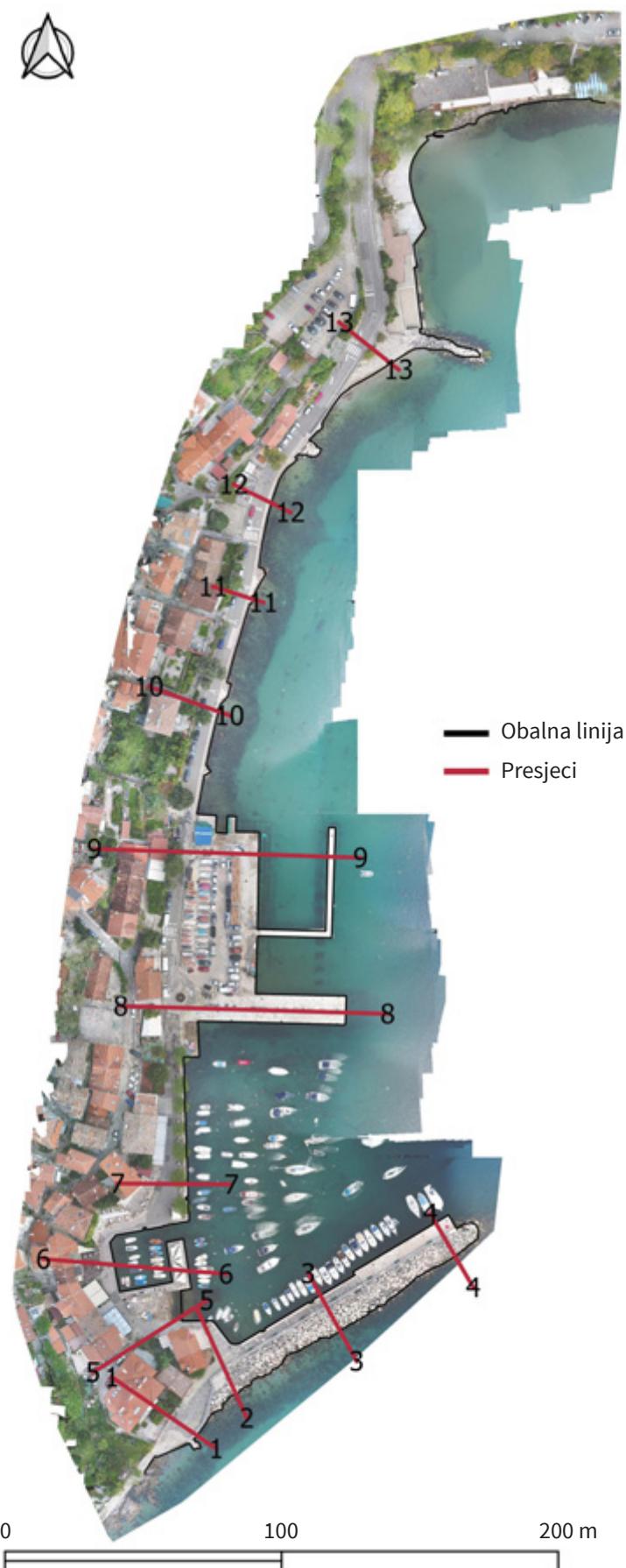
Slika 75. Mogućnosti zaštite (presjek 11)

Učinkovitost mjera dokazana je proračunom prelijevanja. Doseg (*run-up*) valova izračunat je za teoretski slučaj u jednodimenzionalnom modelu XBeach-G za morsku razinu od 1 m n. m. i značajnu visinu valova od 1,5 metara. Model je pokrenut na presjeku 11 (Slika 76.).

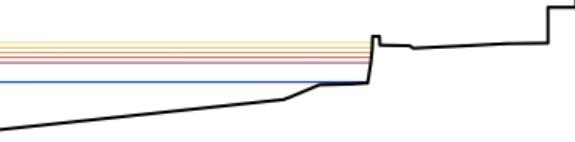
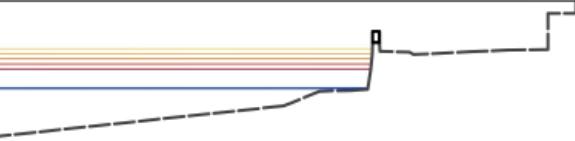
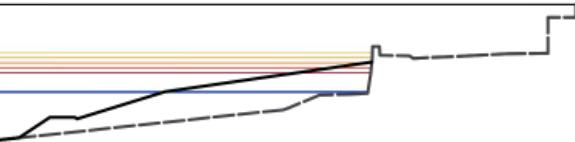
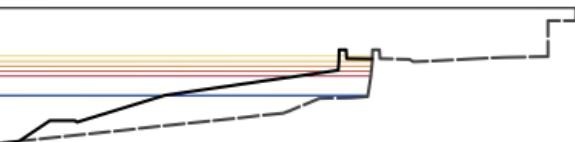
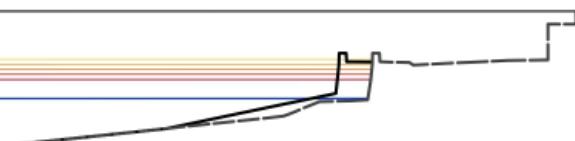
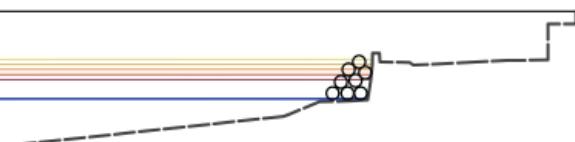
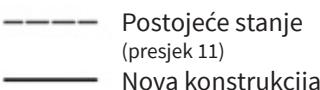
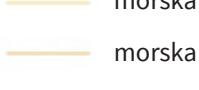
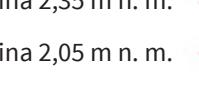
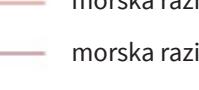
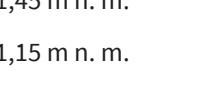
Za trenutno stanje i izgled obale valovi se uspinju na visinu od 1,8 m ($R2\%_{av}$)⁸ iznad analizirane morske razine, a u trenucima doseg raste i do 3 m n. m. Za scenarij u kojem bi se presjek 11 proširio, a u podnožju obalnog zida nasula velika plaža, vrijednost *run-up*-a u istom profilu pada na 1,35 m iznad morske razine. Vrijednost dosega je također rezultat iz softvera XBeach-G za morsku razinu od 1 m n. m. i visinu vala od 1,5 metara.

Na Slici 77. prikazane su mogućnosti zaštite Obale Frana Supila u Voloskom.

⁸ Statistička vrijednost visinskog dosega vala koju premašuje samo 2 % svih valova unutar definiranoga valnog događaja (vremenskog razdoblja).

