

Four models of sea pollution risk for pilot EPSs developed

Final Version of April/2022

Deliverable Number D.3.3.2.

Project Acronym	PEPSEA
Project ID Number	10047424
Project Title	Protecting the Enclosed Parts of the Sea in Adriatic from pollution
Priority Axis	2 – Safety and Resilience
Specific objective	2.2 – Increase the safety of the Programme area from natural and man-made disaster
Work Package Number	3
Work Package Title	Planning the response system for sea pollution risks and incidents in EPSs
Activity Number	A.3.3
Activity Title	Design of the sea pollution risk models for EPSs
Partner in Charge	PP4 – ŠIBENIK-KNIN COUNTY
Partners involved	LP - ZADAR COUNTY DEVELOPMENT AGENCY ZADRA NOVA , PP3 – SPLIT-DALMATIA COUNTY PP4 - ŠIBENIK-KNIN COUNTY PP6 – PO DELTA VENETO REGIONAL PARK
Status	Final
Distribution	Public

Summary:

A. LEAD PARTNER – ZADAR COUNTY DEVELOPMENT AGENCY ZADRA NOVA	5
MODELI RIZIKA OD IZNENADNOG ONEČIŠĆENJA MORA	6
Popis kratica i pojmova	7
Abstract	12
Sažetak	13
Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora	14
1. Model podizanja morske razine	14
Zaključak	25
2. Model rizika od poplave uzrokovane oborinom	26
3. Model rizika od izbijanja otvorenog požara	47
4. Model rizika od erozije	77
5. Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora	111
Zaključak	157
B. PROJECT PARTNER 3 – SPLIT-DALMATIA COUNTY	158
KREIRANJE I TESTIRANJE MODELA	159
Značenje pojmova	160
Models of sudden marine pollution risk	165
Abstract	165
Sažetak	166
Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora	167
1. Model podizanja morske razine	167
Zaključak	181
2. Model rizika od izbijanja otvorenog požara	182
3. Model rizika od erozije	225
4. Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora	257
Zaključak	294

C. PROJECT PARTNER 4 – ŠIBENIK-KNIN COUNTY	295
KREIRANJE I TESTIRANJE MODELA	296
Abstract	297
Sažetak	298
1. Model podizanja morske razine	299
Zaključak	314
Conclusion	315
2. Model rizika od izbijanja otvorenog požara	316
Zaključak	317
Conclusion	317
3. Model rizika od erozije	318
4. Modeli rizika od pomorskog prometa	319
Zaključak	329
Conclusion	329
D. PROJECT PARTNER 6 – PO DELTA VENETO REGIONAL PARK.....	330
List of abbreviations and terms	331
Executive Summary.....	332
INTRODUCTION.....	333
POLLUTION RISK.....	334
1. Area of analysis	334
2. Socio-economic characteristics	336
3. Companies at significant risk (RIR)	338
4. River dams and risk protection	341
PILOT AREAS AND RISKS.....	342
CONCLUSION.....	344

Remark:

Due to the extensive and detailed research of the pilot sites, the document was prepared in Croatian language for Croatian partners with a short summary in English. The results from this document were crucial for the development of contingency plans in case of marine pollution, which were made entirely in English and presented as part of the deliverable D.3.4.2. Four detailed contingency plans of pilot EPSs developed.

**A. LEAD PARTNER – ZADAR COUNTY DEVELOPMENT
AGENCY ZADRA NOVA**

MODELI RIZIKA OD IZNENADNOG ONEČIŠĆENJA MORA



Popis kratica i pojmova

U ovom dokumentu se koristi izvjestan broj pojmova čiji smisao treba na početku objasniti jer u protivnom može lako doći do nerazumijevanja, tim više što neki pojmovi koje se koriste u svakidašnjem govoru imaju drugačije značenje od onih koji se koriste u ovom dokumentu.

Sukladno tome, navodimo i dopunjujemo objašnjenje dijela pojmova koji se nalaze u Zakonu o zaštiti okoliša (NN, NN, 80/13) a koriste u ovom dokumentu.

Cjelovito upravljanje zaštitom mora predstavlja skup povezanih i usklađenih odluka i mjera kojima je svrha ostvarivanje jedinstvene zaštite mora, izbjegavanje i smanjivanje rizika od štete za morski ekosustav te poboljšavanje i ostvarivanje učinkovite zaštite mora.

Domino efekt je niz povezanih učinaka koji zbog međusobnog razmještaja, blizine postrojenja odnosno dijelova postrojenja ili grupe postrojenja, količina opasnih tvari prisutnih u tim postrojenjima ili uzročno posljedične veze, povećavaju mogućnost izbijanja nesreće ili pogoršavaju posljedice nastale nesreće.

Emisija je ispuštanje ili istjecanje tvari u tekućem, plinovitom ili čvrstom stanju, ili ispuštanje energije (toplina, zračenje, buka, vibracije, svjetlost) te ispuštanje organizama, iz pojedinog izvora u more, nastalo kao rezultat čovjekovih djelatnosti.

Granična vrijednost emisija je propisana vrijednost, koncentracija ili razina emisije, izražena u posebnim pokazateljima, koja u jednom ili tijekom više vremenskih razdoblja ne smije biti prekoračena.

Industrijska nesreća je događaj koji je posljedica nekontroliranog slijeda događanja u tijeku neke radnje ili aktivnosti u postrojenju, tijekom proizvodnje, uporabe, skladištenja ili rukovanja proizvodom ili odlaganja otpada.

Integrirano upravljanje obalnim područjem je dinamički proces održivog upravljanja i korištenja obalnih područja, uzimajući istodobno u obzir krhkost obalnih ekosustava i krajobraza, raznolikost aktivnosti i korištenja, njihovo međusobno djelovanje, pomorsku usmjerenost pojedinih aktivnosti i korištenja te njihov utjecaj na morske i kopnene dijelove.

Javni interes je interes u pitanjima zaštite mora koji iskazuje Država, ili jedinica lokalne odnosno područne (regionalne) samouprave sukladno svojem statutu.

Javnost je jedna ili više fizičkih ili pravnih osoba, njihove skupine, udruge ili organizacije sukladno posebnim propisima i praksi.

Kakvoća mora je stanje mora koje je posljedica djelovanja prirodnih pojava ili ljudskog djelovanja, izraženo morfološkim, fizikalnim, kemijskim, biološkim, estetskim i drugim pokazateljima.

Krajobraz je određeno područje viđeno ljudskim okom, čija je narav rezultat međusobnog djelovanja prirodnih i ljudskih čimbenika, a predstavlja bitnu sastavnicu čovjekovog okruženja, izraz raznolikosti zajedničke kulturne i prirodne baštine te temelj identiteta područja.

Maksimalnom dopuštena koncentracija (MDK je zakonski određena najviša dopuštena granica prisutnosti otopljenih ili neotopljenih kemijskih tvari kao onečišćivača u moru ili sedimentu.

Morski ekosustavi su područja prostora mora koja uključuju obalna područja od riječnih ušća i granica morskih struja uz obalu do granica epikontinentalnog pojasa prema moru, a ta područja obilježava osebujna produktivnost i trofičke, batimetrijske i hidrografske karakteristike područja.

Morski okoliš je životni prostor organizama i njihovih zajednica koji je određen karakterističnim fizičkim, kemijskim i biološkim značajkama a obuhvaća: područja otvorenog mora, riječna ušća te morska obalna područja uključujući unutarnje morske vode, teritorijalno more, dno i podmorje tih morskih prostora.

Nacionalna lista pokazatelja jest popis pokazatelja kojim se propisuje vremenska dinamika prikupljanja podataka, format, izvor i način toka podataka.

Nadležno upravno tijelo je tijelo županije, koje, prema nadležnostima uređenih Zakonom, o zaštiti okoliša obavlja poslove u području zaštite okoliša.

Najbolja raspoloživa tehnika (u daljnjem tekstu: **NRT**) je najučinkovitiji i najnapredniji razvojni stupanj djelatnosti i s njome povezanih načina proizvodnje i održavanja postrojenja koji je dostupan operateru i koji može biti primjerena osnova za određivanje graničnih vrijednosti emisija kojima se postiže sprječavanje, odnosno smanjivanje utjecaja na more.

Održivi razvitak je gospodarski i društveni razvitak društva koji u zadovoljavanju potreba današnjeg naraštaja uvažava iste mogućnosti zadovoljavanja potreba idućih naraštaja, te omogućuje dugoročno očuvanje kakvoće okoliša, biološke raznolikosti i krajobraza.

Okoliš je prirodno okruženje organizama i njihovih zajednica uključivo i čovjeka, koje omogućuje njihovo postojanje i njihov daljnji razvoj: zrak, vode, tlo, zemljina kamena kora, energija te materijalna dobra i kulturna baština kao dio okruženja kojeg je stvorio čovjek; svi u svojoj raznolikosti i ukupnosti uzajamnog djelovanja.

Onečišćavanje morskog okoliša znači čovjekovo izravno ili neizravno unošenje tvari ili energije u morski okoliš, koje uzrokuje ili može prouzročiti pogubne posljedice na uvjete života biljnog i životinjskog svijeta

u moru i podmorju, odnosno općenito ugroziti uvjete života u moru i ugroziti ljudsko zdravlje, te može ometati pomorske djelatnosti, uključujući ribolov i druge zakonite uporabe mora i podmorja, izazvati pogoršanje uporabne kakvoće morske vode i umanjenje privlačnosti morskog okoliša.

Onečišćivač je svaka fizička i pravna osoba, koja posrednim ili neposrednim djelovanjem, ili propuštanjem djelovanja uzrokuje onečišćivanje mora.

Onečišćenje – označava prisutnost strane ili prirodne tvari u moru koja mijenja kakvoću mora od njegove prirodne vrijednosti. Na primjer, dušikovi spojevi se prirodno nalaze u morskoj vodi ali njihov unos sa kopna povećava njihovu koncentraciju i mijenja kakvoću mora od prirodne vrijednosti. Odbačena automobilska guma ili plastična boca također predstavlja onečišćenje mora.

Onečišćujuća tvar je tvar ili skupina tvari, koje zbog svojih svojstava, količine i unošenja u more, mogu štetno utjecati na zdravlje ljudi, biljni i/ili životinjski svijet, odnosno biološku raznolikost.

Opasna tvar je propisom određena tvar, mješavina ili pripravak, koji je u postrojenju prisutan kao sirovina, proizvod, nusproizvod ostatak ili među proizvod, uključujući i one tvari za koje se može pretpostaviti da mogu nastati u slučaju nesreće.

Opasnost je bitno svojstvo opasne tvari ili uvjeti u kojima se ta tvar može zateći, a kojima se može ugroziti ljudsko zdravlje i život, materijalna dobra i okoliš.

Operater je uprava tvrtke (fizička osoba, tijelo ili pravna osoba) koja prema posebnim propisima upravlja tvrtkom ili nadzire rad tvrtke.

Opterećenja su: emisije tvari i njihovih pripravaka, fizikalni i biološki činitelji (energija, buka, toplina, svjetlost i dr.) te djelatnosti koje ugrožavaju ili bi mogle ugrožavati sastavnice okoliša.

Opterećivanje mora je svaki zahvat ili posljedica utjecaja zahvata na more, ili utjecaj na more određene aktivnosti, koja sama ili povezana s drugim aktivnostima, može izazvati ili no mogla izazvati onečišćivanje mora, smanjenje kakvoće mora, štetu ili rizik onečišćenja mora.

Područje utjecaja je područje na kojem se prostire značajan utjecaj zahvata u more, bilo da je uzrokovan samim zahvatom ili sinergijom s postojećim ili planiranim zahvatima u more.

Praćenje stanja mora (monitoring) je niz aktivnosti koje uključuju uzorkovanje, ispitivanje i sustavno mjerenje emisija ili stanja mora, praćenje prirodnih i drugih pojava u moru u svrhu njegove zaštite.

Prijeteća opasnost od štete je dovoljna vjerojatnost da se u bliskoj budućnosti može dogoditi šteta za morski ekosustav.

Rizik onečišćenja mora je veličina koja se mjeri vjerojatnošću pojavljivanja događaja pomnožena sa štetom za morski ekosustav. Tako na primjer, ako je vjerojatnost od nastanka eksplozije jednaka jednom događaju u deset godina, a pri tom je šteta jednaka milijun kuna, tada je godišnji rizik od eksplozije = $(1/10) * 10^6 = 100,000$ kuna godišnje.

Sanacija je skup propisanih mjera i/ili aktivnosti kojima se uspostavlja ili nadomješta stanje mora koje je bilo prije nastanka štete, odnosno onečišćenja.

Sastavnice okoliša su: zrak, voda, more, tlo, krajobraz, biljni i životinjski svijet te zemljina kamena kora.

Standard kakvoće mora je propisana kakvoća mora na određenom području.

Stanje morskog okoliša je sveukupno stanje okoliša u morskim vodama uzimajući u obzir strukturu, funkcije i procese sastavnica morskog okoliša zajedno sa prirodnim, fiziografskim, geografskim i klimatskim faktorima, kao i fizičkim, kemijskim i biološkim uvjetima uključujući one koji su rezultat ljudske aktivnosti.

Šteta u okolišu je svaka šteta nanesena:

- biljnim i/ili životinjskim vrstama i njihovim staništima te krajobraznim strukturama, a koja ima bitan nepovoljan utjecaj na postizanje ili održavanje povoljnog stanja vrste ili stanišnog tipa i kakvoće krajobraza. Bitnost nepovoljnog utjecaja procjenjuje se u odnosu na izvorno stanje, uzimajući u obzir mjerila propisana posebnim propisima,
- vodama, a koja ima bitan negativan utjecaj na stanje voda: ekološko, kemijsko i/ili količinsko, u skladu s posebnim propisima,
- moru, a koja ima bitan negativan utjecaj na očuvanje i postizanje dobrog ekološkog stanja mora sukladno posebnim propisima,
- tlu, čije onečišćenje odnosno oštećenje je dovelo do rizika za njegove ekološke funkcije i zdravlje ljudi, u skladu s posebnim propisima,
- zemljinoj kamenoj kori čije onečišćenje odnosno oštećenje je dovelo do rizika za njene ekološke funkcije i zdravlje ljudi, u skladu s posebnim propisima,

Šteta u smislu odgovornosti za štetu uzrokovanu ekosustavu mora znači mjerljiv štetni učinak odnosno promjenu na prirodnim dobrima ili neposredan ili posredan mjerljivi poremećaj u funkcioniranju prirodnih dobara.

Štetna tvar je tvar štetna za ljudsko zdravlje ili okoliš, s dokazanim akutnim i kroničnim toksičnim učincima, vrlo nadražujuća, kancerogena, mutagena, nagrizajuća, zapaljiva i eksplozivna tvar, ili tvar koja u određenoj dozi i/ili koncentraciji ima takva svojstva.

Tijelo javne vlasti je tijelo državne vlasti, tijela jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave i pravne osobe s javnim ovlastima koje obavljaju djelatnosti u vezi s okolišem.

Tvrtka je pravna ili fizička osoba koja u skladu s posebnim zakonom obavlja gospodarsku djelatnost koristeći postrojenje. Tvrtkom upravlja ili nadzire rad tvrtke operater.

Velika nesreća je događaj odnosno nekontrolirana pojava izazvana velikom emisijom, požarom ili eksplozijom, koji su uzrokovani nekontroliranim razvitkom događanja tijekom djelovanja u postrojenju u kojem su prisutne opasne tvari te jedna ili više tih opasnih tvari i/ili njihovih spojeva nastalih uslijed događaja odnosno nekontrolirane pojave dovode u ozbiljnu trenutačnu ili odgođenu - naknadnu opasnost ljudsko zdravlje i život, materijalna dobra i/ili okoliš, unutar postrojenja i/ili izvan postrojenja.

Zahvat u okoliš je privremeno ili trajno djelovanje čovjeka koje bi moglo utjecati na okoliš, za koje je potrebno ishoditi odgovarajuće odobrenje za realizaciju.

Zainteresirana javnost je javnost na koju utječe ili bi moglo utjecati odlučivanje o okolišu, te koja živi odnosno radi u području mogućih negativnih utjecaja na okoliš ili u području koje će vjerojatno biti pod negativnim utjecajem.

Zaštita mora je skup odgovarajućih aktivnosti i mjera kojima je cilj sprječavanje opasnosti za morski ekosustav, sprječavanje nastanka šteta i/ili onečišćivanja, smanjivanje i/ili otklanjanje šteta te povrat mora u stanje prije nastanka štete.

Abstract

In this document, four risk models and a section on risk valorization are presented.

Based on the height of infrastructure and three cases of sea level rise (1m, 3m and 6 m), the model of sea level rise showed which parts of the town of Sali and Sašćica Bay will be flooded. When the sea rises by 1 m (the most probable event and a significant impact on a small number of houses by the sea), the estimated land area under the sea is 0.02 km². For a 3 m sea rise, the flooded area by the sea is 0.04 km² (very large impact on a series of 74 houses and roads by the sea) while for a 6 m sea rise, the area is 0.08 km². It should be noted that in the event of a sea rise of 6 m, which is extremely unlikely, the damage to 147 buildings would be catastrophic with the possible loss of life of the inhabitants.

The model of flood risk by precipitation shows the geographical locations in the bays of Sali and Sašćica, which are most susceptible to the sudden occurrence of torrents and places of accumulation of water in accordance with the existing drainage basins.

The open fire risk model takes into account the risk of ignition, the risk of spreading and the vulnerability of the area, ie the possible damage that the fire may cause. High-resolution maps indicate areas where an open fire cannot occur, where there is very low risk, low-risk, moderate-risk, high-risk and very high-risk areas. It was concluded that the area of high and extremely high risk occupies almost 60% of the area of the drainage basin of the settlement of Sali. Accordingly, prevention measures are proposed: educating the population on the occurrence and effective suppression of fires, revitalization of abandoned plots, installation of surveillance cameras, cleaning and thinning forests, restoration of abandoned olive groves, planning the construction of observatories, water and equipment storage and joint involvement of all stakeholders.

The soil erosion risk model takes into account the slope, exposure, profile and planar curvature of the slopes as primary and the humidity index, runoff, length-to-slope ratio and catchment area as secondary parameters but also land cover. As a result, potential areas of soil erosion are presented. The slopes of the bays of Sali and Sašćica stand out.

From the model of risk of sudden pollution, it must be concluded that the greatest risk is floods from backwater and torrents caused by heavy rain. The next biggest risk is a forest and macchia fire in Sali Bay. In connection with the sudden pollution from the submarine outfall due to intense rain the only thing that can be done is to collect the floating pollution and this should be done as soon as possible. Although spillage of oil containers in the port of Sali does not pose the greatest risk, this risk can be significantly reduced by simple and quick spill protection.

Sažetak

U ovom dokumentu su iznesena četiri modela rizika te sekcija valorizacije rizika.

Model podizanja morske razine je na temelju visine infrastruktura i tri slučaja podizanja razine mora (1m, 3m i 6 m) pokazao koji dijelovi grada Sali i uvale Sašćica će biti poplavljeni. Prilikom podizanja mora za 1 m (najvjerojatniji događaj i značajan utjecaj na manji broj kuća uz more) procijenjena površina kopna pod morem iznosi 0.02 km². Za podizanje mora od 3 m poplavljena površina uz more iznosi 0.04 km² (vrlo velik utjecaj na niz od 74 kuća i prometnice uz more) dok za podizanje mora od 6 m, površina iznosi 0.08 km². Valja napomenuti da je u slučaju podizanja mora za 6 m, što je izuzetno malo vjerojatno, šteta na 147 objekta bi bila katastrofalna uz moguć gubitak života stanovnika.

Model rizika od poplave oborinom pokazuje geografske lokacije u uvali Sali i Sašćica koja su najpodložnije naglom nastanku bujica te mjesta akumulacije vode sukladno postojećim drenažnim bazenima.

Model rizika od požara otvorenog tipa uzima u obzir opasnost od zapaljenja, opasnost od širenja i ranjivost područja odnosno moguću štetu koju požar može prouzročiti. Na kartama visoke rezolucije označena su područja na kojima požar otvorenog tipa ne može nastati, gdje je vrlo nizak rizik, mjesta niskog rizika, umjerenog rizika, visokog i vrlo visokog rizika. Zaključeno je da područje visokog i izrazito visokog rizika zauzima gotovo 60 % područja drenažnog bazena naselja Sali. Sukladno tome, predložene su mjere prevencije: obrazovanje stanovništva o nastanku i efikasnom suzbijanju požara, revitalizaciji zapuštenih parcela, instalaciji nadzornih kamera, čišćenje i prorjeđivanje šuma, obnova napuštenih maslinika, planiranje izgradnje promatračnica, spremišta vode i opreme te zajedničko uključivanje svih dionika.

Model rizika od erozije tla uzima u obzir nagib, ekspoziciju, profilnu i planarnu zakrivljenost padina kao primarne te indeks vlažnosti, otjecanja, omjer duljine i nagiba te slivno područje kao sekundarne parametre ali još i zemljišni pokrov. Kao rezultat predočena su potencijalna područja erozije tla. Pri se ističu padine uvale Sali i Sašćica.

Iz modela rizika od iznenadnih onečišćenja mora se zaključuje da najveći rizik predstavlja poplava od uspora te bujica izazvanih intenzivnom kišom. Slijedeći najveći rizik predstavlja požar šume i makije u uvali Sali. U vezi sa iznenadnim onečišćenjem od podmorskog ispusta zbog intenzivne kiše jedino što se može napraviti je sakupiti plutajuće onečišćenje i to valja učiniti što brže. Iako izlivanje kontejnera ulja u luci Sali ne predstavlja najveći rizik, ipak ovaj se rizik može značajno smanjiti jednostavnim i brzim osiguranjem od izlivanja.

Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora

1. Model podizanja morske razine

Uvod

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

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).

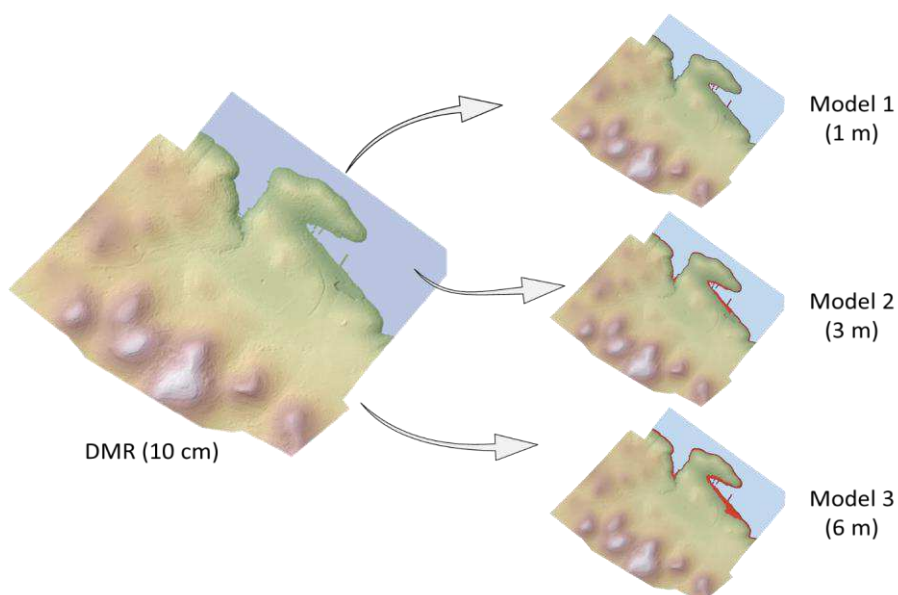
Brojne raziličite studije i znanstvena istraživanja ukazala su na ugroženost pojedinih dijelova (Krišković, 2015; Ružić i Benac, 2016.), ili cijele hrvatske obale (Domazetović i dr., 2017.) od kontinuiranog porasta morske razine tijekom 21. stoljeća. Da bi se proučile moguće negativne posljedice unutar šireg prostora

naselja Sali od budućeg porasta morske razine 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).

Metodologija izrade modela podizanja morske razine

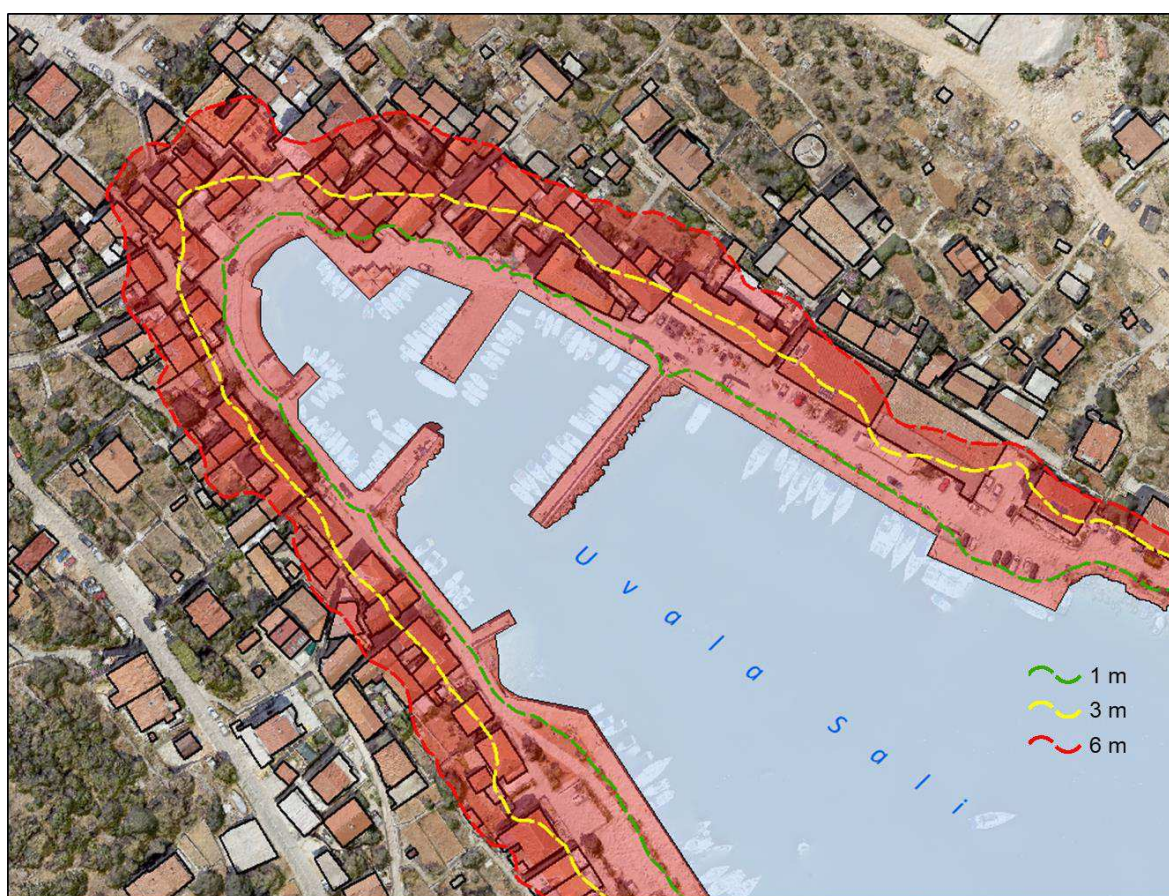
U izradi modela porasta razine Jadranskog mora koristili su se alati iz *Spatial analyst* ekstenzije ArcGIS 10.1 softvera. Kao osnova za izradu modela podizanja morske razine iskorišten je DMR generiran iz aerofotogrametrijskih podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom. Zahvaljujući vrlo visokoj prostornoj rezoluciji ovog DMR-a (10 cm) omogućeno je detaljno modeliranje utjecaja porasta morske razine na priobalni prostor. Uz pomoć alata Raster Calculator izrađena su tri različita modela porasta morske razine na području naselja Sali (Slika I-1), pri čemu su korištene sljedeća formule za izdvajanje poplavljenih zona:

$$M_1 = DMR \leq 1 m \quad M_2 = DMR \leq 3 m \quad M_3 = DMR \leq 6 m \quad (1)$$



Slika I-1. Izrada modela porasta morske razine iz DMR-a vrlo visoke rezolucije

Generirane poplavne zone predstavljaju dijelove terena koji su niži od modela porasta morske razine, odnosno koji bi pri određenom porastu morske razine (1 m; 3 m; 6 m) bili poplavljeni (Slika I-2). Pri tome je jasno vidljivo kako s porastom izdizanja morske razine dolazi do postupnog poplavljanja većih dijelova priobalnog prostora (Slika I-2). 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 moguće pretpostaviti da bi i ove depresije bile potopljene, one su zbog kompleksnosti modeliranja izostavljene iz analize.

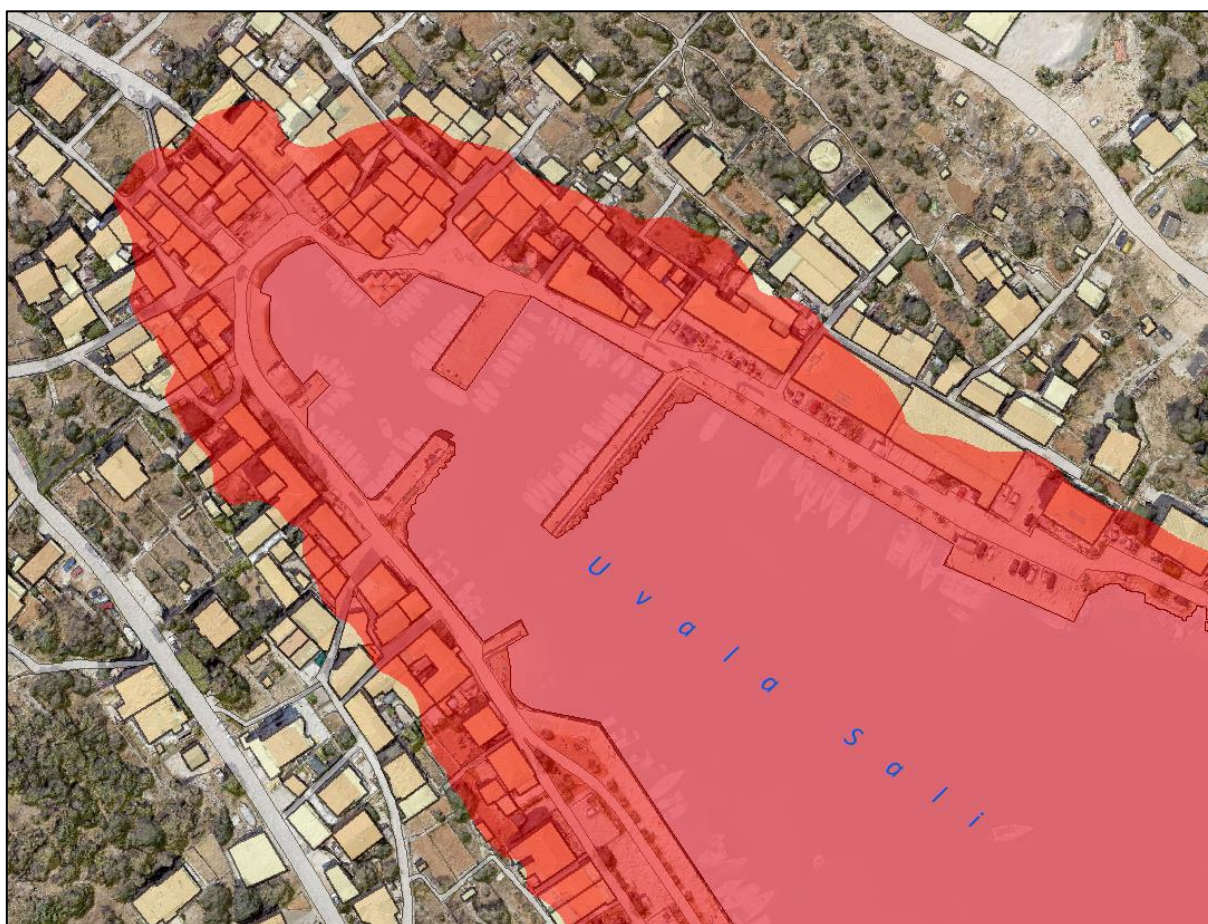


Slika I-2. Usporedba maksimalnog prostornog obuhvata poplavnih zona izrađenih modela podizanja morske razine

Procjena utjecaja izrađenih modela podizanja morske razine na obalni prostor

Na temelju tri različita izrađena modela porasta morske razine obavljena je analiza potencijalnih negativnih utjecaja porasta razine Jadranskog mora na širi priobalni prostor naselja Sali, s posebnim

naglaskom na uvalama Sali i Sašćica. Pri tome je na temelju svakog izrađenog modela izračunata ukupna površina priobalnog prostora koja bi bila potopljena uslijed određenog izdizanja morske razine. Nadalje, izdvajanjem poplavnih zona omogućena je analiza utjecaj porasta morske razine na različite socioekonomske segmente obalnog prostora. U prvom redu analiziran je utjecaj različitih modela podizanja morske razine na stambene objekte i prometnice naselja Sali.



Slika I-3. Utjecaj poplavne zona generirane izdizanjem morske razine za 6 m na stambene objekte u uvali Sali

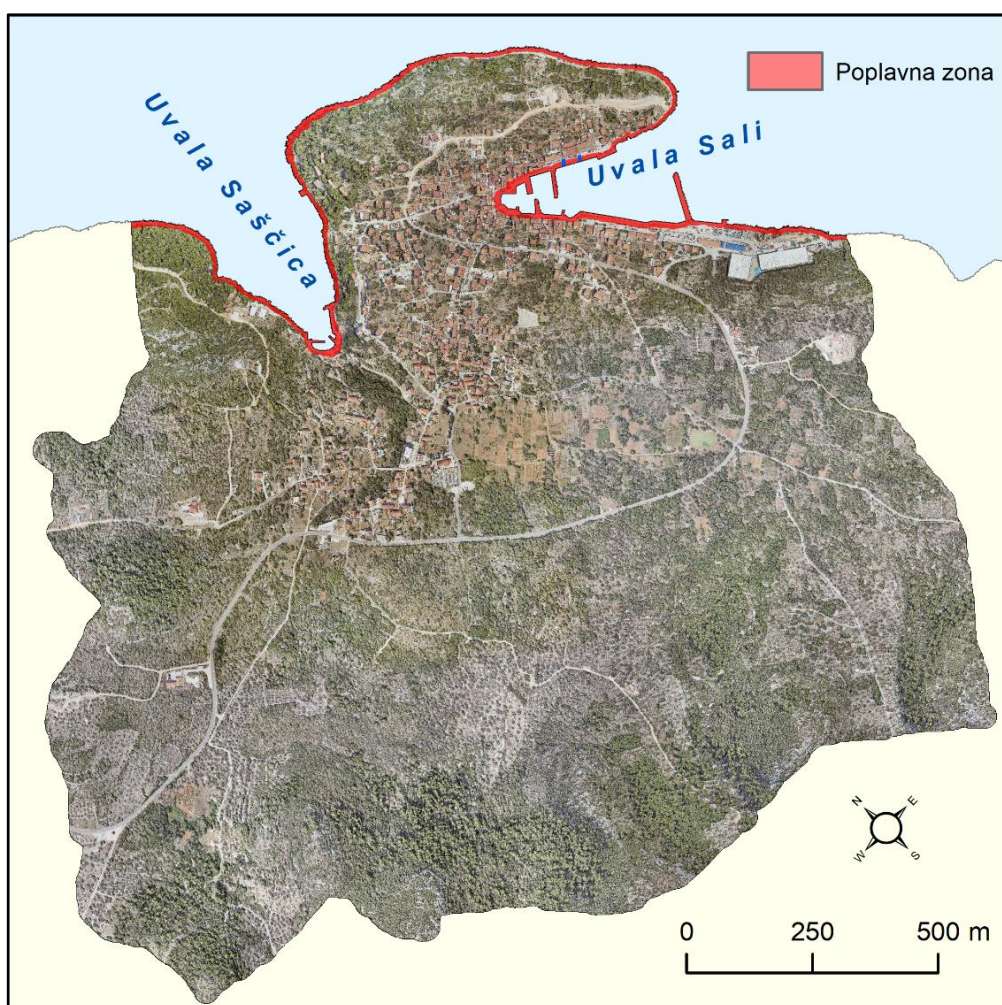
Izdvojene poplavne zone

Zbog morfologije reljefa poplavne zone izdvojene iz izrađenih modela porasta razine Jadranskog mora obuhvaćaju površinom relativno mali dio priobalnog prostora naselja Sali (Tablica I-1.). Padine uvala Sali i Sašćica sprječavaju značajnije i dublje prodiranje mora u unutrašnjost otoka kod sva tri izrađena modela porasta morske razine (Slika I-4; Slika I-5; Slika I-6). Međutim, iako prostorno ograničen, utjecaj

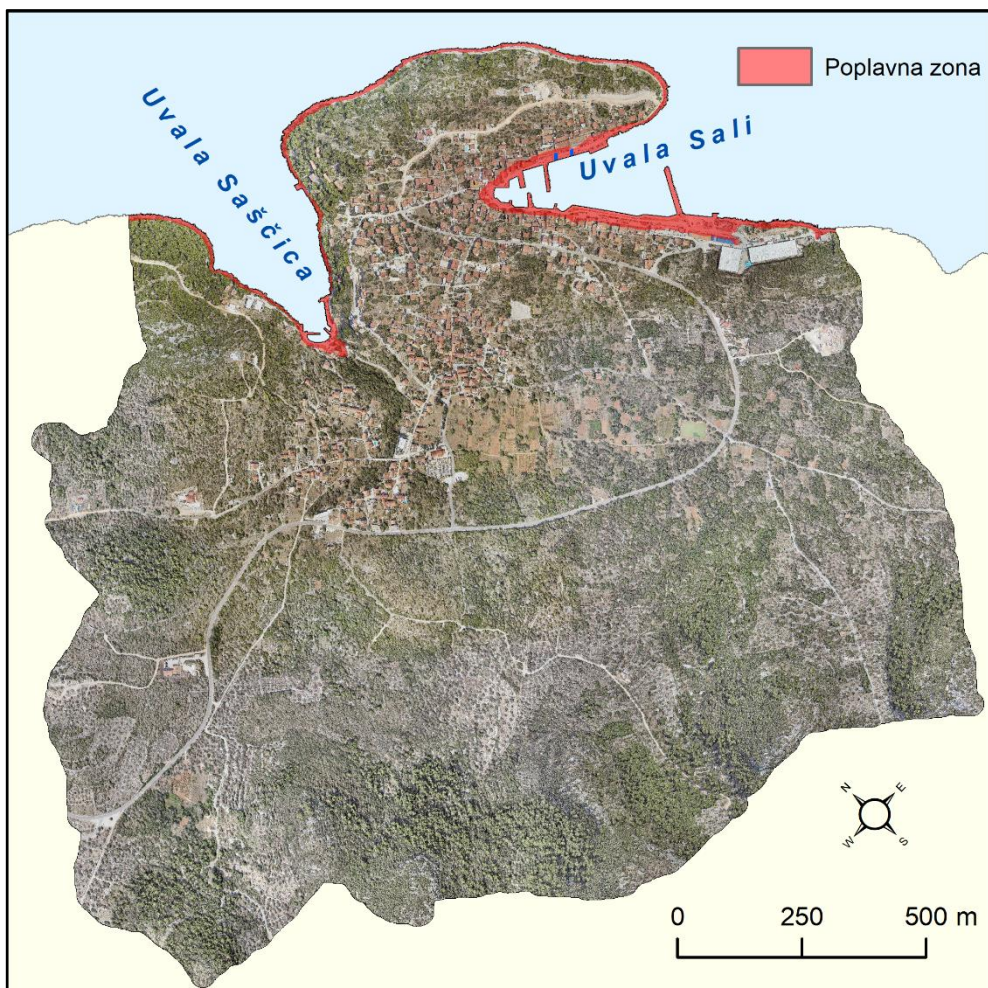
takvog porasta na priobalnu infrastrukturu i socioekonomske elemente je znatan, što je detaljnije analizirano u nastavku.

Tablica I-1. Priobalna površina poplavljena podizanjem morske razine

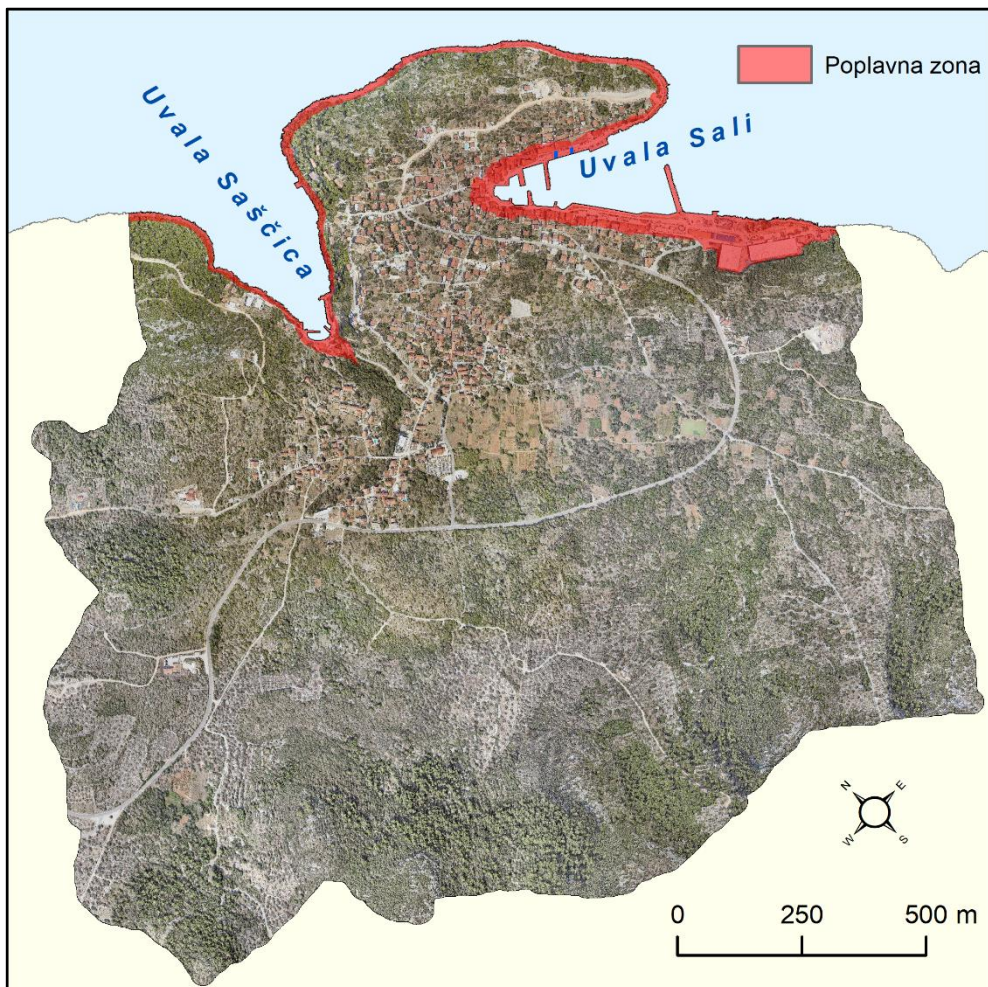
#	Model porasta	Površina (km ²)	Površina (ha)	Udio (%)
1	Model 1 (1 m)	0.02	1.72	0.73
2	Model 2 (3 m)	0.04	4.43	1.88
3	Model 3 (6 m)	0.08	8.29	3.51



Slika I-4. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora pri modelu podizanja morske razine od 1 m (M1)



Slika I-5. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora pri modelu podizanja morske razine od 3 m (M2)



Slika I-6. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora pri modelu podizanja morske razine od 6 m (M3)

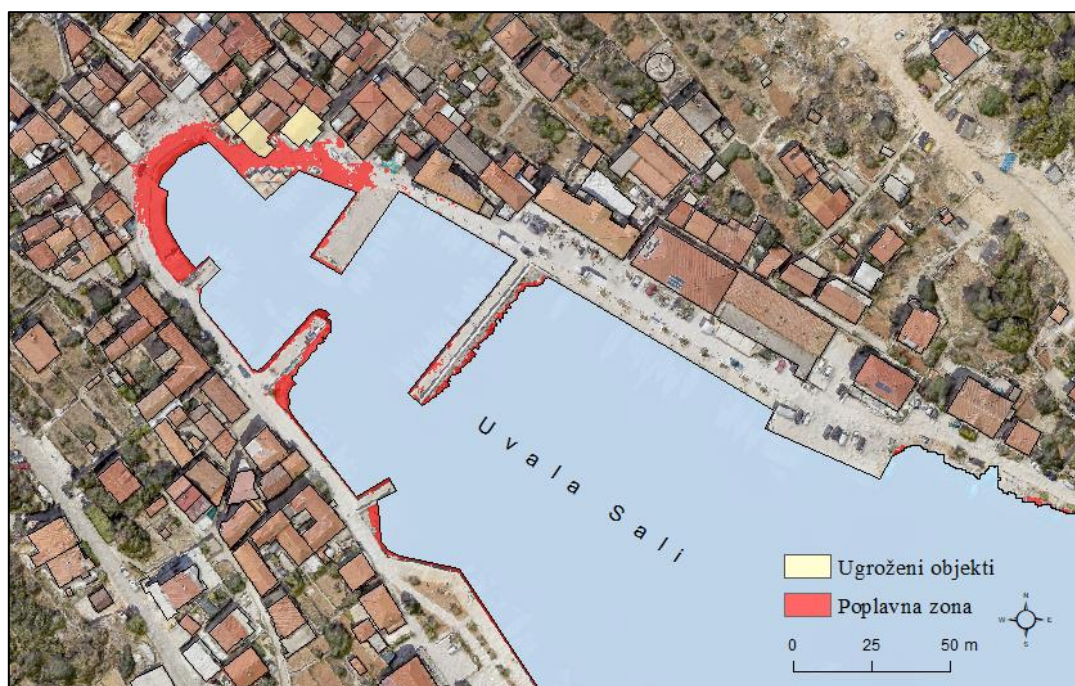
Utjecaj poplavnih zona na priobalni prostor

Utjecaj modela M1 na priobalni prostor

Prema izrađenom M1 modelu porast morske razine od 1 m utjecao bi na 1.72 ha obalnog prostora naselja Sali. Iako se radi o relativno malom dijelu obalnog prostora, u odnosu na duljinu cijele obalne linije, već i ovakav porast morske razine imao bi ozbiljne posljedice na obalnu infrastrukturu. Primjerice, ovakav porast morske razine utjecao bi na poplavljanje dijela lučice u uvali Sali (Slika I-8) i gotovo cijele lučice u uvali Sašćica (Slika I-7). Ukupno bi pri ovakvom porastu morske razine bila izravno ugrožena tri stambena objekta u uvali Sali, koja se nalaze u neposrednoj blizini mora. S obzirom da prema većini procjena porast morske razine tijekom 21. stoljeća ne bi trebao prelaziti 1 m na globalnoj razini, M1 model se može smatrati najvjernijom procjenom ugroženosti naselja Sali.



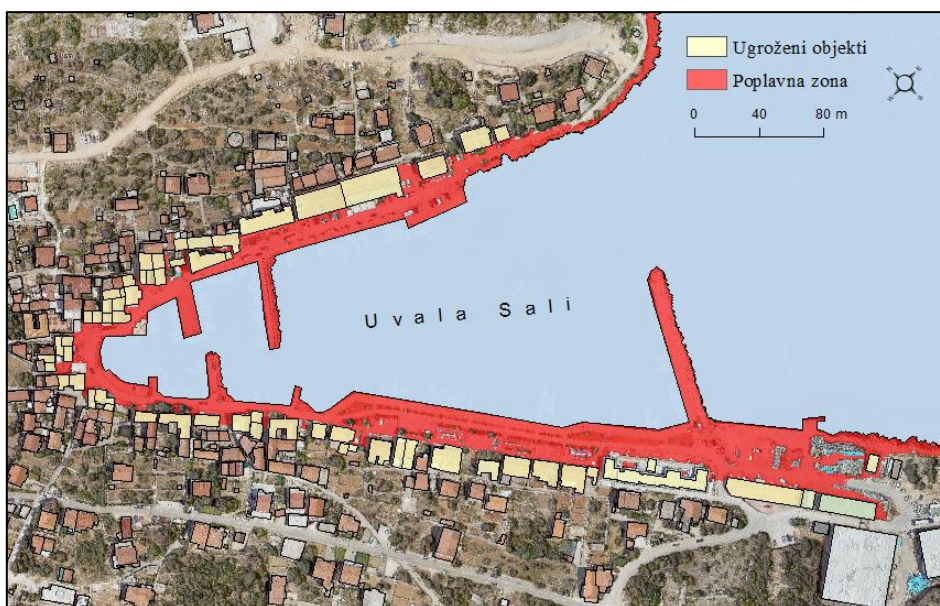
Slika I-7. Dijelovi obalnog prostora u uvali Sašćica zahvaćeni izdizanjem morske razine za 1 m



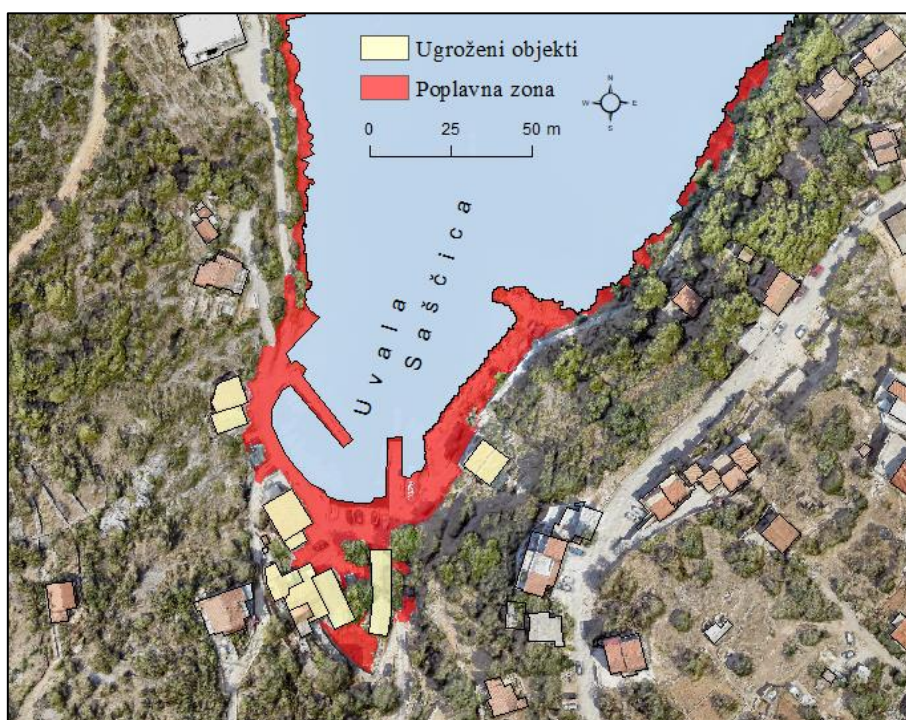
Slika I-8. Ugroženi stambeni objekti i dijelovi obalnog prostora u uvali Sali zahvaćeni izdizanjem morske razine za 1 m

Utjecaj modela M2 na priobalni prostor

Utjecaj modela M2 na obalni prostor je daleko izraženiji nego u slučaju M1 modela. Prema izrađenom M2 modelu porast morske razine od 3 m utjecao bi na poplavljanje 4.43 ha obalnog prostora u naselju Sali. Izdizanje morske razine za 3 m u potpunosti bi uzrokovalo potapanje obalne infrastrukture naselja Sali, pri čemu bi potopljena bila cijela riva i sve prometnice u neposrednoj blizini mora. I lučica u uvali Saščica i luka u uvali Sali bi bile u potpunosti potopljene i neupotrebne. Također, tome treba pridodati vrlo velik broj izravno potopljenih stambenih objekata, ukupno čak 74 unutar naselja Sali. Najviše stambenih objekata bilo bi potopljeno u uvali Sali, njih 65, dok bi u uvali Saščica zbog strmije konfiguracije reljefa bilo potopljeno 9 objekata u neposrednoj blizini mora. Ovakav porast morske razine imao bi ozbiljne posljedice na znatan dio stambene i prometne infrastrukture naselja.



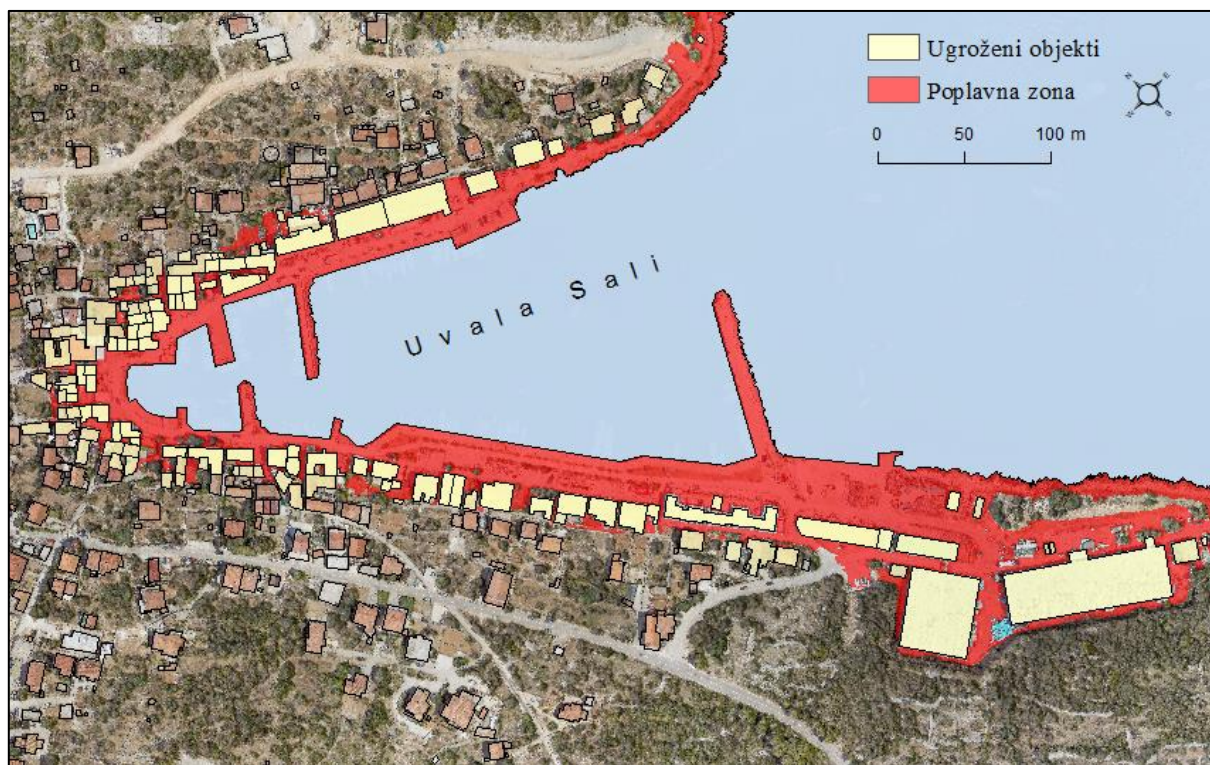
Slika I-9. Ugroženi stambeni objekti i dijelovi obalnog prostora u uvali Sali zahvaćeni izdizanjem morske razine za 3 m



Slika I-10. Ugroženi stambeni objekti i dijelovi obalnog prostora u uvali Sašćica zahvaćeni izdizanjem morske razine za 3 m

Utjecaj modela M3 na priobalni prostor

Prema modelu M3 porast morske razine od 6 m imao bi katastrofalne posljedice na priobalni prostor naselja Sali. Ukupno bi na prostoru naselja Sali bilo potopljeno 147 objekata, među kojima bi potopljen bio i tvornički kompleks Mardešić.



Slika I-11. Ugroženi stambeni objekti i dijelovi obalnog prostora u uvali Sašćica zahvaćeni izdizanjem morske razine za 6 m

Zaključak

Zahvaljujući konfiguraciji reljefa, u prvom redu strmim padinama uvala Sali i Sašćica priobalni prostor naselja Sali nije značajnije ugrožen pri porastu morske razine do 1 m (M1). Osim manjih dijelova lučne infrastrukture i tri stambena objekta u neposrednoj blizini mora, koji bi bili izravno zahvaćeni ovakvim porastom morske razine, većina naselja nalazi se izvan zone ugroze. S obzirom da M1 predstavlja najizgledniji scenarijo porasta morske razine, moguće je zaključiti da naselje Sali, izuzev rive i lučke infrastrukture, nije značajnije ugroženo od daljnjeg porasta morske razine.

Međutim u slučaju značajnijeg porasta morske razine (M2 ili M3) proporcijalno raste ugroženost priobalnog prostora. Tako već kod modela M2 značajan dio naselja (74 objekta) je izravno unutar poplavnih zona, dok kod modela M3 izdizanje morske razine ima katastrofalne posljedice za naselje s 147 potopljenih objekata.

2. Model rizika od poplave uzrokovane oborinom

Uvod

Dana, 11. rujna 2017. godine Sali je zahvatilo orkansko nevrijeme praćeno grmljavinom i obilnim oborinama. Palo je oko 350 litara kiše na metar četvorni, što je uzrokovalo stvaranje bujičnih tokova koji su napravili značajnu materijalnu štetu i onečišćenje (Slika I-12. a i b). Bujice različitog intenziteta su preplavile naselje, isprale tlo, zemljišni pokrov, oštetile ceste i mostove, te uzrokovale brojne mikro odrone. Uvala Sali, a posebice uvala Saščica, su bile ugrožene različitim vrstama otpada koji je nanesen bujicama iz povremenog toka (Slika I-12a). S obzirom na to da su ovakvi ili slični događaji jedan od glavnih uzročnika zagađenja uvala (mora) s kopna (Slika I-12a), u ovom poglavlju izvedene su osnovne hidrološke analize, te su generirani:

- a) model procjene poplava - brzine otjecanja uslijed jakih oborina
- b) model rizika od poplava.

Generirani modeli mogu poslužiti kao smjernice u procesu planiranja naselja, te upravljanja rizicima, s ciljem minimaliziranja šteta.



Slika I-12. Bujica u dnu jaruge Saščica (a) i kod mosta (b)

Modeliranje topografskog slivnog područja

Prilikom definiranja drenažne mreže i razgraničavanja topografskog slivnog područja potrebno je izvesti proces koji se sastoji od nekoliko koraka. Izvođenje pojedinih koraka je neizostavno dok drugi ovise o obilježjima, odnosno točnosti ulaznih podataka (DMR-a). Neovisno o konačnom cilju hidroloških analiza prvi korak modeliranja uvijek uključuje prikupljanje podataka, izradu i korištenje DMR (digitalnog modela reljefa). DMR služi kao predložak za generiranje modela smjera otjecanja (*flow direction*). Otjecanje će se uvijek odvijati u smjeru najstrmijeg pada. Onog trenutka kada je sa svakog elementa grida poznat

smjer otjecanja vode moguće je utvrditi s koliko (*count*) piksela voda otječe u drugi element grida na taj način generirajući model akumulacije (*flow accumulation*). Ova informacija potom je korisna za definiranje granica topografskog slivnog područja (drenažnih bazena) i subdrenažnih bazena te drenažne mreže otjecanja.

Međutim, u DMR-u mogu postojati određene pogreške koje su prepoznate kao „lažni sinkovi“ (elementi grida nelogično niži ili viši od okolnog prostora). „Lažni“ sinkovi posljedica su (ne)preciznosti tehnologije kojom su prikupljeni visinski podaci, odabira neadekvatne metode interpolacije ili prostorne rezolucije. S tih lažnih depresija voda ne može otjecati. Algoritmi integrirani unutar softvera omogućuju ispravljanje, odnosno uklanjanje lažnih sinkova. Rezultat toga je *depressionless* (ispravljen – bez lažnih sinkova) DMR. Tek na temelju njega generiraju i izvlače daljnji modeli i informacije.

Za potrebe određivanja topografskog slivnog područja i subdrenažnih bazena uvala Sali i Saščica potrebno je prepoznati točke slijevanja (*pour points*). Točke slijevanja obično predstavljaju mjesta ušća vodenih tokova.

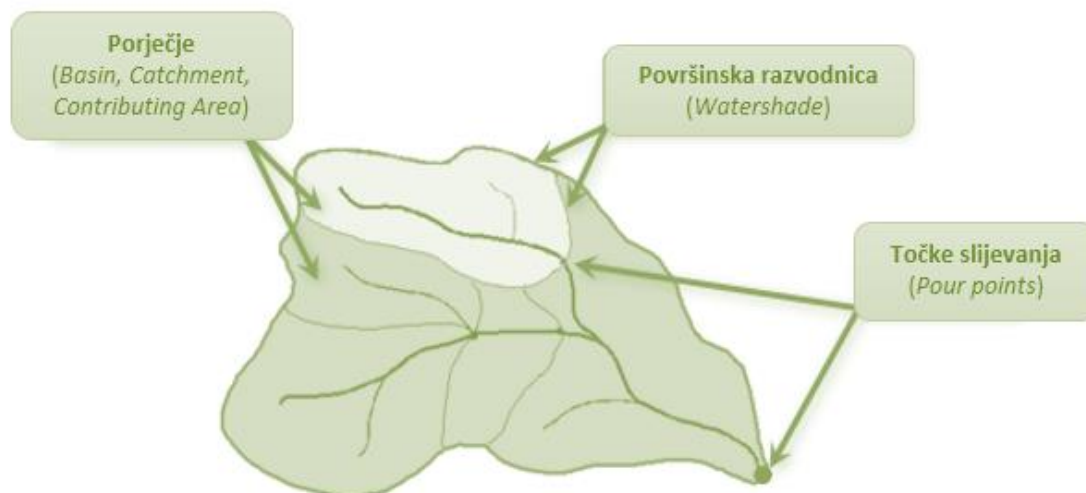
Koristeći integrirane hidrološke alate moguće je samostalno izvesti točke slijevanja, čime se dobije detaljnija subdrenažna mreža ili se umjesto njih može koristiti mreža protoka iz koje softver sam identificira točke slijevanja. Tim postupkom se generiraju drenažni bazeni za svaki segment toka koji je definiran točkom. Za potrebe generiranja drenažne mreže, što uvjetuje postavljanje točaka slijevanja (*pour points*), prvo se mora izraditi model akumulacije protoka. Time se dobija informacija s koliko piksela voda dotječe na piksel za kojeg se određuje vrijednost akumulacije. Veća vrijednost akumulacije ukazuje na pojavu mogućeg toka. Najveće vrijednosti akumulacije uglavnom se postavljaju kao točke slijevanja.

