

Procjena mogućih šteta od podizanja razine mora za Republiku Hrvatsku uključujući troškove i koristi od prilagodbe

Integracija klimatske varijabilnosti i promjena u nacionalne strategije za primjenu Protokola o **IUOP**-u na Mediteranu



Dokument:

PROCJENA MOGUĆIH ŠTETA OD PODIZANJA RAZINE MORA ZA REPUBLIKU HRVATSKU UKLJUČUJUĆI TROŠKOVE I KORISTI OD PRILAGODBE

Ovaj dokument pripremljen je u okviru projekta "Integracija klimatske varijabilnosti i promjena u nacionalne strategije za primjenu Protokola o IUOP-u na Mediteranu", kojega financira Svjetski fond za okoliš (GEF), provode Program Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP) i Svjetska banka, te institucije partneri, među kojima je i Centar za regionalne aktivnosti Programa prioritetnih akcija (PAP/RAC) iz Splita, nositelj ove aktivnosti, uz suradnju Ministarstva zaštite okoliša i prirode (MZOIP).

Uredništvo:

Daria Povh Škugor, PAP/RAC, Split, Hrvatska

Ivan Sekovski, PAP/RAC suradnik, Split, Hrvatska

Autori:

Jochen Hinkel, Globalni forum za klimu, Berlin, Njemačka

Athanasios T. Vafeidis, Geografski institut, Sveučilište Christiana Albrechtsa, Kiel, Njemačka

Daniel Lincke, Globalni forum za klimu, Berlin, Njemačka

Claudia Wolff, Geografski institut, Sveučilište Christiana Albrechtsa, Kiel, Njemačka

Autori dodatka "Procjena vrijednosti stambenih zgrada i turističkih objekata duž hrvatske obale":

Anil Markandya, BC3 Baskijski centar za klimatske promjene, Bilbao, Španjolska

Marta Pasqual, BC3 Baskijski centar za klimatske promjene, Bilbao, Španjolska

Priprema podataka:

Gojko Berlengi, GIS Plan, Split, Hrvatska

Martina Baučić, Geodata, Split, Hrvatska

Stavovi izneseni u ovom dokumentu ne odražavaju nužno službeno mišljenje UNEP-a, MAP-a i GEF-a. Ovaj dokument i karte u njemu ne dovode u pitanje status ili suverenost bilo kojeg teritorija, međunarodne granice i imena bilo kojeg teritorija, grada ili područja. Kartografski prikazi u dokumentu informativne su prirode i služe isključivo za potrebe ovog dokumenta. Navedene institucije u potpunosti se odriču svake odgovornosti koja na bilo koji način može nastati ili je na bilo koji način vezana za korištenje ovog sadržaja.

Izradu ovog dokumenta dostavom podataka omogućile su brojne institucije i organizacije Republike Hrvatske. Uz zahvalu na suradnji, navodimo ih abecednim redom:

Agencija za zaštitu okoliša

Državna geodetska uprava

Državni zavod za statistiku

Državni zavod za zaštitu prirode

Hrvatski hidrografski institut

Hrvatske vode

Institut za oceanografiju i ribarstvo

Ministarstvo financija, Porezna uprava

Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja

Ministarstvo poljoprivrede, Uprava za ribarstvo

Ministarstvo zaštite okoliša i prirode

Županijski upravni odjeli nadležni za zaštitu

okoliša i prostorno uređenje: Istarska, Ličko-senjska, Primorsko-goranska, Zadarska, Šibensko-kninska, Splitsko-dalmatinska i Dubrovačko-neretvanska županija

Županijski zavodi za javno zdravstvo

Prijevod i lektura:

SPES centar za poduke i prevodilaštvo d.o.o., Zagreb, Hrvatska

Grafičko oblikovanje:

Studio Quarto, Split, Hrvatska

Slobodan Pavasović, PAP/RAC suradnik, Split, Hrvatska

Fotografija:

Naslovnica - Igor Bjažević Lula

Predgovor - Nikola Kezić © Issa-Vis-Kut blog-portal

Str. 3 - Feđa Klarić

Str. 6 - Hrvoje Jelavić/PIXSELL

Str. 8 - crometeo.hr

Str. 18 - Tino Jurić/PIXSELL

Str. 21 - Duško Jaramaz/PIXSELL

Str. 30 / zadnja str. - Boris Bašić



Mitraković, B. (2015.)

Garbin je zao vitar

Slobodna Dalmacija, 1. veljače 2015.,
Komiža, otok Vis

... Oko 23 sata mama i ja gledale smo televiziju kad me je ona upozorila da nam u kuću ispod vrata ulazi more, pa smo počele skupljati morsku vodu koja je ulazila sa svih strana.

Zajedno smo držale vrata kad je nešto puklo i mi smo već bile u moru, koje je napunilo naš dnevni boravak.

U tom trenutku nešto me je udarilo, ormar ili nešto drugo, a ja sam uporno dozivala majku i pitala je li živa.

Javila mi se, i ona je bila ozlijeđena kao i ja. Nekako smo se povukle na kat, gdje smo se presvukle, utoplila sam je i tako smo dočekale jutro.

U cijeloj toj gužvi izgubila sam mobitel i naočale, dio kuće potpuno je uništen, dolazio nam je dežurni liječnik... – ispričala nam je, još uvijek u šoku Tanja P....

Sadržaj

1	Uvod	1
2	Metode i podatci.....	3
2.1	Podatci o obali i segmentacija obalne crte.....	3
2.1.1	Pregled.....	3
2.1.2	Odabir obalne crte u digitalnom formatu	4
2.1.3	Segmentacija obalne crte	5
2.1.4	Podatci o izloženosti – područje, stanovništvo i imovina	5
2.1.5	Parametri erozije.....	7
2.2	Scenariji podizanja razine mora	7
2.3	Ekstremne razine mora.....	9
2.4	Socioekonomski scenariji	10
2.5	Procjena utjecaja erozije.....	11
2.6	Procjena štete od poplave i utjecaja rasta razine mora	12
3	Rezultati	14
3.1	Poplavljanje.....	14
3.1.1	Trenutna i buduća izloženost	14
3.1.2	Sadašnji i budućí rizici po ljude i imovinu.....	15
3.1.3	Rizik za mjesta svjetske baštine.....	18
3.1.4	Troškovi prilagodbe	19
3.2	Erozija	22
3.2.1	Utjecaji	22
4	Zaključci	23
5	Literatura	25
Dodatak A: Procjena vrijednosti stambenih zgrada i turističkih objekata duž hrvatske obale		29
Dodatak B: Detaljni rezultati za poplavna područja.....		31
Dodatak C: Karte opasnosti od poplava		36

Popis slika

Slika 1:	Struktura modela DIVA.....	2
Slika 2:	Pregled segmenata obalnoga pojasa u modelu DIVA za mediteranski bazen	4
Slika 3:	Usporedba globalne i nove obalne crte DIVA-e	4
Slika 4:	Vrste obala u Hrvatskoj	7
Slika 5:	Rast globalne srednje razine mora prema korištenim scenarijima.....	9
Slika 6:	Prosječan rast razine mora u Hrvatskoj prema trima scenarijima koji se koriste	9
Slika 7:	Broj stanovnika i BDP po glavi stanovnika u Hrvatskoj prema trima SSP-ovim scenarijima	11
Slika 8:	Potencijalno poplavna područja ispod H100 u Hrvatskoj do 2100.	14
Slika 9:	Imovina (gore) i broj stanovnika (dolje) ispod H100 u Hrvatskoj do 2100.....	15
Slika 10:	Prosječan broj stanovnika pogođenih poplavom godišnje prema različitim scenarijima rasta razine mora i populacije.....	16
Slika 11:	Godišnji broj ugroženih stanovnika u 2100. prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a	16
Slika 12:	Očekivani godišnji troškovi šteta od poplava u 2100. prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a	17
Slika 13:	Očekivani troškovi od morskih poplava u Hrvatskoj prema različitim scenarijima rasta razine mora do 2100..	18
Slika 14:	Biskupski kompleks Eufrazijeve bazilike u Poreču smješten na razini mora	19
Slika 15:	Visina obrambenih struktura u 2100. prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a.....	20
Slika 16:	Godišnji troškovi gradnje i održavanja nasipa (gore) i ukupna prosječna visina nasipa (dolje)	21
Slika 17:	Očekivani godišnji troškovi obalne poplave s adaptacijom.....	21
Slika 18:	Godišnji gubitak zemljišta zbog erozije do 2100. godine u Hrvatskoj prema trima različitim scenarijima rasta razine mora	22
Slika 19:	Godišnji troškovi prihranjivanja plaža u Hrvatskoj prema trima scenarijima rasta razine mora do 2100.....	22

Popis tablica

Tablica 1:	Usporedba stare (globalne) i nove (lokalne) obalne crte u Hrvatskoj.....	5
Tablica 2:	Digitalne skupine podataka korištene za procjenu izloženosti stanovništva i imovine.....	6
Tablica 3:	Globalni srednji porast razine mora u 2100. u odnosu na razdoblje 1985. – 2005.	8
Tablica 4:	Porast razine mora u Hrvatskoj u 2050. i 2100. prema trima scenarijima porasta razine mora koji se koriste	9
Tablica 5:	H1 i H100 u 2010., 2050. i 2100. prema različitim scenarijima rasta razine mora (SLR).....	10
Tablica 6:	Globalni broj stanovnika i BDP-a u 2050. prema različitim SSP-ima	10
Tablica 7:	Broj stanovnika u Hrvatskoj i BDP po glavi stanovnika u 2050. prema različitim SSP-ovim scenarijima.....	11
Tablica 8:	Podatci o izloženim hrvatskim mjestima svjetske baštine	18
Tablica 9:	Troškovi izgradnje i održavanja obrambenih struktura	20

Popis kratica

AR5	<i>Fifth Assessment Report</i> (Peto izvješće o procjenama)
BDP	Bruto domaći proizvod
BRANCH	<i>Biodiversity Requires Adaptations in Northwest Europe under a CHanging climate</i> (Biološka raznolikost zahtijeva, zbog klime koja se mijenja, prilagodbe u sjevernoj Europi) (projekt)
CGIAR-CSI	<i>Consultative Group on International Agricultural Research, Consortium for Spatial Information</i> (Savjetodavna skupina za međunarodno istraživanje poljoprivrede – Konzorcij za prostorne informacije)
CIAT	<i>International Center for Tropical Agriculture</i> (Međunarodni centar za tropsku poljoprivredu)
CIESIN	<i>Center for International Earth Science Information Network</i> (Centar za međunarodnu znanstvenu informacijsku mrežu)
CLIMATECOST	<i>Full Cost of Climate Change</i> (Cjelokupni troškovi klimatskih promjena) (projekt)
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i> (Klimatski model – 5. faza projekta)
CONHAZ	<i>COsts of Natural HAZards</i> (Toroškovi prirodnih katastrofa)
DEM	<i>Digital Elevation Model</i> (Digitalni elevacijski model)
DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod
DINAS-COAST	<i>Dynamic and Interactive Assessment of National, Regional and Global Vulnerability of Coastal Zones to Climate Change and Sea-Level Rise</i> (Dinamička i interaktivna procjena ranjivosti obalnih zona na klimatske promjene i rast razine mora na nacionalnoj, regionalnoj i globalnoj razini)
DIVA	<i>Dynamic and Interactive Vulnerability Assessment</i> (Dinamička i interaktivna procjena ranjivosti)
DMR	Digitalni model reljefa
EACC	<i>Economics of Adaptation to Climate Change</i> (Ekonomija prilagodbe na klimatske promjene)
EEA	<i>European Environment Agency</i> (Europska agencija za okoliš)
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i> (Institut za istraživanje okolišnih sustava)
GADM	<i>Global ADMInistrative areas</i> (Globalno administrativno područje)
GIS	<i>Geographic Information Systems</i> (Geografski informacijski sustav)
GrIS	<i>Greenland Ice Sheet</i> (Grenlandska ledena kapa)
GRUMP	<i>Global Rural-Urban Mapping Project</i> (Projekt kartiranja ruralno-urbanih područja na globalnoj razini)
HadGEM2-ES	<i>Hadley Centre Global Environmental Model, version 2</i> (Globalni klimatski model)
HTM	<i>Hamburg Tourism Model</i> (Hamburški turistički model)
HHI	Hrvatski hidrografski institut
IMAGE	<i>Integrated Model to Assess the Global Environment</i> (Integralni model procjene okoliša na globalnoj razini)
IMPACT2C	<i>Quantifying projected impacts under 2 degree C warming</i> (Projekt kvantificiranja predviđenih utjecaja zatopljenja od 2 stupnja Celzija)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Međuvladino tijelo za klimatske promjene)
IPCC AR5	<i>IPCC Fifth Assessment Report</i> (Peto izvješće o procjenama IPCC-a)
IPFRI	<i>International Food Policy Research Institute</i> (Međunarodni institut za istraživanje prehrambene politike)
IUOP	Integralno upravljanje obalnim područjem
km	Kilometar
KPV	Klimatske promjene i varijabilnost

LECZ	<i>Low Elevation Coastal Zone</i> (Niska obalna zona)
LOICZ	<i>Land Ocean Interactions in the Coastal Zone</i> (Interakcije obale i oceana u obalnoj zoni)
MAR	Modèle atmosphérique régional (Klimatski regionalni model)
N/a	<i>Not available</i> (nedostupno – npr. podatci)
PAP/RAC	<i>Priority Actions Programme/Regional Activity Centre</i> (Centar za regionalne aktivnosti Programa prioritetnih akcija)
PESETA	Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis (Procjena troškova klimatskih promjena u Europi) (projekt)
RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i> (Reprezentativna putanja koncentracije stakleničkih plinova)
RRM	Rast razine mora
SeaRISE	Sea-level Response to Ice Sheet Evolution (Utjecaj evolucije ledenog pokrivača na razinu mora)
SER	Socioekonomski razvoj
SMB	Surface Mass Balance (Površinska masena ravnoteža)
SRM	Srednja razina mora
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SSP	<i>Shared Socio-economic Pathways</i> (Zajednička socioekonomska kretanja)
st.	Stanovnici (broj)
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i> (Triangulirane nepravilne mreže)
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i> (Program Ujedinjenih naroda za razvoj)
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> (Program Ujedinjenih naroda za okoliš)
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> (Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu)
US\$	US Dollar (američki dolar - valuta)

1 Uvod

Projekt klimatske varijabilnosti osmišljen je kako bi pružio podršku implementaciji Protokola o integralnom upravljanju obalnim područjem Mediterana (Protokol o IUOP-u). Cilj je projekta stvoriti uvjete pogodne za integraciju strategija prilagodbe na klimatske promjene i varijabilnosti (KPV) u politiku, planove i programe IUOP-a mediteranskih država, na način da:

- (i) potiče razumijevanje utjecaja KPV-a na obalna područja mediteranske regije, i
- (ii) uspostavlja mehanizme razmjene potrebnih informacija, kapacitete i regionalna pilot iskustva.

Kao doprinos drugomu cilju, provedena je *top-down* (od vrha prema dnu) procjena utjecaja rasta razine mora na nacionalnoj razini za Hrvatsku i Tunis, koji su odabrani kao dva pilot područja. Ovaj dokument donosi rezultate za Hrvatsku.

Većina radova o utjecaju klimatskih promjena za Hrvatsku usredotočila se na promjene temperature i padalina (npr. Branković i dr. 2009. i 2012.). Rane procjene osjetljivosti na rast razine mora identificirale su povijesne jezgre gradova, aluvijalnu dolinu rijeke Neretve i Vransko jezero na otoku Cresu kao izrazito osjetljiva područja, ali su se oslanjale na kvalitativne procjene stručnjaka (Barić i dr. 2008). Prva kvantitativna procjena utjecaja rasta razine mora, provedena u kontekstu Izvješća o društvenome razvoju za Hrvatsku, procijenila je da bi rast razine mora od 50 cm poplavio preko 100 km² kopna, a rast od 88 cm poplavio bi 112 km², što bi dovelo do gubitka u vrijednosti zemljišta u iznosu od 2,8–6,5 milijardi eura, odnosno 3,2–7,2 milijarde eura (UNDP, 2009). Ti su gubitci procijenjeni na temelju minimalnih i maksimalnih cijena zemljišta za razne namjene (poljoprivredno zemljište, šuma, cesta, željeznica, urbano zemljište itd.). Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime ponavlja ove rezultate te naglašava da bi utjecaj rasta razine mora mogao potencijalno biti jedna od najozbiljnijih i najskupljih posljedica klimatskih promjena za Hrvatsku (Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva 2010). Gradovi

kao što su Nin, Zadar, područje Šibenika, Split, Stari Grad i Dubrovnik prepoznati su kao posebno ranjive zone.

Ovo izvješće predstavlja novu kvantitativnu nacionalnu procjenu klimatskoga utjecaja rasta razine mora u Hrvatskoj. *Top-down* metodologija temelji se na iskustvu modela i baze podataka DIVA (*Dynamic and Interactive Vulnerability Assessment*). DIVA je integralni, globalni modelirajući okvir za procjenu biofizičkih i socioekonomskih posljedica rasta razine mora te s time povezanih ekstremnih razina vode u različitim fizičkim i socioekonomskim scenarijima, kao i razmatranje raznih strategija prilagodbe (www.diva-model.net; Hinkel i Klein 2009.). DIVA je modularni model koji procjenjuje nekoliko utjecaja rasta razine mora (vidi Sliku 1). Za ovu procjenu usredotočujemo se na sljedeće:

- Povećani rizik od obalnoga poplavlivanja u smislu očekivanih godišnjih šteta od ekstremnih događaja zbog rasta razine mora (olujni valovi), u smislu financijskih šteta na imovini (građevine, infrastruktura) i broja ljudi na koje to utječe.
- Gubitak suha zemljišta zbog povećane obalne erozije uzrokovane podizanjem razine mora te posljedične štete (prisilne migracije).

Niti jedan od ova dva utjecaja nije prije procjenjivan za Hrvatsku. Gore navedeno izvješće Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP) usredotočilo se na utjecaj postupna preplavlivanja nizinskih krajeva. No, važno je uočiti da čak i prije nego more preplavi nizinske krajeve, rast razine mora može imati značajan utjecaj uzrokujući ekstremne razine vode i obalne poplave. Taj je utjecaj izravniji, te utječe na veće područje nego preplavlivanje i očekuje se da će uzrokovati veće financijske štete od utjecaja preplavlivanja (Wong i dr. 2014.). Ova studija ide dalje od prethodnih po tome što kvantificira troškove strategija prilagodbe.

Model DIVA razvijen je zajedno s globalnom obalom bazom podataka, na koju se nastavlja, a koja sadrži podatke o biofizičkim i socioekonomskim obalnim karakteristikama (Vafeidis i dr. 2008.). Baza podataka oslanja se na segmentaciju svjetskih obala

(bez Antarktike) u 12.148 linearnih segmenata, te povezuje oko 100 elemenata podataka sa svakim segmentom povezano s fizikalnim, ekološkim i socio-ekonomskim karakteristikama obale. Ovaj je pristup jedinstven u smislu da integrira podatke i metode za multidisciplinarno proučavanje obalnih procesa.

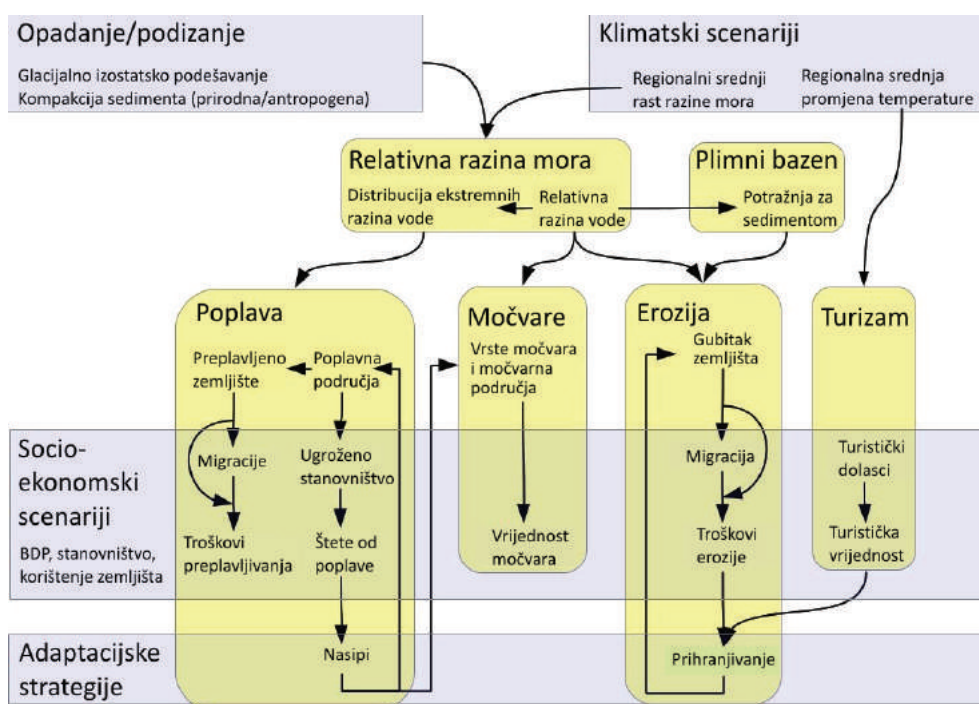
Model DIVA često se koristi za procjene utjecaja rasta razine mora, ranjivosti i prilagodbe na globalnoj i kontinentalnoj razini (npr. Hinkel i dr. 2009.; Nichols i dr. 2010.; McLeod i dr. 2010.; Hinkel i dr. 2010. i 2011., Vafeidis i dr. 2012.; Hinkel i dr. 2013.; Hinkel i dr. 2014.). Među ostalima su sljedeće:

- Priprema Izvješća o stanju okoliša 2010. Europske agencije za okoliš (EEA).
- Troškovi prilagodbe rastućih razina obalnih voda za Narodnu Republiku Kinu, Japan i Republiku Koreju, financirano sredstvima Azijske banke za razvoj.
- Ekonomija prilagodbe na klimatske promjene (EACC): Ukupni troškovi infrastrukture – obalna komponenta, financirano sredstvima Svjetske banke. Projekt je pružio globalnu procjenu troškova prilagodbe kao informaciju u klimatskim pregovorima i donošenju odluka o prilagodbi.
- Ekonomska analiza obalne prilagodbe na klimatske promjene u Senegal i Gambiji, financirano sredstvima Svjetske banke. Projekt je

procijenio utjecaj na obalu, ranjivost i prilagodbu s pomoću modela DIVA za Senegal i Gambiju.