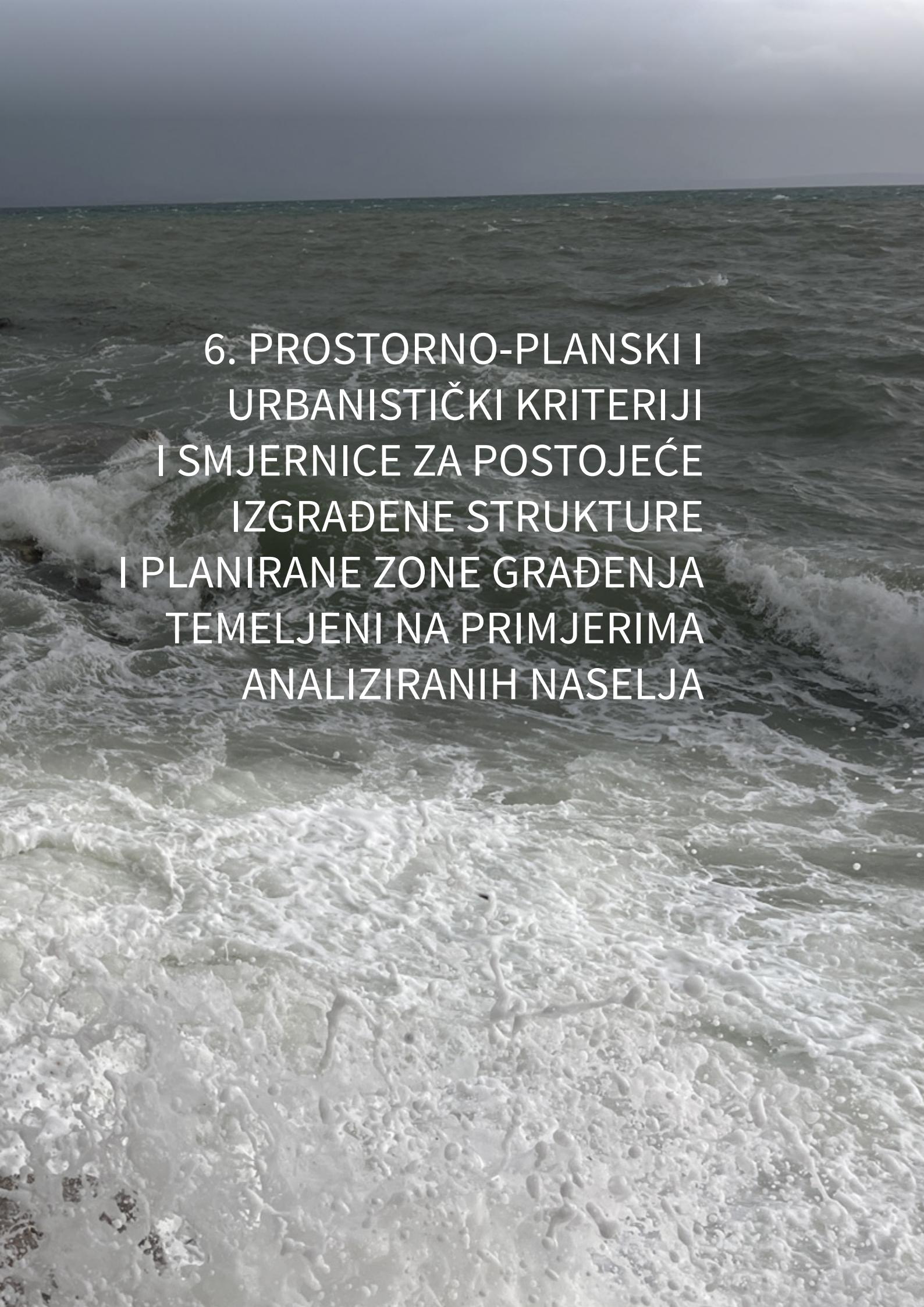


Slika 76. Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka u Voloskom

	Postojeće stanje Dolazi do značajnog prelijevanja. Porastom razine mora doći će do povećanja prelijevanja, odnosno nastanka oštećenja obale i prometnice.			
	Postojeće stanje + podizanje obalnog zida Dolazi do smanjenja prelijevanja, no povećava se refleksija valova, a time i opterećenja konstrukcije.			
	Postojeće stanje + nasip umjetne plaže Dolazi do smanjenja prelijevanja, energija djelovanja valova disipira se na plaži. Povoljno je rješenje za zaštitu obale, ali zauzima velike površine podmorja što donosi ekološke probleme.			
	Proširenje postojećeg stanja + umjetna plaža Dolazi do smanjenja prelijevanja, energija djelovanja valova disipira se na plaži. Povoljno je rješenje za zaštitu obale, širenje pješačke zone, ali zauzima velike površine podmorja.			
	Proširenje + mala umjetna plaža Dolazi do smanjenja prelijevanja, energija djelovanja valova disipira se na plaži. Povoljno je rješenje za zaštitu obale, širenje pješačke zone, ali zauzima manje površine podmorja.			
	Proširenje postojećeg stanja + umjetna plaža Dolazi do smanjenja prelijevanja, energija djelovanja valova disipira se na plaži. Povoljno je rješenje za zaštitu obale, širenje pješačke zone, ali zauzima velike površine podmorja.			
				

Slika 77. Mogućnost zaštite Obale Frana Supila





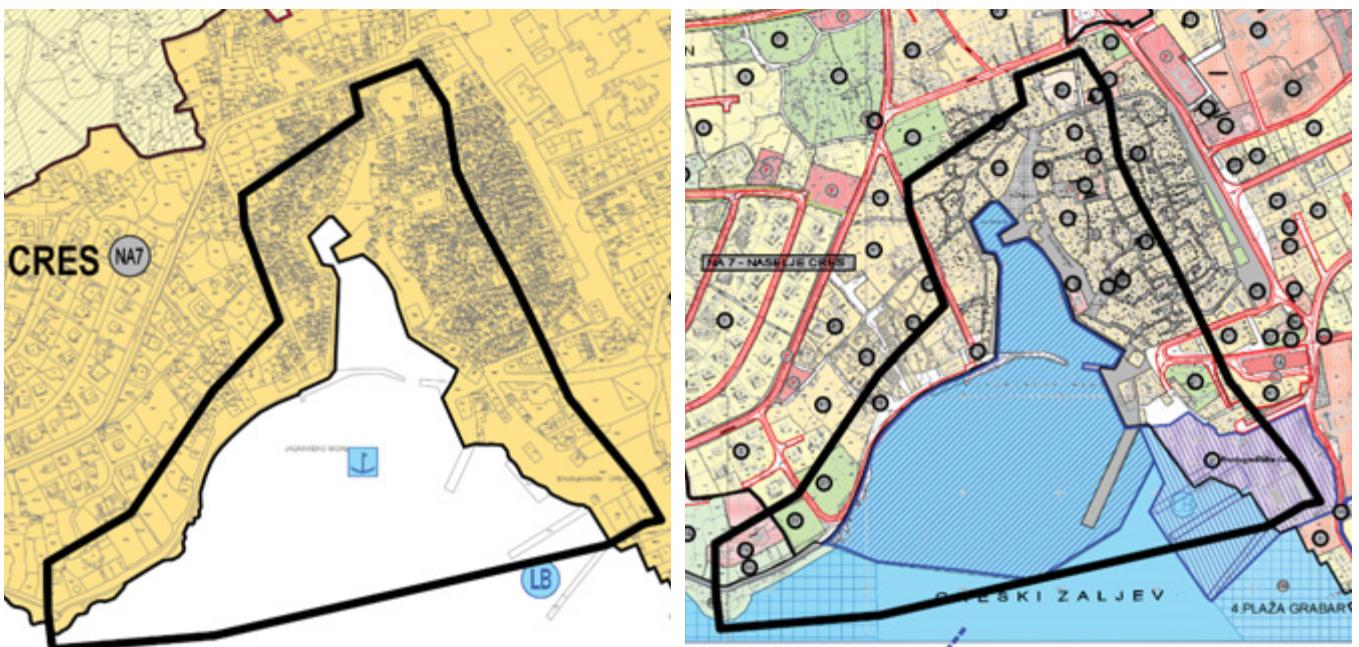
6. PROSTORNO-PLANSKI I
URBANISTIČKI KRITERIJI
I SMJERNICE ZA POSTOJEĆE
IZGRAĐENE STRUKTURE
I PLANIRANE ZONE GRAĐENJA
TEMELJENI NA PRIMJERIMA
ANALIZIRANIH NASELJA

Posljedice klimatskih promjena na prostor postaju sve učestalije i očitije te negativno utječu na prostor i okoliš i sve češće uzrokuju značajne štete na izgrađenim strukturama i infrastrukturom. Unatoč prepoznatoj potrebi za utvrđivanjem kriterija, smjernica i preporuka za prilagodbu klimatskim promjenama, pa tako i prognoziranom porastu razine mora nizom dokumenata na europskoj i nacionalnoj razini, sustavna provedba istraživanja ugroženosti obalnog područja od mogućeg plavljenja te primjena rezultata u planiranju prostora izostaje na lokalnoj razini.

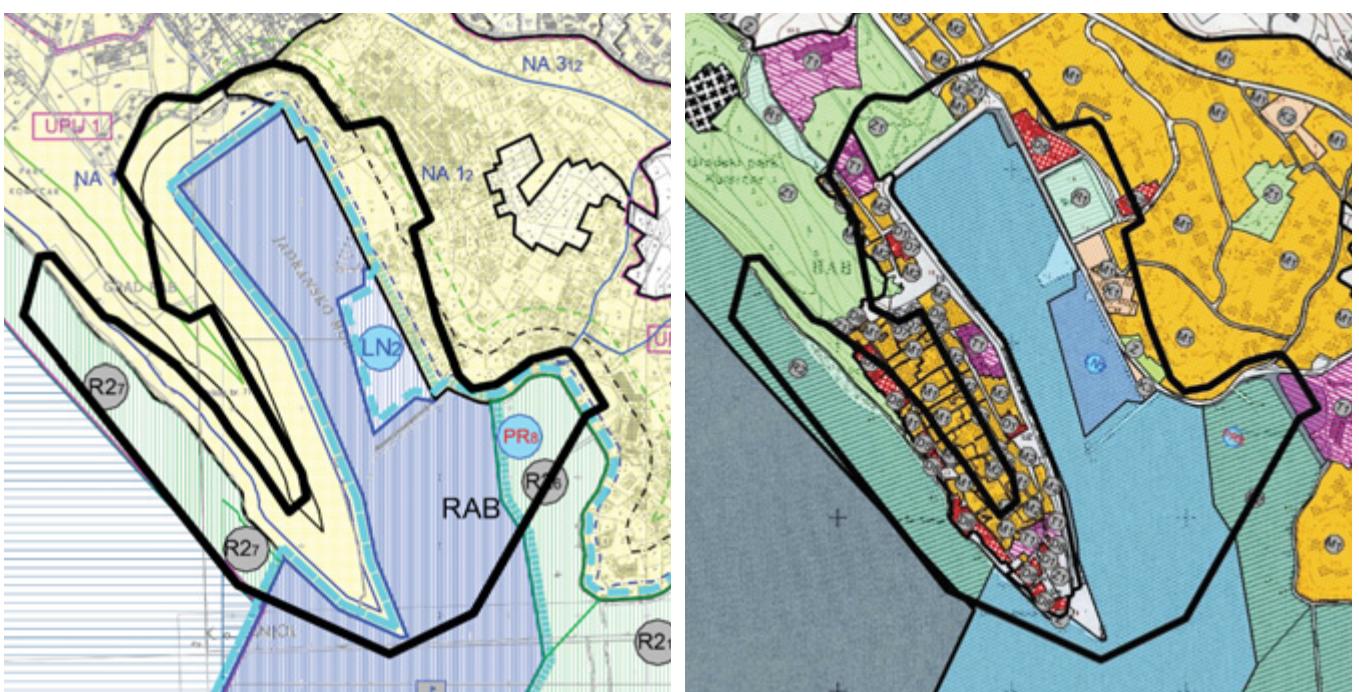
Za dijelove četiriju odabralih naselja, za koja su u prethodno provedenoj prvoj fazi istraživanja ranjivosti obalnog područja Primorsko-goranske županije njihove obalne linije utvrđene kao veoma visoko i visoko ranjive, ovim se istraživanjem potvrdila i ranjivost njihova prostora. Time se dokazalo da se **rezultati prethodno provedenog istraživanja ranjivosti obalnog područja Županije** iz prve faze **mogu koristiti kao indikator za utvrđivanje potrebe provedbe detaljnijih istraživanja prostorne ranjivosti onoga obalnog područja** koje se proteže uz veoma visoko ili visoko ranjivu obalu liniju, a primjenom metodologije utvrđene u ovom istraživanju druge faze. Rezultat je utvrđivanje ugroženog područja unutar izgrađenih zona na temelju kojih je onda moguće utvrditi i odgovarajuće mjere zaštite.

