

Kvantitativna analiza utjecaja porasta razine Jadranskog mora na hrvatsku obalu: GIS pristup*

Quantitative Analysis of the Adriatic Sea-Level Rise Impact on the Croatian Coast: GIS Approach

Fran Domazetović

Student
Sveučilište u Zadru
Odjel za geografiju
e-mail: frandomazet@gmail.com

Nina Lončar

Sveučilište u Zadru
Odjel za geografiju
e-mail: nloncar@unizd.hr

Ante Šiljeg

Sveučilište u Zadru
Odjel za geografiju
e-mail: asiljeg@unizd.hr

DOI 10.17818/NM/2017/2.7

UDK 551.461(497.5)(262.3)

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper
Rukopis primljen / Paper accepted: 20. 10. 2016.

Sažetak

Procjene za prosječan porast morske razine na globalnoj razini do kraja 21. stoljeća najčešće variraju od 0,18 m do ≥ 1 m u odnosu na današnju razinu. Ako se razmatraju procjene koje obuhvaćaju i otapanje grenlandskog i antarktičkog ledenog pokrivača, tada se može očekivati porast morske razine od 5 i više m. Sukladno s globalnim promjenama, razina Jadranskog mora također je u porastu. Radi analize potencijalne ugroženosti hrvatske obale od porasta morske razine, izrađena su tri modela porasta razine Jadranskog mora (od 1 m, 3 m i 6 m). Na temelju modela analizira se utjecaj porasta morske razine na različite socioekonomske segmente obalnog prostora. Cilj je istraživanja definirati najugroženije dijelove hrvatske obale. Kako bi se mogli diferencirati najugroženiji dijelovi, izrađen je Indeks ugroženosti obalnih općina (I_u). U izradi Indeksa koristili su se analizom utjecaja dobiveni kvantitativni podaci o prostornom obuhvatu poplavnih zona te ugroženosti stanovništva i prometne infrastrukture obalne zone. Navedenim su varijablama s pomoću Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) pridruženi različiti težinski koeficijenti, ovisno o važnosti varijable. Pri analizi svih triju modela uočeno je kako se Zadar i njegova okolica ističu kao najugroženije područje hrvatske obale. Zbog toga je na primjeru Zadra izvršena znatno detaljnija analiza mikrolokacijskog utjecaja porasta morske razine. Podaci dobiveni analizom različitih modela pokazuju kako je gotovo cijela hrvatska obala ugrožena, ali i da postoji velik nerazmjer u razini ugroženosti pojedinih dijelova hrvatske obale. Važnost je ovog istraživanja u tome što ono predstavlja temelj za pravovremenu adaptaciju na negativne utjecaje budućeg porasta razine Jadranskog mora.

Summary

Estimates for the average global sea level-rise by the end of the 21st century usually vary from 0.18m up to ≥ 1 m, as compared to the current level. If estimates encompassing the melting of the Greenland and Antarctic ice sheets were considered, then the sea level would rise by about 5 meters or more. In line with global changes, the Adriatic Sea level is also rising. Three models of the Adriatic sea-level rise (1m, 3m, 6m) have been developed to analyse the potential vulnerability of the Croatian coast. The sea level-rise impact on the various socio economic aspects in the coastal region was analysed based on these models. The aim of the research study is to define the most vulnerable parts of the Croatian coast. The coastal vulnerability index (I_u) was developed to differentiate the most vulnerable areas. The index was developed by means of the quantitative data obtained from the impact analysis on the spatial coverage of floodplains and the vulnerability of the coastal population and traffic infrastructure. Depending on the significance of the variable, the analytical hierarchy process (AHP) was used to assign different weight coefficients to these variables. In the analysis of all three models, Zadar and its surroundings stand out as the most vulnerable region. Thus, an in-depth analysis of the microlocation sea level-rise impact was carried out for Zadar. The findings obtained by the analysis of different models show that almost entire Croatian coast is vulnerable, but there is an important discrepancy in the level of vulnerability of certain parts of the Croatian coast. This research study is important because it is the basis for a timely adaptation to the negative impacts of the future Adriatic Sea level rise.

1. UVOD / Introduction

Globalna je morska razina udaljenost od pretpostavljenog središta Zemlje do površine svjetskog mora te je u geološkoj prošlosti prvenstveno bila uvjetovana

tektonikom ploča (Coe and Church, 2005) i utjecajem klimatskih i meteoroloških te hidrodinamičkih faktora (Šegota, 1996; Surić, 2006). Suvremeni trend

porasta razine mora postupan je i dugotrajan proces povećanja volumena morske površine, koji je jedna od glavnih posljedica klimatskih promjena

KLJUČNE RIJEČI

GIS modeliranje
analitički hijerarhijski proces
Jadransko more
analiza utjecaja
prirodne prijetnje
porast morske razine

KEY WORDS

GIS modelling
analytic hierarchy process
the Adriatic Sea
impact analysis
natural hazards
sea level-rise

* Preliminarni rezultati istraživanja prezentirani su na znanstvenom skupu „12. savjetovanje kartografija i geoinformacije“, koji se održao u Zagrebu od 12. do 16. studenog 2016. godine, dok su konačni rezultati predstavljeni u ovom radu. Napominjemo da rezultati nisu bili publicirani u zborniku s tog skupa.

(Church, 2011). Taj proces uzrokuju različiti čimbenici, od topljenja ledenjaka i ledenog pokrova te povećanja ukupne količine vode koja pristiže u mora i oceane do termičkog širenja morske vode uzrokovanog ukupnim porastom temperature mora (Yin, 2010). Iako je prosječan porast morske razine na globalnoj razini zabilježen tijekom cijelog 20. stoljeća, postoje naznake da se prema početku 21. stoljeća taj proces intenzivirao. U razdoblju od 1950. do 2000. godine zabilježen je prosječan globalni godišnji porast morske razine od $1,8 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ (Church, 2004). Procjene za daljnji prosječan porast morske razine na globalnoj razini do kraja 21. stoljeća najčešće variraju od samo 0,18 m do iznad 1 m u odnosu na današnju razinu (Church i dr., 2013; Doyle i dr., 2015; Pfeffer i dr., 2008; Rahmstorf, 2007). Ovakve procjene zanemaruju mogućnost rapidne dezintegracije velikih dijelova ledenog pokrova, koja bi mogla znatno utjecati na ubrzanje porasta morske razine. Primjerice, dezintegracijom i otapanjem većih dijelova grenlandskog ledenog pokrova morska razina izdignula bi se za oko 5 m u odnosu na današnju, dok bi dezintegracija antarktičkog ledenog pokrova morsku razinu podignula za dodatnih 6 m (Bindschadler, 1998; Church, 2001; Church, 2013).

Porast morske razine utječe na sva obalna područja na svijetu, dok su ponajviše ugrožena niža obalna područja, riječna ušća te otoci (Nicholls i dr., 2007; Gornitz, 1991). Uz direktno potapanje dijela obalnog područja, porast morske razine dugoročno utječe i na pojavu učestalijih obalnih oluja, pojačanu obalnu eroziju te intruziju morske vode, odnosno zaslanjivanje tla (Nicholls i dr., 2011; Gornitz, 1991.) i obalnih vodonosnika (Antonellini i dr., 2008; Chang i dr., 2011; Kooi i dr., 2000). Nerijetko su ova osjetljiva obalna područja ujedno i područja najgušće naseljenosti i važne socioekonomske valorizacije, zbog čega bilo kakve promjene mogu imati katastrofalne posljedice. Procjenjuje se da na globalnoj razini u užoj obalnoj zoni (100 km od mora i do 100 m nadmorske visine) živi između 600 milijuna i 1,2 milijarde ljudi, odnosno oko 10 – 23% ukupnog broja ljudi (McGranahan, 2006; Wilbanks, 2007). Potapanje dijela obalnog prostora uslijed izdizanja morske razine može ugroziti ključne funkcije prostora za stanovanje i djelovanje ljudi u prostoru (Wilbanks, 2007). Osim stanovništva obalnih područja, porast

morske razine također ugrožava stambenu, prometnu i gospodarsku infrastrukturu (poljoprivredna zemljišta, šume, luke, turistička infrastruktura itd.), ali i zaštićena prirodna područja te izvore pitke vode (Nicholls, 2007; Wilbanks, 2007).

Kao moguće rješenje problema ugroženosti obalnih područja najčešće se navodi adaptacija, odnosno prilagodba na porast morske razine izgradnjom različitih zaštitnih sustava (Nicholls i Tol., 2006; Davidse i dr., 2015). Iako globalno obalna područja karakterizira velika gustoća naseljenosti, prostorna raspodjela stanovništva na obali nije ravnomjerna (Nicholls, 2002). Ni s aspekta socioekonomske valorizacije prostora nisu svi dijelovi obale podjednako važni. Velike dijelove obalnih područja karakterizira mala gustoća naseljenosti i slaba socioekonomska valorizacija. Kako bi se pristupilo pravovremenoj adaptaciji na posljedice porasta morske razine, potrebno je prije svega izdvojiti i prepoznati najugroženije obalne zone.