Pojmovno određenje

Topografsko slivno područje ili drenažni bazen (*basin, catchment basin, catchment area*) dio je prostora što ga odvodnjava neka tekućica ili povremeni tok sa svojim pritocima (drenažna mreža). Drenažna mreža je sustav stalnih ili povremenih tokova koji prihranjuju, odnosno čine veću mrežu. Svak tok ima svoje male drenažne ili subdrenažne bazene (Slika I-13).

Prostor određenog drenažnog bazena podrazumijeva da se sva voda koja padne na to područje slijeva do zajedničkog izlaza (*pour points*). To je obično točka duž granice drenažnog bazena (Slika I-13).

Razvodnica ili vododjelnica (*watershed*) je zamišljena crta odnosno granica koja odvaja dva drenažna bazena. Može biti površina i dubinska. *Površinska razvodnica* je krivulja koja obilježava topografsko slivno područje.



Slika I-13. Shema topografskog slivnog područja, sub-drenažnih bazena, površinske razvodne i točke slijevanja vode

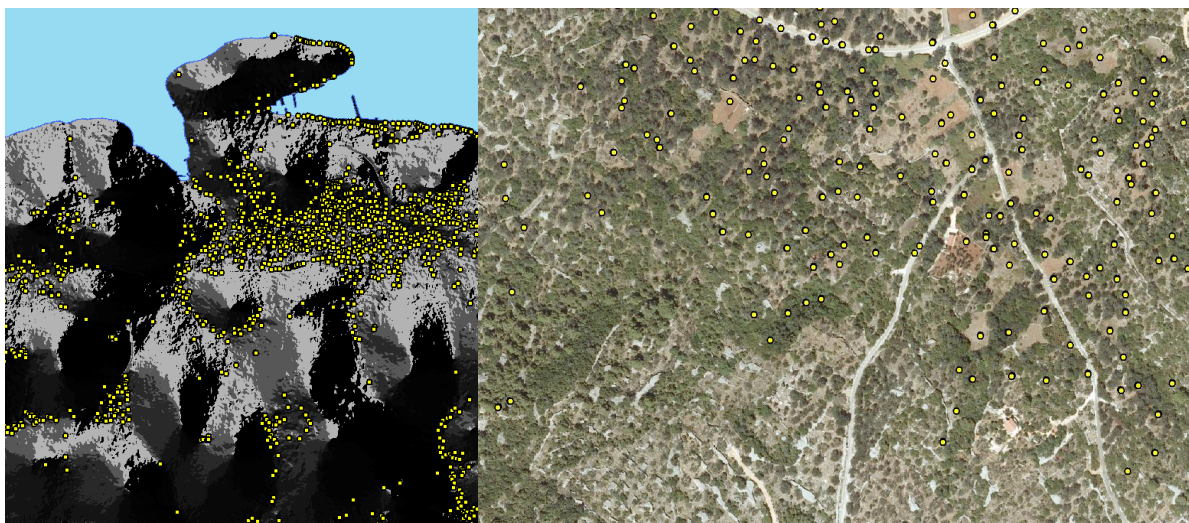
Definiranje topografskog slivnog područja

Uklanjanje lažnih ponora

S ciljem izvođenja točnih hidroloških analiza koje se temelje na digitalnom modelu reljefa prvi korak je definirati sve ponore u modelu. Ukupan broj definiranih ponora u modelu iznosio je 1246 (oko 0,001 %) (Slika 3). Za DEM-ove rezolucije 30 metara, Tarboton i dr. (1991.) otkrili su da je od 0,9 do 4,7 posto ćelija (piksela) u DEM-u sinkovi. Srednja prilagodba ovih ponora kretala se u rasponu od 2,6 do 4,8 metara. Ostali DEM izvori podataka mogu imati veći ili manji postotak ponora, ovisno o načinu obrade površina. Ponori su u modelu za naselje Sali generalno rezultat procesa generiranja digitalnog modela reljefa (utječu brojni korisničko-definirani parametri, međutim jedan od primarnih je uklanjanje pokrova koji se ne odnosi na čvrsti dio zemljine površine npr. vegetacije, objekata itd.).

Prilikom uklanjanja ponora pomoću procesa filtriranja grešaka iz modela posebnu pažnju treba posvetiti maksimalnoj visinskoj razlici između sinka i mjesta izlijevanja koje treba zapuniti (filtrirati). Ako je razlika u z-vrijednostima između sinka i njegove točke izlijevanja veća od z-limita u mreži 3 puta 3 kvadrata, taj ponor se neće zapuniti. Preporuča se da vrijednost za z-limit mora biti veća od nule. Ako vrijednost nije specificirana za ovaj parametar, svi će se ponori zapuniti, bez obzira na dubinu. S obzirom na visoku

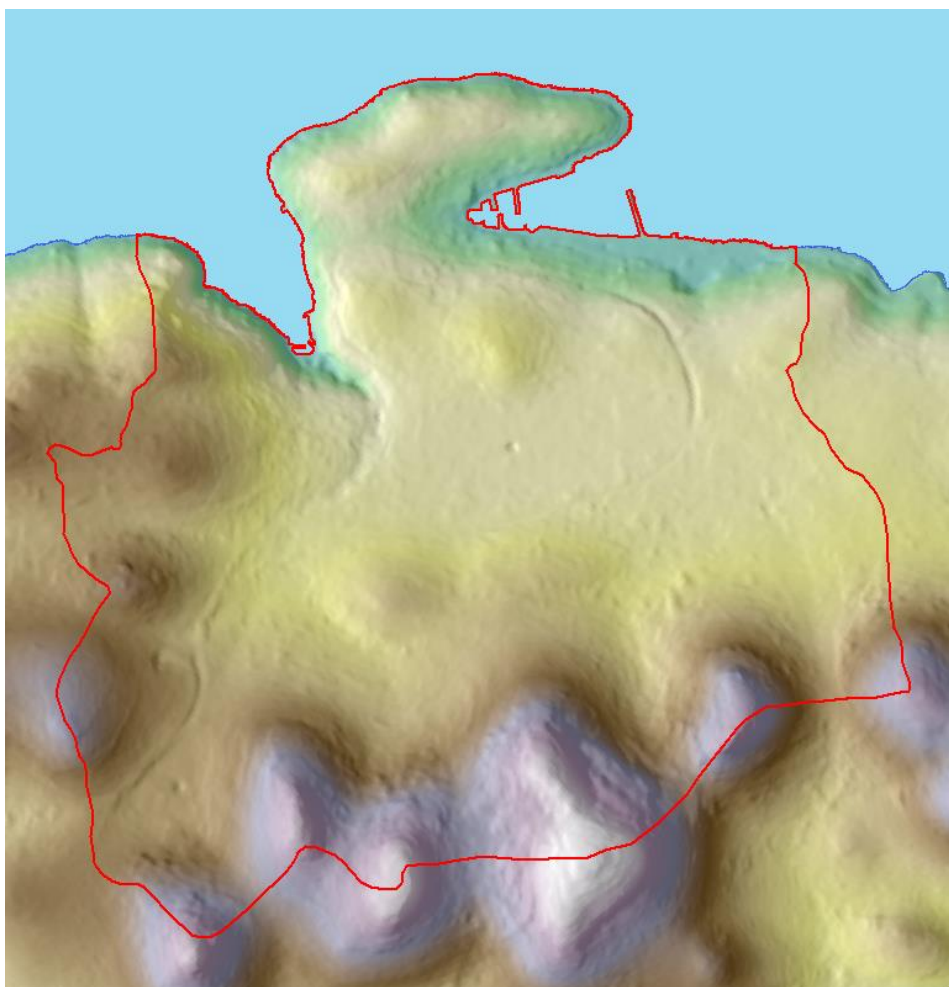
rezoluciju DMR (30 cm), te vertikalnu i horizontalnu točnost modela (<5cm), parametar maksimalne visinske razlike između sinka i mjesta izlivanja podešen je na 1 metar. Vrijednost se podešava dok se u modelu otjecanja ne generira mogućih 8 smjerova otjecanja. Više vrijednosti npr. 5 mogu utjecati na zapunjavanje dijelova reljefa koji se zaista mogu odnositi na prirodno udubljenje.



Slika I-14. Sinkovi u drenažnom bazenu naselja Sali

Nakon filtriranja DMR (Slika I-14) (uklanjanja ponora) potrebno je izdvojiti razvodnice slivnih područja. DMR se koristi za određivanje specifičnih točaka otjecanja (područje s kojeg će sva voda otjecati prema točki otjecanja). Prvi korak je definiranje smjera otjecanja.

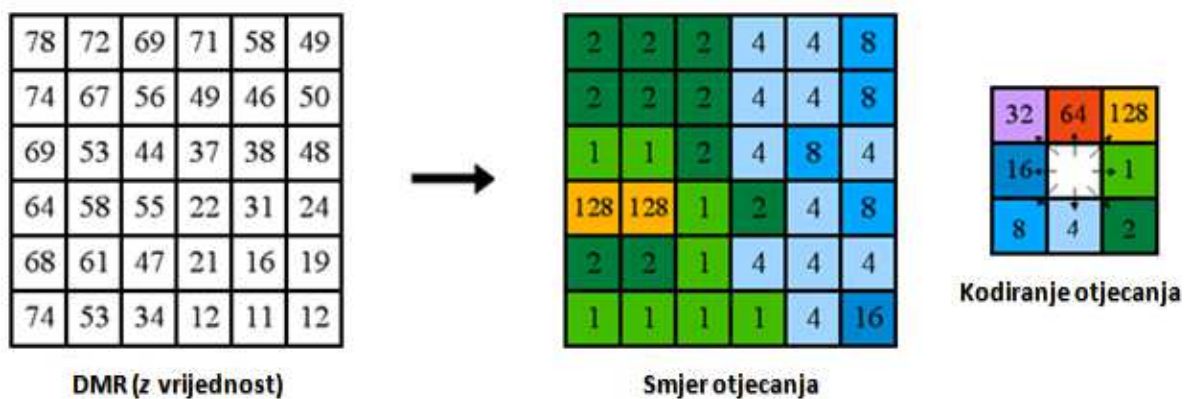
Za razliku od prvog modela smjera otjecanja koji je bio definiran s 118 smjerova, novi model otjecanja (nakon filtriranja modela) definiran je s 8 mogućih smjerova otjecanja u mreži 3 puta 3 kvadrata. Nakon određivanja smjera otjecanja drugi korak je definiranje točaka otjecanja. Na temelju informacija o poplavi u rujnu 2017. godine, terenskog izvida i razgovora s lokalnim stanovništvom, mogu se definirati 3 specifične točke ugroze, koje će reprezentirati točke otjecanja: a) uvala Sali, b) uvala Saščica i c) lokva u Saljskom polju. Navedene lokacije predstavljaju područja najvećih akumulacija. Za točan model određivanja razvodnica točke slijevanja moraju biti precizno locirane u odnosu na model površinskog otjecanja.



Slika I-15. DMR nakon uklanjanja „lažnih“ sinkova

Generiranje modela smjera otjecanja

Nakon uklanjanja lažnih ponora, potrebno je odrediti smjer otjecanja sa svakog točke unutar modela. To je jedan od ključnih dijelova utvrđivanja hidroloških karakteristika određenog prostora. Postoji osam valjanih izlaznih smjerova (D8) koji se odnose na osam susjednih elemenata mreže u koje voda može otjecati iz središnjeg, devetog piksela za kojeg se utvrđuje smjer (Slika I-16).



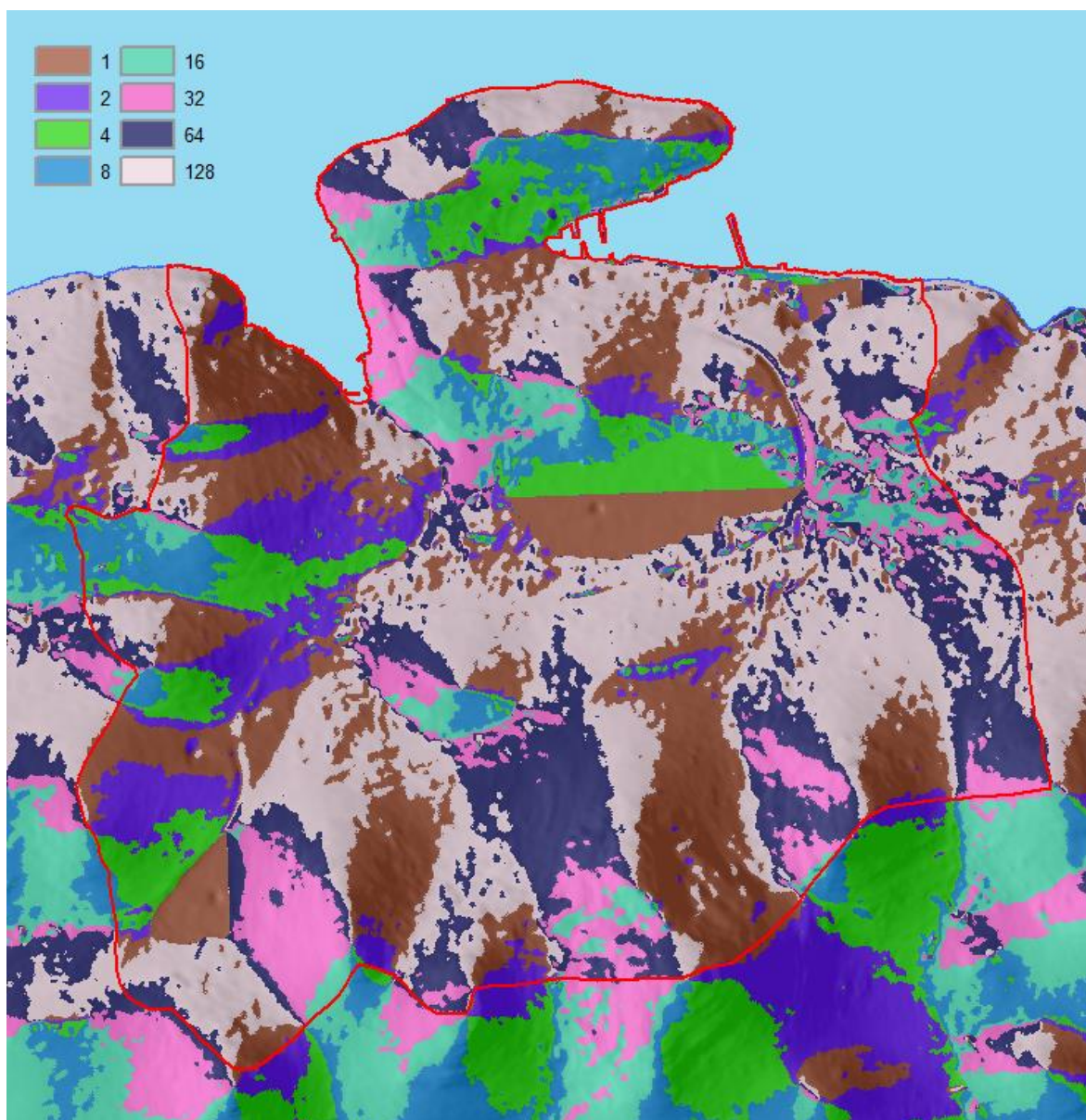
Slika I-16. Shema kodiranja i određivanja smjera otjecanja

Smjer otjecanja određuje se na temelju smjera najstrmijeg pada, odnosno maksimalnog spuštanja iz svakog elementa rastera. To se izračunava na sljedeći način:

najstrmiji pad = promjena u z vrijednosti između dvije točke (piksela) / udaljenost između dva piksela * 100

Udaljenost između elementa mreže se računa od njihova središta. Primjerice, ako prostorna rezolucija iznosi 1 m, udaljenost između ortogonalnih piksela (okomitih i vertikalnih od središnjeg) iznosi 1 m, dok udaljenost između dijagonalnih iznosi 1,414 (korijen iz 2). Ukoliko je pad isti u nekoliko smjerova susjedstvo se povećava sve dok se ne pronađe najstrmiji smjer.

Za potrebe izračuna smjera otjecanja ubacuje se ispravljeni DMR s kojeg su u prethodnom koraku uklonjeni lažni ponori. Na slici I-16 vidljiv je model smjera otjecanja izveden na temelju ispravljenog DMR-a. S pomoću integriranih algoritama izračunava se smjer otjecanja za prostor DMR-a definiranog pomoćnim poligonom. U izlaznom rezultatu jasno se uočava da je algoritam prepoznao samo osam mogućih smjerova otjecanja (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 i 128) (Slika I-17).

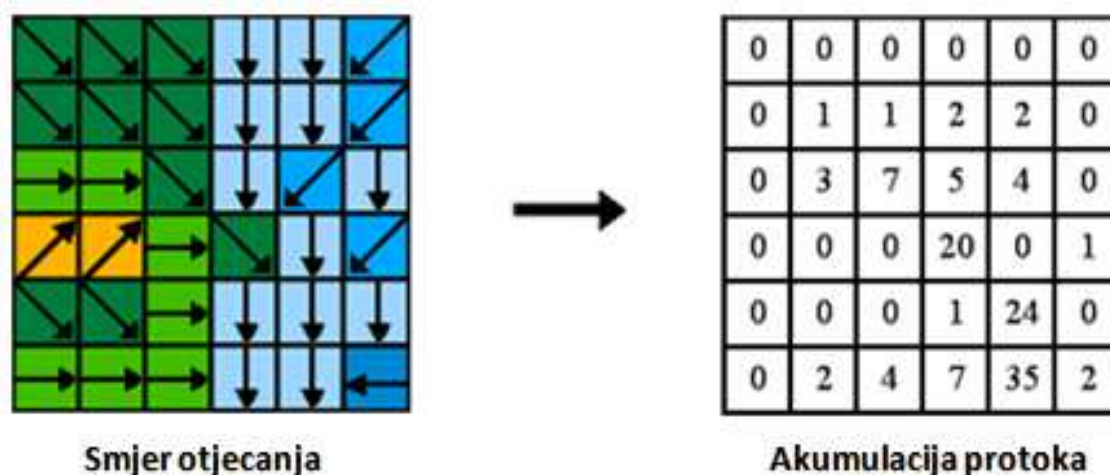


Slika I-17. Smjer otjecanja za širi prostor ispravljenog DMR-a

Generiranje modela akumulacije

Nakon izvođenja modela smjera otjecanja (Slika I-18) potrebno je utvrditi na kojim elementima mreže i uolikoj mjeri dolazi do akumulacije vode (*flow accumulation*). Nakupljanje vode na određenom elementu mreže računa se na modelu smjera otjecanja. Akumulacija vode određuje se za svaki piksel unutar cijelog modela. Naime, postavlja se faktor težine koji najčešće iznosi 1 te se on pridodaje svakom

pikselu. Izlazni rezultat je u tom slučaju model u kojem svaki element mreže ima određenu vrijednost (1,2,3 itd.). Ta vrijednost ukazuje na to s koliko se ostalih okružujućih piksela voda slijeva na onaj piksel za koji se procjenjuje akumulacija.



Slika I-18. Shema određivanja akumulacije protoka

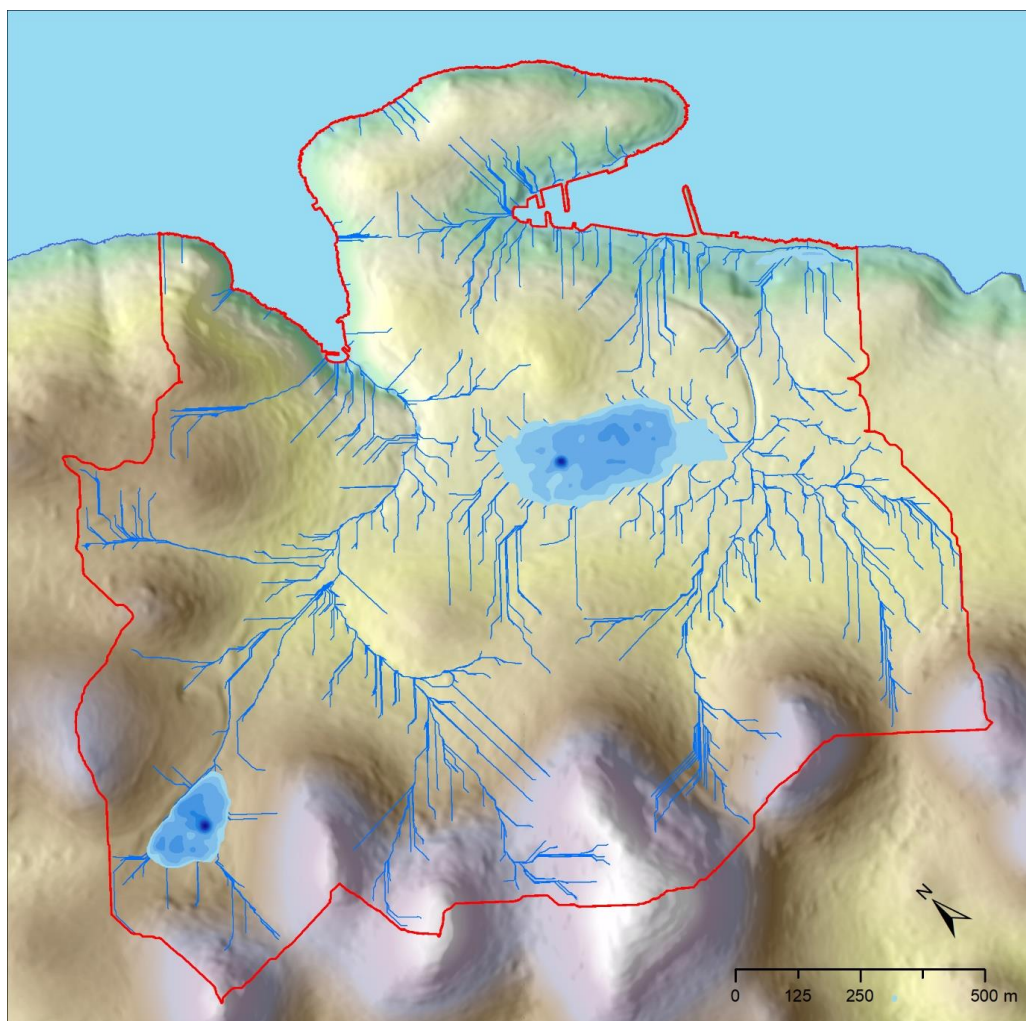
Primjerice, ukoliko određeni piksel ima vrijednost 30, to znači da se s 30 okružujućih piksela voda slijeva na njega. Dakle, pikseli s velikim vrijednostima ukazuju na područja veće akumulacije i mogu služiti za identifikaciju koncentriranih tokova. Elementi mreže s vrijednosti 0 ukazuju na *lokalne topografske uspone*, odnosno prostore gdje se akumulacija vode ne odvija čime mogu služiti za identifikaciju grebena.

Na temelju modela smjera otjecanja ispravljenog DMR-a generirani su modeli akumulacije protoka za prostor određen poligonom (Slika I-19).

Unutar modela akumulacije dobivenog na temelju ispravljenog DMR-a najveća vrijednost akumulacije iznosi 12213613. To znači da unutar tog modela postoji piksel na kojeg voda otječe s okružujućih 12213613 piksela. U cijelom modelu nalazi se ukupno 118309048 piksela.

Dobiveni model akumulacije je klasificiran u dvije klase. Kao povremeni i stalni tokovi izdvojeni su oni elementi mreže (plava boja) koji imaju vrijednost akumulacije veću od 24427226, na taj način određujući gustoću drenažne mreže. Drugim riječima kao mogući tokovi izdvojeni su oni pikseli na koje se s više od 24427226 okružujućih piksela slijeva voda. Nakon reklasifikacije, rasterski model mogućih tokova pretvoren je u vektorski oblik podatka (liniju) koji je potom uglačan kako bi se osigurao estetski i kartografski dojam. Oba modela drenažne mreže preklapljeni su s DMR-om i modelima smjera otjecanja (Slika I-19).

Duljina drenažne mreže generirana unutar šireg poligona na temelju ispravljenog DMR-a iznosi oko 132 km.



Slika I-19. Drenažna mreža s značajnim područjima akumulacije vode

Određivanje većih drenažnih bazena

Određivanje topografskog porječja utvrđuje se kroz identificiranje graničnih crta koje razgraničavaju okružujuće drenažne bazene. Te granične crte nazivaju se površinske razvodnice. Glavno obilježje drenažnog bazena jest da je to prostor unutar kojeg se sve površinske vode konvergiraju u jednu točku (točka slijevanja - *pour points*) na nižoj nadmorskoj visini, obično na izlazu drenažnog bazena, gdje se potom pridružuju drugom vodenom tijelu.

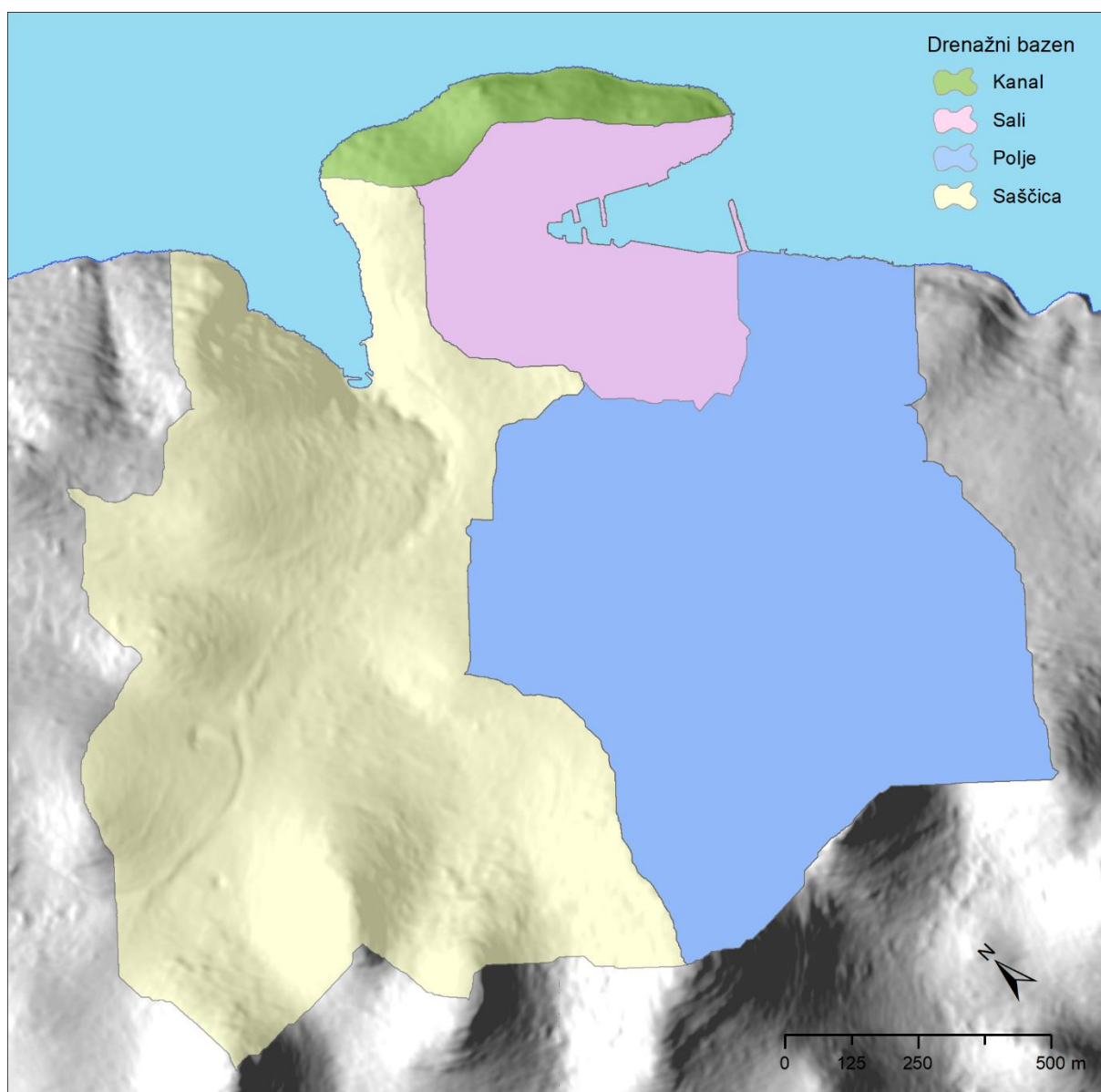
Precizno određivanje i razgraničavanje drenažnih i sub-drenažnih bazena provodi se kroz dva povezana koraka. Prvi korak predstavlja automatski način generiranja. Njime se izvode drenažni bazeni velikih površina koji prekrivaju cijelo istraživano područje (Slika X.20). Softver u potpunosti sam određuje granice velikih drenažnih bazena na način da koristi ulazni model smjera otjecanja (*flow direction*) iz kojeg izravno pronalazi sve one elemente mreže koji pripadaju istom drenažnom bazenu. U tom scenariju softver pronalazi samo jednu točku slijevanja vode (*pour point*) za svaki razgranati vodeni tok. Ta točka se nalazi na rubovima istraživanog prostora, odnosno na onom pikselu gdje je najveća vrijednost akumulacije. Dakle, on postavlja samo jednu točku slijevanja uz rub istraživanog prostora. Potom identificira područje, odnosno one elemente mreže s kojih se slijeva voda do te točke. Na taj način dobiva se model drenažnih bazena dobiven automatski pomoću alata *Basin* (Slika I-19).



Slika I-20. Automatski generirani drenažni bazeni

Ova metoda je veoma jednostavna i zahtjeva minimalan trud i ulaz podataka od strane korisnika. S obzirom na to da softver sam odabire samo jednu točku slijevanja po vodenom toku, korisniku s ovom metodom nije moguće generirati manje sub-drenažne bazene. Također, jedan od nedostataka ove metode je da na rubovima istraživanog područja potencijalno može kreirati velik broj manjih drenažnih bazena (Slika I-20 - žuti krugovi).

Dobiveni model drenažnih bazena potom je izmijenjen na način da su grupirani oni bazeni koji odvodnjavaju isto područje te čine smislenu hidrološku cjelinu. Na taj način dobivena su 4 drenažna bazena većih površina unutar istraživnog područja zadanog pomoćnim poligonom (Slika I-21).



Slika I-21. Grupirani drenažni bazeni na temelju kojih je određeno područje istraživanja

Određivanje gustoće drenažne mreže

Za dobivene modele većih drenažnih bazena izvedeni su statistički pokazatelji gustoće drenažne mreže. Ukupna površina generiranih bazena iznosi 2,23 km². Najveću površinu ima bazen Saščica, unutar kojeg se nalazi jaruga.

Ukupna duljina drenažne mreže generirana nakon reklasifikacije modela akumulacije s vrijednošću $N > 24427226$ iznosi oko 132 km.

Gustoća drenažne mreže izračunata unutar drenažnih bazena dobivena je na temelju frekvencija tokova (*stream frequency*). Vrijednost koju ona generira ukazuje na broj segmenata drenažne mreže po jedinici površine drenažnog bazena. Ona ukazuje na strukturu i segmentaciju drenažne mreže te odražava svojstva podloge (propusnost, tip stijena). Za izvođenje ovog tipa gustoće drenažne mreže nužno je poznavati površinu drenažnog bazena i broj segmenata toka unutar njega. Broj segmenata toka dobiven je nakon određivanja hijerarhije tokova drenažne mreže na temelju Stahlerove metode. Formula ove metode glasi:

$$F = N/A$$

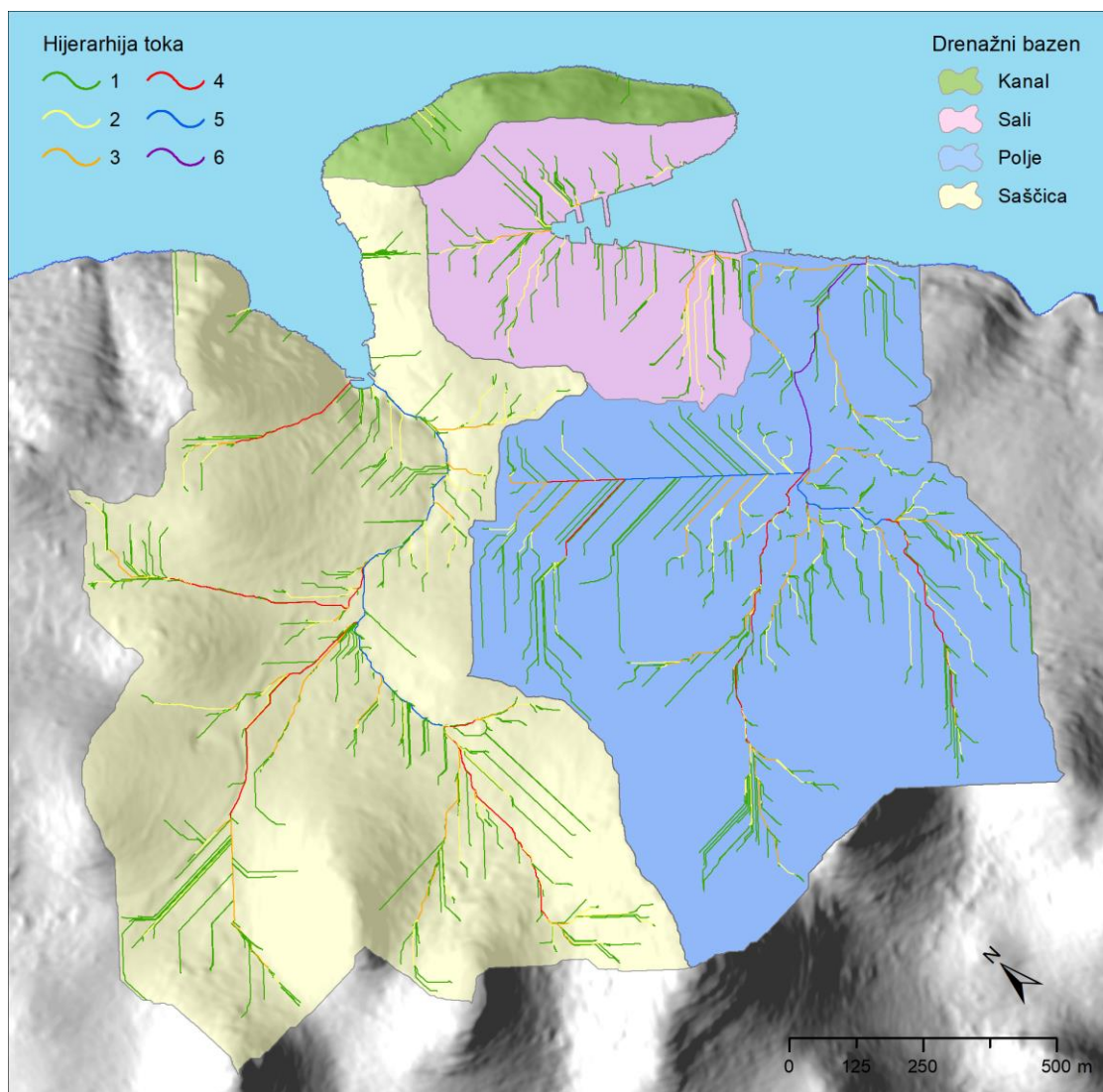
gdje je:

F = ukupan broj segmenata po jedinici površine

N = broj segmenata toka unutar specifičnog drenažnog bazena

A = površina specifičnog drenažnog bazena

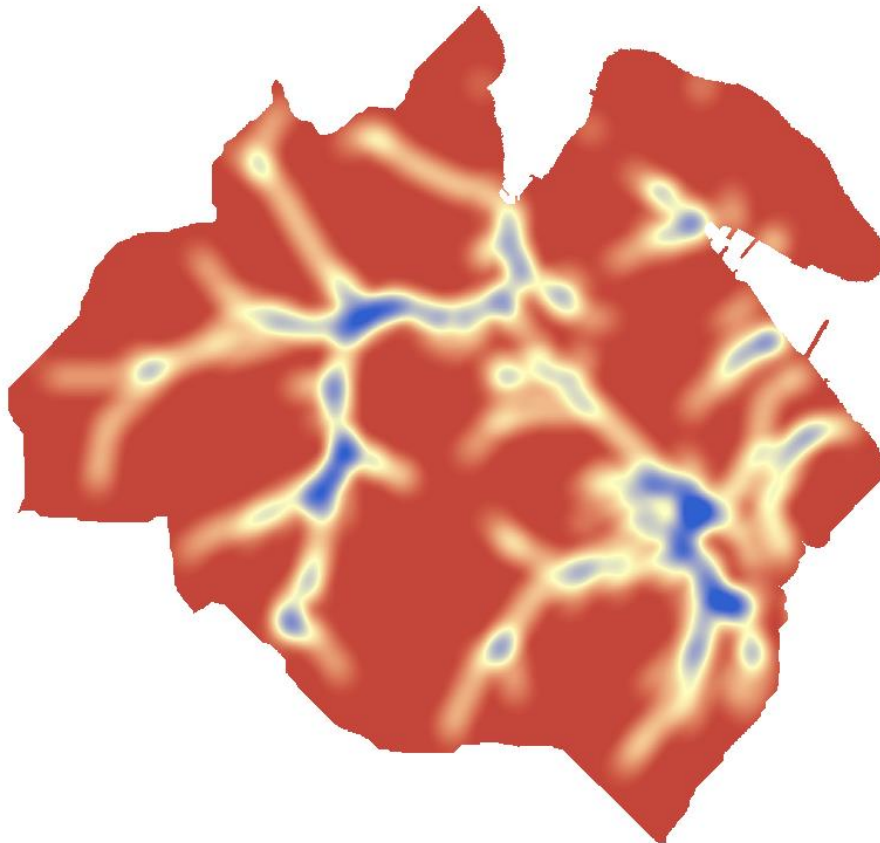
Stahlerova metoda određivanja hijerarhije toka (*Stahler stream order*) predložena je 1952. godine od strane geografa Arthura Newella Strahlera. Svrha metode je klasifikacija segmenata drenažne mreže prema snazi njihovih pritoka. Osnovna pretpostavka metode je da hijerarhija određenog toka raste jedino ako se ukrštavaju tokovi istog reda. Tako će se nakon ukrštavanja segmenata toka prvog i drugog reda nastaviti dalje segment toka s redom vrijednosti dva, drugim riječima do stvaranja toka koji bi nosio vrijednost reda tri neće doći (Slika I-22). Model hijerarhije drenažne mreže prema Stahlerovoj metodi vidljiv je na slici I-22.



Slika I-22. Hijerarhija drenažne mreže prema Stahlerovoj metodi

Izuzetno statistike koja pruža određene informacije o gustoći drenažne mreže, potrebno je kreirati i rasterski model koji bi ukazivao na prostore najveće gustoće drenažnih kanala. Takvi modeli mogu se generirati pomoću integriranih GIS alata *Kernel Density* i *Focal Statistic*. Odabran je alat *Kernel Density*. Izlazni model ukazuje na to koji prostori unutar generiranih drenažnih bazena imaju najveću gustoću pritoka. Što su ti pritoci manje udaljeni to će gustoća biti veća.

Najveće vrijednosti gustoće drenažne mreže prema dobivenom modelu ima prostor oko nogometnog igrališta i na središnjem dijelu jaruge Sašćica (kod trgovine za prodaju građevinskog materijala).



Slika I-23. Gustoća drenažne mreže

Model procjene poplava - brzina otjecanja oborina u drenažnim bazenima

Na temelju provedenih osnovnih hidroloških analiza i kombinaciju dodatnih parametara generirani su modeli procjene poplava - brzine otjecanja oborina u drenažnim bazenima Sali i Sašćica (Slika I-24 i 25).

Za izradu modela ukupno je korišteno 5 osnovnih hidroloških kriterija: definiranje ponora, smjera otjecanja, područja akumulacijskog otjecanja, razvodnica, duljina otjecanja i 2 dodatna kriterija: brzina polja i težinski kriterij. Karakteristike osnovnih kriterija su detaljno opisane u prethodnom tekstu. Svrha korištenja dodatnih kriterija je mogućnost utvrđivanja koliko dugo je potrebno da voda dođe do izlaza, omogućavajući donositeljima odluka da bolje predviđaju kada će se poplava dogoditi tijekom hipotetičkog kišnog događaja. Prvi korak stoga je bio utvrditi koliko brzo voda teče pomoću polja brzina. Postoji mnogo vrsta polja brzina i mogu se izračunati pomoću velikog broja matematičkih jednažbi. Za izradu ovog modela korišteno je polje brzine koje je prostorno varijantno, ali vrijeme i pražnjenje su invarijantni.

To znači da je polje brzina dobiveno iz sljedećih pretpostavki:

- na brzinu utječu prostorne komponente kao što su nagib, zemljišni pokrov i akumulacija protoka (prostorna varijanta);
- brzina na određenoj lokaciji s vremenom se ne mijenja (vremenska invarijantnost);
- brzina na određenom mjestu ne ovisi o lokaciji protoka vode (invariantno pražnjenje).

U stvarnosti, brzina bi mogla biti vremenski ovisna varijabla i definitivno bi bila varijabla pražnjenja. Međutim, uključivanje ovih inačica zahtijeva dodatne skupove podataka koji nam nisu dostupni i koriste tehnike modeliranja koje se ne mogu ponoviti u GIS okruženju. Prostorno varijantno, vremensko i protočno invariantno polje brzine pružit će općenito točan rezultat, iako je važno imati na umu da će bilo koja metoda biti samo približna vrijednost opaženih pojava.

Za izradu modela korištena je metoda za kreiranje polja brzine koju su prvi predložili Maidment i dr. (1996).

U ovoj se metodi svakom pikselu u polju brzine dodjeljuje brzina na temelju lokalnog nagiba i područja doprinosa uzvodno (broj ćelija koje ulaze u tu ćeliju ili akumulacije struje). Oni koriste sljedeću jednadžbu:

$$V = V_m (s^b A^c) / (s^b A^c_m)$$

Gdje je „V“ brzina jedne ćelije s lokalnim nagibom „s“ i uzvodnim dijelom „A“ koji pridonosi. Koeficijenti b i c mogu se odrediti kalibracijom, statističkom metodom podešavanja parametara modela tako da se predviđeni podaci što bliže promatranim podacima. Preporučena vrijednost metode $b = c = 0,5$. V_m je prosječna brzina svih piksela u slivu. Pretpostavljena prosječna brzina $V_m = 0,1 \text{ m / s}$. $s^b A^c_m$ je prosječni izraz nagiba na cijelom slivu. S ciljem izbjegavanja rezultata koji su nerealno brzi ili spori, postavljena su ograničenja za minimalne i maksimalne brzine. Donja granica iznosi 0,02 metra u sekundi, dok je gornja granica 2 metra u sekundi.

S ciljem izrade izokronske karte (procjena vremena potrebnog da voda stigne do točaka slijevanja) vrijeme protoka izračunato je na temelju jednadžbe: duljina vode koja mora teći podijeljena s brzinom kojom teče. Za određivanje duljine protoka, korištene su dvije varijable: smjer protoka i težina. Težina, s obzirom na protok, predstavlja impedancu. Na primjer, vodi koja teče šumovitim zemljištem treba više vremena od vode koja teče preko glatke stijene, jer je ometa teren.

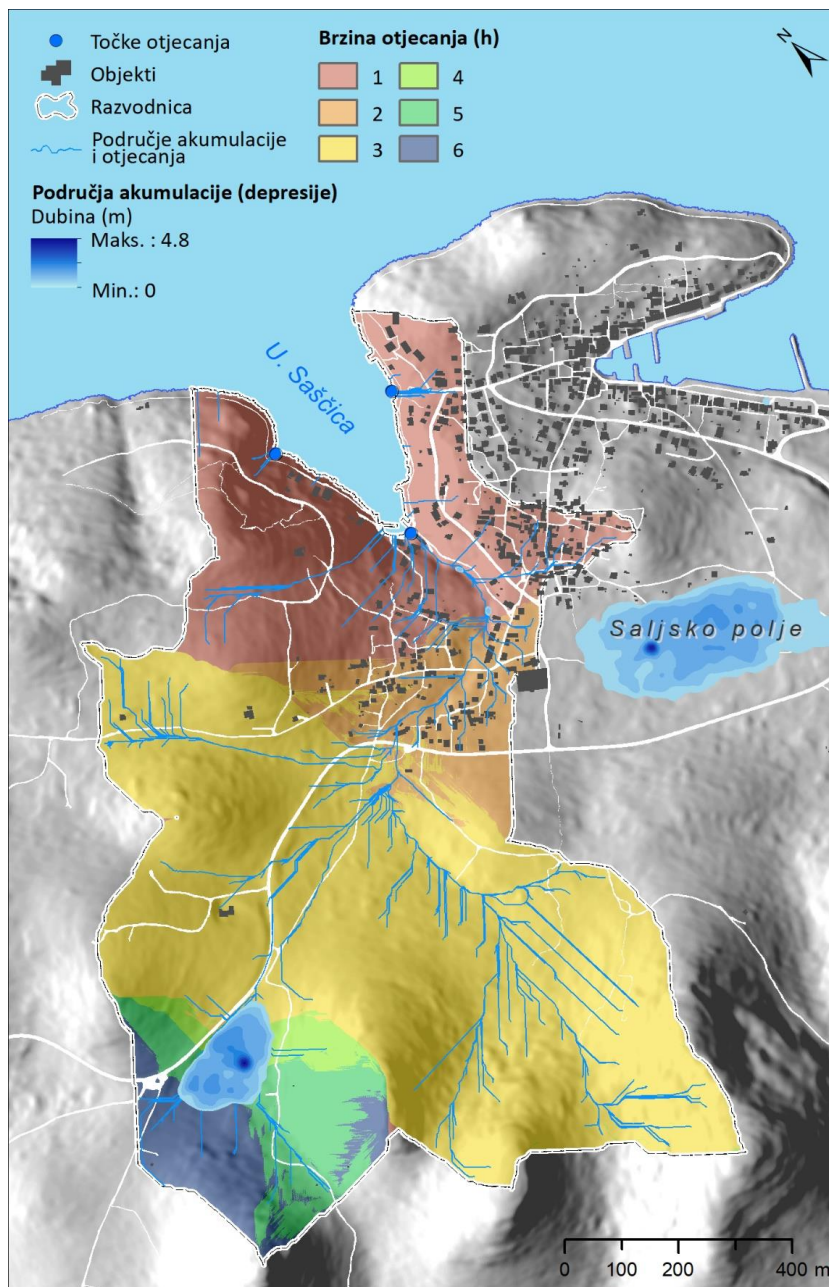
Za izračunavanje kriterija težine korištene su sljedeće dvije jednadžbe za pronalaženje vremena protoka:

$$\text{Vrijeme protoka [T]} = \text{duljina protoka [L]} / \text{brzina [LT-1]}$$

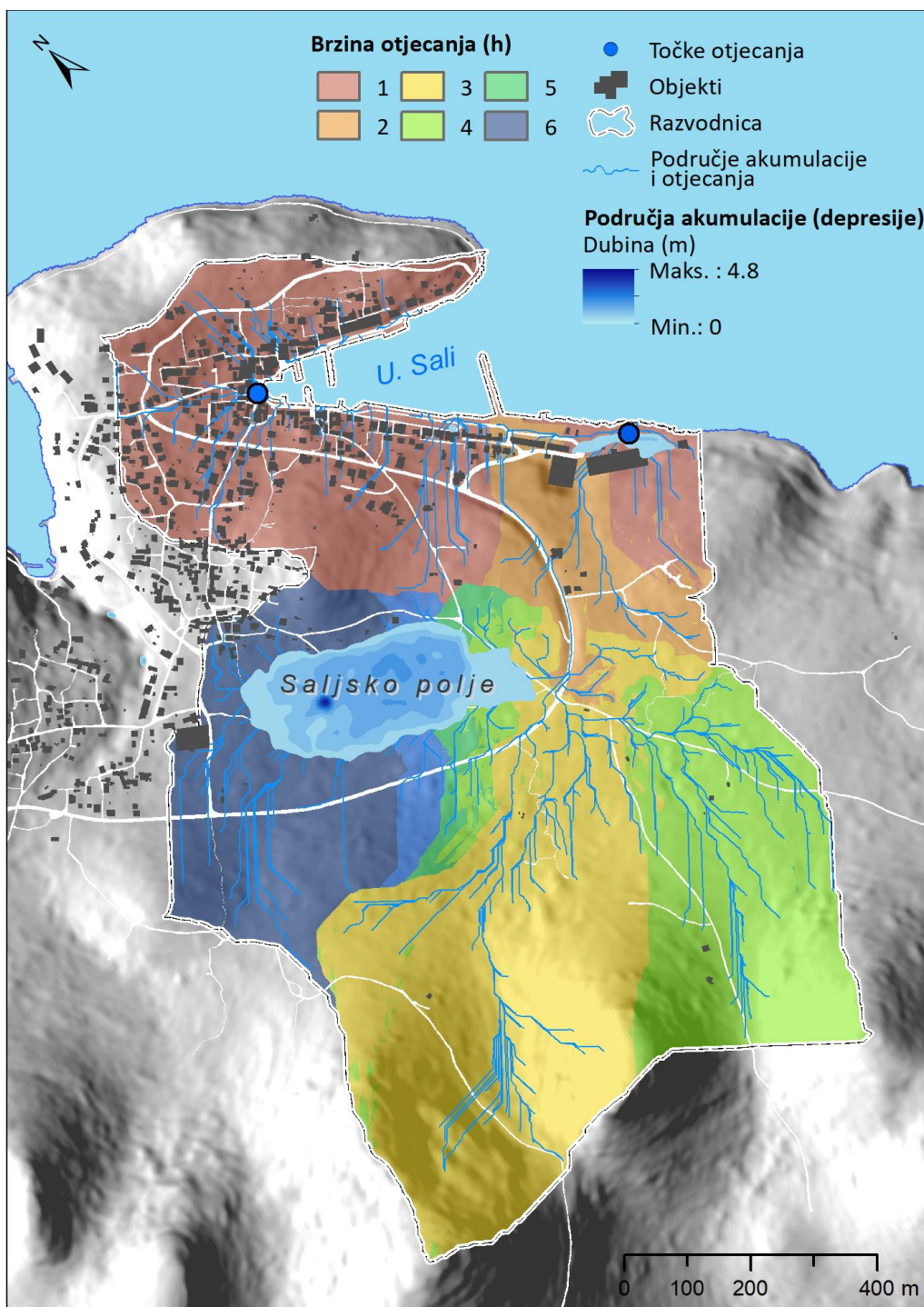
Vrijeme protoka [T] = duljina protoka [L] * Težina [L-1T]

Kombinacijom ovih jednadžbi dobivena je jednadžba:

Težina [L-1T] = 1 / Brzina [LT-1]



Slika I-24. Model procjene poplava - brzina otjecanja oborina u drenažnom bazenu Sašćica



Slika I-25. Model procjene poplava – brzina otjecanja oborina u drenažnom bazenu Sali i Polje

Model rizika od poplava uslijed oborina

Za izradu modela rizika od poplava (MRP) (Slika I-28) korišten je proces višekriterijskih GIS analiza koji je uključivao 6 koraka (proces detaljno opisan u poglavljima o izradi modela rizika od poplava i erozije tla). Standardizacija kriterija je izvedena korištenjem Fuzzy Membership (FMS) metode. Najveći težinski koeficijent imao je kriterij depresije, a zatim gustoća drenažne mreže. MRP je generiran na temelju 5 kriterija (Slika I-26):

- a) Depresije (akumulacije) – prilikom procesa filtriranja inicijalnog DMR, za potrebe izvođenja osnovnih hidroloških analiza, dabrani su parametri na temelju kojih je generiran model u kojem su „zapunjena“ sva područja depresija s ciljem izvođenja kontinuiranog akumulacijskog otjecanja i smjera otjecanja s 8 smjerova. Razlika između inicijalnog i zapunjenog DMR predstavlja područja depresija (akumulacija) unutar kojih se za vrijeme oborina najprije počinje akumulirati voda. Za standardizaciju kriterija korištena metoda FMS – MS Large
- b) Gustoća drenažne mreže – generirana na temelju klasifikacije akumulacijskog otjecanja pomoću Strahlerove metode. Tokovi su grupirani u 6 klasa hijerarhije toka. Korištenjem metode Kernel Density izrađen je model gustoće drenažne mreže. Za standardizaciju kriterija korištena je metoda FMS – Linear
- c) Indeks snage toka – je jedan od važnijih čimbenika koji utječu na intenzitet padinskih procesa, jer snaga površinskog otjecanja izravno utječe na intenzitet usijecanja vodotoka u podlogu. Strmije padine većih drenažnih bazena obilježavaju veće vrijednosti ovog indeksa te veću vjerojatnost protjecanja i akumuliranja vode, jer veličina drenažnog bazena utječe na volumen površinskog otjecanja, a nagib padine na brzinu površinskog otjecanja. Za standardizaciju kriterija korištena je metoda FMS – MS Large
- d) Nagib padine - jedan je od glavnih čimbenika u evoluciji padinskog reljefa, koji izravno utječe na intenzitet različitih denudacijskih procesa (Wilson i Gallant, 2000.). Zbog izraženog utjecaja nagiba padinama na evoluciju padinskog reljefa kriterij nagiba padine ima odlučujuću ulogu u izradi modela rizika od poplava. Za standardizaciju kriterija korištena je metoda FMS – Linear
- e) Brzina otjecanja - na temelju provedenih osnovnih hidroloških analiza, te kombinaciju dodatnih parametara generirani su modeli brzine otjecanja oborina u drenažnim bazenima Sali i Saščica. Za izradu modela ukupno je korišteno 5 osnovnih hidroloških kriterija: definiranje ponora, smjera otjecanja, područja akumulacijskog otjecanja, razvodnica, duljina otjecanja i 2 dodatna kriterija: brzina polja i težinski kriterij. Karakteristike osnovnih kriterija su detaljno opisane u prethodnom tekstu.

Set weights ×

Criteria hierarchy

- 1 Objective
 - 2 Depresije [45.932]
 - 2 Gustoća mreže [24.972]
 - 2 Nagib [14.491]
 - 2 IST [8.9]
 - 2 Brina otjecanja [5.704]

Preference matrix
 Set values between 1 and 9 (equal (1) to strong (9) preference).
 Compared is row against column. Transpose values are set autom

	oća mreže	Nagib	IST	Brina otjecanja
Depresije	2	4	5	6
Gustoća mreže	1	2	3	4
Nagib	.5	1	2	3
▶ IST	333	.5	1	2
Brina otjecanja	.25	.333	.5	1

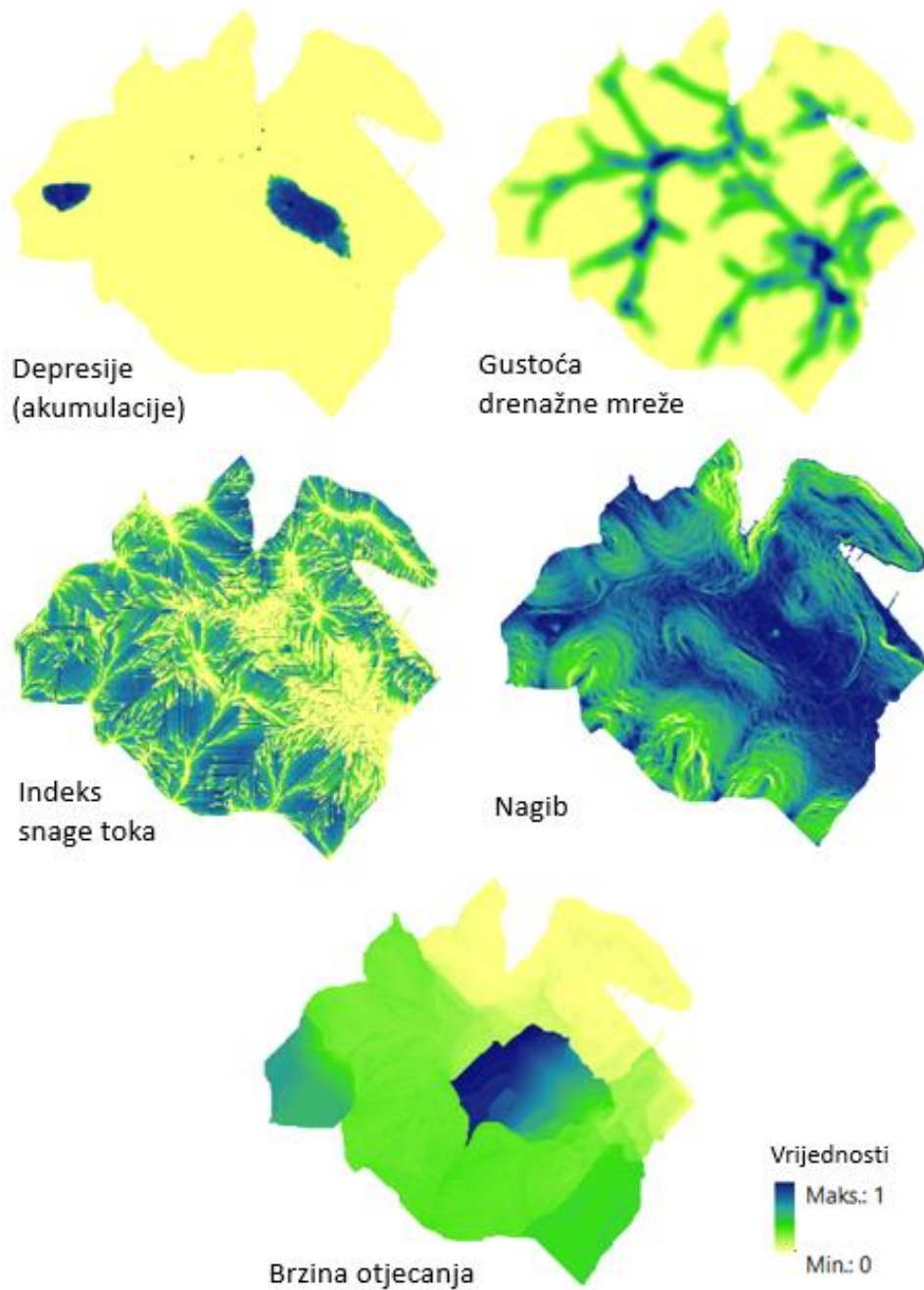
Ahp results

Gustoća mreže: 24.972
 Nagib: 14.491
 IST: 8.9
 Brina otjecanja: 5.704

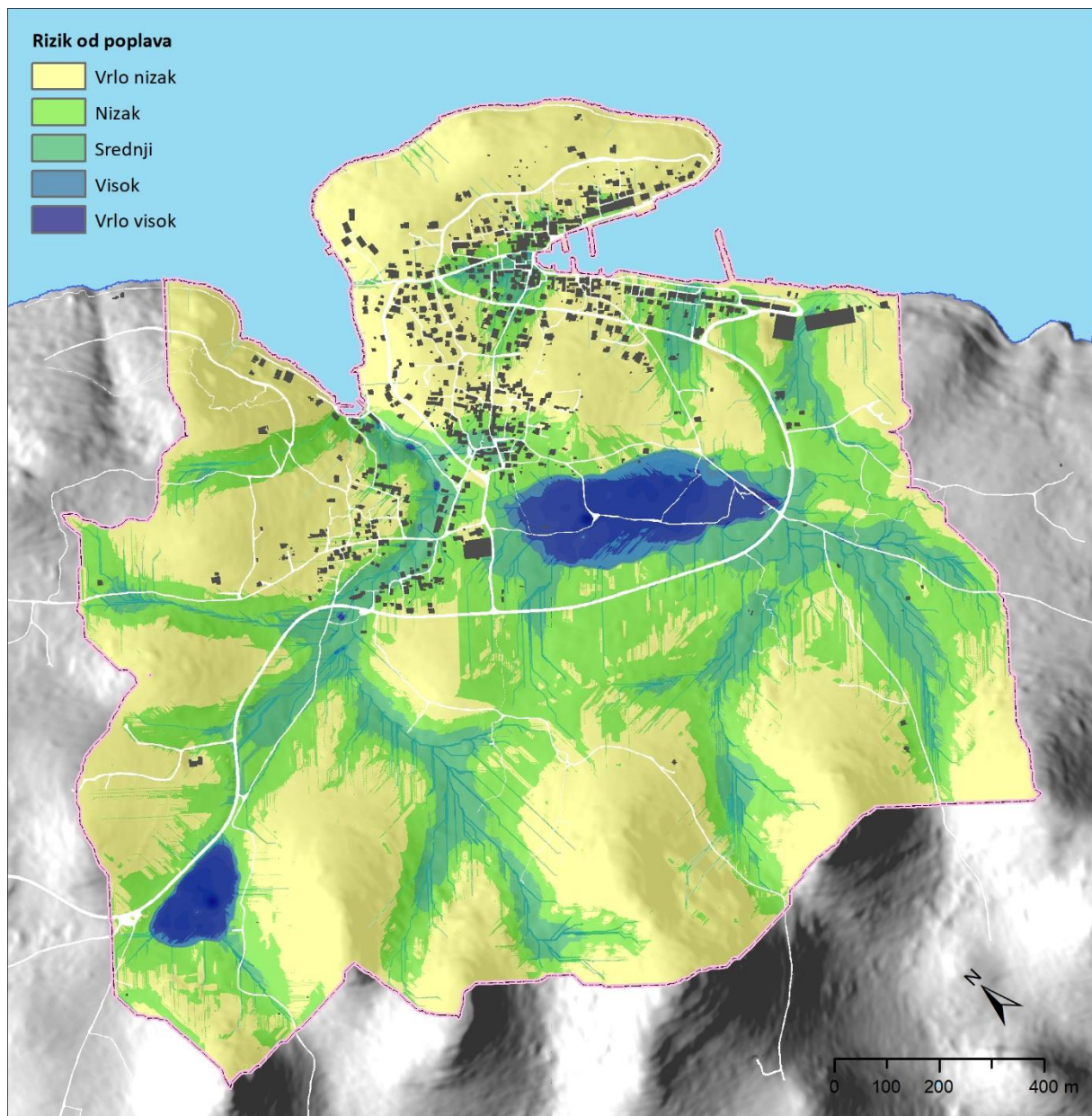
CR: 0.014

create file?