U sustavu prostornog uređenja do sada nisu provedene ovakve analize koje su služile kao stručne podloge za izradu prostornih planova. Nedostatak takvih ulaznih podataka u planiranju pojedinog područja rezultira izostankom razmatranja planiranja potrebnih zahvata u prostoru koji će ublažiti posljedice potencijalno sve veće ugroženosti izgrađenih struktura kao i usmjeravanje planskih rješenja ka sprječavanju nastanka takvih ugroza kod novoplaniranih, danas neizgrađenih područja. U tom smislu ni zakonodavni okvir kojim se uređuje planiranje prostora, niti prostorni planovi više razine kojima se daju smjernice za planiranje prostora na nižoj razini, ne obvezuju provedbu takvih istraživanja. Međutim, napredovanje razvoja tehnologija i korištenje sve dostupnijih kvalitetnijih alata i podloga, u današnje vrijeme osigurava jednostavniju provedbu navedenih istraživanja, u odnosu na vremenski i finansijski okvir.

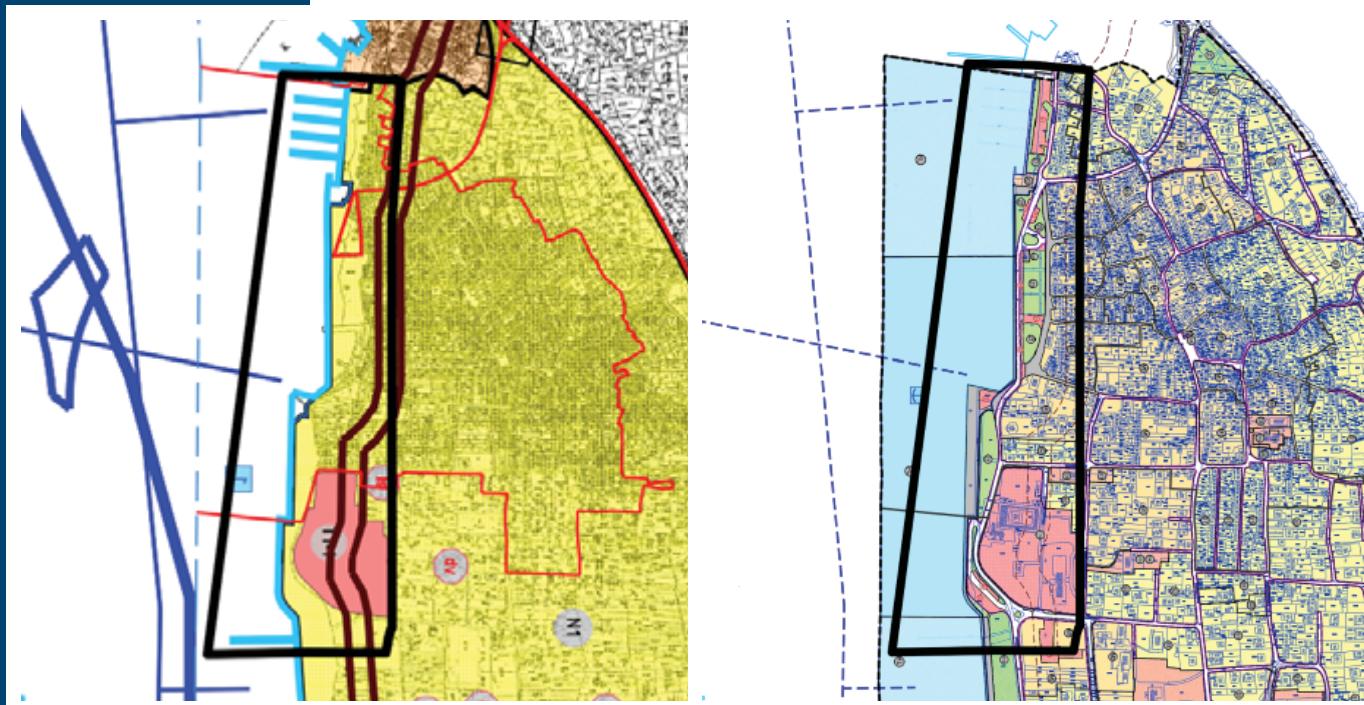
Istraživani dijelovi naselja Cresa, Raba, Punta i Voloskog u naravi su već gusto izgrađeni i privredni namjeni. U nastavku su analizirana njihova planska rješenja – prostorni planovi lokalne razine na snagu doneseni za ta područja: prostorni planovi uređenja Grada (PPUG) Cresa, Grada Raba, Grada Opatije i Općine Punat (PPUO), te urbanistički planovi uređenja (UPU) naselja Cresa, Raba, Punta i Opatije (odnosno njegova sjevernog dijela – Voloskog). Na Slikama 78. – 81. prikazani su obuhvati dijelova istraživanih naselja na izvodima iz grafičkih dijelova prostornih planova.



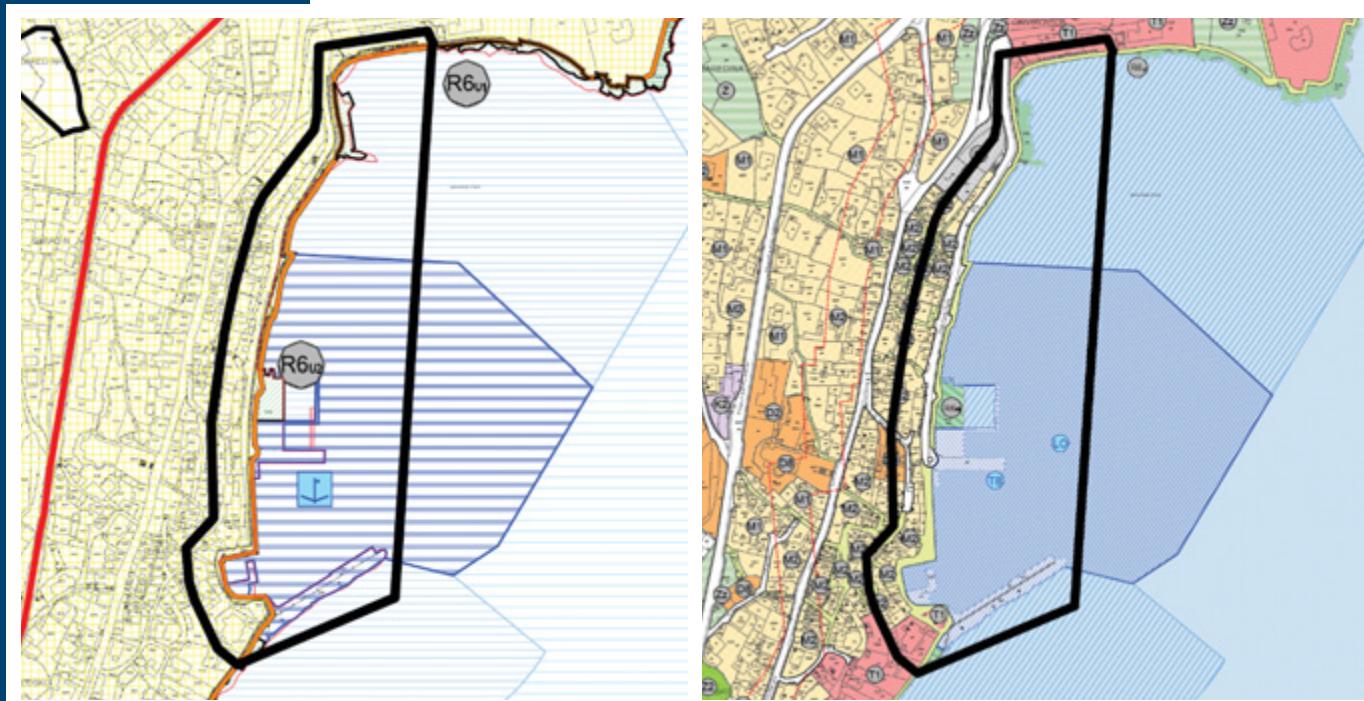
Slika 78. Obuhvat istraživanog područja dijela naselja Cresa na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPUG-a Cresa i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Cresa



Slika 79. Obuhvat istraživanog područja dijela naselja Raba na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPUG-a Raba i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Raba



Slika 80. Obuhvat istraživanog područja dijela naselja Punat na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPUO-a Punat i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Punat



Slika 81. Obuhvat istraživanog područja Voloskoga na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPUG-a Opatije i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Opatije

Uvidom u izvode iz prostornih planova uređenja jedinica lokalne samouprave proizlazi da je za svako analizirano naselje pojedinim prostornim planom planirano građevinsko područje (naselja) koje se proteže (uglavnom) do obalne linije. Svako građevinsko područje naselja namijenjeno je razvoju svih naseljskih sadržaja koji su prvenstveno namijenjeni stanovanju, ali u kojima se grade i građevine i uređuju površine onih namjena koje upotpunjaju život, rad i boravak u naselju, odnosno čija je namjena spojiva sa stanovanjem. Ipak u okviru pojedinoga građevinskog područja naselja na ovoj se razini prostornog planiranja jedinice lokalne samouprave detaljnije ne planira prostorni razvoj. Stoga tijekom izrade prostornog plana uređenja grada/općine nije moguće ni razmatrati razinu ugroženosti od klimatskih promjena, odnosno podizanja razine mora, ili prilagođenosti prostora ublažavanju negativnih posljedica koje mogu uzrokovati.