- CLIMATECOST (Cjelokupni troškovi klimatskih promjena), financirano sredstvima Glavne uprave Europske komisije za istraživanje prema 7. okvirnome programu. Projekt predstavlja studiju ekonomskih troškova klimatskih promjena kako bi politika bila informirana o dugoročnim ciljevima, ekonomskim troškovima neaktivnosti te troškovima i koristima prilagodbe. Projekt kvantificira troškove utjecaja klimatskih promjena, u usporedbi s troškovima i koristima prilagodbe.
- IMPACT2C (Kvantificiranje predviđenih utjecaja zatopljenja od 2 stupnja Celzija), financirano sredstvima Generalnoga direktorata Europske komisije za istraživanje prema 7. okvirnome programu.
- PESETA *Project Europe*: Procjena troškova klimatskih promjena u Europi.
- BRANCH *Project*: Procjena uloge klimatskih promjena u europskome prostornom planiranju.

Za ovaj je projekt model DIVA reduciran kako bi se mogao primijeniti u traženome rasponu, a kako bi rezultirao informacijama korisnim za razvoj nacionalnih strategija IUOP-a. U tu svrhu podatci o obali predstavljeni su detaljnije te s obzirom na specifičan geografski i socioekonomski kontekst.



Slika 1: Struktura modela DIVA. Žuti okviri pokazuju različite module modela DIVA, a sivi okviri pokazuju vanjske podatke i ulazne scenarije. (Izvor: Hinkel i dr., A global assessment of coastal vulnerability with the DIVA model, u izradi)

2 Metode i podatci

2.1 Podatci o obali i segmentacija obalne crte

2.1.1 Pregled

Na temelju koncepta linearne reprezentacije obalnog pojasa, DIVA koristi model obalnoga prostora, gdje su geografski podatci predstavljeni kao skupina geografskih karakteristika te se povezuje s obalnim segmentima varijabilne duljine. Uzimajući u obzir linearnu prirodu obale, svi podatci u bazi podataka DIVA izraženi su kao atributi sedam glavnih geografskih karakteristika, tj. obalnih segmenata, administrativnih jedinica, država, rijeka, plimnih bazena i mjesta svjetske baštine, te su povezani s linearnim obalnim segmentima koji su rezultat procesa obalne segmentacije. Obalni prostor u modelu DIVA strukturiran je kao smislen prikaz prostorne varijabilnosti u ranjivosti na nacionalnoj i globalnoj razini. Kako su varijacije u ranjivosti unutar obalne zone pod kontrolom primarnih varijacija u ljudskoj i fizičkoj obalnoj izmjeni, iskorišteno je nekoliko ključnih parametara za segmentaciju obale. To su sljedeći parametri:

- (i) administrativne granice,
- (ii) geomorfološka struktura obalnog područja,

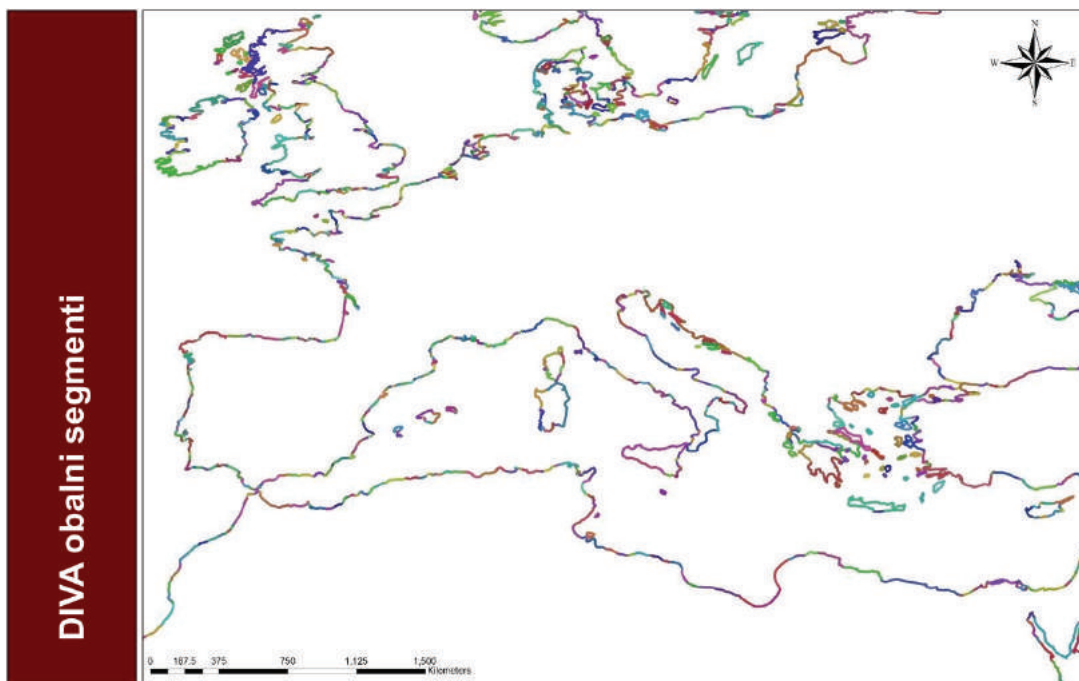
(iii) očekivani morfološki razvoj obale s obzirom na rast razine mora, i

(iv) gustoća naseljenosti.

Prema tome, segmentacija obalne crte koristi se za dobivanje niza prostornih referentnih jedinica za modelirajući alat projekta te kako bi ga se povezalo s geografskom bazom podataka. Teoretski okvir u pozadini segmentacije analitički su opisali McFadden i dr. (2007.).

Ovi segmenti čine konačne referentne jedinice za model DIVA (Slika 2). Svi atributivni podatci povezani su s ovim segmentima s pomoću geografskog informacijskog sustava (GIS) i metoda prostorne obrade, opisani u Vafeidis i dr. (2005.). Kako bismo prilagodili model DIVA za procjenu na nacionalnoj razini za Hrvatsku i Tunis, razvili smo detaljniju segmentaciju obalnoga pojasa i osuvremenili bazu podataka DIVA s pomoću, gdje je to bilo moguće, novih i usavršenih (u smislu rezolucije, preciznosti, prostornoga obuhvata) prostornih skupina podataka o fizikalnim i socioekonomskim parametrima, kao i lokalnih i nacionalnih skupina podataka dobivenih od nacionalnih organizacija uključenih država. Prilagodba modela DIVA uključuje niz koraka, koji su opisani u sljedećim poglavljima.



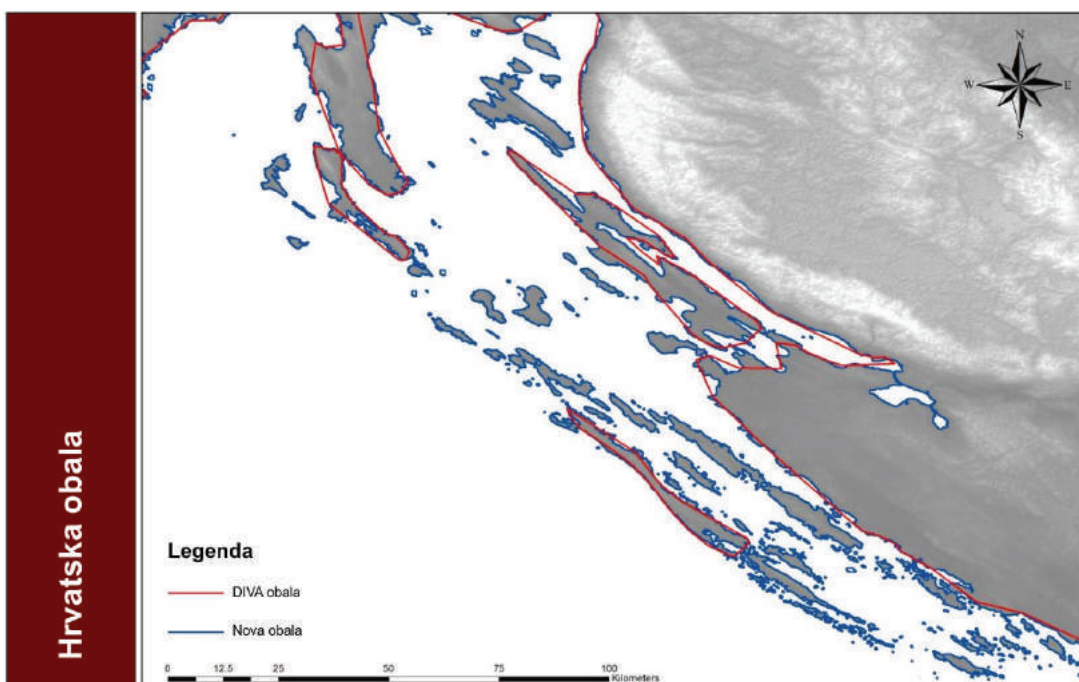


Slika 2: Pregled segmenata obalnoga pojasa u modelu DIVA za mediteranski bazen

2.1.2 Odabir obalne crte u digitalnom formatu

Prethodno opisana DIVA segmentacija temelji se na digitalnoj globalnoj skupini podataka o obalnim crtama (ESRI 2002.), u mjerilu otprilike 1:3 000 000. Ovo mjerilo uključuje u velikoj mjeri uopćen prikaz karakteristika obalne crte te se smatra neprikladnim u svrhu procjene na nacionalnoj razini zbog gubitka važnih karakteristika obale (npr. otoka, zatvorenih zaljeva, džepnih plaža itd.) pojedinih država. U tu svrhu, nakon uspoređivanja niza dostupnih digi-

talnih skupina podataka o obalnim crtama, odabrali smo razinu 01 Globalnoga administrativnog područja (GADM) obalne crte (<http://gadm.org>). Obalna crta je ispravljena s pomoću algoritma za izgladiavanje (polinomna aproksimacija) i tolerancije od 100 m kako bi se uklonili artefakti povezani s formatom izvornih podataka (npr. „pikselizacija“ obalnih segmenata). Vidi Sliku 3 radi usporedbe između stare i nove obalne crte za Hrvatsku.



Slika 3: Usporedba globalne i nove obalne crte DIVA-e

2.1.3 Segmentacija obalne crte

Segmentacija obalne crte temeljena je na upotrebi kriterija o kojima su govorili McFadden i dr. (2007.), tj. obalna morfologija i geološke karakteristike, gustoća naseljenosti, administrativne granice te, proširenjem tih kriterija, i ušća rijeka. Procjene na globalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini često su ograničene zbog dostupnosti konzistentnih skupina podataka o obalnoj morfologiji i karakteristikama. Iako baza podataka DIVA uključuje globalne podatke o obalnoj morfologiji i geološkim karakteristikama (vidi Vafeidis i dr. 2008.), u svrhu ove studije razvili smo novu skupinu podataka o obalnoj morfologiji za cjelokupnu obalnu crtu Hrvatske. Ova je skupina podataka temeljena na vizualnoj interpretaciji slika *Google Eartha*, slijedeći koncepte koje su opisali Scheffers i dr. (2012.), također uzimajući u obzir bazu podataka DIVA i koristeći fotografije s označenim lokacijama s internetskoga servisa *Panoramio* (<http://www.panoramio.com>). *Panoramio* nudi geografski označene fotografije od korisnika za čitavu obalnu crtu Hrvatske, koje mogu pružiti korisne informacije o tipu i morfologiji obale. Ti su podatci korišteni kako bi nadopunili/validirali dostupne satelitske snimke te kartografske informacije, odnosno, geomorfnu strukturu, koju je razvio McGill (1958.). Nadalje, podaci o lokaciji plaža iz baze podataka Ministarstva zaštite okoliša i prirode „Kakvoća mora u Republici Hrvatskoj“, korišteni su za validaciju. Snimke *Google Eartha* korištene su i za identifikaciju granica ušća rijeka.

Što se tiče gustoće naseljenosti, razmatrani su svi hrvatski gradovi s preko 10.000 stanovnika (<http://population.mongabay.com/population/croatia?page=1>), uz još neke manje gradove. Kombinacijom ovih podataka sa snimkama s *Google Eartha*, razvili smo novu prostornu skupinu podataka obalnih naselja, koja se zatim koristila za segmentaciju obalne crte. Naposljetku, Državna geodetska uprava nam je ustupila digitalni model reljefa (DMR), te prostorni skup podataka o zaštićenoj obalnoj crti.

Gore navedeni podatci kombinirani su kako bi se realizirala segmentacija hrvatske obale te dobio niz linearnih jedinica različite duljine koje čine homogenu dijelove obale, u smislu odgovora na rast razine mora. Segmenti manji od 100 m eliminirani su ruč-

nim korigiranjem jer se smatraju premalenima za opseg ove analize. Segmentacija je rezultirala s 1.560 segmenata (vidi Tablicu 1), prosječne duljine od 3,73 km (minimalna je duljina 100,2 m, a maksimalna je duljina 116,54 km).

Tablica 1: Usporedba stare (globalne) i nove (lokalne) obalne crte u Hrvatskoj

	Globalna obalna crta DIVA	Nova obalna crta DIVA
Broj segmenata	12	1.560
Duljina obalne crte	2.262 km	5.821 km
Segmenti koji čine erozivne plaže	0	189
Duljina erozivnih segmenata	0	80,9 km

2.1.4 Podatci o izloženosti - područje, stanovništvo i imovina

Izloženost područja poplavama procijenjena je na temelju Digitalnoga modela reljefa (DEM) sa *Shuttle Radar Terrain Missionom* (SRTM-om) (Rabus i dr. 2003.) prema sljedećem nizu koraka: prvo, identificirali smo kopnene krajeve na različitim visinama (1 m, 2 m, 3 m, ..., 16 m) koji su hidrološki povezani s morem. U drugome koraku napravili smo tamponske zone (u širini od otprilike 200 km, koje osiguravaju da su sva hidrološki povezana područja uključena u zone) kako bismo definirali kopnena područja koja odgovaraju segmentima obalnoga pojasa, te treće, izračunali smo opseg područja po razini elevacije unutar tih zona. Treba napomenuti da se zone također protežu prema moru kako bismo razjasnili raskorak između modela reljefa i obalnoga pojasa. Izračunate vrijednosti za područje zatim su pripisane obalnim segmentima kao atributi. U nastavku na reljefne STRM podatke o elevaciji, Državna geodetska uprava dala je podatke o elevaciji u obliku mjernih točaka i prijelomnih linija. Ti su podatci zahtijevali veliku količinu obrade kako bi se preoblikovali u oblik koji bi odgovarao modeliranju poplava, a koja se nije mogla provesti u okviru ovoga projekta zbog nedostatka vremena, resursa i odgovarajućih metapodataka (npr. informacija o referentnim površinama, preciznim mjerenjima lokacije i elevacije, raspona itd.). Bez obzira na to, dobavljeni podatci korišteni su za



razvoj preliminarnih modela Trianguliranih nepravilnih mreža (TIN) površinske elevacije i kasnije elevacijskih modela. Usporedba tih preliminarnih modela sa SRTM DEM-om pokazala je vrlo dobro poklapanje između dviju skupina podataka, s razlikom u izloženosti do 6% ukupnoga izloženog područja, ovisno o rezoluciji razvijenih skupina podataka i o izloženosti rastu. Ovi rezultati pokazuju da elevacijski podatci sa SRTM-a pružaju pouzdan prikaz izloženosti za proučavano područje.

Izloženost stanovništva dobivena je izračunavanjem broja stanovništva po elevacijskome porastu, po segmentu obalnoga pojasa te su rezultati spremljeni kao atributi određenih segmenata. Koristili smo skupinu podataka GRUMP-a (CIESIN 2004.) za distribuciju stanovništva (2000. godina) i izračunali smo broj ljudi po elevacijskome porastu kombiniranjem tih informacija s elevacijskim podacima. Vrijednosti

su spremljene kao atributi segmenata obalnoga pojasa.

Izloženost imovine po elevaciji procijenjena je primjenom iste metode kao i za stanovništvo: imovina je izračunata po porastu elevacije, po segmentu obalnoga pojasa, te su rezultati spremljeni kao atributi određenih segmenata. Međutim, skupina podataka o prostornoj imovini dobivena je na drugačiji način od prethodnih procjena. Procjene utjecaja obalnoga poplavlivanja na velikome području obično procjenjuju vrijednost izložene imovine množenjem broja stanovništva, BDP-a po glavi stanovnika i empirijski dobivenoga omjera imovine u odnosu na BDP po glavi stanovnika (npr. Green i dr. 2011.; Hallegatte i dr. 2013.). Taj su pristup prihvatile i ranije analize DIVA-e. Za Hrvatsku je potreban drugačiji pristup kako bi se uzeli u obzir veći omjeri imovine u odnosu na BDP po kapacitetu u Mediteranu zbog znatnoga sekundarnoga stanovanja povezanoga s turizmom. Tako je prostorna distribucija ekonomskih vrijednosti imovine dobivena neovisno od podataka o broju stanovnika za svaku općinu/grad kako su opisali Pascual i Markandya (2015.) te je opisano u Dodatku A.

Digitalne skupine podataka korištene za procjenu izloženosti i njihovih karakteristika prikazane su u Tablici 2.

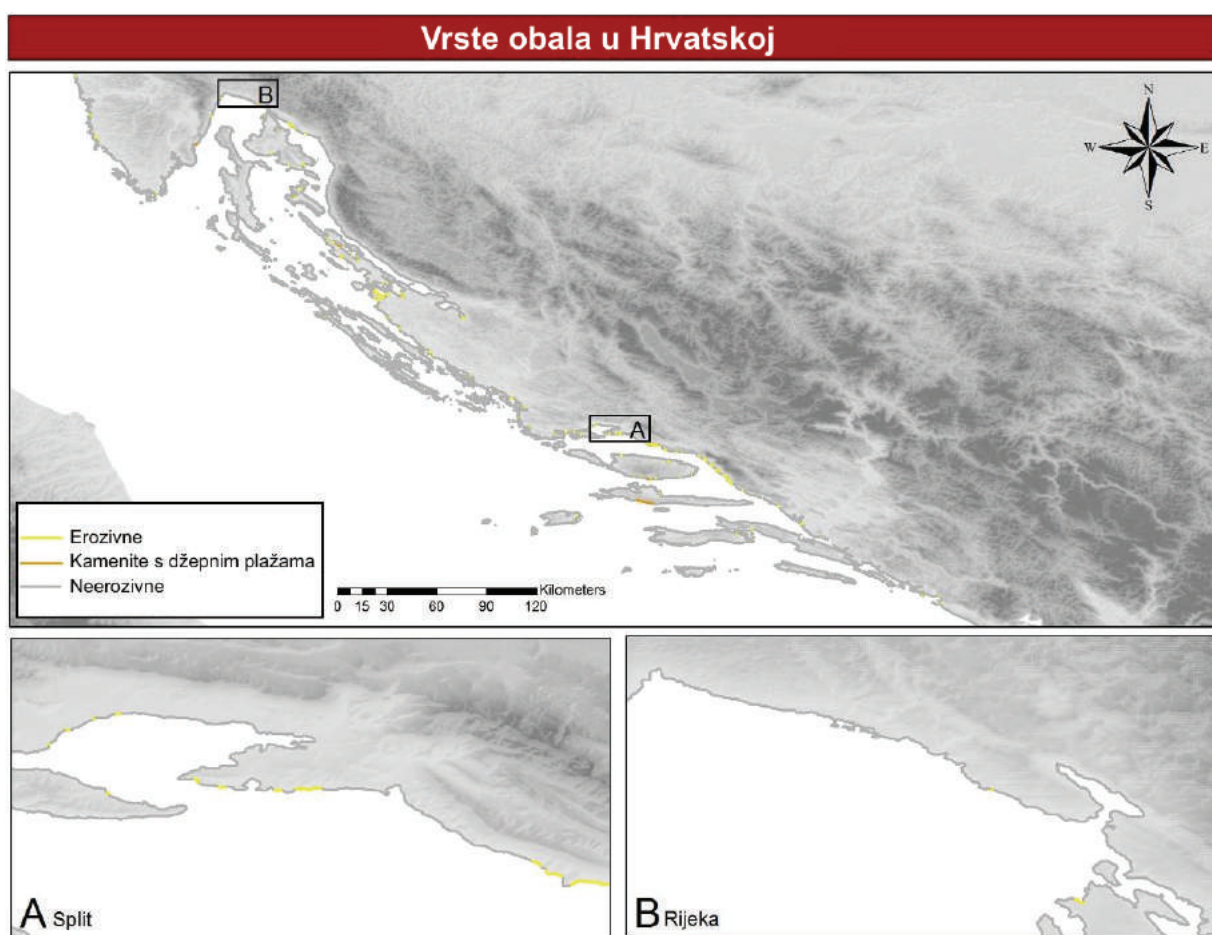
Tablica 2: Digitalne skupine podataka korištene za procjenu izloženosti stanovništva i imovine

Skupina podataka	Reference
SRTM 90 m Digitalni elevacijski podatci (3 kutne sekunde)	CGIAR-CSI (Savjetodavna skupina za međunarodno istraživanje poljoprivrede – Konzorcij za prostorne informacije). Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., Guevara, E. 2008. <i>Hole-filled seamless SRTM data V4</i> , Međunarodni centar za tropsku poljoprivredu (CIAT), dostupno na http://srtm.csi.cgiar.org . (pregledano 18.12.2013).
GRUMP (Mreža broja stanovnika, 30 kutnih sekunda, godina 2000.)	CIESIN (<i>Center for International Earth Science Information Network</i>), Sveučilište Columbia; Međunarodni institut za istraživanje prehrane i poljoprivrede (IPFRI); Svjetska banka; Međunarodni centar za tropsku poljoprivredu (CIAT); 2004. <i>Global Rural–Urban Mapping Project (GRUMP)</i> : Urbane/Ruralne populacijske mreže. Palisades, NY: CIESIN, Sveučilište Columbia. Dostupno na http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw .
Sloj „Nekretnine“	Pascual, M. i Markandya, A. (2015): Vrijednosti nekretnina za stanovanje i turizam duž hrvatske obale. Radno izvješće kao doprinos klimatskoj varijabilnosti. Projekt. Vidi Dodatak A.

2.1.5 Parametri erozije

Koristili smo skupinu podataka o obalnoj morfologiji, koja je razvijena tijekom segmentacijskoga procesa kako bi se okarakterizirao stupanj erodibilnosti različitih tipova obala i izračunali parametri za erozijski algoritam za DIVA-u. Implementirali smo modificiranu verziju metode koja je korištena u globalnoj skupini podataka DIVA-e (vidi Vafeidis i dr. 2005.) kako bi se dobile nove vrijednosti Erozijskoga faktora za sve segmente koji čine erozivne obalne tipove. Na temelju sudova stručnjaka, vrijednost 1 (tj. 100% erozivno) dodijeljena je segmentima koji čine erozivne plaže (tj. primarno se sastoje od erozivnoga materijala kao što je pijesak, granularni

šljunak, ili njihova kombinacija s kamenjem i oblutcima), dok je vrijednost 0,3 dodijeljena segmentima koji su sastavljeni od kamenitih obala s džepnim plažama. Ukupno je 181 plaža s duljinom od oko 80 km identificirana kao erozivna (Slika 4). Većina tih plaža (preko 90%) uključena je u skupinu podataka u bazi „Kakvoća mora u Republici Hrvatskoj“ koja je prikazala 653 plaža svih tipova. Kamenite i izgrađene obale smatraju se neerozivnima te im je dodijeljena vrijednost nula. Štete od erozije na pristaništima i drugim elementima izgrađenoga okoliša ovdje se ne razmatraju jer su predetaljni kako bi se ovdje uzimale u obzir.