Slika I-26. Korišteni alat u procesu generiranja modela



Slika I-27. Standardizirani kriteriji za izradu modela rizika od poplava



Slika I-27. Model rizika od poplava uslijed oborina

3. Model rizika od izbijanja otvorenog požara

Uvod

Jedna od značajnih preventivnih mjera u sprječavanju požara je određivanje **rizika od izbijanja požara raslinja**. U engleskoj literaturi za požare koji izbijaju na otvorenom prostoru pretežno se koriste nazivi *Wildfire* ili *Forest Fire*. U hrvatskom jeziku udomačili su se nazivi šumski požar ili požar otvorenog prostora. Šumski požar je po samom značenju riječi požar u kojem gori šuma, dok je požar otvorenog prostora bilo koji požar koji se ne događa u zatvorenom prostoru. Prema tome požar otvorenog prostora uključuje i požare građevina i drugih struktura koje su se cijele zapalile, pa nije potrebno kod gašenja požara ući u unutrašnji prostor. Požar kod koje je primarna goriva tvar isključivo vegetacija, a ne ljudske tvorevine, u engleskoj se literaturi uobičava nazivati *Wildfire*.

Opasnost od izbijanja požara raslinja (eng. *Forest Fire Danger*) je rezultat konstantnih i promjenjivih čimbenika vezanih s zapaljenjem, širenjem, teškoćom gašenja i utjecajem vatre na okolinu.

U literaturi se mogu se razlikovati tri osnovna tipa opasnosti povezana s požarima:

- a) **opasnost zapaljenja** (eng. *Ignition Danger*) – čine ga faktori vezani za inicijalno zapaljenje požara raslinja
- b) **opasnost širenja** (eng. *Propagation Danger*) – čine ga faktori koji pogoduju širenju vatre
- c) **ranjivost** (eng. *Vulnerability*) - čine ga faktori vezani s potencijalnom štetom koju požar može napraviti na okoliš i socio-ekonomske elemente

Prema terminologiji **rizik izbijanja požara raslinja** je “rizik pojave vatre uzrokovane prisutnošću i aktivnošću bilo kojeg uzroka paljenja požara s isključenom infrastrukturom”. Procjena rizika požara raslinja u užem smislu, bez uključivanja mogućih šteta, uključuje **identificiranje i kvantificiranje rizičnih varijabli**, te proračun numeričkog pokazatelja koji se naziva **indeks rizika od izbijanja požara raslinja** (eng. *Forest Fire Risk Index*). Indeks iskazuje stupanj rizika požara raslinja i vezan je s određenim zemljopisnim područjem. U literaturi postoji mnogo načina izračuna indeksa rizika izbijanja požara raslinja.

Šumski požari (požari raslinja) su složene pojave koje se uglavnom događaju kao rezultat prirodnih i ljudskih čimbenika. Mnoge zemlje koje su suočene s problemima požara razvile su sustave procjene opasnosti od požara kako bi upravljale tim kompliciranim pojavama (Viegas i dr. 1999). Znanje stečeno kroz ove sustave omogućava agencijama civilne zaštite da **identificiraju rizična područja** i planiraju potrebne **preventivne i kontrolne** akcije (Deeming i sur. 1977; Hoffmann i sur. 1999; Taylor i Alexander 2006; Van Wagner 1987). Prostorni podaci koji se uzimaju u obzir pri identificiranju pojava divljih požara

često se prikupljaju, upravljaju, analiziraju i prezentiraju primjenom geografskih informacijskih sustava (Chou 1992a; Chuvieco i Congalton 1989; Preisler et al. 2004).

Procjena opasnosti od požara, odnosno procjena onih uvjeta koji mogu dovesti do paljenja vatre (eng. *fire ignition index*) problematika je koja nije dovoljno obrađena u znanstvenoj literaturi. **Indeks izbijanja požara raslinja** (*Fire Ignition Index*) uzima u obzir varijable koje utječu na **vjerojatnost početka/nastanka požara**. U pravilu se u literaturi po važnost (težinskim koeficijentima) ističu kriteriji koji reprezentiraju pojavu požara izazvanu primarno **čovjekovim djelovanjem**.

Generalno, izbijanje otvorenih požara može biti posljedica:

- 1) **prirodnih uzroka** (npr. udar groma, sušna razdoblja...)
- 2) **namjernog djelovanja** čovjeka (npr. piromani...)
- 3) **nenamjernog djelovanja** čovjeka (npr. bacanje otpada, opuška...)

Posljednjih nekoliko desetljeća na **području Mediterana**, uslijed povećanja **temperaturnih ekstrema** i povećanja **učestalosti toplinskih valova** s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka većom od 30 °C, prisutan je generalni trend **povećanja opožarene površine, učestalosti požara, njihovog intenziteta i žestine**. U Hrvatskoj je taj trend također uočljiv (Bakšić i dr., 2015).

U požarnoj je sezoni, prema razdoblju **1981–2010**, najugroženije područje u Hrvatskoj, s obzirom na požare raslinja, **dalmatinska obala** s otocima i **dalmatinsko zaleđe** (Barešić, 2011). Glavni razlozi su dugotrajna **sušna razdoblja** s visokom temperaturom zraka. Tu potencijalnu opasnost od šumskih požara svakako povećava i **ljudski čimbenik** zbog povećanog broja turista u ljetnim mjesecima (Bakšić i dr., 2015).

U tom kontekstu potrebno je promatrati naselje Sali gdje je specifična struktura reljefa i sastava tla podijelila jukupni prostor na područja obuhvaćena različitim vrstama šumske vegetacije. U **priobalnom** pojasu u nizinskom dijelu prisutan je **kultivirani krajolik** na kojem su prirodne biljne zajednice mahom nestale. Međutim, zbog **čestih požara** koji obično u razdobljima od desetak godina, haraju otokom, napuštena su **teže pristupačna poljoprivredna područja** na kojima se razvijaju šume **alepskog bora** i prevladavajuće **degradirane šume hrasta crnike**. Alepski bor je nakon požara potisnuo i visinske šume crnog bora. Glavni fitološki obrisi su sačuvani, ali je fizionomska komponenta bila izložena dugotrajnom utjecaju čovjeka, posebno intenzivnom stočarenju i drvarenju.

Veliki dio otoka prekrivaju goleti, pašnjaci i kamenjari. Važno je napomenuti da značajan biljni pokrov otoka čine **maslinici** koji su uglavnom zapušteni.

Dakle, u ovoj analizi generiran je **indeks rizika izbijanja požara raslinja** (*Fire Ignition Index*) za širi prostor naselja i uvale Sali. Analiza se provedena **unutar drenažnog bazena** (oko 236 ha) naselja i uvale Sali.

Izvedena su **dva modela/scenarija rizika**. U **prvom** model rizik izbijanja požara raslinja izvedeni su **različiti težinski koeficijenti** za definirane kriterije, s naglaskom na važnost kriterija **zemljišnog pokova** (tip gorivnog materijala) i **antropogenog utjecaja** (blizina ceste i blizina prometnica). U **drugom** modelu rizika izbijanja požara raslinja svih definiranim kriterijima su dodjeljeni **isti težinski koeficijenti**.

Analiza je izvedena zato jer generiranje indeksa rizika od izbijanja požara može biti od suštinske važnosti za **uspostavljanje učinkovitog sustava prevencije i kontrole** šumskih požara. Svrha analize je detektiranje **najpodložnijih** zona, odnosno onih prostora na kojima postoji **najveći rizik** od izbijanja požara na širem području naselja Sali.

Nakon izvođenja modela te utvrđivanja prostora s **najvećim rizikom** od izbijanja požara raslinja predložen je **sustav mjera** za njihovu prevenciju.

GIS-MCDA

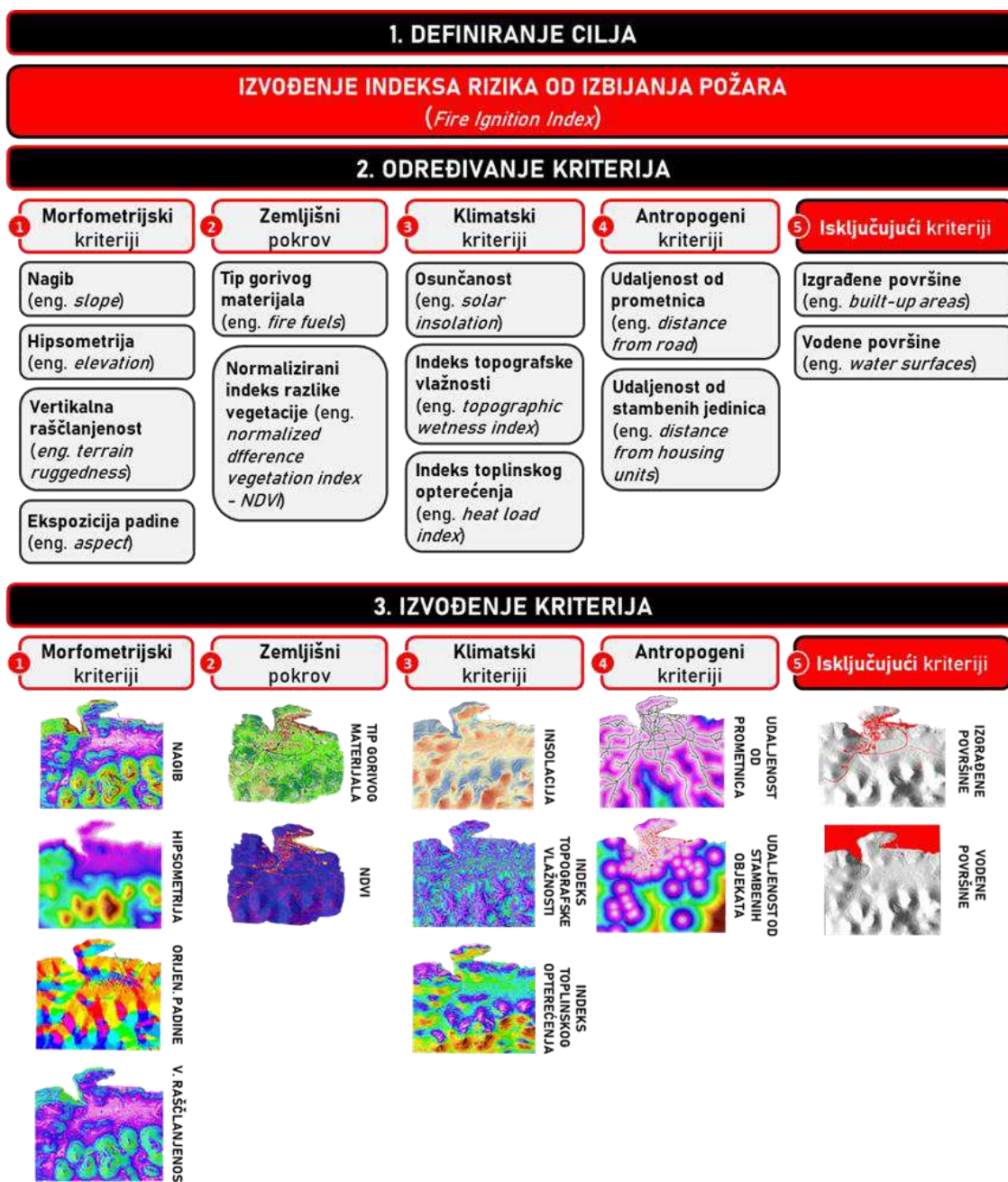
Indeks izbijanja požara je izveden primjenom **višekriterijske GIS analize (GIS-MCDA)**. Višekriterijska analiza (MCDA) je napredna poddisciplina operacijskih istraživanja i upravljanja, posvećena razvoju metoda i alata za podršku u odlučivanju pri rješavanju složenih problema, koji uključuju više kriterija i ciljeva, često oprečnog karaktera.

MCDA tehnike se koriste u širokom spektru problematike upravljanja (Linkov i dr., 2006, Ananda i Herath, 2009): analizama energetske politike (Haines i Hall, 1974), upravljanju šumama (Wolfslehner i dr., 2005), zaštiti prirodnih područja (Kiker i dr., 2005), upravljanju vodama (Keeney i dr., 1996), močvarnim područjima (Herath, 2004) te zaštićenim područjima (Prato, 2006, Khalili i Duecker, 2013). Između ostalog i u analizama gdje je potrebno uspostaviti ravnotežu između ponekad suprotnih zahtjeva (Linkov i dr., 2006). MCDA tehnike se često povezuju s paradigmom prilagodljivog (adaptivnog) upravljanja koje uvažava da donositelj odluka nema potpuno znanje o sustavu kojim upravlja.

Konvencionalne višekriterijske analize donošenja odluka su uglavnom zanemarivale **prostornu komponentu** kroz pretpostavljanje prostorne homogenosti unutar istraživanog područja. Takva pretpostavka u mnogim slučajevima odstupa od stvarnosti jer vrednovanje kriterija ovisi o specifičnom prostoru (Malczewski, 1999). Stoga donošenje primjerenih prostornih odluka sve više zahtjeva kombinaciju **MCDA i GIS-a** (Malczewski, 2006). Integracija MCDA i GIS-a poboljšava strukturu donošenja odluka kroz izvođenje prostornih analiza i vizualizaciju podataka (Uhde i dr., 2015) zbog čega predstavljaju značajno odstupanje od konvencionalnih tehnika (Malczewski, 1999). Integracija MDCA i GIS je bila ključna u razvoju paradigme potpore prostornom odlučivanju (Goodchild, 1993) u kojima je GST donositeljima odluka postala neizostavan alata (Malczewski, 2006). Na najosnovnijoj razini **GIS-MCDA** se može sagledati kao proces koji transformira i kombinira geografske podatke u procesu izvođenja informacija prilikom donošenja odluka (Malczewski, 2006). Višekriterijska GIS analiza može se definirati kao proces transformiranja i kombiniranja geografskih prostornih podataka u svrhu dobivanja

novih informacija o objektu proučavanja, nužnih za donošenje određenih odluka (Boroushaki i Malczewski, 2010; Malczewski, 2015.).

Proces GIS-MCDA se sastoji od **šest koraka** (Malczewski i Rinner, 2015). Donošenje odgovarajućih odluka uključuje niz aktivnosti koji započinju s **prepoznavanjem i definiranjem problema te postavljanjem cilja** (1). Za početak se uočava problem koji se može riješiti primjenom različitih tehnoloških rješenja (Deluka-Tibljaš i dr., 2013). Problem se može definirati kao uočena razlika, odnosno praznina između željenog i postojećeg stanja nekog sustava (Malczewski, 1999). Rješavanje uočenog problema predstavlja konačni cilj istraživanja. Izvode se varijante njegova rješenje te se odabire najbolja odluka koja se može primijeniti kako bi se problem uklonio, a željeni cilj ostvario. Odluka označava odabrani izbor između više alternativa (npr. najbolji izbor testne plohe unutar šireg područja Skradinskog buka), dok je cilj ono čemu višekriterijska analiza prethodi. Željeni cilj mora biti SMART (Domazetović, 2018). Akronim **SMART** označava poželjne značajke zadanog cilja. (S) (eng. *specific, significant*) označava jasno i dobro definiran problem koji je kao takav značajan u proučavanom kontekstu. (M) (eng. *measurable*) predstavlja mogućnost kvantitativnog praćenja procesa ostvarenja tog cilja. (A) (eng. *agreed upon, attainable, achievable, acceptable*) se uglavnom odnosi na prihvatljivost i ostvarivost rješavanja problema. (R) (eng. *realistic, relevant*) predstavlja (ne)realnost i relevantnost rješavanja definiranog problema. (T) (eng. *time-based, time-bound, timely, tangible, trackable*) se odnosi na vremensku komponentu cilja. Nakon što se problem definira i cilj postavi, potrebno je **odrediti (mjerljive) kriterije** (Slika I-29) u procesu njegova ostvarivanja (2).



Slika I-29. Shema 1., 2., i 3., koraka GIS-MCDA u izvođenju indeksa rizika izbijanja raslinja

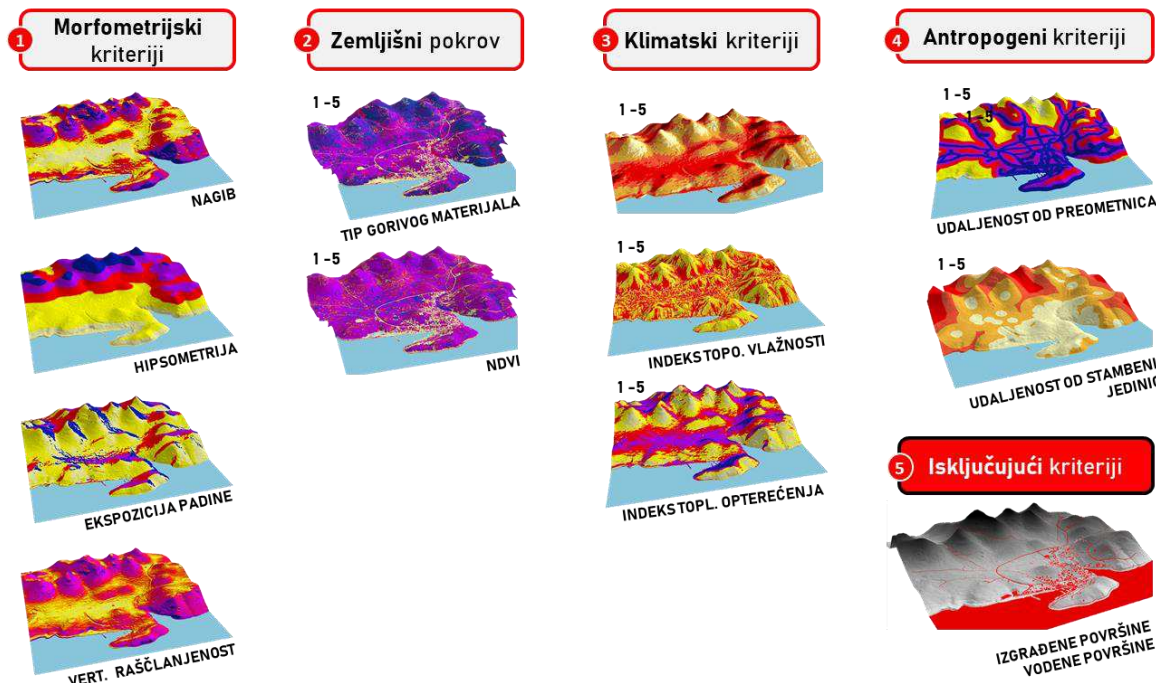
Kriteriji označavaju skup zahtjeva koji se primjenjuju kao osnova za odlučivanje. Postoje dvije vrste kriterija: čimbenici i ograničenja (*boolean*). Čimbenici predstavljaju parametre koji pojačavaju ili smanjuju pogodnost nekog kriterija za razmatranu alternativu.

Pogodnost je značajka poželjnosti atributa ili zahtjeva za specifičnu namjenu. Ograničenja reprezentiraju isključujuće elemente unutar neke razmatrane alternative. Postupak izvođenja višekriterijskih analiza uključuje tri glavna problema: skaliranje vrijednosti (**standardizacija**) (3), **određivanje pondera** (4) i **okupljanje kriterija** (5) (Malczewski i Rinner, 2015). Nakon definiranja, kriterije je potrebno standardizirati.

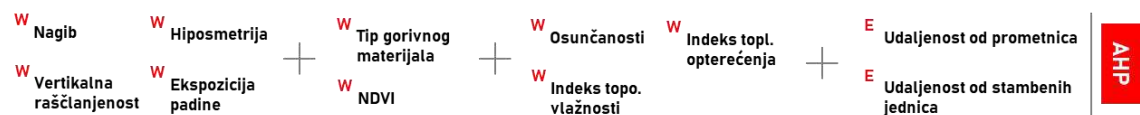
Standardizacija se odnosi na postavljanje vrijednosti kriterija na istu skalu (npr. 1-5) kako bi bilo moguće njihovo međusobno uspoređivanje. Nakon standardizacije određuju se **težinski koeficijenti** (ponderi) za svaki kriterij. Postoji nekoliko različitih metoda određivanja pondera (Malczewski i Rinner, 2015). Potom se standardizirani kriteriji sa zadanim ponderima okupljaju u model izveden prema preferencijama interesne grupe ili donositelja odluka (Slika I-30). Završni korak je provjera i analiza rezultata kojom se procjenjuje pouzdanost rješenja, odnosno ostvareni cilj.

Nakon odabira najboljeg rješenja stupa faza nadzora rezultata njezine **provedbe**. Odabrano rješenje se vrednuje primjenom različitih kvantitativnih i kvalitativnih mjera (Deluka-Tibljaš i dr., 2013). Takav proces je iterativan što znači da se omogućuje integracija novih spoznaja u proces rješavanja uočenih problema.

4. STANDARDIZACIJA KRITERIJA



5. ODREĐIVANJE TEŽINSKIH KOEFICIJENATA (AHP)



6. IZRADA MODELA RIZIKA OD IZBIJANJA POŽARA



Slika I-30. Shema 4., 5., i 6., koraka GIS-MCDA u izvođenju indeksa rizika izbijanja raslinja

Definiranje kriterija

U procesu GIS-MCDA izvođenja indeksa rizika od izbijanja požara (eng. *Fire Ignition Index*) korištene su četiri grupe kriterija **kontinuiranih** vrijednosti i jedna grupa **isključujućih** (*boolean*) kriterija. Četiri grupe kriterija kontinuiranih vrijednosti uključuju:

- 1) **Morfometrijski** kriteriji
(nagib, hipsometrija, ekspozicija padine, vertikalna raščlanjenost)
- 2) **Vegetacijski** kriteriji
(tip gorivog materijala, vegetacijski indeks normalizirane razlike - NDVI)
- 3) **Klimatski** kriteriji
(insolacija/osunčanost, indeks toplinskog opterećenja, indeks topografske vlažnosti)
- 4) **Antropogeni** kriterij
(udaljenost od prometnica, udaljenost od stambenih jedinica)

U nastavku je dano kraće objašnjenje metodologije prikupljanja i obrade pojedinih odabranih kriterija u izvođenju **indeksa rizika od izbijanja požara**.

Kriteriji izdvojeni iz DMR-a šireg prostora uvale i naselja Sali se mogu podijeliti na primarne i sekundarne parametre. **Primarni** parametri su oni parametri koji se izravno izvode iz DMR-a, a koriste se za opisivanje morfologije reljefa (Wilson i Gallant, 2000; Šiljeg, 2013.). **Sekundarni morfometrijski** kriteriji nazivaju se još i složenim parametrima, jer nastaju kombinacijom dva, ili više primarna parametra (Wilson i Gallant, 2000.). Od primarnih parametara izdvojeni su hipsometrija (*elevation*) **nagib padina** (*slope*), **ekspozicija padina** (*aspect*) i **vertikalna raščlanjenost terena** (*terrain ruggedness*) od sekundarnih parametara, koji su u ovoj analizi svrstani u klimatske kriterije izdvojeni su **topografski indeks vlažnosti** (*topographic wetness index – TWI*) i **indeks toplinskog opterećenja** (*heat load index – HLI*).

- **Nagib**

Nagib (engl. *slope*) predstavlja mjeru strmine površine nekog terena u određenom smjeru (De Smith i dr., 2007.) Iako postoje različite metode za izračun nagiba unutar *Spatial Analyst* ekstenzije, u ovome radu je korištena *Hornova metoda* (Horn, 1981; Jennes, 2012; Šiljeg, 2013.).

Vrijednosti nagiba izvedene su uporabom alata *Slope*, koji unutar pomične rešetke od 3 * 3 rasterske ćelije izračunava nagib padine za središnju ćeliju, na temelju maksimalne stope promjene vrijednosti visina između središnje ćelije i okružujućih susjednih ćelija (Zeverbergen i Thorne, 1987; Šiljeg, 2013.). Vrijednosti nagiba padine mogu se iskazati u stupnjevima (0 – 90°) ili postocima (0 – 100 %). U ovoj su analizi odabrani stupnjevi. Nagib je važan kriterij u ponašanju vatre te je povezan s insolacijom i vlažnošću zraka.

Većina požara se događa na padinama između **0 i 20 stupnjeva** i područjima **južne ekspozicije**. Utvrđeno da se stopa izbijanja šumskih požara izrazito opada s povećanjem nagiba (Jo i dr., 2000). Međutim, ukoliko se modelira **smjer širenja požara** situacija je drugačija. U tom slučaju visoki nagibi terena ubrzavaju širenje vatre. Naime, dolazi do izdizanja toplog zraka, što rezultira predgrijanjem gorivnog materijala koji se nalazi uzbrdo čime dolazi do bržeg napredovanja vatre uzbrdo nego nizbrdo (Rawat, 2003). Dakle, strmi nagibi povećavaju brzinu širenja zbog učinkovitijeg vezivnog predgrijavanja i paljenja.

Zbog toga južne i zapadne padine imaju dulju požarnu sezonu, duže razdoblje gorenja i veći broj požara od sjevernih padina (Brown i Davis, 1973, Antonietti, 1993).

- **Hipsometrija**

Nadmorska visina indirektno utječe na sastav vegetacije, vlažnost gorivnog materijala i vlažnost zraka. Većina šumskih požara događa se na nadmorskoj visini **do 100 m**. Izbijanja požara na većim nadmorskim visina u pravilu je rjeđe zbog **niže temperature** i **veće količine padalina** (Rawat, 2003, Kant Sharma i dr., 2012).

- **Ekspozicija/orijentacija padine**

Ekspozicija padine (engl. *aspect*) predstavlja orijentaciju padine određenu u smjeru kazaljke na satu prema kutu kojeg zatvaraju referentni pravac i pravac padine, pri čemu se za referentni pravac najčešće uzima smjer sjevera (Šiljeg, 2013; Florinsky, 2016.). Unutar ekstenzije *Spatial Analyst* vrijednosti ekspozicije padina se računaju prema Hornovoj metodi (Jennes, 2012.). Vrijednosti ekspozicije padina iskazuju se u stupnjevima (0 – 360°), s iznimkom zaravnjenih područja kojima se pridodaje vrijednost -1. Ekspozicija je, uz nagib, najčešće korištena varijabla u morfometrijskim analizama (Zhou i Liu, 2002). U konceptualnom smislu, funkcija ekspozicije odnosi se na izračun vrijednosti ekspozicije središnjeg piksela u odnosu na osam susjednih (mreža piksela 3*3). Smjer prema kojem je ploha okrenuta predstavlja ekspoziciju za središnji piksel. Uvjeti za izbijanje požara dramatično se razlikuju ovisno o orijentaciji padine.

Orijentacija padine je povezana s količinom sunčeve svjetlosti koju područje prima. **Južne** i **zapadne** ekspozicije dobivaju više sunčeve svjetlosti od **sjevernih** i **istočnih** (Kant Sharma i dr., 2012). Općenito, većina požara izbija na područjima južne ekspozicije.

- **Vertikalna račlanjenost**

Vertikalna račlanjenost (eng. *the terrain ruggedness index* - TRI) predstavlja relativnu visinsku razliku između najniže i najviše nadmorske visine unutar nekog područja. U većini istraživanja smatra se da požar **češće nastaje** na terenima koje obilježava **manja energija reljefa**. Razlog tome je činjenica da je (ne)namjerno djelovanje čovjeka jedan od glavnih uzroka požara te da se požari često javljaju na zapuštenim poljoprivrednim parcelama te na pristupačnijem (za hod ili vožnju) terenu.

- **Tip gorivnog materijala/zemljišni pokrov**

Kriterij **tipa gorivnog materijala** se u ovom slučaju odnosi na rizik izbijanja požara na specifičnom tipu vegetacijskog pokrova (Setiawan i dr 2004). "Gorivo" predstavljaju organsku tvar dostupnu za paljenje i izgaranje i predstavlja jedan faktor koji se odnosi na vatru koju ljudi mogu kontrolirati (Rothermel, 1972; Albini, 1976; Salas i Chuvieco, 1994). Ovaj kriterij izveden je iz modela vegetacijskog pokrova. Vrste tipa gorivnog materijala su klasificirane su prema zapaljivosti koja utječe na paljenje i širenje šumskih požara (Kant Sharma i dr, 2012). Podatak o vegetacijskom pokrov generiran je primjenom objektno-orijentiranih

analiza (GEOBIA) u GIS softveru na temelju multispektralnog snimka šireg područja uvale i naselja Sali. Metodološki proces izvođenja modela zemljišnog pokrova prikazan je u prethodnim izvještajima. Prostorna rezolucija modela zemljišnog pokrova iznosila je 0,5 m, što je omogućilo detaljno izdvajanje različitih tipova vegetacijskog pokrova. Ukupno je izdvojeno **22 različita tipa zemljišnog pokrova** koji su prema riziku od izbijanja požara klasificirani u **5 klasa**. U 5 klasu (izrazito visok rizik izbijanja požara) primjerice spadaju tip vegetacijskog pokrova *Bar* i *Makija*, dok primjerice u klasu 2 (nizak rizik od izbijanja požara) spada tip vegetacijskog pokrova *Smeđe obrađeno tlo*. Generalno, listopadna vegetacija ne gori jednako brzo ili intenzivno kao zimzelena. Međutim, listopadna vegetacija može biti izrazito zapaljiva u rano proljeće, neposredno prije pojave novih listova. Tijekom tog razdoblja razina vlage u drveću je niska, povećavajući njihovu zapaljivost. Vatra se ne širi jednako na listopadnoj i zimzelenoj vegetaciji. Naime, listopadna vegetacija ima odsustvo "gorivnog" materijala koji bi trebao omogućiti "penjanje" vatre, stoga se vatra uglavnom ne prenosi na visoke krošnje tih stabala. Fizička svojstva te vegetacije, koja uključuju visoku bazu krošnje, veći udio vlage u lišću te glatka kora, također ne pogoduju intenzivnom ponašanju vatre.

S druge strane kod crnogorične vegetacije, labava i hrapava kora djeluje kao "ljestve" za prenošenje vatre na krošnju. Vegetacija Mediterana po mnogo čemu je specifična, pa tako i po uzročno-posljedičnoj vezi sa šumskim požarima. Kemijski sastav drveća, grmlja i prizemnog rašća od velike je važnosti za inicijalnu zapaljivost i daljnju gorivost, jer neke biljne vrste sadrže lako zapaljive tvari. Poznato je da su četinjače zbog obilja smole najlakše zapaljive.

- **Vegetacijski indeks normalizirane razlike - NDVI**

NDVI je jedna od najpopularnijih mjera u analizama vegetacijskog pokrova. Izračun NDVI-a rezultira vrijednostima od (-1) do (+1). Vrijednost (0) označava izostanak vegetacije, dok vrijednosti blizu (+1) označavaju visoku gustoću zelene (klorofilom) bogate vegetacije. Vrijednosti manje od -0.1 označavaju kamenite, izgrađene, pjeskovite površine (izostanak vegetacije). Srednje vrijednosti (do 0.3) označavaju umjereno gustu vegetaciju. NDVI je osjetljiv na sadržaj klorofila u listu (veće vrijednosti ukazuju na veću količinu klorofila). Masri i dr., 2003. klasificiraju NDVI na način da **veće vrijednosti** predstavljaju **veći rizik od izbijanja požara**.

- **Insolacija/osunčanost**

Insolacija može snažno utjecati na sadržaj vlage (veća insolacija = brže isušivanje) u vegetaciji. Gorivni materijal izložen izravnoj solarnoj radijaciji postaje mnogo topliji od okolnog zraka. Veće vrijednosti osunčanosti, uglavnom na južnim padinama, mogu uzrokovati veći **vodeni stres** u vegetaciji, time povećavajući vjerojatnost izbijanja požara (Hernandez-Leal i dr., 2008). Ekstremno visoke temperature, osobito ako su dugotrajne, pokazatelj su vremenskog stanja koje pospješuje isušivanje mrtvog gorivog materijala na tlu, ali i vegetacije općenito, te se na taj način povećava potencijalna opasnost od požara raslinja u toplom dijelu godine (Bakšić i dr., 2015).

- **Indeks topografske vlažnosti**

Topografski indeks vlažnosti (TWI), poznat i kao kombinirani topografski indeks (engl. *compound topographic index*) predstavlja mjeru potencijalne vlažnosti određenog terena, koja omogućava izdvajanje i razlikovanje prostora zasićenih vodom (npr. doline, uvale, ponikve, jaruge, itd.), od prostora manje zasićenosti (npr. grebeni, kukovi, vrhovi, strmije padine) (Wilson i Gallant, 2000; Florinsky, 2016.). Vlažnost terena određuje se na temelju modela otjecanja (*flow direction*) i iz njega izvedenog modela akumulacije (*flow accumulation*) te modela nagiba terena (*slope*). TWI ili CTI je čvrsto povezan s vlagom tla. Veće vrijednosti indeksa označavaju potencijalno veću vlažnost terena, odnosno u ovom slučaju manji rizik za izbijanje požara.

- **Indeks toplinskog opterećenja**

Indeks toplinske opterećenja (eng. *heat load index* - HLI), izravna je mjera upadnog zračenja, izračunatog iz digitalnog modela nadmorske visine (DEM). Jugozapadno orijentirani nagibi trebali bi imati veću temperaturu od nagiba orijentiranih jugoistoka, iako mi je količina sunčevog zračenja koja primaju jednaku.

- **Udaljenost od prometnica i stambenih jedinica**

U literaturi je **čovjekovo (ne)namjerno** djelovanje prepoznato kao **najčešći uzrok** izbijanja požara. Stoga ne čudi činjenica da je udaljenost od prometnica prepoznata kao jedan od najkorištenijih kriterija u modeliranju rizika izbijanja požara. Udaljenost od cesta/putova/staza i stambenih jedinica su važni čimbenici u modeliranju rizika od izbijanja požara jer oni ukazuju na moguću, pojačanu ljudsku aktivnost/prisutnost (Chuvieco and Congalton, 1989, Jo et al., 2000). Naime, u neposrednoj blizini prometnica često se baca razni otpad (npr. boce, staklo, opušci) koji u kombinaciji s povoljnim klimatskim (velika osunčanost i temperatura), topografskim (južna orijentacija) i zemljišnim (suha trava, drača) uvjetima može izazvati izbijanje požara. Nadalje, piromani prilikom podmetanja požara koriste ceste i putove da bi došli do lokacije na kojoj podmeću požar. Dakle, što je manja udaljenost od ceste pretpostavlja se da je rizik od požara veći (Setiawan i dr 2004, López i Abril, 2012). Vrijednost udaljenosti prilagođava se području istraživanja.

- **Izgrađene i vodene površine**

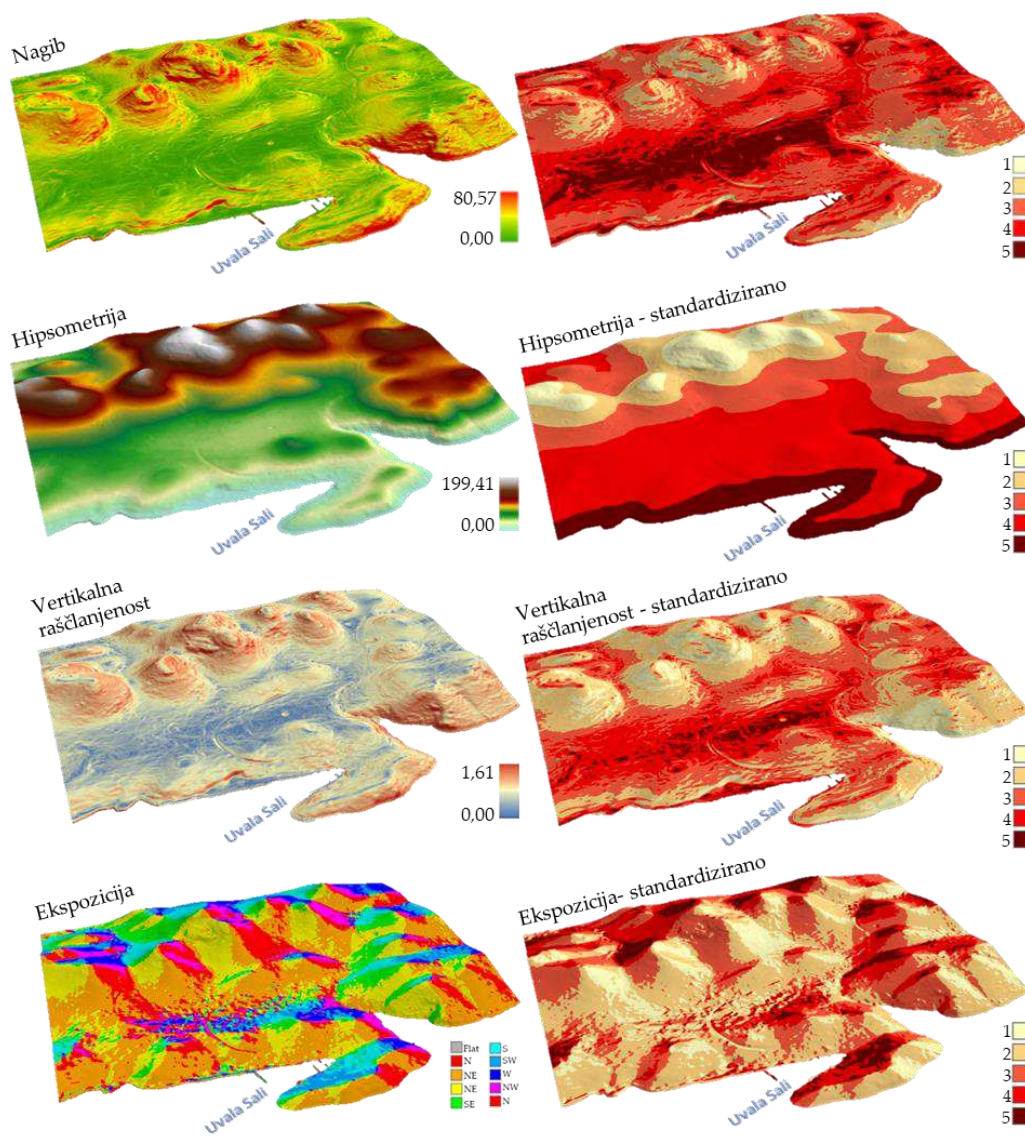
Metodom GEOBIA i ručnom vektorizacijom u krupnom mjerilu 1:200 izdvojena su **izgrađena područja (1)** i **vodne površine (2)**, koja su iskorištena za pripremanje Boolean kriterija. Pri tome navedene klase predstavljaju područja na kojima ne može doći do izbijanja požara te im je zbog toga **dodijeljena vrijednost 0**.

Standardizacija kriterija

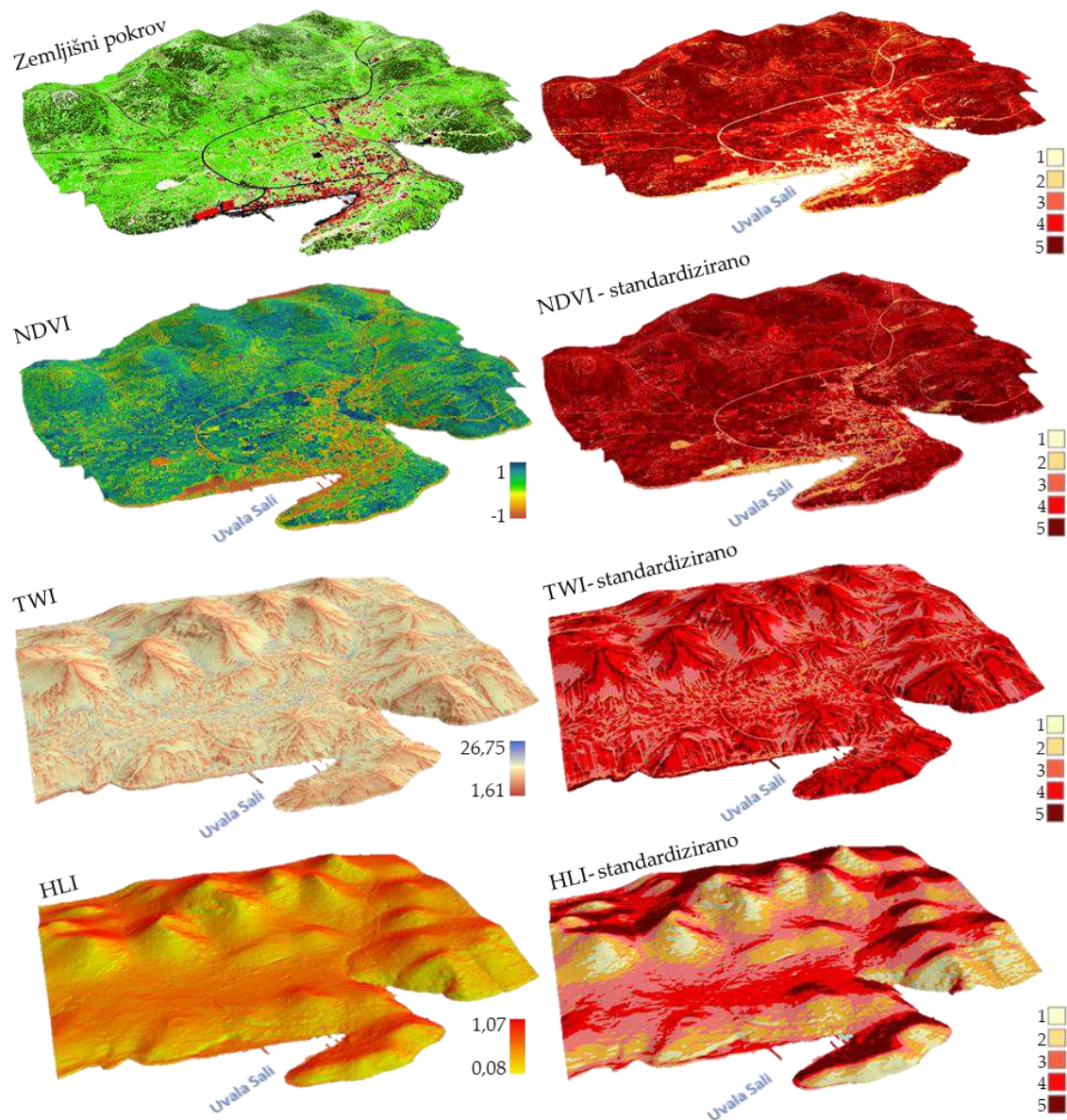
Nakon definiranja kriterija izvršen je **proces standardizacije kriterija**. Standardizacijom je svaki kriterij rangiran u 5 klasa (1-5) gdje:

- klasa 5 predstavlja *vrlo visok rizik od izbijanja požara*
- klasa 4 *visok rizik od izbijanja požara*
- klasa 3 *umjeren rizik od izbijanja požara*
- klasa 2 *nizak rizik od izbijanja požara*
- klasa 1 *vrlo nizak rizik od izbijanja požara*.

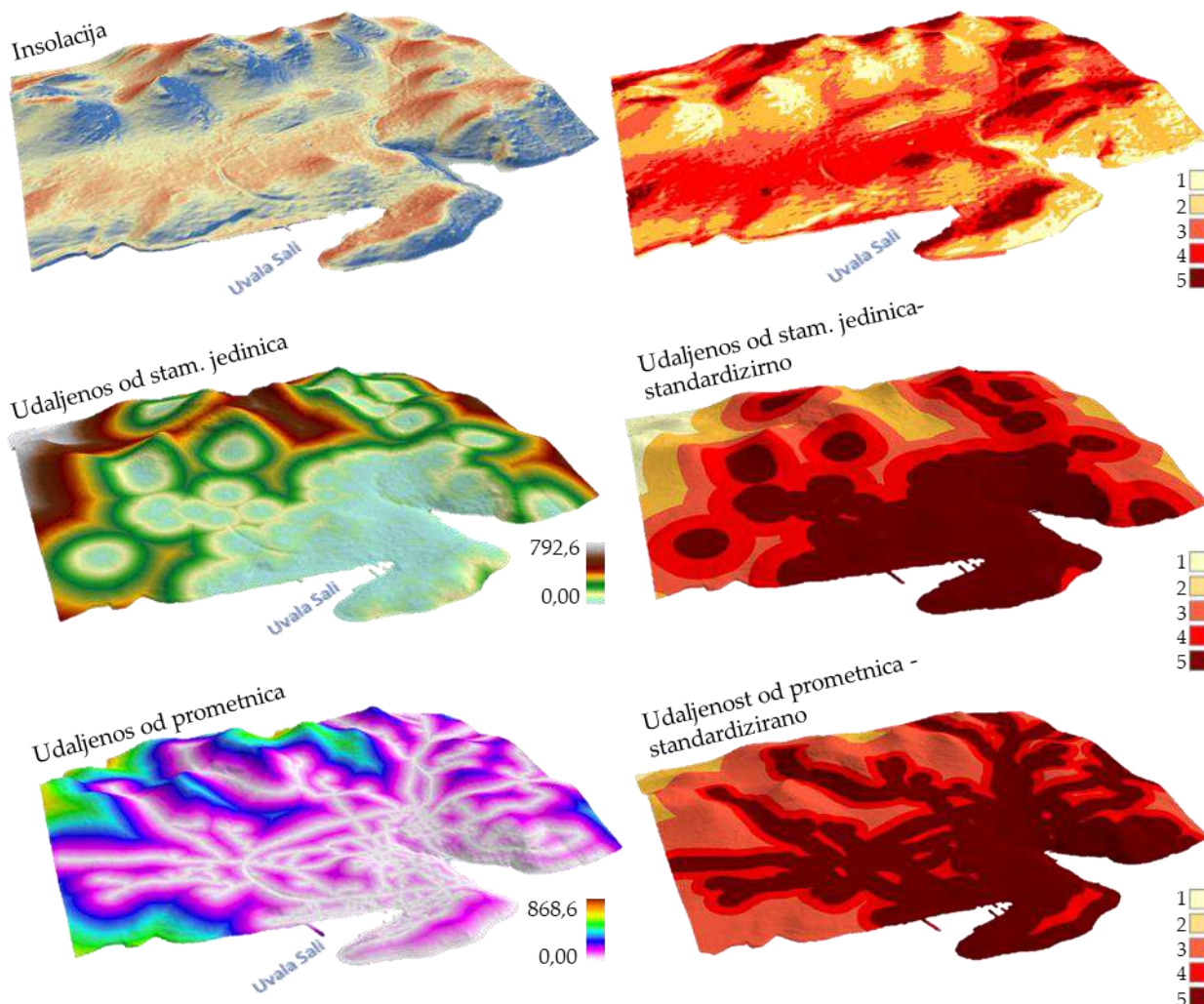
Standardizacija (Slika I-31-32-33) je važan korak GIS-MCDA jer se njome usklađuju vrijednosti varijabli na istu skalu kako bi bilo moguće njihovo međusobno uspoređivanje. Primjerice, kriterij vertikalne raščlanjenosti iskazuje se u metrima (m), a nagib u stupnjevima ($^{\circ}$). Standardizacijom njihova međusobna usporedba je moguća. Kriteriji kontinuiranih vrijednosti, za razliku od isključujućih (boolean) kriterija, imaju određeni stupanj prikladnosti u razmatranju postavljenog cilja. Ova prikladnost je „stupnjevito“ karaktera te ju je za svaki kriterij kontinuiranih vrijednosti potrebno standardizirati, odnosno utvrditi u kojoj vrijednosti (npr. 40° , ili 300 m) počinje i završava jedan stupanj prikladnosti (npr. "izrazita pogodnost"). Standardizacija ovih "nejasnih" (*fuzzy*) granica može se izvršiti pomoću *Fuzzy Membership* alata u GIS-u, metode donositelja odluka te metode prirodnih granica (Jenks). Alat *Fuzzy Membership* preklasificira ili transformira ulazne podatke na skalu od 0 do 1 na temelju mogućnosti pripadnosti člana određenom skupu. 0 se dodjeljuje onim lokacijama koje definitivno nisu član navedenog skupa.



Slika I-31. Standardizacija kriterija u GIS-MCDA (rizik izbijanja požara raslinja) (1)



Slika I-32. Standardizacija kriterija u GIS-MCDA (rizik izbijanja požara raslinja) (1)



Slika I-33. Standardizacija kriterija u GIS-MCDA (rizik izbijanja požara raslinja) (1)

Određivanje težinskih koeficijenata

Težinski koeficijenti definiranih kriterija određeni su metodom **analitičkoga hijerarhijskog procesa (AHP)** kao jednom od najpoznatijih i najkorištenijih metoda (Crnčan i dr., 2016.).

AHP-om je kompleksna višekriterijska GIS analiza podijeljena na manje komponente i uređena u **hijerarhiju**. Te komponente predstavljaju zadane kriterije koji su **uspoređeni** u odnosu **na druge** pomoću matrice usporedbe parova kriterija, a rezultat je te usporedbe **skup prioriteta kriterija** (Saaty, 2008.).

Za usporedbu kriterija odabran je interval brojeva **1 – 9**, koji pokazuje koliko je puta važniji ili dominantniji jedan element nad drugim elementom. Postupak izračuna težina unutar AHP metode detaljno je opisao **Saaty (2008.)**.

U tablici I-2. prikazan je prvi korak **izvođenja težinskih koeficijanata pomoću Saatyve matrice**. Kriteriji su za početak u stupce i redove poredani po važnosti utjecaja na izlazni rezultat (npr. najbitniji je - *zemljišni pokrov*, a najmanje bitan - *vertikalna raščlanjenost*) te je njihova međusobna važnost u kontekstu definiranog problema **vrednovana**. Ako je jedan kriterij **izrazito mnogo bitniji** (empirijski dokazano) u procesu donošenja odluka u odnosu na drugi, dodaje mu se vrijednost 9, a uspoređenom, manje bitnom kriteriju vrijednost 0,11.

Tablica I-2. Primjena Saatyve skale u procesu određivanja težinskih koeficijanata za definiranih 11 kriterija kontinuiranih vrijednosti

KRITERIJI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	1	2	3	3	4	4	5	5	6	7	9
II	0,50	1	2	2	3	3	4	4	5	6	8
III	0,33	0,50	1	1	2	2	3	3	4	5	7
IV	0,33	0,50	1	1	2	2	3	3	4	5	7
V	0,25	0,33	0,50	0,50	1	1	2	2	3	4	6
VI	0,25	0,33	0,50	0,50	1	1	2	2	3	4	6
VII	0,20	0,25	0,33	0,33	0,50	0,5	1	1	2	3	4
VIII	0,20	0,25	0,33	0,33	0,50	0,5	1	1	2	3	4
IX	0,17	0,20	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	0,50	1	2	3
X	0,14	0,17	0,20	0,20	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	1,00	2
XI	0,11	0,13	0,14	0,14	0,17	0,17	0,25	0,25	0,33	0,50	1
SUM	3,487	5,658	9,260	9,260	14,750	14,750	22,083	22,083	30,833	40,500	57,000

I - gorivni materijal, II - udaljenost od prometnica, III - ekspozicija, IV - osunčanost, V - udaljenost od stambenih objekata, VI - NDVI, VII - indeks toplinskog opterećenja, VIII - nagib, IX - hipsometrija, X - indeks topografske vlažnosti, XI - vertikalna raščlanjenost

Potom su u tablici I-3 prikazani izračunati **težinski koeficijenti** za definiranih jedanaest kriterija. **Suma težinskih koeficijenata** mora iznositi **1** kako bi se zadovoljilo svojstvo nepristranosti.

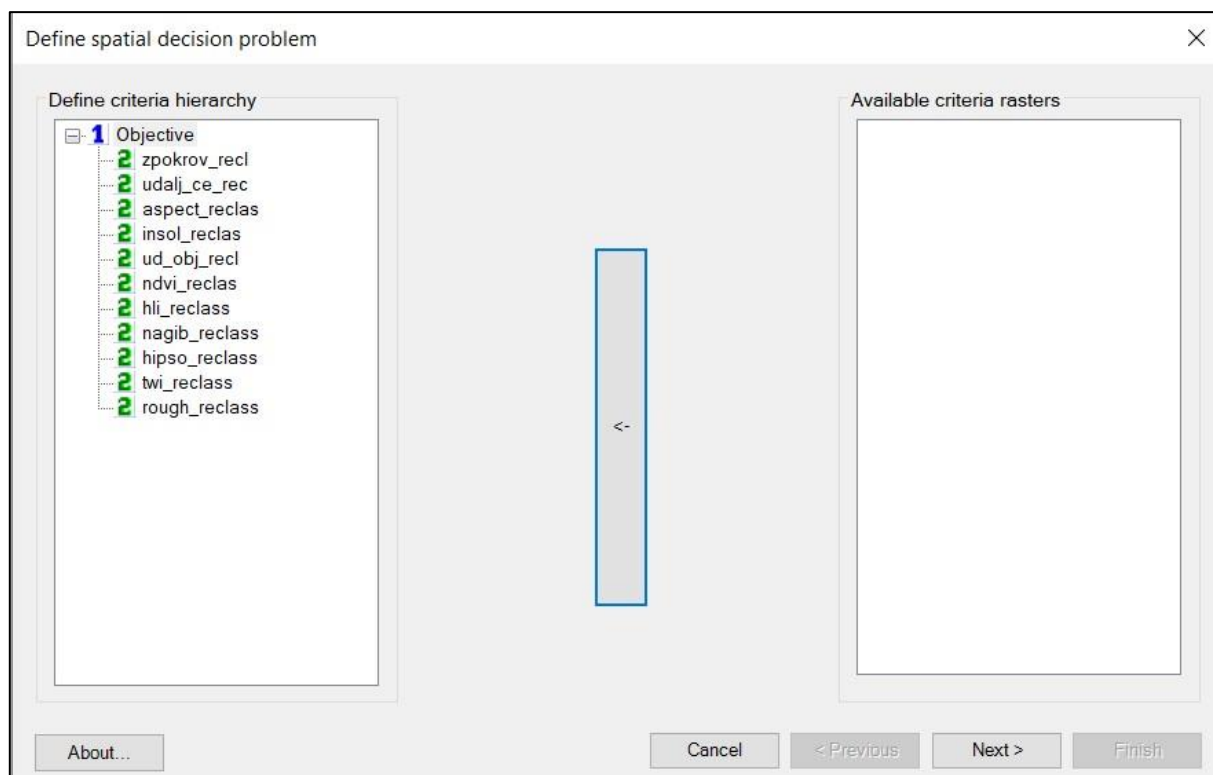
Najveći težinski koeficijent ima **zemljišni pokrov/tip gorivnog materijala (0,256)** te **udaljenost od prometnica (0,179)**. Razlog tome je činjenica da se modelira indeks rizika izbijanja požara raslinja gdje vegetacijski pokrov ima ključnu ulogu te da je dokazano većina požara u prirodi posljedica (ne)namjernog djelovanja čovjeka. Najmanji težinski koeficijent imaju **vertikalna raščlanjenost (0,016)** i **indeks topografske vlažnosti (0,023)** jer ovi kriteriji nisu uočavani u previše analiza stoga se pretpostavlja da kao takvi nisu ključni u izbijanju požara.

Tablica I-3. Izračunati težinski koeficijenti (ponderi) za odabrane kriterije

KRITERIJI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	X1	TOTAL	PONDER
I	0,287	0,353	0,324	0,324	0,271	0,271	0,226	0,226	0,195	0,173	0,161	2,812	0,256
II	0,143	0,177	0,216	0,216	0,203	0,203	0,181	0,181	0,162	0,148	0,143	1,974	0,179
III	0,096	0,088	0,108	0,108	0,136	0,136	0,136	0,136	0,130	0,123	0,125	1,321	0,120
IV	0,096	0,088	0,108	0,108	0,136	0,136	0,136	0,136	0,130	0,123	0,125	1,321	0,120
V	0,072	0,059	0,054	0,054	0,068	0,068	0,091	0,091	0,097	0,099	0,107	0,859	0,078
VI	0,072	0,059	0,054	0,054	0,068	0,068	0,091	0,091	0,097	0,099	0,107	0,859	0,078
VII	0,057	0,044	0,036	0,036	0,034	0,034	0,045	0,045	0,065	0,074	0,071	0,542	0,049
VIII	0,057	0,044	0,036	0,036	0,034	0,034	0,045	0,045	0,065	0,074	0,071	0,542	0,049
IX	0,048	0,035	0,027	0,027	0,023	0,023	0,023	0,023	0,032	0,049	0,054	0,363	0,033
X	0,041	0,029	0,022	0,022	0,017	0,017	0,015	0,015	0,016	0,025	0,036	0,254	0,023
XI	0,032	0,022	0,015	0,015	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012	0,018	0,171	0,016
SUM													1,000

Generiranje indeksa rizika izbijanja požara raslinja

Na slici I-34 prikazan je *screen shop* **ekstenzije Ahp** korištene u *Arc Map* softveru za potrebe izvođenje indeksa rizika izbijanja požara raslinja. U prvom koraku svi kriteriji koji su prethodno standardizirani su prema definiranoj važnosti ubačeni u ekstenziju.

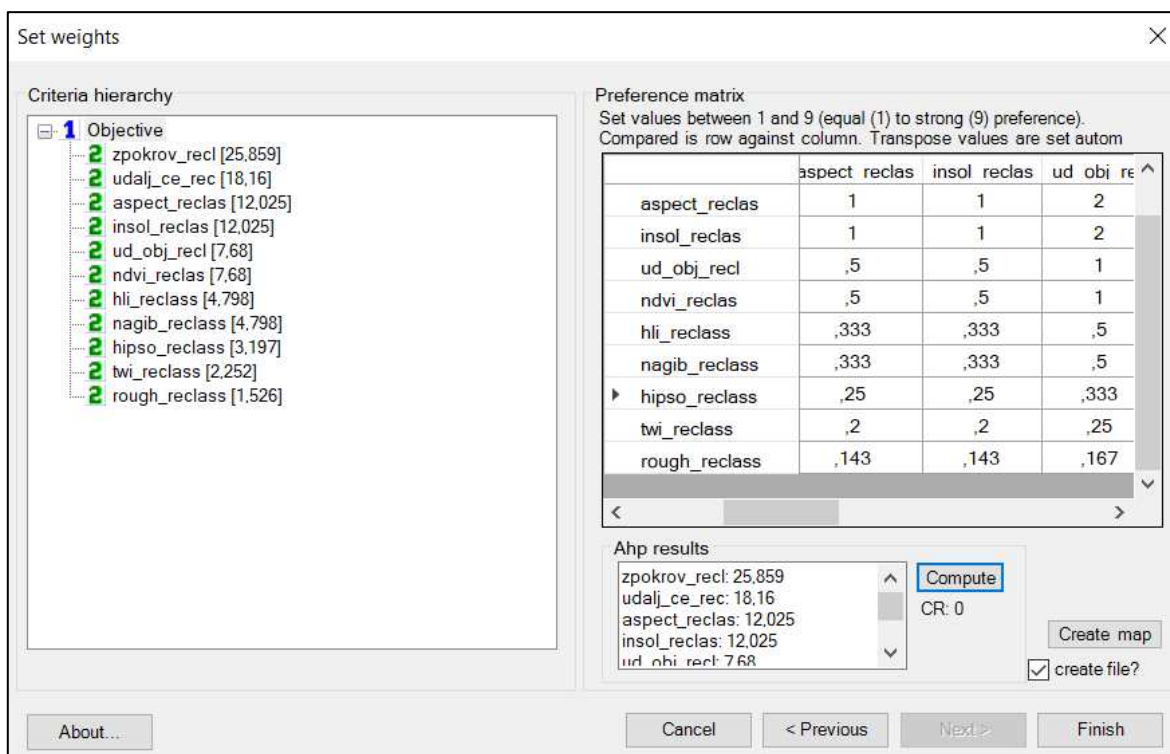


Slika I-34. Ekstenzija Ahp - ubacivanje standardiziranih kriterija

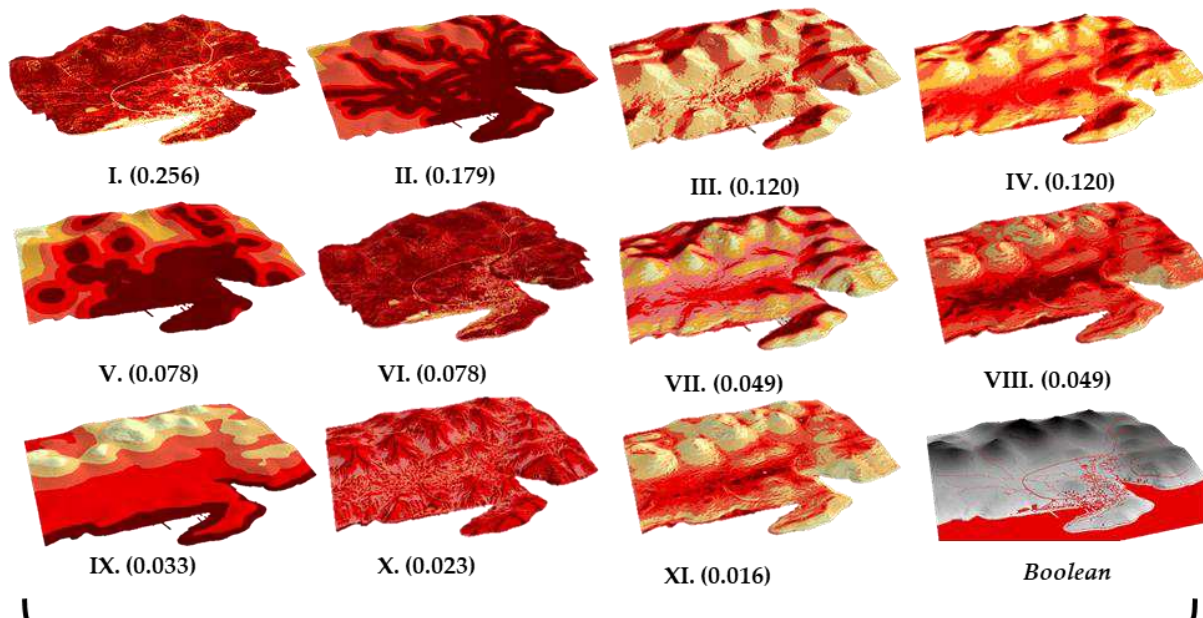
U **drugom koraku** (Slika I-35) u dostupnu matricu upisane su brojčane vrijednosti koje su prethodno bile izračunate u **Saatyevoj tablici**. Potom je ekstenzija ponovno izračunala težinske koeficijente te generirala **prvi model rizika izbijanja požara raslinja**.