Zahvaljujući tomu što se kod odabranih analiziranih naselja u ovom istraživanju radi o središnjim naseljima jedinica lokalne samouprave, njihov se planski razvoj i provedba zahvata u prostoru temelji na **urbanističkim planovima uređenja**. Nai-me, sama urbanistička razrada prostora (prije svega jasno razgraničenje površina pojedinačnih namjena – stanovanja, društvenih i gospodarskih sadržaja, ali i javnih površina, posebno onih neizgrađenih, uređenih kao površina koje imaju ulogu u smanjenju ranjivosti od podizanja razine mora, npr. svojstvo prirodne upojnosti, zadovoljavajuća kota obale i obalnog područja u odnosu na razinu mora i sl.) osigurava da se prostor planira na razini one detaljnosti kojom je moguće postići njegovu bolju prilagođenost negativnim posljedicama podizanja razine mora. Tako se u četiri analizirana naselja jedno obalno područje (Punat) pokazalo kao prilagođeno, a tri (Cres, Rab, Volosko) kao manje prilagođena prognoziranim podizanju razine mora i to kao izravna posljedica provedbe planiranoga urbanističkog razvoja. U Puntu je izgradnja udaljena od obalne linije, a površine otvorenih zelenih površina umanjuju prvotno ocijenjenu značajnu ranjivost obalne linije. Za razliku od ostalih naselja, kod kojih se potvrdila i prostorna ranjivost, prvenstveno zbog izgradnje na području u blizini obalne linije te visine otvorenih površina uz obalu u odnosu na razinu mora. Ipak, treba uzeti u obzir da su ta naselja (naselja čiji se razvoj temelji na urbanističkom planiranju) zapravo izuzeci na kvarnerskoj obali, odnosno provedba zahvata u većini naselja na obali (uglavnom svih koji nisu središnja naselja jedinice lokalne samouprave) provodi se temeljem prostornog plana uređenja grada/općine, odnosno temeljem neposredne provedbe zahvata propisane za cjelovita građevinska područja naselja (određena samo granicom, odnosno površinom građevinskog područja). U odnosu na rezultate ovog istraživanja i potrebu planiranja kvalitetnih mjera zaštite kojima će se umanjiti negativne posljedice prognoziranog podizanja razine mora, proizlazi da je **sva postojeća izgrađena područja kao i izgrađena područja planirana za razvoj**, a na užem su obalnom pojasu i ocijenjena visoko ili veoma visoko ranjivima, **potrebno planirati na detaljnijoj, urbanističkoj razini (čak i detaljnije)**.

Nadalje, za obalna područja, koja su ocijenjena da su pod rizikom od plavljenja, potrebno je na temelju provedene analize prostorne ranjivosti (u skladu s metodologijom iz ovog rada):

I. **provesti ocjenu prilagođenosti postojećega planskog rješenja prognoziranim podizanju razine mora i mogućim rizicima od plavljenja,**

a u slučaju nezadovoljavajućih izlaznih rezultata:

II. **razmotriti dopuštene mogućnosti provedbe zahvata u postojećoj izgrađenoj strukturi te prilagoditi plansko rješenje kojim će se osigurati provedba nužnih mjera zaštite od plavljenja.**

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da radi prostornog i urbanističkog planiranja nije moguće odrediti jedinstvene kriterije za prilagodbu podizanju razine mora, odnosno da je za svaki pojedinačni prostor potrebno provoditi individualnu analizu koja mora biti prostorno sveobuhvatna, tj. nije dovoljno provoditi analizu na dijelu područja koje je ocijenjeno kao ranjivo, već to treba učiniti na cjelovitom području, kako bi poduzete mjere zaštite bile što učinkovitije. Ujedno, kako bi se osiguralo kvalitetno rješenje, potreban je multidisciplinaran pristup – suradnja stručnjaka različitih struka. Provedena analiza pojedinog područja temeljem koje se utvrđuju mjere zaštite mora prethoditi izradi prostornog plana, kako bi se konačna rješenja primijenila u izradi prostornog plana. U odnosu na **stupanj izgradenosti**, treba **na temelju stručne podloge**:

- za već **izgrađene dijelove naselja** odrediti planske mjere zaštite i eventualno ograničenje daljnog razvoja unutar izgrađenih struktura
- za još uvijek **neizgrađene dijelove naselja** prethodno utvrditi opravdanost planiranja razvoja naselja na obalnom području, a potom i mogućnosti razvoja primjenom preventivnih planskih mjera zaštite.

Kako je već navedeno, provedba istraživanja prostorne ranjivosti obalnog područja i primjena rezultata istraživanja u planiranju prostora sada **nije obvezna**. Prilagodba prostora i prostornog razvoja klimatskim promjenama, odnosno podizanju razine mora, prepustena je na volju jedinicama lokalne samouprave. Stoga se utvrđuju potrebe na **različitim razinama** kako bi se postigla što bolja obrana, odnosno prilagodba prognoziranom podizanju razine mora:

1. Na **državnoj razini** – unaprijediti zakonodavni okvir kojim će se prije svega obvezati planiranje prilagodbe na klimatske promjene na temelju provedbe prethodnog istraživanja prostorne ranjivosti obalnog područja i prilagoditi kriterije za širenje građevinskih područja na obalnom području. Naime, za sada je zakonski utvrđen samo kvantitativan kriterij kojim se dokazuje mogućnost širenja postojećih građevinskih područja, i to primjenjiv za cijelo područje Republike Hrvatske. Međutim, izostaju kriteriji prilagođeni kvalitativnoj analizi ranjivosti obale kojima se trebaju uvažiti specifičnosti analiziranoga obalnog područja.

2. Na **županijskoj razini**:

- ocijeniti potrebu i mogućnost ograničavanja planiranja područja za građenje na veoma visoko i visoko ranjivom obalnom području, a u odnosu na provedeno istraživanje u prvoj fazi te
- ocijeniti potrebu i mogućnost propisivanja obvezne provedbe detaljnijih analiza prostorne ranjivosti na lokalnoj razini temeljem koje će se dokazivati mogućnost planiranja dalnjeg razvoja na obalnom području.

3. Na **lokalnoj razini**:

- za **izgrađena područja** (uključivo i planiranje razvoja unutar postojećih izgrađenih struktura)
 - provesti **detaljna i sveobuhvatna istraživanja prostorne ranjivosti** obalnog područja
 - planirati mjere zaštite na **urbanističkoj razini**
- za **neizgrađena područja** (postojeća građevinska područja ili njihovi dijelovi koji su još uvijek neizgrađeni, planiranje dalnjega rubnog širenja postojećih građevinskih područja na neizgrađene dijelove zemljišta te planiranje novih građevinskih područja ili gradnje pojedinačnih građevina izvan građevinskih područja na obalnom području)
 - preispitati osnovanost planiranog razvoja na ranjivom prostoru
 - planirati preventivne mjere zaštite na **urbanističkoj razini**.

Uključivanjem navedenih preporuka za unaprjeđenje zakonskog i prostorno-planerskog okvira na različitim razinama može se osigurati temelj za pravovremeno djelovanje i provedbu mjera zaštite obalnog područja od plavljenja. Konačno, odbir konačnog rješenja za pojedino područje mora se temeljiti na analizi mogućih mjera zaštite, od jednostavnih do naj složenijih, u odnosu na izvedivost s obzirom na vremenski i finansijski okvir. Naime, najvjerojatnije će najprihvativije mjere zaštite biti i finansijski najzahtjevnije te će izvedba najdulje trajati. Na koncu će se odabirati one koje će osigurati veću razinu zaštite od plavljenja ranjivoga obalnog područja u cjelini.



7. PRIJEDLOG MOGUĆIH
MJERA I SMJERNICA
ZA UMANJENJE NEGATIVNIH
POSLJEDICA UZROKOVANIH
PODIZANJEM RAZINE MORA
U PRIMORSKO-GORANSKOJ
ŽUPANIJI

U obalnim naseljima Primorsko-goranske županije uglavnom nisu mogući veći zahvati na obalnom području za zaštitu od obalnog plavljenja, poput izgradnje obalne promenade, obalnih zidova, nasipa i sličnih građevina koji su opisani u poglavlju 3. Veće zahvate teško je planirati i izvoditi zbog nepovoljnoga obalnog nagiba (velike dubine mora), ograničenog prostora uz formirana naselja, utjecaja na zaštićena kulturna dobra, značajnog utjecaja na okoliš, zbog čega uglavnom nisu racionalni niti održivi. Za zaštitu priobalnih naselja u Županiji od plavljenja ipak se mogu **izvoditi proširenja i podizanja kota obala te dohrana i nasipavanje žala**. Međutim, za smanjenje rizika povezanog s obalnim poplavama bit će potrebno provoditi **prvenstveno socijetalne mjere** (poglavlje 3.). U prostorno-planerskom smislu najznačajnije je **planiranje korištenja zemljišta** (obalni odmak i organizirano povlačenje) na urbanističkoj razini te **održiv prostorni razvoj obalnog područja** (prije svega racionalna potrošnja prostora, zatim očuvanje vrijednosti obalnih krajobraza te unaprjeđenje kvalitete izgrađenog prostora).

U nastavku se navode moguće mjere i smjernice za koje se ocjenjuje da mogu pridonijeti umanjenju obalne ranjivosti od plavljenja na kvarnerskom području.