Sukladno s globalnom, srednja razina Jadranskog mora također je u porastu (Rezo, 2014; Šegota, 1996; Šegota, 1976). Praćenje promjena razine Jadranskog mora obavlja se s kraćim prekidima od početka 20. stoljeća na mareografima u Trstu, Splitu i Bakru. Sva tri navedena mareografa bilježe porast morske razine u odnosu na početak mjerenja (Šegota, 1976). Također, uz zabilježeno izdizanje morske razine, svakako treba uzeti u obzir i prisutne eustatske promjene na prostoru hrvatske obale. U ovom radu analizira se utjecaj porasta morske razine na hrvatski dio istočne jadranske obale. Prostor njezina hrvatskog dijela predstavlja specifičan transgresijski tip obale, koji je oblikovan izdizanjem morske razine u prošlosti. Najveći utjecaj na oblikovanje obale i obalnog reljefa Jadrana imale su promjene tijekom kvartara, kada je, među ostalim, gornjopleistocensko-holocenska transgresija uzrokovala podizanje morske razine od $121 \pm 5 \text{ m}$ (Fairbanks, 1989), čime je veći dio istočnojadranske obale poprimio recentni oblik. Istočnojadranska obala viša je i kamenitija od zapadne, s vrlo nepravilnim dnom čiji se nagib strmo povećava udaljavanjem od obale (Gačić i dr., 2001). Odlikuje se paralelnošću pružanja otoka, obale, geoloških i geomorfoloških struktura priobalja te je za takve obale u svijetu prihvaćen naziv *dalmatinski tip obale* (Fairbridge, 1968; Kelletat, 1995).

Iako je porast morske razine imao

ključnu ulogu u oblikovanju današnje hrvatske obale, malo je radova nastalo o temi utjecaja daljnjeg porasta morske razine na prostor hrvatske obale, no takvi će utjecaji zasigurno biti znatni. Zbog nedostatka podataka o posljedicama porasta morske razine na hrvatsku obalu, u ovom se radu naglasak stavlja upravo na analizu tih negativnih utjecaja.

2. PREGLED PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA / *Review of previous research*

Porast morske razine intenzivno se istražuje na globalnoj razini. Brojni radovi bave se modeliranjem mogućeg daljnjeg porasta morske razine tijekom 21. stoljeća. Uz modeliranje porasta morske razine, analiziran je i utjecaj ovog procesa na globalnoj razini. Li i dr. (2009) izradili su različite modele porasta morske razine na globalnoj razini te su analizirali njihov utjecaj na obalne zone i stanovništvo. Titus (1990) se bavi proučavanjem utjecaja porasta morske razine na obalne zone, gdje analizira na koje će se sve načine ovaj proces odraziti na pojedine segmente obale (urbane zone, stanovništvo, ekonomiju te zemljišni pokrov). Stanchev i dr. (2009) analizirali su posljedice porasta morske razine Crnog mora na zaljev Varna u Bugarskoj. Od radova koji se bave prostorom Jadranskog mora svakako treba izdvojiti onaj Gambolatiija i dr. (2002.) koji su s pomoću GIS-a napravili model inundacijskog rizika za prostor sjevernog dijela Jadranskog mora. Ipak, temeljita analiza utjecaja porasta morske razine na prostor hrvatskog dijela jadranske obale zasad nije napravljena.

Znatno više istraživanja provedeno je radi rekonstruiranja promjena razine Jadranskog mora. Sikora i dr. (2014) proučavali su paleoreljef Jadranskog mora prije porasta morske razine nakon završetka posljednjega glacijala, rekonstruiravši izgled obale i tokova rijeka Neretve i Cetine prije porasta morske razine od oko 100 m. Brojni autori bave se rekonstrukcijom promjena razine Jadranskog mora u prošlosti (Antonioni, 2003; Antonioni, 2009; Faivre i dr., 2010a i b; 2011; 2013; Surić, 2009; Surić i Juračić, 2010). Iako se radovi ovih autora bave rekonstrukcijom promjena morskih razina u prošlosti, oni su vrlo bitni za razumijevanje današnjih promjena morske razine te predstavljaju temelj za modeliranje promjena razine Jadranskog mora u budućnosti. Rezo i dr. (2014) na temelju analiziranja mareografskih podataka o Jadranskom moru iz razdoblja od 1953.

do 2006. godine također su zaključili da je porast razine Jadranskog mora prisutan i konstantan proces.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA / Research methodology

Radi analize mogućih posljedica porasta razine Jadranskog mora na hrvatski obalni prostor i njegove socioekonomske komponente izrađena su tri različita modela porasta morske razine. Izrađeni modeli temelje se na različitim procjenama za daljnji porast morske razine tijekom 21. stoljeća. Prvi model porasta morske razine od 1 m u odnosu na današnju razinu predstavlja najblaži model porasta morske razine, do kojega će, prema znanstvenim procjenama (IPCC, 2007; Church, 2013; Doyle, 2015; Li, 2009), najvjerojatnije doći tijekom 21. stoljeća. Sljedeći model obuhvaća porast morske razine za 3 m u odnosu na današnju razinu te predstavlja model srednje vjerojatnosti. Posljednji model porasta morske razine od 6 m u odnosu na današnju razinu predstavlja krajnji, najnepovoljniji model porasta morske razine. Za ostvarivanje tog modela trebala bi nastati nagla dezintegracija velikih dijelova ledenjačkog antarktičkog i grenlandskog ledenjačkog pokrova te znatno izdizanje morske razine na globalnoj razini (Bindschadler, 1998; Church, 2001; Church, 2013).

U izradi modela porasta razine Jadranskog mora koristili su se *Spatial analyst* ekstenzija ArcGIS softvera te javno dostupni digitalni model reljefa (DMR) prostorne rezolucije 30 x 30 m (EU DEM (URL 1)). Ovakva prostorna rezolucija dovoljna je za analize porasta morske razine regionalnog i globalnog karaktera (Li, 2009).

Generirane zone predstavljaju dijelove terena koji su niži od modela porasta morske razine, odnosno koji bi pri takvom porastu bili poplavljeni. Ove poplavne zone, osim samog obalnog područja, obuhvaćaju i depresije u neposrednoj blizini morske obale, ali bez direktne povezanosti s morem. Iako je zbog karakteristične podzemne propusnosti karbonatne podloge od koje je izgrađena većina hrvatske obale (Magaš, 2013) moguće pretpostaviti da bi i ove depresije bile potopljene, one su u ovom radu izostavljene. Zbog toga su generirane poplavne zone reklasificirane tako da predstavljaju samo prostor koji bi bio direktno poplavljen. Isti proces primijenjen je i za izdvajanje poplavnih zona na lokalnoj razini, na prostoru

Zadra. Poplavne zone generirane iz javno dostupnog DMR-a (URL 1) prostorne rezolucije 30 x 30 m nisu dovoljno precizne za analizu utjecaja porasta morske razine za Zadar. Kako bi se riješio problem nedovoljno preciznih poplavnih zona za analizu utjecaja, trebalo se koristiti detaljnijim DMR-om s krupnijom prostornom rezolucijom. Interpolacijom visinskih podataka dobivenih metodama aerofotogrametrije i stereorestitucije izrađen je precizniji DMR s prostornom rezolucijom od 15 x 15 m, iz kojega je bilo moguće izdvojiti vjerniju poplavnu zonu.

Na temelju triju izrađenih modela porasta morske razine obavljena je analiza utjecaja porasta razine Jadranskog mora na različite socioekonomske segmente hrvatske obale. Pretpostavljeno je da nisu svi dijelovi hrvatske obale u jednakoj mjeri ugroženi te se analizom utjecaja nastojalo izdvojiti najugroženije dijelove obale. U analizi utjecaja porasta morske razine na navedene segmente obalnog prostora koristili su se podaci iz Digitalnog atlasa Republike Hrvatske (2005) i Središnjeg registra prostornih jedinica (2009), kao i on prikupljeni vektorizacijom s različitim predložakima (digitalne ortofote snimke, topografske karte). U prvom redu analizira se utjecaj poplavnih zona na primorske administrativne jedinice, odnosno na županije, općine i naselja. Administrativne jedinice klasificirane su prema ugroženosti na temelju udjela površine poplavnih zona u ukupnoj površini jedinice te prema ukupnoj površini poplavnih zona koje se nalaze unutar administrativne jedinice. Jednako se analizira i utjecaj porasta morske razine na prometnu infrastrukturu obalne zone hrvatskog dijela Jadrana. Analiza utjecaja porasta morske razine na stanovništvo napravljena je na temelju udjela poplavljenih površina u ukupnoj površini urbanog tlocrta naselja. Pri tome je pretpostavljeno da je udio zahvaćenog stanovništva unutar naselja jednak udjelu poplavljenih površina naselja (primjerice, udio poplavnih zona u površini naselja = 30%; udio ugroženog stanovništva naselja = 30%). Nedostatak je ove metode u tome što ona pretpostavlja da je naseljenost unutar administrativne granice naselja kontinuirana, odnosno da je stanovništvo ravnomjerno raspoređeno unutar naselja, što u pravilu nije slučaj (URL 2). U nedostatku preciznijih podataka o prostornoj distribuciji stanovništva unutar naselja ova metoda trenutačno

daje najpreciznije podatke o broju ugroženog stanovništva.