Drugi **model rizika izbijanja požara raslinja** nije mogao biti izračunat u ovoj ekstenziji zbog toga što **ne podržava** opciju upisivanja jednakih odnosa (1) unutar svakog kriterija - odnosno generiranje istih težinskih koeficijenata.

Stoga je drugi model izveden u **Raster Calculatoru**. Svaki kriterij je imao težinski koeficijent **0,091**.

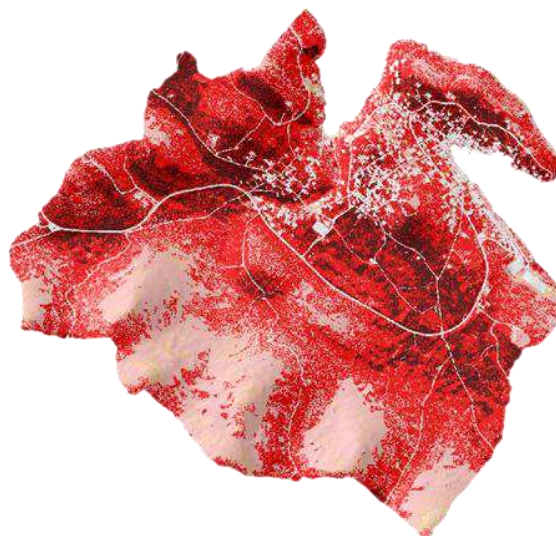


Slika I-35. Ekstenzija Ahp - ubacivanje standardiziranih kriterija

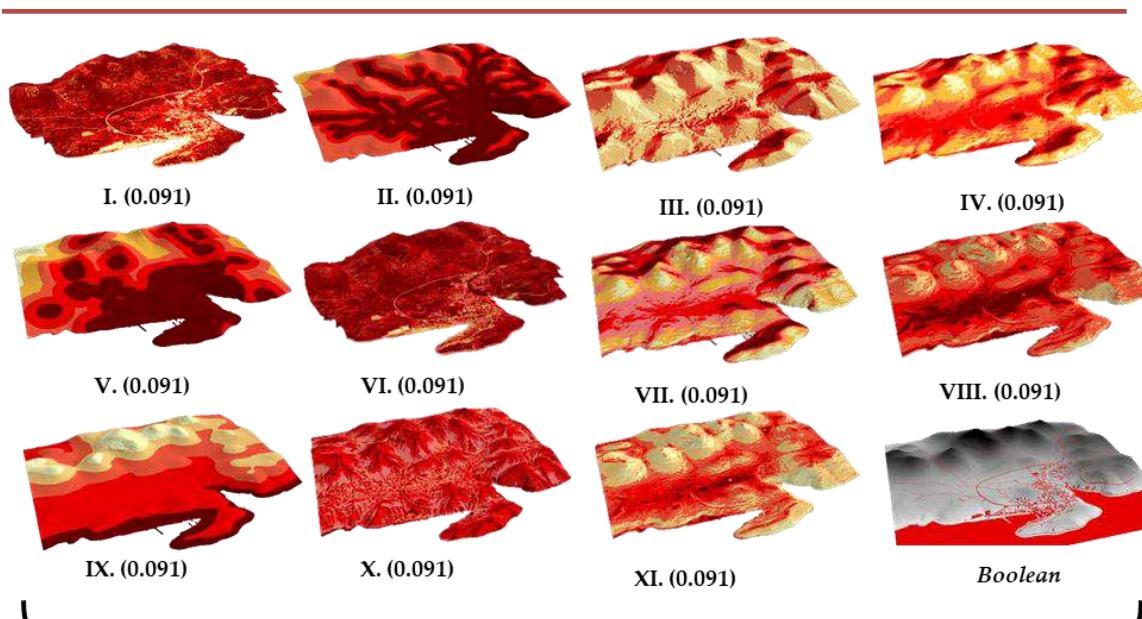


Model 1 (Rizik od izbijanja požara)

- I. Zemljišni pokrov (0.256)
- II. Udaljenost od prometnica (0.179)
- III. Ekspozicija (0.120)
- IV. Osunčanost (0.120)
- V. Udaljenost od stambenih jedinica (0.078)
- VI. Vegetacijski indeksa normalizirane razlike (NDVI) (0.078)
- VII. Indeks toplinskog opterećenja (HLI) (0.049)
- VIII. Nagib (0.049)
- IX. Hipsometrija (0.033)
- X. Indeks topografske vlažnosti (TWI) (0.023)
- XI. Vertikalna raščlanjenost (0.016)



Slika I-36. Indeks rizika izbijanja požara (Model 1)



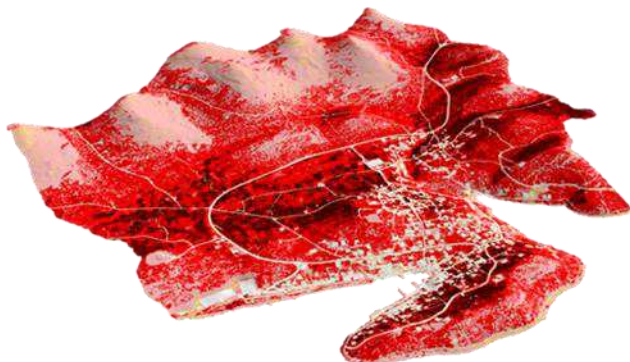
Model 2 (Rizik od izbijanja požara)

- I. Zemljišni pokrov (0.091)
- II. Udaljenost od prometnica (0.091)
- III. Ekspozicija (0.091)
- IV. Osunčanost (0.091)
- V. Udaljenost od stambenih jedinica (0.091)
- VI. Vegetacijski indeksa normalizirane razlike (NDVI) (0.091)
- VII. Indeks toplinskog opterećenja (HLI) (0.091)
- VIII. Nagib (0.091)
- IX. Hipsometrija (0.091)
- X. Indeks topografske vlažnosti (TWI) (0.091)
- XI. Vertikalna raščlanjenost (0.091)



Slika I-37. Indeks rizika izbijanja požara (Model 2)

Model 1 (Rizik od izbijanja požara)



Model 2 (Rizik od izbijanja požara)

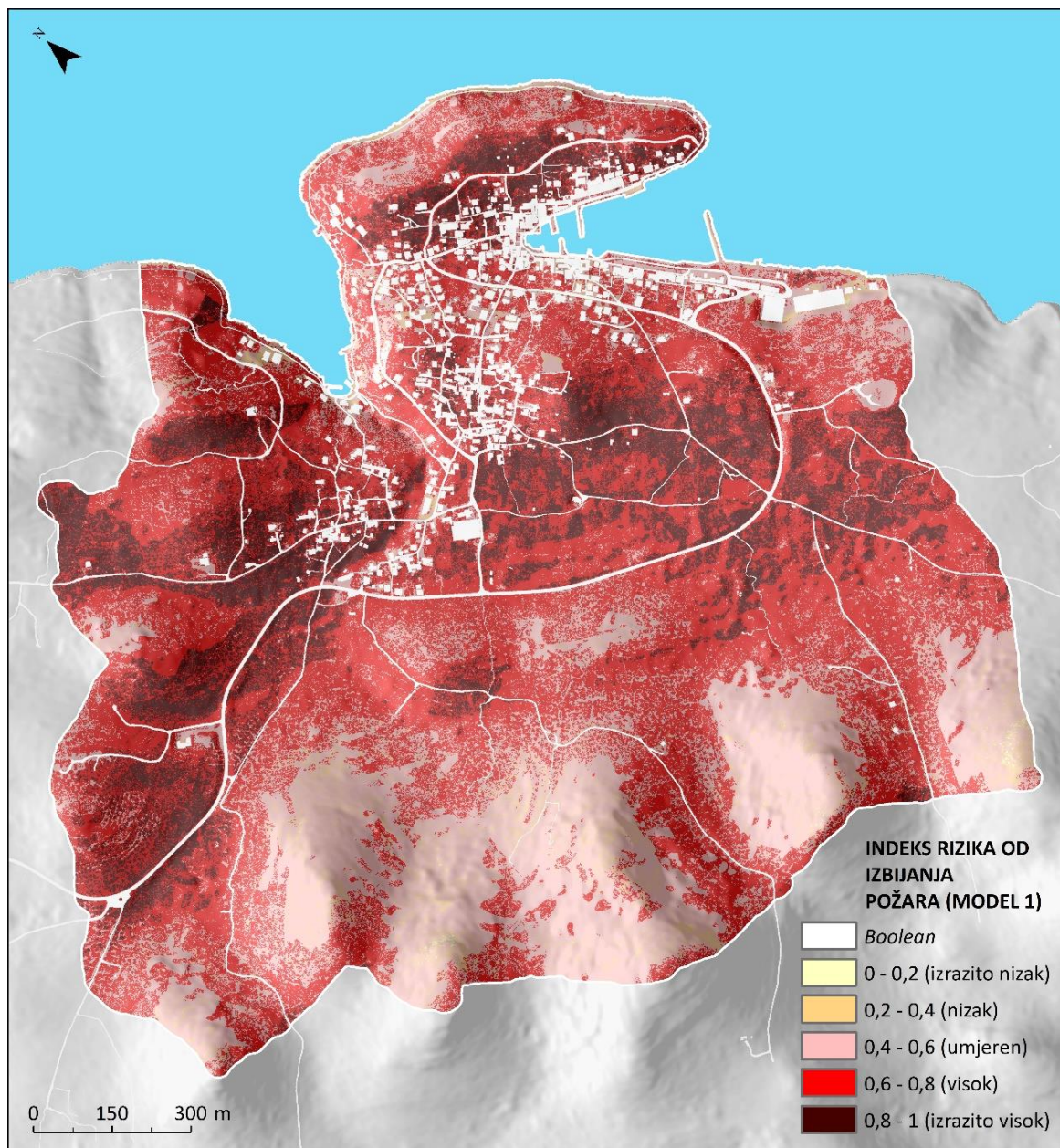


Slika I-38. 3D modeli indeksa rizika izbijanja požara (Model 1 i Model 2)

Na slikama 36-37. prikazani su modeli (1 i 2) indeksa rizika izbijanja požara. Kreirane su visoko-rezolucijske karte (Slika I-39 i 41) izvedenih modela. Indeks rizika (0-1) izbijanja požara je u oba slučaja, s ciljem usporedivost, jednako klasificiran.

- **0** - *isključeni/boolean prostori*
- **0,001 - 0,20** *vrlo nizak rizik izbijanja požara*
- **0,21 - 0,40** *nizak rizik izbijanja požara*
- **0,41 - 0,60** *umjeren rizik izbijanja požara*
- **0,61 - 0,80** *visok rizik izbijanja požara*
- **>0,81** *vrlo visok rizik izbijanja požara*

Potom su oba modela **reklasificirana** i pretvorena u **poligon**. Iz poligonskog sloja izračunata je statistika (Tablica I-4-5), odnosno **udjeli pojedinih klasa** u ukupnoj proučavanoj površini drenažnog bazena naselja i uvale Sali.

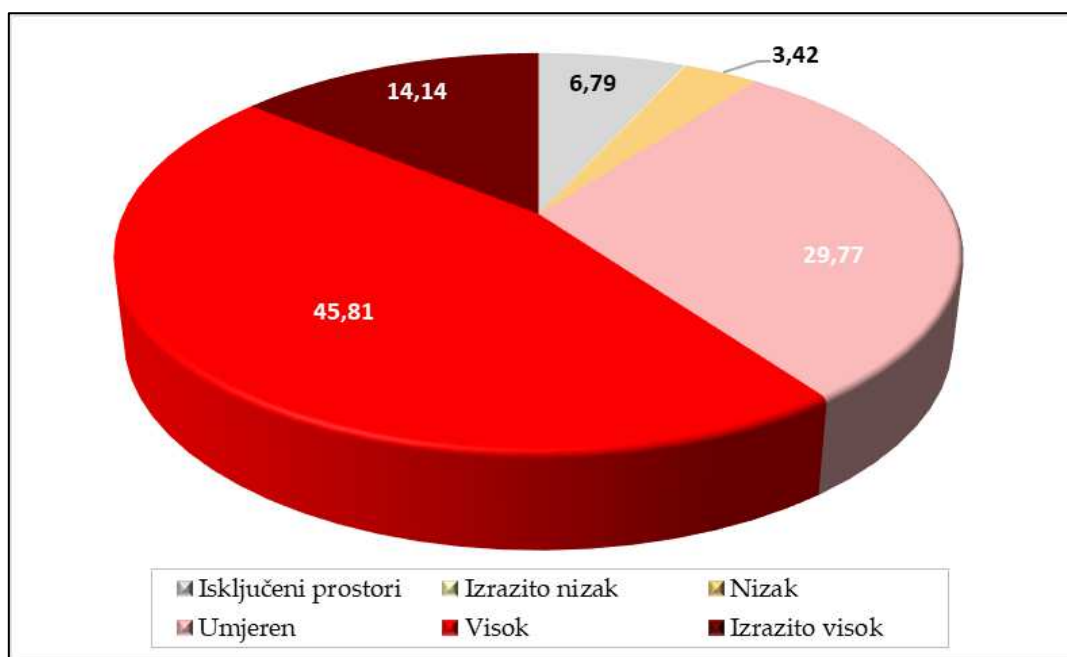


Slika I-39. Indeks rizika izbijanja požara (Model 1)

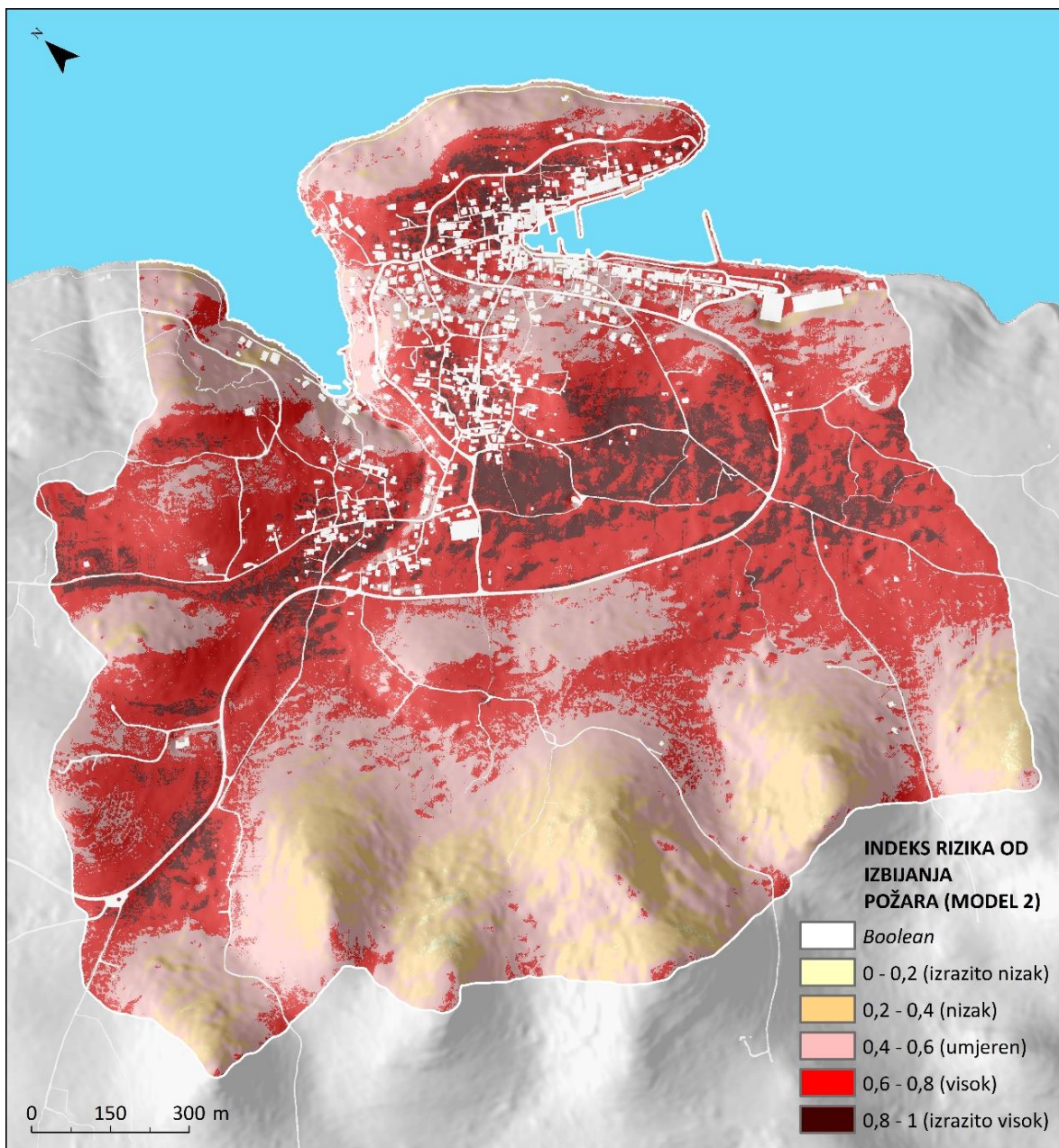
U modelu 1 klase izrazito visokog i visokog rizika zauzimaju gotovo 60% ukupne površine drenažnog bazena naselja Sali. Najrizičniji prostori su zapuštene poljoprivredne parcele blizu prometnica te zimzelena vegetacija na prisojnoj padini u blizini prometnica i stambenih objekata.

Tablica I-4. Udio klasa rizika izbijanja požara za model 1

ID	Vrsta_rizika	Površina	Udio
0	Isključeni prostori	16,02	6,79
1	Izrazito nizak	0,15	0,06
2	Nizak	8,07	3,42
3	Umjeren	70,19	29,77
4	Visok	108,03	45,81
5	Izrazito visok	33,35	14,14
	Ukupno	235,81	



Slika I-40. Udio klasa rizika izbijanja požara za Model 1

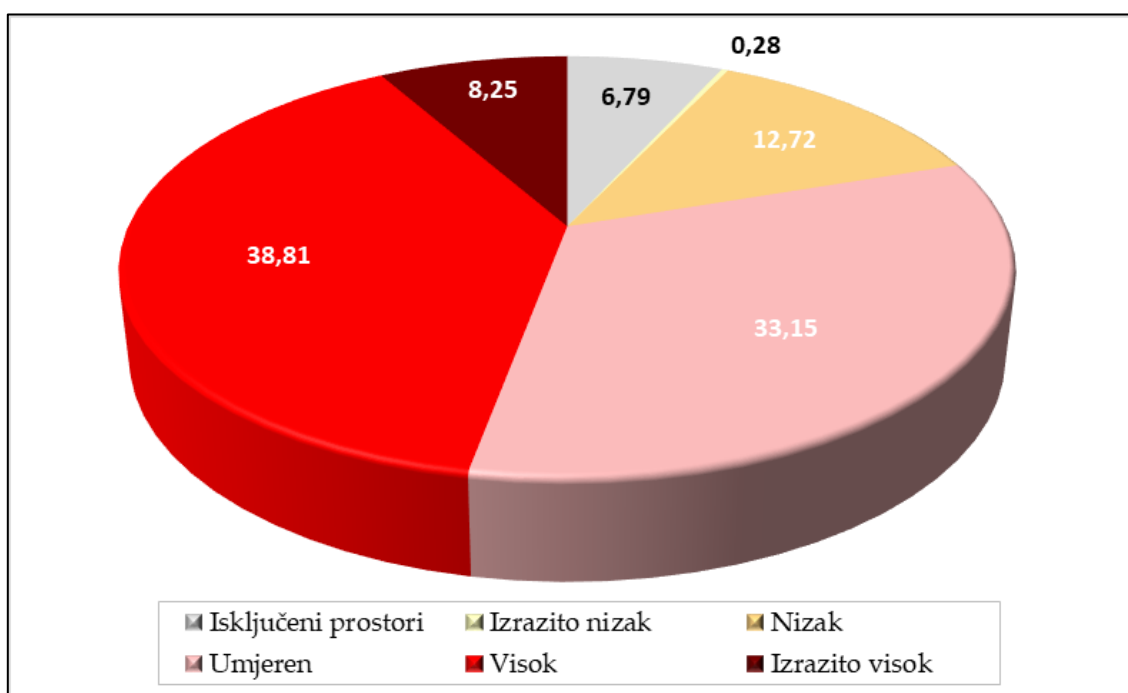


Slika I-41. Indeks rizika izbijanja požara (Model 2)

Tablica I-5. Udio klasa rizika izbijanja požara za model 1

ID	Vrsta_rizika	Povrsina	Udio
0	Isključeni prostori	16,02	6,79
1	Izrazito nizak	0,66	0,28
2	Nizak	29,99	12,72
3	Umjeren	78,18	33,15
4	Visok	91,52	38,81
5	Izrazito visok	19,45	8,25
	Ukupno	235,81	

U **modelu 2** (Slika I-42) klase izrazito visokog i visokog rizika zauzimaju **oko 47% ukupne površine drenažnog bazena** naselja Sali. Najrizični prostori su također **zapuštene poljoprivredne parcele blizu prometnica** te **zimzelena vegetacija na prisojnoj padini u blizini prometnica** i stambenih objekata.



Slika I-42. Udio klasa rizika izbijanja požara za Model 2

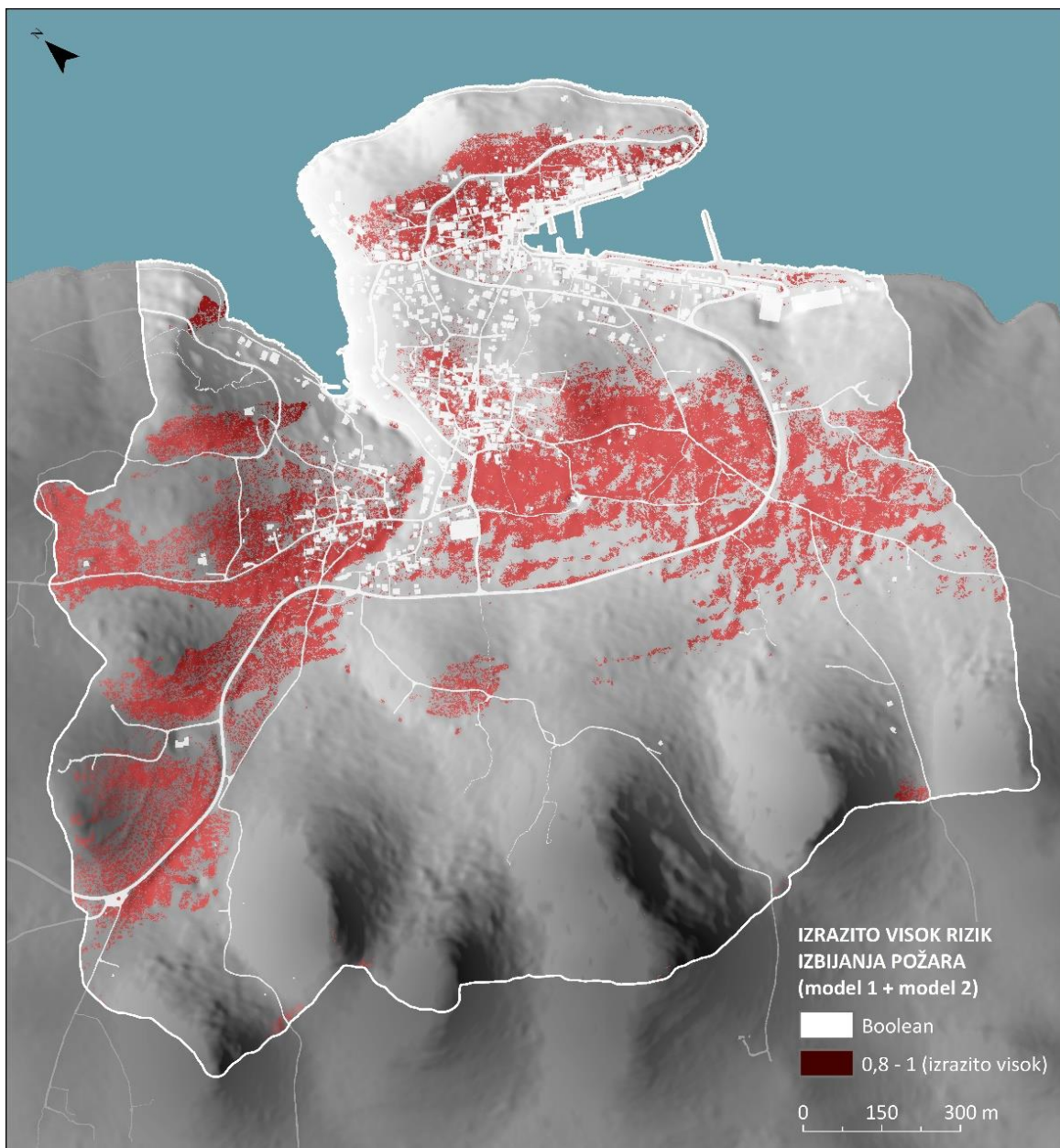
Prevenција požara - modeli vidljivosti

S ciljem **prevencije pojave** požara, unutar analiziranog područja drenažnog bazena iz **Modela 1** i **Modela 2** izvedena je **klasa 5** koja reprezentira prostor *izrazito visokog rizika izbijanja požara*. Izdvojeni poligoni su spojeni.

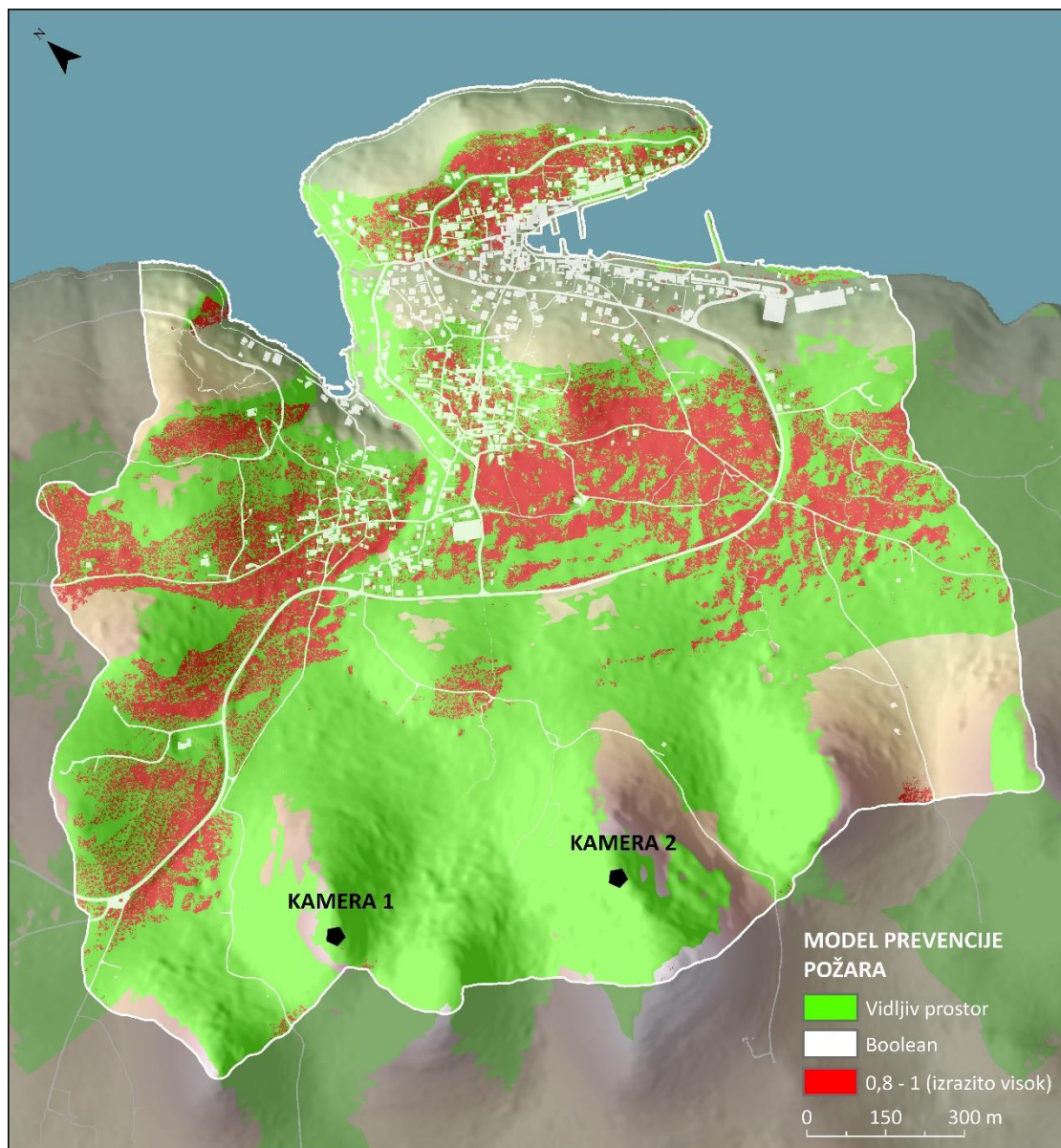
Ta površina obuhvaća nešto više od **39 ha** (Slika I-43). Potom su s ciljem predlaganja sustava prevencije odnosno obrane od požara na odabrane dvije lokacije unutar drenažnog bazena provedene analize vidljivosti (Slika I-44). Odabrane dvije lokacije u ovom slučaju predstavljaju lokacije nadzornih kamera koje se mogu postaviti na visinu od 10 m s ciljem motrenja prostora koji ima izrazit rizik od izbijanja požara.

U analizi su postavljeni parametri **OFFSETA 10m** (kamera se nalazi na visini od 10 m) te **RADIUS 2 km** (kamera snima prostor u radijusu od 2 km. Provedena je **binarna analiza vidljivosti**. Potom je vidljiv prostor preklapljen s prostorom klase 5 (*izrazito velik rizik od izbijanja požara*). Iz izvedenih modela je u konačnici generirana statistika (Tablica I-6).

Postavljanje dviju predloženih nadzornih kamera na visinu od 10 m, pokrio bi se prostor od **114, 58 ha**. Unutar drenažnog bazena naselja Sali **39,21 ha** spada u zonu koja ima **izrazito visok rizik od izbijanja požara**. Međutim, s ove dvije kamere bi bilo vidljivo **38,21 ha** tog prostora, što znači da bi se s tih lokacija moglo nadzirati oko **97,45%** površine prostora koji se smatra izrazito rizičnim za izbijanje požara (Tablica I-6).



Slika I-43. Klasa 5 (izrazito visok rizik izbijanja požara Model 1 + Model 2)



Slika I-44. Predložene lokacije za postavljanje nadzornih kamera (model vidljivosti)

Tablica I-6. Statistika izvedena iz analiza vidljivosti

	površina (ha)
Šire područje naselja i uvale Sali (drenažni bazen)	235,89
Vidljivo područje s dvije predložene kamere	114,58
Izrazito visok rizik od izbijanja požara (model 1 + model 2)	39,21
Izrazito visok rizik od izbijanja požara (model 1 + model 2) vidljiv s kamera	38,21
	(%) površine
Šire područje naselja i uvale Sali (drenažni bazen) pod nadzorom kamera	48,58
Izrazito visok rizik od izbijanja požara pod nadzorom kamera	97,45

Predložene mjere

- 1) Podizanje razine svijesti stanovništva o problematici požara otvorenog prostora.
- 2) Revitalizacija i čišćenje zapuštenih poljoprivrednih parcela.
- 3) Instalacija nadzornih kamera, odnosno motrilačkih lokacija protupožarnog sustava kroz analize vidljivosti.
- 4) Čišćenje i prorjeđivanje šuma uz ostale preventivne mjere, kao i izgradnja protupožarnih prosjeka s elementima cesta kako bi se efikasnije mogle provoditi i represivne mjere.
- 5) Obnova postojećih napuštenih maslinika i općenito sadnja masline na zapuštenim poljoprivrednim površinama.
- 6) Planiranje izgradnje promatračnica, spremišta za vodu, spremišta za opremu gašenja požara, protupožarnih prometnica sa elementima šumskih puteva, repetitora (antena) za sistem dojava.
- 7) Zajedničko uključivanje svih učesnika u prostoru (lokalna samouprava-privatne i općinske površine, Hrvatske šume, Elektrodalmacija, hoteli i dr. turistički objekti, telekomunikacije i dr., dojava, ophodnje i motrenja) sa vatrogasnom zajednicom (gašenje) rad na istom sustavu veze-komunikacije.

4. Model rizika od erozije

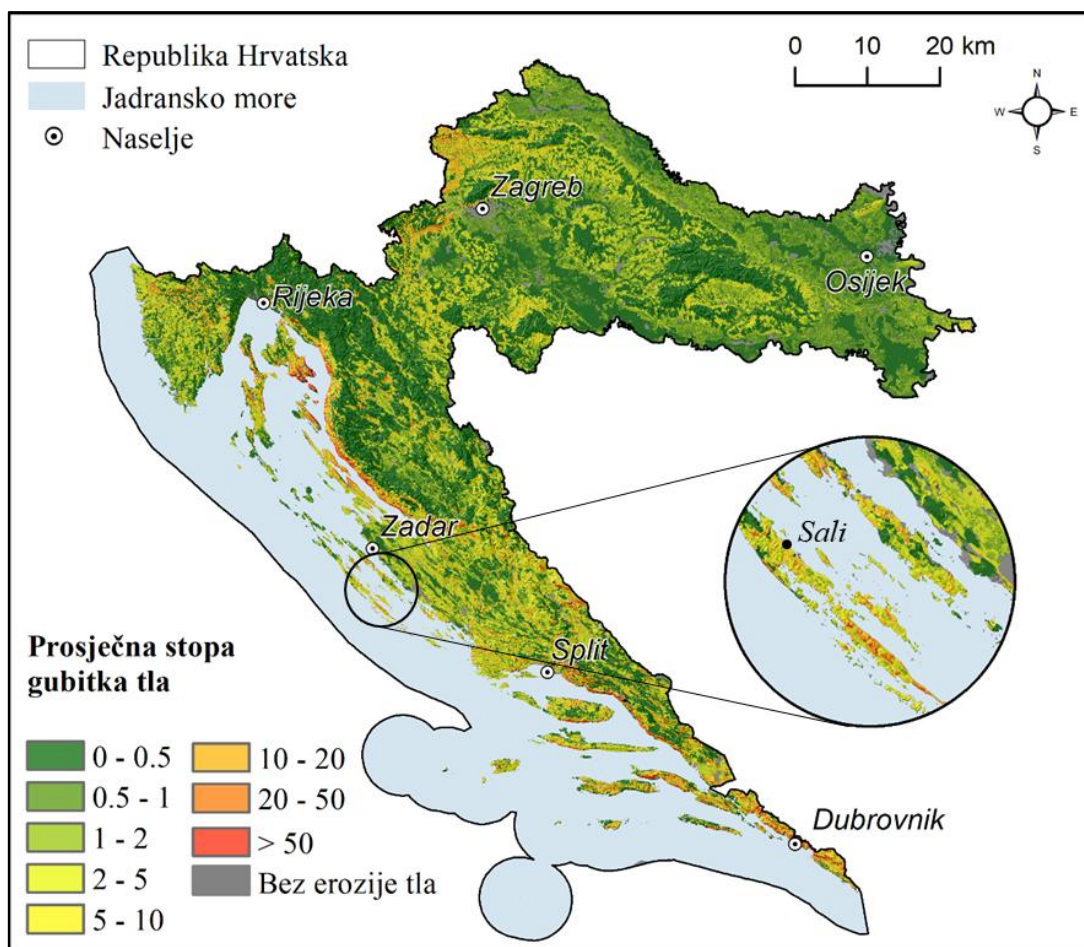
Uvod

Erozija tla predstavlja proces postupne degradacije i denudacije površinskih slojeva tla, koji na globalnoj razini uzrokuje dugoročno smanjivanje poljoprivredne produktivnosti i značajne financijske gubitke (Morgan, 2009; Erkossa i dr., 2015; Montanarella, 2015; Panagos i dr., 2015b; Borelli i dr., 2017.). Unutar Europske Unije erozija tla je prepoznata kao primarna ugroza za postojeće naslage tla, čije djelovanje negativno utječe na stabilnost ekosustava, poljoprivrednu proizvodnju, opskrbu pitkom vodom i povećanje globalnih emisija ugljika (Boardman & Poesen, 2007; Panagos i dr., 2015a; Panagos i dr., 2015b). Iako erozija tla predstavlja prirodan proces, rapidne klimatske promjene (npr. dezertifikacija, ekstremni oborinski događaji, toplinski valovi, itd.) i različiti izraženi antropogeni pritisci (npr. deforestacija, prekomjerna ispaša, neprimjerene poljoprivredne prakse i obrada tla, itd.) u zadnjim desetljećima utječu na značajno intenziviranje i širenje prostornog obuhvata ovog procesa (Pimentel & Burgess, 2013; Borelli i dr., 2017.). Mnogobrojni povijesni izvori iz različitih dijelova svijeta svjedoče da je erozija tla prisutna tijekom gotovo cijelog holocena, ali i da su klimatske promjene i antropogeni učinci postepeno postali glavni propagatori ovog procesa (Dotterweich, 2013.).

Generalno gledano Hrvatska je prema vrijednostima prosječne stope gubitka tla među srednje ugroženim zemljama Europske Unije (Panagos i dr., 2015a).

Međutim, pojedini dijelovi Hrvatske su zbog različitih mikrolokacijskih značajki znatno podložniji i ugroženiji od procesa erozije tla, s vrlo visokim vrijednostima prosječne stope gubitka tla (Slika I-45). Posebice visoke vrijednosti prosječne stope gubitka tla prisutne su u priobalnom prostoru.

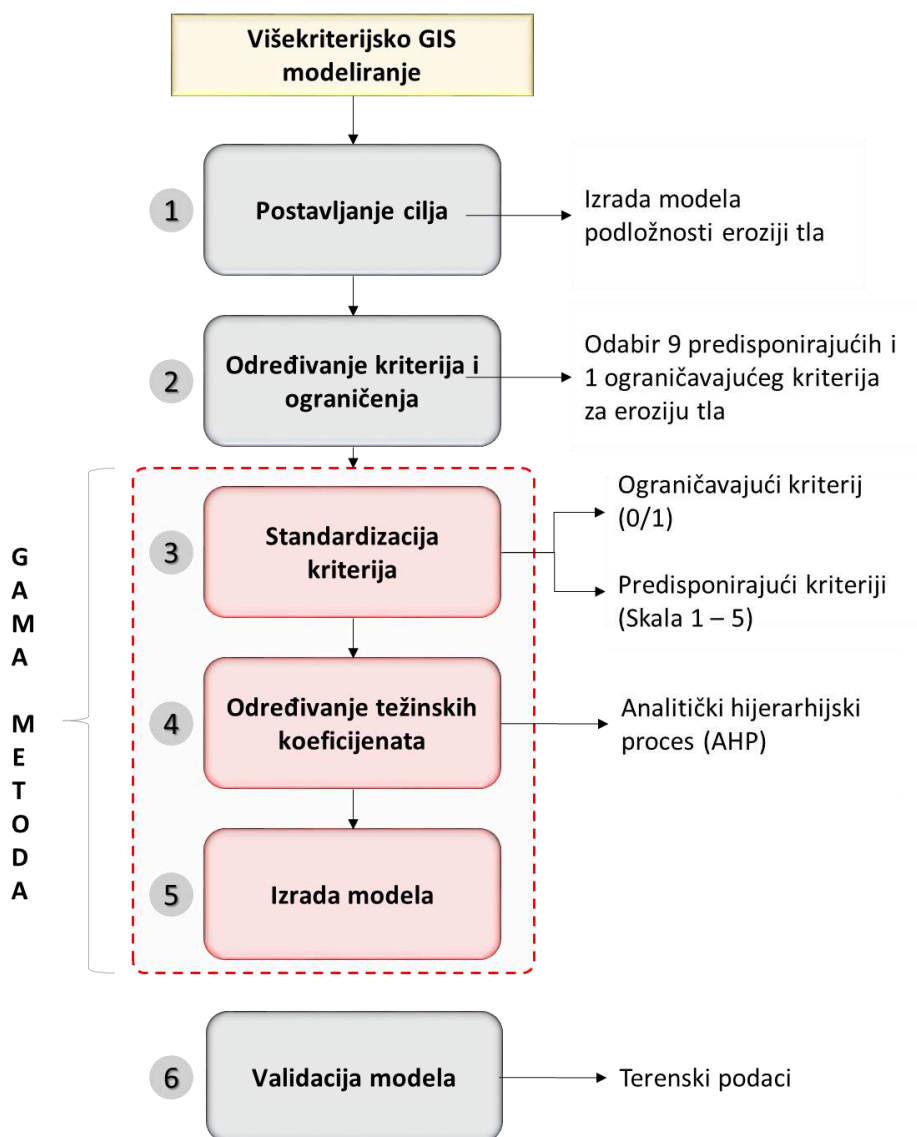
Širi prostor naselja Sali također se može svrstati u srednje ugrožena područja, na kojima prosječna godišnja stopa gubitka tla iznosi od $5 - 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (Panagos i dr., 2015a). Izrada modela podložnosti eroziji tla predstavlja osnovu za planiranje mjera za ograničavanje i prilagodbu daljnjim negativnim posljedicama procesa erozije tla na širem prostoru naselja Sali.



Slika I-45. Prosječna godišnja stopa gubitka tla u Hrvatskoj prema RUSLE metodi
 (preuzeto iz Panagos i dr., 2015a; ESDAC, 2020)

Izrada modela podložnosti eroziji tla

Izrada modela podložnosti eroziji tla provedena je kroz primjenu višekriterijske GIS analize (GIS-MCDA) namijenjene analiziranju podložnosti prostora za pojavu erozije tla prema odgovarajućim predisponirajućim kriterijima. Primjena višekriterijske GIS analize u modeliranju erozije tla sastoji se od ukupno šest koraka (Slika I-46), od kojih su tri koraka automatizirana uz pomoć GAMA metode (Domazetović i dr., 2019.):



Slika I-46. Tijek primijenjene višekriterijske GIS analize (prema Eastman, 1999.)

Odabrani kriteriji GIS-MCDA podložnosti eroziji tla

Kvaliteta izrađenog modela podložnosti eroziji tla ovisi o valjanosti izabranih predisponirajućih kriterija, zbog čega su u ovom istraživanju prije odabira kriterija za GIS-MCDA temeljito proučeni čimbenici korišteni u drugim radovima koji obrađuju podložnost eroziji tla. Nakon analize dostupne literature ukupno je izdvojeno 9 različitih kriterija, determinančnih za pojavu erozije tla. Na temelju determinančnih kriterija provedena je GIS-MCDA te su izdvojene zone različite pogodnosti za pojavnost erozije tla, koje su naknadno kategorizirane Jenksovom metodom u pet klasa (*vrlo niska podložnost, niska podložnost, srednja podložnost, visoka podložnost i vrlo visoka podložnost*). U nastavku je dan pregled odabranih kriterija provedene GIS-MCDA, s objašnjenim utjecajem svakog od odabranih kriterija na pojavnost i intenzitet erozije tla. Pri tome su zbog bolje preglednosti kriteriji izdvojeni iz DMR-a šireg prostora naselja Sali podijeljeni na: primarne morfometrijske parametre i sekundarne morfometrijske parametre (Wilson i Gallant, 2000.), dok su preostali kriteriji svrstani u ostale kriterije. Prikaz prostorne zastupljenosti pojedinih kriterija unutar šireg prostora naselja Sali vidljiv je na slikama I-46-47-48. i Tablični prikaz odabranih primarnih, sekundarnih i ostalih kriterija dan je u tablicama I-7-8-9.

Tablica I-7. Primarni parametri korišteni za modeliranje podložnosti eroziji tla

#	Parametar	Akronim	Definicija	Korištena metoda
1	Nagib padine	SLO	Mjera nagiba površine nekog terena u određenom smjeru	Horn (1981.)
2	Ekspozicija padine	ASP	Orijentacija padine određenu u smjeru kazaljke na satu prema kutu kojeg zatvaraju referentni pravac i pravac padine	Horn (1981.)
3	Profilna zakrivljenost padine	PROF	Zakrivljenost padine u pravcu najveće strmine, gledano u odnosu na hipotetsku vertikalnu površinu koja siječe padinu u svakom njezinom segmentu	Zeverbergen i Thorne (1987.)
4	Planarna zakrivljenost padine	PLAN	Zakrivljenost padine u sekanti ortogonalnoj na pravac najveće strmine	Zeverbergen i Thorne (1987.)

Tablica I-8. Sekundarni parametri korišteni za modeliranje podložnosti eroziji tla

#	Parametar	Akronim	Definicija	Korištena metoda
1	Topografski indeks vlažnosti	TWI	Potencijal zasićenosti terena vodom izračunat prema lokalnim značajkama drenažnog bazena i nagiba terena	Moore i dr. (1991.)
2	Indeks snage otjecanja	SPI	Potencijalna snaga otjecanja izračunata prema lokalnim značajkama drenažnog bazena i nagiba terena	Moore i dr. (1991.)
3	LS faktor	LSF	Odnos između duljine (L) i nagiba padine (S)	Zhang (2013.)
4	Specifično slivno područje	WAT	Površina drenažnog bazena	Kombinacija alata ¹

Tablica I-9. Ostali parametri korišteni za modeliranje podložnosti eroziji tla

#	Parametar	Akronim	Definicija	Korištena metoda
1	Zemljišni pokrov	LULC	Prirodni i antropogeni površinski pokrov	Nadzirana klasifikacija
2	Boolean kriterij	BLN	Ograničavajući kriterij	Nadzirana klasifikacija

¹ Hydrology toolset – ArcGIS 10.1

Primarni morfometrijski parametri

Za potrebe GIS-MCDA izdvojeni su sljedeći primarni morfometrijski parametri: nagib padine (SLO), orijentacija padine (ASP) te planarna (PLAN) i profilna (PROF) zakrivljenost padine. Iako postoje brojni drugi primarni morfometrijski parametri, koji se mogu izdvojiti iz DMR-a (npr. hipsometrija), njihov utjecaj na pojavnost erozije tla nije značajan te su oni izdvojeni iz ove analize.

Nagib padine (SLO)

Nagib padine jedan je od glavnih predisponirajućih čimbenika u evoluciji padinskog reljefa, koji izravno utječe na intenzitet različitih denudacijskih procesa (Wilson i Gallant, 2000.). Zbog izraženog utjecaja nagiba padinama na evoluciju padinskog reljefa kriterij nagiba padine ima odlučujuću ulogu u izradi modela podložnosti eroziji tla (Confronti i dr., 2011.). Prema tome, vrlo je bitno pravilno rangirati pojedine klase nagiba padina, sukladno razini njihovog utjecaja na pojavnost erozije tla. Brzina i erozivna snaga otjecanja povećavaju se sukladno porastu nagiba padine, zbog čega strmije padine karakterizira veća vjerojatnost za pokretanje različitih denudacijskih procesa, pa tako i erozije tla (Valentin i dr., 2005.). Međutim, u slučaju vrlo strmih terena ($32^\circ - 55^\circ$) te strmaca i litica ($> 55^\circ$) brzina površinskog otjecanja je tolika da se bitno smanjuje mogućnost stvaranja kritične količine usmjerenog otjecanja, potrebnog za pokretanje erozije tla (Valentin i dr. 2005; Poesen, 2003.). S druge strane na blago nagnutim terenima ($2^\circ - 5^\circ$) te pogotovo na ravninama ($0^\circ - 2^\circ$) slabo izražen nagib terena ne onemogućava nastanak bržeg otjecanja, zbog čega je i erozivna snaga na ovakvim padinama manja, kao i mogućnost pojave erozije tla.

Na ovakvim padinama se erozija tla u pravilu javlja samo kod većih drenažnih bazena, koji imaju sposobnost prikupljanja kritične količine vode, potrebne za odnošenje materijala i formiranje različitih erozijskih formi (Chaplot, 2013.).

Nagibi padina unutar šireg prostora naselja Sali klasificirani su prema standardnoj klasifikaciji (IGU, 1968.). Tako na prostoru otoka prevladavaju nagnuti tereni ($5^\circ - 12^\circ$) i značajno nagnuti tereni ($12^\circ - 32^\circ$), koji prevladavaju u priobalnom dijelu te prema središnjem otočkom grebenu te ukupno obuhvaćaju 76.64 % površine drenažnih bazena uvala Sali i Sašćica (1.81 km²). Upravo na nagnutim i značajno nagnutim terenima je najčešća najveća pojavnost i razvijenost erozijskih formi, zbog čega su ovakve padine najpogodnije za pojavu erozije tla. Slijede blago nagnuti tereni ($2^\circ - 5^\circ$) koji obuhvaćaju 14.69 % površine (0.35 km²), a najzastupljeniji su na blažim, bočnim obroncima krških vrhova. Ravnice ($0^\circ - 2^\circ$) su zastupljene na oko 7.6 % površine, pretežito na prostoru Saljskog polja. Najmanju zastupljenost imaju vrlo strmi tereni ($32^\circ - 55^\circ$) i strmci ($> 55^\circ$), koji su zastupljeni na manje od 1 % površine (0.02 km²) te zbog vrlo strmog nagiba na ovakvim padinama gotovo da nije zamijećena pojavnost erozijskih formi.

Kako se iz ranije navedenog može zaključiti da su nagnuti tereni ($12^\circ - 32^\circ$) najpogodniji za pojavu erozije tla određeno je da klase s ovakvim vrijednostima nagiba padina trebaju dobiti najviše težinske koeficijente.

Zatim slijede jako nagnuti tereni ($32^\circ - 55^\circ$) i blago nagnuti tereni ($2^\circ - 5^\circ$) s nešto slabijim težinskim koeficijentom. Najniži težinski koeficijent dodijeljen je klasi ravnica ($0^\circ - 2^\circ$) i klasi strmaca i litica ($> 55^\circ$), na kojima nepovoljan nagib padine gotovo da onemogućava pojavu erozije tla (Tablica I-10).

Tablica I-10. Zastupljenost klasa nagiba padine s pripadajućim težinskim koeficijentima

Nagib padine	$0^\circ - 2^\circ$	$2^\circ - 5^\circ$	$5^\circ - 12^\circ$	$12^\circ - 32^\circ$	$32^\circ - 55^\circ$	$> 55^\circ$
Površina (km ²)	0.18	0.35	0.84	0.97	0.02	0.00
Udio	7.68	14.69	35.51	41.13	0.94	0.01
Težinski koeficijent	1	2	4	5	4	2

Ekspozicija padine (ASP)

Iako ekspozicija padine ne spada u čimbenike koji neposredno utječu na pojavnost i intenzitet padinskih procesa, ona može neizravno utjecati na intenzitet erozije tla, jer određuje izloženost terena raznovrsnim klimatskim čimbenicima (npr. trajanje osunčanosti, intenzitet oborina, vlažnost, izloženost vjetru itd.) te uvjetuje razvijenost vegetacijskog pokrova (Wijdenes i dr., 2000; Confronti i dr., 2011.; Rahmati i dr., 2016a). Sjeverne padine obilježava kraća osunčanost i veća vlažnost u odnosu na južnije položene padine, zbog čega na tim padinama može lakše doći do pojave površinskog otjecanja, nego na južnijim sušnijim padinama. Nadalje, sjeverne, a posebice sjevernoistočne padine su u priobalnom dijelu izložene utjecaju snažnog, ponekad i olujnog vjetera – bure. Bura je iznimno jak vjetar, koji puše na mahove, a može doseći brzinu i veću od 150 km/h (Penzar i dr., 2001.), koji mjestimice može utjecati na pojavu degradacije vegetacijskog pokrova.

Najzastupljenije padine unutar drenažnog bazena uvala Sali i Sašćica su padine sjeveroistočne (29,38 % – 0.69 km²), i istočne (20.45 % – 0.48 km²) orijentacije, što je odraz izduženosti otoka u pravcu JI – SZ. Od padina drugih ekspozicija treba istaknuti još i padine sjeverozapadne orijentacije s 9 % ukupne površine (0.21 km²). Ostale padine su znatno manje zastupljene. Ovakva zastupljenost odraz je činjenice da se prostor drenažnih bazena nalazi na sjeverno položenoj strani Dugog otoka.

Sjevernim, sjeveroistočnim i sjeverozapadnim padinama su pridodani najveći težinski koeficijenti za podložnost eroziji tla, dok kod ostalih klasa orijentacije padina težinski koeficijenti postupno opadaju prema jugu (Tablica I-11). Najnižu ocjenu za podložnost eroziji tla dobile su južno orijentirane padine i zaravnjeni prostori, na kojima prevladavaju najnepovoljniji uvjeti za pojavnost erozije tla.

Tablica I-11. Zastupljenost klasa orijentacije padina s pripadajućim težinskim koeficijentima

Orijentacija padine	Ravno	N	NE	E
Površina (km ²)	0.15	0.21	0.69	0.48
Udio	6.17	8.98	29.38	20.45
Težinski koeficijent	3	5	5	3
SE	S	SW	W	NW
0.20	0.15	0.14	0.11	0.21
8.62	6.48	6.06	4.86	9.00
2	1	2	3	4

Zakrivljenost padine (Curvature)

Zakrivljenost površine se može promatrati kao zakrivljenosti linije koju čini sjecište određene ravnine sa topografskom površinom (Wilson i Gallant, 2000.), pri čemu vrijednost zakrivljenosti označava iznos u kojemu određena površina (npr. teren) odstupa od pravocrtne padine. Zakrivljenost padine utječe na konvergenciju ili divergenciju vode prilikom površinskog otjecanja, ali i na brzinu otjecanja vode niz padinu (Moore, 1991.; Agnesi i dr. 2011.; Confronti i dr., 2011.). Dva osnovna tipa zakrivljenosti padine su profilna i planarna zakrivljenost.

Profilna zakrivljenost padine (PROF) utječe na brzinu površinskog otjecanja vode niz padinu te posljedično i na pojavu odnošenja ili sedimentacije materijala.

Na konveksnim padinama pretežito dolazi do usporavanja površinskog otjecanja i slabljenja transportnog kapaciteta, čime u konačnici može doći i do sedimentacije materijala. S druge strane na konkavnim padinama prevladava ubrzavanje površinskog otjecanja, koje utječe na povećanje energije otjecanja i izraženije usijecanje toka u padinu te moguću pojavu odnošenja materijala. Unutar šireg prostora naselja Sali zastupljenost konkavnih i konveksnih padina je poprilično ujednačena (Tablica I-12). Konkavne padine obuhvaćaju 45.78 % (1.08 km²) površine, konveksne imaju zastupljenost od 49.16 % (1.16 km²), a zaravnjene samo 5.01 % (0.12 km²).

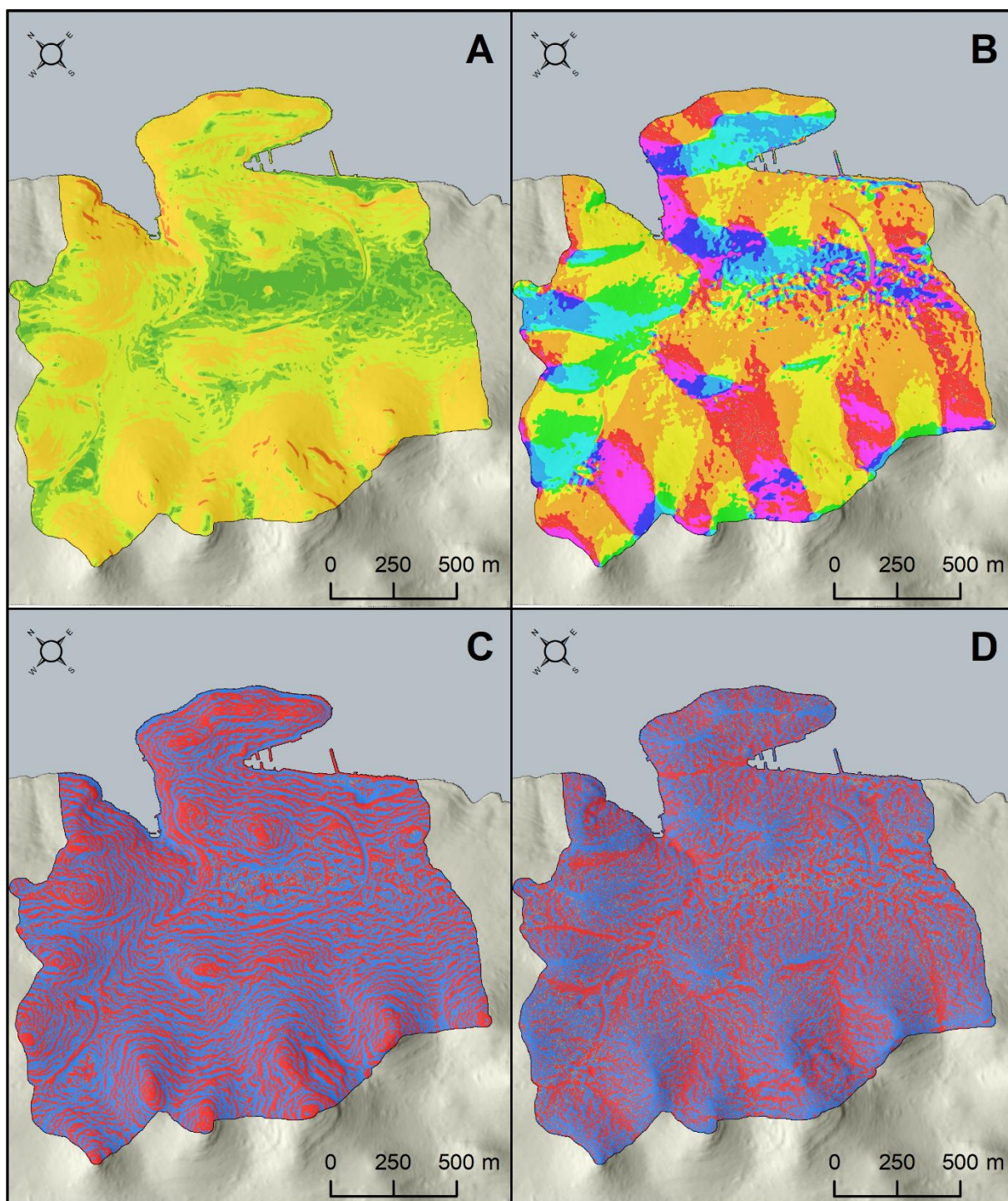
Tablica I-12. Zastupljenost klasa profilne zakrivljenosti padina s pripadajućim težinskim koeficijentima

Profilna zakrivljenost	Konkavne	Pravocrtne	Konveksne
Površina (km ²)	1.08	0.12	1.16
Udio	45.78	5.01	49.16
Težinski koeficijent	3	1	5






















Planarna zakrivljenost padine (PLAN) utječe na homogenost površinskog otjecanja. Kod konkavnih padina vezanih za negativne vrijednosti planarne zakrivljenosti dolazi do konvergencije površinskog otjecanja i formiranja jedinstvenog toka sa znatno većom erozivnom snagom, čime se znatno povećava vjerojatnost za pojavnost erozije tla. Kod konveksnih padina, vezanih za pozitivne vrijednosti planarne zakrivljenosti dolazi do razdvajanja, odnosno grananja površinskog otjecanja, čime slabi erozivni potencijal otjecanja te je sukladno tome vjerojatnost pojave erozije tla na ovakvim padinama manja. Kod planarne zakrivljenosti na 42,96 % (1.01 km²) površine su zastupljene konkavne padine, dok su konveksne zastupljene na 46.56 % (1.10 km²) površine (Tablica I-13).

Tablica I-13. Zastupljenost klasa planarne zakrivljenosti padina s pripadajućim težinskim koeficijentima

Planarna zakrivljenost	Konkavne	Pravocrtne	Konveksne
Površina (km ²)	1.01	0.25	1.10
Udio	42.95	10.45	46.56
Težinski koeficijent	3	5	1



Slika I-47. Odabrani primarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti eroziji tla

<p>Nagib padine (°) A</p> <ul style="list-style-type: none">  0 - 2  2 - 5  5 - 12  12 - 32  32 - 55  55 - 80.57 	<p>Orijentacija padine B</p> <ul style="list-style-type: none">  Zaravnjeno  Sjeverna  Sjeveroistočna  Istočna  Jugoistočna  Južna  Jugozapadna  Zapadna  Sjeverozapadna
<p>Profilna zakrivljenost C</p> <ul style="list-style-type: none">  Konkavno  Zaravnjeno  Konveksno 	<p>Planarna zakrivljenost D</p> <ul style="list-style-type: none">  Konveksno  Zaravnjeno  Konkavno

Slika I-48. Legenda odabranih primarnih kriterija GIS-MCDA podložnosti eroziji tla

Sekundarni morfometrijski parametri

Za potrebe ovog istraživanja odabrani su oni sekundarni morfometrijski kriteriji, koje je moguće iskoristiti kao indikatore podložnosti određenog prostora eroziji tla. Izdvojena su tri hidrološka sekundarna parametra (TWI, SPI i WAT) te jedan morfometrijski sekundarni parametar (LS faktor).