Slika 4: Vrste obala u Hrvatskoj

2.2 Scenariji podizanja razine mora

Generacija regionalnih scenarija podizanja razine mora slijedi metodologiju Petoga izvješća o procjenama (AR5) Međuvladinoga tijela za klimatske promjene (IPCC). Za svaki smo rizik koncentracije napravili regionalni scenarij podizanja razine mora.

Ti se rezultati temelje na scenarijima izrađenima u sklopu projekta *Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Fast Track*, financiranog sredstvima njemačkoga Federalnog ministarstva obrazovanja i istraživanja, kako je objavljeno u Hinkel i dr. (2014.).



Ovi scenariji uzimaju u obzir širi raspon nesigurnosti topljenja leda od onoga u AR5, što je dovelo do malo viših razina mora u usporedbi s AR5. Ti scenariji bolje odgovaraju procjenama prilagodbe nego scenariji IPCC-a, jer prema IPCC-jevim procjenama postoji vjerojatnost od 0-33% da globalni srednji porast razine mora leži izvan raspona IPCC-a (Hinkel i dr. 2015.). AR5 procjenjuje da će globalna srednja razina mora rasti do 0,98 m u razdoblju 1986.–2005. do 2100. prema scenariju razmatranja najveće koncentracije stakleničkih plinova (RCP 8.5, grubo procijenjeno na rast od 4 do 5 stupnjeva na svjetskoj razini ako se uzima u obzir prolazna klimatska reakcija srednjega raspona; Church i dr. 2013.). Najveća procjena korištena u ovome izvješću za isti rizik koncentracije i isti vremenski period bila je 1,10 m (Tablica 3). Razmatrane su sljedeće četiri komponente utjecaja klime na razinu mora:

- Sterički doprinos projekcijama porasta razine mora od HadGEM2-ES (Collins i dr. 2008.) iz arhiva CMIP5.
- Doprinos ledenjaka i polarnih kapa rastu globalne razine mora od Marzeiona i dr. (2012.). Oni modeliraju masenu ravnotežu svih ledenjaka u prošlosti i budućnosti u Inventaru ledenjaka Randolph na temelju temperature zraka i anomalija kod padalina dobivenih od klimatskih modela CMIP5, uz promatrane klimatologije od New i dr. (2002.).

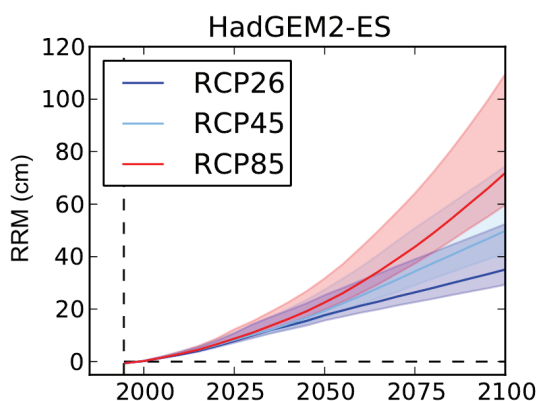
- Procjene porasta razine mora uzrokovane promjenama u masi grenlandske ledene kape (GrIS) i periferalnih ledenih kapa temelje se na procjenama površinskih masenih ravnoteža (SMB) od Fettweis i dr. (2012.), prošireno na više modela CMIP5 i povećane za $+20 \pm 20\%$ kako bi se razjasnio nedostatak dinamičkih procesa (vidi Hinkel i dr. 2014.).
- Projekcije razine mora na Antarktici su dobivene putem pet modela kontinentalnih ledenih pokrivača vođenih promjenom globalne srednje temperature od 19 sveobuhvatnih klimatskih modela. Kako bismo dobili distribuciju vjerojatnosti, kombiniraju se *switch-on* eksperimenti unutar projekta SeaRISE s teorijom linearne reakcije. Ovdje koristimo kvantile 5%, 50% i 95%, kako je objašnjeno u Levermann i dr. (2012.).

Napravili smo scenarij s niskom, srednjom i visokom razinom leda na kopnu izračunavajući tri komponente kopnenoga leda po percentilima (5., 50. i 95.) kako bismo dobili raspon „vrlo vjerojatnog“. Previsoka procjena ukupne nesigurnosti – u usporedbi s korištenjem srednjega korijena kvadrata – samo je marginalna jer većina nesigurnosti dolazi iz antarktičkoga ledenog pokrivača. Doprinosi promjeni srednje globalne razine mora s Grenlanda i antarktičkih ledenih pokrivača kombiniraju se s gravitacijsko-rotacijskim otiscima kako bismo dobili regionalne doprinose. Razmotrili smo uniformni gubitak mase u ledenim pokrovima s pomoću istoga modela kao i Bamber i Rive (2010.). Otisci također uključuju trenutačno lokalno podizanje tla u blizini ledenih pokrivača zbog elastične reakcije čvrste Zemlje na topljenje (ne smije se pomiješati s dugoročnim glacialnim izostatskim podešavanjima opisanima u nastavku), te se na taj način opisuje relativna promjena razine mora. Pretpostavlja se jedinstveni uzorak za planinske ledenjake i ledene kape. Tablica 3 pokazuje rezultate za četiri komponente, Slika 5 pokazuje scenarije globalnoga porasta srednje razine mora koji su ovdje korišteni.

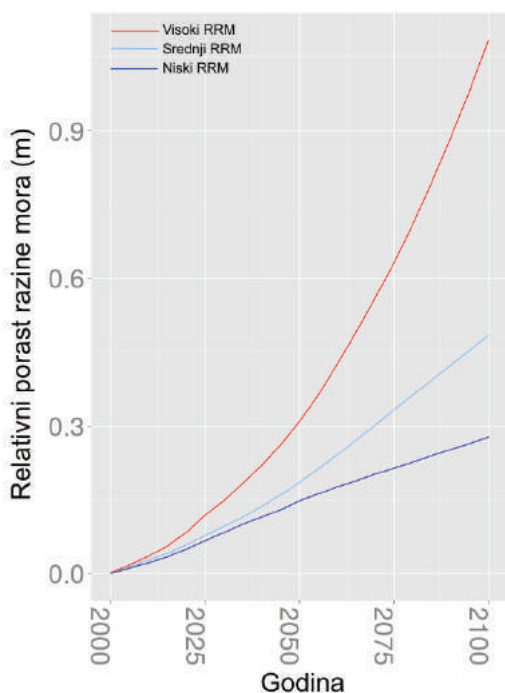
Tablica 3: Globalni srednji porast razine mora u 2100. u odnosu na razdoblje 1985.–2005. U zagradama su dane vrijednosti medijana, kao i kvantila od 5% i 95%

Scenarij	Model	Sterični	Kopneni led (cm)				Ukupno (cm)
			Ledenjaci	Antarktika	Grenland	Zbroj	
RCP26	HadGEM2-ES	14	14 (14,15)	7 (2,23)	0 (0,0)	21 (16,39)	35 (29,52)
RCP45	HadGEM2-ES	18	17 (16,19)	8 (2,29)	7 (5,8)	32 (23,56)	50 (41,75)
RCP85	HadGEM2-ES	29	22 (20,26)	10 (2,41)	12 (10,14)	44 (31,81)	72 (60,110)

U istraživanju na području hrvatske obale koristili smo se trima scenarijima podizanja razine mora: jedan scenarij niže razine (RCP 2.6 u kombinaciji s kvantilom 5% projekcija topljenja leda), u nastavku nazvan *niski RRM*, jedan srednji scenarij (RCP 4.5 kombiniran s medijanom), nazvan *srednji RRM*, i jedan scenarij gornje razine (RCP 8.5 kombiniran s kvantilom 95%), nazvan *visoki RRM*.



Slika 5: Rast globalne srednje razine mora prema korištenim scenarijima



Slika 6: Prosječan rast razine mora u Hrvatskoj prema trima scenarijima koji se koriste

Također smo objasnili lokalno vertikalno pomicanje tla zbog glacijalnoga izostatskog podešavanja (posljedica opterećenja ledenih pokrova tijekom posljednjega ledenog doba) prema Peltieru (2000.b). Prirodno taloženje (npr. zbog kompakcije sedimenta u deltama rijeka) i pojačano taloženje uzrokovano djelovanjem čovjeka (npr. zbog izvlačenja/ispumpavanja ili drenaže kopnene tekućine) ne razmatra se zbog velike prostorne varijabilnosti ovoga faktora te također nedostatka konzistentnih promatranja ili budućih scenarija. No, očekuje se da ti izostavljeni faktori imaju vrlo malen utjecaj na relativni porast razine mora u Hrvatskoj. Glacijalno izostatsko podešavanje utječe podizanjem kopna (time opada razina mora) stopom od 0,15 mm/godišnje (na sjeveru Hrvatske) do 0,12 mm/godišnje (na jugu). Tih 1,2–1,5 cm pada u razini mora tijekom 100 godina relativno je malen utjecaj na ukupan porast razine mora prikazan na Slici 6.

Tablica 4 posebno prikazuje vrijednosti porasta razine mora u 2050. i 2100.

Tablica 4: Porast razine mora u Hrvatskoj u 2050. i 2100. prema trima scenarijima porasta razine mora koji se koriste

Scenarij	Rast razine mora u Hrvatskoj, 2050.	Rast razine mora u Hrvatskoj, 2100.
Niski RRM	0,15 m	0,28 m
Srednji RRM	0,19 m	0,49 m
Visoki RRM	0,31 m	1,08 m

2.3 Ekstremne razine mora

Podatci o ekstremnim razinama mora za različita povratna razdoblja uključeni su u bazu podataka DIVA. Hrvatski hidrografski institut (HHI 2012.) pružio je dodatne podatke za Hrvatsku za specifične lokacije uzduž hrvatske obale. Ti su se podatci odnosili na sedam mareografskih postaja uzduž hrvatske obale te su korišteni za evaluaciju globalnih podataka DIVA-e. Razlike između dvije skupine podataka uglavnom se poklapaju, u rasponu od 0 do 8 cm, što je manje od razlika povezanih s metodološkim nesigurnostima u izračunima visine plime za različita povratna razdoblja (vidi Arns i dr. 2014.). Bez obzira na to, devijacije (do 20 cm) unutar raspona metodološke nesigurnosti prisutne su na specifičnim lokacijama

(npr. Split). U tim su slučajevima korištene globalne vrijednosti DIVA-e jer one uključuju konzistentne vrijednosti za cjelokupnu hrvatsku obalu. Interpolacija podataka s lokacija mareografa da bismo dobili vrijednost u prostoru (prostorna interpolacija) složen je proces (Eastoe i dr. 2013.) te bi zahtijevao posao koji bi bio izvan opsega naše analize.

Očekuje se da će podizanje razine mora rezultirati višim ekstremnim razinama mora, kako nema jasnih dokaza da će klimatske promjene dodatno mijenjati raspodjelu vode. Analiza globalnih skupina podataka mjerenja plime pokazuje povećanje ekstremnih razina visoke vode od 1970. diljem svijeta, ali također pokazuje da je srednja vrijednost porasta razine mora glavni faktor toga povećanja (Ménendez i Woodworth 2010.).

Tablica 5 pokazuje ekstremne razine mora korištene u procjeni izloženosti poplavama i rizika za Hrvatsku (prosječne vrijednosti u svim segmentima obalnoga pojasa). H1 je razina mora koja se u prosjeku prekorači jednom svake godine, a H100 je razina mora koja se u prosjeku prekorači jednom u 100 godina (prema tome vjerojatnost je 1% da će se prekoračiti u određenoj godini). Dok je u 2010. H1 iznosio oko 0,83 m, a H100 oko 1,14 m, te vrijednosti rastu s rastom razine mora. Primjerice, H100 će prema RCP 8.5 iznositi 2,20 m u 2100. godini.

Tablica 5: H1 i H100 u 2010., 2050. i 2100. prema različitim scenarijima rasta razine mora (SLR)

Scenarij	H1, 2010.	H1, 2050.	H1, 2100.	H100, 2010.	H100, 2050.	H100, 2100.
Niski RRM	0,83 m	0,95 m	1,08 m	1,14 m	1,26 m	1,39 m
Srednji RRM	0,84 m	0,99 m	1,29 m	1,14 m	1,30 m	1,60 m
Visoki RRM	0,84 m	1,12 m	1,89 m	1,15 m	1,43 m	2,20 m

2.4 Socioekonomski scenariji

Jedan od najvažnijih pokretača klimatske promjene na obali i utjecaja klimatske varijabilnosti je socioekonomski razvoj (SER). SER određuje koliko će imovine i ljudi biti locirano u obalnoj zoni, te tako biti pod utjecajem djelovanja obale. Budući SER ne može se predvidjeti, ali mora se istražiti kroz primjenu socioekonomskih scenarija.

Ovdje koristimo najmodernije socioekonomske scenarije u obliku pet scenarija temeljenih na broju stanovnika i rastu bruto domaćega proizvoda (BDP), koji se zasnivaju na zajedničkim socioekonomskim kretanjima – SSP-ima (SSP 1–5; Arnell i dr. 2011.; O'Neil i dr. 2011.). Svaki SSP-ov scenarij čini različite pretpostavke o budućem globalnom i nacionalnom razvoju. Vidi Tablicu 6 za globalni BDP i broj stanovnika u 2050. i 2100. te Sliku 7 za procjene nacionalnih razina za Hrvatsku.

Najveći BDP i najmanji broj stanovnika dobiveni su prema SSP1 (nazvan „Održivost“), koji odražava svijet koji napreduje prema održivosti sa smanjenim intenzitetom korištenja resursa i smanjenoj ovisnosti o fosilnim gorivima, te prema SSP5 (nazvan „Konvencionalni razvoj“), koji odražava svijet orijentiran prema pravednom brzom razvoju kojim dominiraju fosilna goriva. BDP je najniži, a broj stanovnika najveći prema SSP3 („Fragmentacija“), koji odražava svijet podijeljen na siromašne regije s malim intenzitetom resursa te umjereno zdrave regije izrazito ovisne o fosilnim gorivima. Prema SSP4 („Nejednakost“), koji prikazuje izrazito nejednako društvo kako unutar tako i među državama, BDP i broj stanovnika slijede sličan, ali manje ekstreman trend u usporedbi s SSP3. SSP2 („Srednji put“) odražava svijet sa srednjim pretpostavkama između ostalih četiriju scenarija.

Tablica 6: Globalni broj stanovnika i BDP-a u 2050. prema različitim SSP-ima

SSP	Stanovništvo [milijuni]		BDP [milijarda US\$/god]	
	2050.	2100.	2050.	2100.
SSP1	8.400	7.200	295.000	771.000
SSP2	9.300	9.800	260.000	685.000
SSP3	10.300	14.100	169.000	355.000
SSP4	9.400	11.800	242.000	462.000
SSP5	8.500	7.790	348.000	1.207.000

U ovoj smo se analizi usredotočili na SSP2, SSP3 i SSP5 jer ti scenariji u dovoljnoj mjeri pokrivaju cjelokupan raspon nesigurnosti. Odgovarajuće stope rasta primjenjuju se na podatke o izloženosti broja stanovnika i imovine. Ti scenariji pokrivaju sličan raspon kao i scenarij projekcija Državnoga zavoda za statistiku (Grizelj i Akrap, 2011.). SSP2 gotovo je identičan Scenariju 2 ovih nacionalnih brojki. Kako bismo bili dosljedni s prethodnim studijama i projekcijama hrvatske imovine od

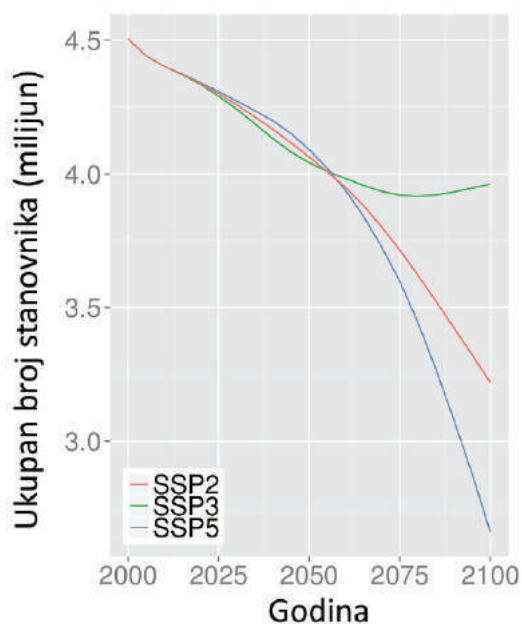
strane Pascual i Markandya (2015.), u ovome se izvješću držimo SSP-ovih scenarija. Broj stanovnika i BDP po glavi stanovnika za Hrvatsku prikazani su na Slici 7.

U slučaju Hrvatske imamo pad broja stanovnika u svim scenarijima. U SSP3 padajući trend prestaje oko 2070., a broj se stanovnika stabilizira na oko 4,0 milijuna ljudi. U drugim SSP-ovim scenarijima, broj stanovnika nastavlja padati tijekom stoljeća sve do ispod 3 milijuna u 2100. u scenariju SSP5. BDP po glavi stanovnika raste u svim scenarijima te doseže

između 48.490 US\$ i 106.670 US\$ u 2100. Tablica 7 daje pregled broja stanovnika i BDP-a po glavi stanovnika u 2050. i 2100. prema SSP-ovim scenarijima korištenima u ovoj studiji.

Tablica 7: Broj stanovnika u Hrvatskoj i BDP po glavi stanovnika u 2050. prema različitim SSP-ovim scenarijima

Scenarij	Stanovništvo [milijuni]		BDP per capita [US\$/god]	
	2050.	2100.	2050.	2100.
SSP2	4,06	3,22	31.320	58.380
SSP3	4,04	3,96	28.970	48.490
SSP5	4,09	2,66	37.980	106.670



Slika 7: Broj stanovnika i BDP po glavi stanovnika u Hrvatskoj prema trima SSP-ovim scenarijima

2.5 Procjena utjecaja erozije

Utjecaj podizanja razine mora u smislu povećane erozije pješčanih plaža procjenjuje se prema Hinkelu i dr. (2013.a) prema sljedećim vrijednostima:

- **Gubitak zemljišta:** godišnji gubitak zemljišta [km²/god],
- **Troškovi migracije:** godišnji troškovi prisilne migracije zbog gubitka zemljišta [milijun US\$/god],
- **Troškovi održavanja:** godišnji troškovi zamjene erodiranoga pijeska kroz prihranjivanje plaža ili obale [milijun US\$/god].

Do erozije plaže može doći u različitim vremenskim periodima (Stive i dr. 2002. i 2009.). Pojedinačne oluje općenito će dovesti do brze kratkoročne erozije, nakon čega će uslijediti brz kratkoročan prirast, a neto promjena često je zanemariva. Ako nedostatak sedimenata potraje, može doći do kronične dugoročne erozije. Ovaj se rad bavi takvim kroničnim dugoročnim erozijama zbog porasta razine mora. Erozijska se izračunava prema Hinkelu i dr. (2013.a). Ovim se pristupom prvo izračunavaju horizontalne stope povlačenja obale na temelju Bruunovog pravila (1962.), koje opisuje kako reagira profil ravnoteže na relativni rast razine mora u dvodimenzionalnome smislu. Uzima u obzir nagib u blizini obale te sastav materijala, te se može koristiti za izračunavanje ukupno izgubljenoga područja zbog izravne erozije.

Dobivene horizontalne stope povlačenja se zatim pretvaraju u gubitak volumena pijeska s pomoću duljine i aktivne visine profila plaže. Aktivna visina profila jest zona koja odgovara rastu razine mora, te je prema tome zbroj obalne elevacije iznad visoke plime (B), dubine dna ispod koje se morfologija

plaže uslijed djelovanja valova više ne mijenja (D) i plimnoga raspona (H). Pretpostavlja se da je obalna elevacija iznad visoke plime unutar 2 m u svim izračunima, prema tipičnoj vrijednosti. Dubina dna ispod koje se morfologija plaže ne mijenja procjenjuje se putem podataka o valnoj klimi. Isti profili plaža pokazuju empirijsku vezu između dubine dna ispod koje se morfologija plaže ne mijenja i valne klime (Hallermeier 1981.; Nicholls 1998.) te se taj koncept naširoko koristi u modelima promjene položaja obalne crte (npr. Ashton i dr. 2001.). Visina vala je uzeta iz LOICZ-ove obalne tipologije (Maxwell i Buddemeier 2002.) i koristi se kao indikator godišnjih ekstremnih visina valova. Prema Hallermeieru (1981.) dubina dna ispod koje se morfologija plaže više ne mijenja u prosjeku je dvostruko viša od ove visine. Podatci o rasponu plime također se uzimaju iz LOICZ-ove tipologije. Vidi također Hinkel i dr. (2013.a) i Vafeidis i dr. (2008.).

Procjenjuju se dva glavna socioekonomska utjecaja erozije: gubitak kopna i prisilna migracija ljudi koji žive na tim prostorima. Gubitak kopna odnosi se na gubitak životnoga prostora. Kako bi se procijenio taj gubitak, koristi se dominantna klasa uporabe zemljišta po segmentu preuzeta od IMAGE-ova modela (IMAGE Team 2002.). Općenito je to poljoprivredno zemljište, odnosno zemljište manje vrijednosti (npr. prirodna područja, šume, tundra). U tim slučajevima pretpostavlja se da ako zbog erozije dođe do gubitka vrijednijega zemljišta, kao što je građevinsko ili industrijsko, tada će se te aktivnosti preseliti negdje drugdje na štetu dominantnoga poljoprivrednog zemljišta niže vrijednosti. Broj ljudi koji će biti prisiljeni migrirati izračunava se kao rezultat erodiranoga kopnenog područja i prosječne gustoće naseljenosti po segmentu – tj. pretpostavljamo da će se stanovništvo jednoliko raširiti po području. Prema Tolu (1995.) emigracija se vrednuje kao triput vrijednost prihoda po glavi stanovnika.