Na temelju analiziranih kvantitativnih podataka o prostornom obuhvatu poplavnih zona te ugroženom stanovništvu i prometnoj infrastrukturi hrvatske obale izrađen je Indeks ugroženosti obalnih općina (I_u). Važnost je ovih triju komponenti obalnog prostora različita, stoga su navedenim varijablama s pomoću Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) određeni različiti težinski koeficijenti (w). AHP je multikriterijska analitička metoda koja različite varijable raspoređuje u hijerarhijsku strukturu, ovisno o njihovoj važnosti u odnosu na ostale varijable (Saaty, 1990). Pri tome se međusobno uspoređuje važnost svake varijable u odnosu na ostale ocjenjivanjem u parovima na temelju zadanih vrijednosti prema Saatyjevoj ljestvici. Kao rezultat ocjenjivanja važnosti varijabli u parovima, svakoj se varijabli određuje njezin težinski koeficijent (w), pri čemu suma težinskih koeficijenata svih varijabli mora biti 1 ($\sum w_n = 1$) (Saaty, 2008.). AHP se koristio za određivanje težinskih koeficijenata varijabli zbog njegove jednostavnosti i preciznosti te mogućnosti matematički utemeljene provjere ocjenjivanja vrijednosti varijabli na temelju koeficijenta konzistentnosti (CR). Njime se mjeri koliko je dosljedno bilo ocjenjivanje vrijednosti varijabli u parovima. Da bi dodijeljeni težinski koeficijenti bili valjani, CR mora biti manji od 0,1.

Svakako je najvredniji segment obalnog prostora njegovo stanovništvo, zbog čega je pri izradi Indeksa ugroženosti obalnih općina ono izdvojeno kao najvažnija varijabla ($w_1 = 0.6333$), dok su manji težinski koeficijenti dodijeljeni varijabli poplavljenih površina ($w_2 = 0.2605$) i varijabli ugroženosti prometne infrastrukture ($w_3 = 0.106$). Indeks ugroženosti obalnih općina (I_u) izračunat je na temelju sljedeće formule:

$$I_u = \sum (U_{St} * w_1)(U_{Pov} * w_2)(U_{Prom} * w_3)$$

Pri tome je I_u – indeks ugroženosti obalnih općina, U_{St} je udio ugroženog stanovništva općine u ukupnom stanovništvu općine, U_{Pov} je udio poplavljenih površina u ukupnoj površini općine, a U_{Prom} je udio ugroženih prometnica u ukupnoj prometnoj mreži općine. Težinski koeficijenti (w_1, w_2, w_3) pridruženi su pripadajućim varijablama. Zatim su dobivene vrijednosti I_u Jenksovoj

metodi klasifikacije klasificirane u tri klase (slaba, srednja i visoka ugroženost). Jenksova metoda klasifikacije odabrana je jer dijeli podatke na homogene klase s logički određenim granicama na osnovi Jenksova algoritma prirodnih granica. Prednost je te metode klasifikacije u tome što pri izradi koropletnih karata vrlo vjerno prikazuje prostornu distribuciju određene pojave (Brewer, 2002).

Zbog detaljnije generiranih poplavnih zona, na lokalnoj razini Zadra bilo je moguće provesti znatno konkretniju i precizniju analizu utjecaja porasta morske razine na sam grad. Prikupljanjem i obradom podataka s digitalnih ortofoto snimki dobiveni su različiti rezultati o obalnom prostoru Zadra. Vektorizirani su razni elementi socioekonomske strukture Zadra (škole, hoteli, crkve, restorani, stambeni objekti itd.). Koristili su se i podaci iz javno dostupnih baza podataka (Digitalni atlas Republike Hrvatske (2005), Središnji registar prostornih jedinica (2009) i Geofabrik (URL 4)). Na temelju generiranih poplavnih zona i prikupljenih podataka analizira se utjecaj porasta razine Jadranskog mora na Zadar. U prvom se redu analizira utjecaj poplavnih zona na stanovništvo Zadra, pri čemu je analiziran ukupan broj ugroženog stanovništva te ugroženo stanovništvo po gradskim četvrtima. Za određivanje ukupnog broja ugroženog stanovništva iskoristile su se generirane poplavne zone i podaci o broju stanovnika po svakom geoobjektu u Zadru. Geoobjektima je

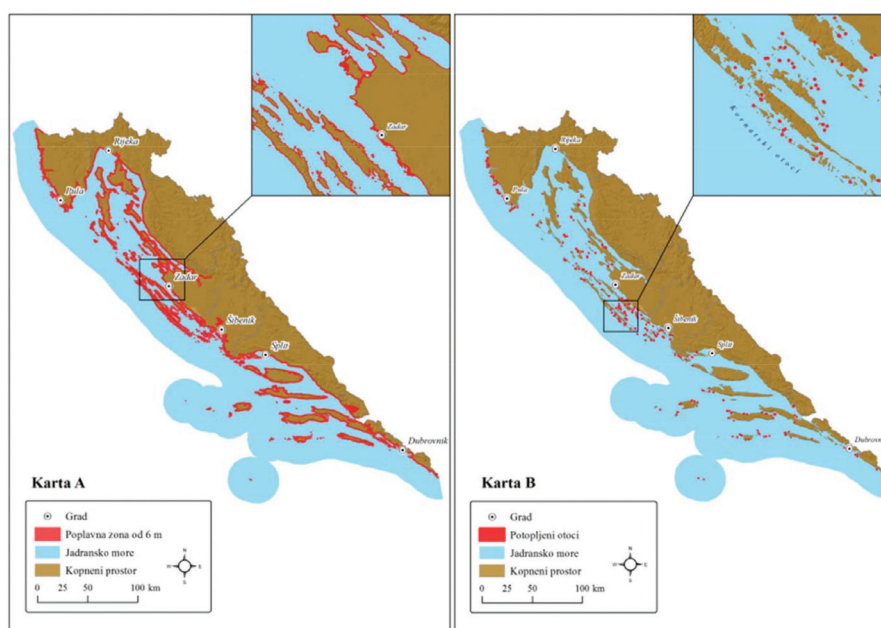
aproksimiran broj stanara prema broju stambenih katova i prosječnom broju stanara po stanu u Zadru. Ukupan broj ugroženog stanovništva određen je prema broju stanovnika u geoobjektima koji se nalaze unutar poplavne zone. Također, kao i na regionalnoj razini, i za Zadar je analiziran utjecaj poplavnih zona na prometnu, stambenu i gospodarsku infrastrukturu. Na temelju analize utjecaja dobivenih kvantitativnih podataka o razmjerima ugroženosti Zadra napravljena je ekonomska procjena šteta nastalih izdizanjem razine Jadranskog mora. Procjena ekonomske štete napravljena je za ugrožene stambene objekte, tako da se ukupna površina (m^2) ugroženih stambenih jedinica pomnožila s prosječnom vrijednosti m^2 stambenog objekta u Zadru (URL 5). Ekonomska šteta za potopljene škole i hotele izračuna je na temelju ukupne površine (m^2) ugroženih hotela i škola u gradu Zadru te prosječne cijene izgradnje ovakvih objekata (Hanžek, 2005). Podaci o ukupnoj površini hotela i škola u Zadru dobiveni su vektorizacijom tih objekata s digitalnih ortofoto snimki. Procjena ekonomske štete za prometnice određena je na temelju ukupne dužine potopljenih prometnica i ukupnih ulaganja potrebnih za izgradnju i održavanje 1 km javne ceste. Pri tome su troškovi izgradnje i održavanja 1 km javne ceste određeni na temelju kvocijenta ukupnih predviđenih financijskih ulaganja u javne ceste u razdoblju od 2013. do 2016. godine i ukupne dužine javnih cesta (URL 3).

4. REZULTATI I RASPRAVA / Results and discussion

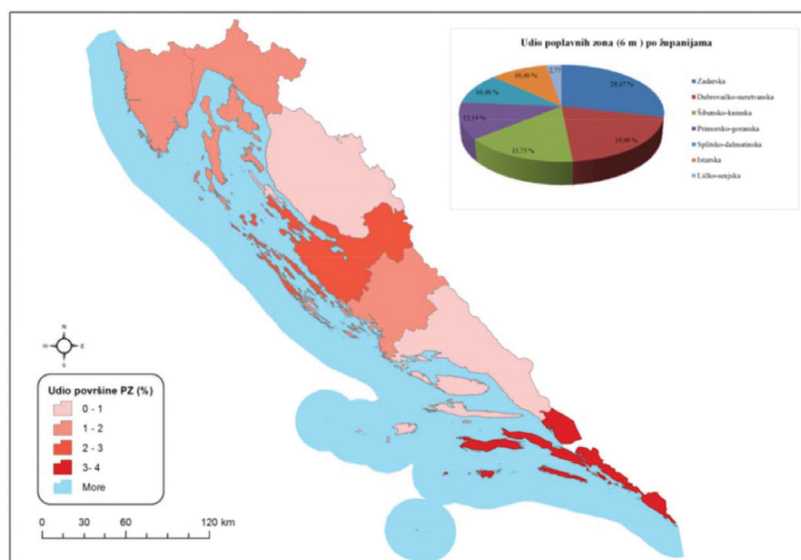
4.1. Utjecaj porasta morske razine na hrvatsku obalu / The sea level-rise impact on the Croatian coast

Analizom utjecaja porasta razine Jadranskog mora obuhvaćene su samo izravne posljedice porasta morske razine na užu obalnu zonu hrvatskog dijela istočnog Jadrana. One uključuju izravno potapanje dijela obalnog prostora i negativni utjecaj na sve socioekonomske komponente potopljenog prostora. S druge strane, neizravne posljedice porasta morske razine mogu zahvaćati puno širi prostor od same poplavne zone te u znatno većoj mjeri mogu utjecati na stanovništvo i infrastrukturu obalnog područja (Nicholls, 2002). Pretpostavka je da bi stvarni utjecaj poplavnih zona uvelike utjecao i na funkcioniranje prostora izvan samih poplavnih zona, no zbog kompleksnosti takve analize ona je izostavljena iz ovog rada.