Topografski indeks vlažnosti (TWI)

Sa stajališta proučavanja erozije tla TWI je važan kriterij za određivanje potencijala određenog terena za pojavu erozije tla, jer omogućava identifikaciju prostora zasićenog vodom u kojima je infiltracija površinske vode u podzemlje znatno manja. Manja infiltracija vode u podzemlje uvjetuje pojavu izraženijeg površinskog i plitkog podzemnog otjecanja, čime je i denudacijski učinak ovog otjecanja znatno veći. Izraženije površinsko otjecanje u kombinaciji s destabiliziranom ili izloženom slabije otpornom podlogom preduvjet je pojave erozije tla. Zbog toga rasterske ćelije s višim vrijednostima ovog indeksa predstavljaju područja veće pogodnosti za pojavu erozije tla.

Tablica I-14. Zastupljenost klasa topografskog indeksa vlažnosti (TWI) s pripadajućim težinskim koeficijentima

TWI	1	2	3	4
Površina (km ²)	0.47	1.14	0.69	0.05
Udio	19.92	48.39	29.38	2.26
Težinski koeficijent	2	3	4	5

Indeks snage toka (SPI)

SPI je jedan od važnijih čimbenika koji utječu na intenzitet padinskih procesa, pa tako i erozije tla, jer erozivna snaga površinskog otjecanja izravno utječe na intenzitet usijecanja vodotoka u podlogu. Strmije padine većih drenažnih bazena obilježavaju veće vrijednosti ovog indeksa te veća podložnost procesu erozije tla, jer veličina drenažnog bazena utječe na volumen površinskog otjecanja, a nagib padine na brzinu površinskog otjecanja. Utvrđeno je kako područja s većim vrijednostima SPI indeksa imaju veći erozijski potencijal te se često podudaraju s pojavom odnošenja materijala (Favre i dr., 2011.; Confronti i dr., 2011.).

Tablica I-15. Zastupljenost klasa indeksa snage otjecanja (SPI) s pripadajućim težinskim koeficijentima

SPI	1	2	3	4
Površina (km ²)	0.04	0.33	0.96	1.03
Udio	1.88	13.88	40.71	43.47
Težinski koeficijent	2	3	4	5

LS faktor (LSF)

LS faktor, često naveden i kao topografski faktor jedan je od osnovnih varijabli korištenih u USLE (engl. Universal Soil Loss Equation) i RUSLE (engl. Revised Universal Soil Loss Equation) jednadžbama za procjenu erozije tla, kojim se razmatra utjecaj topografskih značajki na intenzitet erozije (Zhang i dr., 2013.).

Prije svega ovaj čimbenik analizira utjecaj duljine padine (L) i nagiba padine (S) na eroziju tla te može poslužiti kao kvantitativna mjera transportnog kapaciteta površinskog otjecanja (Moore, 1992.). Pri tome se s porastom duljine i nagiba padine povećava brzina otjecanja i intenzitet erozije, odnosno sposobnost površinskog otjecanja da odnosi i transportira materijal (Lal, 1988.).

Sa stajališta proučavanja erozije tla LS faktor može poslužiti za izdvajanje erozijskih zona, ponajprije jer se erozija javlja na strmijim padinama, većih slivnih područja, iz čega proizlazi da rasterske ćelije s većim vrijednostima LS faktora imaju veći potencijal za pojavu erozije tla.

Tablica I-16. Zastupljenost klasa LS faktora sa pripadajućim težinskim koeficijentima

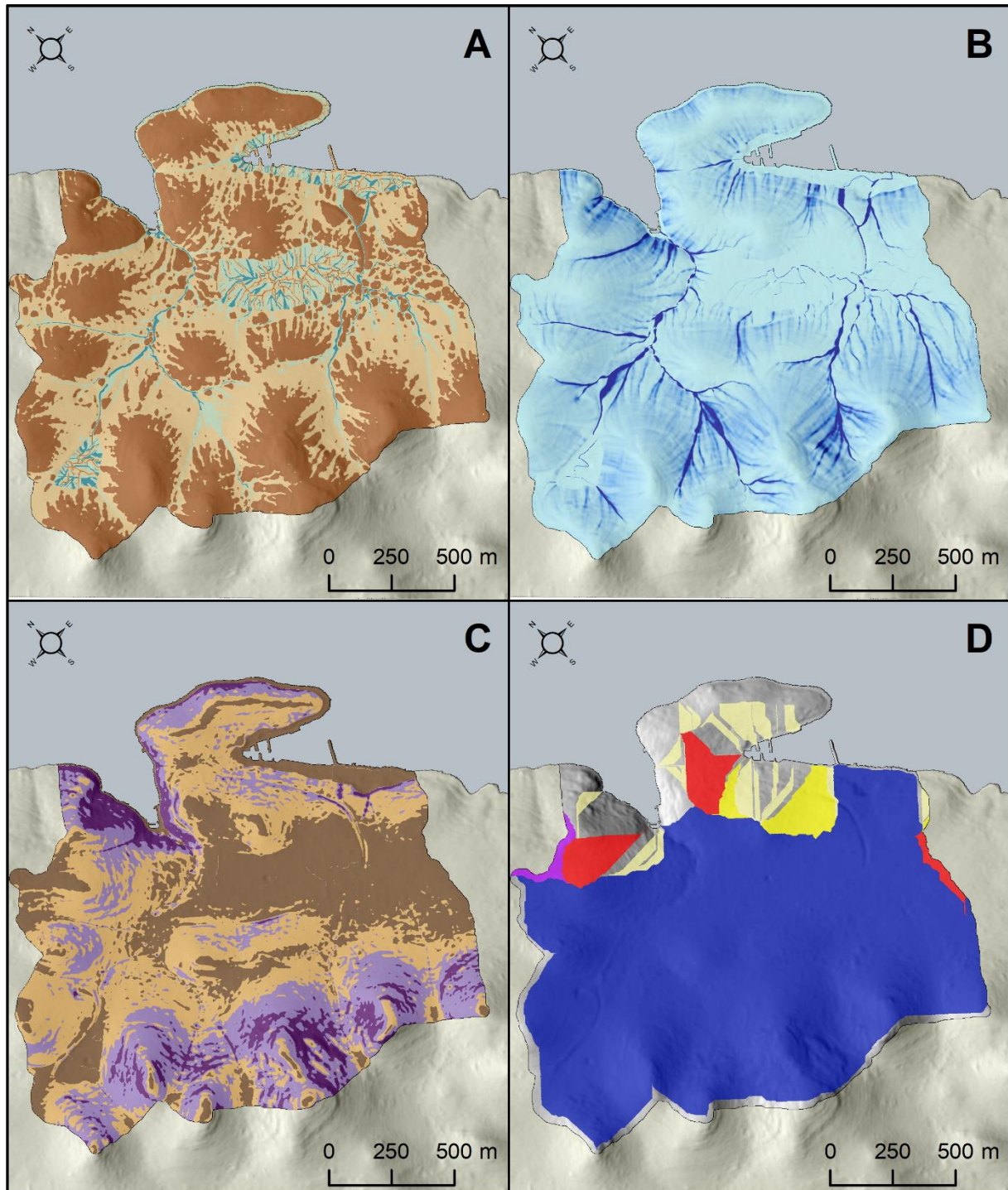
LS Faktor	1	2	3	4
Površina (km ²)	0.74	0.87	0.57	0.18
Udio	31.23	36.75	24.17	7.81
Težinski koeficijent	2	3	4	5

Specifično slivno područje (WAT)

















Uz nagib padine erozijska snaga površinskog otjecanja najviše ovisi o površini slivnog područja jaruge (Vandekerckhove i dr., 2000; De Vente i Poesen, 2005; Valentin i dr., 2005.), zbog čega su izdvojeni drenažni bazeni šireg prostora naselja Sali uzeti kao kriterij u GIS-MCDA analizi, pod pretpostavkom da unutar većih drenažnih bazena postoji veća vjerojatnost za pojavu kritičnog površinskog otjecanja, potrebnog za pokretanje erozije tla. Ova pretpostavka temelji se na ranijim istraživanjima koja su pokazala kako je veličina slivnog područja u izravnom suodnosu s intenzitetom horizontalnog pomaka u čeonom dijelu jaruge (GHR), pri čemu jaruge sa većim slivnim područjem bilježe intenzivniji horizontalni pomak i intenzivnije stope erozije tla (Vanmaerckei dr., 2016.).

Tablica I-17. Zastupljenost klasa WAT s pripadajućim težinskim koeficijentima

Specifično slivno područje (km ²)	0 - 0.03	0.03 - 0.06	0.06 – 0.09	0.09 – 0.89
Površina (km ²)	0.89	0.16	0.09	0.01
Udio	37.70	6.67	3.91	0.59
Težinski koeficijent	2	3	4	5



Slika I-49. Odabrani sekundarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla

<p>Topografski indeks vlažnosti</p> <p>A</p> <ul style="list-style-type: none">  -2.82 - 5.73  5.73 - 8.30  8.30 - 11.25  11.25 - 21.42 	<p>Indeks snage toka</p> <p>B</p> <ul style="list-style-type: none">  0 - 3,162.96  3,162.96 - 14,233.32  14,233.32 - 31,629.60  31,629.60 - 403,277.40
<p>LS Faktor</p> <p>C</p> <ul style="list-style-type: none">  0 - 1.23  1.23 - 3.34  3.34 - 5.97  5.97 - 44.77 	<p>Specifično slivno područje</p> <p>D</p> <ul style="list-style-type: none">  0 - 0.02  0.02 - 0.05  0.05 - 0.09  0.09 - 0.88

Slika I-50. Legenda odabranih sekundarnih kriterija GIS-MCDA podložnosti eroziji tla

Ostali kriteriji

Pod ostale kriterij su svrstani svi oni kriteriji koji nisu izvedeni iz DMR-a, a utječu na pojavnost i intenzitet erozije tla. U prvom redu to su zemljišni pokrov i pedološki sastav podloge, te ograničavajući Boolean kriterij.

Zemljišni pokrov (LULC)

Način korištenja zemljišta ima značajan utjecaj na geomorfološku stabilnost padine i pojavu raznovrsnih padinskih procesa. Primjeri iz cijelog svijeta ukazuju kako neprikladno korištenje zemljišta, kao što su prekomjerna sječa šuma ili stočarska valorizacija određenog prostora, mogu znatno ubrzati prirodni proces erozije tla (Valentin i dr. 2005.). Pojedine tipove zemljišnog pokrova obilježava različita otpornost na procese trošenja materijala, pa tako i na eroziju tla. Otpornost na procese trošenja povezana je s vegetacijskim pokrovom i načinom korištenja određenog zemljišta. Vegetacijski pokrov ima umanjujući učinak na podložnost određenog terena eroziji tla, jer smanjuje erozivnu sposobnost površinskog otjecanja (Conforti i dr., 2011). Primjerice, gola ili rijetko zasađena područja su uglavnom zahvaćena bržim i intenzivnijim trošenjem i većom nestabilnosti padina od čvrsto ukorijenjenih šuma ili kultiviranih parcela. Nadalje, način korištenja zemljišta može utjecati na odnošenje prirodnog organskog pedološkog pokrova, čime se mijenja strukturna stabilnost tla te potiče površinsko otjecanje i krustacija, što u konačnici vodi ka pojavi erozije tla.

Zemljišni pokrov unutar šireg prostora naselja Sali je heterogen. Stoga, prilikom dodjeljivanja težinskih koeficijenata različitim tipovima vegetacijskog pokrova, treba obratiti pozornost na stupanj razvijenosti, gustoću i otpornost na denudaciju pojedinih tipova vegetacijskog pokrova. Najveću ocjenu za pogodnost pojavnosti erozije tla svakako trebaju dobiti goli ili slabo vegetacijski prekriveni tipovi zemljišnog pokrova.

Unutar drenažnih bazena uvala Sali i Saščica najzastupljeniji su maslinici koji pokrivaju 0.53 km² (22.25 % ukupne površine), nakon čega slijede površine pokrivene šumama (19.13 % - 0.45 km²) i pašnjaci (19.07 % - 0.445 km²). Urbane površine i drača pokrivaju 9.15 % (0.22 km²), odnosno 8.13 % (0.19 km²) ukupne površine. Poljoprivredne površine i tlo pokrivaju 1.39 % (0.03 km²), odnosno 6.92 % (0.16 %) ukupne površine.

Tablica I-18. Zastupljenost vegetacijskih klasa s pripadajućim težinskim koeficijentima

Zemljišni pokrov	Urbana površina	Maslinik	Drača	Šuma
Površina (km ²)	0.22	0.53	0.19	0.45
Udio	9.15	22.25	8.13	19.13
Težinski koeficijent	1	3	3	2
Voćnjak	Kamenjar	Pašnjak	Poljoprivredna površina	Tlo
0.20	0.12	0.445	0.03	0.16
8.37	5.22	19.07	1.39	6.92
3	1	4	5	4

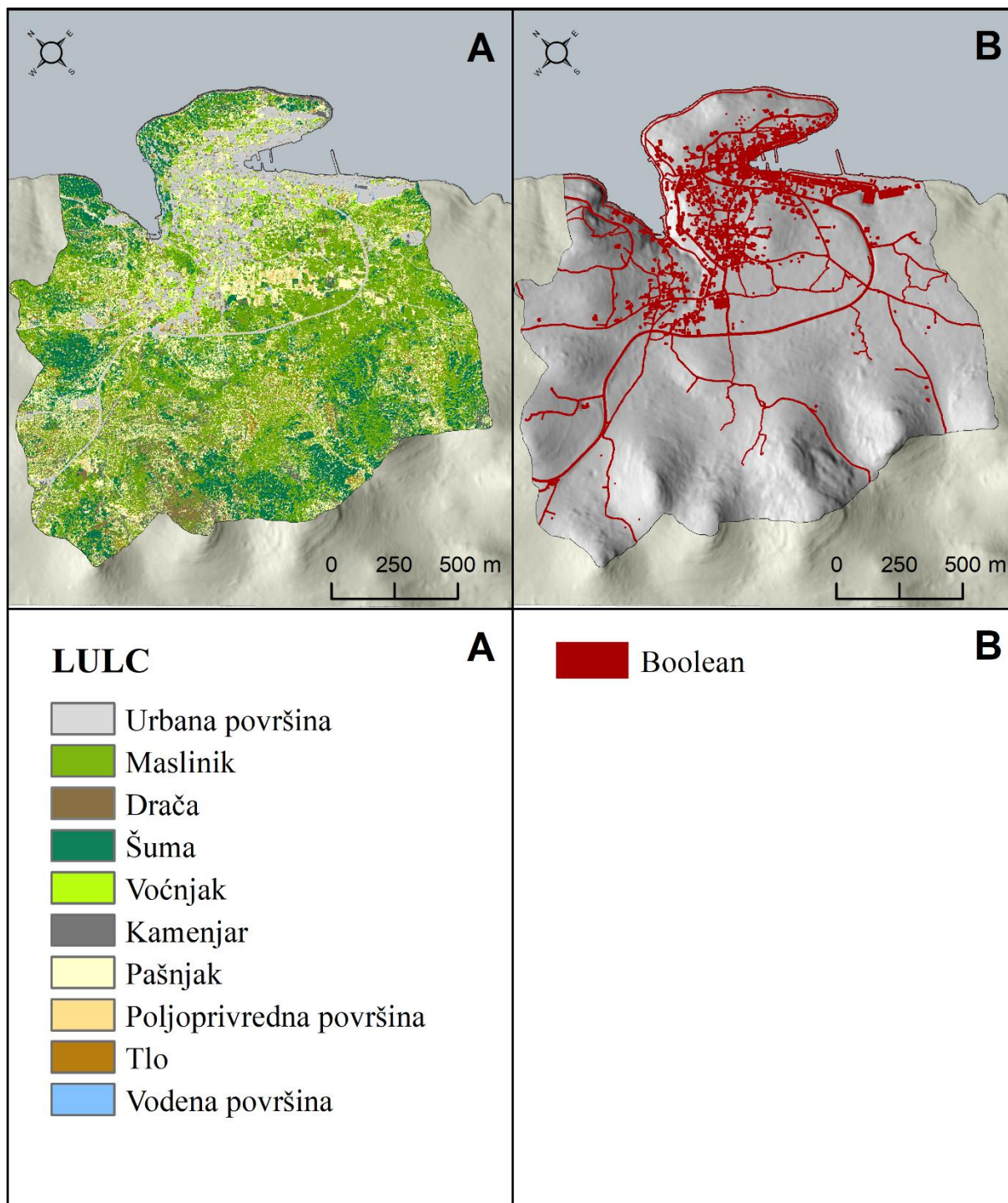
Boolean kriterij

Boolean kriterij obuhvaća sva ona područja na kojima ne postoje nikakvi uvjeti za pokretanje određenog procesa, u ovom slučaju erozije tla. U prvom redu pod Boolean kriterij spadaju sva urbana i industrijska izgrađena područja, u kojima zbog antropogenih modifikacija terena ne može doći do pojave klasične erozije tla. Zatim u Boolean kriterij spadaju sve trajne vodene površine, na prostoru kojih također nije moguća pojavnost padinskih procesa. Unutar dprostora drenažnih bazena uvala Sali i Saščica Boolean kriterij obuhvaća 0.16 km², odnosno 6.81 % ukupne površine. Ovaj prostor obuhvaća sve stambene objekte i prometnice naselja Sali.

Navedeni prostori isključeni su iz višekriterijske analize podložnosti eroziji tla na način da su izdvojeni kao prostori nikakve vjerojatnosti za pojavnost erozije tla, s težinskim koeficijentom $W_i = 0$.

Tablica I-19. Zastupljenost Boolean klasa s pripadajućim težinskim koeficijentima

Boolean	0	1
Površina (km ²)	0.16	2.20
Udio	6.81	93.14
Težinski koeficijent	0	1

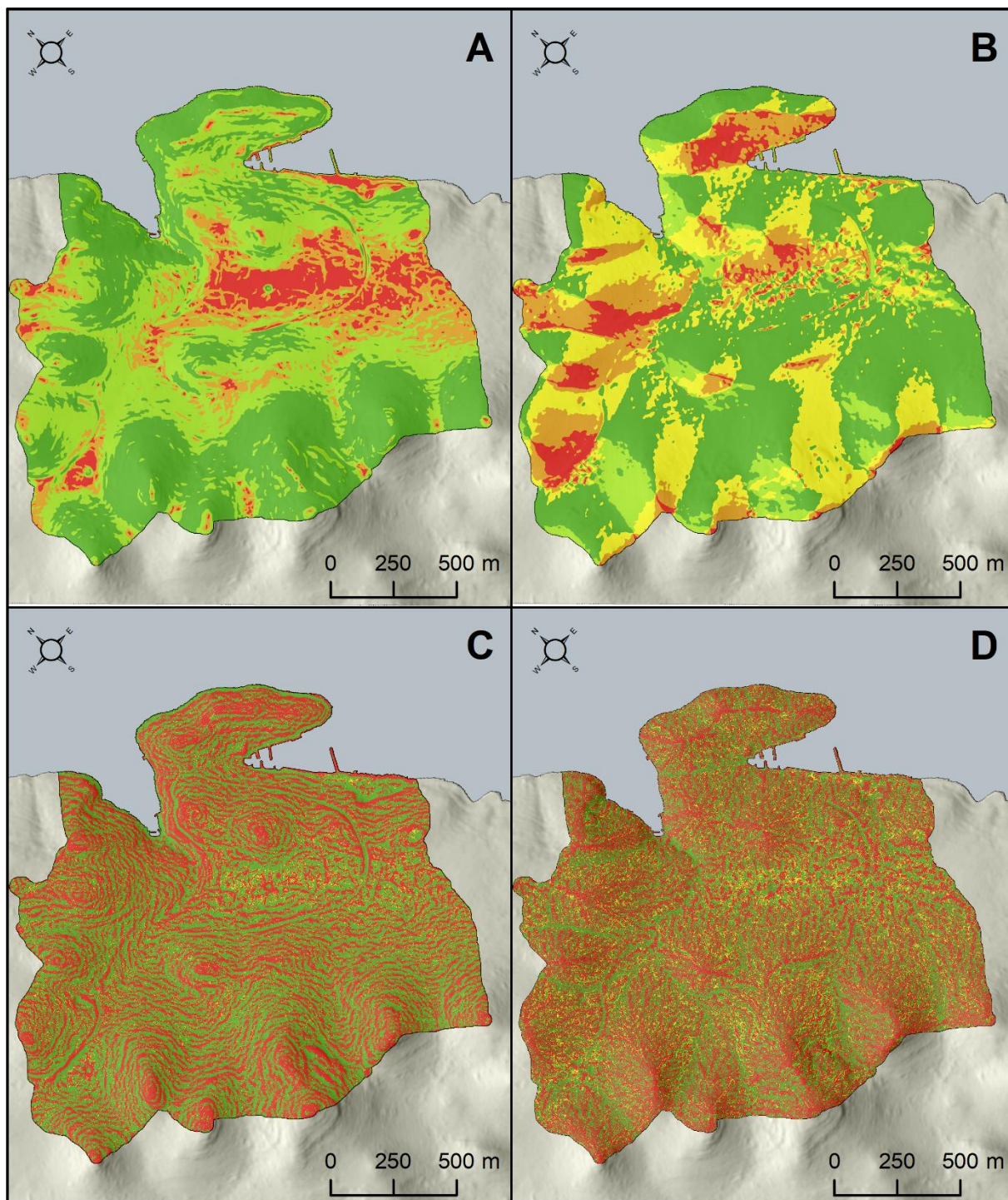


Slika I-51. Odabrani ostali kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla

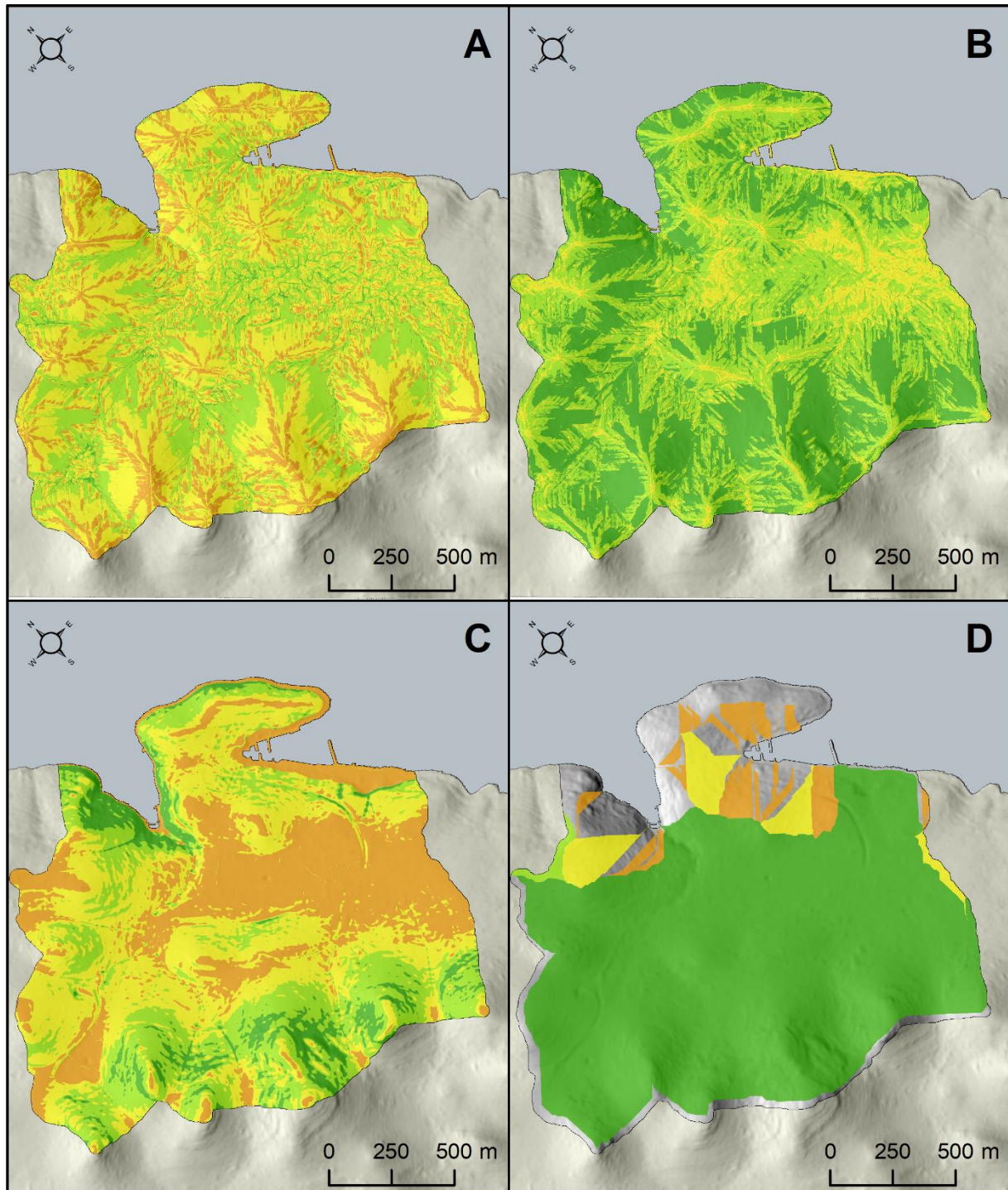
Standardizacija odabranih GIS-MCDA kriterija

Da bi različiti kriteriji bili međusobno usporedivi, potrebno ih je ujednačiti na način da se svi podaci svedu na jednaku brojčanu skalu (npr. 0 – 1 ili 1 – 5), kroz proces koji je poznat kao standardizacija kriterija (Malczewski, 2015.). Osnovni pristup standardiziranju različitih kriterija su Fuzzy Membership Functions koje reklasificiraju ulazne podatke na skalu od 0 do 1, na temelju niza specifičnih funkcija (npr. linearna funkcija, Gaussova funkcija, itd.), pri čemu donosioci odluka trebaju prema svom iskustvu i stručnosti prosuditi koja funkcija bi najbolje odgovarala standardiziranju određenih podataka (Eastman, 2006.).

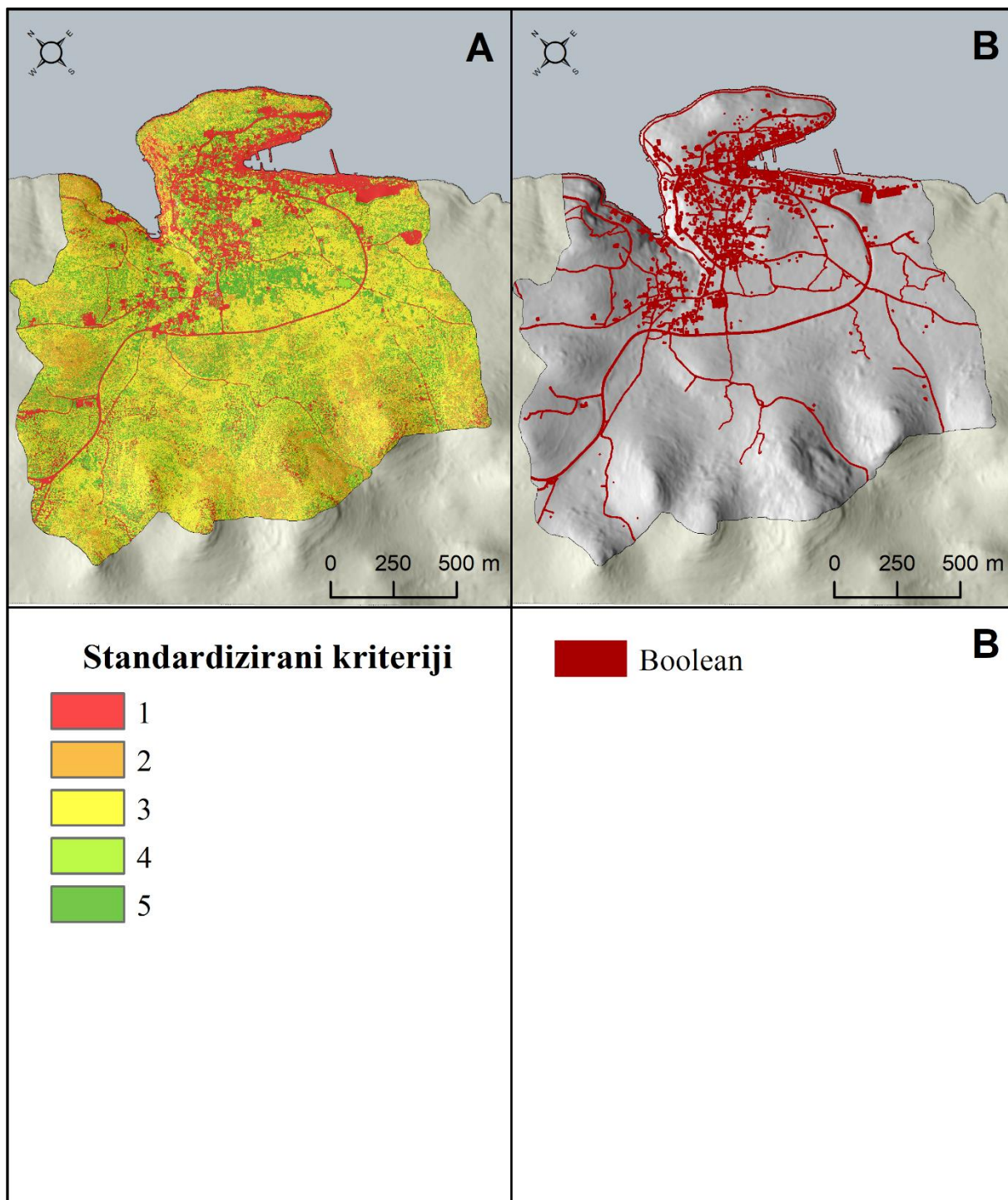
Odabranih 10 kriterija standardizirano je na brojčanu skalu 1 – 5 uz pomoć GAMA metode, na način da su ocjenu 1 dobili najmanje pogodne klase određenog kriterija, a ocjenu 5 najpogodnije klase. Vidljivo je kako su svi odabrani kriteriji GIS-MCDA standardizirani, na način da su njihovim klasama pridodani odgovarajući težinski koeficijenti (1 – 5), dok su Boolean kriteriju pridodane binarne ocjene 0 i 1. Prikaz prostorne zastupljenosti standardiziranih kriterija unutar šireg prostora naselja Sali vidljiv je na slikama I-52-53-54.



Slika I-52. Standardizirani primarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla



Slika I-53. Standardizirani sekundarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla



Slika I-54. Standardizirani ostali kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla

Određivanje težinskih koeficijenata odabranih GIS-MCDA kriterija

Za određivanje težinskih koeficijenata odabran je Analitički hijerarhijski proces (engl. *analytical hierarchy process (AHP)*), koji omogućava provjeru subjektivnosti i dosljednosti pridodavanja težinskih koeficijenata kroz omjer konzistentnosti (engl. Consistency ratio (CR)) (Saaty, 1990.). AHP se može okarakterizirati kao teorijski pristup mjerenju utjecaja pojedinih kriterija na određeni ishod, koji na temelju prosudbi stručnjaka međusobno uspoređuje parove kriterija i izvodi ljestvicu njihovog vrednovanja (Saaty, 1980; Saaty, 2008.). AHP omogućava međusobnu usporedbu svih korištenih kriterija, ali i mogućnost provjere objektivnosti dodijeljenih težinskih koeficijenata kroz dane vrijednosti CR (Saaty, 1980.). Pri tome je određivanje težinskih koeficijenata valjano ako je CR manji od 0,1.

Omjer konzistentnosti računa se prema sljedećoj formuli (Saaty, 1980.):

$$CR = CI / RI \quad (1)$$

gdje je:

CI = indeks konzistentnosti RI = indeks slučajne dosljednosti

Indeks konzistentnosti (CI) računa se prema formuli:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

gdje je:

λ_{max} = Principal Eigen Value n = broj kriterija

λ_{max} se računa prema formuli:

$\lambda_{max} = \Sigma$ proizvoda između prioritarnog vektora svakog elementa i umnoška stupca

Prikaz matrice dvostruke usporedbe AHP-a dan je u tablici I-20, a izračunati težinski koeficijenti su dani u tablici I-21.

Tablica I-20. Matrica dvostruke usporedbe kriterija uz pomoć AHP-a

Kriterij	SLO	ASP	PROF	PLAN	TWI	SPI	LSF	WAT	LULC
SLO	1	3	6	6	3	3	3	9	4
ASP	1/3	1	5	5	1/2	1/2	1/2	6	3
PROF	1/6	1/5	1	1	1/3	1/3	1/3	3	1/3
PLAN	1/6	1/5	1	1	1/3	1/3	1/3	3	1/3
TWI	1/3	2	3	3	1	1	1	6	2
SPI	1/3	2	3	3	1	1	1	6	2
LSF	1/3	2	3	3	1	1	1	6	2
WAT	1/9	1/6	1/3	1/3	1/6	1/6	1/6	1	1/6
LULC	1/3	1/4	3	3	1/2	1/2	1/2	6	1

Tablica I-21. Težinski koeficijenti izračunati uz pomoć AHP-a

ID	Kriterij	Težinski koeficijent	Postotak (%)
1	SLO	0.299	29.9
2	ASP	0.125	12.5
3	PROF	0.041	4.1
4	PLAN	0.041	4.1
5	TWI	0.131	13.1
6	SPI	0.131	13.1
7	LSF	0.131	13.1
8	WAT	0.019	1.9
9	LULC	0.082	8.2
UKUPNO		1	100

Agregacija kriterija i dodijeljenih težinskih koeficijenata

Okupljanje kriterija i njihovih težinskih koeficijenata obavljeno je prema sljedećoj formuli (Easman, 1999.):

$$P = \sum w_i X_i * \prod C_j \quad (3)$$

gdje je:

P = pogodnost

C_j = ograničenje j

w_i = težinski koeficijent dodijeljen kriteriju

\sum = suma ponderiranih kriterija;

\prod = umnožak ograničenja (1 – pogodno, 0 – nepodno) X_i = vrijednost kriterija

1.1. Validacija modela

Validacija modela izvršena je na temelju podataka prikupljenih tijekom provođenja terenskih istraživanja. U prvom redu se radilo o detektiranim recentnim tragovima bujičenja i erozije tla unutar drenažnog bazena uvala Sali i Saščica. Terenski detektirani tragovi erozije tla dodatno su potkrijepljeni dokazima o recentnim bujičnim poplavama iz lokalnih novina (Slika I-55).

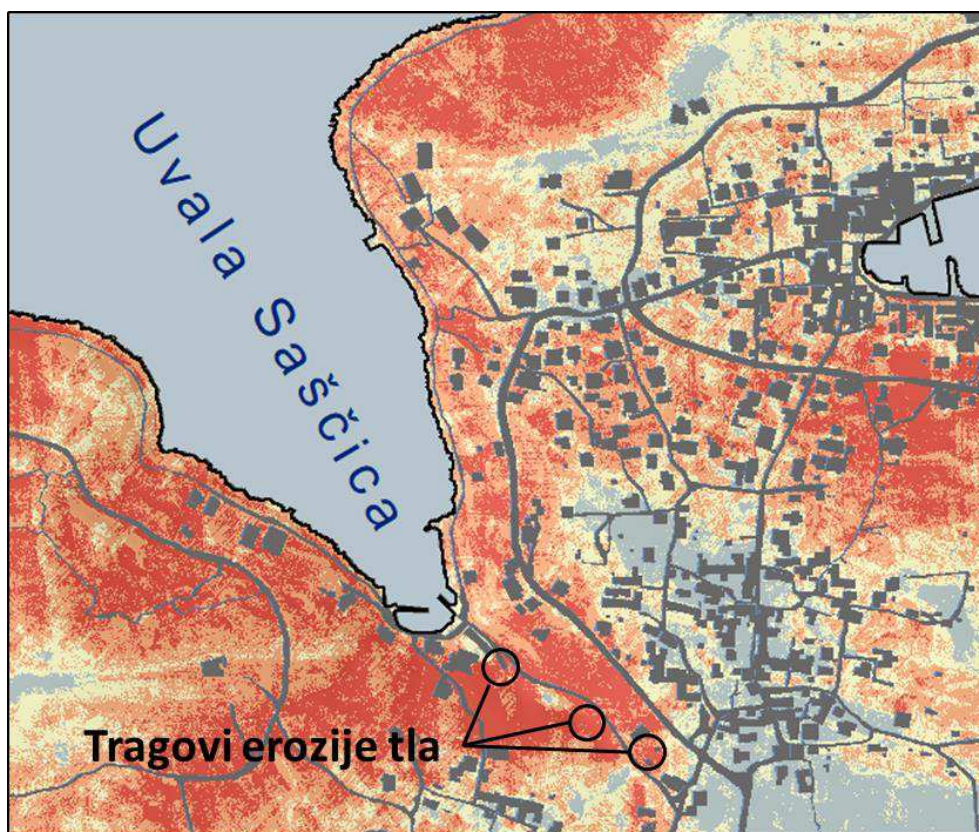


Slika I-55. Bujica bogata erodiranim sedimentom u dnu jaruge u uvali Saščica

Područja potencijalno ugroženo erozijom tla

Na temelju izrađenog modela podložnosti eroziji tla šireg prostora naselja Sali utvrđene su zone potencijalne ugroze od buduće pojave negativnih učinaka erozije tla. Točnost izrađenog modela potvrđena je preklapanjem lokacija terenski utvrđenih recentnih tragova erozije tla s izrađenim

modelom (Slika I-56). Pri tome je utvrđeno da se svi terenski prikupljeni podaci nalaze unutar modelom izdvojenih zona visoke i vrlo visoke podložnosti eroziji tla. Time je dodatno potvrđena točnost izrađenog modela.



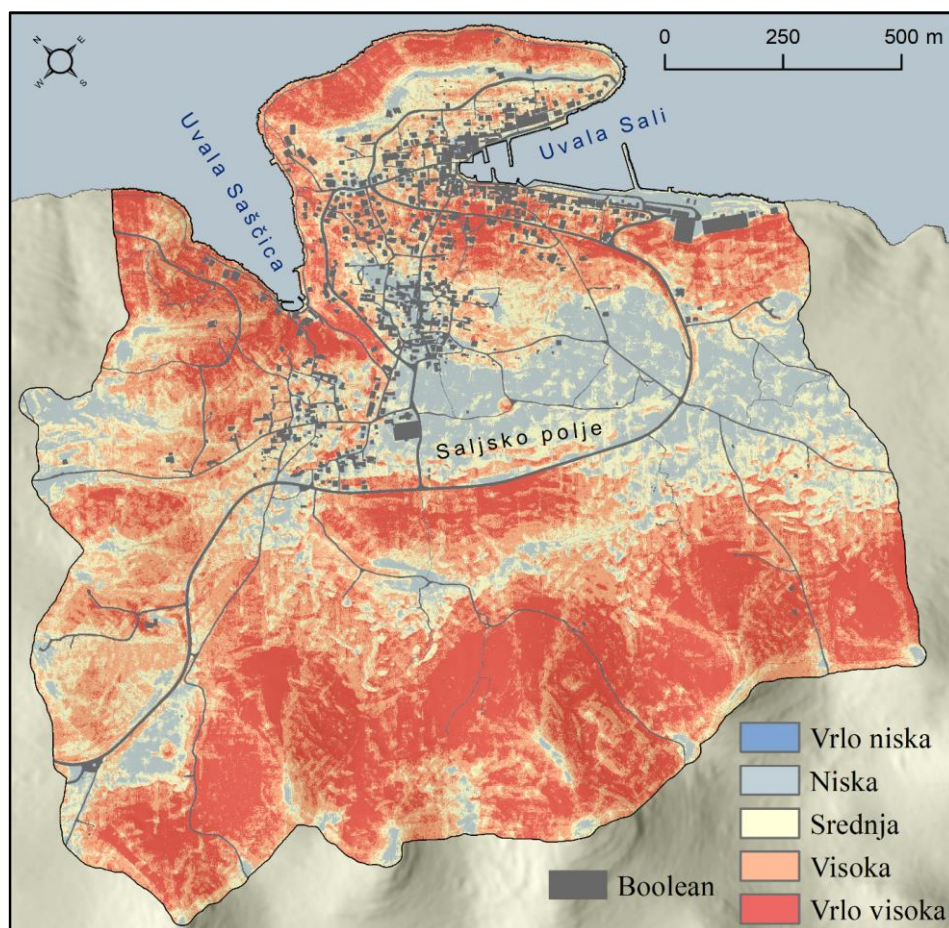
Slika I-56. Lokacije terenski utvrđenih recentnih tragova erozije tla u odnosu na izrađeni model podložnosti eroziji tla

Kao što je vidljivo na izrađenom modelu podložnosti (Slika I-57) unutar šireg prostora naselja Sali prevladavaju zone visoke (0.77 km^2) i vrlo visoke (0.64 km^2) podložnosti eroziji tla, koje zajedno obuhvaćaju 55.44% cijelog drenažnog bazena. S obzirom na terenskim opažanjima zabilježe recentne tragove erozije tla, očekivano se najpodložnijim prostorom za eroziju tla pokazao prostor oko jaruge koja završava u uvali Sašćica. Upravo je unutar navedene jaruge nakon obilnijih oborinskih događaja zabilježeno formiranje bujičnog toka, vrlo velike erozivne i transportne snage. Formiranjem bujica dolazi do erodiranja i oslobađanja znatnih količina tla, koji se djelovanjem bujičnog otjecanja transportiraju prema uvali Sašćica, gdje dolazi do sedimentacije oslobođenih naslaga. Osim potencijalnog onečišćenja uzrokovanog oslobađanjem znatnih količina erodiranog sedimenta u uvalu Sašćica, bujični tok utječe i na

transportiranje različitog prirodnog i antropogenog materijala. U prvom redu znatnih količina smeća, koje također završavaju u uvali Saščica. Zbog svega navedenog ova jaruga predstavlja ključni izvor ugroze erozijom tla.

Značajnija zastupljenost zona visoke i vrlo visoke podložnosti eroziji tla također je prisutna u priobalnom dijelu, od uvale Saščica prema uvali Sali, te na južnim padinama uvale Sali (Slika I-57). Osim toga, zone ovakve podložnosti zastupljene su i na strmijim padinama središnjeg otočnog grebena, prema vrhovima Mali i Veliki Berčastac. Kako osim jaruge iznad uvale Saščica nije tijekom terenskih istraživanja zabilježena pojava drugih većih erozijskih formi, može se pretpostaviti da unutar zona visoke i vrlo visoke podložnosti prevladavaju erozijski procesi većeg prostornog obuhvata i slabijeg erozijskog intenziteta, poput plošne erozije.

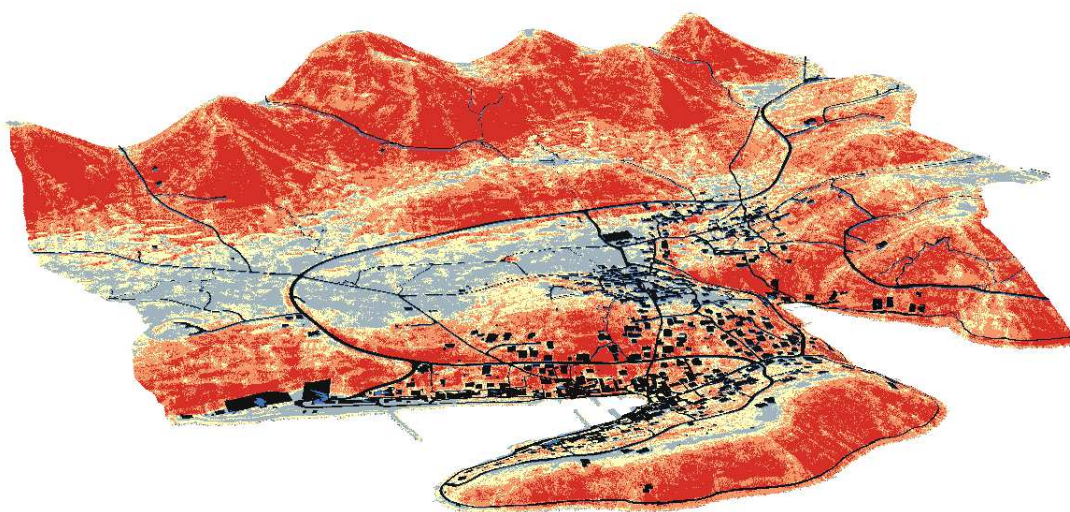
Zona srednje podložnosti eroziji tla obuhvaća oko 18 % ukupne površine drenažnog bazena uvala Sali i Saščica, dok na zone niske i vrlo niske podložnosti otpada 13.53 %, odnosno 6.85 % ukupne površine.



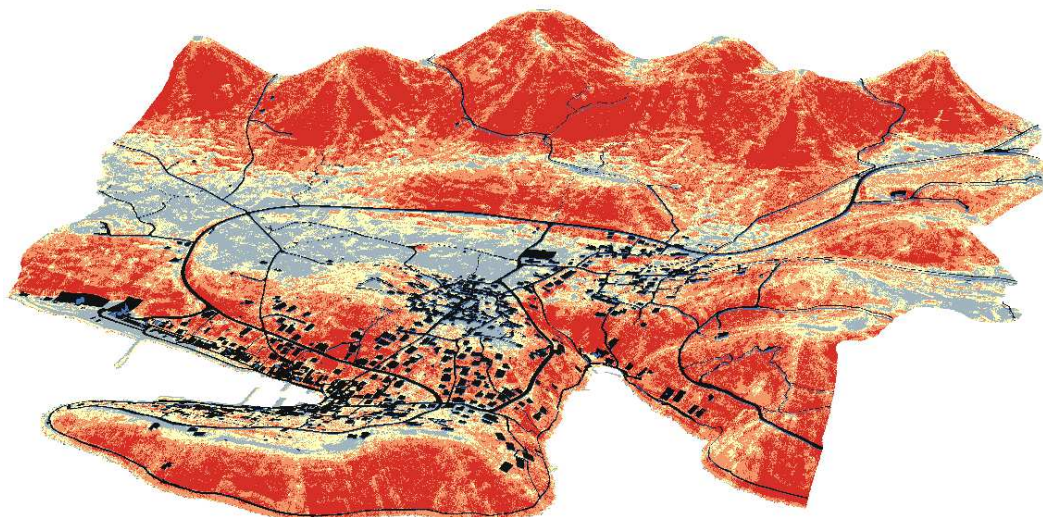
Slika I-57. Izrađeni model podložnosti eroziji tla šireg prostora naselja Sali

Iz 3D prikaza izrađenog modela podložnosti eroziji tla (Slika I-58-59) može se dodatno potvrditi da se većina zona najveće podložnosti eroziji tla nalazi na padinama uvala Sali i Saščica te strmijim obroncima središnjeg otočnog grebena. Također, vidljivo je i da se zone najmanje podložnosti eroziji tla nalaze pretežito na prostoru zaravnjenog Saljskog polja.

Iako ovaj zaravnjeni prostor svojim morfološkim karakteristikama ne pogoduje pojavi erozije tla, on ipak ima važnu hidrološku funkciju akumuliranja kritične količine vode koja daljnjim otjecanjem uzrokuje pojavu erozije tla.



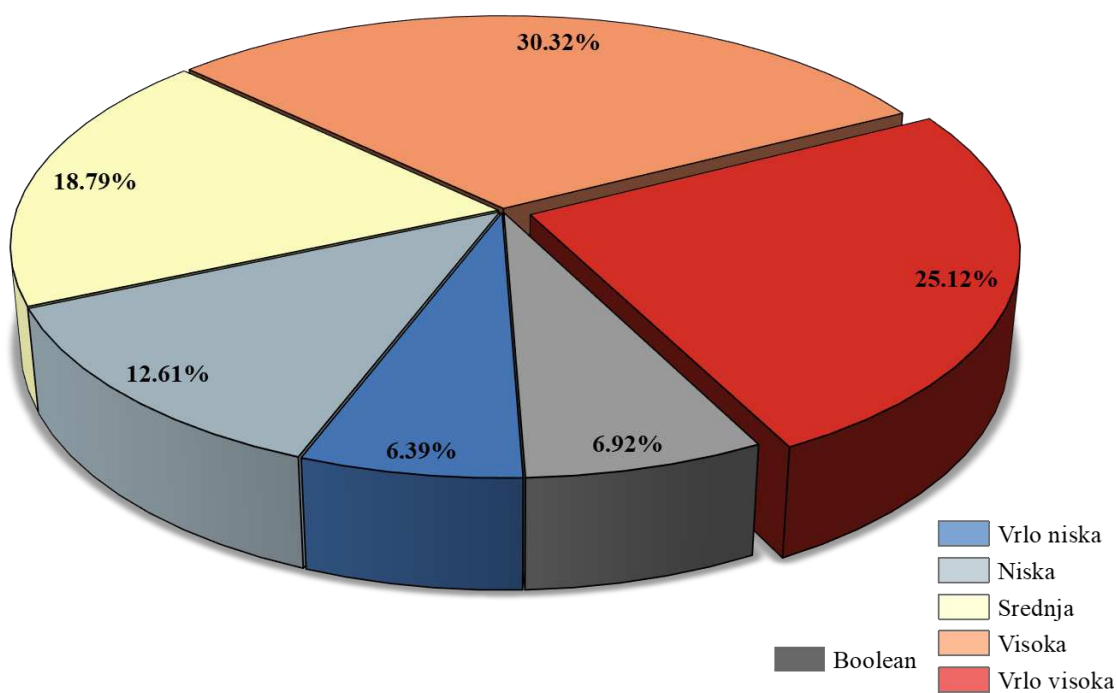
Slika I-58. 3D prikaz modela podložnosti eroziji tla



Slika I-59. 3D prikaz modela podložnosti eroziji tla

Tablica I-22. Zastupljenost pojedinih klasa podložnosti eroziji tla

ID	Podložnost	Površina (km ²)	Udio (%)
1	<i>Vrlo niska</i>	0.16	6.85
2	<i>Niska</i>	0.32	13.53
3	<i>Srednja</i>	0.48	20.16
4	<i>Visoka</i>	0.77	32.52
5	<i>Vrlo visoka</i>	0.64	26.94
6	<i>Boolean</i>	0.17	6.92
UKUPNO		2.53	100



Slika I-60. Grafički prikaz udjela pojedinih klasa podložnosti eroziji tla

Potencijalne mjere za ograničavanje daljnjih negativnih posljedica erozije tla

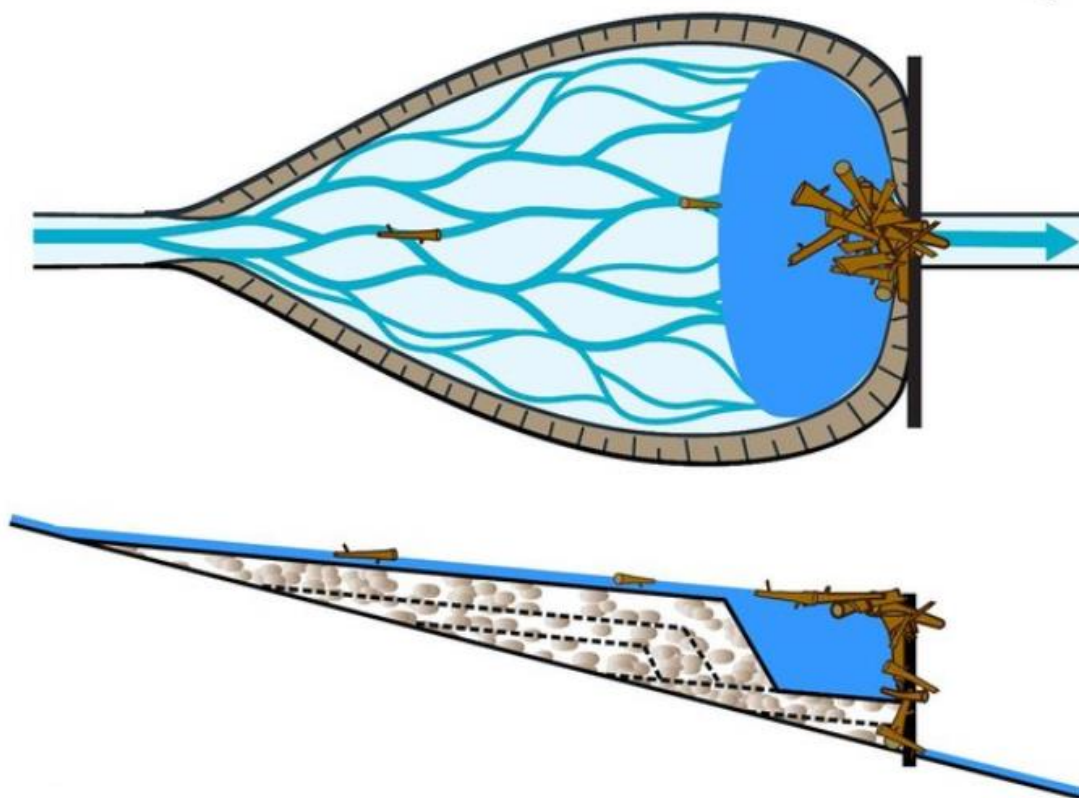
Potencijalne mjere za ograničavanje daljnjih negativnih posljedica erozije tla predložene su na primjeru jaruge iznad uvale Saščica. Navedena jaruga se pokazala i terenskim istraživanjima i izrađenim modelom kao potencijalni ključni izvorom onečišćenja uvale erodiranim sedimentom i bujičnim prirodnim i antropogenim materijalom. Zbog toga se u dnu jaruge predlaže izgradnja erozijske brane za prikupljanje erodiranog sedimenta i bujičnog antropogenog i prirodnog materijala (Slika I-61-62).



Slika I-61. Primjer erozijske brane izgrađene od gabion ograde u dnu jaruge

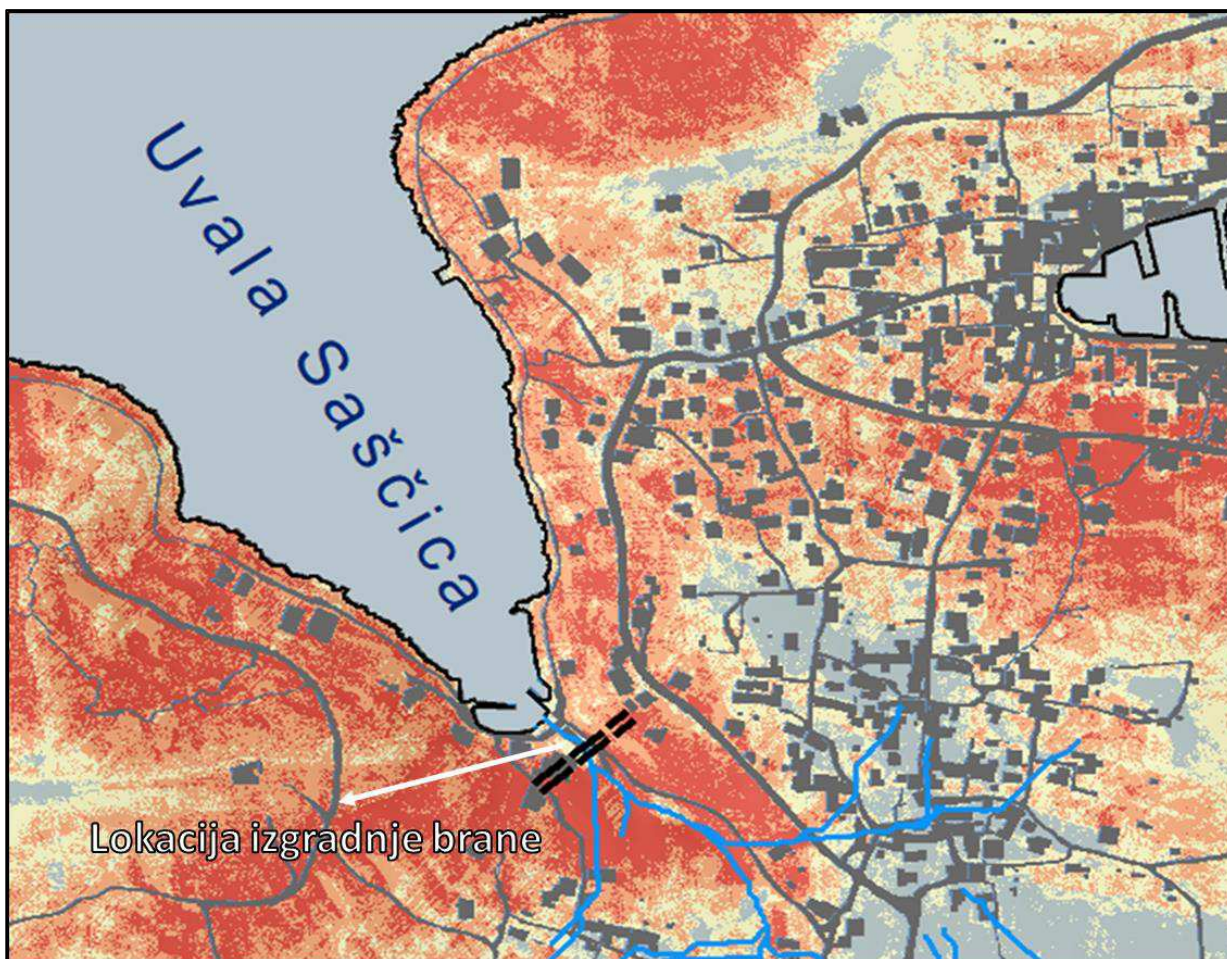
Erozijska brana je jednostavna konstrukcija koja predstavlja fiksnu pregradu izgrađenu od drveta, vreća s pijeskom, gabion ograda, rastresitih stijena ili betona preko glavnog kanala jaruge ili vodotoka, čija je osnovna uloga usporavanje površinskog otjecanja, podizanje podzemne vodnog lica i smanjenje hidrološke povezanosti i erodiranje te prijenosa sedimenata. Erozijske brane uspješno se primjenjuju u brojnim područjima zahvaćenim intenzivnom erozijom tla, a uspješno umanjuju i negativne učinke bujičnih tokova. Iako postoje različiti tipovi erozijskih brana, većina brana onemogućava ili umanjuje

protok transportiranog sedimenta i materijala, dok omogućava nesmetano otjecanje vode. Za razliku od klasičnih brana, erozijske brane omogućavaju vodi nesmetano protjecanje, time umanjujući mogućnost akumulacije većih količina vode i poplavlivanja područja iznad brane.



Slika I-62. Shematski prikaz primjera brane za prikupljanje erodiranog sedimenta i bujičnog antropogenog i prirodnog materijal

Izgradnjom erozijske brane u dnu jaruge iznad uvale Saščica spriječio bi se daljnje odnošenje erodiranog sedimenta, ali i svog smeća prilikom budućih većih oborinskih događaja. Predložena lokacija izgradnje erozijske brane vidljiva je na slici I-63.



Slika I-63. Potencijalna lokacija za izgradnju erozijske brane za prikupljanje oslobođenog sedimenta i bujičnog materijala (smeća)

5. Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora

Uvod

Onečišćenje mora priobalnog pojasa ali i otvorenog mora je svakodnevna pojava. More se onečišćuje stalno i povremeno. Stalni izvori onečišćenja su podmorski ispusti gradova i onečišćenja s brodova. Povremeni izvori onečišćenja predstavljaju vremenske neprilike kada se iz poljoprivrednog i drugog priobalnog područja sliva u more ogromna količina kako hranjivih tako i toksičnih tvari. Dok se o izljevima toksičnih tvari zna manje, izljevi hranjivih tvari su bolje dokumentirani te se zna da uzrokuju eutrofikaciju. Najpoznatiji primjeri u Jadranu su gornji Jadran, Riječki zaljev, Šibenski zaljev, Kaštelanski zaljev i Malostonski Zaljev. U gornji Jadran se slijevaju vode poljoprivrednog zemljišta i farmi uzgoja životinja u padskoj nizini. Te hranjive tvari sadrže značajno više koncentracije dušika i fosfora te uzrokuju eutrofikaciju gornjeg Jadrana osobito kada se intenzivnom kišom spere poljoprivredno zemljište od unešenih gnojiva. Stalni izvori onečišćenja su uglavnom poznati i o njima se vodi briga koliko je to moguće.

Iznenadna onečišćenja mora se također događaju samo što vrijeme njihove pojave nije poznato. Međutim šteta može biti višestruko veća. Stoga je potrebno izračunati rizik od nastupa iznenadnog onečišćenja mora i unaprijed investirati u opremu i ljudske resurse kako bi se brzo moglo djelovati čim se onečišćenje može predvidjeti ili kada nastupi.

Cilj procjene rizika

Cilj procjene rizika od iznenadnih onečišćenja mora uvale Sali je prepoznati te procijeniti vjerojatnost i štetu od mogućih iznenadnih onečišćenja mora. Svrha procjene je dati osnovu za pripremu infrastrukture i ljudskih potencijala na vrijeme kako bi, kada iznenadno onečišćenje nastane, sanacija gdje je to moguće i suglasno NRT bila brza i efikasna a konačna šteta što je moguće manja.

Procjena rizika uključuje informacije o:

- brodskim plovidbenim putevima;
- navigacijskim obilježjima i zahtjevima;
- pomorskim nezgodama;
- nezgodama na kopnu koje mogu rezultirati u onečišćenju mora;
- reljefu slivnog područja uvale;
- hidrometeorološkim prilikama;
- karakteristikama i količinama onečišćujućih tvari koje će se iznenadnim onečišćenjem emitirati u more.

Principi upravljanja rizicima su prepoznati kao integralni dio pozitivne prakse poslovnog upravljanja neočekivanim procesima i akcidentima. Upravljanje rizikom je interaktivan proces koji omogućava lakše donošenje odluka uz nadopunu procjene gdje se rizik može pojaviti i koji je njegov mogući sveukupan utjecaj na more. Principi upravljanja rizicima su prihvaćeni u mnogim organizacijama koje upravljaju pružanjem pomoći u katastrofama i žurnim intervencijama.

Procjena rizika od iznenadnih onečišćenja mora podupire pripravnost na intervenciju i planiranje intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora.