Utjecaj se procjenjuje sa i bez prilagodbe u obliku prihranjivanja plaže i obale, tj. zamjene erodiranoga pijeska (Dean 2002.). Kod prihranjivanja plaža pijesak se postavlja izravno na međuplimnu plažu, dok se kod prihranjivanja obale pijesak postavlja ispod najniže razine plime, gdje će se materijal progresivno pomicati prema obali zbog djelovanja valova, prema sadašnjoj nizozemskoj praksi (van Koningsveld i dr.,

2008.). Prihranjivanje obale jeftinije je od prihranjivanja plaža, te je učinkovito u usporavanju erozije, ali manje je učinkovito u održavanju privlačnosti plaže za turizam jer prednosti suhe plaže nisu odmah vidljive. Na temelju podataka od Deltares-a pretpostavljamo da je jedinična cijena prihranjivanja plaže 6 US\$/m³, dok je cijena za prihranjivanje obale 3 US\$/m³.

Održavanje se vrši prema analizi troškova i koristi, uzimajući u obzir izbjegnute štete u smislu gubitka zemljišta, prisilne migracije i turizma. Budući da se pretpostavlja da su i troškovi i koristi linearne funkcije količine prihranjivanja, segmenti su ili potpuno zaštićeni (tako da nema štete) ili nisu uopće zaštićeni. Za područja obalnoga turizma prihranjivanje plaža omiljena je opcija prilagodbe. Primjenjuje se ako su dovoljne kombinirane koristi u smislu gubitka zemljišta, migracije i turizma. Ako se troškovi prihranjivanja plaže ne mogu opravdati njihovim koristima, tada se razmatra prihranjivanje obale kako bi se izbjegao gubitak zemljišta i prisilna migracija. Razina i prihodi od turizma izračunavaju se s pomoću Hamburškoga turističkog modela (HTM) (verzija 1), ekonometričkoga modela protoka internacionalnoga turizma na nacionalnoj razini (Hamilton i dr. 2005.a i 2005.b).

2.6 Procjena štete od poplave i utjecaja rasta razine mora

Potencijalna šteta od poplava na obali i utjecaji rasta razine mora procjenjuju se prema Hinkelu i dr. (2014.) u smislu sljedećih vrijednosti: sve su elevacije prikazane u odnosu na srednju razinu mora (SRM):

- **Područje ispod H100 (potencijalna poplavna nizina):** područje u km² ispod ekstremne razine mora povratnog perioda od 1 u 100 godina [km²].
- **Ljudi ispod H100:** broj stanovnika koji žive u području ispod ekstremne razine mora povratnog perioda od 1 u 100 godina.
- **Imovina ispod H100:** vrijednost imovine u milijardama US\$ na području ispod ekstremne razine mora povratnog perioda od 1 u 100 godina.
- **Ugroženo stanovništvo:** prosječan broj stanovnika pogođenih poplavom godišnje u događajima ekstremnih razina mora [stanovnici/god].

- **Troškovi poplave:** prosječna godišnja šteta uzrokovana obalnim poplavlivanjem [milijarda US\$/god].
- **Visina obrambenih struktura [m]:** visina obrambenih struktura u odnosu na SRM.
- **Troškovi prilagodbe:** godišnji troškovi održavanja i unapređenja obalne obrane [milijarda US\$/god].

Za svaki segment obalnoga pojasa kumulativna funkcija izloženosti stanovnika, koja daje broj stanovnika koji žive ispod određene elevacijske razine x , konstruira se dodavanjem DEM-a s podacima o broju stanovnika u prostoru te linearnim interpoliranjem po dijelovima između danih podataka. Razmatra se samo stanovništvo onih mrežnih ćelija koje su hidrološki povezane s obalom. Također, za svaki se segment dobiva kumulativna funkcija izloženosti imovine dodavanjem DEM-a s podacima o imovini na prostoru, što je dobiveno kroz projekt (vidi također 2.1.4 radi opisa tih podataka o izloženosti). Buduća se izloženost dobiva primjenom nacionalnoga broja stanovnika i stopa rasta BDP-a iz socioekonomskih scenarija.

Što se tiče stanovništva, radi se samo binarno razlikovanje poplavljenih i nepoplavljenih, što znači da je funkcija štete jednaka kumulativnoj funkciji izloženosti. Što se tiče imovine, šteta također ovisi o dubini do koje je imovina poplavljena. Prema Messneru (2007.) pretpostavljamo relativnu funkciju dubina – šteta (funkcija koja daje dio oštećene imovine za određenu dubinu poplave), odnosno u dubini poplave od 1 metra, poplava uništava 50% imovine. Funkcija ima padajuću tendenciju, što znači da svako jedinično povećanje dubine vode uzrokuje sve manje i manje štete. Odabir dubine od 1 metra dobra je indikativna vrijednost na temelju dostupnih informacija. Štete na imovini uzrokovane visinom poplave x izračunavaju se integracijom s elevacijskom razinom 0 do x do umnoška funkcije dubina – šteta primijenjene na dubinu vode ($x - y$) i derivata kumulativne funkcije izloženosti primijenjene na elevacijsku razinu y .

U slučaju da postoje obrambene strukture, pretpostavljamo da je šteta od poplave nula ako je visina poplave niža od visine obrambene strukture. Obrambene strukture se grade u skladu s ekono-

metrički dobivenom funkcijom potražnje za sigurnosti koja raste s prihodom po glavi stanovnika i gustoćom naseljenosti, što je preuzeto od Hinkela i dr. (2014.). Ta funkcija procjenjuje potražnju društava na obali za sigurnosti u smislu povratnoga perioda poplave od kojega se trebaju štiti. Povratni period poplava je obrnut vjerojatnosti da će ekstremna razina mora biti nadvišena u danj godini. Na primjer, povratni period od 1 u 100 godina se odnosi na visinu poplave za koju postoji vjerojatnost od 1% da će biti nadvišena u jednoj godini. Prema toj funkciji obrambene strukture se grade i nadograđuju za svaki segment obalnoga pojasa u svakome vremenskom koraku (5 god.). Prilagodljiv prag gustoće naseljenosti koristi se kod donošenja odluke o gradnji nasipa. Nasipi se ne grade u slučaju kad je gustoća naseljenosti ispod određenog praga. Za ovu studiju koristili smo pragove od 30, 100 i 200 stanovnika po km^2 (vidi sljedeće poglavlje). Treba naglasiti da se u modelu DIVA nasip gradi isključivo za cjelokupni segment. To znači da je određeni segment ili u potpunosti zaštićen nasipom ili nasipa uopće nema. Budući da su neki (manji) otoci modelirani samo kao jedan segment, kod njih se primjenjuju upravo ove dvije opcije: uopće ih ne zaštititi ili ih u potpunosti zaštititi nasipima, čak i u slučaju da otok ima samo jedno naselje. Kapitalni troškovi gradnje obrambenih struktura izračunavaju se na temelju dobivene visine strukture, duljine obalnoga segmenta i jedinične cijene strukture prema Hoozemansu i dr. (1993.), te se pretpostavlja da su konstantni tijekom vremena te linearni po visini nasipa. Prema Hansonu i dr. (2011.) također izračunavamo troškove održavanja obrambenih struktura koji iznose 1% godišnje od cijene izgradnje istih.

Naposljetku izračunavamo ugroženo stanovništvo i troškove poplave kao matematičko očekivanje funkcija stanovništva i štete na imovini, gdje se funkcija vjerojatnosti gustoće ekstremnih razina mora temelji na ekstremnim razinama mora danih za različite povratne periode u bazi podataka DINAS-COAST (Vafeidis 2005.). Buduće ekstremne razine dobivaju se na način da se jednako primjenjuje relativni rast razine mora na distribuciju. Prema tome pretpostavlja se da nema promjena u karakteristikama oluja. Vidi također Poglavlje 2.3.

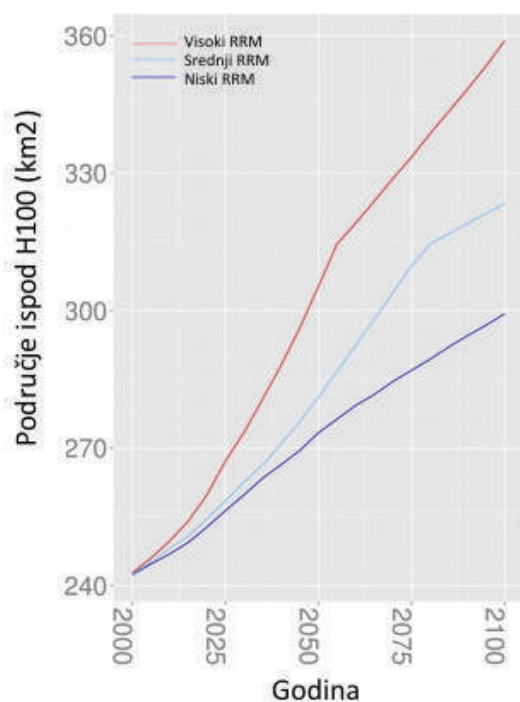
3 Rezultati

3.1 Poplavljanje

3.1.1 Trenutna i buduća izloženost

Ovo poglavlje iznosi rezultate u smislu trenutačne i buduće izloženosti obalnomu poplavljanju. Očekuje se da će se izloženost pojavama ekstremnih razina mora (npr. olujnih uspora) povećati u nadolazećim desetljećima zbog rastuće razine mora, koja podiže ekstremne razine mora, i zbog socioekonomskog razvoja. Slika 8 prikazuje utjecaj rasta razine mora u području s očekivanom poplavom 1 u 100 godina (područje ispod H100). Zbog duljine hrvatske obale čak i povećanje ekstremnih razina mora od samo nekoliko centimetara dovodi do povećanja poplavnoga područja površine nekoliko kvadratnih kilometara. Očekuje se da će područje ispod H100 rasti s današnjih 250 km² (2010.) na 310 km² u 2050. i 360 km² u 2100. prema RCP 8.5.

Obalno područje oko delte rijeke Neretve (administrativne jedinice Ploče, Opuzen i Slivno) je najveće potencijalno poplavno područje u Hrvatskoj. To područje ispod H100 danas obuhvaća oko 81 km², a prema scenariju velikoga rasta razine mora može narasti do 100 km² u 2050., te 106 km² u



Slika 8: Potencijalno poplavna područja ispod H100 u Hrvatskoj do 2100.

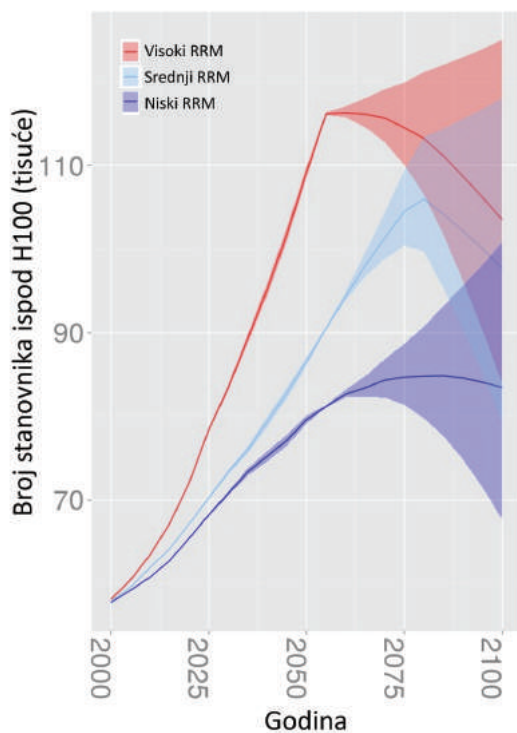
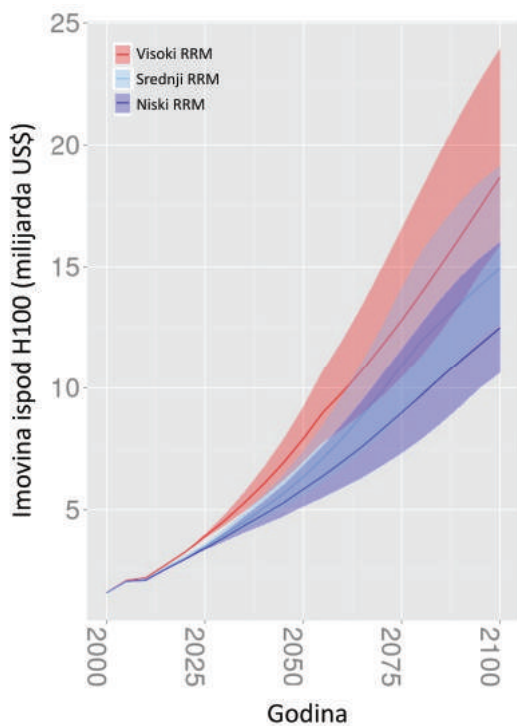
2100. Površina ovog poplavnog područja je gotovo oko osam puta veća od sljedećeg najvećeg - Zadra. Što se tiče izgrađenih područja unutar većih obalnih gradova¹, najveće potencijalno poplavno područje je u Puli, gdje može poplaviti i do 2,2 km² u poplavnome događaju 1 u 100 godina u 2050., u usporedbi s današnjih 2,0 km². Druga značajna potencijalna poplavna područja nalaze se u Zadru i Splitu, dok je u Rijeci samo manje područje (oko 0,3 km² ispod H100) potencijalno ugroženo.

Slika 9 prikazuje kako se izloženost imovine i stanovništva u Hrvatskoj mijenja prema trima scenarijima rasta razine mora i prema tri SSP-a. Dok je 2,3 milijarde US\$ vrijednosti imovine ispod visine područja s očekivanom poplavom 1 u 100 godina, u 2050. te vrijednosti variraju od 4,6 milijarde US\$ (*niski RRM*, SSP3) do 9,6 milijarde US\$ (*visoki RRM*, SSP5). U 2100. naše projekcije variraju u rasponu od 7,3 milijarde US\$ (*niski RRM*, SSP2) do 22,3 milijarde US\$ (*visoki RRM*, SSP5).

Područje Zadra ima najveću vrijednost imovine u poplavnoj dolini – oko 210 milijuna US\$. Ta vrijednost bi mogla rasti do 490–860 milijuna US\$ u 2050., te 1,0–2,2 milijardi US\$ u 2100 (Dodatak B, Tablica B2.1). Od ostalih potencijalno ugroženih područja, što se tiče vrijednosti imovine u poplavnoj dolini, valja spomenuti Šibenik te područje Kaštelanskog zaljeva (administrativne jedinice Split, Solin, Kaštela i Trogir). Što se tiče izgrađenih područja unutar većih obalnih gradova, Zadar ima najviše vrijedne imovine u poplavnoj dolini: 150 milijuna US\$ danas, i 310 do 690 milijuna u 2050. To je otprilike četiri puta više nego u Puli, te oko pet puta više od Splita i Rijeke (Dodatak B, Tablica B2.2). Za 2100. za grad Zadar predviđamo 510 milijuna US\$ do 1,6 milijardi US\$ imovine ispod H100 (Dodatak B, Tablica B2.4).

Izračunat je današnji broj stanovnika u potencijalno poplavnoj dolini na 66.000. U 2050. predviđamo 82.000 (*niski RRM*, SSP3) do 114.000 (*visoki RRM*, SSP5) stanovništva ispod H100, a u 2100. predviđa se da će 70.000 do 129.000 ljudi živjeti ispod H100.

¹ Obuhvat izgrađenih područja unutar gradova procijenjen je temeljem promatranja satelitskih snimaka.



Slika 9: Imovina (gore) i broj stanovnika (dolje) ispod H100 u Hrvatskoj do 2100. Zasjenjena područja pokazuju nesigurnost zbog socioekonomskih scenarija, a linije pokazuju rezultate prema SSP2.

Područje Kaštelanskog zaljeva ima najveći broj ljudi koji živi u poplavnoj dolini (područje ispod H100). Taj broj bi mogao porasti s današnjih 10.600 na 14.000–19.600 u 2050. te 12.000–21.300 u 2100. Što se tiče izgrađenih područja unutar većih obalnih gradova, Split ima najveći broj stanovnika ispod H100, 3.500 stanovnika danas, 4.600 (*niski RRM*,

SSP2) – 6.500 (*visoki RRM*, SSP5) u 2050., te 4.000 (*niski RRM*, SSP5) – 7.200 (*visoki RRM*, SSP3) u 2100. Rijeka je otprilike na istoj razini.

Treba naglasiti da većina nesigurnosti o izloženosti stanovništva proizlazi iz SSP-ova. Prema sva tri scenarija rasta razine mora, stanovnici ispod H100 bi u 2100. mogli biti manje-više jednako izloženi, ovisno o projekcijama broja stanovnika prema SSP-ovim scenarijima. To ne vrijedi za imovinu, gdje prema svakom pojedinom scenariju rasta razine mora i svakom SSP-u, imovina ispod H100 u 2100. je puno više izložena (najmanje triput) od današnje. Dalje treba naglasiti da područja s najvećom izloženošću stanovništva nisu i ona s najvećom izloženošću imovine. Gradovi kao što su Split i Rijeka imaju visoku izloženost stanovništva, ali nisku izloženost imovine. S druge strane, imamo općine kao što su Vodice i Novalja koje imaju puno turističke infrastrukture, ali nemaju puno stalnoga stanovništva.

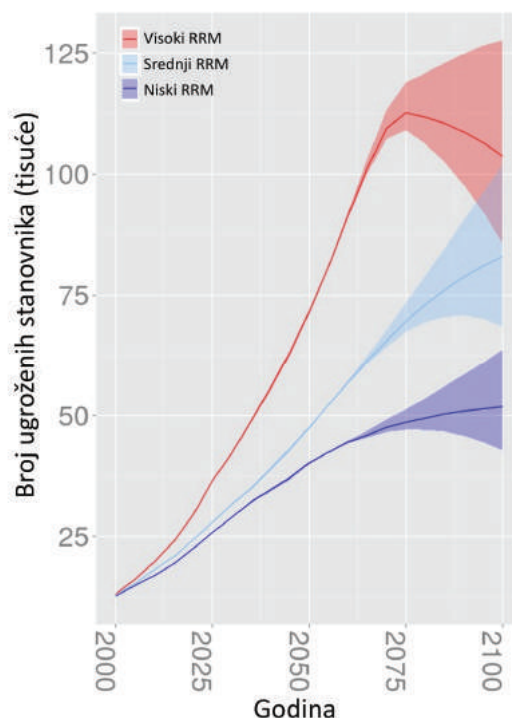
3.1.2 Sadašnji i budući rizici po ljude i imovinu

Ovo poglavlje predstavlja rizike od današnjih obalnih poplava u smislu očekivanoga broja ljudi pogođenih poplavom godišnje te očekivane godišnje štete na imovini (zgrade, infrastruktura itd.), kao i kako će se taj rizik povećavati zbog podizanja razine mora i socioekonomskoga razvoja. Važno je napomenuti da je rizik statistička mjera koja kombinira podatke o izloženosti kako su predstavljani u prethodnome poglavlju s podacima o hazardima (ovdje morske poplave) i ranjivosti kako je prethodno opisano. Mjere rizika ne bi trebalo miješati sa stvarnim štetama od poplava. Stvarne štete i mjere rizika mogu se usporediti samo u duljem vremenskom razdoblju. Svi dolje navedeni rezultati pretpostavljaju da nema zaštitnih mjera niti da će se one izgraditi u budućnosti.

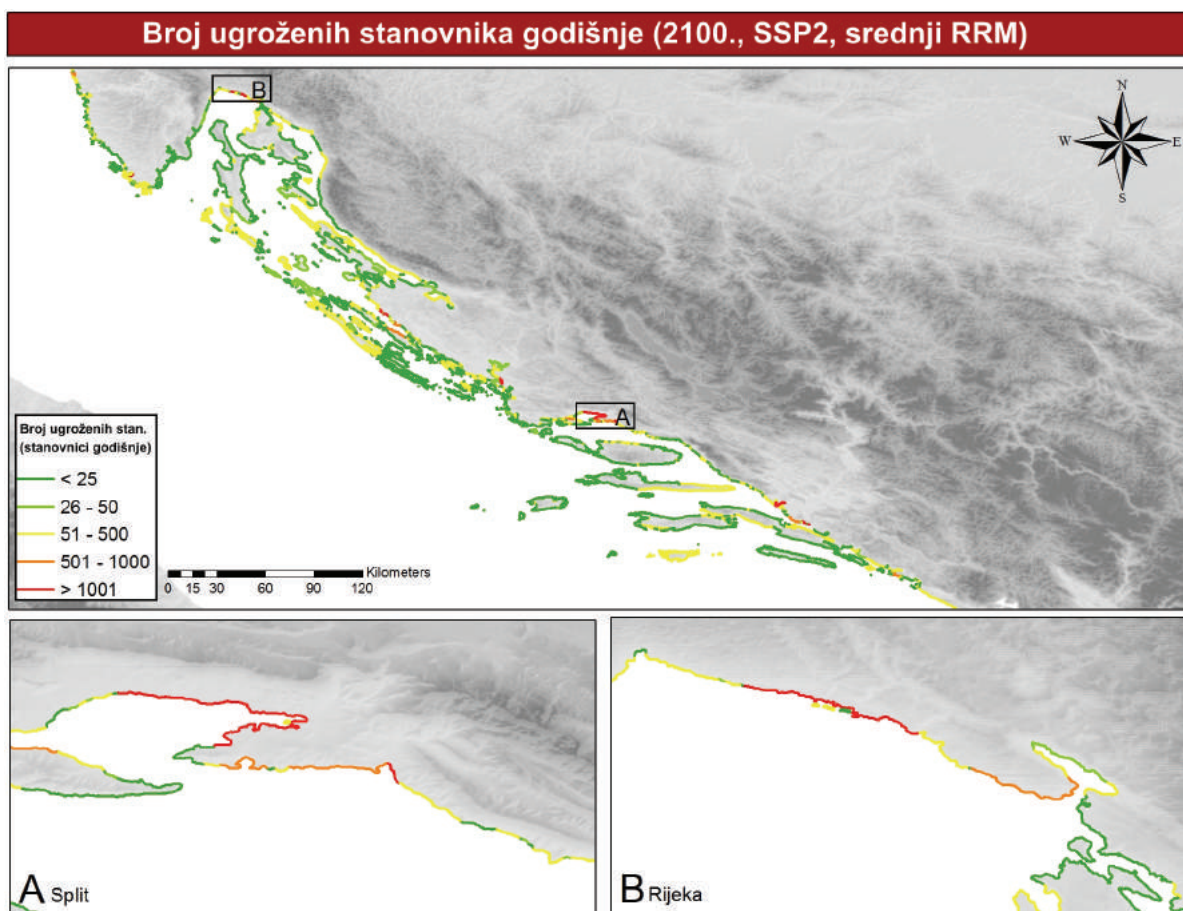
Slika 10 prikazuje prosječan broj ljudi pogođenih poplavom godišnje prema različitim scenarijima. Dok se danas očekuje da će oko 17.000 ljudi biti pogođeno poplavom, a taj broj može narasti i do 40.000 (*niski RRM*), 48.000 (*srednji RRM*) ili 72.000 (*visoki RRM*) u 2050. Treba napomenuti da do 2050. broj ljudi pogođenih poplavom ovisi gotovo isključivo o rastu razine mora, a ne o scenariju broja stanov-

nika jer se scenariji broja stanovnika ne razlikuju značajno jedan od drugoga do 2050. Godine 2100., prema scenariju niskoga RRM-a, očekuje se da će 43.000–64.000 stanovnika biti ugroženo od poplava godišnje, prema scenariju srednjega RRM-a, očekuje se da će 69.000–85.000 stanovnika biti ugroženo od poplava godišnje, dok se prema scenariju visokoga rasta razine mora očekuje 102.000–128.000 stanovnika ugroženih od poplava godišnje. Godišnji broj ugroženih stanovnika u 2100. prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a prikazan je na Slici 11.