Porast razine Jadranskog mora utječe na cijeli prostor hrvatske obale (Slika 1. Karta A). Zbog negativnih reljefnih predispozicija (primjerice, položena, niska obalna područja ili riječna ušća) te veće koncentracije socioekonomskih komponenti prostora određena su obalna područja znatno ugroženija. Radi diferenciranja najugroženijih područja hrvatske obale obavljena je analiza prostornog obuhvata i utjecaja poplavnih zona, i to na razini županija, općina i naselja.



Slika 1. Prikaz utjecaja poplavne zone od 6 m na hrvatsku obalu (Karta A) i prikaz otoka potopljenih porastom morske razine od 6 m (Karta B)
Figure 1 An overview of the 6m flood zone impact on the Croatian coast (Map A) and an overview of islands flooded due to the 6m sea-level rise (Map B)



Slika 2. Primorske županije prema ugroženosti porastom morske razine za 6 m
Figure 2 Seashore counties according to the 6m sea level-rise vulnerability

4.1.1. Prostorni obuhvat poplavnih zona na hrvatskoj obali / Spatial coverage of the floodplains along the Croatian coast

Pri porastu morske razine za 1 m u odnosu na današnju poplavne zone prekrivaju 152,6 km² hrvatske obale. Najugroženije su županije Dubrovačko-neretvanska, gdje se po ugroženosti ističe dolina rijeke Neretve, Zadarska s prostorom Ravnih kotara te Šibensko-kninska s prostorom uz Kanal Sv. Ante (Jadrija) i ušćem rijeke Krke (Prokljansko jezero, Šibenski kanal). Porastom morske razine od 1 m bila bi zahvaćena 302 naselja na hrvatskoj obali, od kojih bi u 10 naselja bilo poplavljeno više od 50% ukupne površine. Naselja Buk-Vlaka i Pržinovac pri ovakvom bi porastu morske razine bila potpuno poplavljena. Također, izdizanje morske razine od 1 m potopilo bi 193 nenaseljenih hridi i otočića.

S izraženijim podizanjem morske razine povećava se i prostorni obuhvat poplavnih zona. Tako pri modelu porasta od 3 m površina poplavnih zona iznosi 230,3 km². Pri ovakvom porastu morske razine znatno je izraženiji prodor mora kroz ušća i doline primorskih rijeka, ali i preplavlivanje nižih dijelova obale. Najugroženija je županija Dubrovačko-neretvanska, kojoj poplavne zone prekrivaju 2,9% ukupnog teritorija i gdje su ugrožena 59 naselja. Slijedi Zadarska županija s 1,75% poplavljenog teritorija i ukupno 58 ugroženih naselja. Ukupan je broj ugroženih naselja na hrvatskoj obali 311, od čega je u 18 naselja poplavljeno više od 50% površine. U potpunosti bi bilo

potopljeno 6 naselja (Betina i Krapanj u Šibensko-kninskoj županiji te Buk-Vlaka, Vlaka, Pržinovac i Sreser u Dubrovačko-neretvanskoj županiji). Ovakav porast morske razine utjecao bi na potapanje 225 otočića i hridi, među kojima se nalazi i naseljeni otočić Krapanj, u Šibensko-kninskoj županiji. Otočić Krapanj je najmanji i najniži naseljeni hrvatski otok sa samo 170 stanovnika.

Porast morske razine za 6 m uzrokuje najveći prostorni obuhvat poplavnih zona, koje na prostoru hrvatske obale obuhvaćaju 357,8 km². Takav porast morske razine znatno utječe na preoblikovanje krajolika i obale. Pri takvom porastu razine Jadranskog mora čak 319 otočića i hridi (od ukupno 1246 na prostoru hrvatskog dijela Jadrana (Duplanić, 2004)) bilo bi u potpunosti ispod morske razine (Slika 1. Karta B). Najugroženije županije su, kao i pri porastu morske razine slabijeg intenziteta, Dubrovačko-neretvanska (poplavljeno 4,01% teritorija županije), Zadarska (poplavljeno 2,7% teritorija županije) i Šibensko-kninska (poplavljeno 1,88% teritorija županije) (Slika 2.). Ukupno su ugrožena 323 naselja, od kojih je kod njih 38 poplavljeno više od 50% površine, dok je čak devet naselja u potpunosti potopljeno. Od 357,8 km² ukupne površine poplavnih zona na prostoru hrvatske obale, najviše (28,47%) se nalazi u Zadarskoj županiji, a zatim slijede Dubrovačko-neretvanska (19,99%) i Šibensko-kninska (15,75%). Iako je pri svim trima modelima porasta morske razine po udjelu površine

poplavnih zona u ukupnoj površini općine najugroženija Općina Opuzen (20,2 km² poplavne zone, odnosno 84% površine općine), ukupnom površinom poplavnih zona najugroženija je Općina Zadar, unutar koje površina poplavnih zona iznosi 22,6 km², ali zbog velike ukupne površine općine (193,8 km²) udio površine poplavnih zona u ukupnoj površini općine relativno je malen (11,6% površine općine).

4.1.2. Ugroženost stanovništva hrvatskog obalnog prostora / Vulnerability of population in the Croatian coastal region

Veća koncentracija stanovništva u potencijalno ugroženim područjima čini društvo izloženim i ranjivim, naročito u obalnim područjima, te se u svijetu sustavno bilježi vrlo velik broj ljudskih žrtava te velike materijalne i ekonomske štete uzrokovane katastrofalnim događajima. Samo u razdoblju 2005. – 2015. godine više od 1,5 milijardi ljudi izravno ili neizravno bilo je pogođeno katastrofalnim događajima (UN, 2015). Među značajnijima su poplave, uzrokovane obilnim oborinama i olujnim nevremenom¹, no one mogu biti i posljedica izdizanja morske razine, plimnih valova, uspora i slično (Kleinosky i dr., 2007). Prema Nichollsu (2004), mnogi veliki gradovi te više od 50% svjetske populacije nalaze se u nizinama, čime

¹ Između 1995. i 2015. godine poplave su utjecale na život 2,3 milijarde ljudi, što čini 56% svjetske populacije ugrožene katastrofom uzrokovanom prirodnim čimbenikom, znatno više nego bilo koje druge vrste vremenski vezanih katastrofa (UNISDR, 2016).

su potencijalno ranjivi na porast razine mora.

Različiti modeli porasta razine Jadranskog mora u različitoj mjeri utječu na priobalna naselja i stanovništvo. Prema generiranim poplavnim zonama, ukupan broj ugroženog stanovništva kreće se od 54.910 stanovnika za porast od 1 m, 84.658 stanovnika za porast od 3 m i u konačnici čak 134.996 stanovnika za porast morske razine od 6 m. Pri porastu morske razine od 1 m ugroženo je 6,26% od ukupno 876.621 stanovnika u ukupno 302 zahvaćena priobalna naselja, dok pri značajnijem porastu morske razine raste broj zahvaćenih naselja i stanovnika. Tako je pri porastu morske razine od 3 m ugroženo 9,64% od ukupno 877.749 stanovnika u 311 zahvaćenih primorskih naselja. Poplavna zona uzrokovana porastom morske razine od 6 m ima najveći prostorni obuhvat, pa je tako pri takvom porastu morske razine ugroženo 15,28% od ukupno 883.330 stanovnika u 323 zahvaćena priobalna naselja.

Među 10 najugroženijih naselja nalazi se još nekoliko većih primorskih gradova (Slika 3.). Također, primjetno je kako je Zadar po broju ugroženih stanovnika najugroženije priobalno naselje pri svim trima modelima porasta morske razine. Ipak, nisu sva priobalna naselja i općine ugrožena porastom razine Jadranskog mora, čak ni pri modelu porasta razine mora od 6 m. Naime, od ukupno 129 općina na hrvatskoj obali, porastom morske razine od 6 m ugroženo je njih 111, dok se u 18 općina naselja nalaze u neposrednoj blizini mora, ali na prirodnim uzvišenjima, zbog kojih su u potpunosti izvan poplavnih zona.

Većina priobalnih naselja (njih 11) koja su smještena izvan poplavnih zona nalazi se u Istarskoj županiji.