Procjena rizika je jedan od koraka u upravljanju rizicima pojedinih neželjenih a iznenadnih procesa bilo da su oni prirodni ili uvjetovani čovjekovim aktivnostima. Ova je procjena rizika usmjerena na moguće opasnosti, vjerojatnost da se one dogode, njihov značaj i odluke o intervencijama koje valja poduzeti da bi se preventivno djelovalo i umanjilo rizike do prihvatljivih razmjera uzimajući u obzir troškove preventive i interventnih strategija u sklopu NRT.

Upravljanje incidentima u morskome okolišu uključuje osnovne principe upravljanja rizikom. Posebno strukturiran način kojim se povezuju prevencija, pripravnost, intervencija i sanacija u zajedničku strategiju koja omogućava učinkovito upravljanje te usmjerava resurse i strategije na one elemente koji će imati najveći utjecaj na smanjenje rizika.

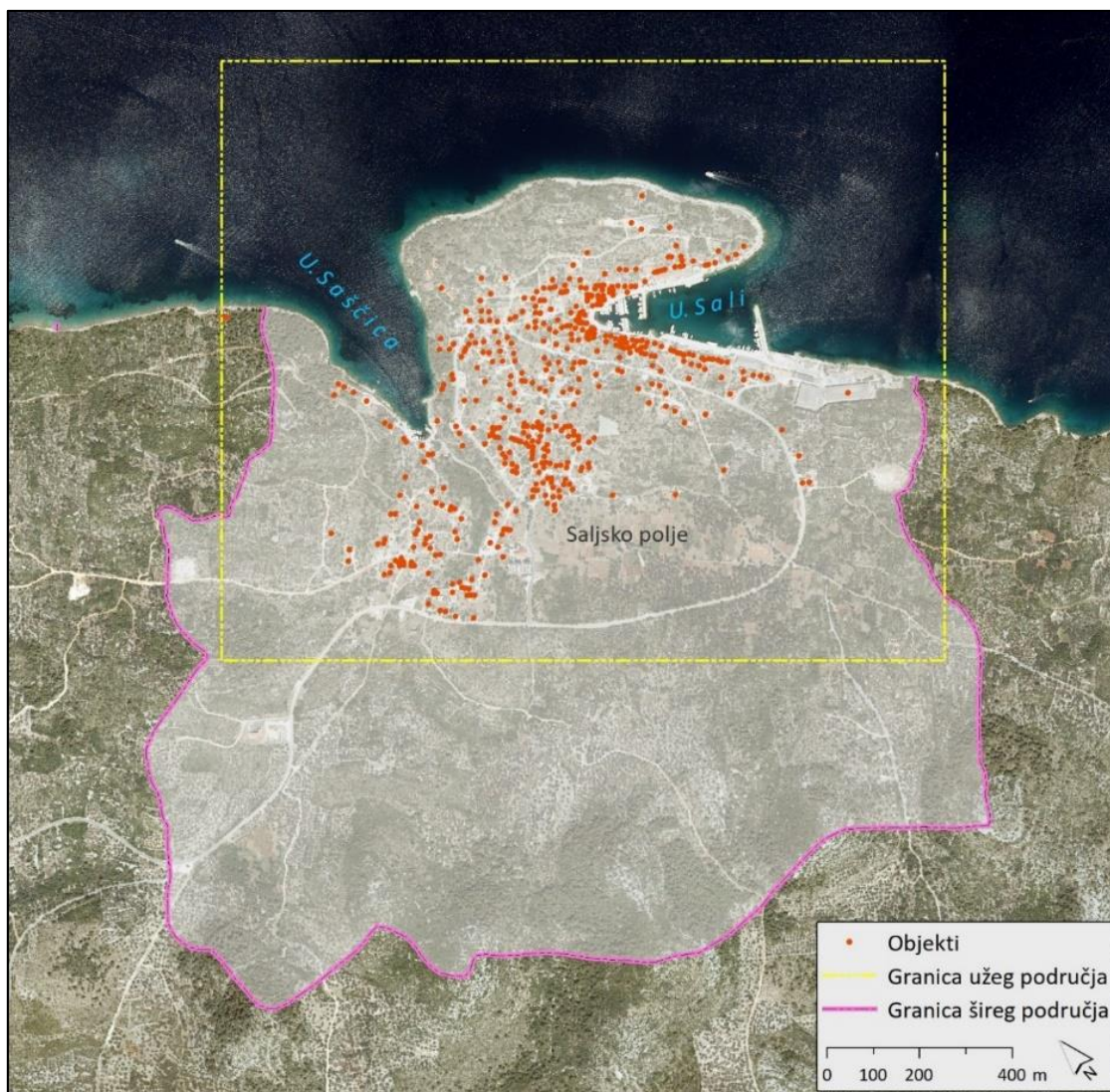
Procjena rizika od iznenadnih onečišćenja mora treba pomoći planiraju poboljšanja u organizaciji i interventnim resursima (ljudskim i materijalnim) na području uvale Sali te čini integralni dio plana intervencije Zadarske županije.

Vremenski obuhvat

Ova procjena rizika od iznenadnih onečišćenja mora vrijedi do trenutka kad se u uvali Sali sagradi infrastruktura koja može imati značajan utjecaja na barem jedan od elemenata rizika kao što su: značajna izmjena prostornih planova, izgradnja objekata podgradnje, nadgradnje na kopnu i moru ili porast gospodarske aktivnosti. U tom slučaju nije potrebno napisati novi dokument već revidirati postojeći elementom rizika koji je promijenjen. Ipak, svaka buduća revizija temeljena na podacima koji nisu uzeti u obzir u ovoj procjeni, novim podacima, znanstvenim dostignućima ili tehnološkim rješenjima je dobrodošla. Osim toga, dokument je podložan dvogodišnjoj provjeri Jedinstvenog upravnog odjela Općine Sali“.

Prostorni obuhvat

Projekt obuhvaća luku Sali s pripadajućim morskim i priobalnim slivnim područjem (Slika I-64). Zemljopisni smještaj luke je određen dužinom: 15°09'59.0"E i širinom: 43°56'13.6"N. Uvala je smještena u Zadarskoj županiji, općina Sali. Lukom upravlja Županijska lučka uprava Zadarske županije. Sukladno Zakonu o lučkim kapetanijama za obavljanje poslova sigurnosti plovidbe i nadzora pomorskog dobra nadležna je lučka kapetanija Zadar s ispostavom u luci Sali.



Slika I-64. Satelitska slika uvale Sali s naznakom slivnog područja.

Konvencije, protokoli, zakoni, uredbе, pravilnici i naredbe

Međunarodne konvencije i protokoli

United Nations Convention on Law of the Sea 1982 (UNCLOS) je najkompleksnija konvencija do sada napisana o moru. Konvencija utvrđuje obaveze obalnih država u zaštiti i očuvanju morskog okoliša. Konvencija također definira utjecaje i uvjete pod kojima obalne države mogu poduzimati zaštitne mjere. Ti utjecaji se razlikuju u pojedinim morskim područjima unutar kojih se poduzimaju zaštitne aktivnosti (npr. teritorijalno more i zaštićeni gospodarski pojas)

International Convention on Oil Pollution Preparedness Response and Cooperation (OPRC 90) - Cilj OPRC konvencije je poboljšati stupanj pripravnosti na intervenciju kod iznenadnih onečišćenja mora te omogućiti međunarodnu suradnju i zajedničku pomoć susjednih država za intervenciju kod velikih onečišćenja morskog okoliša. Konvencija precizira i utvrđuje obaveze država potpisnica u kreiranju i održavanju međusobnih interventnih sporazuma.

Konvencija između ostalog utvrđuje i odredbe za:

- planove intervencija za brodove, naftne platforme i luke;
- izvještaje i procedure obavještavanja;
- uspostavu nacionalnih i regionalnih sustava pripravnosti i intervencije;
- olakšavanje za međunarodnu suradnju i međusobnu pomoć;
- izmjenu informacija;
- promociju istraživanja i razvoja; i
- tehničku suradnju, uvježbavanje i edukaciju.

International Convention for the Prevention of Pollution by Ships 1973 and 1978 Protocol (MARPOL) - konvencija predstavlja najopsežniju međunarodna inicijativa s ciljem smanjenja onečišćenja mora. Konvencija utvrđuje standarde za ispuštanje pet vrsti onečišćujućih tvari: ugljikovodike, štetne tekućine, opasne tvari u pakiranim proizvodima, otpadne vode i otpad. Ona također određuje zahtjeve u cilju umanjavanja rizika od iznenadnih onečišćenja mora koja se mogu dogoditi s brodova te postavlja zahtjeve za upravljanjem otpadom na brodu. Posebno važan element konvencije je koncept „posebnih područja“ kroz kojeg su pojedina morska područja prepoznata kao područja od visoke ekološke važnosti. Posebna područja omogućavaju obalnim državama da primjenjuju najstriktnije uvjete plovidbe tim područjima.

International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) - konvencija propisuje standarde i osigurava odgovarajuće odredbe sigurnosti brodova i njihovih posada. Također predviđa zahtjeve za konstrukciju i opremu brodova te navigacijske postupke. Promjene u konstrukciji i opremi broda u cilju poboljšanja sigurnosti donose se uz suglasnost Međunarodne pomorske organizacije (IMO). Prosječna starost svjetske flote brodova je 19 godina.

Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (COLREGS) - konvencija propisuje zahtjeve u navigaciji i sigurnom upravljanju svim vrstama brodova kao i zahtjeve za izbjegavanje sudara na moru.

Državna zakonska regulativa

Pri izradi procjene rizika od onečišćenja mora korištene su međunarodne konvencije i nacionalna zakonska regulativa među kojima su:

- Zakonu o zaštiti okoliša (NN, 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18)
- Pomorskom zakonik (NN, 181/04, 76/07, 146/08, 61/11, 56/13, 26/15, 17/19)
- Plan intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora (NN, 92/08)
- Pravilnik o uvjetima i načinu održavanja straže, te obavljanju drugih poslova na brodu kojima se osigurava sigurna plovidba i zaštita mora od onečišćenja (NN, 125/05),
- Pravilnik o mjestima zakloništa (NN, 03/08).
- Pravilnik o izbjegavanju sudara na moru (NN, 17/96),
- Naredba o plovidbi teritorijalnim morem i unutrašnjim morskim vodama RH (NN, 105/97),
 - Pravilnik o uvjetima i načinu održavanja reda u lukama i na ostalim dijelovima unutarnjih morskih voda i teritorijalnog mora Republike Hrvatske (NN, 90/05),
- Pravilnik o rukovanju opasnim tvarima, uvjetima i načinu obavljanja prijevoza u pomorskom prometu, ukrcavanja i iskrcavanja opasnih tvari, rasutog i ostalog tereta u lukama, te načinu sprječavanja širenja isteklih ulja u lukama (NN, 51/05),
- Pravilnik o načinu obavljanja prijevoza opasnih tvari u pomorskom prometu (NN, 76/02),
- Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o načinu obavljanja prijevoza opasnih tvari u pomorskom prometu (NN, 76/02),
- Pravilnik o zaštiti morskog okoliša u zaštićenom ekološko-ribolovnom pojasu RH (NN,47/08).

Regulativa Zadarske županije

- Plan intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora u Zadarskoj županiji, 2010.
- Procjenu ugroženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara te okoliša od katastrofa i velikih nesreća zadarska županija, 2015.
- Program zaštite okoliša Zadarske županije. OIKON, Zagreb, 2014.
- Rješenje o imenovanju zapovjednika, zamjenika zapovjednika, članova i zamjenika članova Operativnog centra Zadarske županije za provedbu Plana intervencija kod iznenadnog onečišćenja mora u Zadarskoj županiji, Zadar, 22.prosinca 2015.

Regulativa općine Sali

- Strategija ukupnog razvoja Općine Sali 2016-2020, Sali, 2016.
- Procjena rizika od velikih nesreća za općinu Sali, 2018, 115 str.
- Izmjene i dopune prostornog plana unapređenja općine Sali, 2007

Meteorološka i oceanografska obilježja

Tlak zraka i vjetar

Ljetna razdioba srednjeg tlaka zraka nad Jadranom pod utjecajem je jake azorske anticiklone. Opadanje tlaka zraka od zapadnog prema istočnom Mediteranu uzrokuje pojavu etezijskog vjetra ili maestrala, koji na otvorenom dijelu Jadrana najčešće puše u periodu od lipnja do rujna.

Za vrijeme jesensko-zimskog perioda azorska anticiklona se povlači prema jugu, pa se stoga područje Jadrana nalazi na putanjama atlantskih ciklona (odnosno područja niskog tlaka), koje uzrokuju jake vjetrove. Zavisno od razdiobe glavnih baričkih sustava moguće je produbljivanje i zadržavanje ciklone nad južnim Jadranom, kada na njezinoj stražnjoj strani može puhati olujna i orkanska bura i nekoliko dana (tzv. ciklonalna ili mračna bura), uz pojavu vrlo hladnog vremena.

U zimskom razdoblju uobičajena je pojava stabilne anticiklonalne situacije, najčešće kao posljedica jačanja grebena azorske anticiklone nad područjem Mediterana. Tada je vrijeme na Jadranu tiho ili malo vjetrovito, često s jutarnjom sumaglicom ili maglom na gotovo cijelom Jadranu. Osim tople azorske anticiklone područje Jadrana često se nalazi i pod utjecajem sibirске anticiklone, koja uzrokuje hladno vrijeme i mraz u obalnom području. Sibirska anticiklona se najčešće javlja u kombinaciji s ciklonom nad područjem srednjeg i istočnog Mediterana, uz pojavu tzv. anticiklonalne ili vedre bure koja može potrajati i nekoliko dana.

Atmosferske fronte su područja sučeljavanja hladnog i toplog zraka. Pri dodiru toplog zraka bogatijeg vlagom i hladnijeg suhog zraka, vlaga se kondenzira tvoreći oblačne sustave uz pojavu oborina. Fronte se dijele na tople, hladne i fronte okluzije.

U toploj fronti topliji zrak napreduje te potiskuje hladni zrak. S obzirom na to da je topliji zrak lakši od hladnijeg, on se nalazi iznad hladnijeg pod blagim kutom. Stoga je područje protezanja fronte prilično široko, a oborine koje uzrokuje su slabijeg do umjerenog intenziteta i zahvaćaju veću površinu.

U hladnoj fronti hladni zrak napreduje te potiskuje topli zrak. Hladna fronta može, kao i topla, zahvatiti veće područje te uzrokovati umjerene oborine. Ako je prodor hladnog zraka vrlo nagao, fronta zahvaća manje područje, a oborine su jakog intenziteta uz pojavu oblaka visokog razvoja (kumulo-nimbusi) i s njima povezanih olujnih lokalnih vjetrova.

Fronta okluzije nastaje spajanjem hladne i tople fronte. Zavisno od intenziteta tople i hladne fronte, fronta okluzije može uzrokovati pojavu slabih do umjerenih oborina i vjetrova, te pojavu lokalnih neverina. Fronta okluzije slabi s vremenom, te iščezava.

Najčešći vjetrovi na Jadranu su bura (iz smjera NNE do ENE), jugo (ESE do SSE) i maestral (WNW do NW). Osim njih pušu i vjetrovi iz smjerova S (oštro), SW (lebić, garbin), W (pulenat), N do NW (tramontana), E (levanat), te vjetrovi obalne cirkulacije (burin ili kopnenjak i zmorac). Utjecaj obalnih masiva modificira smjer i jačinu puhanja vjetra u obalnom području.

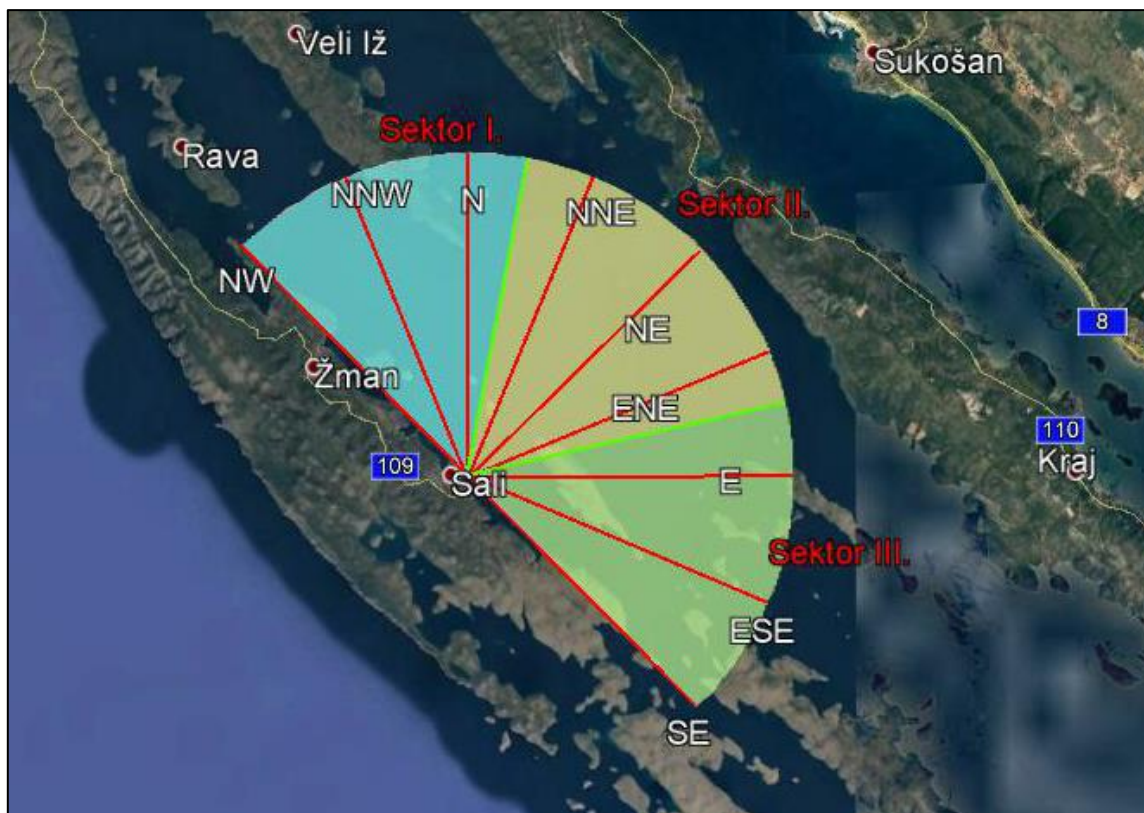
U jesenskom i zimskom razdoblju najčešći vjetar u južnom Jadranu je jugo, a u sjevernom bura. Učestala je i pojava tramontane, naročito nad otvorenim morem, a lebić i lebićada se javljaju pri prolasku frontalnih sustava, i to češće u sjevernom nego u južnom Jadranu. Ljeti najčešće puše maestral, a pojava juga i bure je znatno rjeđa nego u zimskom razdoblju.

Vjetar jačine 6 bofora ili više puše uz obalu uglavnom 25 do 40 dana godišnje, no na izloženim mjestima može puhati i preko 100 dana u godini. Olujni vjetar (jačine 8 bofora ili više) puše rjeđe, obično od 2 do 10 dana u godini. Najčešće se javlja u obalnom području kao bura a rjeđe kao jugo, naročito u južnom Jadranu.

Najveća učestalost vjetra jačine veće od 8 Bofora očekuju se tijekom zime (9 dana). U proljeće i ljeto učestalost vjetra jačeg od 8 Bofora je 4 odnosno 5 dana. Učestalost tišine tijekom godine je u rasponu od 10% u proljeće do 13% u jesen.

Promatrajući smjer vjetra tijekom godine uočavaju se znatne razlike u pojedinim godišnjim dobima. Tijekom proljeća najveću učestalost imaju vjetrovi iz jugoistočnog i istočnog smjera, dok su vjetrovi iz zapadnog i sjeverozapadnog smjera znatno manje učestali. U ljetnom periodu najučestaliji vjetar je iz zapadnog smjera, dok vjetrovi iz sjeverozapadnog i istočnog smjera imaju podjednaku učestalost. Tijekom jeseni i zime najveću učestalost imaju vjetrovi iz istočnog i jugoistočnog smjera.

Na širem području uvale Sali najčešće pušu vjetrovi iz sjevernog kvadranta, a među njima se po učestalosti ističe bura koja je osobito česta i jaka tijekom hladnijeg dijela godine. Suprotno tome, tijekom ljetnih mjeseci tipičan vjetar na ovom području je maestral. Najjači su vjetrovi iz južnog kvadranta, osobito jugo. Na cijelom području se uočava mali broj dana s jakim i olujnim vjetrom. Oni su najčešći zimi, a među njima se ističu jugo (prosječno 2,4 Beauforta), a zatim bura (1,9 Beauforta). Broj dana s vjetrom jačim od 6 Beauforta iznosi 19 godišnje, a jačim od 8 Beauforta 5 dana godišnje.



Slika I-65. Izloženost uvale Sali vjetrovima (Izvor: GoogleEarth)

Temperatura zraka

Prostor Dugog otoka pripada eumediteranskoj klimi, koju obilježavaju duga i topla ljeta i blage zime. Godišnji hod temperature zraka ukazuje na izrazita maritimna svojstva. Prosječne temperature u siječnju su 6,4 i 7,1 °C odnosno u srpnju 24,1 °C, s relativno malim godišnjim amplitudama (17,7 i 17,0 °C). Temperaturni ekstremi su u srpnju 35,2 °C a u siječnju -9,6°C. U prosjeku, 12 dana godišnje temperatura se podigne iznad 30°C.

Oborine

Prosječno, relativna vlaga zraka tijekom godine iznosi 73%. U području uvale Sali naoblaka je rijetka te u cijeloj godini ima trostruko više vedrih nego oblačnih dana. Zanimljivo je što gotovo svakog oblačnog dana pada kiša. Prosječna količina padalina je oko 830 mm godišnje što ukazuje na semiaridnost prostora koju znatno ublažava nešto povišenija, relativna vlažnost zraka. Zimi ima najviše kiše. Tako je u studenom u prosjeku zabilježeno 110 mm. U ožujku prosječno padne 81 mm a ljeti imamo minimum od 31 mm u kolovožu.

Magla

Nad Jadranom magla je češća pojava na sjevernom nego na srednjem i južnom dijelu a najčešće se pojavljuje u zimskom razdoblju.

Najveća učestalost u području uvale Sali očekuje se u siječnju kada ima i do 5 dana s maglom. U ostalim mjesecima se magla javlja u prosjeku do 1 do 2 dana mjesečno. Prosječno se magla pojavljuje 18 dana tijekom godine.

Obala

Ovala uvale Sali i uvale Sašćica se proteže u duljini od 3 129 m. Morski pojas ovog projekta proteže se od obale do dubine od 70 m. U dijelu gdje nije izgrađena, obala je klifastoga tipa s grižinama najrazličitijih oblika žljebova, škrapa i kamenica do udaljenosti oko 4 – 5 metara od mora, gdje počinje raslinje bora i makije.

Oko poluotoka Bluda uz more od uvale Sali do uvale Sašćica proteže se makadamska pješačka staza. Ispod hotela Sali izgrađen je ispust fekalne odvodnje u more prirodnom padom na poziciji $\phi = 43^{\circ}56'28.151''N$ $\lambda = 15^{\circ}09'44.555''E$. Ispust je dužine od 15 do 200 m a otpadna voda se ispušta na dubini od 30 m. Ispust nije označen znakom zabranjenog sidrenja.

Na rtu Bluda izgrađen je svjetionik i crpna stanica fekalnih voda s cjevovodom duljine 500 m. Otpadna voda se ispušta na dubini 70 m. Ispust je označen znakom zabrane sidrenja.

Na mjestima koja su predviđena za kupalište između stijena izgrađene su manje kamene platforme, i stepenice do mora. U uvali Sašćica, (sjeverozapadno od luke Sali) formirana je šljunkovita plaža s izgrađenom obalom, molom i lukobranom. Za vrijeme SE vjetrova mali brodovi trebaju sidriti u uvali Sašćica.

Uvala luke Sali smještena je u prirodnoj uvali u smjeru SE -NW duljine oko 0,22NM, maksimalne širine na ulazu u uvalu 0,11 NM i maksimalne dubine od 70 m. Sa sjeverne strane zaštićena je poluotokom Bluda, a s južne strane kopnom Dugog otoka. Otvorena je prema jugoistoku i ulaz u luku štiti kameni lukobran (molo) duljine oko 104 m i visine oko 1 m, koji ujedno služi za privez brodica s nutarnje strane. Lukobran je s vanjske strane zaštićen kamenometom. Ulaz u luku širine je oko 90 m i označen je sukladno IALA sustavu (zona A) lateralne oznake: na rtu Bluda četverokutnom kamenom kulom sa svjetlom i zelenim bljeskovima, a na glavi vanjskog lukobrana crvenom kulom sa stupom. galerijom i sa svjetlom crvenih bljeskovima. Obzirom na opisane fizičke karakteristike, luku Sali možemo razvrstati u obalnu luku zaštićenu valobranom.

Osim dijela obale poluotoka Buda u duljini oko 90 m gdje je neizgrađena obala uz par manjih mulića, obala u uvali građena je od kamena. Unutar luke izgrađena su dva manja lukobrana, jedan sa sjeverne

strane uvale duljine 54 m, a drugi s južne duljine 27 m koji u potpunosti zatvaraju i štite komunalnu lučicu. S vanjske strane lukobran je zaštićen kamenometom dok se unutarnja strana lukobrana koristi za privez plovila. U dnu uvale je istezalište za plovila i manja pješčana plaža. Na istezalištu i obližnjim površinama, kao i na lukobranima obavljaju se bojanja brodice lokalnog stanovništva.

Peljar Jadranskoga mora navodi da „bura i jugo mogu puhati olujnom jačinom uzrokujući valovito more, međutim, unutrašnjost luke je zaštićena od svih vjetrova. Mali brodovi sidre u vanjskom dijelu luke, iako je taj dio izložen valovima bure te E i SE vjetrovima. Na vezu s unutrašnje strane vanjskog lukobrana brodovi su zaštićeni od svih vjetrova, a uz ozidanu obalu u NE dijelu luk, djelomično su izloženi valovima juga.“

Nasuprot uvale i luke Sali na udaljenosti 1,1 NM nalazi se otok Lavdara, čineći s Dugim otokom Lavdarski kanal kojim se preporučuje plovidba naročito za vrijeme jakog juga, a kao zaklonište za manje brodove preporučuje se Sali.

Izvan uvale i dijela luke ograđenog lukobranom, te izvan nadležnosti Županijske lučke uprave Zadar, nalazi se tvornica ribljih konzervi „Mardešić d.o.o“. Ispred tvornice je izgrađena betonska obala nastavljena na korijen lukobrana s mogućnosti istovremenog priveza 2 do 3 ribarska broda duljine oko 15 m. Dubina veza uz obalu je 2,7 m. Status pristaništa ispred tvornice nije riješen. Luka Sali je otvorena luka za javni promet lokalnog značaja čije je područje utvrđeno Odlukom o izmjenama i dopunama Odluke o osnivanju lučke uprave za luke županijskog i lokalnog značaja klasa: 342-21/03-01/98, ur. broj: 2198/1-02-15-46 od 22. svibnja 2015. godine. Prema kategorizaciji djelatnosti Prostornih planova Zadarske županije luka Sali svrstana je u ribarsku luku. Luka Sali ima dva operativna dijela luke, prvi dio dužine 40 m, a drugi dio dužine 50 m. Na kraćem, operativnom dijelu luke, smješten je granični prijelaz, dok se na operativnom dijelu luke na lukobranu tijekom sezone privezuju brodovi za obalna kružna putovanja Jadranom. Zbog nedostatka vezova za ovaj tip brodova, uobičajena je praksa da se privezuju bokom uz bok do 5 brodova ovisno o vremenskim uvjetima i veličini brodova.

Luka Sali ima nautički dio luke u koncesiji poduzeća Mulić d.o.o., za usluge u nautičkom turizmu čiji je osnivač jedinica lokalne samouprave Općina Sali. Nautički dio luke u koncesiji sastoji se od dva koncesijska polja duljine 265 m na južnoj obali uvale i drugo na sjeverno obali duljine 80 m. Ostali dio luke Sali smješten u dnu uvale namijenjen je za komunalni vez lokalnog stanovništva. Poduzeće Mulić d.o.o. bavi se slijedećim djelatnostima: usluge u nautičkom turizmu, sakupljanje i odvoz komunalnog otpada, održavanje javne rasvjete, održavanje javnih površina, održavanje nerazvrstanih cesta.

Luka je okružena stambenim kućama, s poslovnim objektima u prizemlju od čega su dijelom ugostiteljski objekti odnosno restorani. Restorani nisu opremljeni mastolovima, a na obali se nalazi kontejner za otpadno ulje.

Valovi

Sukladno čestini i intenzitetu puhanja vjetra, na ulazu u uvalu Sali se mogu javiti sljedeće značajne visine valova (Hs – prosjek od 1/3 najviših visina valova): Primjećuje se najveća učestalost valova iz smjera III ali su te visine značajno niže nego iz smjera I.

Tablica I-23 Procijenjena visina vala iz različitih smjerova puhanja vjetra.

Sektor (smjer)	Jačina vjetra Bf (m/s)	5 (8-10,7)	6 (10,8-13,8)	7 (13,9-17,1)	8 (17,2-20,7)	9 (20,8-24,4)
I (NW, NNW, N)	Privjetrište (km)	12,6				
	Učestalost	129	15	2	1	
	Hs (m)	0,87	1,15	1,5	1,85	
II (NNE, NE, ENE)	Privjetrište	8,8				
	Učestalost	191	5	4	2	
	Hs (m)	0,75	1		1,7	
III (E, ESE, SE)	Privjetrište	5,8				
	Učestalost	1573	755	127	12	1
	Hs (m)	0,65	0,9	1,1	1,4	1,8

Morske struje

Morske struje mjerene su u razdoblju od 15. studenog 2016. do 18. prosinca 2016 (ZI, 2017). Maksimalna brzina struje na 5 metara dubine iznosi 39,6 cm/s (0,76 čv), prosječna 15,5 cm/s (0,30 čv), a minimalna 0,2 cm/s (0,04 čv). Smjer rezultantnog vektora struje je 261,7°. Faktor stabilnosti je 58,2% što je uzrokovano dugotrajnim puhanje juga u razdoblju mjerenja indicirajući vjetar kao dominirajući utjecajni čimbenik smjera i brzine struje, kao i geomorfoloških karakteristika koje usmjeravaju struju u smjeru kanala jugoistok – sjeverozapad.

O strujama induciranim plimotvornom silom navodi se da su one usmjerene u smjeru kanala, a najveći doprinos daju glavna Mjesečeva poludnevna i Mjesečevo-Sunčeva dnevna komponenta“.

U Elaboratu potrebe izgradnje lukobrana u luci Sali (ZS, 2018) navodi se da su površinske struje ljeti slabije, prosječno 7,0 cm/sec (0,14 čv), a zimi jače, prosječno 12,0 cm/sec (0,23 čv). Dominirajući smjer morskih struja je iz smjera SE (315°).

Na temelju mjerenja površinskih struja u priobalnom području proizlazi:

- glavni smjer struje tijekom godine je uzduž kanala u smjeru NW;
- najveće brzine posljedica su vjetrova koji pušu iz južnog smjera (zima, proljeće, jesen);

- u ljetnim mjesecima brzina struje je manja i može poprimiti suprotan smjer uzduž kanala (SE) kao rezultat dominirajućeg ljetnog maestrala koji puše iz NW smjera, ali je ograničenog trajanja tijekom dana.

Morske mijene

Morske mijene su periodične oscilacije razine mora, uglavnom uslijed plimotvornog utjecaja Mjeseca i Sunca. Osim astronomskih uvjeta na visinu vode utječe atmosferski tlak: pri visokom tlaku razina mora je niža, a pri niskom tlaku razina mora je viša. Nadalje, dugotrajnim puhanjem vjetra dolazi do potiskivanja vodenih masa u smjeru puhanja. Također, može doći i do kašnjenja vremena nastupa visokih i niskih razina mora.

Mijene Jadranskog mora su mješovitog (poludnevnog i dnevnog) tipa s izrazitom nejednakošću po visini. Ipak, za vrijeme sizigija morske su mijene uglavnom poludnevnog tipa dok su za vrijeme kvadratura jednodnevnog tipa. U prijelaznim fazama mijene su mješovitog tipa. Za vrijeme kvadratura morske mijene nastupaju duž čitavog Jadrana istovremeno, a za sizigija dolazi do kašnjenja koja rastu obrnuto od kazaljka na satu duž jadranske obale.

Amplitude morskih mijena se povećavaju od juga prema sjeveru. Srednje amplitude kreću se od 0,22 m (Bar) do 0,68 m (Trst). U području općine Sali visina mora se mijenja u rasponu od 0,6 m a srednji ekstremni raspon iznosi 0,76 m. Najveći prognoziran raspon je u 2020 g. iznosio 1,04 m. Povećanje tlaka zraka i jaki, dugotrajni sjeverni vjetrovi (bura i tramontana) mogu uzrokovati sniženje razine mora do 0,50 m u srednjem Jadranu. Nasuprot tome jaki i dugotrajni južni vjetrovi (jugo, lebić) mogu uzrokovati porast razine mora do 0,80 m u srednjem Jadranu što može uzrokovati poplavu u luci Sali.

Dinamika visine mora u protekla tri dana te prognoza za slijedeća tri dana se može naći na: <http://www.hhi.hr/tide/index/ZD>

Kakvoća mora

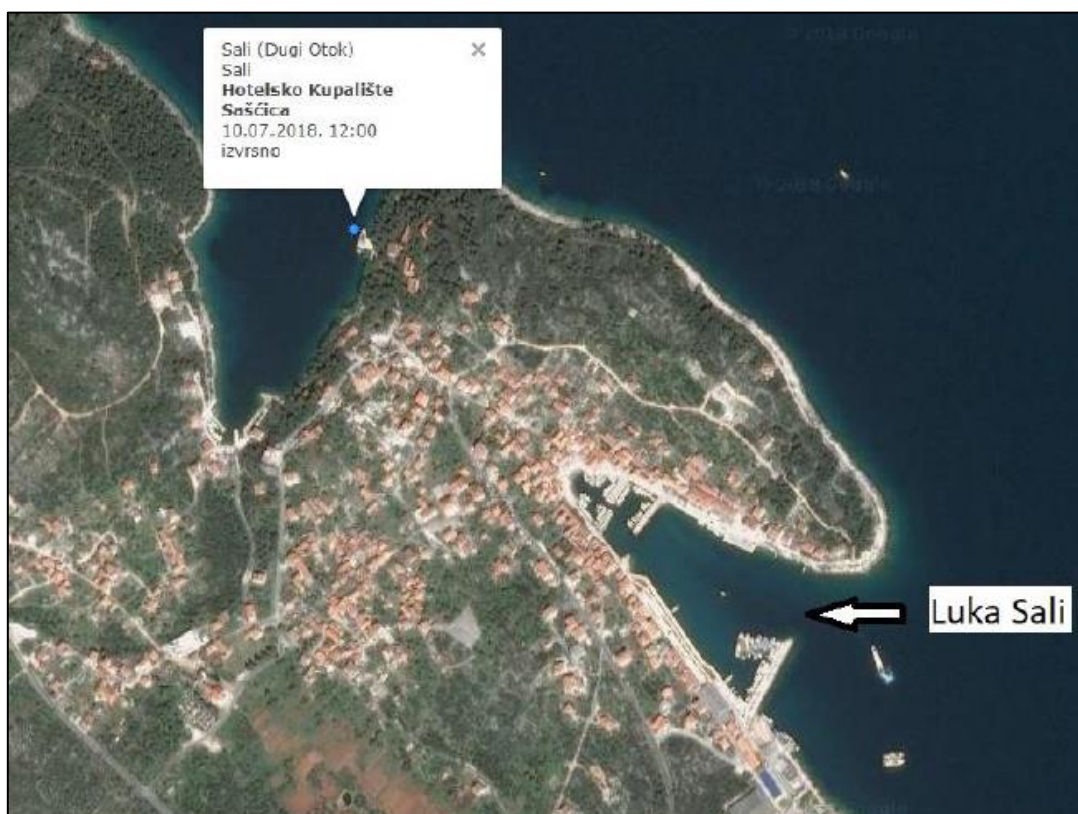
More je jedan od najvažnijih osnovnih resursa za razvoj prometa, turizma, ribolova i marikulture. Kvantitativna ocjena ekološkog stanja površinskog sloja od 0 do 10 m priobalnih voda te otvorenih voda sa stajališta eutrofikacije izražava se kao trofički indeks TRIX. Prema vrijednostima trofičkog indeksa moguće je razlikovati četiri klase ekološkog stanja mora s obzirom na stupanj eutrofikacije (vrlo dobro: oligotrofno; dobro: mezotrofno; umjereno dobro: eutrofno; slabo: ekstremno eutrofno) (OIKON, 2017). Ekološko stanje akvatorija na području Zadarske županije a posebno otvorenog mora uz uvalu Sali može

se ocijeniti najvišim stupnjem, odnosno vrlo dobrom ocjenom, a s obzirom na stupanj eutrofikacije kao oligotrofno.

Položenošću u pravcu E-W, Dugi otok se nalazi unutar izobate od 100.0 m, te po vrstama bentonskih biocenoza spada u biocenoze obalnih terigenih muljeva. Krajnjim zapadnim dijelom s otocima ulazi u biocenoze detričnih dna otvorenog mora.

Obzirom na oligotrofne vode, more ovog prostora predstavlja veoma povoljnu ekološku nišu za razvoj brojnih biljnih i životinjskih vrsta, čija su obitavališta najbogatija na hridinastim dnima. Ocjene kakvoće mora određuju se na temelju kriterija definiranih Uredbom o kakvoći mora za kupanje („Narodne novine“, br. 73/08) i EU direktivom o upravljanju kakvoćom vode za kupanje (br. 2006/7/EZ) (ZS, 2018).

Najbliža lokacija mjerenja kakvoće mora nalazi se u uvali Sašćica (Slika 3) Prema provedenim mjerenjima za 2017, 2018 i 2019 god., sve pojedinačne ocjene pa tako i godišnja te konačna ocjena, ocijenjene su kao „izvrsne“.



Slika I-66. Lokacija mjerenja kakvoće u uvali Sašćica. (Izvor: ZS, 2018).

Stanovništvo

Prema popisu stanovništva iz 2011 općina Sali ima 1698 stanovnika. Međutim, kako se broj stanovnika od 2001 do 2011 smanjio za 122 stanovnika, ako se trend pada stanovništva zadržao, danas općina Sali broji oko 1588 stanovnika. Popis stanovništva iz 2011 navodi da naselje Sali ima 740 stanovnika.

Naselje je pretežito smješteno je u istoimenoj uvali formiranoj od otočkog kopna na zapadnoj strani uvale i poluotokom Bluda na istočnoj strani. Naselje se u novije vrijeme počelo širiti i na okolno područje izvan uvale Sali, kao i u manju susjednu uvalu Sašćicu, smještenu sa sjeverne strane poluotoka Bluda

Stanovništvo u priobalnoj zoni uz brojne druge aktivnosti koje se odvijaju u obalnom području, uzrokuje kontinuirano te moguće iznenadno onečišćenje mora, što može ugroziti prirodno stanje morskog ekosustava. Također i gospodarske aktivnosti koje koriste ili ne koriste morske resurse kao što su industrija, poljoprivreda, pomorski promet, ribarstvo i turizam mogu imati utjecaj na stanje mora.

Privredne aktivnosti

Tvornica ribljih konzervi Mardešić d.o.o.

Tvornica Mardešić postoji od 1905 g. Locirana je uz obalu uvale Sali te predstavlja izvor prihoda za lokalno stanovništvo. Danas se tvrtka Mardešić d.o.o. bavi proizvodnjom ribljih prerađevina, uglavnom konzervi, na bazi srdele, inćuna, tune i skuše.

Poljoprivreda

Obrađivo poljoprivredno zemljište Općine Sali, prema popisu poljoprivrede iz 2003. godine, iznosi 617,77 ha. U masliniku Saljsko polje nalaze se masline stare do 700 godina, što uz veličinu stabala predstavlja jedinstveno ekološko područje na ovom prostoru. Zbog starosti i veličine stabala ovaj maslinik predstavlja značajan hortikulturni objekt na našoj obali, koji je proglašen botaničkim rezervatom. Starost maslina vidljiva je ne samo u opsegu debla pojedinih maslina, nego i iz razine oblikovanosti maslinika u kojemu su vrlo često masline, tzv. 'stupi', izrasle uokolo starih, širokih panjeva (hripa).

Pretpostavlja se da su maslinik počeli saditi stari Grci, koji su imali posjede na otoku. Po svojoj starosti, prostranosti i izgledu, maslinik Saljsko polje predstavlja jedinstvenu botaničku, estetsku i turističku vrijednost.

Vrijedni maslinari u Salima pomno obrađuju i ostale maslinike, omeđene urednim suhozidima. Na širem području Sali označeni su masliniski putevi, koji vode kroz stoljetne, ali još uvijek plodne maslinike te pomno obrađene intrade. (Izvor: <http://www.dugiotok.hr/sali>)

Turizam

Turistička zajednica dugog otoka se nalazi u Salima koje predstavlja administrativno središte Dugog otoka. U ponudi je preko 50 lokacija apartmanskog smještaja te hotel Sali koji može primiti 148 gostiju. Sali ima razvijen izletnički, nautički i sportski turizam.

Gostima na usluzi stoje opća i zubna ambulanta, poštanski ured, bankomat te ispostava Lučke kapetanije, a u saljskom portu uređeno je privezište brodova. U saljskoj čitaonici mogu se pročitati ili posuditi knjige na nekoliko svjetskih jezika, a sama čitaonica organizator je mnoštva zanimljivih događanja kao što su prezentacije tradicionalnih saljskih jela i koncerti klasične glazbe.

Svojim turističkim objektima u neposrednoj blizini Parka prirode Telašćica te Nacionalnog parka Kornati, Sali su mjesto idealno za opuštanje. Ljubitelji aktivnijeg odmora mogu u Salima iznajmiti brodicu, bicikl ili skuter i na taj način iskusiti ljepote samog mjesta i cijelog Dugog otoka, a postoji i taksi služba koja zaineresiranima nudi vožnje po cijelom otoku. (Izvor: <http://www.dugiotok.hr/sali>)

Ribarstvo

Razvoj pomorstva i ribarstva uvjetovao je smještaj naselja na uzvisinama bliže morskoj obali, dok su uz samu obalu izgrađena skladišta koja služe za spremanje i čuvanje ribarske opreme te restorani. Sali su mjesto tisućgodišnje ribarske tradicije, potvrđene pisanim dokumentima iz 10. stoljeća. Trenutno Sali ima 23 registrirana ribara.

Pomorski promet

U širi akvatorij luke Sali kod uplovljavanja sa sjeverozapadne strane uplovljava se u prolaz između otočića Tukoščak s istočne strane i otočića Krnata, Krava i kopna Dugog otoka s zapadne strane. Plovidba se nastavlja sredinom kanala u kursu 137 Lavdarskim kanalom između otoka Lavdara i Lavdara mala do izlaza iz akvatorija. Obale otoka u prolazu su jasno izražene s jasnim radarskim odrazom. Izobata od 20 metara proteže se duž obale otoka na udaljenosti manjoj od 185 m. Opasnosti za plovidbu kao i istaknute navigacijske točke označene su svjetionicima, obalnim svjetlima, lučkim svjetlima ili svjetlećim oznakama pomorskih oznaka (IALA- Zona A). Prolaz je najuži 0,6 NM na izlazu između rta Tatinja na Dugom otoku i zapadnog rta uvale Skrovada na otoku Lavdari.

U slučaju uplovljavanja u Lavdarski kanal s istočne strane potrebno je paziti na plićinu (2,2 m) oko 0,5 NM zapadno od svjetla na sjeverozapadnom rtu otoka Lavdara. Plićina je označena dnevnom oznakom sa znakom na vrhu – usamljena opasnost.

U luku Sali uplovljava se između rta Bluda, označenog svjetionikom, i lukobrana na čijom se glavi nalazi svjetionik. Širina plovnog puta ulaza u luku između izobata uz obalu od pet metara je 0,37 NM (68 m). Maksimalno dozvoljena brzina plovidbe na ulasku u luku je 5 čv. U uvali na sjevernoj strani na rtu Bluda u planu je izgradnja obalnoga zida u duljini od 149,44 m odnosno 142,54 m i novoga valobrana okomito na obalu u duljini od oko 114,5 m koji će dodatno štiti luku. Nakon završetka gradnje lukobrana ulaz u luku između lukobrana biti će širine oko 74 m, a ulaz u luku od glave starog lukobrana do nove obale oko 84 m. Visina lukobrana s vanjske strane je 1,85 m, a s unutarnje 1,5 m. Nove obale i lukobran s unutrašnje strane koristiti će se za privez plovila u javnom prometu, izletničkih brodova te plovila nautičkog turizma.

Konstrukcija lukobrana omogućuje, tokom ljeta i pri odgovarajućim vremenskim uvjetima, korištenje vanjske strane lukobrana za povremeni kratkotrajni privez različitih plovila. Projektirani gaz uz obalu je minimalno 3,90 m računato u odnosu na geodetsku nulu.

U svrhu omogućavanja pristupa vozila na planiranu obalu u izgradnji je pristupna zaobilazna cesta preko rta Bluda.

Karakteristična plovila koja dolaze u luku su:

- brodice lokalnog stanovništva na komunalnom vezu;

- jahte i velike jahte tijekom ljetne sezone;
- ribarski brodovi;
- brodovi za obalna kružna putovanja;
- brzi brod na državnoj liniji 9406 Zadar - Sali (Dugi otok) - Zaglav (Dugi otok) - Bršanj (Iž)
- putnički brod na državnoj liniji 406 Zadar – Sali (Dugi otok) – Zaglav (Dugi otok).

U luci se vrši isključivo promet putnika s jahti, velikih jahti i plovila na državnim linijama.

Kapacitet tankova goriva može iznositi od 0,5 do 280 m³.

Iskrcaj ribe s ribarskih brodova se vrši na obali ispred tvornice ribljih konzervi Mardešić.

Na liniji 406 brod uplovljava tijekom cijele godine jedan put dnevno od ponedjeljka do subote, a ne plovi nedjeljom i blagdanom. Na liniji 9406 brzi brod tijekom cijele godine svaki dan uplovljava 3 puta dnevno (Tablica 2).

Plovilima upravljaju profesionalni pomorci sa stručnim znanjem i iskustvom.

Tablica I-24. Pristajanja linija 9406 i 406 u uvali Sali. Izvor: Lučka uprava Zadarske županije.

	Godina									
	2014.		2015.		2016.		2017.		2018.	
Li-nija ¹⁶	tica-nja	put-nika	tica-nja	put-nika	tica-nja	put-nika	tica-nja	put-nika	tica-nja	put-nika
9406	1.095	47.333	1.095	57.071	1.095	60.261	1.095	63.070	1.095	59.210
406	626	16.245	626	18.267	626	19.891	626	22.104	626	21.141
Uku-pno	1.721	63.578	1.721	75.338	1.721	80.152	1.721	85.174	1.721	80.351

U luci Sali dio luke dodijeljen je za nautičke vezove. Tu je ujedno i sezonski granični prijelaz na operativnom vezu koje koriste jahte kad uplovljavaju iz Italije u teritorijalno more RH.

Prema dosadašnjoj praksi zbog ograničene duljine obale na graničnom prijelazu i manevarskog prostora u luci, jahte iznad 40 metara obavljaju granične formalnosti dok borave na sidrištu ispred luke spuštajući pomoćnu brodicu koja dođe uz obalu graničnog prijelaza. Dogradnjom obalnog zida sjeverne strane luke omogućiti će se dodatni vezovi za nautički turizam i operativnu obalu.

Velikim jahtama upravljaju profesionalni pomorci sa stručnim znanjem i iskustvom, dok na manjim jahtama, koje mogu biti u charteru bez posade, znanje i iskustvo ovlaštenog kadra za upravljanje plovilom unatoč ovlaštenju može biti upitno naročito u zahtjevnijim vremenskim i manevarskim uvjetima.

Tablica II-25. Broj pristajanja u uvalu Sali.

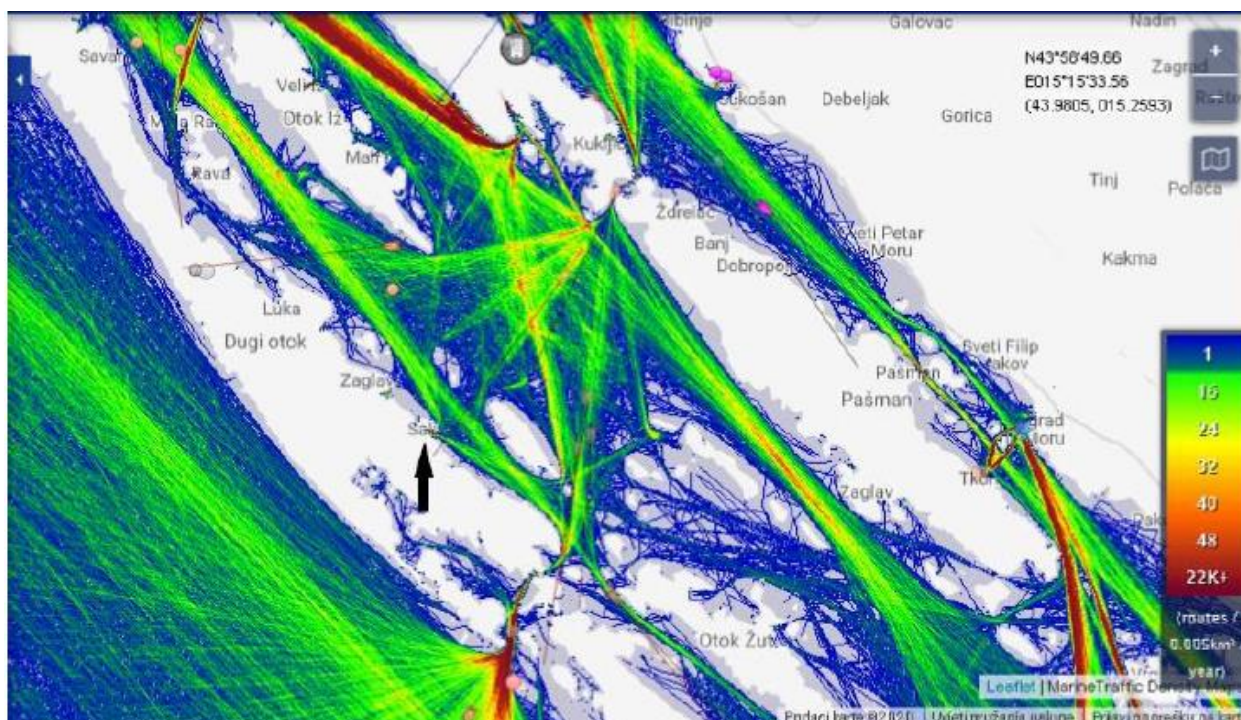
	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
Plovila	2.150	2.431	2.375	2.424	2.500

Izvor: Lučka uprava Zadarske županije

Ribarski brodovi iskrcavaju ribu na molu ispred tvornice ribljih konzervi Mardešić. Ovim plovilima upravljaju profesionalni pomorci sa stručnim znanjem i iskustvom.

Uzdruž Jadrana u periodu od travnja do studenog vrlo su popularna obalna kružna putovanja u trajanju od sedam do 14 dana. Zbog blizine Kornatskog otočja luka Sali je popularno pristanište. Ovim plovilima upravljaju profesionalni pomorci sa stručnim znanjem i iskustvom.

Gustoća prometa u akvatoriju kome pripada uvala Sali je prikazana na slici I-67.



Slika I-67. Gustoća plovila u Zadarskom akvatoriju sa uvalom Sali (broj prolaza/(0.005 km²*god)). Boje: tamno crvena: preko 22000, žuta: 28, zelena: 19, plava: 1 (podaci iz 2016 i 2017)

izvor: <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:15.2/centery:44.0/zoom:11> 27.03.2020

Svojstva onečišćujućih tvari

U pomorskom prometu, kao pogonsko gorivo plovila pojavljuju se samo slijedeće vrste onečišćujućih tvari:

- benzin,
- dizel gorivo,
- brodsko dizel gorivo,
- teško brodsko gorivo i
- sirova nafta.

Onečišćujuće tvari se ne pojavljuju kao teret koji se prevozi brodovima već samo kao pogonsko gorivo. Gornje onečišćujuće tvari mogu dospjeti u morski okoliš u slučaju pomorske nezgode, uglavnom nasukanja, kada zbog oštećenja brodskih spremnika goriva može doći do njihovog djelomičnog ili potpunog ispuštanja u more. Ova procjena razmatra spomenute naftne derivate. Svaki tip mineralnog ulja ima specifične karakteristike, koje utječu kako na njegovo ponašanje kad se razlije po vodenoj površini, tako i na prirodne procese koji uvjetuju učinkovitost metoda čišćenja.

Sirova nafta sastoji se od niza kompleksnih spojeva ugljikovodika – od laganog plina do teških čvrstih tvari. Sukladno povećanju gustoće pojedinih frakcija to su: plinovi, benzini, petrolej, ulja za loženje, maziva ulja, teška ulja za loženje, asfalt i parafin. Vodik i ugljik su najvažniji i prevladavajući elementi u nafti, čineći do 98% nekih vrsta nafte, a 100% mnogih rafinerijskih produkata.

Ostali sastojci nafte su derivati ugljikovodika koji sadrže kisik, sumpor, dušik, vanadij, nikal i mineralne soli.

Benzin

U Uvali Sali benzin se ne pojavljuje kao brodski teret dok se kao pogonsko gorivo manjih brodica i jahti pojavljuje u relativno malim količinama.

Benzin se ubraja u „ne-perzistentna ulja“ što znači da se kod ispuštanja vrlo brzo širi po površini mora te vrlo brzo isparava. Zbog svojeg niskog viskoziteta benzin isparava gotovo u potpunosti i to već u prvih nekoliko sati. O određenim uvjetima, kod povišenih ljetnih temperatura mora i zraka, isparavanje benzina iznosi 80-85% i to u prvom satu nakon izlivanja.

Izlijevanje benzina u ograničenim prostorima predstavlja opasnost jer zbog vrlo niske temperature paljenja može doći do eksplozije i požara. Također, otrovni sastojci benzina mogu biti opasni za morski okoliš a osobito u zoni plime i oseke.

Gustoća benzina je od 0,72 do 0,74 a viskoznost 4 do 10. Netopljiv je u vodi.

U zraku se može osjetiti koncentracija od 100 ppm. U ovisnosti od temperature, maksimalno dopustiva koncentracija u zraku i morui iznosi: 40-120 °C: 500 ppm; 120–200 °C : 300 ppm; 150-300 °C: 100 ppm gdje je 1 ppm = 3 mg/m³. <http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/A865.pdf>

Dizel

Dizel gorivo će nakon izlijevanja ispariti sa površine a dijelom se raspršiti u roku od 12 do 24 sata. To se događa zbog malog viskoziteta što omogućava brzo širenje po morskoj površini i stvara veliku površinu isparavanja. Temperatura mora i zraka, valovi i vjetar značajno doprinose isparavanju.

Kao i svako ulje malog viskoziteta i dizel gorivo je vrlo „pokretno“ odnosno nije ljepljivo pa lako prodire u šljunčane i druge porozne tipove obala. No, pod utjecajem valova, plime i oseke, brzo se ispire tako da se u najvećem broju slučajeva obala ne čisti. Ovisno o vrsti obale, dizel gorivo se prirodno razgradi u roku jednog do dva mjeseca.

Specifične težine oko 0,85 dizel gorivo je lakše od vode pa je mala vjerojatnost taloženja na morskom dnu, čak i kada se „veže“ na pijesak ili druge tvari. Zbog benzinskih frakcija, dizel gorivo je izrazito toksično za organizme u vodi tako da kod većih izlijevanja, osobito u ograničenom prostoru, može izazvati pomor riba, beskralježnjaka i algi. Do utjecaja na morske sisavce ili ptice može doći putem direktnog kontakta i to isključivo u slučaju izlijevanja neposredno u blizini njihovih staništa. Također može utjecati na boju rakova ili školjki. Dizel nestaje u roku do dva mjeseca, prirodnom razgradnjom.

Dizelsko gorivo ima plamište iznad 55 °C. Dodatkom benzina od 3 % plamište se smanjuje toliko da pada na razinu sobne temperature. Dizel detonira znatno slabije od benzina jer je poput ulja, teži i manje isparava. (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Dizel>)

Brodsko dizel goriva

Brodsko dizel gorivo u osnovi je mješavina teških goriva i lakših frakcija. Karakteristike ovog goriva ovise o udjelu težih odnosno lakših frakcija. Većim udjelom lakših frakcija ovo gorivo lakše isparava i lakše se raspršuje u vodeni stupac. Istovremeno, zbog lakših frakcija, ovo ulje ima veću toksičnost od teškog brodskog goriva te može imati izraženiji štetni utjecaj na organizme u moru..

Gustoća: 0.95. Plamište: 90-95 oC. Za pogon brodova se koristi: EURODIZEL, EURODIZEL PLAVI i FDMA (<https://www.ina.hr/veleprodaja/proizvodi/brodaska-goriva/>).

Teško brodsko gorivo

Teško gorivo je perzistentno ulje velikog viskoziteta koje je u procesima rafinerijske prerade dobiveno miješanjem teških ostataka s lakšim frakcijama. Specifična težina ovog goriva je od 0,95 do 1,03 a plamište je na 115 oC pa zato izliveno gorivo najčešće pluta na morskoj površini, ali može preći u vodeni stupac ili potonuti na dno. Plutanje ili potonuće ovisi o vrlo malim promjenama u gustoći morske vode.

Protekom vremena ovo gorivo emulgira u mješavinu ulja i vode, čime se količina onečišćujuće tvari (emulzija) višestruko uvećava, a to otežava i značajno produljuje a time i poskupljuje mehaničko čišćenje. Do 10% izlivenog teškog goriva će ispariti u prvim satima od izlijevanja a određena količina će biti raspršena u vodeni stupac.

Zbog emulgiranja ova vrsta goriva se može tretirati disperzantima samo u prvih 48 sati od izlivanja. Upotrebu disperzanta treba razmatrati zajedno s primjenom mehaničkih metoda čišćenja koje će također dati bolje rezultate u ranoj fazi nakon izlivanja.

Kada teško gorivo onečisti obalu uglavnom ostaje na površini obale i to u zoni plime i oseke, te zbog svoje gustoće i „ljepljivosti“ teže prodire dublje u sediment. Utjecaj ovog goriva na obalne biocenoze može potrajati više godina. Zbog svojih svojstva može značajno utjecati na priobalne organizme i ptice (IŽ, 2012).

Hranjive tvari

More u širem području uvala Sali je oligotrofno. To znači da je dotok hranjivih tvari premali da bi se razvila velika koncentracija fitoplanktona. Stoga prozirnost mora može biti veća od 30 m (prozirnost raste od obale prema otvorenom moru). Međutim, dotok hranjivih tvari s obale u more nije konstantan. Za vrijeme iznenadnih i intenzivnih kiša i pojave bujica, voda koja ispire poljoprivredna zemljišta i urbano područje je bogata hranjivim tvarima.

Tada u more za vrijeme od jednog dana ulazi do 100 puta veća količina hranjivih tvari. One će dolaskom u more pospješiti razmnožavanje slobodno plutajućih stanica algi (fitoplanktona) te, ako tada struje nisu jake, nastati će mutna zelena, žuta ili crvena boja mora ovisno od dominantne svojte fitoplanktona. Boja se može zadržati i do tri tjedna dok struje mora ne rasprše veću koncentraciju algi. Kako je dotok velike količine hranjivih tvari kratkotrajni puls, naglo razmnožavanje fitoplankton će stvoriti do 1000 puta veću koncentraciju dominantne vrste fitoplanktona. Nakon potrošnje hranjivih tvari velika količina fitoplanktona se više ne može razmnožavati stoga izbacuje organsku tvar iz stanica i pretvara se u spore. Organsku tvar koja se sastoji od primitivnih šećera napadaju bakterije koje velikom brzinom potroše kisik i na dnu nastaje hipoksija (nedostatak kisika) . Daljnjom razgradnjom organske tvari, hipoksija može prijeći praktički u anoksiju (nestanak kisika) kada na dnu zahvaćenog područja nastaje pomor faune.

U uvali Sali pomor faune a osobito faune na dnu (bentosa) moguć je jedino nakon iznenadnog dotoka velike količine hranjivih tvari s kopna ili akcidenta na moru u neposrednoj blizini uvala.

Otopljeni metali

Stalni izvor otopljenih metala u uvalu Sali predstavlja otapanje metala iz protuobraštajnih boja. Metali koji se nalaze u protuobraštajnim bojama od najvećeg interesa predstavljaju: bakar, cink i olovo. Postoje i drugi metali koji se otpuštaju u more ali oni ne igraju veliku ulogu osim kositra u obliku tributil kositra (TBT). Toksičnost TBT-a ustanovljena je početkom 1980-tih kada je u zaljevu Arcachon u Francuskoj smanjenje populacije kamenica i nepravilnosti u njihovu rastu povezano s visokom koncentracijama TBT-a u vodi.

Do danas je ustanovljeno kako prisutnost TBT-a u morskom okolišu uzrokuje: usporavanje rasta dagnji te povećanje smrtnosti larvi već pri koncentracijama od 7 ng(Sn)/l, zadebljanje ljuske kamenica i anomalije pri njihovom rastu pri koncentracijama od 0,8 ng(TBT)/l, smanjivanje populacija školjkaša, imunološku disfunkciju kod riba, povećanje smrtnosti larvi riba te smanjivanje populacije zooplanktona i algi. Ipak, najštetnijim toksičnim učinkom TBT-a na morske organizme smatra se razvoj imposeksa u gastropodima već pri izrazito niskoj koncentraciji TBT-a u vodi od 0,4-2 ng(Sn)/l. Imposeks je definiran kao razvoj naizgled muških spolnih organa na ženskim jedinkama što za posljedicu ima sterilnost ženskih jedinki te lokalno izumiranje svojte. Do danas je ta pojava zabilježena kod gotovo 200 vrsta gastropoda.