Gledajući rezultate na lokalnoj razini, područje Kaštelanskog zaljeva ima najveći broj stanovnika ugroženih od poplava godišnje (oko 2.900 danas). Očekuje se da će ovaj broj rasti do 12.400 u 2050., te 21.100 u 2100., prema scenariju visokog RRM-a.



Slika 10: Prosječan broj stanovnika pogođenih poplavom godišnje prema različitim scenarijima rasta razine mora i populacije. Zasjenjena područja pokazuju nesigurnost zbog socioekonomskih scenarija, a linije pokazuju rezultate prema SSP2.



Slika 11: Godišnji broj ugroženih stanovnika u 2100. prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a

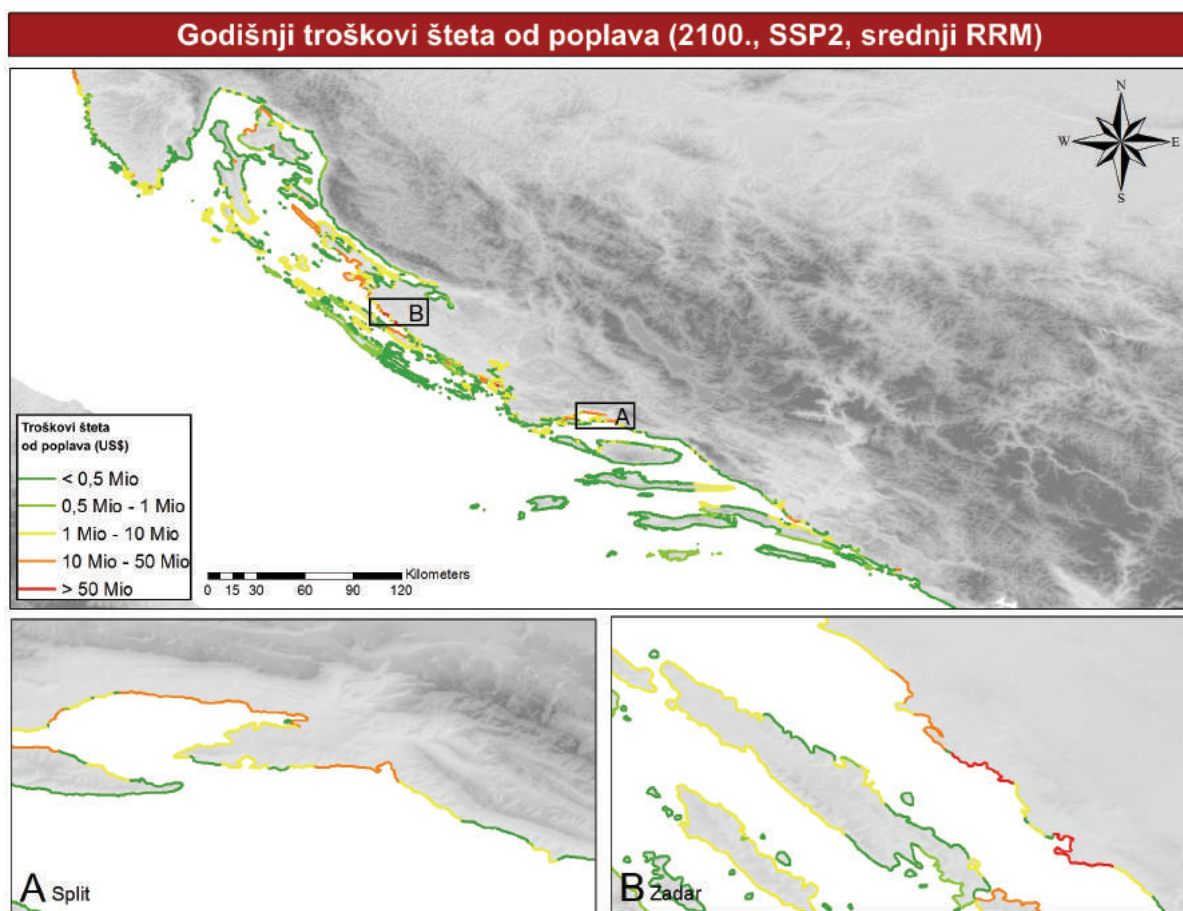
Što se tiče izgrađenih područja unutar većih obalnih gradova (Dodatak B, Tablice B3.2 i B3.4), Split i Rijeka imaju najveći broj ugroženih stanovnika, a Zadar i Pula ih slijede.

Slike 12 i 13 prikazuju očekivane godišnje troškove morskih poplava za čitavu Hrvatsku. U 2010. očekivani godišnji troškovi zbog poplave bili su 40 milijuna US\$. Prema scenariju visokoga rasta razine mora, godišnje štete od morskih poplava rastu od 670 milijuna US\$ do 880 milijuna US\$ u 2050., a u 2100., predviđamo 5,9 milijardi US\$ do 8,9 milijardi US\$ prosječnih godišnjih šteta od morskih poplava. Prema scenariju niskoga rasta razine mora, očekivane štete puno su manje, u rasponu od 240 milijuna US\$ do 320 milijuna US\$ u 2050., te od 0,9 milijardi US\$ do 1,4 milijardi US\$ u 2100.

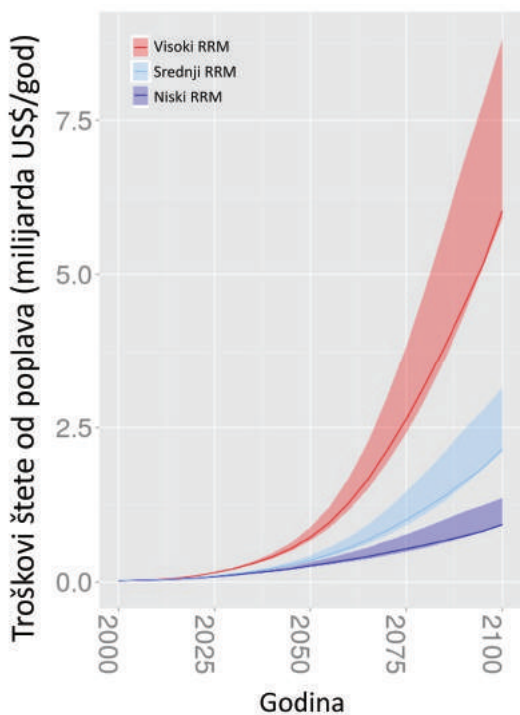
Na lokalnoj razini, Zadar, Šibenik i Kaštelanski zaljev podnose najveće štete od morskih poplava (Dodatak B, Tablice B4.1 i B4.3). Za područje Zadra se očekuju troškovi od morskih poplava od 3,6 milijuna US\$ u 2010., što raste do raspona od 23 milijuna US\$ do 31 milijun US\$ prema scenariju

niskog RRM-a, te od 63 milijuna US\$ do 83 milijuna US\$ prema scenariju visokog RRM-a u 2050. Do kraja stoljeća za područje Zadra se očekuju troškovi od morskih poplava od 86 milijuna US\$ do 130 milijuna US\$ za scenarij niskoga RRM-a te od 540 milijuna US\$ do 820 milijuna US\$ u scenariju visokoga RRM-a. Šibenik slijedi odmah iza Zadra, s očekivanim troškovima morskih poplava od oko 90% onih zadarskih (vidi Dodatak B, Tablice B4.1 i B4.3).

Na razini izgrađenih područja unutar većih obalnih gradova, Zadar je najugroženiji. Dok današnje prosječne štete od morskih poplava iznose 2,6 milijuna US\$, u 2050. očekuje se iznos štete od 17 milijuna US\$ do 62 milijuna US\$. U 2100. predviđeni raspon troškova od morskih poplava u Zadru je 64 milijuna US\$ do 630 milijuna US\$, ovisno o scenariju rasta razine mora i SSP-a. Pula, Split i Rijeka puno su manje ugrožene te trpe štete koje su pet do šest puta manje od onih u Zadru (vidi Tablicu B4.2 i B4.4).



Slika 12: Očekivani godišnji troškovi šteta od poplava u 2100. prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a



Slika 13: Očekivani troškovi od morskih poplava u Hrvatskoj prema različitim scenarijima rasta razine mora do 2100. Zasjenjena područja pokazuju nesigurnost zbog socioekonomskih scenarija, a linije pokazuju rezultate prema SSP2.

3.1.3 Rizik za mjesta svjetske baštine

Koristeći se UNESCO-ovim popisom Mjesta svjetske baštine (<http://whc.unesco.org/en/list/>), identificirali smo šest obalnih mjesta koja su smještena u hrvatskoj niskoj obalnoj zoni (eng. kratica LECZ) - vidi McGranahan i dr. 2007.. To se temeljilo na vizualnim korekcijama koordinata zemljopisne širine/dužine prijavljenima na UNESCO-ovoj stranici, s pomoću usluge *Google Earth*. Mjesto je karakterizirano kao izloženo kada je smješteno (čak i djelomično) ispod 10 m elevacije. Podatci o odabranim mjestima prikazani su u Tablici 8.



Prema sadašnjim uvjetima i katedrala sv. Jakova u Šibeniku i biskupski kompleks Eufrazijeve bazilike u Poreču smješteni su ispod razine stogodišnje plime, te su prema tome u riziku od sadašnje klimatske varijabilnosti. Biskupski kompleks Eufrazijeve bazilike u Poreču, smješten izravno na obali na „nultoj“ nadmorskoj visini, posebno je ranjiv na rast razine mora (Slika 14; Tablica 8). Iako se na prvu ne čini da su ostala mjesta pod izravnim rizikom od poplave u današnje vrijeme ili u bliskoj budućnosti, podatci o elevaciji po kotama s Hrvatske osnovne karte (<http://geoportal.dgu.hr>) svrstavaju još neke lokalitete UNESCO-a u zone ranjive od poplava. Prvenstveno se tu misli na Starogradsko polje, povijesnu jezgru grada Trogira, te Dioklecijanovu palaču u Splitu. Treba naglasiti i da se dio kompleksa Dioklecijanove palače, točnije njeni podrumi, i danas nalazi ispod razine mora. Nadalje, pet od šest mjesta su i prema podatcima digitalnog modela SRTM u opasnosti od obalnoga poplavlivanja prema kraju stoljeća u skladu sa scenarijem RRM-a, kada se razina poplave 1 u 100 godina procjenjuje na 2,2 m (vidi Tablicu 8). To se mora provjeriti daljnjim i detaljnijim analizama, koje će razmotriti nesigurnosti u elevacijama, kao i lokalne hidro i geomorfološke karakteristike, te karakteristike plime.

Tablica 8: Podatci o izloženim hrvatskim mjestima svjetske baštine

Lokacija	Općina	Najniža pronađena SRTM elevacija [m]	Najniža kota lokaliteta prikazana na Hrvatskoj osnovnoj karti (geoportal.dgu.hr)
Stari grad Dubrovnik	Dubrovnik	8	2.6 (porat u starom gradu)
Starogradsko polje	Stari Grad	2	0.5 (riva u Starom Gradu)
Povijesni kompleks Split s Dioklecijanovom palačom	Split	2	1.7 (riva ispred palače)
Povijesna jezgra Trogir	Trogir	2	0.9 (sjeverna riva povijesne jezgre)
Katedrala sv. Jakova u Šibeniku	Šibenik	1	6.5 (trg na kojem se nalazi katedrala)
Biskupski kompleks Eufrazijeve bazilike Poreč	Poreč – Parenzo	0	1.6



Slika 14: Biskupski kompleks Eufrazijeve bazilike u Poreču smješten na razini mora

3.1.4 Troškovi prilagodbe

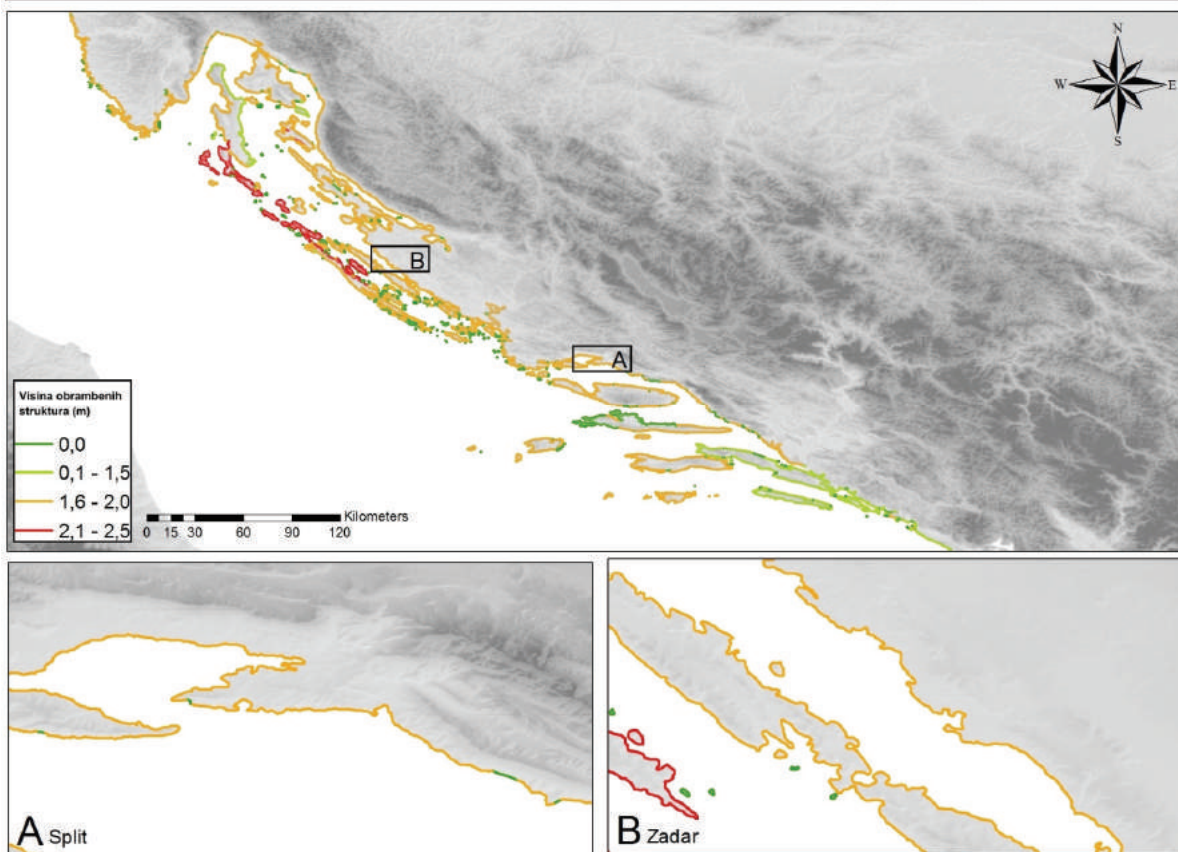
Svi utjecaji navedeni u Poglavlju 3.1 i 3.2 procjenjuju se pod pretpostavkom da nema primijenjenih mjera prilagodbe. U ovome ulomku procjenjujemo potencijale i troškove smanjenja šteta od obalne poplave te utjecaj kroz gradnju obrambenih struktura. Općenito, dostupan je širok raspon mjera prilagodbe, uključujući:

- (i) zaštitu od poplave gradnjom obrambenih struktura ili obnavljanjem obalnih ekosustava,
- (ii) mjere za održanje i zaštitu lokacije, kao što su kuće otporne na poplavu i ključne infrastrukture, te
- (iii) povlačenje s obale (Klein i dr. 2001.; Wong i dr. 2014.).

Ova se analiza usredotočuje na obrambene strukture jer je to najčešća i dobro poznata tehnologija primijenjena u izrazito korištenim obalnim zonama. No, razmatrajući obrambene strukture, ne želimo sugerirati da je to jedina mjera koja se može primijeniti. Koju će dugoročnu strategiju poduzeti Hrvatska protiv rasta razine mora, odluka je to koju moraju donijeti svi uključeni dionici. Procjena troškova napravljena ovdje može pomoći u tome procesu.

U našoj analizi razlikujemo zaštitne mjere protiv sadašnje klimatske varijabilnosti i budućih klimatskih promjena. U našem slučaju prilagodba sadašnjoj klimatskoj varijabilnosti znači gradnju obrambenih struktura za zaštitu od sadašnjega ekstremnog režima razine mora. Prema tome mi procjenjujemo dizajniranu visinu obrambene strukture kroz ekonometričnu funkciju potražnje za sigurnošću, koja obuhvaća povećanje u gustoći naseljenosti i BDP, te je preuzeta od Hinkela i dr. (2014.), kako je i ranije objašnjeno. Udio hrvatske obale kojeg bi trebalo zaštititi ovisi o pragu gustoće naseljenosti iznad kojeg bi trebalo uzeti u obzir gradnju nasipa. Visina obrambenih struktura u 2100. Prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a prikazana je na Slici 15.

Visina obrambenih struktura (2100., SSP2, srednji RRM)



Slika 15: Visina obrambenih struktura u 2100. prema SSP2 i scenariju srednjega RRM-a

Odluka o zaštiti segmenata gustoće stanovništva iznad 30 stanovnika po km^2 bi rezultirala zaštitom 83,7% obale (4.870 km). Za segmente gustoće naseljenosti veće od 100 stanovnika po km^2 to bi značilo zaštitu 67,5% obale (4.930 km) dok bi za segmente s preko 200 stanovnika po km^2 udio zaštićene obale iznosio 49,6% (2.890 km). Prosječna visina nasipa bila bi oko 12 m. Gušće naseljena područja bila bi zaštićena višim obrambenim strukturama. Nasipi se ne bi gradili u obalnim segmentima manje gustoće naseljenosti od navedenih.

Tablica 9 rezimira inicijalne i godišnje troškove gradnje nasipa za današnju situaciju kao i projekcije do 2100. Treba naglasiti da je ovdje jedino gradnja obrambenih struktura uzeta u obzir kao mogućnost prilagodbe, dok u stvarnosti postoji mnogo više mogućnosti koje uključuju i opciju "povlačenja". Jedna od takvih mogućnosti je i "setback" zona tj. pojas uz more u kojem gradnja nije dozvoljena, odnosno, u kojem je gradnja ograničena.

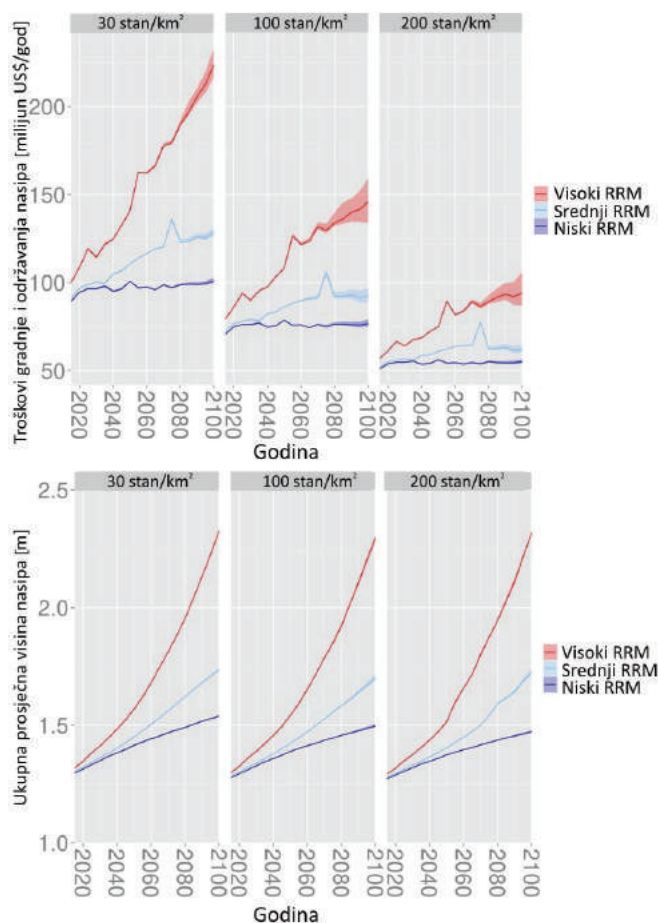
Tablica 9: Troškovi izgradnje i održavanja obrambenih struktura

	Troškovi izgradnje [milijun US\$]	Troškovi održavanja [milijun US\$]	Ukupno [milijun US\$]	Izbjegnute godišnje štete od poplave [milijun US\$]
Početni troškovi	6.500–11.200	65–112	6.565–11.312	N/
Godišnji troškovi, 2100.	5 – 108	48 – 125	53 – 233	190 – 5.200

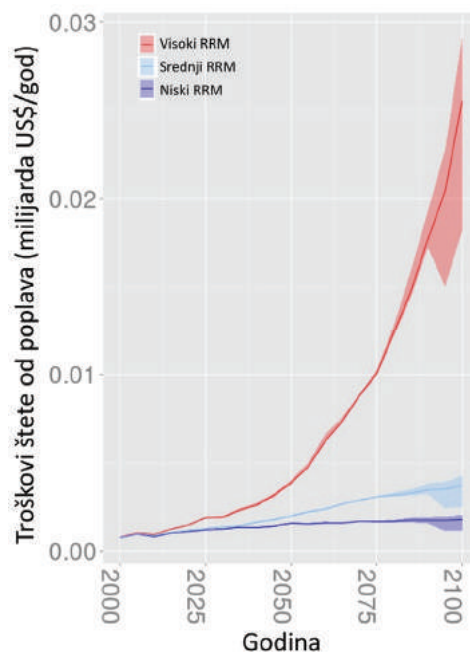
Današnji inicijalni troškovi gradnje nasipa, koji imaju prosječnu dizajniranu razinu prilagođenu povratnom periodu između 960 i 1.120 godina, su između 6,5 (prag od 200 st./ km^2) i 11,2 milijardi US\$ (prag od 30 st./ km^2). Ovi troškovi čine ono što se u literaturi naziva adaptacijski deficit. Obično se ti troškovi raspodjeljuju na određeni vremenski period. Pretpostavimo li planiranje i provedbu obalne obrane za razdoblje od 50 godina (Nicholls i dr. 2010.a), to bi značilo 140 milijuna US\$ godišnje koje bi trebalo potrošiti tijekom 50 godina.