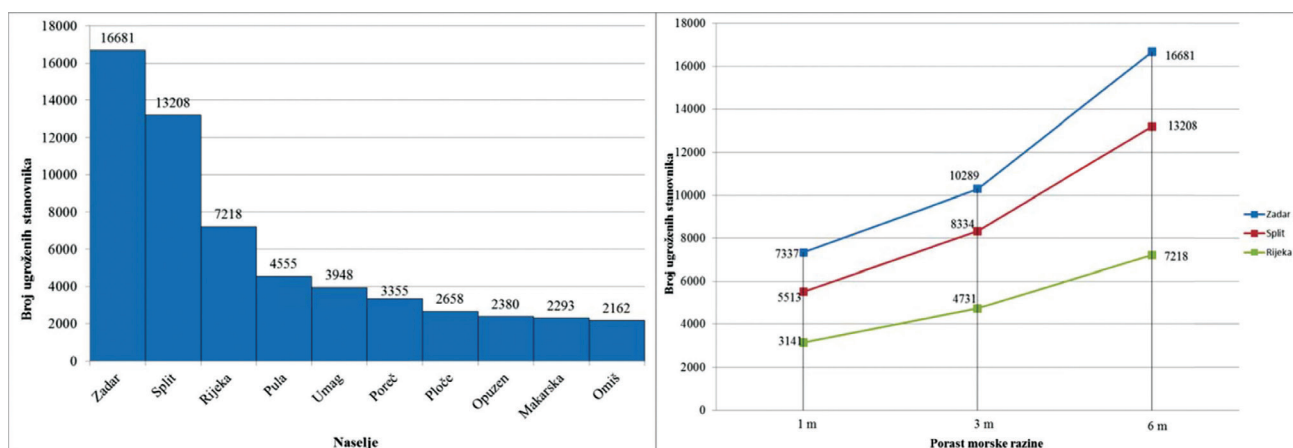
4.1.3. Ugroženost prometne infrastrukture hrvatskog obalnog prostora / Vulnerability of the transport infrastructure in the Croatian coastal region

Osim na stanovništvo, porast morske razine imat će velik utjecaj i na prometnu infrastrukturu. Na globalnoj razini predviđeni porast razine mora, koji je povezan s povećanjem učestalosti i intenziteta olujnih udara i pojave poplava, može dovesti do prekida u infrastrukturi i do promjena u putničkom i teretnom prometu (Koeste i Rietveld, 2009). Analiza utjecaja porasta morske razine na prometnu infrastrukturu obavljena je jer je prometna infrastruktura važan segment obalnog prostora, koji omogućuje prostorne cirkulacije stanovništva i transport dobara (Revi, 2014). Izravni negativni utjecaj porasta morske razine na cestovni sustav vidljiv je u potapanju dijela cestovne mreže. Na prostoru sedam primorskih hrvatskih županija ukupna dužina cestovne mreže iznosi 55.317 km (URL 4). Pri porastu morske razine od 1 m ukupna dužina poplavljenih cesta iznosi 1.242 km, odnosno oko 2,24%. Pri modelu porasta morske razine od 6 m ukupna dužina potopljenih cesta povećava se na 2.761 km, odnosno oko 4,9% svih prometnica. Indirektni negativan utjecaj na cestovnu mrežu veže se za prekinutu i/ili otežanu povezanost uslijed poplavljanja dijela prometnica. U samom užem obalnom prostoru nalazi se velik broj važnih prometnica koje

omogućuju prometovanje duž obale. Tako se, primjerice, unutar poplavne zone od 6 m nalazi čak 144,7 km državnih, 76,3 km županijskih te 654 km lokalnih cesta. Državne i županijske ceste važne su jer omogućuju prometovanje i povezivanje različitih naselja, ali i zato što se njima odvija najveći dio prometa. Prekidanje tog dijela prometne infrastrukture utjecalo bi na lošije funkcioniranje cijelog prometnog sustava na županijskoj i regionalnoj razini te na nužnost preusmjeravanja prometa i izgradnje novih prometnica. Ovdje posebno treba istaknuti ugroženost državne ceste D8, poznate i kao Jadranska magistrala, koja povezuje sjeverni i južni dio hrvatskog Jadrana. Ta prometnica prolazi u neposrednoj blizini mora, zbog čega i ne začuđuje da je 74,5 km (odnosno 11,5% od ukupne dužine od 643,8 km) unutar poplavne zone. Prema ukupnoj duljini poplavljenih prometnica, ističu se općine Zadar, sa 144,7 km potopljenih prometnica, i Opuzen, sa 116,3 km potopljenih prometnica.

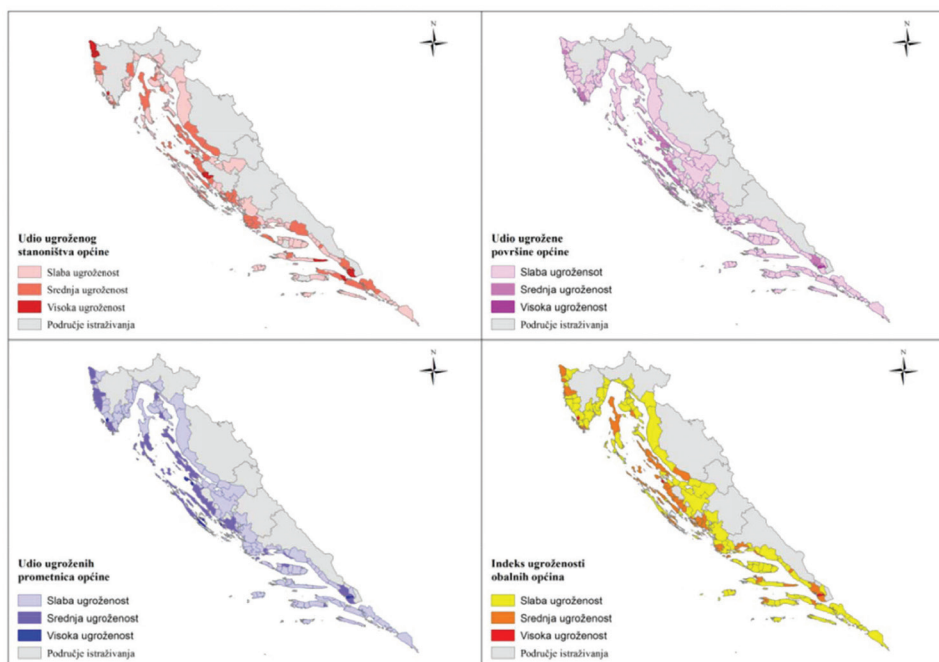
4.1.4. Indeks ugroženosti obalnih općina (I_v) / Coastal municipalities vulnerability index

Podaci o površini poplavnih zona, ugroženom stanovništvu te ugroženim prometnicama, koji su dobiveni analizom prostornog obuhvata i utjecaja poplavnih zona na prostor hrvatske obale, iskoristili su se za izradu Indeksa ugroženosti obalnih općina (Slika 4.). Indeks ugroženosti obalnih općina (I_v) omogućuje diferencijaciju hrvatske obale na razini općina s obzirom na intenzitet ugroženosti od porasta morske razine.



Slika 3. Najugroženija priobalna naselja pri porastu morske razine od 6 m (Grafikon A) i procjena utjecaja porasta morske razine na broj ugroženih stanovnika u trima najvećim priobalnim naseljima (Grafikon B)

Figure 3 The most vulnerable coastal settlements with a 6m sea level-rise (Graph A) and the sea level-rise impact assessment on the number of vulnerable population in the three largest coastal settlements (Graph B)



Slika 4. Indeks ugroženosti obalnih općina (I_u)
 Figure 4 Coastal municipalities vulnerability index (I_u)

Prednost je Indeksa nad zasebnim varijablama u tome što određuje ugroženost pojedine općine na temelju viševarijabli te time daje znatno potpuniju sliku o ugroženosti općine. Općine su podijeljene prema vrijednostima I_u na tri klase (slabo ugrožene, srednje ugrožene i visoko ugrožene općine). Najugroženije su općine, prema I_u , one koje su smještene na nižim, položajnijim dijelovima obale, zbog kojih je veći dio površine općine unutar poplavne zone, te one kojima su koncentracija stanovništva i gustoća prometne mreže najveće uz samu nisku obalu mora. Prema I_u , najugroženija je općina na hrvatskoj obali Opuzen ($I_u = 0,87$). Općina Opuzen smještena je na izrazito niskom dijelu doline rijeke Neretve te je čak 84% površine općine unutar poplavne zone od 6 m. Većina naselja, kao i veći dio prometne infrastrukture smješteni su unutar poplavne zone, zbog čega su udjeli ugroženog stanovništva (89%) i ugrožene prometne infrastrukture (85%) također vrlo visoki.

Od ugroženijih općina treba istaknuti još i Privlaku ($I_u = 0,66$), Fažanu ($I_u = 0,52$) te Novigrad ($I_u = 0,37$). Među većim gradovima na hrvatskoj obali kao najugroženiji grad svakako se ističe Zadar ($I_u = 0,19$), kod kojega je na teritoriju cijele administrativne jedinice ugroženo ukupno 17.215 stanovnika (22,9%

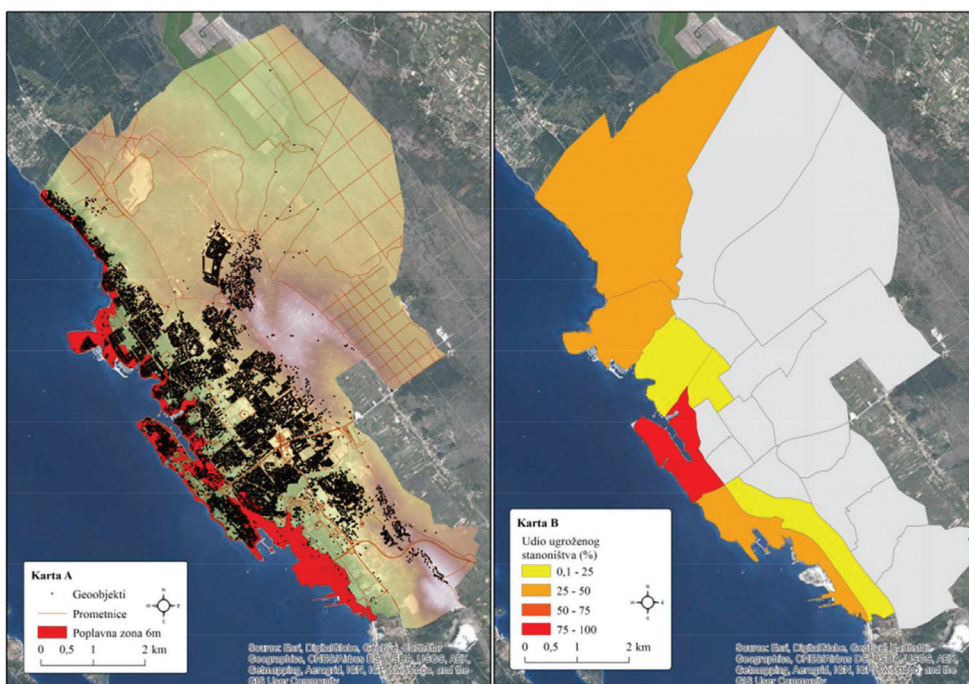
svih stanovnika općine), a poplavljeno je 144,5 km prometnica (19,1% svih prometnica u općini), što je više nego u bilo kojoj drugoj općini na hrvatskoj obali. Dobiveni indeksi govore nam da nisu svi dijelovi hrvatske obale u jednakoj mjeri ugroženi, već da ugroženost varira od općine do općine. Također, postoji korelacija između svih triju analiziranih varijabli u gotovo svim najugroženijim općinama.