Iako je upotreba i promet organokositrenim spojevima zabranjen u Hrvatskoj od 2006 (NN, 17, 2006) a uplovljavanje brodova u luke koji koriste organokositrene spojeve u protuobraštajnim bojama od 2008 g. (NN,10,2008). Organokositreni spojevi se unose u more najviše putem protuobraštajnih boja ali i putem komunalnih i industrijskih otpadnih voda te procijednih voda s odlagališta otpada te ispiranjem poljoprivrednih zemljišta oborinskim vodama. Istraživanje u marinama duž Hrvatskog Jadrana (Furdek, 2015) pokazalo je značajne koncentracije tributil kositra u morskoj vodi, sedimentu i dagnjama. Na primjer u Puntarskoj dragi je nađeno do 12,4 ngSn/l u vodi; do 596 ngSn/g dagnjama i do 50 823 ngSn/g u sedimentu kraj brodogradilišta. To su vrlo visoke koncentracije ako se ima na umu da Uredba o standardu kakvoće voda, NN 73, 2013; NN 78, 2015) propisuje maksimalno dozvoljenu koncentraciju u vodi od 1.5 ngSn/l

Ostale onečišćujuće tvari

Od ostalih onečišćujućih tvari valja spomenuti plastične proizvode kao što su kontejneri i plastične vrećice, stiropor i metalom prekrivena papirnata ambalaža. Pri pojavi u moru valja ih što prije pokupiti i adekvatno zbrinuti.

Metode procjene rizika

Pojam rizika i doseg procjene

Rizik. U svakodnevnom govoru rizik se poistovjećuje sa vjerojatnošću nastanka pojave. Međutim u stručnoj literaturi je:

rizik = šteta od iznenadne pojave puta vjerojatnost te pojave

Tako na primjer, ako je vjerojatnost od nastanka eksplozije jednaka jednom događaju u deset godina a pri tom je šteta jednaka milijun kuna tada je rizik od eksplozije = $(1/10) \cdot 10^6 = 100,000$ kuna godišnje.

Ova Procjena iznosi kvantitativne modele procjene rizika od iznenadnih onečišćenja mora te je izrađena u skladu s važećom metodologijom procjene rizika i standardima sigurnosti.

Prema Međunarodnoj pomorskoj organizaciji (IMO) iznenadna onečišćenja mora uljem dijele se, prema količini razlivenog ulja, na tri stupnja: 1) do 7 tona; 2) od 7 do 700 tona, i 3) više od 700 tona. U kontekstu količine emitiranih ili razlivenih štetnih tvari ova Procjena razmatra sve navedene stupnjeve onečišćenja uljima (sirova nafta, teško brodsko gorivo i dizelsko brodsko gorivo), hranjivim tvarima, biocidima i teškim metalima. Sukladno tome, osim rizika od pomorskog prometa trgovačkih i putničkih brodova, ribarskih brodova, brodica i jahti, razmatraju se iznenadna onečišćenja čiji su izvori na kopnu ili su stacionarni u moru.

Kao što je gore navedeno, rizik (R) se definira kao umnožak štete (Š) od akcidenta i vjerojatnosti (V) pojave akcidenta:

$$R = \text{Š} * V$$

Ako se šteta mjeri u kunama (kn) a vjerojatnost ili čestina nastanka akcidenta u (1/god) onda se rizik mjeri u:

$$[R] = [\text{Š}] * [V] = [\text{kn/god}].$$

Jasno je da velika šteta i mala vjerojatnost moraju dati isti rizik kao mala šteta i velika vjerojatnost nastanka akcidenta.

Procjena rizika je usklađena sa ISO Standardom (30100, 2018; 31010:2019); koji definira procese za upravljanje rizicima.

Proces procjene uključuje:

- prepoznavanje opasnosti: sve što može krenuti po zlu te sve što trenutno onečišćuje more i zašto;
- analiza učestalosti (vjerojatnosti): koliko često se svaka od prepoznatih opasnosti može pojaviti;
- analiza posljedica: koliko štete može nastati zbog svakog od prepoznatih štetnih događaja;
- kalkulacija rizika: učestalost ili vjerojatnost u kombinaciji s posljedicama.

Elementi procjene

Proces procjene rizika započinje analizom konteksta u kojem se akcidenti mogu dogoditi, nastavlja se prepoznavanjem opasnosti, analizom vjerojatnosti pojave akcidenta, računanjem rizika, mogućim mjerama sanacije i izvještavanjem. Proces procjene uključuje komunikaciju i konzultaciju s dionicima a poboljšava se praćenjem (monitoringom) i revizijom.

Prepoznavanje rizika

Prvi korak u analizi rizika od akcidenata u morskom okolišu predstavlja identifikaciju svih mogućih pritisaka i akcidenata. To je u suglasnosti sa svim postojećim metodama analize rizika.

Svrha prepoznavanja (identifikacije) rizika je nalaženje i opis svih objekata i načina koji sudjeluju u pojavama iznenadnih onečišćenja mora. Često se upotrebljavaju različite tehnike za prepoznavanje nesigurnosti koje mogu dovesti u pitanje kakvoću mora. Među njima su:

- očiti i manje očiti izvori rizika;
- uzroci i posljedice;
- opasnosti i mogućnosti nastanka akcidenta;
- osjetljivost ekosustava mora;
- sustavne ili vremenske promjene u ekosustavu mora (dnevne, sezonske i međugodišnje);
- indikatori rizika;
- priroda i vrijednost dobara;
- posljedice i njihov utjecaj na ciljeve zaštite;
- ograničenost znanja i pouzdanost informacija;
- pretpostavke o mogućim rizicima.

Analiza rizika

Svrha analize rizika je shvatiti prirodu rizika i njegove karakteristike uključujući, ako je moguće, nivo rizika. Analiza rizika uključuje pažljivo razmatranje nesigurnosti, izvora rizika, posljedica, događaja, različitih mogućih scenarija, postojećih kontrola i njihove učinkovitosti. Neočekivana pojava može imati višestruke uzroke i posljedice te ugroziti više ciljeva zaštite kakvoće mora.

Također, analiza rizika se može poduzeti uključujući različiti stupanj detalja i kompleksnosti, ovisno o svrsi analize, dostupnim i pouzdanim podacima te dobrima i vremenu koji stoji na raspolaganju. Tehnike analize mogu biti kvalitativne i kvantitativne, ili kombinacije ovih dviju tehnika, ovisno o prilikama i ciljevima.

Analiza rizika često uzima u obzir:

- vjerojatnost nastanka neočekivane pojave i posljedica;
- prirodu i značaj posljedica;
- kompleksnost i povezanost sa drugim mogućim posljedicama;
- efikasnost postojećih kontrola;
- osjetljivost i interval pouzdanosti procjene.

Najveći utjecaj se očekuje od kakvoće relevantnih podataka i načina kako su oni uzeti u obzir. Međutim, na analizu rizika mogu utjecati i različita mišljenja, predrasude, poimanja rizika i sudovi dionika.

Malo vjerojatni događaji mogu biti teški za kvantifikaciju. To može biti problem kod analiziranja događaja koji ugrožavaju veliku vrijednost ili imaju ozbiljne posljedice. U tom slučaju upotrebom kombinacije tehnika često je moguće dobiti bolji uvid vjerojatnost događaja.

Najveći broj metoda analize rizika sadrži kvantificiranje mogućih rizika od akcidenata rangovima koji označavaju ozbiljnost posljedica njihove pojave. S obzirom na štete koje oni proizvode rangovi su obično: visoka, srednja i mala šteta (sa mogućim rangovima između tih podjela). Međutim, za alokaciju fondova u izgradnju infrastrukture za prevenciju ili za sanaciju štete (rijetko u potpunosti ali češće donekle) za koju se predviđa da može nastati, rangovi nisu dovoljni. Za tu svrhu, identifikacija rizika mora sadržavati najmanje dva broja: procjenu vjerojatnosti nastanka akcidenta, v , u zadanom vremenskom intervalu, Δt , te procijenjenu štetu u novčanom iznosu, \check{S} , u slučaju da se akcident dogodi.

Sukladno tome, identifikacija rizika nastanka štete od akcidenta poprima tablicu:

Tablica I-26. Vrijednosti i štete koje omogućuju procjenu rizika od n mogućih akcidenata.

Ime akcidenta	Vjerojatnost nastanka u vremenskom intervalu Δt	Izgubljen novčani iznos ako se akcident dogodi
Akcident 1	v_1	\check{S}_1
Akcident 2	v_2	\check{S}_2
...
Akcident $n-1$	v_{n-1}	\check{S}_{n-1}
Akcident n	v_n	\check{S}_n

Stoga prvo valja identificirati sve značajne pritiske i moguće akcidente. U slučaju da svi značajni pritisci i mogući akcidenti nisu identificirani, izgubljena je mogućnost da se procijeni sveukupan rizik ali i mogućnost da se alociraju sredstva prema smanjenju najvećeg rizika od akcidenta.

U slijedećem koraku valja procijeniti vjerojatnost nastanka akcidenta, v , u zadanom vremenskom intervalu Δt , za svaki identificirani akcident. U slučaju postojećeg i kontinuiranog, recimo j -tog pritiska, gdje je $1 \leq j \leq n$, vjerojatnost je: $v_j = 1$.

Napokon, valja procijeniti izgubljeni novac, \check{S}_i , $i = 1, \dots, n$ od nastanka svakog od n mogućih akcidenata.

Rizik izgubljenog novca (štete) u slučaju i -tog akcidenta ($R\check{S}_i(t)$) u zadanom vremenskom intervalu Δt , iznosi:

$$R\check{S}_i(\Delta t) = v_i(\Delta t) \check{S}_i.$$

Rizik izgubljenog novca tijekom m intervala Δt , iznosi:

$$R\check{S}_i(m) = m v_i(\Delta t) \check{S}_i$$

pri tom se $v_i(\Delta t)$ ne smije mijenjati od jednog do drugog vremenskog intervala Δt , odnosno mora biti konstanta.

Pojašnjenje: Razmotrimo niz od m nezavisnih događaja sa vjerojatnošću, v . Neka X bude broj akcidenata tijekom m intervala Δt . Tada X ima Binomnu raspodjelu sa parametrima m i v . Očekivana vrijednost Binomne slučajne varijable $E(X) = m v$.

U slučaju da se vjerojatnost pojave akcidenta mijenja od jednog do drugog vremenskog intervala, Δt , na primjer od sezone do sezone, od godine do godine ili od godine prije i godine nakon implementacije zaštitne mjere, tada rizik izgubljenog novca od i -tog mogućeg akcidenta tijekom m zadanih vremenskih intervala iznosi:

$$R\check{S}_i(m, v) = \check{S}_i \sum_{j=1}^m v_i(\Delta t_j)$$

U slučaju da se i vrijednost izgubljenog novca mijenja od jednog do drugog zadanog intervala vremena tada rizik od izgubljenog novca zbog i -tog akcidenta tijekom m intervala vremena iznosi:

$$R\check{S}_i(m, v, \check{S}) = \sum_{j=1}^m (v_{i,j} \check{S}_{i,j}).$$

Rizik od izgubljenog novca od svih pobrojanih rizika tijekom zadanog vremenskog intervala Δt iznosi:

$$TR\check{S}(n, \Delta t) = \sum_{i=1}^n (v_i(\Delta t) \check{S}_i).$$

Rizik izgubljenog novca od svih pobrojanih rizika tijekom m zadanih vremenskih intervala Δt gdje u sukcesivnim vremenskim intervalima šteta i vjerojatnost nastanka akcidenta mogu biti različiti iznosi:

$$TR\check{S}(n, m, v, \check{S}) = \sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^n (v_{i,j}(\Delta t) \check{S}_{i,j}))$$

gdje su v i \check{S} matrice sa n redaka i m kolona, a $v_{i,j}$ i $\check{S}_{i,j}$ su korespondentni matrični elementi.

Domino efekt

Do sada smo razmatrali samo nezavisne događaje, no događaji nisu uvijek nezavisni.

Domino efekt je takav primjer. Kada se dogodi nepredviđeni događaj može slijediti drugi događaj čiji je on uzrok. Vjerojatnost da se dogodi drugi događaj, B , pretpostavljajući da se prvi, A , dogodio se računa sukladno Bayesovu teoremu:

$$v(B|A) = (v(A|B) * v(B)) / v(A)$$

Primjer: Gledajući dalekozorom opazili smo dim. Koja je vjerojatnost da tamo imamo požar?
Statistika nam kaže: požar je rijetka pojava (2%), dim je češća pojava zbog turista koji peču meso ili ribu na gradelama (10%), ali 90% požara uzrokuju dim. Tada je vjerojatnost da imamo požar ako smo opazili dim = $(90\% * 2\%) / 10\% = 18\%$. Ali, ako smo dalekozorom opazili dim onda nismo mogli vidjeti dim od gradela već uglavnom dim od požara ili nekih drugih aktivnosti koje stvaraju veću količinu dima što ukupno čini (2%). Uz ovu informaciju vjerojatnost da imamo požar od dima kojeg smo opazili dalekozorom iznosi 90%. Stoga treba hitno tu informaciju provjeriti i pripremiti se na žurno djelovanje. Rezultat analize rizika se koristi za ocjenu i odluku o metodama tretiranja, odnosno za donošenje odluka o investicijama u smanjenje rizika i sanaciji nakon pojave nepredviđenih onečišćenja mora.

Vrednovanje rizika

Svrha vrednovanja rizika je pomoć u donošenju odluka. Vrednovanje rizika uključuje usporedbu rezultata analize rizika sa potvrđenim kriterijima koji određuju gdje su dodatna ulaganje i pažnja potrebni. To može doprinijeti odlukama:

- za sada ne treba poboljšavati analizu rizika;
- potrebno je razmotriti nove mogućnosti tretmana ili sanacije rizika;
- valja pokrenuti daljnju analizu za bolje razumijevanje specifičnog rizika;
- treba unaprijediti postojeće kontrole;
- nužno je ponovno razmotriti ciljeve analize ili upravljanja rizikom.

Odluke valja osnivati na širem kontekstu, sadašnjih i predviđenih posljedica uz konzultaciju svih dionika.

Prvi nužan uvjet za investiciju u Infrastrukturu kojom se utječe na Rizik, (IR), odnosno za upravljanje rizikom od nastanka i -tog akcidenta u vremenskom horizontu $m * \Delta t$ ima smisla jedino ako je:

$$IR_i < R\check{S}_i(m)$$

u slučaju da je v_i konstanta tijekom svih m vremenskih intervala Δt ;

ili

$$IR_i < R\check{S}_i(m, v)$$

u slučaju da je v_i varijabilna tijekom m vremenskih intervala Δt ;

ili

$$IR_i < R\check{S}_i(m, v, \check{S})$$

u slučaju da v_i i \check{S}_i variraju tijekom m vremenskih intervala Δt .

Sukladno gornjem uvjetu lako je definirati nužan uvjet za upravljanje rizikom više od jednog ili svih navedenih mogućih akcidenata.

No, zašto gornji uvjet nije dovoljan?

Zato što investicija u prevenciju bilo kojeg akcidenta najčešće nije dovoljna da u potpunosti spriječi njegovu pojavu.

U stvari, mogu se nabrojati barem tri klase realističnih scenarija nakon što se investiralo i implementiralo pojedinu mjeru.

- a) Redukcija vjerojatnosti pojave akcidenta sa v na v_1 gdje je $v_1 < v$.

Primjer: Investicija u poboljšanje signalizacije smanjuje vjerojatnost akcidenta brodova ali ne smanjuje tu vjerojatnost na $v_1 = 0$.

- b) Investicija u infrastrukturu ne utječe na pojavu akcidenta već na štetu od njega.

Primjer: Postoji vjerojatnoća $v = 1$ od štete uzrokovane promjenom globalne klime koja će zasigurno povećati srednju temperaturu i nivo mora. Međutim investicija u infrastrukturu može smanjiti štetu od \check{S} na \check{S}_1 gdje je $\check{S}_1 < \check{S}$.

U slučaju da se identificira korist od globalne promjene klime, tu vrijednost valja odbiti od izgubljene monetarne vrijednosti. Štoviše, tada može biti korisno identificirati investiciju u infrastrukturu kojom će se najviše profitirati od globalne promjene klime a koja će se zasigurno dogoditi.

U slučaju da postoji investicija kojom se reducira:

- a) vjerojatnost od v_i na v_{1i} i

b) izgubljeni novac od \check{S}_i na \check{S}_{1i} , tada se a) i b) mogu kombinirati. Korist od investicije u smanjenje rizika i štete od i -tog akcidenta u vremenskom intervalu Δt iznosi:

$$BIR_i = (v_i - v_{1i}) (\check{S}_i - \check{S}_{1i}).$$

Odnosno, općenito, u horizontu od m vremenskih intervala Δt :

$$BIR_i(m) = R\check{S}_i(m, v_i - v_{1i}, \check{S}_i - \check{S}_{1i}).$$

Redukcija štete od postojećeg pritiska:

Postojeći pritisak ima vjerojatnost $v = 1$, ali investicija u infrastrukturu za sprječavanje štete može smanjiti jedino \check{S} na \check{S}_1 , gdje je $\check{S}_1 < \check{S}$.

Identifikacija prioriteta investicija

U najjednostavnijem slučaju, proširenjem tablice 5 može se odgovoriti na pitanje koja investicija ima prioritet.

Tablica I-27. Podaci za precizno rangiranje razmatranja potrebnih investicija

Ime akcidenta	Vjerojatnost nastanka u Δt	Izgubljen novčani iznos ako se accident dogodi	Potencijalno izgubljen novčani iznos u $m\Delta t$
Akcident 1	v_1	\check{S}_1	$m v_1 \check{S}_1$
Akcident 2	v_2	\check{S}_2	$m v_2 \check{S}_2$
...
Akcident n-1	v_{n-1}	\check{S}_{n-1}	$m v_{n-1} \check{S}_{n-1}$
Akcident n	v_n	\check{S}_n	$m v_n \check{S}_n$

Zadnja kolona u tablici 5 omogućava redosljed rasprave o mogućim investicijama u smanjenje rizika od nastanka akcidenta. Međutim, konačni redosljed investicija će ovisiti od dobrote investicije.

Dobrota investicije, $DI_i(m)$ prema smanjenju rizika od akcidenta i u vremenskom intervalu $m \Delta t$ se definira kao:

$$DI_i(m) = BIR_i(m) - IR_i(m).$$

Izračunavanjem dobrote investicije za svaki potencijalni akcident ili pritisak, investicije se mogu rangirati od najviše prema najmanjoj vrijednosti i sukladno tome odlučivati o prioritetu investicija. Prioritet investicija je nužan uvjet za izradu **plana investicija**.

Smanjenje rizika

U ovom koraku se razmatraju faktori koji umanjuju rizik te se daju preporuke kako izbjeći ili umanjiti opasnosti od iznenadnih onečišćenja mora. Također se daje doprinos održivosti i učinkovitosti odabranih strategija smanjenja rizika.

Nadzor i ocjenjivanje

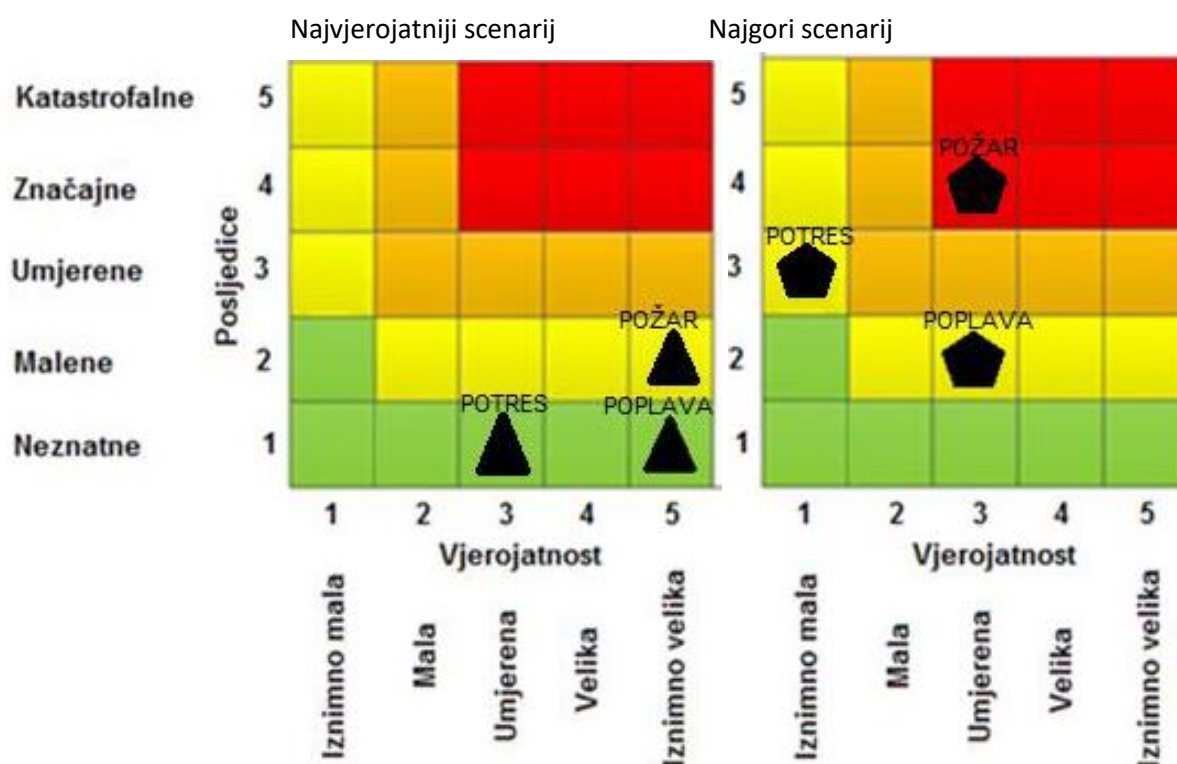
Nadzor odnosno praćenje (monitoring) je proces periodičnog utvrđivanja da li se primjenjuju najbolja raspoloživa rješenja i NRT, jesu li najefikasnija te postoje li mjesta i procesi koji se mogu poboljšati. Također se prate rizici u novonastalim okolnostima, a sve u svrhu smanjenja prepoznatih rizika. Ocjenjivanje je mjera kojom se nalaze nedostaci u primjeni donesenih strategija i na taj način predstavlja uputu na koje mjere valja obratiti veću pažnju.

Procjena rizika onečišćenja mora uvale Sali

Identifikacija rizika

Postoje mnogi čimbenici koji mogu dovesti do iznenadnog onečišćenja mora. Neke od tih čimbenika možemo pretpostaviti na temelju dosadašnjih akcidenata i razmatranja postojećih procesa koji se mogu otrgnuti kontroli, ali zasigurno ne sve i stoga je nužno procjenu rizika periodički reanalizirati.

U studiji Procjena rizika od velikih nesreća za općinu Sali (ALFA ATEST, 2018) navode se tri rizika: potres, požar otvorenog tipa i poplava koja nastaje od uspora mora. Za svaki se rizik navode dva scenarija kako bi se dobio uvid u nivoe opasnosti, opisuju se posljedice, procjenjuju se vjerojatnosti te utjecaj na kritičnu infrastrukturu. Osim toga, tri rizika se uspoređuju u smislu najvjerojatnijeg događaja i događaja sa najgorim mogućim posljedicama (Slika I-68).



Slika I-68. Najvjerojatnije (lijevo) i najgore (desno) posljedice potresa, poplave i požara. Posljedice su izražene preko pet rangova od neznatnih do katastrofalnih a vjerojatnost također u pet rangova od iznimno male do iznimno velike (ALFA ATEST, 2018).

Kako je rizik umnožak štete i vjerojatnosti, matrica je morala biti simetrična. Uzrok male nesimetrije su nejednake podjele u rangovima na horizontalnoj i vertikalnoj osi.

Iz matrice se vidi kako se procjenjuje da požar ima najveći rizik kako u najvjerojatnijem tako i u najgorem scenariju, s tim da u najgorem scenariju ima značajno viši rizik od potresa a još viši rizik od poplave uzorkovane usporom mora.

Ipak, značaj gornje usporedbe valja gledati u smislu vrlo visoke nepouzdanosti procjene za potres te visoke nepouzdanosti za požar i poplave uzrokovane usporom.

U izvješću se ne navodi utjecaj na iznenadno onečišćene mora od navedenih rizika stoga će ovdje i o tome biti riječi.

Potres

U studiji ALFA ATEST (2018) se nalazi da je procjena vjerojatnosti značajnog potresa koji bi uzrokovao rušenje zgrada u uvali Sali iznimno mala ali bi šteta po ljude i infrastrukturu bila velika. Za potrebne radnje i elemente upravljanja rizikom valja konzultirati: Procjenu rizika od velikih nesreća za općinu Sali, 2018 i Procjenu ugroženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara te okoliša od katastrofa i velikih nesreća Zadarske županije, 2015.

Značajan potres može inducirati puknuće vodovoda i kanalizacije. Puknuće vodovoda dovodi do izljeva pitke vode u tlo i na površinu a obadvoje otjecanjem dovodi do onečišćenja mora. Puknuće kanalizacije dovode do izljeva otpadne vode i značajnog mikrobiološkog onečišćenja mora u uvali tijekom cijelog vremena dok se kanalizacija ne popravi. Kako popravak kanalizacije najčešće nije prioritet nakon potresa, mikrobiološko onečišćenje mora u uvali može potrajati mjesecima i ugroziti slijedeću turističku sezonu.

Osim gornjeg, značajan potres može dovesti do puknuća ventila na spremnicima amonijaka u tvornici „Mardešić“ te izljevom indirektno onečistiti more.

Također, značajan potres može dovesti do sudara brodica u luci i izljeva goriva, ulja ili kaljužnih voda u more. Time se u prvom trenutku onečišćuje površina mora slojem ulja ili goriva a kasnije se onemogućuje transport kisika u vodeni stupac. Time direktno i indirektno dolazi do posljedica na cijeli vodeni stupac i život u njemu.

Na koncu, značajan potres može inducirati požar. Požar često inducira posljedice na onečišćenje mora kako je opisano u slijedećoj sekciji.

Požar

Požar otvorenog tipa može biti uzrok iznenadnog onečišćenja mora. Prvo, čađa nošena vjetrom može pasti na površinu mora, promijeniti kiselost (pH) te vizualno onečistiti površinu. Ulaskom u vodeni stupac onečišćuje se more po cijeloj dubini uključujući sediment. Drugo, ispiranjem pepela sa tla uzrokovanog kišom i bujicama može nanijeti pepeo u more. Ovako naneseni pepeo se nalazi u slatkoj vodi koja ulazi na površinu vodenog stupca ali se u relativno kratkom vremenu potrebnom da slatka voda stigne do kontakta sa otvorenim morem na rubu uvale već pomiješala sa vodenim stupcem i time onečistila more iznad termokline ljeti a zimi i dublje.

Požar zatvorenog tipa u tvornici Mardešić također može dovesti do oštećenja spremnika amonijaka i indirektnog onečišćenja mora.

Poplava

U uvali Sali poplava može nastati na dva načina: a) usporom mora i dizanjem morske razine koje je inducirano naglom padom tlaka, intenzivnim vjetrom (jugom) i plimom te b) velikom količinom kiše u kratkom vremenu i nastankom bujica.

Usporom poplava dolazi s mora a morska voda se izliva po obali. Opadanjem razine mora onečišćena morska voda se vraća u more.

Poplavom koja nastaje od velike količine kiše u kratkom vremenu pojavljuju se bujice i po iznimno strmom dijelu reljefa uvale onečišćena i zamućena voda tlom, prašinom i onečišćenjem s kopna ulazi u more uvale. Doista, ekstremna kiša u roku od par sati može stvoriti bujice kojima se voda sa velikom koncentracijom sedimenta i kamenja strmim terenom obrušava prema moru uvale kako se vidi iz tih pojava 11.09.2017 i 5.06. 2020.

21.09.2017: „Potopljeno je Saljsko polje, a posljedice se vide i u uvali Sašćica. Poplavljene su konobe, prizemlja obiteljskih kuća, uništene su ceste, dvorana i prizemlje Osnovne škole u Preku i Sutomišćici.” (D.G.,2017)



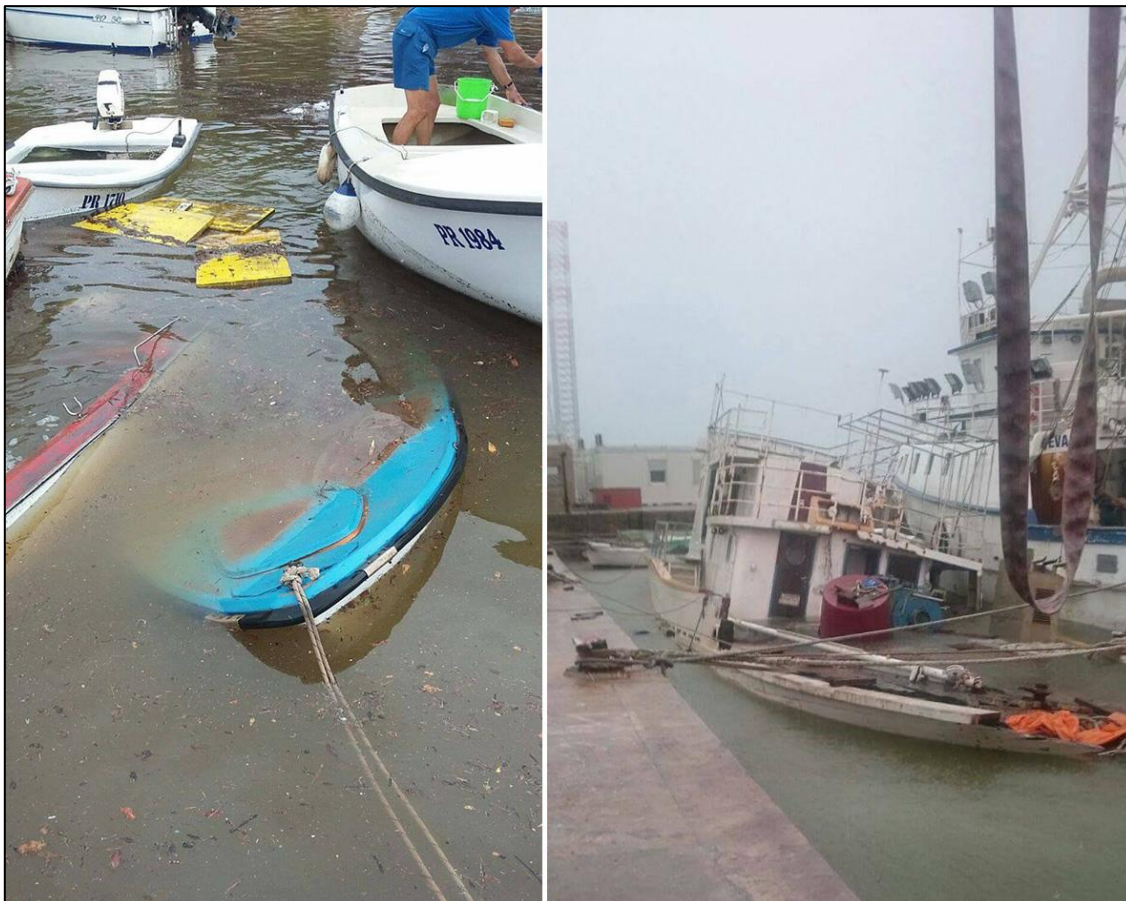
Slika I-69. Bujice u Sali, 11.09.2017.(ezadar.net.hr)

U Salima i u Zaglavu je proplivalo puno konoba, podruma, trgovina, na cestama je nanešeno dosta materijala a na nekim mjestima su odneseni dijelovi cesta:

Navode se pokušaji saniranja štete, kako na prometnicama, tako i na električnoj i telefonskoj mreži. Također se navodi da je od groma nastalo dosta kvarova. Navode se i potopljene brodice u Zaglavu. U područnoj školi Božava nastava se odvijala normalno, a u Salima je nastava prekinuta dok se situacija ne normalizira. Brod vozi po satnici. Navodi se da u sanaciji šteta pomaže kompletan stožer, DVD, djelatnici PP Telašćice, komunalnog društva“ (Izvor: ezadar.net.hr)



Slika I-70. Oštećenje brodice i automobila, 11.09.2017.



Slika I-71. Poplava u Preku i Kali. Foto: Facebook

U Preku je poplavljeno trajektno pristanište, urušena je cesta, a brodice su potopljene. Rujanski rekord od 1986 g. ipak nije premašen – i dalje su to 352 litre/m².

Prosječna količina za cijeli rujan na ovoj je postaji oko 100 litara kiše po četvornome metru, a podaci postoje od 1961. g. (Prema: D.G., 2017a)

„U jednu od najljepših uvala Jadrana tijekom katastrofalne kiše koja je pogodila zadarsko područje, bujica je nanijela tisuće kubika otpada!”

„S divljeg odlagališta na brdu iznad Telašćice, bujica visoka dva i široka pet metara, svladala je visinsku razliku od 35 metara i otpad nosila preko kilometra dugom trasom prema moru. Zagadila je tako okolno područje, uvale, morsku površinu i dno“. (D.G., 2017b)

Navodi se da je bujica kroz usjeka i kanjone stigla između brda, a otpad kojeg je bujica nanijela u tri sata iznimno jakog pljuska, čistit će se mjesecima. Također, divlji deponij na lokaciji Veli dočić je saniran prije desetak godina i od tad se otpad prevozio u Zadar međutim neki stanovnici su opet počeli otpad istresati iznad Telašćice.



Slika I-72. Poplava u Selinama (Kulušić, 2020)

Poplava 5.06.2020. "Tijekom petka ciklona se s pripadajućim frontalnim sustavom premještala preko Jadrana što je dalmatinskom području donijela vrlo nestabilno vrijeme uz čestu kišu i jako jugo s olujnim udarima

"...šteta je počinjena u Selinama gdje su bujice nosile sve pred sobom. Oborinske vode koje su stizale s padina južnog Velebita bile su pune mulja i kamenja. Jugo je, prema podacima DHMZ-a, na splitskom području puhalo na udare do 97 km/h... Tako je u Visu došlo do prelijevanja mora preko nižih dijelova rive, a more je poslijepodne privremeno bilo preplavilo i splitsku Matejušku. Mjerna postaja Opsenica kraj Svetog Roka zabilježila je 154 litre kiše po kvadratnom metru do 18 sati. Postaja Seline – Mala Paklenica je zabilježila 153, a Starigrad Paklenica 151 litri kiše po kvadratnom metru." Kulišić, 2020.

Izlijevanje kontejnera otpadnog ulja

Na gatu unutrašnjeg lukobrana lučice smješten je kontejner otpadnog motornog ulja od 1,55 tone. Rabljeno motorno ulje prema modeliranju utjecaja štete ili utjecaja pripada Grupi IV. slijedećih karakteristika (Fingas, 2015.):

- teška ulja s vrlo sporim otapanjem i isparavanjem;
- moguća je teška kontaminacija;
- snažan utjecaj na morske ptice i sisavce s krznom (oblaganje i gutanje);
- moguće je dugotrajno zagađivanje sedimenta;
- atmosfersko djelovanje je vrlo sporo;
- čišćenje linije obale i supstrata je teško i dugotrajno.

Karakteristike korištenog ulja na plovilima za podmazivanje

Naziv ulja: Lubricating Oil (Engine, Gasoline)

Porijeklo i opis: karter, motorno ulje.

Tablica I-28. Svojstva rabljenog motornog ulja (prema: Fingas, 2015)

API težina na 15 °C: 28,3 (jedinice su na 15 °C)	Jedinica	Rabljeno ulje
Specifična gustoća	g/ml	0,8848
Viskoznost	mPa·s cP	175
Točka paljenja (plamište)	°C	
Sadržaj sumpora	%	0,29
Kapljište (točka tečenja)	°C	-36
Površinska napetost (zrak – ulje na 15 °C)	mN/m	31
Međusobna napetost (IFT)s morskom vodom	mN/m	21

Kontejner je postavljen kako bi korisnici lučice lako mogli odlagati otpadno ulje s brodica. To svakako valja pohvaliti. Kontejner je propisno postavljen ali je plastičan. Nije potrebno dugo razmišljati da bi se uočilo kako on predstavlja opasnost od značajnog onečišćenja uvale. Naime, plastičan kontejner se može namjerno ili nenamjerno probušiti ili se neosigurani ventil može otrgnuti. Dogodi li se to navečer ili tijekom noći, slijedeće jutro će uvala Sali biti prekrivena slojem ulja.

Iz specifikacije rabljenih motornih ulja razvidno je da bi u slučaju razlijevanja po morskoj površini, za sada jedini način za njegovo uklanjanje je fizičko prikupljanje po površini odgovarajućim alatima i pomagalicama.

Tvornica „Mardešić“

Opasnost od onečišćenja mora predstavljaju dva kontejnera od ukupno 3000 kg amonijaka. U sustavu tvornice se amonijak nalazi djelomice u tekućem a djelomice u plinovitom stanju. U slučaju da dođe do rupture ventila ili cijevi, što se dogodilo prije 10 g., automatski se uključuje ventilator koji forsira amonijak u amonijačnu lužinu koja ostaje u tankvani. Za amonijak u plinovitom stanju može doći do iznenadnog onečišćenja atmosfere a zatim vezanjem na tlo i čestice i onečišćenjem mora. Ipak tada bi onečišćenje mora bilo relativno malo.

Podmorski ispusti

Ispod hotela Sali izgrađen je ispust fekalne odvodnje u more prirodnom padom na poziciji $\phi = 43^{\circ}56'28.151''N$ $\lambda = 15^{\circ}09'44.555''E$, dužine 150-200 m na dubini 30 m (Zavod za javno zdravstvo Zadar, 2006., 14). Ispust nije označen znakom zabrane sidrenja.

Na rtu Bluda izgrađen je svjetionik i crpna stanica fekalne odvodnje s cjevovodom duljine 500 m i s ispustom na dubini 70 m označen znakom zabrane sidrenja.

Otpadne vode tvornice se odvođe podmorskim ispustom u more 90 m udaljenom od obale na dubinu od 15 metara. Ispust nije označen na obali pa postoji opasnost od oštećenja cijevi u slučaju sidrenja.

Ispusti doprinose mikrobiološkom onečišćenju mora na ulazu u uvalu te obogaćenju vodeni stupac hranjivim tvarima kao što su dušik i fosfor te tako doprinose eutrofikaciji mora.

Do iznenadnog onečišćenja mora može doći dotokom oborinskih voda u kanalizaciju i naglim povećanjem protoka iz ispusta. Kako se ljeti ispust ispod hotela Sali nalazi na rubu ili iznad termokline, to predstavlja opasnost po onečišćenje površinskog sloja mora.

Ljeti ispust na dubini od 70 m doprinosi eutrofikaciji sloja mora ispod termokline. Opasnost po onečišćenje površinskog sloja hranjivim tvarima ne postoji ali postoji opasnost od isplivanja laganih čestica, te plastičnih i stiropornih materijala donesenih bujicama po mjestu.

Pomorski promet

Kada se razmatraju čimbenici pomorskog prometa tada se prvo analiziraju obilježja plovnog puta jer ona u trenucima nepovoljnih vremenskih prilika mogu biti uzrok akcidenta. Otežano upravljanje brodom može biti i rezultat oceanografskih čimbenika kao što su morske struje, izrazita smanjenja razine mora uzrokovana osekom i ekstremnim a praktički nevidljivim i nepredvidivim meteorološkim situacijama. Posljedica može biti udar broda u obalu, sudar brodova ili nasukavanje.

Napokon na brodu može nastati eksplozija ili požar. Svaki od navedenih neželjenih događaja može uzrokovati onečišćenje mora.

Procjena rizika

U ovom poglavlju se razmatraju vjerojatnosti (učestalosti) i ukupna šteta od iznenadnog onečišćenja mora te se iznose argumenti za jedno i drugo, dakle za rizik.

Potres

Od 1879 do 2003 u mjestu Sali zabilježeno je 10 potresa magnitude V i ni jedan potres viših magnituda (ALFA ATEST, 2017). Takav potres nije imao značajnih neželjenih posljedica.

Vjerojatnost: 1 u 95 g. slabiji potres i u 475 g. jači potres.

Najvjerojatniji neželjeni događaj na području Općine Sali podrazumijeva potres intenziteta V MSK ljestvice. Pri potresu intenziteta V° MSK nema značajnih posljedica na život i zdravlje ljudi te su posljedice za gospodarstvo, društvenu stabilnost i politiku neznatne.

Sukladno seizmološkim kartama Hrvatske (95 i 475 g povratnog perioda)

<http://seizkarta.gfz.hr/> i karti epicentara potresa u Hrvatskoj

https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_seizmologiji

Suglasno ALFA ATEST, 2017 ukupna šteta od najvjerojatnijeg neželjenog događaja procijenjena je od 84600 do 169 200 kn za gospodarstvo, isto toliko za javne građevine i isto toliko za javnu infrastrukturu.

Šteta po ekosustav mora biti će oko 5 puta manja.

Drugim riječima očekuje se šteta od: 456 000 kn ili 4 560 kn na godinu.

Najgori vjerojatan scenarij u 475 g. predstavlja jači potres.

Procijenjena šteta je oko 864 000 do 2 538 000 za gospodarstvo.

Srednja vrijednost: 1 700 000 kn kn.

Gubitci na javnim građevinama: od 169 200 do 846 000. Srednja vrijednost: 507 600 kn

Štete na infrastrukturi: od 169 200 do 846 000. Srednja vrijednost: 507 600.

Međutim, ukupna šteta na onečišćenje mora će biti oko 5 puta manja s tim da može doći do puknuća cijevi kanalizacije i mikrobiološkog onečišćenja koje će trajati do popravka kanalizacije.

Ukupan rizik od potresa: $0.01 * 456000 + (1/475) * 3258240 = 11420$ kn/god.

Požar

U studiji Procjena rizika od velikih katastrofa općine Sali se razmatra požar otvorenog tipa a pri tom se misli na požar šume i makije. Potencijalna opasnost od požara se ističe kao velika (na skali od: mala, umjerena, velika vrlo velika).

U studiji se navodi: "Najvjerojatniji scenarij se u načelu događa svake godine."

Ta je konstatacija točna u smislu da se požari u Hrvatskoj pojavljuju svake godine i to na više mjesta, međutim ona nije točna u smislu da je velika vjerojatnost da će se požar šume ili makije razmjera koji može utjecati na onečišćenje mora u području slivnog područja uvale Sali dogoditi svake godine. Vjerojatnija je tvrdnja da će se takav požar dogoditi svake pete godine a još vjerojatnija tvrdnja da će se dogoditi svake desete godine.

Dakle uzimamo vjerojatnost: $1/10 = 0.1$

U Studiji se dalje navodi "Takvi požari na jednom području neće trajati dulje vremensko razdoblje, budući da nakon što prođe opasnost od topline i produkata gorenja, život i rad ljudi može se normalno nastaviti. Moguć je nastanak štete na građevinama, pokretninama kao i određeni broj stradalih osoba (lake ozljede/teže ozljede/smrtno stradavanje), što se ne može uvijek izbjeći."

Šteta: "procjenjuje se da će kod najvjerojatnijeg događaja šteta na gospodarstvo biti između 864 000-2 538 000 kn."

Ukupna šteta zagađenja mora je oko 10 puta manja dakle srednja vrijednost je 170 000 kn.

U Studiji se dalje navodi: "Događaj s najgorim mogućim posljedicama događa se svakih 20-ak godina". Šteta na gospodarstvo bi bila do 10 milijuna kn.

Ukupna šteta po onečišćenje mora bi tada bila oko 1 milijun kuna.

Kako su najvjerojatniji i najgori događaji potpuno nezavisni jer se pojavljuju na bitno različitim vremenskim skalama u smislu oporavka šume i makije, vjerojatnosti i štete treba zbrojiti.

Tako imamo ukupan rizik: $0.1 * 1\,170\,000 + 0.05 * 11\,000\,000 = 667\,000$ kn godišnje.

Stoga se za vjerojatnost može uzeti 0.1 a za štetu od 6 670 000 kn.

Poplava

Uspor

Za područje Općine Sali porast razine mora uzrokovan jugom iznosi od 8 – 12 cm, ali uzrokovan još i niskim tlakom porast može prijeći 80 cm. Uslijed uspora koji je uzrokovan plimom, niskim tlakom i intenzivnim jugom, dolazi do poplavlivanja objekata uz more, uglavnom prizemlja i podrumi. Ugroženi su stambeni i gospodarski objekti te kanalizacija. Nastaju štete na stambenim i ugostiteljskim objektima, rivi, dolazi do plavljenja sustava kanalizacije, istjecanja kanalizacije, te izbijanja šahtnih poklopaca.

Sukladno Studiji: čestina najvjerojatnijeg neželjenog događaja je > 1 na godinu.

Posljedice bi bile oštećenje plovni objekata, od kojih će neki pretrpjeli teža oštećenja i koji će biti potopljeni. More bi ušlo u stambene objekte duž čitave obalne linije u kojima će biti oštećeni uređaji i namještaj, a nakon povlačenja bilo bi nužno njihovo ispumpavanje i čišćenje. Također bi biti oštećeni automobili parkirani u neposrednoj blizini morske obale.

U najvjerojatnijem scenariju Studija predviđa štetu po gospodarstvo: od 169200 do 846000 kn. Štete na građevinama od javnog značaja između 84 600 do 169 200 kn. Šteta na infrastrukturi između 84 600 do 169 200 kn.

Sukladno Studiji: "čestina najgoreg mogućeg neželjenog događaja 1 u 2 do 20 godina."

Pa je srednja vrijednost 1 događaj u 11 godina .

U najgorem mogućem scenariju štete na gospodarstvo: 846 000 do 2 538 000 kn.

Štete na građevinama od javnog značaja između 84600 do 169 200 kn. Šteta na infrastrukturi između 84600 do 169 200 kn.

Kako su događaji najvjerojatnijeg i najgoreg scenarija nezavisni jer se pojavljuju na značajno različitim vremenskim skalama rizike možemo zbrojiti:

$761\,400 + 0.11 * 1\,818\,900 = 961\,479$ (kn/god).

Vidimo da je rizik od najnepovoljnijeg događaja oko 3.5 puta manji od rizika najvjerojatnijeg događaja.

Bujični tokovi

Bujični tokovi mogu nastati od intenzivne kiše u vremenu od 2 do 3 sata.

Vjerojatnost: 1 u 3 godine

Šteta je značajna: 2 538 000 do 4 230 000

Ukupna šteta od onečišćenja mora iznosi oko 333 000 kn ali se samo manji dio može sanirati. Sanacija se poduzima samo kako bi se površinski dio makro-onečišćenja pokupio i adekvatno odložio iz plićih dijelova uvale.

Ukupan rizik od poplava = $761\,400 + 0.11 * 1\,818\,900 + (1/3) * 3\,384\,000 = 2\,089\,479$

Izlijevanje kontejnera otpadnog ulja

Do izlijevanja otpadnog ulja može doći nenamjernom ili namjernom rupturom plastičnog kontejnera.

Vjerojatnost: 1 u 5 g.

Šteta uključuje onečišćenje obale, površine mora, vodeni stupac i dno te utjecaj na turizam i gospodarstvo.

Očekivana šteta na:

- gospodarstvo bi bila značajna, jer bi između ostalog, sve brodice u luci trebalo prati;
- stanovništvo bi bila značajna jer bi im uskratilo uobičajen životni ritam dok se sve ne očisti ali bi utjecaj na turizam bio duži;
- na infrastrukturu obale šteta bi bila značajna jer bi se ulje zavuklo u sve spojeve kamene obale u visinu amplitude plime i oseke i do 60 cm
- na morski ekosustav šteta bi bila minimalna do srednja.

Društvena šteta značajno ovisi o tome kada nastane onečišćenje. U slučaju izlijevanja u zimskim mjesecima šteta je značajno manja od jer neće uzrokovati odlazak turista. U slučaju izlijevanja u ljetnim mjesecima kada je broj turista najveći i kada je vjerojatnost izlijevanja najveća, šteta bi bila značajno veća od zbog otkazivanja boravka turista u mjestu, traženja druge lokacije za ljetovanje i djelomice od toga što se turisti ne bi još dugo vratili u mjesto.

Izliveno ulje valja što prije pokupiti s površine adekvatnim upijačima i adekvatno odložiti.

Obalu a osobito plaže treba što prije sanirati: pokupiti ulje koliko je to moguće a ostalo isprati certificiranim deterdžentima.

Troškovi čišćenja bili bi značajno veći nego u slučaju Diesela.

Ukupna šteta od onečišćenje mora bila bi značajna: 4 230 000 kn

Rizik = $0.2 * 4\,230\,000 = 846\,000$ kn/god.

Tvornica „Mardešić

Izlijevanje kontejnera amonijaka može onečistiti atmosferu i djelomično se vezati na tlo a posljedično i onečistiti more. Onečišćenje može ubiti manju količinu ribe u vodenom stupcu ali neće dugoročnije imati posljedice na more uvale.

Vjerojatnost: 1 u 10 g.

Šteta će biti neznatna: < 84 600 kn

Direktna šteta po morski ekosustav ona se neće moći sanirati, ali će trebati što brže adekvatno odložiti površinski sloj tla na koji se amonijak vezao.

Podmorski ispusti

Vjerojatnoća iznenadnog onečišćenja potječe iz dva izvora: a) puknuće cijevi podmorskog ispusta (1 u 30 g.) i b) vjerojatnoća iznenadnih onečišćenja bujičnim tokovima od intenzivne kiše (1 u godinu dana).

Šteta:

Onečišćenje mora uzrokuje nemogućnost kupanja na okolnim plažama i neugodan miris u dijelu uvale koji može uzrokovati otkazivanje boravka posjetilaca Sali preko ljeta.

Procjena štete iznosi: 2 000 000 kn od kojih se najveći dio odnosi na otkazivanje boravka turista.

Onečišćenje mora se sanira popravkom cijevi podmorskog ispusta.

Kratkotrajno onečišćenje mora koje se ničim ne da sanirati, osim što se mora pokupiti i adekvatno odložiti doplivalo onečišćenje površinom mora.

Procjena štete oko: 3 000 000 kn.

Rizik: $(1/30) * 2\,000\,000 + 100\,000 = 166\,700$ kn/god.

Pomorski promet

Vjerojatnoća (čestina nesreća)

Broj plovila koji uplovljavaju u luku Sali (PS) je zbroj po godinama tablica 15, 16, i 17 (Maritimna studija ovog projekta), jer svaka tablica prikazuje drugu vrstu prometa.

U 2015 g. u Sali je uplovilo:

$PS = 1721$ (tablica 15) + 483 (tablica 16) + 2150 (tablica 17) = 4385 plovila.

Te godine je u RH uplovilo: $PRH = 314145$ plovila. Stoga je:

$PS/PRH = 0,0139585$

Iz tablice 38 (Maritimna studija) u 4 godine je bilo 38 akcidenata.

Vjerojatnost akcidenta, v , je:

$v = (PS/PRH) * 38/4 = 0.133$ (1/god)

Kako su se sva onečišćenja dogodila u lukama, procjena vjerojatnosti je relevantna.

Šteta

Iz studije Maritimnih uvjeta slijedi da je najveće onečišćenje iznosilo 100 m^3 što je unutar raspona brodskog goriva na najvećim brodovima koji pristaju u luku Sali, međutim takovo onečišćenje ima vjerojatnost događaja koja je oko 20 puta manja od v (gore).

U 11 od 13 dokumentiranih slučajeva onečišćivalo je bilo brodsko pogonsko gorivo.

Šteta u uvali Sali se stoga može računati za onečišćenje brodskim gorivom.

U uvalu Sali se najčešće može razliti *Diesel* gorivo gdje će u prvih deset dana bez sanacije 50% ispariti na ljetnoj temperaturi mora od $21 \text{ }^\circ\text{C}$ (na samoj površini je temperatura i viša za vrijeme danjeg svjetla).

Evaporacijska jednadžba za *Diesel* gorivo je:

- dugoročno (> 5 dana) $\%Ev = (-0,02 + 0,013T)v(t)$

- kratkoročno (< 5 dana) $\%Ev = (0,03 + 0,013T)v(t)$

gdje je $\%Ev$ postotak evaporirane težine; T je temperatura površine ($^\circ\text{C}$); t = vrijeme (min)

U 5 dana = 7200 min, T = temperatura površine mora = 21 kao prosječnoj temperaturi za srpanj / kolovoz kad je i najgušći promet: $\%EV = (0,03 + 0,013 * 21) * v 7200 = 25,71 \%$ težine.

U idućih 5 dana $\%Ev = (-0,02 + 0,013T)v(t) = 21,46 \%$ težine.

U vremenu od 10 dana gorivo koje se izlilo moglo bi se sakupiti. U zimskim mjesecima evaporacijska jednadžba daje drugačiju vrijednost, ali je rizik značajno manji obzirom na broj plovila i nastalu štetu za turizam, a donekle je uvećan s obzirom na vremenske prilike.

Utjecaj izlivanja goriva na gospodarstvo odnosno turizam šteta bi bila značajna:

od 2 538 000 do 4 230 000 kn.

Iako će se najveća šteta pojaviti u kraćem periodu dok traje operacija čišćenja, ne smije se zaboraviti i utjecaj na ostatak turističke sezone.

Na morski ekosustav šteta bi bila malena do srednja (169 000 do 846 000 kn). Ipak treba svim raspoloživim sredstvima spriječiti da izliveno gorivo dopluta do ribogjilišta koje je udaljeno 4 NM u smjeru NW.

Na samo stanovništvo šteta bi bila malena do srednja: 169 200 do 846 000 kn.

Nakon duljeg vremena gorivo koje je ušlo u spojeve kamene obale bi evaporiralo i ispralo se.

Rizik za ljetnu sezonu = $0.133 * 4399200 / 4 = 146273$ kn/god.

Tablica rizika i isplativost intervencije

Kao što je navedeno u prethodnim sekcijama procjena rizika je procjena vjerojatnosti nastanka iznenadnog zagađenja mora puta procijenjena šteta. Međutim, kao što smo vidjeli u prethodnom razmatranju rizika, postoje različite vjerojatnosti za isti akcident kao što su poplava i potres, sukladno tome u slijedećoj tablici su rizici svedeni na zajedničku vjerojatnost koja odgovara istom ukupnom riziku na godinu.

Tablica I-29. Rizik od iznenadnog onečišćenja mora (kn/god) i isplativost intervencije (%).

Uzrok iznenadnog onečišćenja mora	Procjena učestalosti akcidenta (1/god.)	Procjena ukupne štete (kn)	Ukupan rizik (kn/god.)	Isplativost intervencije (% od štete na more)
Potres	1/100	1 142 000	11420	100
Požar	0.1	6 670 000	667 000	50
Poplava	1/3	6 268 437	2089479	30
Izlijevanje kontejnra otpadnog ulja	0.2	4 230 000	846 000	80
Izlijevanje amonijaka iz tvornice „Mardešić“	0.1	<84 600	<8460	10
Podmorski ispust	0.079	2 100 000	166 700	20
Pomorski promet	0.033	4 399 200	585094	60

U zadnjoj koloni gornje tablice naznačene je približna isplativost intervencije u sanaciju mora. Tako se kod potresa očekuje isplativost intervencije od 100 % čime se misli na popravak mogućeg oštećenja kanalizacije i podmorskog ispusta. Uspješnost sanacije štete na morskom ekosustavu od požara se ne očekuje biti većom od 50 % a što se odnosi na površinsko onečišćenje.

Isplativost intervencije u sanaciju morskog ekosustava od štete uzrokovane poplavom je još manja i odnosi se samo na čišćenje uvale od površinskog onečišćenja. Očekuje se da bi sanacija od izlijevanja otpadnog ulja iz kontejnera bila i do 80 % iako bi proces bio dugotrajan.

Isplativost sanacije podmorskih ispusta od iznenadnog onečišćenja bujicama bi bila značajno manja osim što bi sanacija od rupture bila značajno viša i blizu 100 %. Očekuje se da bi sanacija od pomorskog akcidenta bila uspješna oko 60 % dok se ostatak izlivenog ulja ne bi mogao sanirati jer bi se otopio u vodenom stupcu ili ispario.

Zaključak

Ovaj dokument prikazuje rizik od iznenadnog onečišćenja uvale Sali upotrebom kvantitativnih modela (za razliku od kvalitativnih i semi-kvantitativnih modela koji su inferiorniji). Zaključujemo da najveći rizik predstavlja poplava od uspora i bujica izazvanih intenzivnom kišom. Slijedeći najveći rizik predstavlja požar šume i makije u uvali Sali. U vezi sa iznenadnim onečišćenjem od podmorskog ispusta zbog intenzivne kiše jedino što se može napraviti je sakupiti plutajuće onečišćenje i to valja učiniti što brže. Iako izlivanje kontejnera ulja u luci Sali ne predstavlja najveći rizik, ipak ovaj se rizik može značajno smanjiti jednostavnim i brzim osiguranjem od izlivanja.

B. PROJECT PARTNER 3 – SPLIT-DALMATIA COUNTY

KREIRANJE I TESTIRANJE MODELA



Značenje pojmova

U ovom dokumentu se koristi izvjestan broj pojmova čiji smisao treba na početku objasniti jer u protivnom može lako doći do nerazumijevanja, tim više što neki pojmovi koji se koriste u svakidašnjem govoru imaju drugačije značenje od onih koji se koriste u ovom dokumentu.

Sukladno tome, navodimo i dopunjujemo objašnjenje dijela pojmova koji se nalaze u Zakonu o zaštiti okoliša (NN, NN, 80/13) a koriste u ovom dokumentu.

Cjelovito upravljanje zaštitom mora predstavlja skup povezanih i usklađenih odluka i mjera kojima je svrha ostvarivanje jedinstvene zaštite mora, izbjegavanje i smanjivanje rizika od štete za morski ekosustav te poboljšavanje i ostvarivanje učinkovite zaštite mora. I ovaj dokument predstavlja dio cjelovitog upravljanja zaštitom mora.

Domino efekt je niz povezanih učinaka koji zbog međusobnog razmještaja, blizine postrojenja odnosno dijelova postrojenja ili grupe postrojenja, količina opasnih tvari prisutnih u tim postrojenjima ili uzročno posljedične veze, povećavaju mogućnost izbijanja nesreće ili pogoršavaju posljedice nastale nesreće.

Emisija je ispuštanje ili istjecanje tvari u tekućem, plinovitom ili čvrstom stanju, ili ispuštanje energije (topline, zračenja, buke, vibracije, svjetlosti) te ispuštanje organizama, iz pojedinog izvora u more, nastalo kao rezultat čovjekovih djelatnosti.

Granična vrijednost emisija je propisana vrijednost, koncentracija ili razina emisije, izražena u posebnim pokazateljima, koja u jednom ili tijekom više vremenskih razdoblja ne smije biti prekoračena.

Industrijska nesreća je događaj koji je posljedica nekontroliranog slijeda događanja u tijeku neke radnje ili aktivnosti u postrojenju, tijekom proizvodnje, uporabe, skladištenja ili rukovanja proizvodom ili odlaganja otpada.

Integrirano upravljanje obalnim područjem je dinamički proces održivog upravljanja i korištenja obalnih područja, uzimajući istodobno u obzir krhkost obalnih ekosustava i krajobraza, raznolikost aktivnosti i korištenja, njihovo međusobno djelovanje, pomorsku usmjerenost pojedinih aktivnosti i korištenja te njihov utjecaj na morske i kopnene dijelove.

Javni interes je interes u pitanjima zaštite mora koji iskazuje Država, ili jedinica lokalne odnosno područne (regionalne) samouprave sukladno svojem statutu.

Javnost je jedna ili više fizičkih ili pravnih osoba, njihove skupine, udruge ili organizacije sukladno posebnim propisima i praksi.

Kakvoća mora je stanje mora koje je posljedica djelovanja prirodnih pojava ili ljudskog djelovanja, izraženo morfološkim, fizikalnim, kemijskim, biološkim, estetskim i drugim pokazateljima, **Krajobraz** je određeno područje viđeno ljudskim okom, čija je narav rezultat međusobnog djelovanja prirodnih i ljudskih čimbenika, a predstavlja bitnu sastavnicu čovjekovog okruženja, izraz raznolikosti zajedničke kulturne i prirodne baštine te temelj identiteta područja.

Maksimalnom dopuštena koncentracija (MDK je zakonski određena najviša dopuštena granica prisutnosti otopljenih ili neotopljenih kemijskih tvari kao onečišćivača u moru ili sedimentu.

Morski ekosustavi su područja prostora mora koja uključuju obalna područja od riječnih ušća i granica morskih struja uz obalu do granica epikontinentalnog pojasa prema moru, a ta područja obilježava osebujna produktivnost i trofičke, batimetrijske i hidrografske karakteristike područja.

Morski okoliš je životni prostor organizama i njihovih zajednica koji je određen karakterističnim fizičkim, kemijskim i biološkim značajkama a obuhvaća: područja otvorenog mora, riječna ušća te morska obalna područja uključujući unutarnje morske vode, teritorijalno more, dno i podmorje tih morskih prostora.

Nacionalna lista pokazatelja jest popis pokazatelja kojim se propisuje vremenska dinamika prikupljanja podataka, format, izvor i način toka podataka,

Nadležno upravno tijelo je tijelo županije, koje, prema nadležnostima uređenih Zakonom, o zaštiti okoliša obavlja poslove u području zaštite okoliša.

Najbolja raspoloživa tehnika (u daljnjem tekstu: **NRT**) je najučinkovitiji i najnapredniji razvojni stupanj djelatnosti i s njome povezanih načina proizvodnje i održavanja postrojenja koji je dostupan operateru i koji može biti primjerena osnova za određivanje graničnih vrijednosti emisija kojima se postiže sprječavanje, odnosno smanjivanje utjecaja na more.