Očigledno, što je manje obale zaštićeno nasipima, manji su troškovi njezine zaštite. Ipak, prosječna visina nasipa, kao i dizajnirana razina, ostaju u istom redu veličine kod sva tri praga gustoće naseljenosti. Prilagođavanje budućim klimatskim promjenama znači poboljšanje postojećih i gradnju novih obrambenih struktura kako bi se pokrio sve veći rizik. Dodatni troškovi konstrukcije i održavanja prikazani su na Slici 16. Iako su ti troškovi prilagodbe pozamašni, cjelokupna je prilagodba ekonomična budući da značajno smanjuje negativne utjecaje (Slika 17, Tablica 9).

Lokalno nalazimo najviše obrambene strukture na nekim vanjskim otocima na sjeverozapadu. To je uglavnom zato jer je tu visoka plima viša nego u drugim područjima. Možemo te otoke gledati kao vrstu prirodne zaštite koja podnosi visoke plime, ali štiti kopnena područja.



Slika 16: Godišnji troškovi gradnje i održavanja nasipa (gore) i ukupna prosječna visina nasipa (dolje) po različitim pragovima gustoće naseljenosti, scenarijima rasta razine mora i socioekonomskim scenarijima (prikazani kao zasjenjeni raspon nesigurnosti)



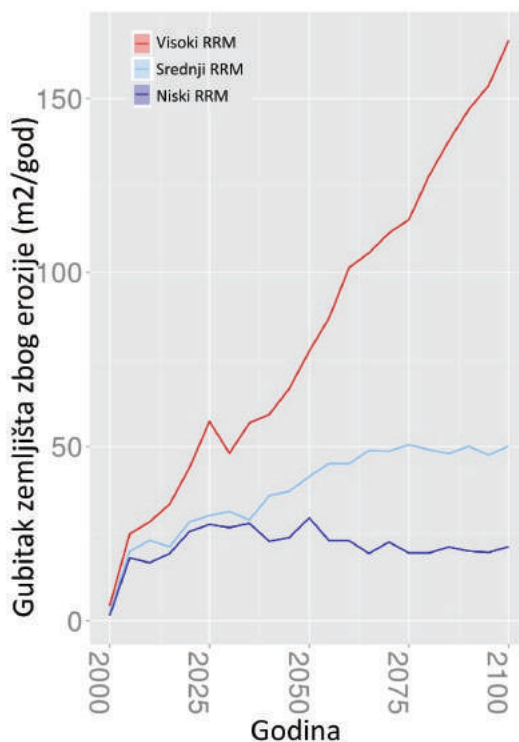
Slika 17: Očekivani godišnji troškovi obalne poplave s adaptacijom

3.2 Erozijska

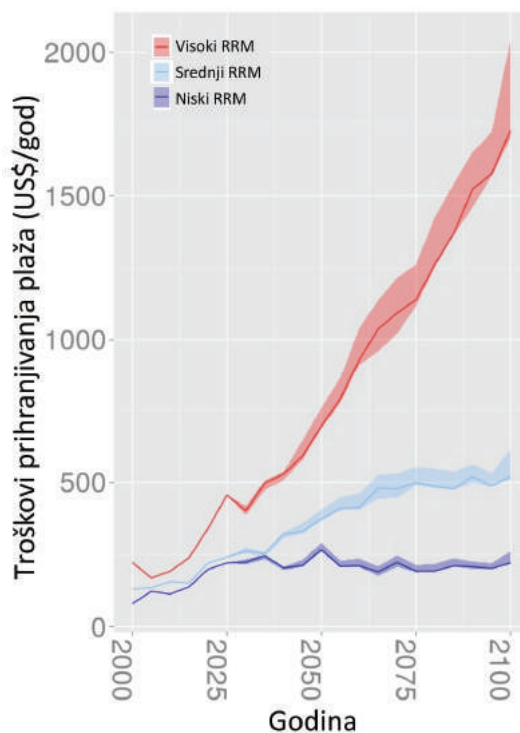
3.2.1 Utjecaji

Samo se mali dio hrvatske obale sastoji od erozivnih plaža. U našoj smo klasifikaciji identificirali 189 segmenata koji sadrže dio erozivnih plaža, a ukupna duljina erozivnih plaža u Hrvatskoj iznosi 80,9 km. Očekivani godišnji gubitak zemljišta zbog rasta razine mora prikazan je na Slici 18. Bez prilagodbe gubitak zemljišta neovisan je o socioekonomskome scenariju te samo rast razine mora određuje izgubljeno područje. Prema scenariju visokoga rasta razine mora i bez prilagodbe, predviđa se da će rast razine mora uzrokovati eroziju 8.600 m² zemljišta od 2010. do 2100. Prema scenariju srednjega rasta razine mora izgubit će se 3.800 m² zemljišta, a prema scenariju niskoga rasta razine mora gubi se 2.100 m² zemljišta od 2010. do 2100.

Općine koje su najugroženije erozijom su Nin (780 m² izgubljenoga zemljišta od 2010. do 2100.), Dugi Rat (510 m² izgubljenoga zemljišta od 2010. do 2100.), Privlaka (410 m² izgubljenoga zemljišta od 2010. do 2100) i Pag (410 m² izgubljenoga zemljišta od 2010. do 2100.). Prihranjivanje plaža prema pristupu troškova i koristi, opisano u Poglavlju 2.4, zahtijevat će do 700 m³ pijeska godišnje u 2100. godini, što će godišnje iznositi 2.000 US\$ (Slika 19). Prema tome, prihranjivanje nije skupo, osobito ako se uspoređuje s tim koliko pješčane plaže pridonose turizmu.



Slika 18: Godišnji gubitak zemljišta zbog erozije do 2100. godine u Hrvatskoj prema trima različitim scenarijima rasta razine mora



Slika 19: Godišnji troškovi prihranjivanja plaža u Hrvatskoj prema trima scenarijima rasta razine mora do 2100.

4 Zaključci

Ovo izvješće predstavilo je procjenu utjecaja rasta razine mora u obalnim regijama Republike Hrvatske korištenjem pojednostavljene verzije okvira DIVA, integralnoga modela obalnih sustava. Procjena se temeljila na potpuno reprezentativnom uzorku socioekonomskih nesigurnosti i nesigurnosti rasta razine mora, koristeći se trima scenarijima rasta razine mora (s rastom razine mora u 21. stoljeću od 0,28 m, 0,49 m i 1,08 m) i trima scenarijima socioekonomskoga razvoja temeljena na zajedničkim socioekonomskim kretanjima (SSP). Procjena je razmatrala utjecaj rasta razine mora od pojačanih obalnih poplava i obalnih erozija. Utjecaji su procijenjeni bez prilagodbe i s prilagodbama u obliku poboljšanja obrambenih struktura protiv poplavlivanja te prihranjivanja plaža i obale za zaštitu od erozije.

Analiza pokazuje da će utjecaj rasta razine mora biti značajan u 21. stoljeću u Hrvatskoj ako se ne poduzmu mjere prilagodbe. Obalno poplavlivanje zbog trenutačne klimatske varijabilnosti već postaje goruće pitanje u Hrvatskoj. Trenutno je 270 km² hrvatske obalne zone izloženo ekstremnim razinama mora s predviđenom učestalosti 1 u 100 godina. Rast razine mora u 21. stoljeću povećao bi to područje na 320–360 km². Ako se ne poduzmu mjere prilagodbe, rast razine mora i socioekonomski razvoj znatno će povećati rizik od poplavlivanja tijekom 21. stoljeća. Očekivani broj stanovnika ugroženih od poplave godišnje bi narastao sa 17.000 u 2010. godini na 43.000–128.000 u 2100., a očekivane godišnje štete sa 40 milijuna US\$ u 2010., do 0,9 do 8,9 milijardi godišnje u 2100., uglavnom koncentrirano u područjima Zadra i Šibenika.

Analiza također pokazuje da se utjecaji mogu znatno smanjiti kada se primjenjuju odgovarajuće mjere prilagodbe. Ovdje smo procijenili prilagodbu obrambenim strukturama kao moguću i široko primjenjivanu strategiju. Ta bi strategija znatno smanjila utjecaj rasta razine mora. Strategija procijenjena ovdje zahtijevala bi prethodnu investiciju od 11,2 milijardi US\$ u 2010. kako bi se sagradile početne obrambene strukture za oko 84% hrvatske

obale (ako uzmemo u obzir segmente s gustoćom naseljenosti većom od 30 st./km²) te naknadne godišnje investicije i troškove održavanja koji bi rasli od oko 110 milijuna US\$ godišnje u 2010. do 100–230 milijuna US\$ na kraju stoljeća. Iako su ti troškovi veliki, još uvijek su značajno manji od izbjegnutih troškova štete, što znači da je ova strategija izrazito ekonomična.

Treba naglasiti da je ovih 84% obale uzeto u obzir da bude zaštićeno po pretpostavci da se štite cjelokupni obalni segmenti kojima gustoća stanovništva prelazi 30 st./km². Ako uzmemo u obzir samo obalna područja koja su izgrađena ili planirana za izgradnju (za stanovanje ili turizam) prema današnjim prostornim planovima, ista pokrivaju oko 20%² hrvatske obale.

Važno je naglasiti da stvarna duljina zaštićene obale vjerojatno leži između te dvije vrijednosti. Točna duljina će ovisiti o geografskim obilježjima (npr. elevacija, morfologija, karakteristike poplavne nizine), kao i o prioritetima i odlukama upravljanja.

Treba naglasiti i da područja ranjiva od rasta razine mora koja su prepoznata u ovoj studiji odgovaraju područjima prepoznatima u nekim prethodnim studijama (recimo Barić i dr. 2008.). Barić i dr. spominju ugrožena područja kao Neretvanska aluvijalna ravnina, Nin, Zadar, Split i ostala koja su prepoznata kao ranjiva ujedno i u ovoj studiji.

U usporedbi s utjecajem rasta razine mora na obalno poplavlivanje, obalna erozija manji je problem za Hrvatsku. Prema scenariju visokoga rasta razine mora i bez prilagodbe, očekuje se da će rast razine mora uzrokovati eroziju do 8.600 m² zemljišta od 2010. do 2100. Prilagodba prihranjivanjem plaža iznosila bi do 2.000 US\$ godišnje. Održavanje plaža za turizam je prema tome relativno jeftino.

Budući rad usredotočuje se na najranjivija područja kao što su Zadar i Šibenik, te na procjenjivanje specifične mogućnosti prilagodbe za te regije. Takav

² Temeljeno na izračunima od Baučić, M. i Berleghi, G. kao doprinos izradi Strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem.

analitički rad trebao bi biti popraćen istraživanjem toga kako se lokalne zajednice mogu angažirati u regionalnim rješenjima, uključujući i širok raspon mogućnosti i strategija prilagodbe. Naposljetku, prilagodba obale treba uzeti u obzir šire ciljeve upravljanja obalom i razvoja obale, kao i interese i konflikte između različitih sudionika. Primjerice, zaštita s pomoću obrambenih struktura neće biti atraktivna turističkome sektoru.

Rezultati ove studije ukazuju na važnost ograničavanja daljnje urbanizacije duž obalne linije. Kada je

ekonomičnost mjera zaštite obale uzeta u obzir na nivou obalnih segmenata, jasno je da su ove mjere ekonomične za veća urbana područja s visokom gustoćom stanovništva i imovine. Ipak, ovakve mjere će teško biti ekonomične za cjelokupan duž-obalni razvoj. Takav razvoj je teško prilagodljiv rastućim razinama mora, te bi stoga trebao biti ograničen.

5 Literatura

- Arnell, N.W., van Vuuren, D.P. and Isaac, M. 2011. The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources. *Global Environmental Change* 21, 592-603.
- Arns, A.; Wahl, T.; Jensen, J. 2014. A consistent return level assessment considering present day and future mean sea level conditions, *Die Küste*, u recenziji.
- Ashton, A. D.; Murray, A. B.; Arnault, O. 2001. Formation of coastline features by large-scale instabilities induced by high angle waves. *Nature* 414, 296–300.
- Bamber, J. and Riva, R. 2010. The sea level fingerprint of recent ice mass fluxes. *The Cryosphere* 4, 621-627.
- Barić i dr. 2008. Potential implications of sea level rise for Croatia.
- Branković, C.; Srnc, L.; Patarčić, M. 2009. *An assessment of global and regional climate change based on the EH50M climate model ensemble*. Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Zagreb.
- Branković i dr. 2012. Near-future climate change over Europe with focus on Croatia in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Research* 52: 227–251.
- Brown S.; Nicholls R. J.; Vafeidis A.; Hinkel J.; Watkiss P. 2011. The Impacts and Economic Costs of Sea-Level Rise in Europe and the Costs and Benefits of Adaptation. Summary of Results from the EC RTD ClimateCost Project. U: P. Watkiss (ur.), 2011. *The ClimateCost Project. Konačno izvješće. Dio 1: Europe*. Objavio Institut za okoliš Stockholm, Švedska, 2011. ISBN 978-91-86125-35-6.
- Bruun, P. 1962. *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. J.Waterw. Harb. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 88.
- Church, J.A.; Clark, P.U.; Cazenave, A.; Gregory, J.M.; Jevrejeva, S.; Levermann, A.; Merrifield, M.A.; Milne, G.A.; Nerem, R.S.; Nunn, P.D.; Payne, A.J.; Pfeffer, W.T.; Stammer, D. and Unnikrishnan, A.S. 2013. Sea Level Change, in: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Ed.), *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, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1137–1216.
- Collins, W. J.; Bellouin, N.; Doutriaux-Boucher, M.; Gedney, N.; Hinton, T.; Jones, C. D.; Liddicoat, S.; Martin, G.; O'Connor, F.; Rae, J.; Senior, C.; Totterdell, I.; Woodward, S.; Reichler, T.; Kim, J. 2008. *Evaluation of the hadgem2 model*. Met Office Hadley Centre Technical Note no. HCTN 74, dostupno od Met Office, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB.
- Dean, R. G. 2002. Beach nourishment. World Scientific.
- Grizelj, M. i Akrap, A. 2011, *Projekcije stanovništva Republike Hrvatske od 2010. do 2061*. Državni zavod za statistiku, Zagreb,
- Eastoe, E.; Koukoulas S.; Jonathan, P. 2013. Statistical measures of extremal dependence illustrated using measured sea surface elevations from a neighbourhood of coastal locations. *Ocean Engineering* 62, str. 6877.
- Environmental Systems Research Institute, 2002. *Digital Chart of the World*, ESRI, Redlands, CA. <http://www.esri.com>.
- Fettweis, X.; Franco, B.; Tedesco, M.; van Angelen, J. H.; Lenaerts, J. T. M.; van den Broeke, M. R.; Gallée, H. 2012. Estimating Greenland ice sheet surface mass balance contribution to future sea level rise using the regional atmospheric climate model MAR. *The Cryosphere Discussions* 6, 3101–3147.
- Green, C.; Viavattene, C.; Thompson, P. 2011. *Guidance for assessing flood losses*. CONHAZ Report Flood Hazard Research Centre – Middlesex University. Dostupno na: http://conhaz.org/CONHAZ_REPORT_WP06_1.pdf
- Grizelj, M. and Akrap, A. 2011. *Projekcije stanovništva Republike Hrvatske od 2010. do 2061*. (Population projections of the Republic of Croatia, 2010 – 2061). Croatian Bureau of Statistics, Zagreb.

- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R.J. and Corfee-Morlot, J. 2013. Future flood losses in major coastal cities. *Nature Clim. Change* 3, 802-806.
- Hallermeier, R. J.; 1981. A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering* 4, 253-277.
- Hamilton, J. M., Maddison, D. J., & Tol, R. S.J. 2005.a. Climate change and international tourism: a simulation study. *Global environmental change*, 15(3), 253-266.
- Hamilton, J. M., Maddison, D. J., & Tol, R. S. J. 2005.b. Effects of climate change on international tourism. *Climate Research*, 29(3), 245-254.
- Hanson, S.; Nicholls, R.; Ranger, N.; Hallegatte, S.; Corfee-Morlot, J.; Herweijer, C.; Chateau, J. 2011. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic change* 104, 89-111.
- Hinkel, J.; 2005. DIVA: an iterative method for building modular integrated models. *Advances in Geosciences* 4: 45-50.
- Hinkel, J.; Klein, R. J. T. 2009. The DINAS-COAST project: developing a tool for the dynamic and interactive assessment of coastal vulnerability. *Global Environmental Change* 19 (3), 384-395.
- Hinkel, J.; Nicholls, R.; Vafeidis A.; Tol, R. S. J.; Avagianou T. 2010. Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5 (7) 1-17.
- Hinkel, J.; Brown, S.; Exner, L.; Nicholls, R. J.; Vafeidis, A. T.; Kebede, A. S. 2011. Sea-level rise impacts on Africa and the effects of mitigation and adaptation: an application of DIVA. *Regional Environmental Change* 12, 207-224.
- Hinkel, J.; Nicholls, R. J.; Tol, R. S. J.; Wang, Z. B.; Hamilton, J. M.; Boot, G.; Vafeidis, A. T.; McFadden, L.; Ganopolski, A.; Klein R. J. 2013.a. A Global Analysis of Coastal Erosion of Beaches due to Sea-level Rise: An Application of DIVA. *Global and Planetary Change* 111, 150-158.
- Hinkel, J.; Lincke, D.; Vafeidis, A. T.; Perrette, M.; Nicholls, R. J.; Tol, R. S. J.; Marzeion, B.; Fettweis, X.; Ionescu, C.; Levermann, A. 2014. Coastal flood damage and adaptation cost under 21st century sea-level rise. *Zbornik radova Nacionalne akademije znanosti*, objavljeno prijeto izdanja 3. veljače 2014., doi:10.1073/pnas.1222469111.
- Hoozemans, F. J.; Marchand, M.; Pennekamp, H. 1993. Sea level rise: a global vulnerability assessment: vulnerability assessments for population, coastal wetlands and rice production on a global scale. Delft Hydraulics and Rijkswaterstaat, Delft and The Hague.
- IMAGE Team. 2002. *The IMAGE 2.2 implementation of the SRES scenarios*. RIVM Rapport 481508018, CD-ROM.RIVM, Bilthoven, Nizozemska.
- Jarvis, A.; Reuter, H. I.; Nelson, A.; Guevara, E. 2008. *Hole-filled seamless SRTM data V4*, Međunarodni centar za tropsku poljoprivredu (CIAT), dostupno na <http://srtm.csi.cgiar.org>. (pregledano 18.12.2013).
- Klein, R. J. T.; Nicholls, R. J.; Ragoonaden, S.; Capobianco, M.; Aston, J.; Buckley, E. N.; 2001. Technological Options for Adaptation to Climate Change in Coastal Zones. *Journal of Coastal Research* 17, 531-543.
- Levermann, A.; Winkelmann, R.; Nowicki, S.; Fastook, J. L.; Frieler, K.; Greve, R.; Hellmer, H. H.; Martin, M. A.; Mengel, M.; Payne, A. J.; Pollard, D.; Sato, T.; Timmermann, R.; Wang, W. L.; Bindshadler, R. A. 2012. Projecting Antarctic ice discharge using response functions from SeaRISE ice-sheet models. *The Cryosphere Discussions* 6, 3447-3489.
- Marzeion, B.; Jarosch, A. H.; Hofer, M. 2012. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *The Cryosphere* 6, 1295-1322.
- Maxwell, B. A.; Buddemeier, R. W. 2002. Coastal typology development with heterogeneous data sets. *Regional Environmental Change* 3, 77-87.
- McFadden, L.; Nicholls, R. J.; Vafeidis, A.; Tol, R. S. J. 2007. A methodology for modeling coastal space for global assessment. *Journal of Coastal Research* 911-920.
- McGill, J. T. 1958. Map of coastal landforms of the world: *Geographical Review*, 402-405.
- McGranahan, G.; Balk, D.; Anderson, B. 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization* 19(1), 17-37.

- Mcleod, E.; Hinkel, J.; Vafeidis, A. T.; Nicholls, R. J.; Harvey, N.; Salm, R. 2010a. Sea-level rise vulnerability in the countries of the Coral Triangle. *Sustainability Science* 5 (2), 207–222.
- Messner, F.; Penning-Rowsell, E.; Green, C.; Meyer, V.; S. Tunstall, v. A. 2007. *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*. (FLOODsite Project Deliverable D9.1).
- Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva 2010. Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime. Republika Hrvatska.
- New, M.; Lister, D.; Hulme, M.; Makin, I. 2002. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21, 1–25.
- Nicholls, R. J. 1998. Assessing erosion of sandy beaches due to sea-level rise. U: J.G. Maund i M. Eddleston (ur.), *Geohazards in Engineering Geology, Engineering Geology Special Publications*, 15, Geological Society, London, 71–76.
- Nicholls, R. J.; Marinova; Lowe, N. J. A.; Brown, S.; Vellinga, P.; de Gusmao, D.; Hinkel, J.; Tol, R. S. J. 2010.a. Sea-level rise and its possible impacts given a “beyond 4 degree world” in the 21st Century. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 369.
- O'Neill, B. C.; Kriegler, E.; Riahi, K.; Ebi, K. L.; Hallegatte, S.; Carter, T. R.; Mathur, R. and D. P. van Vuuren. 2011. A new scenario framework for climate change research. The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* 122 (3), pp. 387–400. DOI: 10.1007/s10584-013-0905-2.
- Pascual, M. and Markandya, A. 2015. Estimation of values of housing and tourism facilities along Croatian coast, *Working Report as an Input to the Climate Variability Project*. Pripremi: Marta Pascual i Anil Markandya, BC3 i Metroeconomica. Revidirano u ožujku 2015.
- Peltier, W. 2000.b. Global glacial isostatic adjustment and modern instrumental records of relative sea level history. U: B. C. Douglas; M. S. Kearny; S. P. Leatherman (ur.) *Sea level rise; history and consequences*. Academic Press, San Diego, 65–95.
- Rabus, B. Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. 2003. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, *Photogramm. Rem. Sens.* 57, 241–262.
- Scheffers, A. M.; Scheffers, S. R.; Kelletat, D. H. 2012. *The coastlines of the world with Google Earth: understanding our environment* (Vol. 2). Springer.
- Stive, M. J., Aarninkhof, S. G., Hamm, L., Hanson, H., Larson, M., Wijnberg, K. M., Nicholls, R. J. and Capobianco, M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal Engineering* 47, 211-235.
- Stive, M. J., Ranasinghe, R. and Cowell, P. 2009. Sea level rise and coastal erosion: Handbook of coastal and ocean engineering. World Scientific, 1023-1038.
- Tol, R. S. J. (1995). The damage costs of climate change toward more comprehensive calculations. *Environmental and Resource Economics* 5, 353-374.
- UNDP 2009. A Climate for Change. Climate change and its impacts on society and economy in Croatia. Human Development Report Croatia. ISSN: 1332-3989.
- Vafeidis, A.T.; Boot G.; Cox J.; Maatens, R.; McFadden L.; Nicholls R. J.; Spencer, T.; Tol, R. S. J. 2005. Dokumentacija baze podataka DIVA.
- Vafeidis, A. T.; Nicholls, R. J.; McFadden, L.; Tol, R. S. J.; Hinkel, J.; Spencer, T.; Grashoff, P. S.; Boot, G.; Klein, R. J. T. 2008. A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research* 24 (4) 917–924.
- Vafeidis, A. T.; Nicholls, R. J.; Hinkel, J. 2012. *Sea-level rise impacts and adaptation in the Mediterranean*. Primjena modela DIVA, u izradi.
- van Koningsveld, M., de Sonnevile, B., Wang, Z. B. and van Rijn, L. 2008. Sediment budget analysis of the dutch coastal system A focus on the Wadden Sea. *Coastal Engineering*, 2481-2493.
- Wong, P. P.; Losada, I. J.; Gattuso, J.-P.; Hinkel, J.; Khattabi, A.; McInnes, K. L.; Saito, Y.; Sallenger, A. 2014. Coastal systems and low-lying areas, u: C. B. Field; V. R. Barros; D. J. Dokken; K. J. Mach; M. D. Mastrandrea; T. E. Bilir; M.