4.2. Utjecaj porasta morske razine na Zadar / The sea level-rise impact on Zadar

Zadar je odabran za detaljniju analizu utjecaja porasta razine Jadranskog mora jer se u analizi na razini cijele hrvatske obale istaknuo po ugroženosti stanovništva i velikoj površini poplavnih zona u užem obalnom prostoru. Prema broju ugroženih stanovnika, Zadar se istaknuo kao najugroženiji grad pri svim trima modelima porasta razine Jadranskog mora. Smješten je na niskom, zaravnjenom priobalnom dijelu Ravnih kotara, između Ugljansko-pašmanskog kanala na JZ i viših dijelova Ravnih kotara na SI. Velik dio grada smješten je unutar niske i zaravnjene obalne zone, dok se rubne gradske četvrti postupno uspinju prema Ravnim kotarima do nadmorske visine iznad 100 m. Upravo zbog svog smještaja na niskoj obali uz Jadransko

more, veliki dijelovi grada nalaze se unutar poplavnih zona uzrokovanih porastom mora za 1,3 ili 6 m. Iako je grad ugrožen pri svim trima modelima porasta razine Jadranskog mora, za analizu utjecaja odabran je najekstremniji model od 6 m jer prikazuje najintenzivniji model porasta morske razine. Ipak, prilikom generiranja poplavnih zona iz DMR-a prostorne rezolucije 30 x 30 m uočeno je da generirane poplavne zone nisu valjane. Prilikom generiranja poplavne zone od 6 m gradske zidine stare gradske jezgre Zadra bile su potopljene, dok je njihova stvarna visina oko 10 m, zbog čega bi se trebale nalaziti iznad poplavne zone. Izradom DMR-a s većom prostornom rezolucijom (kako je objašnjeno u metodologiji) riješen je taj problem. Korištenjem preciznijim podacima primijećeno je da se na području četvrti Poluotok i Arbanasi nalaze dva prirodna uzvišenja, koja se na sitnijem DMR-u (30 x 30 m) nisu vidjela.

Na prostoru Zadra površina poplavne zone uzrokovane porastom morske razine od 6 m iznosi 3,81 km², odnosno 7,26% ukupne površine grada (Slika 5. Karta A). Taj je broj posebno značajan ako se u obzir uzme da poplavljeno područje obuhvaća najgušće naseljene četvrti grada (Poluotok, Voštarnica, Jazine itd.), dok u ukupnu površinu ulaze i velike rubne, slabije naseljene četvrti.



Slika 5. Prikaz utjecaja porasta morske razine od 6 m na Zadar (Karta A) i udio ugroženog stanovništva po zadarskim gradskim četvrtima (Karta B)

Figure 5 An overview of the 6m sea level-rise impact on Zadar (Map A) and the share of vulnerable population in the quarters of Zadar

Analizom utjecaja poplavne zone na geoobjekte utvrđeno je kako se 2.071 geoobjekt nalazi unutar poplavne zone, što je čak 14,95% svih geoobjekata u Zadru. Prema toj procjeni, ugroženo je 13.248 stanovnika, odnosno oko 18,54% ukupnog broja stanovnika grada. Među 9 gradskih četvrti koje su zahvaćene utjecajem porasta morske razine intenzitet utjecaja nije jednak (Tablica 1.). Po broju ugroženih stanovnika ističu se četvrti oko užeg centra grada (Slika 5. Karta B). Gradska četvrt Poluotok ima najveći broj ugroženih stanovnika (3.718), gdje je čak 95,99% stanovnika unutar poplavne zone. Izvan poplavne zone nalazi se samo manji dio četvrti, koji je smješten na prirodnom uzvišenju. Sljedeća je gradska četvrt po ugroženosti Jazine I., koja je smještena uz

nisku obalu uvala Jazine. U četvrti Jazine I. ugroženo je 3.042 stanovnika, odnosno 87,36%. Gradska četvrt Voštarnica treća je četvrt grada po broju ugroženih stanovnika (2.889) te je također smještena uz uvalu Jazine, ali se ipak znatan dio četvrti nalazi izvan poplavne zone. Kod ostalih gradskih četvrti koje su zahvaćene porastom mora od 6 m, poplavljen je samo dio, pa je i udio ugroženog stanovništva manji. Prema podacima o biološkoj strukturi stanovništva, na primjeru dviju gradskih četvrti analiziran je utjecaj porasta morske razine na različite dobne skupine. Čak 30% stanovništva četvrti Poluotok i 33% stanovništva četvrti Voštarnica spada u najugroženije skupine mladog (0 – 18) i starog (65 +) stanovništva (Šiljeg, S., 2016). Ako se analizira utjecaj poplavne

zone na geoobjekte, tada se opet kao najugroženije četvrti ističu Poluotok (93,17%), Jazine I. (78%) i Voštarnica (66,89%). Gotovo 40% svih objekata četvrti Poluotok izgrađeno je prije 1945. godine, dok je čak 94% svih objekata te četvrti izgrađeno prije 1970. godine. U četvrti Voštarnica objekti su nešto noviji, ali je ipak većina njih izgrađena prije 1980. godine. Stariji stambeni objekti gradili su se prema slabijim građevinskim standardima te su često znatno manje otporni na prirodne katastrofe. Ti podaci pokazuju u kolikoj su mjeri ugroženi stanovništvo i infrastruktura Zadra. Gotovo 1/5 stanovništva grada pri ovakvom podizanju morske razine ostala bi bez mjesta stanovanja, što bi iziskivalo preseljenje ugroženog stanovništva.

Tablica 1 Utjecaj porasta morske razine od 6 m na stanovništvo Zadra
Table 1. The 6m sea level-rise impact on the inhabitants of Zadar

Redni broj	Gradska četvrt	Ukupan broj stanovnika	Broj ugroženih stanovnika	Udio ugroženih stanovnika (%)	Ukupan broj geoobjekata	Poplavljeni geoobjekti	Udio poplavljenih geoobjekata (%)
-	Grad Zadar	71469	13248	18,54	13856	2071	14,95
1.	Poluotok	3873	3718	95,99	498	464	93,17
2.	Jazine I	3482	3042	87,36	250	195	78,00
3.	Voštarnica	3622	2889	79,77	293	196	66,89
4.	Puntamika	3791	1101	29,03	1195	332	27,78
5.	Arbanasi	2168	913	42,12	854	331	38,76
6.	Diklo	2002	676	33,78	814	275	33,78
7.	Brodarica	7733	612	7,91	1522	161	10,58
8.	Ričina	3722	288	7,75	658	114	17,33
9.	Maslina	3469	10	0,30	437	3	0,69

4.2.1. Procjena ekonomske štete pri porastu morske razine za 6 metara / *Economic damage assessment in terms of 6m sea level-rise*

Kvantitativni podaci dobiveni analizom utjecaja porasta razine Jadranskog mora iskoristili su se za procjenu ekonomske štete koju bi porast morske razine od 6 m prouzročio na prostoru Zadra. Naime, klimatske promjene koje se prvenstveno očituju u mijenjanju klimatskih obrazaca (globalni porast temperature, suše, poplave, izdizanje morske razine), imaju vrlo velik utjecaj na turizam i poljoprivrednu proizvodnju te gospodarstvo u cjelini. U razdoblju 2005. – 2015. ukupni ekonomski gubitak uzrokovan prirodnim katastrofama bio je veći od 1,3 trilijuna dolara (UN, 2015). Na temelju podataka o broju i površini potopljenih geobjekata u Zadru te prosječnoj cijeni izgradnje moguće je izraditi grubu procjenu ekonomske štete nastale uslijed poplavlivanja stambenih objekata.