Proširenje postojećih i formiranje umjetnih žala

Žala su prirodan sustav otporan na djelovanje valova i u pravilu su niske ranjivosti. Karakterizira ih sposobnost dissipacije valne energije na tijelu žala. Apsorpcijom energije loma valova, žala umanjuju visine, doseg i prelijevanje valova na obali, a time i nepovoljne obalne procese. Zbog toga se često koriste za obranu od obalnog plavljenja.

Samo manji dio obale Primorsko-goranske županije je povoljan za formiranje žala. Žalo bez većih investicija i zahvata može se formirati na obalama povoljnih, blagih nagiba ispod i iznad razine mora, povoljnog djelovanja valova i morskih struja. Novoformirano žalo treba se uklopiti u okolni obalni prostor koji često karakteriziraju brojne specifičnosti (geološka građa, arhitektura, krajobraz i sl.). Ako na nekom dijelu obale već postoji manje prirodno žalo, najčešće ga se može proširiti jer su hidrodinamički uvjeti povoljni (Dean, 1983.).

U posljednje se vrijeme sve češće proširuju postojeća i formiraju nova žala. Dio takvih projekata nije primjereno zbog nepovoljne konfiguracije obale i djelovanja valova, a na koncu takvi projekti postaju skupi, neodrživi i nepovoljnog utjecaja na okoliš zbog pretjerane erozije.

Kako bi se moglo formirati žalo, potrebno je **osigurati prostor**, kopneni i morski. Nasip žala ispod razine mora zauzima relativno velike površine, u odnosu na površinu žala na površini. Nagib žala ispod razine mora često je blaži od 1 : 10. Umjetna plaža mora imati dovoljno veliko tijelo žala kako bi bila hidrodinamički stabilna i mogla apsorbirati energiju valova.

Proširenje i podizanje kote obale

Čest primjer obrane od obalnog plavljenja jest **proširenje i podizanje kote obale**. Takav pristup zahtijeva cjelovito rješenje zaštite duž čitave obale. Djelomična rješenja mogu povećati jačinu obalnog plavljenja nezaštićenih dijelova obale.

U poglavlju 3.2.1. opisano je proširenje obalnog područja grada Crikvenice, većinom formiranjem novih neizgrađenih javnih, zelenih površina. Takav način proširenja obalnog područja omogućio je zaštitu od obalnog plavljenja za sadašnje i buduće razine mora.

Značajno smanjenje obalnog plavljenja može se postići **smanjenjem agitacije valova u gradskim lukama** izgradnjom novih i rekonstrukcijom postojećih lukobrana te smanjenjem refleksije valova (Slika 26.). Izgradnjom novih lukobrana u lukama Crikvenica (Slika 22.) i Cres (Slika 38.) postiglo se značajno smanjenje valova, a time i moguće prelijevanje.



8. ZAKLJUČAK



Razina mora nastavlja rasti sve većom brzinom. Predviđa se da će događaji praćeni ekstremnim razinama mora koji su bili povijesno rijetki (jednom u 100 godina), postati češći (barem jednom godišnje) na mnogim mjestima do 2050. godine, u svim RCP scenarijima. Sve veća učestalost visokih vodostaja može imati ozbiljne posljedice, ovisno o izloženosti lokacije. Također, očekuje se i daljnji porast razine mora i nakon 2100. godine za sve scenarije. Ekstremne povremene **razine mora od 1,45 m n. m.** mogu biti dosegnute već u sljedećoj dekadi. To je **razina na koju već danas moraju biti spremne računati lokalne zajednice i sve službe koje sudjeluju u spašavanju ljudi i imovine.**

Indeks obalne ranjivosti, CVI, utvrđen u prvoj fazi projekta na manje detaljnim podlogama pokazao je visoku ranjivost pojedinih lokacija u Primorsko-goranskoj županiji. Na temelju visokih vrijednosti CVI-ja za obalno plavljenje, u ovom su radu provedene detaljne analize plavljenja četiriju ranjivih priobalnih naselja u Županiji: Cresa, Raba, Punta i Voloskog.

Razvijena je metodologija koja je omogućila provedbu kvalitetnih analiza obalnog plavljenja. Prvi je korak uključivao prikupljanje detaljnih geodetskih podloga visoke preciznosti u obliku trodimenzionalnih oblaka točaka. Ti su podaci dobiveni metodom fotogrametrije iz bespilotne letjelice, što je izrazito brz, jednostavan i finansijski povoljan način snimanja terena. Rezultat je 3D model terena centimetarske točnosti. Oblaci točaka su i fotorealistični te će tako pomoći prilikom predstavljanja rezultata projekta korisnicima prostora. Na taj će način lokalno stanovništvo dobiti jasniju predodžbu o dosezima i dubinama mogućih plavljenja za trenutne, ali i za predviđene razine mora, ako se ne provedu određene mjere zaštite na obalnom području.

Obrađeni su mogući scenariji porasta srednjih i ekstremnih povremenih razina mora. Analizirane su posljedice povećanja ekstremnih razina mora za svakih 30 cm visine (od zabilježenih visina poplava od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m. što odgovara morskim razinama za najnepovoljnije klimatske scenarije). Na digitalnim ortofoto kartama prikazane su površine i dubine plavljenja za ukupno šest scenarija. Provedene su i numeričke simulacije valovanja za mjerodavne smjerove vjetra pedeseto-godišnjeg povratnog razdoblja.

Rezultati istraživanja dali su prostornu distribuciju obalnog plavljenja s veličinama površina, mjerodavnim dubinama vode i značajnim visinama valova za sadašnje i predviđeno stanje, što je jedan od ulaznih podataka za buduće analize rizika. Rezultati se koriste za kartiranje poplava, što uključuje i utvrđivanje zona koje određuju područja određenog rizika od plavljenja.

Stare jezgre **Raba** i **Cresa** već su danas dosta ugrožene, a u budućnosti će uz povećanja plavljenih površina doći i do povećanja dubina. Moguće je i porast visina valova na poplavljениm područjima što može predstavljati dodatnu opasnost. Koncept obrane starih gradskih jezgri od obalnog plavljenja poprilično je složen. Potrebno

ga je temeljiti na analizi cjelokupnog, šireg područja, a ne samo pojedinih (problematičnih) dijelova obale te bi s planiranjem mjera zaštite i njihovom izvedbom trebalo krenuti već sada.

Punat danas nema velikih problema s plavljenjem, iako plave značajne površine. Dijelovi nasuti nakon 60-ih godina 20. stoljeća nisu izgrađene javne površine. Građevine ne trpe oštećenja jer postoji dovoljno širok prostor za obranu od prvih građevina do obalne linije. Na tim će područjima biti lakše provesti i dodatne mjere za smanjenje budućih plavljenja.

U **Voloskom** je od obalnog plavljenja ugrožen manji broj građevina u južnom dijelu naselja – u središtu i u staroj lučici (Mandrać). Sjeverni dio Obale Frana Supila ugrožen je djelovanjem valova i visokih razina mora i tu će biti potrebno provesti proširenje obale kako bi se smanjilo zapljskivanje.

Detaljnije analize provedene u drugoj fazi potvrđile su zaključke prethodnih istraživanja iz prve faze projekta. Pokazano je i da dio postojeće obalne infrastrukture (lukobrani, obale) u većini istraživanih naselja već danas nije potpuno funkcionalan tijekom ekstremno visokih razina mora. Takvu infrastrukturu potrebno je prilikom redovitog održavanja i sanacija prilagoditi trenutnom i predviđenom djelovanju mora te očekivanim morskim razinama. Novoizgrađena obalna infrastruktura u Cresu (i u Crikvenici) već danas umanjuje obalna plavljenja i djelovanja valova u akvatorijima, ali tek će u budućnosti njihov pozitivan utjecaj doći do pravog izražaja.

Provđenom ovog projekta ostvarena je mogućnost preciznog određivanja ugroženih gradskih zona za pojedine scenarije podizanja morske razine. Rezultati i predložene prostorno-planske smjernice kvalitetna su podloga koja će dionicima (npr. jedinicama lokalnih samouprava, lučkim upravama) omogućiti i olakšati pravovremeno djelovanje i intervencije u prostoru potrebne za smanjenje očekivanih negativnih posljedica klimatskih promjena. Također, razvijen je jednostavan alat za informiranje i izobrazbu lokalnog stanovništva kroz prikaz ugroženih područja fotorealističnim oblacima točaka, razumljiv svim korisnicima, bez obzira na razinu njihova tehničkog znanja.

S obzirom na prikazanu složenost problematike obalnog plavljenja potrebno je za sva naselja uz obalnu liniju, za koju je utvrđena vrlo visoka i visoka ranjivost na podizanje razine mora, provesti cijelovito istraživanje ranjivosti naselja te čim prije definirati smjernice i utvrditi konkretnе mjere zaštite za svako pojedino naselje kako bi se one mogle ugraditi u prostorne planove kao obvezne. Za usvajanje i provedbu mjera za ublažavanje posljedica poplava potrebno je provesti cijelovite analize plavljenja obalnog područja i kartirati ugrožena područja.

Za točno definiranje visine plavljenja te mjerodavne razine plavljenja za različita povratna razdoblja **preporučuje se uspostava stalnog mjerjenja razina mora u više obalnih naselja** Primorsko-goranske županije (uz postojeći Bakar npr.: Mali

Lošinj, Cres, Rab, Krk, Novi Vinodolski, Opatija, Rijeka). Mjerenje morske razine s visokom točnosti i visokom vremenskom rezolucijom ključno je za monitoring i analiziranje mogućeg hazarda koji može prijetiti obalnom pojusu tijekom epizoda ekstremnih morskih razina i obalnog plavljenja. Bolje znanje i procjena promjena morskih razina u magnitudi i učestalosti prijeko su potrebnii za planiranje obalnog prostora, ali i za uspostavljanje sustava ranog upozoravanja (engl. *early warning systems*). Osnovni alat bit će mareografi, zajedno s ostalim *in situ* mjeranjima i prognošćkim modelima.