Chatterjee; K. L. Ebi; Y. O. Estrada; R. C. Genova;
B. Girma; E. S. Kissel; A. N. Levy; S. MacCracken;
P. R. Mastrandrea; L. L. White (ur.), *Climate
Change 2014: Impacts, Adaptation, and
Vulnerability. Dio A: Global and Sectoral Aspects.*

*Contribution of Working Group II to the Fifth
Assessment Report of the Intergovernmental
Panel on Climate Change.* Cambridge University
Press, Cambridge, United Kingdom i New York,
NY, USA, XXX–YYY.

Dodatak A:

Procjena vrijednosti stambenih zgrada i turističkih objekata duž hrvatske obale

Autori: Marta Pascual i Anil Markandya

Tijekom primjene metode DIVA na hrvatsku obalu protuslovlje između predviđanja broja stanovnika i intenzivne obalne urbanizacije postalo je toliko očito da se nije moglo ignorirati. Naime, od 1960-ih broj stanovnika u Hrvatskoj narastao je za samo 3%, dok je urbanizacija obale takva da je sagrađeno četiri puta više građevina, nego što su sve prethodne generacije zajedno izgradile. Nacionalna i međunarodna predviđanja broja stanovnika za Hrvatsku sva prikazuju smanjenje broja stanovnika. Posljednja nacionalna procjena pokazala je da se taj pad događa i brže nego što su to prethodna predviđanja procijenila. No, prostorni planovi u Hrvatskoj dopuštaju deseterostruko povećanje urbanizirane obale od onoga što je bilo 1960-ih. Najveća gustoća gradnje je, kao i u mnogim drugim mediteranskim turističkim zemljama, u zoni najbližoj moru. Ta je zona ujedno i zona najvećega rizika povezana s rastom razine mora.

Nesklad između tih dviju vrijednosti motivira stručnjake uključene u projekt da posvete posebnu pažnju tomu pitanju. Stoga je provedena posebna studija na temelju stvarnih državnih i gradskih prostornih planova, podacima o popisu stanovništva, kuća/apartmana i stanova te na podacima o porezu na kupoprodaju nekretnina. Ovim se sažetkom žele predstaviti metodologija i rezultati njezine primjene o novčanoj vrijednosti stambenoga prostora, turističkih objekata i građevinskog zemljišta obalne Hrvatske.

Proizvedene su dvije skupine podataka: sadašnje vrijednosti po raščlanjenim razinama kroz različite obalne općine i predviđene vrijednosti na ukupnoj razini države, tj. prosječna vrijednost za svaku od sedam obalnih županija. Procjene su temeljene na tržišnim cijenama dobivenih od hrvatske Porezne uprave, Ministarstva financija. Te su vrijednosti dobivene za 127 obalnih općina i gradova (u kunama po m²) za sljedeće kategorije: građevinsko zemljište,

apartmani, samostalne kuće i uredi. Za preostalih 7 općina koje pripadaju obalnoj zoni³ PAP/RAC je pružio svoju procjenu. Tržišne vrijednosti za posljednje tri kategorije dane su u odnosu na starost i veličinu imovine, za sve transakcije koje su se dogodile tijekom jednoga mjeseca (kolovoza ili rujna 2013.). Te su vrijednosti zatim agregirane kako bismo dobili prosječnu vrijednost za „razvijeno/mješovito“ zemljište, dok je prva kategorija odvojena kao „građevinsko zemljište“. Trenutačne vrijednosti dostupne su za svaku općinu, kao i za poligone (x km puta x km) unutar svake općine u bazi podataka koja sadrži 37.925 poligona zemljišta.

Izračun vrijednosti koje su primijenjene na svaki poligon svake općine napravljen je na sljedeći način:

- Za „razvijeno/mješovito“ zemljište prvo je izračunata ukupna vrijednost za razvijenu/mješovitu imovinu za svaku općinu. To je učinjeno množenjem prosječne cijene m² općinskih stanova, kuća, ureda i poslovanja (iz poreznih podataka) s ukupnim brojem m² stanova u općini. Ta ukupna vrijednost razvijene/mješovite imovine u općini zatim je podijeljena ukupnim brojem m² razvijenoga mješovitog zemljišta u općini kako bismo dobili prosječnu vrijednost svakog m² razvijenoga mješovitog zemljišta u općini [kuna/m²].
- Što se tiče „građevinskoga zemljišta“, prosječna cijena m² građevinskoga zemljišta u općini izravno je procijenjena iz poreznih podataka. Prema tome ukupna vrijednost građevinskoga zemljišta u općini izračunata je množenjem tih

³ Tijekom pripreme Zakona o ratifikaciji Protokola o IUOP-u, te kasnije u Rješenju o pripremi Nacionalne morske i obalne strategije, Vlada Republike Hrvatske definirala je geografsko područje obalne zone kao teritorijalno more s morske obale, te 134 obalne općine i grada, čiji teritorij obuhvaća 1.000 m zaštićenoga obalnog pojasa s kopnene strane. Podatci nisu dobiveni za općine Dubrovačko primorje, Janjina, Milna, Ston, Zadarje, Župa dubrovačka i Funtana.

prosječnih cijena po m² s ukupnim brojem m² građevinskoga zemljišta u općini.

Ukupna vrijednost dobivena za različite općine kreće se od niskih 65,8 milijuna US\$⁴ u Zadvarju do visokih 8.600 milijuna US\$ u Rijeci. Prosječna vrijednost općine u obalnoj Hrvatskoj iznosi oko 900,5 milijuna US\$. Na razini države, podatci za 2015. pokazuju da su najviše ukupne vrijednosti u Splitsko-dalmatinskoj županiji (29 milijardi US\$), dok su najniže u Ličko-senjskoj županiji.

Za predviđanje budućih vrijednosti izvješće se koristilo trima socioekonomskim scenarijima: zajednička socioekonomska kretanja (SSP1, SSP2 i SSP5), koje su razvili znanstvenici koji se bave istraživanjem klimatskih promjena. Svaki SSP definira predviđanja BDP-a i broja stanovnika za Hrvatsku. Predviđanja BDP-a prilagođena su za rane godine na temelju procjena tima lokalnih stručnjaka. SSP1 pretpostavlja komparativno dobar napredak prema održivosti unutar otvoreno globalizirane ekonomije, te kao rezultat, Hrvatska ima prosječan godišnji rast prihoda po glavi stanovnika od oko 1,3% do 2050. godine (počevši od sadašnjih negativnih vrijednosti). SSP2 predviđa manji napredak prema održivosti i manju stopu rasta – oko 1,2% godišnje. Konačno, SSP5 pretpostavlja visoku stopu konvencionalnoga razvoja s rastom po glavi stanovnika od 1,6% godišnje.

Uz to izračun buduće vrijednosti imovine zahtijeva pretpostavke o tome:

- (a) koliko se brzo gradi na građevinskome zemljištu,
- (b) kolika je gustoća novih zgrada.

Što se tiče (a) pretpostavke za sva tri scenarija da će se sva građevinska zemljišta pretvoriti u razvijeno zemljište do 2050. najkasnije. U scenariju 1 to se konstantno događa tijekom perioda od 2015. do 2050. U scenariju 2 stopa preoblikovanja je brža, potiče brz razvoj. Konačno, u scenariju 5 pretpostavlja se još brži razvoj zemljišta, te konverzija od građevinskoga u razvijeno zemljište do 2025. Povezano s (b), što se tiče gustoće novogradnje (u izgrađenim kvadratnim metrima po hektaru zemljišta), pretpostavlja se da će se sadašnja gustoća gradnje povećati u skladu s onim što je dopušteno današnjim prostornim planovima. To će povećanje biti postupno, tako da će do 2050. ponderirana prosječna gustoća naseljenosti u sedam obalnih županija iznositi 243 stanovnika po km², što je gustoća slična današnjoj u obalnim regijama Francuske (285 stanovnika po km²), unatoč činjenici da je današnja gustoća obalne populacije u Hrvatskoj manja od trećine obalne populacije Francuske. Štoviše, sva predviđanja broja stanovnika za Hrvatsku pokazuju smanjenje broja stanovnika, a sadašnji podatci potvrđuju ta predviđanja, čak i intenzivirajući predviđeni pad. Prema tome, to povećanje gustoće naseljenosti može se pripisati:

(a) migraciji iz kopnenih regija Hrvatske u obalni pojas, i

(b) izgradnji sekundarnih domova za Hrvate i strance.

Podatci pokazuju da je ukupna vrijednost stambenih zgrada i turističkih objekata procijenjena na oko 110 milijardi US\$ u 2015., s predviđenim porastom u rasponu od 237 milijardi US\$ do 262 milijarde US\$ do 2050., ovisno o scenariju. To čini stopu rasta između 2,2 i 2,5% godišnje. Ovaj razmjerno skroman porast vrijednosti odražava slična skromna očekivanja rasta BDP-a za Hrvatsku u tome periodu. Istovremeno, te su vrijednosti značajne kada se usporede s proizvodnjom na razini države. U 2013., primjerice, BDP u Hrvatskoj iznosio je oko 57 milijardi US\$, a prema tome obalna imovina vrijedi dvostruko više.



⁴ Sve vrijednosti izražene u američkim dolarima temeljene su na tečaju Hrvatske narodne banke od 20. veljače 2015.

Dodatak B: Detaljni rezultati za poplavna područja

B1 Potencijalno poplavne površine

Tablica B1.1: Potencijalno poplavne površine (ispod H100) po poplavnim područjima u 2050. i 2100. prema različitim scenarijima rasta razine mora u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Potencijalno poplavne površine (km ²)						
	Danas	2050.			2100.		
		Niski RRM	Srednji RRM	Visoki RRM	Niski RRM	Srednji RRM	Visoki RRM
Delta Neretve	81,3	89,0	91,6	100,2	98,0	103,8	106,1
Zadar	11,2	12,1	12,3	12,9	12,8	13,5	15,5
Murter – Kornati	9,8	10,7	11,0	11,6	11,4	12,1	13,7
Pag	9,3	10,1	10,4	10,9	10,9	11,2	13,2
Mali Lošinj	9,3	9,8	9,9	10,5	10,4	11,3	12,2
Šibenik	8,7	9,6	9,9	10,8	10,6	11,5	13,2
Tar – Vabriga	7,3	8,1	8,3	9,1	8,9	9,5	10,3
Sali	6,1	6,6	6,7	6,9	6,9	7,2	8,1
Kaštelanski zaljev	5,4	5,9	6,1	6,6	6,5	7,1	8,1
Umag	4,9	5,4	5,5	6,0	5,9	6,4	7,2

Tablica B1.2: Potencijalno poplavne površine (ispod H100) po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u 2050. i 2100. prema različitim scenarijima rasta razine mora u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje ⁵	Potencijalno poplavne površine (km ²)						
	Danas	2050.			2100.		
		Niski RRM	Srednji RRM	Visoki RRM	Niski RRM	Srednji RRM	Visoki RRM
Pula	2,05	2,24	2,31	2,52	2,46	2,73	3,32
Zadar	1,71	1,87	1,92	2,1	2,06	2,25	2,61
Split	1,52	1,66	1,71	1,9	1,83	1,97	2,18
Rijeka	0,28	0,31	0,32	0,35	0,34	0,40	0,60

B2 Imovina i broj stanovnika u poplavnim dolinama

Tablica B2.1: Imovina u poplavnim dolinama u 2050. prema različitim scenarijima rasta razine mora te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Imovina ispod H100 (milijun US\$) u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	210	530	490	640	570	530	700	710	650	860
Šibenik	180	490	450	590	530	490	650	670	620	820
Kaštelanski zaljev	170	460	420	560	500	460	610	640	590	780
Vodice	120	320	300	390	350	320	430	450	410	540
Novalja	120	310	280	380	330	300	400	380	350	460
Delta Neretve	110	290	270	360	320	290	390	410	370	500
Vir	110	270	250	330	290	270	360	350	330	430
Umag	74	200	180	240	210	200	260	270	250	330
Privlaka	63	170	150	200	180	170	220	230	210	280
Sukošan	55	145	130	175	160	145	190	200	185	245

⁵ Obuhvat izgrađenih područja unutar gradova procijenjen je temeljem promatranja satelitskih snimaka.

Tablica B2.2: Imovina u poplavnim dolinama po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u Hrvatskoj 2050. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje	Imovina ispod H100 (milijun US\$) u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	150	390	360	470	420	390	520	540	490	660
Pula	34	88	81	110	96	88	120	120	110	150
Split	28	72	67	88	79	73	97	100	92	120
Rijeka	4,3	11	10	13	12	11	15	15	14	19

Tablica B2.3: Imovina u poplavnim dolinama u 2100. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Imovina ispod H100 (milijun US\$) u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	210	990	1 000	1 500	1 200	1 200	1 800	1 500	1 500	2 200
Šibenik	180	940	960	1 400	1 100	1 100	1 700	1 300	1 300	1 900
Kaštelanski zaljev	170	890	900	1 300	1 100	1 100	1 700	1 500	1 500	2 200
Vodice	120	620	640	920	730	750	1 100	830	850	1 300
Novalja	120	560	570	840	600	610	910	730	750	1 100
Delta Neretve	110	570	580	860	660	670	990	690	710	1 000
Vir	110	510	520	760	570	590	870	700	710	1 100
Umag	74	380	390	570	470	480	710	620	630	930
Privlaka	63	320	330	490	380	390	580	450	450	670
Sukošan	55	280	280	420	330	340	500	380	390	580

Tablica B2.4: Imovina u poplavnim dolinama po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u Hrvatskoj 2100. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje	Imovina ispod H100 (milijun US\$) u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	150	750	770	1 100	900	920	1 400	1 100	1 100	1 700
Pula	34	170	170	260	210	220	320	300	300	450
Split	28	140	140	210	170	180	260	240	240	360
Rijeka	4,3	21	21	32	40	40	60	110	120	170

Tablica B2.5: Broj stanovnika u poplavnim dolinama u 2050. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Broj stanovnika ispod H100 u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Kaštelanski zaljev	10 600	14 100	14 000	14 200	15 300	15 400	15 400	19 500	19 400	19 600
Delta Neretve	4 200	5 600	5 600	5 600	6 100	6 100	6 100	7 700	7 700	7 800
Rijeka	3 600	4 600	4 600	4 700	5 000	5 000	5 100	6 400	6 400	6 500
Zadar	3 500	4 500	4 400	4 500	4 800	4 800	4 900	6 100	6 000	6 100
Šibenik	2 200	2 900	2 900	2 900	3 200	3 100	3 200	4 000	4 000	4 000
Pula	2 000	2 600	2 600	2 600	2 800	2 800	2 800	3 600	3 500	3 600
Umag	1 700	2 200	2 200	2 200	2 400	2 400	2 400	3 100	3 100	3 100
Dubrovnik	1 400	1 800	1 800	1 800	2 000	2 000	2 000	2 500	2 500	2 500
Mali Lošinj	1 300	1 300	1 200	1 300	1 300	1 300	1 300	1 300	1 300	1 300
Crikvenica	1 200	1 500	1 500	1 500	1 600	1 600	1 600	2 100	2 100	2 100

Tablica B2.6: Stanovnici u poplavnim dolinama po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u Hrvatskoj 2050. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje	Broj stanovnika ispod H100 u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Split	3 500	4 600	4 600	4 700	5 000	5 000	5 100	6 400	6 400	6 400
Rijeka	3 500	4 600	4 600	4 700	5 000	5 000	5 100	6 400	6 400	6 400
Zadar	2 700	3 600	3 600	3 600	3 900	3 900	3 900	5 000	5 000	5 000
Pula	1 900	2 600	2 600	2 600	2 800	2 800	2 800	3 600	3 500	3 600

Tablica B2.7: Stanovnici u poplavnim dolinama 2100. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Broj stanovnika ispod H100 u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
kaštelanski zaljev	10 600	14 600	18 000	12 100	16 800	21 000	13 900	17 300	21 300	14 300
Delta Neretve	4 200	5 600	5 600	5 600	6 100	6 100	6 100	7 800	7 700	7 800
Rijeka	3 600	4 800	5 900	4 000	5 600	6 900	4 600	5 900	7 200	4 900
Zadar	3 500	4 500	5 600	3 700	5 200	6 400	4 300	5 500	6 700	4 500
Šibenik	2 200	3 000	3 700	2 500	3 400	4 200	2 800	3 500	4 300	2 900
Pula	2 000	2 700	3 300	2 200	3 200	3 800	2 500	3 200	4 000	2 700
Umag	1 700	2 300	2 800	1 900	2 700	3 300	2 200	2 700	3 400	2 300
Dubrovnik	1 400	1 900	2 300	1 600	2 600	3 200	2 200	3 500	4 300	2 900
Mali Lošinj	1 300	1 000	1 200	830	1 000	1 300	900	1 100	1 300	900
Crikvenica	1 200	1 600	2 900	1 300	1 800	2 200	1 500	1 800	2 200	1 500

Table B2.8: Stanovnici u poplavnim dolinama po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u Hrvatskoj 2100. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje	Broj stanovnika ispod H100 u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Split	3 500	4 800	5 900	4 000	5 600	6 900	4 600	5 900	7 200	4 900
Rijeka	3 500	4 800	5 900	4 000	5 600	6 800	4 600	5 800	7 100	4 800
Zadar	2 700	3 700	4 600	3 100	4 300	5 300	3 600	4 400	5 400	3 700
Pula	1 900	2 700	3 300	2 200	3 100	3 800	2 600	3 200	4 000	2 700

B3 Broj stanovnika ugroženih od poplave godišnje

Tablica B3.1: Očekivani broj stanovnika ugroženih od poplave godišnje u 2050. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Broj stanovnika ugroženih od poplave u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Kaštelanski zaljev	2 900	6 900	6 900	7 000	8 200	8 100	8 200	12 300	12 300	12 400
Delta Neretve	1 100	2 700	2 700	2 800	3 300	3 200	3 200	4 900	4 900	4 900
Rijeka	1 100	2 300	2 200	2 300	2 700	2 600	2 700	4 100	4 000	4 100
Zadar	1 000	2 200	2 100	2 200	2 500	2 500	2 600	3 800	3 800	3 900
Šibenik	630	1 400	1 400	1 400	1 700	1 700	1 700	2 500	2 500	2 600
Pula	560	1 300	1 300	1 300	1 500	1 500	1 500	2 300	2 200	2 300
Umag	480	1 100	1 100	1 100	1 300	1 300	1 300	1 900	1 900	2 000
Dubrovnik	400	900	900	900	1 100	1 100	1 100	1 600	1 600	1 600
Mali Lošinj	340	580	580	590	670	660	670	930	920	930
Crikvenica	330	730	730	740	970	860	870	1 300	1 300	1 300

Tablica B3.2: Očekivani broj stanovnika ugroženih od poplave godišnje po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u 2050. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje	Broj stanovnika ugroženih od poplave u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Split	1 100	2 300	2 300	2 300	2 700	2 700	2 700	4 100	4 000	4 100
Rijeka	1 100	2 300	2 300	2 300	2 700	2 700	2 700	4 100	4 000	4 100
Zadar	860	1 800	1 800	1 800	2 100	2 100	2 100	3 200	3 100	3 200
Pula	610	1 300	1 300	1 300	1 500	1 500	1 500	2 300	2 200	2 300

Tablica B3.3: Očekivani broj stanovnika ugroženih od poplave godišnje po općini u 2100. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Broj stanovnika ugroženih od poplave u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Kaštelanski zaljev	2 900	8 900	11 000	7 400	14 300	17 600	11 800	17 200	21 100	14 200
Delta Neretve	1 100	3 600	4 400	2 900	5 700	7 000	4 700	6 700	8 300	5 600
Rijeka	1 100	2 900	3 600	2 400	4 700	5 800	3 900	5 800	7 100	4 800
Zadar	1 000	2 800	3 400	2 300	4 400	5 400	3 600	5 300	6 600	4 400
Šibenik	630	1 800	2 300	1 500	2 900	3 600	2 400	3 400	4 300	2 900
Pula	560	1 600	2 000	1 300	2 600	3 200	2 200	3 200	3 900	2 600
Umag	480	1 400	1 700	1 200	2 300	2 800	1 900	2 700	3 300	2 200
Dubrovnik	400	1 200	1 400	970	1 900	2 300	1 600	3 500	4 300	2 900
Mali Lošinj	340	680	840	560	960	1 200	900	1 000	1 300	850
Crikvenica	330	940	1 200	780	1 200	1 800	1 300	1 800	2 200	1 500

Tablica B3.4: Očekivani broj stanovnika ugroženih od poplave godišnje po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u 2100. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje	Broj stanovnika ugroženih od poplave u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Split	1 100	2 900	3 600	2 400	4 700	5 800	3 900	5 700	7 000	4 700
Rijeka	1 100	2 900	3 600	2 400	4 600	5 800	3 900	5 700	7 100	4 700
Zadar	860	2 300	2 800	1 900	3 700	4 500	3 000	4 400	5 400	3 600
Pula	610	1 600	2 000	1 300	2 600	3 200	2 200	3 200	3 900	2 600

B4 Štete od morskih poplava

Tablica B4.1: Očekivane štete uzrokovane morskim poplavama prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Poplavno područje	Troškovi šteta od morskih poplava (milijun US\$) u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	3,6	25	23	31	33	31	41	68	63	83
Šibenik	2,9	23	21	28	31	28	37	64	59	78
Kaštelanski zaljev	2,5	22	20	26	29	27	36	60	56	74
Novalja	2,2	14	13	17	19	17	23	37	34	46
Vodice	1,9	15	14	19	20	19	25	42	39	52
Vir	1,8	13	12	15	17	15	20	34	32	42
Delta Neretve	1,6	14	13	17	18	17	23	39	36	47
Umag	1,2	9,2	8,5	11	12	11	15	26	24	32
Privlaka	1,0	7,8	7,2	9,6	11	9,7	13	22	20	27
Sukošan	0,9	6,8	6,2	8,3	9,1	8,5	11	19	17	23