Uslužni sektor djelatnosti snažno dominira u gospodarskoj strukturi Zadra. Prema podacima iz 2014. godine, Zadar je posjetilo ukupno 392.332 turista te je ostvareno 1,428.425 noćenja (Miočić i dr., 2016). Turistička infrastruktura (hoteli, hosteli, apartmani itd.) ključni su za prihvat brojnih turista. Za primjer utjecaja porasta morske razine na turističku infrastrukturu analiziran je utjecaj na veće hotele Zadra. Ako se u obzir uzme

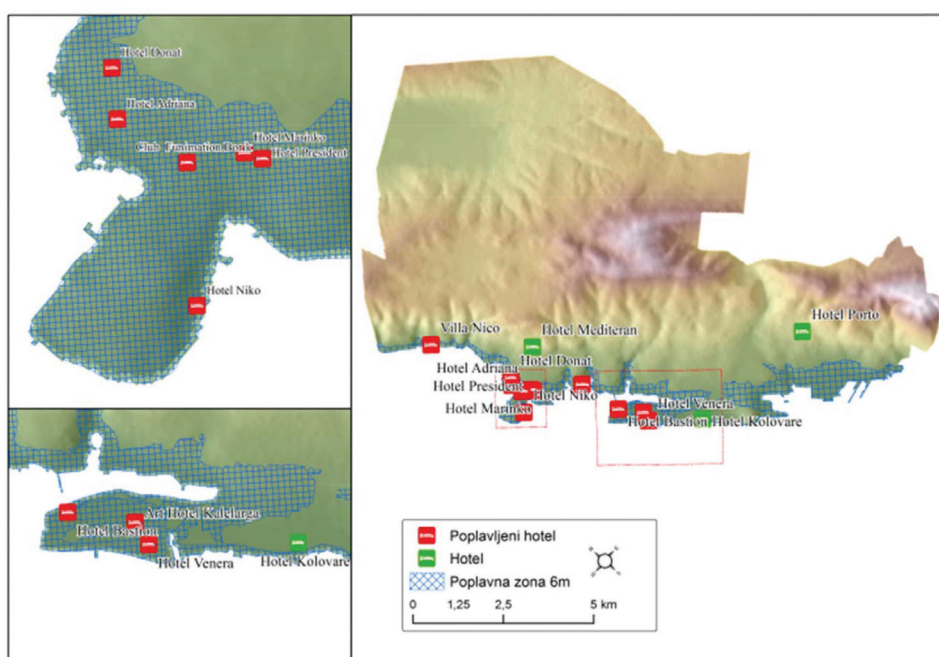
dnevna potrošnja turista s obzirom na smještaj u kojemu odsjedaju, tada turisti koji odsjedaju u hotelima spadaju u kategoriju najvećih potrošača (Miočić i dr., 2016). Od ukupno 14 većih hotela u Zadru, čak se 11 nalazi unutar poplavne zone (Slika 6.). Izvan poplavne zone nalaze se dva hotela koja su smještena na rubnim, višim dijelovima grada te jedan hotel smješten u užem obalnom prostoru, ali na prirodnom uzvišenju.

Od ukupnog smještajnog kapaciteta u većim hotelima Zadra, koji trenutačno iznosi 1.063 sobe, unutar poplavne zone nalaze se 723 sobe, odnosno 68% ukupnog smještajnog hotelskog kapaciteta. Valja napomenuti kako su iz ove analize izdvojeni mali, obiteljski hoteli. Ukupna površina 11 ugroženih hotela iznosi 17.133 m², dok je prosječna cijena izgradnje hotela 5.900 €/m², iz čega proizlazi da je ukupna šteta hotelske infrastrukture Zadra 101,084.700 €. Ako se tome iznosu doda prosječna cijena noćenja u hotelu u Zadru koja iznosi 140 € x 723 potopljene sobe, to je gubitak od 101.220 € po danu.

Među važnijim zahvaćenim javnim objektima ističu se zadarske osnovne i srednje škole. Porast morske razine od 6 m utjecao bi na poplavlivanje četiriju srednjih i dviju osnovnih škola, odnosno bilo bi zahvaćeno 28,5% svih osnovnoškolskih i srednjoškolskih obrazovnih ustanova u Zadru. Također, poplavlivanjem tih škola bilo bi

pogođeno 679 osnovnoškolskih te 1.309 srednjoškolskih učenika, za koje bi se trebala organizirati alternativna lokacija održavanja nastave. Procijenjena ekonomska šteta za dvije ugrožene osnovne škole iznosi 9,182.600 € (1.874 m² potopljene površine škola x 4.900 €/m² cijena izgradnje osnovne škole), odnosno 10,767.300 € za četiri ugrožene srednje škole. Ukupna procijenjena šteta na zadarskim obrazovnim ustanovama tako iznosi gotovo 20,000.000 €.

Ukupna ekonomska šteta procijenjena na temelju analiziranih socioekonomskih segmenata Zadra iznosi 646,623.052 €, odnosno 4,849.672.890 kn. Ako se u obzir uzme da godišnji proračun Grada Zadra iznosi oko 378,000.000 kn (URL 6), moguće su procijenjene štete gotovo 12 puta veće. Treba imati na umu da su u procjenu ekonomske štete uključeni samo direktno ugroženi dijelovi grada, dok bi stvarni utjecaj porasta morske razine bio vjerojatno i znatno širi. Na primjer, pri procjeni ekonomskih učinaka klimatskih promjena na lokalnoj razini u Kopenhagenu (Danska), u slučaju porasta srednje razine mora za 1 m, ukupna direktna i indirektna šteta procijenjena je na 8 milijardi eura (Hallegatte i dr., 2011), a svakim daljnjim porastom morske razine značajno i gotovo eksponencijalno raste direktna i indirektna materijalna šteta. Također, treba naglasiti da su u procjenu ekonomske štete uključeni samo određeni elementi socioekonomske strukture



Slika 6. Utjecaj poplavne zone od 6 m na hotele Zadra
Figure 6 The 6m flood zone impact on hotels in Zadar

Zadra obrađeni u ovom istraživanju te bi za potpunu procjenu trebalo obuhvatiti znatno više različitih segmenata grada koji bi bili preplavljeni morem (bolnice, Sveučilište, restorani, muzeji itd.) te brojne druge indirektno čimbenike.

5. ZAKLJUČAK / Conclusion

Izrađeni modeli porasta morske razine i provedena analiza utjecaja potvrdili su postavljenu hipotezu da nisu svi dijelovi hrvatske obale ugroženi u jednakoj mjeri. Zahvaljujući izrađenom Indeksu ugroženosti obalnih općina (I_{ν}) moguće je diferencirati najugroženije općine prema kriterijima poplavljenih površina, ugroženog stanovništva i prometne infrastrukture. Kao najugroženiji dio hrvatske obale istaknule su se općine smještene na njezinim nižim dijelovima, s naseljima i prometnom infrastrukturom smještenom uz samo Jadransko more. Najugroženija je općina na hrvatskoj obali, prema I_{ν} Opuzen, a najugroženiji veći grad na hrvatskoj obali Zadar. Detaljnija analiza provedena na prostoru Zadra, kao jednog od najugroženijih dijelova hrvatske obale, pokazala je da bi porast morske razine od 6 m u velikoj mjeri utjecao na stanovništvo i na ekonomsku strukturu grada. Također, ova je analiza primjer utjecaja porasta morske razine na veći grad i njegove socioekonomske segmente. Prikupljanje i analiza preciznijih podataka o hrvatskom obalnom prostoru u daljnjim istraživanjima treba težiti kompleksnijoj analizi utjecaja, koja će uključiti znatno više socioekonomskih segmenata hrvatskog obalnog prostora. Time će se stvoriti kvalitetna podloga za kompleksnu procjenu ugroženosti obalnih dijelova Hrvatske te pronalaženje adekvatnih preventivnih i zaštitnih mjera.

LITERATURA / References

[1] Antonellini, M.; Mollema, P.; Giambastiani, B.; Bishop, K.; Caruso, L.; Minchio, A.; Pellegrini, L.; Sabia, M.; Ulazzi, E.; Gabbianelli, G. (2008). Salt water intrusion in the coastal aquifer of the southern Po Plain". *Hydrogeology Journal*, Vol. 16, pp. 1541-1556. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0319-9>

[2] Antonioli, F. (2003). Sea-level changes in Italy during last 300 ka. – A review". *Biogeographia*, Vol. 24, pp. 24-32. <https://doi.org/10.21426/b6110126>

[3] Antonioli, F. et al. (2009). Holocene relative sea-level changes and vertical movements along the Italian and Istrian coastlines". *Quaternary International*, Vol. 206, No. 1-2, pp. 102-133. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.11.008>

[4] Bindschadler, R. A. (1998). Future of the west Antarctic ice sheet". *Science*, Vol. 282, pp. 428-429. <https://doi.org/10.1126/science.282.5388.428>

[5] Brewer, C. A.; Pickle, L. (2002). Evaluation of Methods for Classifying Epidemiological Data on Choropleth Maps in Series". *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 92, pp. 662-681. <https://doi.org/10.1111/1467-8306.00310>

[6] Chang, S. W.; Clement, T. P.; Simpson, M. J.; Lee, K.-K. (2011). Does sea-level rise have an impact on saltwater intrusion?". *Advances in Water Resources*, Vol. 34, No. 10, pp. 1283-1291. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2011.06.006>

[7] Church, J. A.; Gregory, J. M.; Huybrechts, P.; Kuhn, M.; Lambeck, K.; Nhuan, M. T.; Qin, D.; Woodworth, P. L. (2001). Changes in Sea Level". In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D. J.; Noguer, M.; van der Linden, P. J.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson, C. A. (eds.)). Cambridge, United Kingdom – New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1016/b978-012374473-9.00268-x>

[8] Church, J. A.; White, N. J.; Coleman, R.; Lambeck, K.; Mitrovica, J. X. (2004). Estimates of the Regional Distribution of Sea Level Rise over the 1950–2000 Period". *Journal of Climate*, Vol. 17, pp. 2609-2625. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2609:EOTRDO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2609:EOTRDO>2.0.CO;2)

[9] Church, J. A.; White, N. (2011). Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century". *Surveys in Geophysics*, Vol. 32, pp. 585-602. <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>

[10] 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.; Unnikrishnan, A. S. (2013). Sea Level Change". In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. M. (eds.)). Cambridge, United Kingdom – New York, NY, USA: Cambridge University Press.