Ovim istraživanjem pokazalo se da je **kvalitetna analiza plavljenja osnovni preduvjet za razvoj metoda adaptacije i konkretnih rješenja zaštite**; stoga se preporučuje u budućnosti koristiti pristup i metodologiju definirane ovom studijom. Primarni cilj ovakvih studija je primjena rezultata upravo za potrebe integralnog upravljanja obalnim područjem i provedba aktivnosti za održivo ublažavanje plavljenja u budućnosti. Prostornim planovima mora se **osigurati prostor dovoljne širine** u kojem će se provoditi konkretna rješenja prilagodbe na više razine mora. U tom je prostoru potrebno zabraniti ili barem ograničiti novu gradnju kako bi se smanjio dodatni rizik.

Rezultati ovoga istraživanja potvrđuju da **ne postoji jedinstveno rješenje** kada je u pitanju prilagodba na porast morske razine i da je potreban pojedinačni pristup pri predlaganju mjera umanjenja negativnih posljedica plavljenja. Zbog gustoće izgradnje naselja, kao i prisutnosti zaštićenih kulturnih dobara u blizini same obalne linije, moraju se provesti analize plavljenja za svako pojedinačno ugroženo naselje, a sam **postupak odlučivanja o mjerama mora biti multidisciplinaran**. Svakako je cilj u budućim istraživanjima provesti slične analize i za neizgrađena područja.

A photograph of a coastal area. A steep, light-colored rock cliff rises from the water. A green wire mesh fence runs horizontally across the cliff face, held in place by several vertical support poles. The water in the foreground is choppy with white foam, and a large wave is crashing against the base of the cliff on the right side.

9. POPIS LITERATURE

1. Adriadapt, 2022a. *Dohranjivanje plaže*. URL <https://adriadapt.eu/hr/adaptation-options/dohranjivanje-plaze/> (pristup: 14. 4. 2022.)
2. Adriadapt, 2022b. *Socijetalne opcije*. URL <https://adriadapt.eu/hr/adaptation-options/obalni-odmak/> (pristup: 14. 4. 2022.)
3. Amadio, M., Essenfelder, A. H., Bagli, S., Marzi, S., Mazzoli, P., Mysiak, J., Roberts, S., 2022. Cost-benefit analysis of coastal flood defence measures in the North Adriatic Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 22, 265–286. DOI 10.5194/nhess-22-265-2022
4. Arcanum Maps, n.d. URL <https://maps.arcanum.com/en/> (pristup: 13. 4. 2022.)
5. Barić, A., Grbec, B., Bogner, D., 2008. Potential implications of sea-level rise for Croatia. *Journal of Coastal Research* 24, 299–305. DOI 10.2112/07A-0004.1
6. Benac, Č., 2015. *Studija geomorfoloških promjena žala i priobalja na području naselja Baška*. Naručitelj: Općina Baška.
7. Benac, Č., Ružić, I., Ljutić, K., Ferenac-Grubišić, A., 2012. Ranjivost obala otoka Raba, in: *Rapski Zbornik II*. Ogranak Matice hrvatske u Rabu, Zagreb, pp. 235–243.
8. Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 104, 7649–7666. DOI 10.1029/98JC02622
9. Branković, Č., Guettler, I., Srnec, L., Stilinović, T., 2017. *Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC Velebit za potrebe izrade nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. s pogledom na 2070. i Akcijskog plana (Podaktivnost 2.2.1.)*.
10. Cao, D., Tan, W., Yuan, J., 2022. Assessment of wave overtopping risk for pedestrian visiting the crest area of coastal structure. *Applied Ocean Research* 120, 102985. DOI 10.1016/j.apor.2021.102985
11. Capić, M., 2005. Saniranje potpornoga zida šetnice i formiranje plaže u Baški na Krku. *Gradičevinar* 57, 163–167.
12. Cid, A., Castanedo, S., Abascal, A. J., Menéndez, M., Medina, R., 2014. A high resolution hindcast of the meteorological sea level component for Southern Europe: the GOS dataset. *Climate Dynamics* 43, 2167–2184. DOI 10.1007/s00382-013-2041-0
13. Cid, A., Menéndez, M., Castanedo, S., Abascal, A. J., Méndez, F. J., Medina, R., 2016. Long-term changes in the frequency, intensity and duration of extreme storm surge events in southern Europe. *Climate Dynamics* 46, 1503–1516. DOI 10.1007/s00382-015-2659-1
14. ClimateChangePost, 2016. *Coastal flood risk Italy*. URL <https://www.climatechangepost.com/italy/coastal-floods/> (pristup: 28. 2. 2022.)
15. Cooper, J. A. G., Masselink, G., Coco, G., Short, A. D., Castelle, B., Rogers, K., Anthony, E., Green, A. N., Kelley, J. T., Pilkey, O. H., Jackson, D. W. T., 2020. Sandy beaches can survive sea-level rise. *Nature Climate Change* 10, 993–995. DOI 10.1038/s41558-020-00934-2
16. Custer, R., Nishijima, K., 2015. Flood vulnerability assessment of residential buildings by explicit damage process modelling. *Natural Hazards* 78, 461–496. DOI 10.1007/s11069-015-1725-7
17. Čupić, S., Domijan, N., Mihanović, H., Mlinar, M., Leder, N., Gržetić, Z., 2011. Klimatske promjene, porast razine mora na hrvatskoj obali Jadranu?, *Zbornik radova 5. hrvatska konferencija o vodama: hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena*. Opatija 18. – 21. 5. 2011., 593–600.

18. Dean, R. G., 1983. Principles of beach nourishment, in: Komar, P.D. (ur.), *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press, Boca Raton, pp. 217–232.
19. Državna geodetska uprava (DGU), 2015. Geoportal. URL <https://geoportal.dgu.hr/>
20. DGU, 2019. Katastar. URL <https://www.katastar.hr/#/> (pristup: 5. 9. 2022.)
21. East Riding of Yorkshire Council, 2016. *Flood Risk Strategy – Hull and Holderness Flood Alleviation Scheme (HaHFAS)*. URL <https://www.eastriding.gov.uk/council/plans-and-policies/other-plans-and-policies-information/flood-risk/flood-risk-strategy/> (pristup: 13. 4. 2022.)
22. Environment Agency UK, 2018. *Humber: Hull Frontage Flood Defence Improvements – Information Page*. URL <https://consult.environment-agency.gov.uk/yorkshire/humber-hull-frontages/> (pristup: 14. 4. 2022.)
23. Evropska komisija (EK), 2011. *The challenge of climate change to the European coastal areas*. URL https://ec.europa.eu/environment/iczm/state_coast.htm (pristup: 22. 4. 2022.)
24. EurOtop, 2018. *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures*. URL <http://www.overtopping-manual.com/eurotop/downloads/> (pristup: 14. 3. 2022.)
25. FEMA, 2021. *The Coastal Flood Hazard Analysis and Mapping Process*. URL: https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_coastal-mapping_infographic_3-22-2021.pdf (pristup: 16. 5. 2022.)
26. FIRSTonline, 2019. *Mose di Venezia: cos'è, i costi, lo scandalo. Tutta la storia*. URL <https://www.firstonline.info/mose-di-venezia-cose-i-costi-lo-scandalo-tutta-la-storia/> (pristup: 28. 2. 2022.)
27. Fleming, J., McMillan, P. H., Williams, B. P., 1980. The River Hull Tidal Surge Barrier. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 68 (3), 417–454. DOI 10.1680/iicep.1980.2244
28. Geograph, 2013. Hull Tidal surge Barrier. © Malcolm Sandilands. URL <https://www.geograph.ie/photo/3769617> (pristup: 28. 2. 2022.)
29. Grad Opatija, 2007. *Opatija – Izmjene i dopune Prostornog plana uređenja grada Opatije*. Službene novine PGŽ, 01/07.
30. Grad Poreč – Parenzo, Gradsko poduzeće Parentium d. o. o., Sensus d. o. o., 2019. *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama Grada Poreča – Parenzo do 2030. godine s prvim petogodišnjim planom provedbe*. Poreč.
31. Grad Rovinj, Dragović Matosović, M., Sensus d. o. o., 2019. *Plan prilagodbe klimatskim promjenama*. Rovinj.
32. Grad Zadar, 2018. *GRAD ZADAR Strategija primjene prirodnih rješenja u prilagodbi na klimatske promjene*. Zadar. URL <https://www.grad-zadar.hr/vijest/opce-vijesti-28/javni-uvid-nacrta-strategije-primjene-prirodnih-rjesenja-u-prilagodbi-na-klimatske-promjene-za-grad-zadar-4873.html> (pristup: 20. 4. 2022.)
33. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, JU Zavod za prostorno uređenje PGŽ, 2020. *Analiza ranjivosti obalnog pojasa Primorsko-goranske županije zbog podizanja razine mora*
34. Holthuijsen, L. H., Herman, A., Booij, N., 2003. Phase-decoupled refraction–diffraction for spectral wave models. *Coastal Engineering* 49, 291–305.
35. HR-CRO Croatia, n.d. URL: <https://hr-cro.com/croatia/mali-losinj-riva-losinjskih-kapetana/> (pristup: 22. 4. 2022.)

36. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, 2021a. *Cres*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. URL <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=12708> (pristup: 12. 12. 2021.)
37. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, 2021b. *Rab*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. URL <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51339> (pristup: 12. 12. 2021.)
38. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, 2021c. *Punat*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. URL <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51092> (pristup: 12. 12. 2021.)
39. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, 2021d. *Volosko*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. URL <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=65290> (pristup: 12. 12. 2021.)
40. Humber Local Enterprise Partnership, 2016. *Hull and Holderness Flood Defence*. URL <https://www.humberlep.org/project/hull-and-holderness-flood-defence/> (pristup: 23. 11. 2021.)
41. IBS Engineered Products, 2016. *Demountable Flood Protection Systems*. URL <https://www.ibsengineeredproducts.co.uk/demountable-barriers/> (pristup: 23. 11. 2021.)
42. IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
43. IPCC, 2019. Summary for policymakers, u: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, 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., Weyer, N.M. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, UK i New York, SAD, str. 3–35. DOI 10.1017/9781009157964.001
44. IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK i New York, SAD.
45. IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Geneva, Švicarska.
46. IPCC, 2000. *Emissions scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge.
47. Istrapedia, 2017. *Volosko*. URL <https://www.istrapedia.hr/hr/natuknice/2668/volosko> (pristup: 12. 12. 2021.)
48. Krištafor, V., Jurdana, S., Uremović, V., 1988. *Turistička Crikvenica: 1888. – 1988*. Turističko društvo Crikvenica, Crikvenica.
49. Marcos, M., Tsimplis, M. N., Shaw, A. G. P., 2009. Sea level extremes in southern Europe. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 114, 1–16. DOI 10.1029/2008JC004912
50. Margeta, J., Baučić, M., Vilibić, I., Jakl, Z., Petrić, L., Mandić, A., Grgić, A., Bartulović, H., Popić, N., Marasović, K., Jajac, N., Rogulj, K., Ivić, M., Jovanović, N., Bačić, S., 2019. *Plan upravljanja obalnim područjem Grada Kaštela*. Split.
51. Milat-Ružić, M. (ur.), 2008. *Grad Crikvenica: Kamik, more i čovik*. Grad Crikvenica, Crikvenica.
52. Ministarstvo kulture i medija Republike Hrvatske, 2021. Geoportal kulturnih dobara RH. URL <https://geoportal.kulturnadobra.hr/> (pristup: 28. 6. 2022.)
53. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2017. *Izvještaj o procijenjenim utjecajima i ranjivosti na klimatske promjene po pojedinim sektorima*. URL <http://prilagodba-klimi.hr/wp-content/uploads/docs/Procjena-ranjivosti-na-klimatske-promjene.pdf> (pristup: 8. 9. 2021.)

54. Nauels, A., Rogelj, J., Schleussner, C.-F., Meinshausen, M., Mengel, M., 2017. Linking sea level rise and socioeconomic indicators under the Shared Socioeconomic Pathways. *Environmental Research Letters* 12, 114002.
55. Novi list, 2020. *Jako jugo i obilna kiša. More poplavilo cresku rivu.* URL <https://www.novilist.hr/rijeka-regija/otoci/jako-jugo-i-kisa-more-poplavilo-cresku-rivu/> (pristup: 10. 12. 2021.)
56. Općina Punat, 2015. *Strategija razvoja općine Punat.*
57. Orlić, M., Pasarić, Z., 2013. Semi-empirical versus process-based sea-level projections for the twenty-first century. *Nature Climate Change* 3, 735–738. DOI 10.1038/nclimate1877
58. PAP/RAC, 2021. *Priručnik za jačanje otpornosti obala Jadrana*, INTERREG AdriAdapt projekt, Split.
59. Penzar, B., Penzar, I., Orlić, M., 2001. *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana*. Hrvatski hidrografski institut, Split, Split.
60. Pirazzoli, P. A., 1996. *Sea Level Changes. The Last 20.000 Years*. John Wiley & Sons, Chichester – New York, SAD, New York, SAD.
61. Republika Hrvatska (RH), 2020. *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu.* URL https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html (pristup: 2. 9. 2021.)
62. RH Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020. *Utjecaj klimatskih promjena na priobalne gradove Republike Hrvatske i stavovi stanovništva.* URL <https://prilagodba-klimi.hr/utjecaj-klimatskih-promjena-na-priobalne-gradove-republike-hrvatske-i-stavovi-stanovnistva/> (pristup: 20. 4. 2022.)
63. Risky Cities, 2021. *Humber Histories and Futures: River Hull Tidal Surge Barrier.* URL <https://riskycities.hull.ac.uk/humber-histories-and-futures-five/> (pristup: 14. 9. 2022.)
64. Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, 2019. Sea Level Rise Adaptation and Planning. UC San Diego. URL <https://cnap.ucsd.edu/sea-level-rise-adaptation-and-planning/> (pristup: 28. 2. 2022.)
65. Smith, G. P., Wasko, C. D., 2012. *Australian Rainfall and Runoff Revision Project 15: Two Dimensional Simulations in Urban Areas – Representation of Buildings in 2D Numerical Flood Models*. Water Research Laboratory, University of New South Wales.
66. Šegota, T., 1976. Promjena razine Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu. *Geografski glasnik* 38, 301–312.
67. Šegota, T., 1968. Morska razina u holocenu i mlađem dijelu Würma. *Geografski glasnik* 30, 15–39.
68. Šepić, J., Vilibić, I., Strelec Mahović, N., 2012. Northern Adriatic meteorological tsunamis: Observations, link to the atmosphere, and predictability. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 117. DOI 10.1029/2011JC007608
69. Šibensko-kninska županija, 2015. *Plan integralnog upravljanja obalnim područjem Šibensko-kninske županije.*
70. Škrsgatić, S., 2008. *Šetajmo po Crikvenici: 120 koraka povijesti*. Grad Crikvenica, Crikvenica.
71. Tsimplis, M. N., Raicich, F., Fenoglio-Marc, L., Shaw, A. G. P., Marcos, M., Somot, S., Bergamasco, A., 2012. Recent developments in understanding sea level rise at the Adriatic coasts. *Physics and Chemistry of the Earth* 40–41, 59–71. DOI 10.1016/j.pce.2009.11.007

72. Tuscher, M., Hanak, T., 2015. Modelling Flood Losses to Buildings: Relationship between Room Dimensions and Depth of Flooding. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 96, 12036. DOI 10.1088/1757-899X/96/1/012036
73. Van Doorslaer, K., De Rouck, J., Baelus, L., Gysens, S., 2011. (Architectural) measures to control wave overtopping inside the harbor of Oostende, in: *5th International Short Conference on Applied Coastal Research*. Aachen, pp. 2–9. DOI 10.13140/2.1.3105.5689
74. Walraven, A., Aerts, J., 2008. *Connecting Delta Cities. Sea level rise and major coastal cities*. Amsterdam, Nizozemska.
75. WordPress.com, 2013. *Storm te Oostende*. URL <https://samten8.wordpress.com/2013/05/22/storm-te-oostende/> (pristup: 5. 9. 2022.)

Popis tablica

Tablica 1.	Analizirane morske razine	20
Tablica 2.	Primjeri važnih aktivnosti za prikupljanje podataka, informiranje i povećanje svijesti za obalnu prilagodbu na klimatske promjene (izvor: IPCC, 2000.)	29
Tablica 3.	Primjeri važnih aktivnosti za zaštitu, povlačenje ili prilagodbu porastu morske razine i ostalih utjecaja klimatskih promjena na priobalje (izvor: IPCC, 2000.)	30
Tablica 4.	Površine nasute duž obale u Crikvenici od polovine 19. stoljeća do 2015. godine	41
Tablica 5.	Plavljenje površine u Cresu pri analiziranim morskim razinama	55
Tablica 6.	Plavljenje površine u Rabu pri analiziranim morskim razinama	68
Tablica 7.	Plavljenje površine u Puntu pri analiziranim morskim razinama	77
Tablica 8.	Plavljenje površine u Voloskom pri analiziranim morskim razinama	87
Tablica 9.	Karakteristike analiziranih područja	92
Tablica 10.	Dosezi plavljenja prema analiziranim scenarijima	92
Tablica 11.	Broj plavljenih građevina prema analiziranim scenarijima	93
Tablica 12.	Pregled rezultata valovanja	94

Popis slika

Slika 1.	Pregledna karta i indeks obalne ranjivosti s obzirom na obalno plavljenje (CVI d) analiziranih naselja preuzet iz prve faze istraživanja (TK 1 : 200 000, 1 : 25 000, DGU, 2015.)	12
Slika 2.	Određivanje duljine obalne linije u Puntu	21
Slika 3.	Odgovori na podizanje razine mora (prema: IPCC, 2019.)	26
Slika 4.	Građevine za zaštitu i obranu obale (izvor: PAP/RAC, 2021.)	27
Slika 5.	Dohranjivanje plaže (prema: Adriadapt, 2022a)	28
Slika 6.	Barijera MOSE koja štiti venecijansku lagunu od plavljenja pri visokim razinama mora (FIRSTonline, 2019.)	31
Slika 7.	Otvorena (<i>lijevo</i> : Risky Cities, 2021.) i zatvorena (<i>desno</i> : Geograph, 2013. ©Malcolm Sandilands) barijera na rijeci Hull	32
Slika 8.	Sustav zaštite od poplava u Hullu (izvor: Environment Agency UK, 2018.)	33
Slika 9.	Novoizgrađeni obalni zid i šetnica (izvor: Environment Agency UK, 2018.)	33
Slika 10.	Ugradnja staklenih panela (<i>gore</i> : IBS Engineered Products Ltd, 2016.) i pogled na estuarij rijeke Humber kroz postavljene panele (<i>dolje</i> : Humber Local Enterprise Partnership, 2016.)	34
Slika 11.	Preljevanje valova u Oostendeu (izvor: WordPress.com, 2013.)	35
Slika 12.	Mobilni zid za dodatnu zaštitu od prelijevanja (<i>lijevo</i> : EurOtop, 2018.; <i>desno</i> : Van Doorslaer et al., 2011.)	36
Slika 13.	Plaža ispred obalnog zida, Oostende, Belgija (izvor: Cooper et al., 2020.)	36
Slika 14.	Prilagodba u fazama. <i>Lijevo</i> : 2020; <i>sredina</i> : 2050.; <i>desno</i> : 2080. (izvor: Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, 2019.)	37