Tablica B4.2: Očekivane štete uzrokovane morskim poplavama po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u Hrvatskoj prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

Izgrađeno područje	Troškovi šteta od morskih poplava (milijun US\$) u 2050.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	2,6	18	17	22	24	30	23	51	47	62
Pula	0,6	4,1	3,8	5,0	5,6	5,1	6,8	12	11	14
Split	0,5	3,4	3,1	4,1	4,6	4,2	5,6	9,5	8,8	12
Rijeka	0,1	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	1,5	1,3	1,8

Tablica B4.3: Očekivane štete uzrokovane morskim poplavama 2100. prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

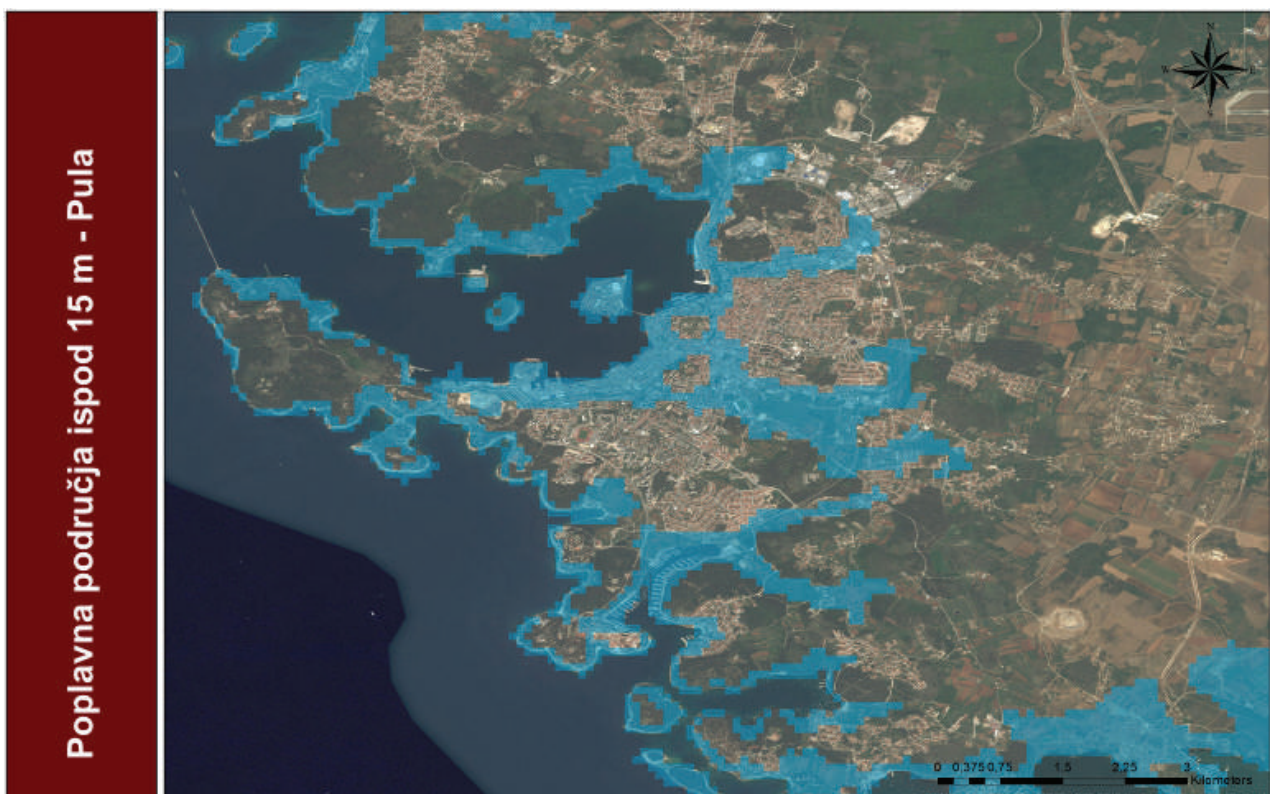
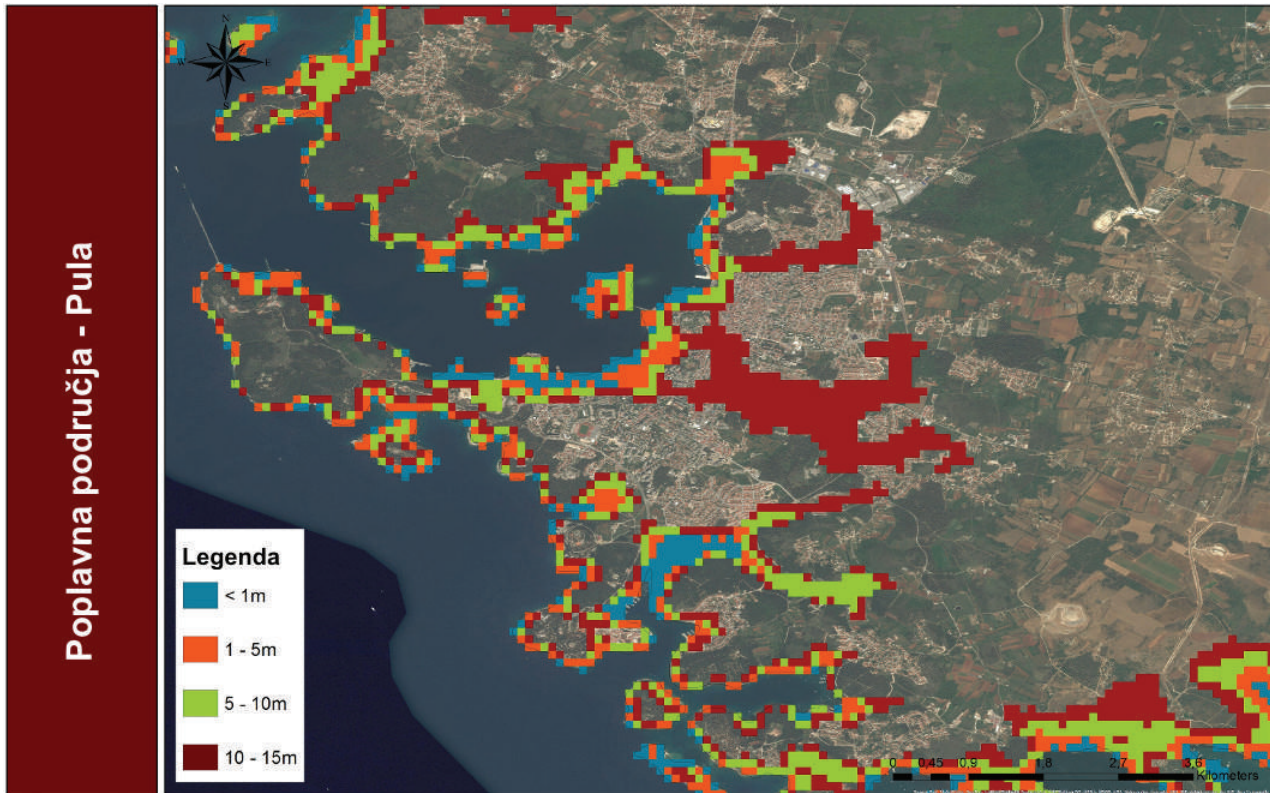
Poplavno područje	Troškovi šteta od morskih poplava (milijun US\$) u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	3,6	86	88	130	200	200	300	540	560	820
Šibenik	2,9	80	82	120	190	190	280	510	520	770
Kaštelanski zaljev	2,5	76	78	115	180	180	270	520	530	790
Novalja	2,2	47	48	66	110	110	160	280	280	420
Vodice	1,9	53	54	71	120	130	155	340	340	420
Vir	1,8	43	44	65	99	100	150	270	270	400
Delta Neretve	1,6	48	50	73	113	115	170	300	300	450
Umag	1,2	33	33	49	76	78	110	220	220	330
Privlaka	1,0	28	28	42	64	66	97	180	190	260
Sukošan	0,9	24	24	36	56	57	84	150	150	230

Tablica B4.4: Očekivane štete uzrokovane morskim poplavama u 2100. po izgrađenim područjima unutar većih obalnih gradova u Hrvatskoj prema različitim scenarijima RRM-a te scenarijima SSP-a u usporedbi s današnjom situacijom

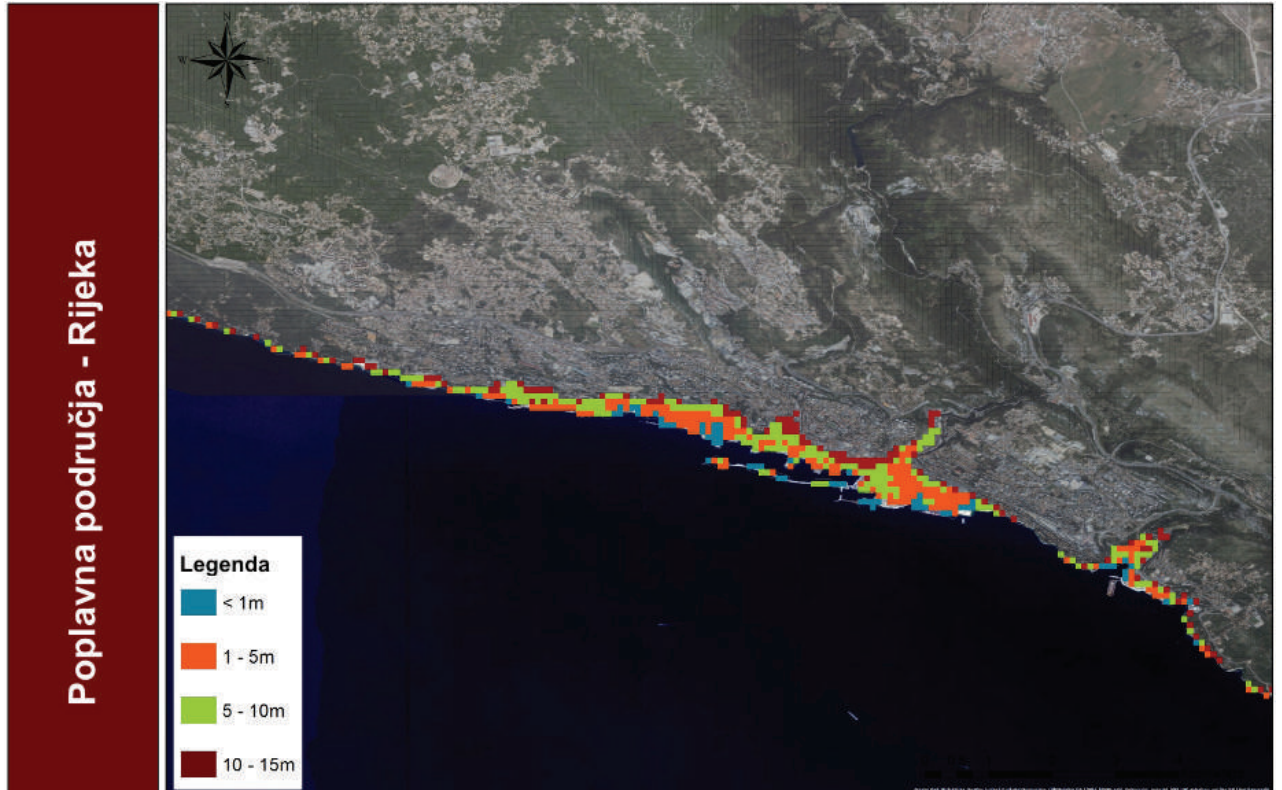
Izgrađeno područje	Troškovi šteta od morskih poplava (milijun US\$) u 2100.									
	Danas	Niski RRM			Srednji RRM			Visoki RRM		
		SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5	SSP2	SSP3	SSP5
Zadar	2,6	64	65	97	150	150	230	420	430	630
Pula	0,6	15	15	22	34	35	51	100	100	150
Split	0,5	12	12	18	28	29	42	82	84	120
Rijeka	0,1	1,9	1,9	2,8	4,3	4,4	6,5	23	24	35

Dodatak C: Karte opasnosti od poplava

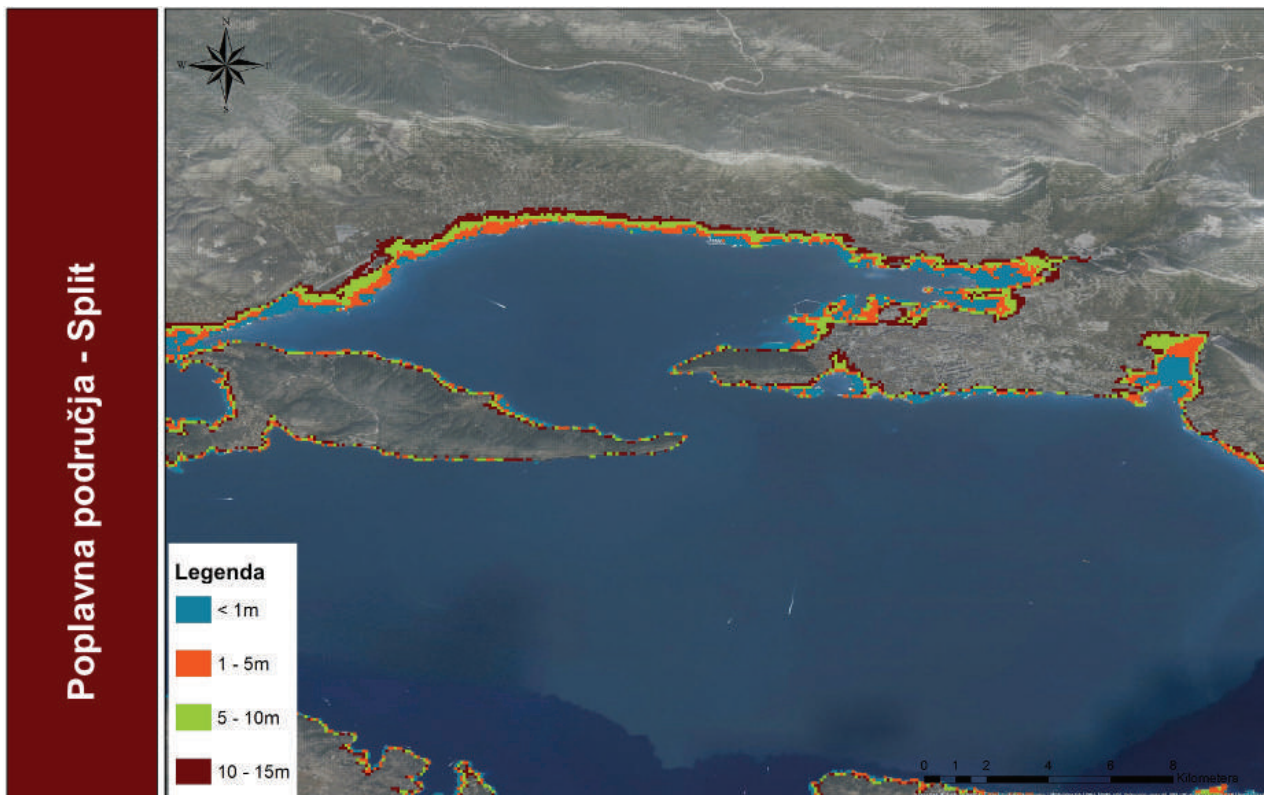
C1 Pula



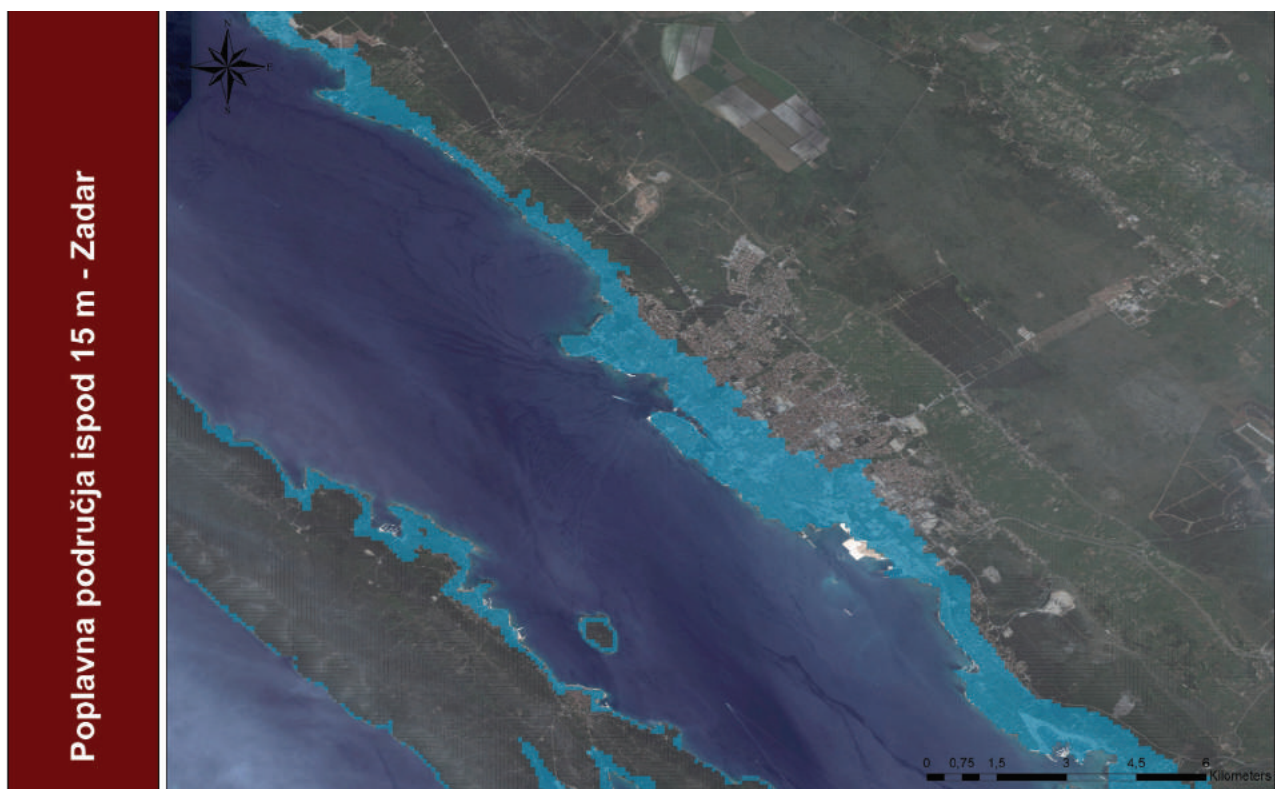
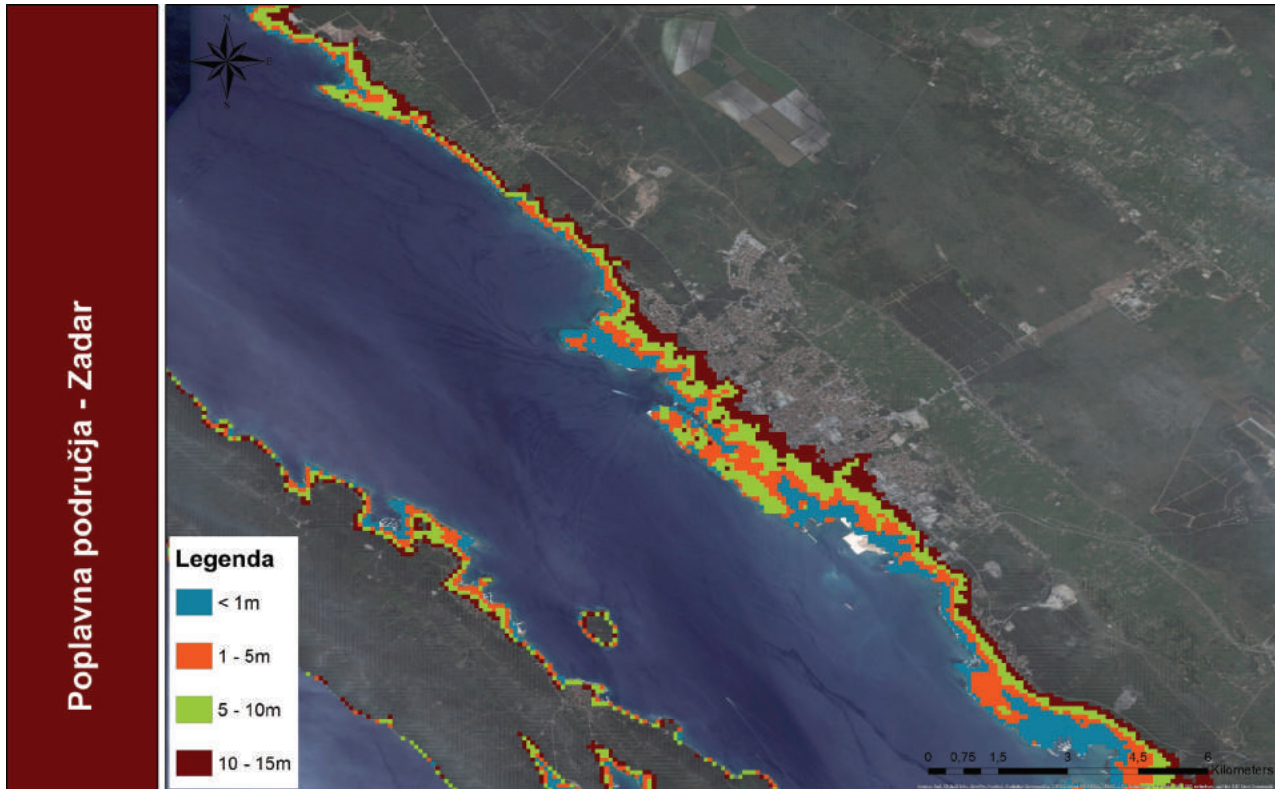
C2 Rijeka



C3 Split



C4 Zadar



Strategic Partnership for the Mediterranean Sea Large Marine Ecosystem

MedPartnership

Together for the Mediterranean Sea



**MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I PRIRODE**





Centar PAP/RAC, osnovan 1977. godine sa sjedištem u Splitu, dio je Mediteranskoga akcijskog plana (MAP) Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP). Mandat mu je pružati podršku zemljama Mediterana u provedbi Barcelonske konvencije i njenih protokola, u prvom redu Protokola o integralnom upravljanju obalnim područjima. PAP/RAC je usmjeren na provedbu aktivnosti koje pridonose održivom razvoju obalnih područja i jačanju za to potrebnih kapaciteta. Pri tome surađuje s nacionalnim, regionalnim i lokalnim upravama, te brojnim međunarodnim organizacijama i institucijama.