[11] Davidse, B. J.; Othengrafen, M.; Deppisch, S. (2015). Spatial planning practices of adapting to climate change". *European Journal of Spatial Development*, Refereed Article, No. 57.

[12] Digitalni atlas Republike Hrvatske (DARH) (2005). Zagreb: GIS Data, arhiva Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru.

[13] Doyle, T. W.; Chivoiu, B.; Enwright, N. M. (2015). Sea-level rise modeling handbook – Resource guide for coastal land managers, engineers, and scientists: U. S. Geological Survey. Professional Paper 1815, pp. 76. <https://doi.org/10.3133/pp1815>

[14] Fairbanks, R. G. (1989). A 17000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation". *Nature*, Vol. 342, pp. 637-642. <https://doi.org/10.1038/342637a0>

[15] Fairbridge, R. W. (ed.) (1968). *The Encyclopedia of Geomorphology*. New York: Reinhold Book Corp. https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_362, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_76, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_12, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_384, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_363, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_364, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_41, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_388, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_17, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_19, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_78, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_166, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_77, https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_195 https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_193

[16] Faivre, S.; Bakran-Petricioli, T.; Horvatinčić, N. (2010a). Relative Sea-Level Change During the Late Holocene on the Island of Vis (Croatia) – Issa Harbour Archaeological Site". *Geodinamica Acta*, Vol. 23, No. 5-6, pp. 209-233. <https://doi.org/10.3166/ga.23.209-233>

[17] Faivre, S.; Fouache, E.; Kovačić, V.; Glušćević, S. (2010b). Geomorphological and archaeological indicators of Croatian shoreline evolution in the last two thousands years". *GeoActa, Special Publication*, Vol. 3, pp. 125-133.

[18] Faivre, S.; Fouache, E.; Ghilardi, M.; Antonioli, F.; Furlani, S.; Kovačić, V. (2011). Relative sea-level change in western Istria (Croatia) during the last millennium". *Quaternary International*, Vol. 32, No. 1-2, pp. 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.05.027>

[19] Faivre, S.; Bakran-Petricioli, T.; Horvatinčić, N.; Sironić, A. (2013). Distinct phases of relative sea level changes in the central Adriatic during the last 1500 years — influence of climatic variations?". *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, Vol. 369, pp. 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.10.016>

[20] Gornitz, V. (1991). Global coastal hazards from future sea level rise". *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. (Global Planet. Change Sect.)*, Vol. 89, pp. 379-398. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-0](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-0)

[21] Hallegatte, S.; Ranger, N.; Mestre, O.; Dumas, P.; Corfee-Morlot, J.; Herweijer, C.; Muir Wood, R. (2011). Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen". *Climatic Change*, Vol. 104, No. 1, pp. 113-137. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9978-3>

[22] Hanžek, Z. (2005). Jednostavni cjenik usluga za arhitekta i investitore. Hrvatska komora arhitekata i inženjera u graditeljstvu, pp. 31.

[23] Solomon, S. et al. (eds.) (2007). *IPCC, Climate Change, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

[24] Kelletat, D. (1995). Atlas of Coastal Geomorphology and Zonality". *Journal of Coastal Research, Special Issue*, No. 13, pp. 286.

[25] Li, X.; Rowley, R.; Kostelnick, J.; Braaten D.; Meisel, J.; Hulbutta, K. (2009). GIS Analysis of Global Impacts from Sea Level Rise". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 75, No. 7, pp. 807-818. <https://doi.org/10.14358/PERS.75.7.807>

[26] McGranahan, G.; Balk, D.; Anderson, B. (2006). Low coastal zones settlements". *Tiempo*, Vol. 59, pp. 23-26.

[27] Magaš, D. (2013). *Geografija Hrvatske*. Zadar: Meridijani.

[28] Miočić, B. K.; Magaš, D.; Bacalja, R.; Razović, M.; Vidić, G.; Klarin, T. (2016). Strategija razvoja turizma Grada Zadra za razdoblje 2016.–2026. godine, Zadar: Turistička zajednica Grada Zadra, pp. 208.

[29] Nicholls, R. J. (2002). Improved Estimates of Coastal Population and Exposure to Hazards Released". *Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 83, pp. 301-305. <https://doi.org/10.1029/2002EO000216>

[30] Nicholls, R. J. (2004). Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios". *Global Environmental Change*, Vol. 14, pp. 69-86. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.007>

[31] Nicholls, R. J.; Tol, R. S. J. (2006). Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century". *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 364, pp. 1073-1095. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1754>

[32] Nicholls, R. J.; Wong, P. P.; Burkett, V. R.; Codignotto, J. O.; Hay, J. E.; McLean, R. F.; Ragoonaden, S.; Woodroffe, C. D. (2007). Coastal

- systems and low-lying areas". In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J.; Hanson, C. E. (eds.)). Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 315-356.
- [33] Nicholls, R. J.; Cazenave, A. (2011). *Sea-Level Rise and Its Impacts on Coastal Zones*". *Science*, Vol. 328, pp. 1517-1520. <https://doi.org/10.1126/science.1185782>
- [34] Pfeffer, W. T.; Harper, J. T.; O'Neel, S. (2008). *Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise*". *Science*, Vol. 321, pp. 1340-1343. <https://doi.org/10.1126/science.1159099>
- [35] Rahmstorf, S. (2014). *A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise*". *Science*, Vol. 315, pp. 368-370. <https://doi.org/10.1126/science.1135456>
- [36] Rezo, M.; Pavosević, M.; Šljivarić, M. (2014). *Analiza mareografskih podataka o Jadranskom moru od 1953. do 2006. godine*". *Geodetski list*, Vol. 4, pp. 269-290.
- [37] Revi, A.; Satterthwaite, D. E.; Aragón-Durand, F.; Corfee-Morlot, J.; Kiunsi, R. B. R.; Pelling, M.; Roberts, D. C.; Solecki, W. (2014). *Urban areas*". In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Field, C. B.; Barros, V. R.; Dokken, D. J.; Mach, K. J.; Mastrandrea, M. D.; Bilir, T. E.; Chatterjee, M.; Ebi, K. L.; Estrada, Y. O.; Genova, R. C.; Girma, B.; Kissel, E. S.; Levy, A. N.; MacCracken, S.; Mastrandrea, P. R.; White, L. L. (eds.)). Cambridge, United Kingdom – New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp.535-612.
- [38] Saaty, T. L. (1990). *How to make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*". *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- [39] Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*". *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- [40] SRPJ – Središnji registar prostornih jedinica (2009). *Državna geodetska uprava*.
- [41] Kleinosky, L. R.; Yarnal, B.; Fisher, A. (2007). *Vulnerability of Hampton Roads, Virginia to Storm-Surge Flooding and Sea-Level Rise*". *Natural Hazards*, Vol. 40, No. 1, pp. 43-70. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-0004-z>
- [42] Stanchev, H.; Palazov, A.; Stancheva, M. (2009). *3D GIS model for flood risk assessment of Varna Bay due to extreme sea level rise*". *Journal of Coastal Research*, Vol. 56, pp. 1597-1601.
- [43] Surić, M. (2009). *Reconstructing Sea-level changes on the eastern Adriatic Sea (Croatia) – an overview*". *Geodria*, Vol. 14, No. 2, pp. 181-199.
- [44] Surić, M.; Juračić, M. (2010). *Late Pleistocene – Holocene environmental changes – records from submerged speleothems along the Eastern Adriatic coast (Croatia)*". *Geologia Croatica*, Vol. 63, No. 2, pp. 155-169. <https://doi.org/10.4154/gc.2010.13>
- [45] Šiljeg, S. (2016). *Vrednovanje kvalitete stanovanja u Zadru. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geografski odsjek*.
- [46] Yin, J.; Griffies, S.; Stouffer, R. (2010). *Spatial Variability of Sea Level Rise in Twenty-First Century Projections*". *American Meteorological Society*, Vol. 23, pp. 4585-4607. <https://doi.org/10.1175/2010jcli3533.1>
- [47] Titus, J. G. (1990). *Greenhouse Effect, Sea Level Rise, and Land Use*". *LAND USE POLICY*, Vol. 7, No. 2, pp. 138-153. [https://doi.org/10.1016/0264-8377\(90\)90005-J](https://doi.org/10.1016/0264-8377(90)90005-J)
- [48] UN (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030*. Sendai: United Nations.
- [49] UNISDR: *The Human Cost of Weather Related Disasters 1995-2015*. (2016). *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*, pp. 1-30.
- [50] Wilbanks, T. J.; Romero Lankao, P.; Bao, M.; Berkhout, F.; Cairncross, S.; Ceron, J. P.; Kapshe, M.; Muir-Wood, R.; Zapata-Marti, R. (2007). *Industry, settlement and society*". *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J.; Hanson, C. E. (eds.)). Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 357-390.
- [51] <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>
- [52] http://geography.wr.usgs.gov/science/dasymetric/data/URISA_Journal.pdf
- [53] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_01_1_32.html
- [54] <http://download.geofabrik.de/europe/croatia.html>
- [55] http://www.njuskalo.hr/3d/test/Njuskalo-Cijene_nekretnina_u_Hrvatskoj_Kolovoz_2015.pdf
- [56] <http://www.grad-zadar.hr/repos/doc/Proracun%20Grada%20Zadra%20za%202015.%20godinu%5B1%5D.pdf>