Slika 15.	Promjene crikveničke obale: a) prvo vojno snimanje Austro-Ugarske Monarhije, 1774. – 1775.; b) drugo vojno snimanje, 1821. – 1824.; c) treće vojno snimanje, 19. stoljeće; d) katastar Austro-Ugarske Monarhije, 19. st. (izvor: Arcanum Maps)	38
Slika 16.	Crikvenica prije 1968. godine (DGU, 2015.)	39
Slika 17.	Gradsko kupalište – nasute površine (prema: Arcanum Maps)	40
Slika 18.	Balustrada – nasute površine (prema: Arcanum Maps)	40
Slika 19.	Crikvenica-centar – nasute površine (prema: Arcanum Maps)	41
Slika 20.	Podvorska – nasute površine (prema: Arcanum Maps)	41
Slika 21.	Oštećenja plaže International u Crikvenici 2018. godine	42
Slika 22.	Značajne valne visine, SW smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, MR (morska razina) = 0,60 m n. m., gore: nekadašnje stanje, dolje: nakon izgradnje lukobrana (2021.)	43
Slika 23.	Potencijalna buduća rješenja podizanja i širenja obalnog zemljišta (izvor: Margeta et al., 2019.)	44
Slika 24.	Baška, formirana žala uz Ulicu Palada	45
Slika 25.	Plaža hotela Hilton, u Rijeci tijekom zime 2021./2022.	46
Slika 26.	Mali Lošinj, obala Rive lošinjskih kapetana (lijevo: Igor Ružić, desno: HR-CRO Croatia)	47
Slika 27.	Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)	51
Slika 28.	Plavljenje grada Cresa (Novi list, 2020.)	52
Slika 29.	Retencijska pregrada u gradu Cresu izgrađena 2013. godine (Foto: Josip Rubinić, 2022.)	52
Slika 30.	Zabilježeni doseg plavljenja tijekom obalne poplave 2019. godine	53
Slika 31.	Površine obalnog plavljenja grada Cresa za morske razine od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.	54
Slika 32.	Zone obalnog plavljenja u Cresu za morske razine od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m. s uključenim površinama građevina; 1 – Gradska loža, 2 – palača Arsan-Petris, 3 – palača Moise, 4 – crkva sv. Izidora, 5 – crkva sv. Marije Velike	55
Slika 33.	Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morsku razinu 1,15 m n. m.	56
Slika 34.	Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morsku razinu 1,45 m n. m.	57
Slika 35.	Dubine vode obalnog plavljenja grada Cresa za morsku razinu 1,75 m n. m.	58
Slika 36.	Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka grada Cresa	59
Slika 37.	Poprečni presjeci 4 i 5	59
Slika 38.	Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 0,55 m n. m.	61
Slika 39.	Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 1,15 m n. m.	61
Slika 40.	Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 1,45 m n. m.	62
Slika 41.	Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, morska razina 1,75 m n. m.	62
Slika 42.	Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)	65

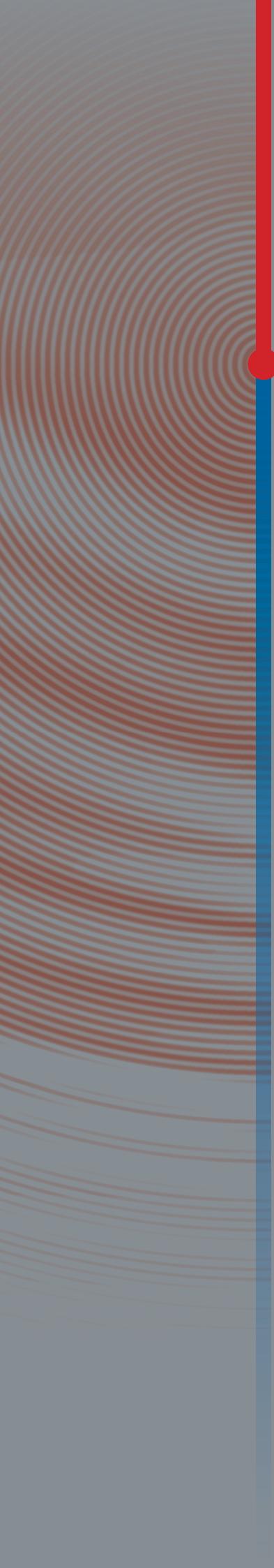
Slika 43.	Ugroženo područja grada Raba za vrijeme obalnog plavljenja	66
Slika 44.	Površine obalnog plavljenja grada Raba za morske razine od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.	67
Slika 45.	Zone obalnog plavljenja grada Raba; 1 – Kneževa palača, 2 – palača Nimira mala	68
Slika 46.	Dubine vode obalnog plavljenja grada Raba za morskou razinu 1,15 m n. m.	69
Slika 47.	Dubine vode obalnog plavljenja grada Raba za morskou razinu 1,45 m n. m.	70
Slika 48.	Dubine vode obalnog plavljenja grada Raba za morskou razinu 1,75 m n. m.	71
Slika 49.	Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka grada Raba	72
Slika 50.	Poprečni presjeci 4 – 6	73
Slika 51.	Propagacija i visine valova za morskou razinu 0,55 m n. m. (<i>lijево</i>) i morskou razinu 1,15 m n. m. (<i>desno</i>)	74
Slika 52.	Propagacija i visine valova za morskou razinu 1,45 m n. m. (<i>lijево</i>) i morskou razinu 1,75 m n. m. (<i>desno</i>)	74
Slika 53.	Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)	76
Slika 54.	Površine obalnog plavljenja Punta za morskou razinu od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.	78
Slika 55.	Zone obalnog plavljenja Punta	79
Slika 56.	Dubine obalnog plavljenja Punta za morskou razinu 1,15 m n. m. (<i>lijevо</i>), morskou razinu 1,45 m n. m. (<i>sredina</i>) i morskou razinu 1,75 m n. m. (<i>desno</i>)	80
Slika 57.	Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka Punta	81
Slika 58.	Doseg plavljenja na presjecima 4 – 9	82
Slika 59.	Propagacija i visine valova za morskou razinu 0,55 m n. m. (<i>lijево</i>) i morskou razinu 1,15 m n. m. (<i>desno</i>)	83
Slika 60.	Propagacija i visine valova za morskou razinu 1,45 m n. m. (<i>lijevо</i>) i morskou razinu 1,75 m n. m. (<i>desno</i>)	84
Slika 61.	Granice područja istraživanja i zaštićenog kulturnog dobra (DOF 2020, DGU; Ministarstvo kulture i medija, 2021.)	86
Slika 62.	Površine obalnog plavljenja Voloskog za morskou razinu od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m.	88
Slika 63.	Zone plavljenja u Voloskom	89
Slika 64.	Dubine obalnog plavljenja naselja Volosko za morskou razinu 1,15 m n. m. (<i>lijevо</i>), morskou razinu 1,45 m n. m. (<i>sredina</i>) i morskou razinu 1,75 m n. m. (<i>desno</i>)	90
Slika 65.	Značajne valne visine, SE smjer, pedesetogodišnje povratno razdoblje, Volosko, morska razina 1,15 m n. m.	91
Slika 66.	Cres – promjena obalne linije između 1968. (<i>gore</i>) i 2014. (<i>dolje</i>) (DOF 1968, DOF 2014; prema: DGU, 2015.)	99
Slika 67.	Mogućnost zaštite od obalnog plavljenja podizanjem kote obale (a), ili izgradnjom zaštitnog zida na obali (b)	100
Slika 68.	Potencijalna lokacija pomične brane	100
Slika 69.	Nova obala – visina 1,32 m n. m., za današnje razine mora zadovoljavajuća situacija	101
Slika 70.	Sjeverna obala luke Rab, visina obale oko 0,80 m n. m., često plavi	101

Slika 71.	Lukobran u gradu Rabu	102
Slika 72.	Punat – promjena obalne linije između 1968. (<i>lijево</i>) i 2014. (<i>desno</i>) (DOF 1968, DOF 2014; prema: DGU, 2015.)	103
Slika 73.	Valovi u Voloskom (<i>lijevо</i> : Novi list, <i>desno</i> : Igor Ružić)	104
Slika 74.	Oštećenja šetnice u Voloskom	104
Slika 75.	Mogućnosti zaštite (presjek 11)	105
Slika 76.	Situacijski prikaz obrađenih poprečnih presjeka u Voloskom	106
Slika 77.	Mogućnost zaštite Obale Frana Supila	107
Slika 78.	Obuhvat istraživanog područja dijela naselja Cresa na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPUG-a Cresa i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Cresa	111
Slika 79.	Obuhvat istraživanog područja dijela naselja Raba na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPUG-a Raba i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Raba	111
Slika 80.	Obuhvat istraživanog područja dijela naselja Punta na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPVO-a Punat i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Punat	112
Slika 81.	Obuhvat istraživanog područja Voloskoga na izvodu iz kartografskog prikaza br. 4. Građevinska područja PPUG-a Opatije i kartografskog prikaza br. 1. Korištenje i namjena površina UPU-a naselja Opatije	112

Popis dijagrama

Dijagram 1. Definiranje topografije područja

18



primorsko
ozračno
šupanija

ISBN 978-953-58515-8-5