Održivi razvitak je gospodarski i društveni razvitak društva koji u zadovoljavanju potreba današnjeg naraštaja uvažava iste mogućnosti zadovoljavanja potreba idućih naraštaja, te omogućuje dugoročno očuvanje kakvoće okoliša, biološke raznolikosti i krajobraza.

Okoliš je prirodno okruženje organizama i njihovih zajednica uključivo i čovjeka, koje omogućuje njihovo postojanje i njihov daljnji razvoj: zrak, vode, tlo, zemljina kamena kora, energija te materijalna dobra i kulturna baština kao dio okruženja kojeg je stvorio čovjek; svi u svojoj raznolikosti i ukupnosti uzajamnog djelovanja.

Onečišćavanje morskog okoliša znači čovjekovo izravno ili neizravno unošenje tvari ili energije u morski okoliš, koje uzrokuje ili može prouzročiti pogubne posljedice na uvjete života biljnog i životinjskog svijeta u moru i podmorju, odnosno općenito ugroziti uvjete života u moru i ugroziti ljudsko zdravlje, te može ometati pomorske djelatnosti, uključujući ribolov i druge zakonite uporabe mora i podmorja, izazvati pogoršanje uporabne kakvoće morske vode i umanjene privlačnosti morskog okoliša.

Onečišivač je svaka fizička i pravna osoba, koja posrednim ili neposrednim djelovanjem, ili propuštanjem djelovanja uzrokuje onečišćivanje mora.

Onečišćenje – označava prisutnost strane ili prirodne tvari u moru koja mijenja kakvoću mora od njegove prirodne vrijednosti. Na primjer, dušikovi spojevi se prirodno nalaze u morskoj vodi ali njihov unos sa kopna povećava njihovu koncentraciju i mijenja kakvoću mora od prirodne vrijednosti. Odbačena automobilska guma ili plastična boca također predstavlja onečišćenje mora.

Onečišćujuća tvar je tvar ili skupina tvari, koje zbog svojih svojstava, količine i unošenja u more, mogu štetno utjecati na zdravlje ljudi, biljni ili životinjski svijet, odnosno biološku raznolikost.

Opasna tvar je propisom određena tvar, mješavina ili pripravak, koji je u postrojenju prisutan kao sirovina, proizvod, nusproizvod ostatak ili među proizvod, uključujući i one tvari za koje se može pretpostaviti da mogu nastati u slučaju nesreće.

Opasnost je bitno svojstvo opasne tvari ili uvjeti u kojima se ta tvar može zateći, a kojima se može ugroziti ljudsko zdravlje i život, materijalna dobra i okoliš.

Operater je uprava tvrtke (fizička osoba, tijelo ili pravna osoba) koja prema posebnim propisima upravlja tvrtkom ili nadzire rad tvrtke.

Opterećenja su: emisije tvari i njihovih pripravaka, fizikalni i biološki činitelji (energija, buka, toplina, svjetlost i dr.) te djelatnosti koje ugrožavaju ili bi mogle ugrožavati sastavnice okoliša. **Opterećivanje mora** je svaki zahvat ili posljedica utjecaja zahvata na more, ili utjecaj na more određene aktivnosti, koja sama ili povezana s drugim aktivnostima, može izazvati ili bi mogla izazvati onečišćivanje mora, smanjenje kakvoće mora, štetu ili rizik onečišćenja mora.

Područje utjecaja je područje na kojem se prostire značajan utjecaj zahvata u more, bilo da je uzrokovan samim zahvatom ili sinergijom s postojećim ili planiranim zahvatima u more.

Praćenje stanja mora (monitoring) je niz aktivnosti koje uključuju uzorkovanje, ispitivanje i sustavno mjerenje emisija ili stanja mora, praćenje prirodnih i drugih pojava u moru u svrhu njegove zaštite.

Prijeteća opasnost od štete je dovoljna vjerojatnost da se u bliskoj budućnosti može dogoditi šteta za morski ekosustav.

Rizik onečišćenja mora je veličina koja se mjeri vjerojatnošću pojavljivanja događaja pomnožena sa štetom za morski ekosustav. Tako na primjer, ako je vjerojatnost od nastanka eksplozije jednaka jednom događaju u deset godina, a pri tom je šteta jednaka milijun kuna, tada je godišnji rizik od eksplozije = $(1/10) * 10^6 = 100,000$ kuna godišnje.

Sanacija je skup propisanih mjera ili aktivnosti kojima se uspostavlja ili nadomješta stanje mora koje je postojalo prije nastanka štete, odnosno onečišćenja.

Sastavnice okoliša su: zrak, voda, more, tlo, krajobraz, biljni i životinjski svijet te zemljina kamena kora.

Standard kakvoće mora je propisana kakvoća mora na određenom području.

Stanje morskog okoliša je sveukupno stanje okoliša u morskim vodama uzimajući u obzir strukturu, funkcije i procese sastavnica morskog okoliša zajedno sa prirodnim, fiziografskim, geografskim i klimatskim faktorima, kao i fizičkim, kemijskim i biološkim uvjetima uključujući one koji su rezultat ljudske aktivnosti,

Šteta u okolišu je svaka šteta nanesena:

– biljnim ili životinjskim vrstama i njihovim staništima te krajobraznim strukturama, a koja ima bitan nepovoljan utjecaj na postizanje ili održavanje povoljnog stanja vrste ili stanišnog tipa i kakvoće krajobraza. Bitnost nepovoljnog utjecaja procjenjuje se u odnosu na izvorno stanje, uzimajući u obzir mjerila propisana posebnim propisima:

– vodama, a koja ima bitan negativan utjecaj na stanje voda: ekološko, kemijsko ili količinsko, u skladu s posebnim propisima;

– moru, a koja ima bitan negativan utjecaj na očuvanje i postizanje dobrog ekološkog stanja mora sukladno posebnim propisima;

– tlu, čije je onečišćenje odnosno oštećenje dovelo do smanjenja njegove ekološke funkcije ili zdravlje ljudi, u skladu s posebnim propisima;

– zemljinoj kamenoj kori čije onečišćenje odnosno oštećenje je dovelo do smanjenja njene ekološke funkcije ili zdravlja ljudi, u skladu s posebnim propisima.

Šteta u smislu odgovornosti za štetu uzrokovanu ekosustavu mora znači mjerljiv štetni učinak odnosno promjenu na prirodnim dobrima, neposredan ili posredan mjerljivi poremećaj u funkcioniranju prirodnih dobara.

Štetna tvar je tvar štetna za ljudsko zdravlje ili okoliš, s dokazanim akutnim ili kroničnim toksičnim učincima, vrlo nadražujuća, kancerogena, mutagena, nagrizajuća, zapaljiva i eksplozivna tvar, ili tvar koja u određenoj dozi ili koncentraciji ima takva svojstva.

Tijelo javne vlasti je tijelo državne vlasti, tijela jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave i pravne osobe s javnim ovlastima koje obavljaju djelatnosti u vezi s okolišem.

Tvrtka je pravna ili fizička osoba koja u skladu s posebnim zakonom obavlja gospodarsku djelatnost koristeći postrojenje. Operater upravlja ili nadzire rad tvrtke.

Velika nesreća je događaj odnosno nekontrolirana pojava izazvana velikom emisijom, požarom ili eksplozijom, koji su uzrokovani nekontroliranim razvitkom događanja tijekom djelovanja u postrojenju u kojem su prisutne opasne tvari te jedna ili više tih opasnih tvari ili njihovih spojeva nastalih uslijed događaja odnosno nekontrolirane pojave dovode u ozbiljnu trenutačnu ili odgođenu odnosno naknadnu opasnost ljudsko zdravlje i život, materijalna dobra ili okoliš, unutar ili izvan postrojenja.

Zahvat u okoliš je privremeno ili trajno djelovanje čovjeka koje bi moglo utjecati na okoliš, za koje je potrebno ishoditi odgovarajuće odobrenje za realizaciju.

Zainteresirana javnost je javnost na koju utječe ili bi moglo utjecati odlučivanje o okolišu, te koja živi odnosno radi u području mogućih negativnih utjecaja na okoliš ili u području koje će vjerojatno biti pod negativnim utjecajem.

Zaštita mora je skup odgovarajućih aktivnosti i mjera kojima je cilj sprječavanje opasnosti za morski ekosustav, sprječavanje nastanka šteta i/ili onečišćivanja, smanjivanje i/ili otklanjanje šteta te povrat mora u stanje prije nastanka štete.

Models of sudden marine pollution risk

Abstract

The sea level rise model was developed for three sea level rise models. Even with the minimum analyzed sea level rise (1m), over 60 buildings are directly located in the flood zone, while the directly endangered area covers almost 50 ha. In the 3m elevation model a significant part of the facilities (473) and coastal infrastructure (7.92 km of roads) is directly within the flood zones, while in the 6m elevation model the sea level rise has catastrophic consequences for the settlement with 959 submerged facilities. An open fire risk model was developed using 11 continuous value criteria and one exclusion criterion. Based on the developed model of susceptibility to soil erosion of the wider area of the eastern part of Kaštela Bay, zones of potential threat from the future occurrence of negative effects of soil erosion have been determined. Within the wider area of the eastern part of Kaštela Bay, zones of high (14.98 km²) and very high (9.35 km²) susceptibility to soil erosion prevail, which together cover 33.34% of the total area of the research area. The largest representation of these classes is present on the sloping and significantly sloping slopes of the Kozjak and Mosor massifs. In contrast to these zones, the coastal belt of the eastern part of Kaštela Bay is characterized by low susceptibility to soil erosion. Zones of very low susceptibility cover a total of 6.98 km² (9.56% of the total area), while zones of low susceptibility cover 9.94 km², or 13.62% of the total area of the study area. The sudden marine pollution risk model shows the risk using quantitative models (as opposed to qualitative and semi-quantitative models which are inferior). We conclude that the greatest risk is floods from slowdowns and torrents caused by heavy rain, so it would be worthwhile, among other things, to start defense processes against this risk.

Sažetak

Model podizanja morske razina izrađen je za tri modela porasta morske razine. Već pri minimalnom analiziranom porastu morske razine (1m) preko 60 objekata izravno se nalazi u poplavnoj zoni, dok se izravno ugroženo područje prostire na gotovo 50 ha. Kod modela porasta od 3m značajan dio objekata (473) i obalne infrastrukture (7.92 km prometnica) je izravno unutar poplavnih zona, dok kod modela porasta od 6m izdizanje morske razine ima katastrofalne posljedice za naselje s 959 potopljenih objekata. Izrađen je model rizika od izbijanja otvorenog požara pri čemu je korišteno 11 kriterija kontinuiranih vrijednosti i jedan isključujući kriterij. Na temelju izrađenog modela podložnosti eroziji tla šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva utvrđene su zone potencijalne ugroze od buduće pojave negativnih učinaka erozije tla. Unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva prevladavaju zone visoke (14.98 km²) i vrlo visoke (9.35 km²) podložnosti eroziji tla, koje zajedno obuhvaćaju 33.34% ukupne površine područja istraživanja. Najveća zastupljenost ovih klasa prisutna je na nagnutim i značajno nagnutim padinama masiva Kozjaka i Mosora. Za razliku od navedenih zona, priobalni pojas istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva karakterizira niska podložnost eroziji tla. Zone vrlo niske podložnosti prekrivaju ukupno 6.98 km² (9.56 % ukupne površine), dok zone niske podložnosti pokrivaju 9.94 km², odnosno 13.62 % ukupne površine istraživanog područja. Model rizika od iznenadnog onečišćenja mora prikazuje rizik upotrebom kvantitativnih modela (za razliku od kvalitativnih i semi-kvantitativnih modela koji su inferiorniji). Zaključujemo da najveći rizik predstavlja poplava od uspora i bujica izazvanih intenzivnom kišom stoga bi valjalo, osim ostaloga, pokrenuti procese obrane od tog rizika.

Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora

1. Model podizanja morske razine

Uvod

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

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).

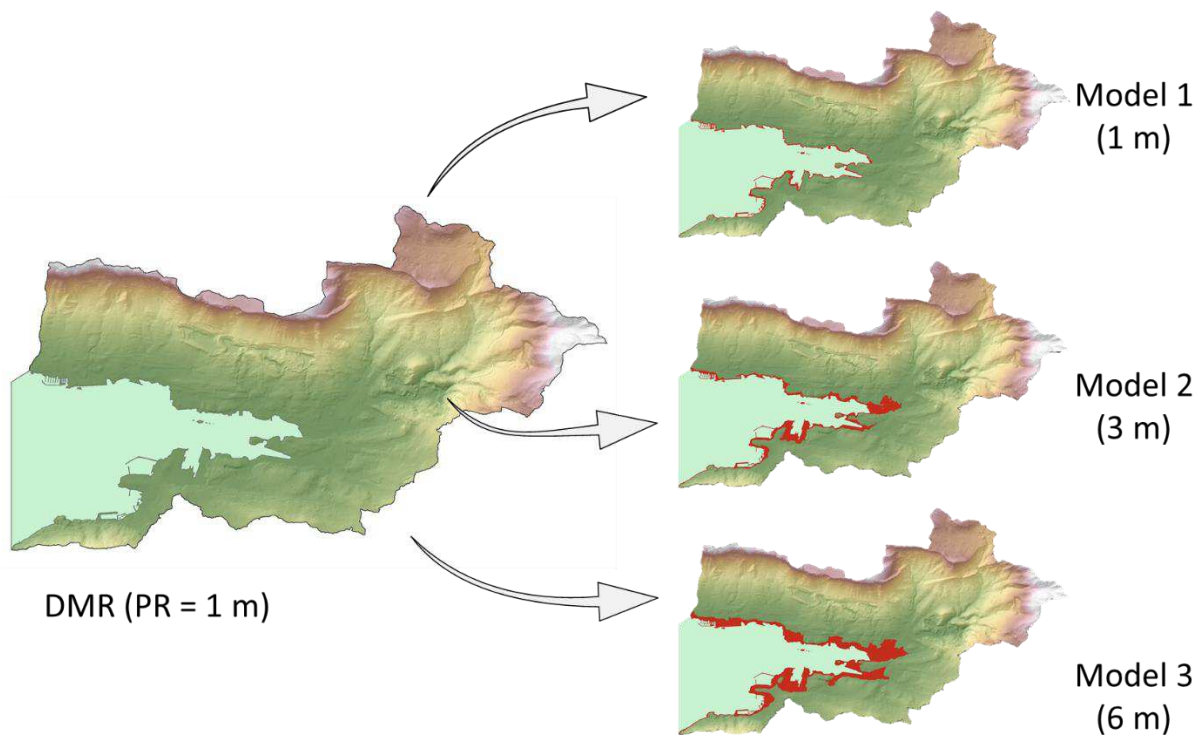
Brojne raziličite studije i znanstvena istraživanja ukazala su na ugroženost pojedinih dijelova (Krišković, 2015; Ružić i Benac, 2016.), ili cijele hrvatske obale (Domazetović i dr., 2017.) od kontinuiranog porasta

morske razine tijekom 21. stoljeća. Da bi se proučile moguće negativne posljedice unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva od budućeg porasta morske razine 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).

Metodologija izrade modela podizanja morske razine

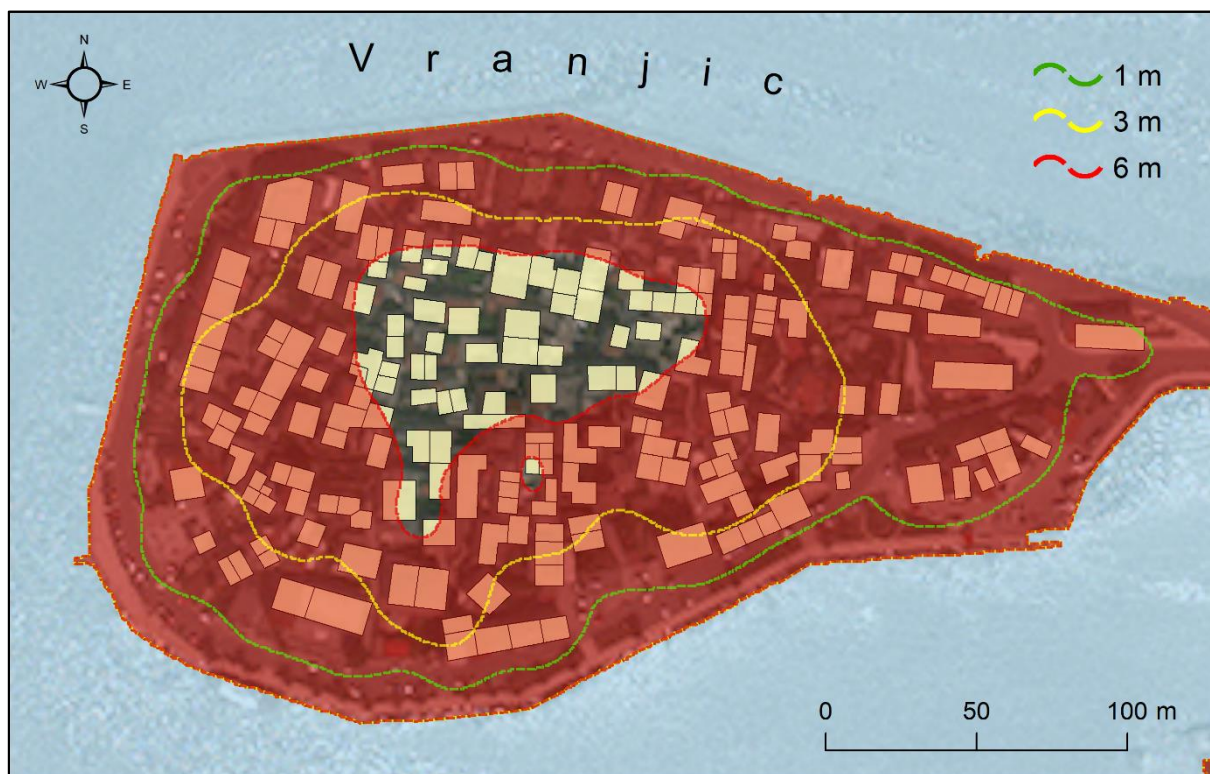
U izradi modela porasta razine Jadranskog mora koristili su se alati iz *Spatial analyst* ekstenzije ArcGIS 10.1 softvera. Kao osnova za izradu modela podizanja morske razine iskorišten je DMR generiran iz aerofotogrametrijskih podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom. Zahvaljujući vrlo visokoj prostornoj rezoluciji ovog DMR-a (60 cm) omogućeno je detaljno modeliranje utjecaja porasta morske razine na priobalni prostor. Uz pomoć alata Raster Calculator izrađena su tri različita modela porasta morske razine na području istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva (Slika I-1.), pri čemu su korištene sljedeća formule za izdvajanje poplavljenih zona:

$$M_1 = DMR \leq 1 m \quad M_2 = DMR \leq 3 m \quad M_3 = DMR \leq 6 m \quad (1)$$



Slika I-1. Izrada modela porasta morske razine iz DMR-a vrlo visoke rezolucije

Generirane poplavne zone predstavljaju dijelove terena koji su niži od modela porasta morske razine, odnosno koji bi pri određenom porastu morske razine (1 m; 3 m; 6 m) bili poplavljeni (Slika I-2.). Pri tome je jasno vidljivo kako s porastom izdizanja morske razine dolazi do postupnog poplavljanja većih dijelova priobalnog prostora (Slika I-2.). 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 moguće pretpostaviti da bi i ove depresije bile potopljene, one su zbog kompleksnosti modeliranja izostavljene iz analize.



Slika I-2. Usporedba maksimalnog prostornog obuhvata poplavnih zona izrađenih modela podizanja morske razine

Procjena utjecaja izrađenih modela podizanja morske razine na obalni prostor

Na temelju tri različita izrađena modela porasta morske razine obavljena je analiza potencijalnih negativnih utjecaja porasta razine Jadranskog mora na širi priobalni prostor istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva, s posebnim naglaskom gusto naseljeni obalni prostor Kaštela i Splita. Pri tome je na temelju svakog izrađenog modela izračunata ukupna površina priobalnog prostora koja bi bila potopljena uslijed određenog izdizanja morske razine. Nadalje, izdvajanjem poplavnih zona omogućena je analiza utjecaj porasta morske razine na različite socioekonomske segmente obalnog prostora. U prvom redu analiziran je utjecaj različitih modela podizanja morske razine na stambene objekte i prometnice.



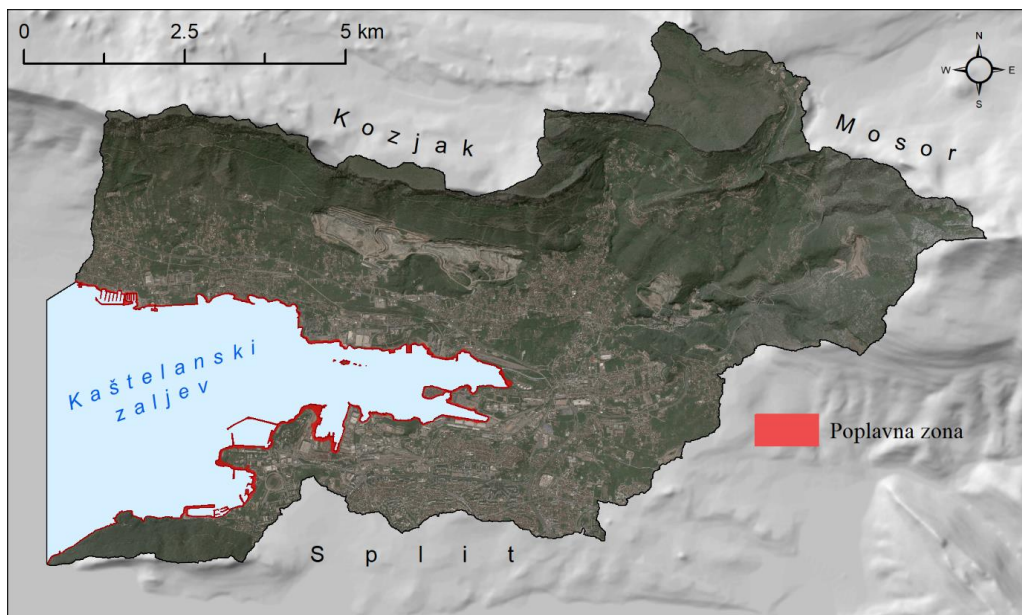
Slika I-3. Utjecaj poplavne zona generirane izdizanjem morske razine za 6 m na objekte i prometnice priobalnog prostora

Izdvojene poplavne zone

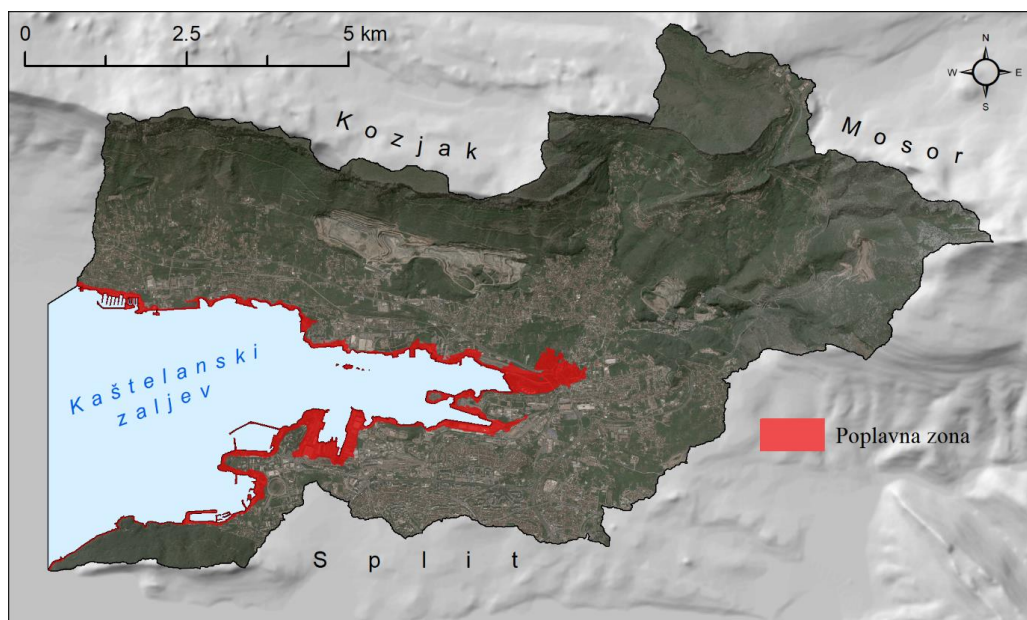
Zbog morfologije reljefa poplavne zone izdvojene iz izrađenih modela porasta razine Jadranskog mora obuhvaćaju površinom relativno velik dio obalnog područja istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva (Tablica I-1.). Niski, zaravnjeni priobalni prostor ugrožen je pri sva tri izrađena modela porasta morske razine (Slika I-4; Slika I-5; Slika I-6.). Utjecaj takvog porasta na priobalnu infrastrukturu i socioekonomske elemente je znatan, što je detaljnije analizirano u nastavku. Međutim, daljnje prodiranje mora pod utjecajem porasta morske razine spriječeno je padinama Kozjaka i Mosora, zbog čega dijelovi naselja smješteni na višim dijelovima obalnog pojasa nisu izravno ugroženi. Površina poplavnih područja varira od samo 0.47 km² (0.81 % ukupne površine područja istraživanja) za model porasta od 1 m, preko 2.12 km² (3.67 % ukupne površine područja istraživanja) za model porasta od 3 m, do 4.12 km² (7.14 % ukupne površine područja istraživanja) za model porasta od 6 m. Uz uži obalni pojas, značajnije prodiranje mora u unutrašnjost prisutno je na prostoru rijeke Jadro, te na prostoru Vranjica i Sjeverne luke.

Tablica I-1. Priobalna površina poplavljena podizanjem morske razine

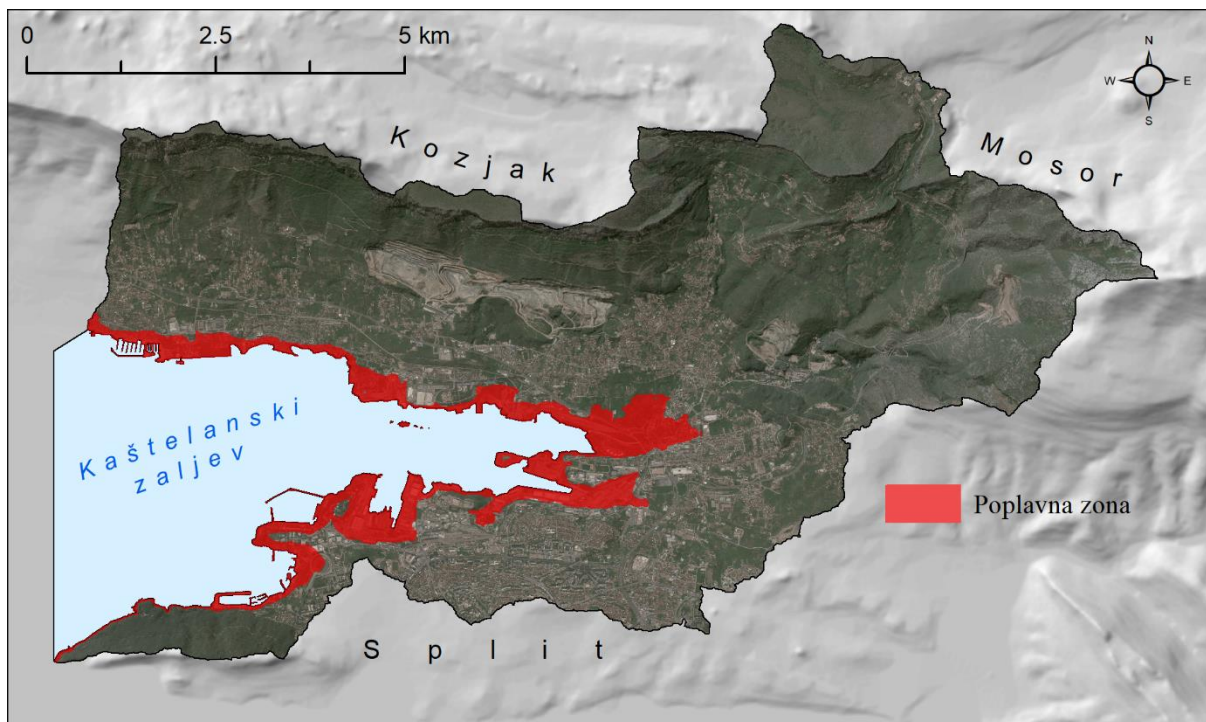
#	Model porasta	Površina (km ²)	Površina (ha)	Udio (%)
1	Model 1 (1 m)	0.47	47.47	0.81
2	Model 2 (3 m)	2.12	212.59	3.67
3	Model 3 (6 m)	4.12	411.98	7.14



Slika I-4. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora pri modelu podizanja morske razine od 1 m (M1)



Slika I-5. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora pri modelu podizanja morske razine od 3 m (M2)



Slika I-6. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora pri modelu podizanja morske razine od 6 m (M3)

Utjecaj poplavnih zona na priobalni prostor

Preklapanjem izdvojenih poplavnih zona s objektima i prometnicama priobalnog prostora utvrđen je broj i površina objekata, te ukupna duljina prometnica zahvaćenih porastom morske razine. Dobivene vrijednosti za sva tri modela (M1; M2; M3) dane su u tablici 2.

Tablica I-2. Utjecaj izrađenih modela porasta morske razine na objekte i prometnice priobalnog dijela šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva

#	Model porasta	Broj objekata	Površina (m ²)	Duljina prometnica (km)
1	Model 1 (1 m)	61	4 712.80	1.19
2	Model 2 (3 m)	473	44 861.47	7.92
3	Model 3 (6 m)	959	146 342.99	17.32

Utjecaj modela M1 na priobalni prostor

Prema izrađenom M1 modelu porast morske razine od 1 m utjecao bi na poplavljanje 0.47 km² (47.47 ha) obalnog prostora područja istraživanja. Iako se radi o relativno malom dijelu obalnog prostora, u odnosu na duljinu cijele obalne linije, već i ovakav porast morske razine imao bi ozbiljne posljedice na obalnu infrastrukturu. Primjerice, ovakav porast morske razine utjecao bi na poplavljanje lučke infrastrukture, brodogradilišta, industrijskih postrojenja, ali i značajnog broja stambenih objekata (Slika I-8; I-9.). Ukupno bi pri ovakvom porastu morske razine izravno bio ugrožen 61 objekt, ukupne površine 4712.80 m², koji se nalaze u neposrednoj blizini mora. Ujedno bi ovakvo izdizanje morske razine utjecalo i na poplavljanje 1.19 km prometnica, smještenih u užem priobalnom pojasu. S obzirom da prema većini procjena porast morske razine tijekom 21. stoljeća ne bi trebao prelaziti 1 m na globalnoj razini, M1 model se može smatrati najvjernijom procjenom ugroženosti istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva.



Slika I-7. Dijelovi obalnog prostora na prostoru Vranjica zahvaćeni izdizanjem morske razine za 1 m



Slika I-8. Industrijska postrojenja na prostoru Kaštela zahvaćeni izdizanjem morske razine za 1 m



Slika I-9. Gusto naseljeni dio na prostoru Kaštel Sućurca zahvaćeni izdizanjem morske razine za 1 m

Utjecaj modela M2 na priobalni prostor

Utjecaj modela M2 na obalni prostor je daleko izraženiji nego u slučaju M1 modela. Prema izrađenom M2 modelu porast morske razine od 3 m utjecao bi na poplavljanje 2.12 km² (212.59 ha) obalnog prostora. Izdizanje morske razine za 3 m u potpunosti bi uzrokovalo potapanje obalne infrastrukture, pri čemu bi potopljen bio cijeli obalni prostor i sve prometnice u neposrednoj blizini mora. Također, tome treba pridodati vrlo velik broj izravno potopljenih objekata, njih ukupno čak 473 (44 861.47 m). Najviše stambenih objekata bilo bi potopljeno na prostoru Kaštela, dok bi na prostoru Splita i Solina pretežito bila ugrožena lučka infrastruktura. Ukupno 7.92 km prometnica bilo bi potopljeno u priobalnom prostoru, čime bi znatno bilo otežano funkcioniranje i povezivanje ovog prostora.



Slika I-10. Dijelovi obalnog prostora na prostoru Vranjica zahvaćeni izdizanjem morske razine za 3 m



Slika I-11. Industrijska postrojenja na prostoru Kaštela zahvaćeni izdizanjem morske razine za 3 m



Slika I-12. Gusto naseljeni dio na prostoru Kaštel Sućurca zahvaćeni izdizanjem morske razine za 3 m

Utjecaj modela M3 na priobalni prostor

Prema modelu M3 porast morske razine od 6 m imao bi katastrofalne posljedice na priobalni prostor istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva. Ukupno bi na ovom prostoru bilo potopljeno 959 objekata, ukupne površine 146 342.99 m², dok bi ukupna duljina potopljenih prometnica iznosila 17.32 km.



Slika I-13. Dijelovi obalnog prostora na prostoru Vranjica zahvaćeni izdizanjem morske razine za 6 m



Slika I-14. Industrijska postrojenja na prostoru Kaštela zahvaćeni izdizanjem morske razine za 6 m



Slika I-15. Gusto naseljeni dio na prostoru Kaštel Sućurca zahvaćeni izdizanjem morske razine za 6 m

Zaključak

Sva tri izrađena modela porasta morske razine pokazala su da su znatni dijelovi priobalnog pojasa istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva izravno ugroženi. Već pri minimalnom analiziranom porastu morske razine (M1) preko 60 objekata izravno se nalazi u poplavnoj zoni, dok se izravno ugroženo područje prostire na gotovo 50 ha. S obzirom da M1 predstavlja najizgledniji scenarijo porasta morske razine, moguće je zaključiti da je priobalni prostor kaštelanskog zaljeva znatno ugrožen daljnjim porastom morske razine. U slučaju značajnijeg porasta morske razine (M2 ili M3) proporcijalno raste ugroženost priobalnog prostora i socioekonomskih elemenata. Tako već kod modela M2 značajan dio objekata (473) i obalne infrastrukture (7.92 km prometnica) je izravno unutar poplavnih zona, dok kod modela M3 izdizanje morske razine ima katastrofalne posljedice za naselje s 959 potopljenih objekata.

2. Model rizika od izbijanja otvorenog požara

Uvod

Jedna od značajnih preventivnih mjera u sprječavanju požara je određivanje **rizika od izbijanja požara raslinja**. U engleskoj literaturi za požare koji izbijaju na otvorenom prostoru pretežno se koriste nazivi *Wildfire* ili *Forest Fire*. U hrvatskom jeziku udomaćili su se nazivi šumski požar ili požar otvorenog prostora. Šumski požar je po samom značenju riječi požar u kojem gori šuma, dok je požar otvorenog prostora bilo koji požar koji se ne događa u zatvorenom prostoru. Prema tome požar otvorenog prostora uključuje i požare građevina i drugih struktura koje su se cijele zapalile, pa nije potrebno kod gašenja požara ući u unutrašnji prostor. Požar kod koje je primarna goriva tvar isključivo vegetacija, a ne ljudske tvorevine, u engleskoj se literaturi uobičajava nazivati *Wildfire*.

Opasnost od izbijanja požara raslinja (eng. *Forest Fire Danger*) je rezultat konstantnih i promjenjivih čimbenika vezanih s zapaljenjem, širenjem, teškoćom gašenja i utjecajem vatre na okolinu.

U literaturi se mogu se razlikovati tri osnovna tipa opasnosti povezana s požarima:

- a) **opasnost zapaljenja** (eng. *Ignition Danger*) – čine ga faktori vezani za inicijalno zapaljenje požara raslinja
- b) **opasnost širenja** (eng. *Propagation Danger*) – čine ga faktori koji pogoduju širenju vatre
- c) **ranjivost** (eng. *Vulnerability*) - čine ga faktori vezani s potencijalnom štetom koju požar može napraviti na okoliš i socio-ekonomske elemente

Prema terminologiji **rizik izbijanja požara raslinja** je "rizik pojave vatre uzrokovane prisutnošću i aktivnošću bilo kojeg uzroka paljenja požara s isključenom infrastrukturom". Procjena rizika požara raslinja u užem smislu, bez uključivanja mogućih šteta, uključuje **identificiranje i kvantificiranje rizičnih varijabli**, te proračun numeričkog pokazatelja koji se naziva **indeks rizika od izbijanja požara raslinja** (eng. *Forest Fire Risk Index*). Indeks iskazuje stupanj rizika požara raslinja i vezan je s određenim zemljopisnim područjem. U literaturi postoji mnogo načina izračuna indeksa rizika izbijanja požara raslinja.

Šumski požari (požari raslinja) su složene pojave koje se uglavnom događaju kao rezultat prirodnih i ljudskih čimbenika. Mnoge zemlje koje su suočene s problemima požara razvile su sustave procjene opasnosti od požara kako bi upravljale tim kompliciranim pojavama (Viegas i dr. 1999). Znanje stečeno kroz ove sustave omogućava agencijama civilne zaštite da **identificiraju rizična područja** i planiraju potrebne **preventivne i kontrolne** akcije (Deeming i sur. 1977; Hoffmann i sur. 1999; Taylor i Alexander

2006; Van Wagner 1987). Prostorni podaci koji se uzimaju u obzir pri identificiranju pojava divljih požara često se prikupljaju, upravljaju, analiziraju i prezentiraju primjenom geografskih informacijskih sustava (Chou 1992a; Chuvieco i Congalton 1989; Preisler et al. 2004).

Procjena opasnosti od požara, odnosno procjena onih uvjeta koji mogu dovesti do paljenja vatre (eng. *fire ignition index*) problematika je koja nije dovoljno obrađena u znanstvenoj literaturi. **Indeks izbijanja požara raslinja** (*Fire Ignition Index*) uzima u obzir varijable koje utječu na **vjerojatnost početka/nastanka požara**. U pravilu se u literaturi po važnost (težinskim koeficijentima) ističu kriteriji koji reprezentiraju pojavu požara izazvanu primarno **čovjekovim djelovanjem**.

Generalno, izbijanje otvorenih požara može biti posljedica:

- 1) **prirodnih uzroka** (npr. udar groma, sušna razdoblja...)
- 2) **namjernog djelovanja** čovjeka (npr. piromani...)
- 3) **nenamjernog djelovanja** čovjeka (npr. bacanje otpada, opuška...)

Posljednjih nekoliko desetljeća na **području Mediterana**, uslijed povećanja **temperaturnih ekstrema** i povećanja **učestalosti toplinskih valova** s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka većom od 30 °C, prisutan je generalni trend **povećanja opožarene površine, učestalosti požara**, njihovog **intenziteta i žestine**. U Hrvatskoj je taj trend također uočljiv (Bakšić i dr., 2015).

U požarnoj je sezoni, prema razdoblju **1981–2010**, najugroženije područje u Hrvatskoj, s obzirom na požare raslinja, **dalmatinska obala** s otocima i **dalmatinsko zaleđe** (Barešić, 2011). Glavni razlozi su dugotrajna **sušna razdoblja** s visokom temperaturom zraka. Tu potencijalnu opasnost od šumskih požara svakako povećava i **ljudski čimbenik** zbog povećanog broja turista u ljetnim mjesecima (Bakšić i dr., 2015).

U tom kontekstu potrebno je promatrati drenažni bazen **Kaštelanskog zaljeva** gdje je specifična struktura reljefa i sastava tla podijelila ukupni prostor na područja obuhvaćena različitim vrstama vegetacije koje su izuzetno podložna za izbijanje otvorenih požara. Jedan od najopasnijih požara koji su u novije vrijeme zahvatili prostor RH se dogodio u **srpnju, 2017. godine**. Požar je izbio oko jedan sat ujutro na području sela **Tugara** u omiškom zaleđu. Nošen snažnom burom bez oborina na vidiku brzo se širio poljima te je ubrzo zahvatio i splitska predgrađa (Slika I-16).

TRAGIČNI PRIZORI

POŽARNA APOKALIPSA Split obranjen, ali vatra se opet širi njegovom okolicom, u Strožancu i Podstrani cijele noći vladao pakao, izgorjelo nekoliko kuća



Slika I-16. Požar (srpanj, 2017)

U večernjim satima požar je zahvatio istočna splitska predgrađa te Karepovac. Međutim, u večernjim satima brojni su vatrogasci, ali i civili, nakon duge borbe uspjeli vatru staviti pod kontrolu.

U nastavku je na slici I-17. prikazano još nekoliko recentnih primjera izbijanja otvorenih požara na proučavanom području.

1/10

Fotografija

PUŠE I BURA

VATROGASCI OPET U AKCIJI GAŠENJA IZNAD SPLITA: Veliki požar izbio kod Gornjeg Ropotina



VIDEO Požar kod splitskog šoping centra, gori blizu zgrada



Slika I-17. Primjeri izbijanja požara na proučavanom području

Velik problem predstavljaju i ilegalni divlji deponiji smeća gdje nerijetko zna doći do izbijanja požara (Slika I-18). Te prostore je zbog vrste i strukture odbačenog materijala otežano gasiti, a produkt gorenja, izuzev gustog crnog dima (Slika I-19), je često nesnosan smrad koji smanjuje kvalitetu zraka i života okolnom stanovništvu.

VELIKI POŽAR KOD TTTS-a Crni oblak dima nad istokom Splita, gori veliki ilegalni deponij



Slika I-18. Izbijanje požara na ilegalnom deponiju



Slika I-19. Dimni oblak (2017) nastao gorenjem Karepovca

Dakle, u ovoj analizi generiran je **indeks rizika izbijanja požara raslinja** (*Fire Ignition Index*) za **drenažni bazen Kaštelanskog zaljeva**. Analiza je provedena **unutar drenažnog bazena** površine 5768 ha. Izvedena su **dva modela/scenarija rizika** te predložene mjere za njihovu prevenciju.

U **prvom** model rizik izbijanja požara raslinja izvedeni su **različiti težinski koeficijenti** za definirane kriterije, s naglaskom na važnost kriterija **zemljišnog pokova** (tip gorivnog materijala) i **antropogenog utjecaja** (blizina ceste i blizina prometnica). Naime, opće je prihvaćeno da je čovjek svojim (ne)namjernim djelovanjem jedan od glavnih uzročnika izbijanja požara. Unutar područja proučavanja za navedeno postoji i nekoliko dokumentiranih primjera (Slika I-20).

Kako je izbio požar u Splitu? Nađena boca, snimljen auto stranih tablica



VIDEO Lokaliziran požar na Marjanu, vatrogasci ostaju dežurati preko noći



Slika I-20. Primjeri izbijanja požara na proučavanom području nastali ljudskim djelovanjem

Nadalje, zemljišni pokrov je dobio najveći težinski koeficijent zato jer ovo područje obilježava tip vegetacije koja ima izrazitu podložnost zapaljenju (Slika I-21).

VELIKI POŽAR IZNAD KAŠTELA Podignute zračne snage: Jugo jača, vatru gase brojna društva splitskog područja

Autor: RADE POPADIĆ / Foto: Dalmacija Danas, Čitatelji - 3. kolovoza 2020.



Slika I-21. Primjer izbijanja požara iznad kaštela na području borove šume i makije

U **drugom** modelu rizika izbijanja požara raslinja svih definiranim kriterijima su dodjeljeni **isti težinski koeficijenti**. Analiza je izvedena zato jer generiranje indeksa rizika od izbijanja požara može biti od suštinske važnosti za **uspostavljanje učinkovitog sustava prevencije i kontrole** šumskih požara. Svrha analize je detektiranje **najpodložnijih** zona, odnosno onih prostora na kojima postoji **najveći rizik** od izbijanja požara na području drenažnog bazena Kaštelanskog zaljeva.

Nakon izvođenja modela te utvrđivanja prostora s **najvećim rizikom** od izbijanja požara raslinja predložen je **sustav mjera** za njihovu prevenciju.

GIS-MCDA

Indeks izbijanja požara je izveden primjenom **višekriterijske GIS analize (GIS-MCDA)**. Višekriterijska analiza (MCDA) je napredna poddisciplina operacijskih istraživanja i upravljanja, posvećena razvoju metoda i alata za podršku u odlučivanju pri rješavanju složenih problema, koji uključuju više kriterija i ciljeva, često oprečnog karaktera.

MCDA tehnike se koriste u širokom spektru problematike upravljanja (Linkov i dr., 2006, Ananda i Herath, 2009): analizama energetske politike (Haines i Hall, 1974), upravljanju šumama (Wolfslehner i dr., 2005), zaštiti prirodnih područja (Kiker i dr., 2005), upravljanju vodama (Keeney i dr., 1996), močvarnim područjima (Herath, 2004) te zaštićenim područjima (Prato, 2006, Khalili i Duecker, 2013). Između ostalog i u analizama gdje je potrebno uspostaviti ravnotežu između ponekad suprotnih zahtjeva (Linkov i dr., 2006). MCDA tehnike se često povezuju s paradigmatom prilagodljivog (adaptivnog) upravljanja koje uvažava da donositelj odluka nema potpuno znanje o sustavu kojim upravlja.

Konvencionalne višekriterijske analize donošenja odluka su uglavnom zanemarivale **prostornu komponentu** kroz pretpostavljanje prostorne homogenosti unutar istraživog područja. Takva pretpostavka u mnogim slučajevima odstupa od stvarnosti jer vrednovanje kriterija ovisi o specifičnom prostoru (Malczewski, 1999). Stoga donošenje primjerenih prostornih odluka sve više zahtjeva kombinaciju **MCDA** i **GIS-a** (Malczewski, 2006). Integracija MCDA i GIS-a poboljšava strukturu donošenja odluka kroz izvođenje prostornih analiza i vizualizaciju podataka (Uhde i dr., 2015) zbog čega predstavljaju značajno odstupanje od konvencionalnih tehnika (Malczewski, 1999). Integracija MDCA i GIS je bila ključna u razvoju paradigme

potpore prostornom odlučivanju (Goodchild, 1993) u kojima je GST donositeljima odluka postala neizostavan alat (Malczewski, 2006). Na najosnovnijoj razini **GIS-MCDA** se može sagledati kao proces koji transformira i kombinira geografske podatke u procesu izvođenja informacija prilikom donošenja odluka (Malczewski, 2006). Višekriterijska GIS analiza može se definirati kao proces transformiranja i kombiniranja geografskih prostornih podataka u svrhu dobivanja novih informacija o objektu proučavanja, nužnih za donošenje određenih odluka (Borouhaki i Malczewski, 2010; Malczewski, 2015.).

Proces GIS-MCDA se sastoji od **šest koraka** (Malczewski i Rinner, 2015). Donošenje odgovarajućih odluka uključuje niz aktivnosti koji započinju s **prepoznavanjem i definiranjem problema** te **postavljanjem cilja** (1). Za početak se uočava problem koji se može riješiti primjenom različitih tehnoloških rješenja (Deluka-Tibljaš i dr., 2013). Problem se može definirati kao uočena razlika, odnosno praznina između željenog i

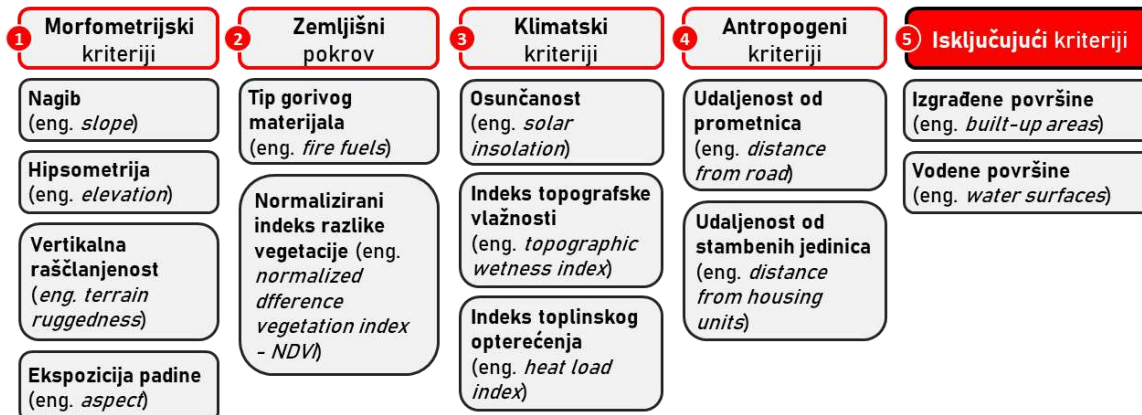
postojećeg stanja nekog sustava (Malczewski, 1999). Rješavanje uočenog problema predstavlja konačni cilj istraživanja. Izvode se varijante njegova rješenje te se odabire najbolja odluka koja se može primijeniti kako bi se problem uklonio, a željeni cilj ostvario. Odluka označava odabrani izbor između više alternativa, dok je cilj ono čemu višekriterijska analiza prethodi. Željeni cilj mora biti SMART (Domazetović, 2018). Akronim **SMART** označava poželjne značajke zadanog cilja. (S) (eng. *specific, significant*) označava jasno i dobro definiran problem koji je kao takav značajan u proučavanom kontekstu. (M) (eng. *measurable*) predstavlja mogućnost kvantitativnog praćenja procesa ostvarenja tog cilja. (A) (eng. *agreed upon, attainable, achievable, acceptable*) se uglavnom odnosi na prihvatljivost i ostvarivost rješavanja problema. (R) (eng. *realistic, relevant*) predstavlja (ne)realnost i relevantnost rješavanja definiranog problema. (T) (eng. *time-based, time-bound, timely, tangible, trackable*) se odnosi na vremensku komponentu cilja. Nakon što se problem definira i cilj postavi, potrebno je **odrediti (mjerljive) kriterije** (Slika I-22) u procesu njegova ostvarivanja (2).

1. DEFINIRANJE CILJA

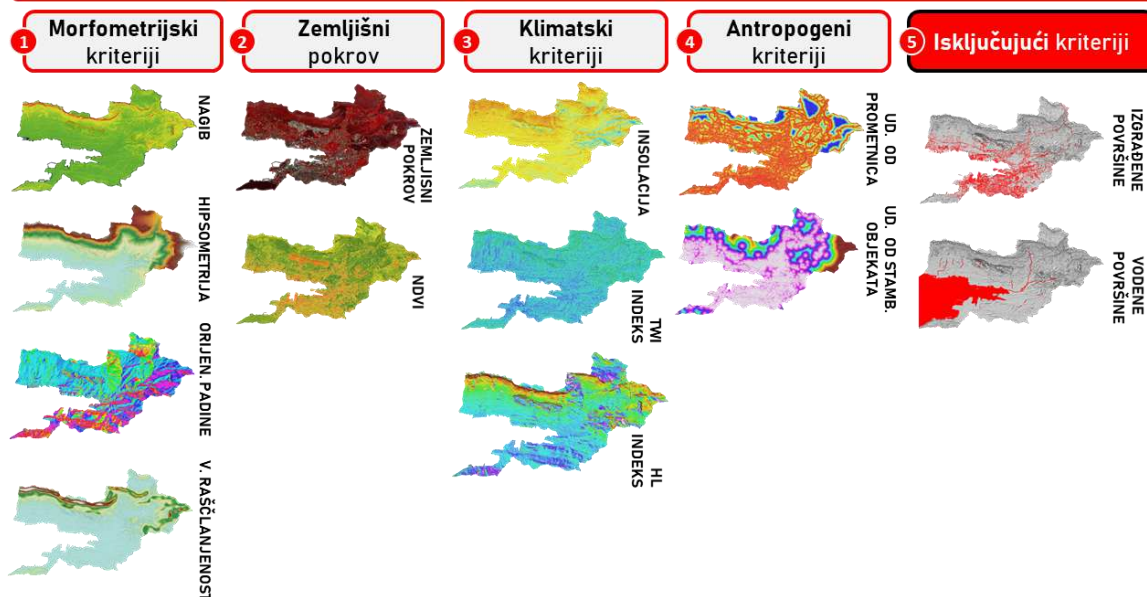
IZVOĐENJE INDEKSA RIZIKA OD IZBIJANJA POŽARA

(Fire Ignition Index)

2. ODREĐIVANJE KRITERIJA



3. IZVOĐENJE KRITERIJA



Slika I-22. Shema 1., 2., i 3., koraka GIS-MCDA u izvođenju indeksa rizika izbijanja raslinja

Kriteriji označavaju skup zahtjeva koji se primjenjuju kao osnova za odlučivanje. Postoje dvije vrste kriterija: čimbenici i ograničenja (*boolean*). Čimbenici predstavljaju parametre koji pojačavaju ili smanjuju pogodnost nekog kriterija za razmatranu alternativu.

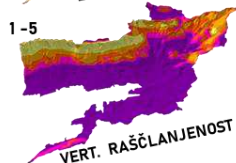
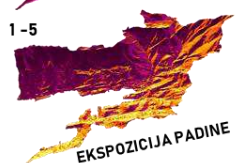
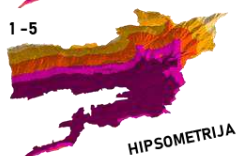
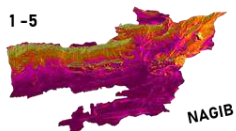
Pogodnost je značajka poželjnosti atributa ili zahtjeva za specifičnu namjenu. Ograničenja reprezentiraju isključujuće elemente unutar neke razmatrane alternative. Postupak izvođenja višekriterijskih analiza uključuje tri glavna problema: skaliranje vrijednosti (**standardizacija**) (3), **određivanje pondera** (4) i **okupljanje kriterija** (5) (Malczewski i Rinner, 2015). Nakon definiranja, kriterije je potrebno standardizirati.

Standardizacija se odnosi na postavljanje vrijednosti kriterija na istu skalu (npr. 1-5) kako bi bilo moguće njihovo međusobno uspoređivanje. Nakon standardizacije određuju se **težinski koeficijenti** (ponderi) za svaki kriterij. Postoji nekoliko različitih metoda određivanja pondera (Malczewski i Rinner, 2015). Potom se standardizirani kriteriji sa zadanim ponderima okupljaju u model izveden prema preferencijama interesne grupe ili donositelja odluka (Slika I-23). Završni korak je provjera i analiza rezultata kojom se procjenjuje pouzdanost rješenja, odnosno ostvareni cilj.

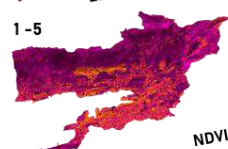
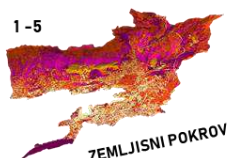
Nakon odabira najboljeg rješenja stupa faza nadzora rezultata njezine **provedbe**. Odabrano rješenje se vrednuje primjenom različitih kvantitativnih i kvalitativnih mjera (Deluka-Tibljaš i dr., 2013). Takav proces je iterativan što znači da se omogućuje integracija novih spoznaja u proces rješavanja uočenih problema.

4. STANDARDIZACIJA KRITERIJA

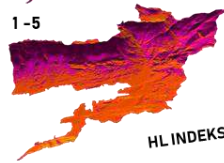
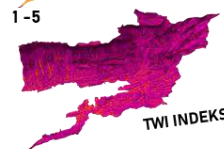
1 Morfometrijski kriteriji



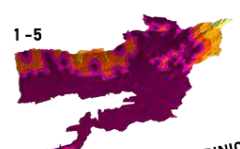
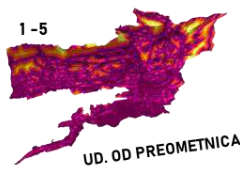
2 Zemljišni pokrov



3 Klimatski kriteriji



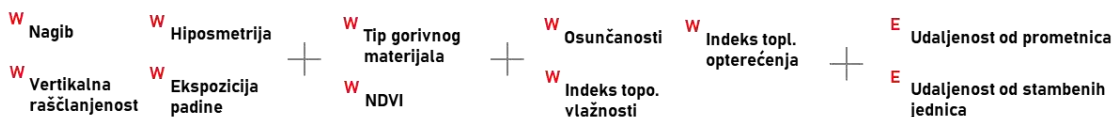
4 Antropogeni kriteriji



5 Isključujući kriteriji



5. ODREĐIVANJE TEŽINSKIH KOEFICIJENATA (AHP)



6. IZRADA MODELA RIZIKA OD IZBIJANJA POŽARA

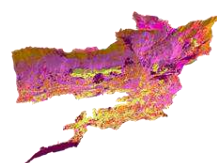
$$P = \sum W_i X_i * \prod c_j$$



Model **RIZIKA** od **IZBIJANJA POŽARA**

0,76-1 / izrazito visok
 0,61-0,75 / visok
 0,41-0,60 / umjeren
 0,26-0,40 / nizak
 0-0,25 / izrazito nizak

Stupnjevi rizika



Slika I-23. Shema 4., 5., i 6., koraka GIS-MCDA u izvođenju indeksa rizika izbijanja raslinja

Definiranje kriterija

U procesu GIS-MCDA izvođenja indeksa rizika od izbijanja požara (eng. *Fire Ignition Index*) korištene su **četiri grupe** kriterija **kontinuiranih** vrijednosti i jedna grupa **isključujućih** (*boolean*) kriterija. Četiri grupe kriterija kontinuiranih vrijednosti uključuju:

- 1) **Morfometrijski** kriteriji
(nagib, hipsometrija, ekspozicija padine, vertikalna raščlanjenost)
- 2) **Vegetacijski** kriteriji
(tip gorivog materijala, vegetacijski indeks normalizirane razlike - NDVI)
- 3) **Klimatski** kriteriji
(insolacija/osunčanost, indeks toplinskog opterećenja, indeks topografske vlažnosti)
- 4) **Antropogeni** kriterij
(udaljenost od prometnica, udaljenost od stambenih jedinica)

U nastavku je dano kraće objašnjenje metodologije prikupljanja i obrade pojedinih odabranih kriterija u izvođenju **indeksa rizika od izbijanja požara**.

Kriteriji izdvojeni iz DMR-a šireg prostora Kaštelanskog zaljeva se mogu podijeliti na primarne i sekundarne parametre. **Primarni** parametri su oni parametri koji se izravno izvode iz DMR-a, a koriste se za opisivanje morfologije reljefa (Wilson i Gallant, 2000; Šiljeg, 2013.). **Sekundarni morfometrijski** kriteriji nazivaju se još i složenim parametrima, jer nastaju kombinacijom dva, ili više primarna parametara (Wilson i Gallant, 2000.). Od primarnih parametara izdvojeni su hipsometrija (*elevation*) **nagib padina** (*slope*), **ekspozicija padina** (*aspect*) i **vertikalna raščlanjenost terena** (*terrain ruggedness*) od sekundarnih parametara, koji su u ovoj analizi svrstani u klimatske kriterije izdvojeni su **topografski indeks vlažnosti** (*topographic wetness index – TWI*) i **indeks toplinskog opterećenja** (*heat load index – HLI*).

• Nagib

Nagib (engl. *slope*) predstavlja mjeru strmine površine nekog terena u određenom smjeru (De Smith i dr., 2007.) Iako postoje različite metode za izračun nagiba unutar *Spatial Analyst* ekstenzije, u ovome radu je korištena *Hornova metoda* (Horn, 1981; Jennes, 2012; Šiljeg, 2013.).

Vrijednosti nagiba izvedene su uporabom alata *Slope*, koji unutar pomične rešetke od 3 * 3 rasterske ćelije izračunava nagib padine za središnju ćeliju, na temelju maksimalne stope promjene vrijednosti visina između središnje ćelije i okružujućih susjednih ćelija (Zeverbergen i Thorne, 1987; Šiljeg, 2013.). Vrijednosti nagiba padine mogu se iskazati u stupnjevima (0 – 90°) ili postocima (0 – 100 %). U ovoj su analizi odabrani stupnjevi. Nagib je važan kriterij u ponašanju vatre te je povezan s insolacijom i vlažnošću zraka.

Većina požara se događa na padinama između **0 i 20 stupnjeva** i područjima **južne ekspozicije**. Utvrđeno da se stopa izbijanja šumskih požara izrazito opada s povećanjem nagiba (Jo i dr., 2000). Međutim, ukoliko se modelira **smjer širenja požara** situacija je drugačija. U tom slučaju visoki nagibi terena ubrzavaju širenje vatre. Naime, dolazi do izdizanja toplog zraka, što rezultira predgrijanjem gorivnog materijala koji se nalazi uzbrdo čime dolazi do bržeg napredovanja vatre uzbrdo nego nizbrdo (Rawat, 2003). Dakle, strmi nagibi povećavaju brzinu širenja zbog učinkovitijeg vezivnog predgrijavanja i paljenja. Zbog toga južne i zapadne padine imaju dulju požarnu sezonu, duže razdoblje gorenja i veći broj požara od sjevernih padina (Brown i Davis, 1973, Antonietti, 1993).

- **Hipsometrija**

Nadmorska visina indirektno utječe na sastav vegetacije, vlažnost gorivnog materijala i vlažnost zraka. Većina šumskih požara događa se na nadmorskoj visini **do 100 m**. Izbijanja požara na većim nadmorskim visinama u pravilu je rjeđe zbog **nije temperature** i **veće količine padalina** (Rawat, 2003, Kant Sharma i dr., 2012).

- **Ekspozicija/orijentacija padine**

Ekspozicija padine (engl. *aspect*) predstavlja orijentaciju padine određenu u smjeru kazaljke na satu prema kutu kojeg zatvaraju referentni pravac i pravac padine, pri čemu se za referentni pravac najčešće uzima smjer sjevera (Šiljeg, 2013; Florinsky, 2016.). Unutar ekstenzije *Spatial Analyst* vrijednosti ekspozicije padina se računaju prema Hornovoj metodi (Jennes, 2012.). Vrijednosti ekspozicije padina iskazuju se u stupnjevima ($0 - 360^\circ$), s iznimkom zaravnjenih područja kojima se pridodaje vrijednost -1 . Ekspozicija je, uz nagib, najčešće korištena varijabla u morfometrijskim analizama (Zhou i Liu, 2002). U konceptualnom smislu, funkcija ekspozicije odnosi se na izračun vrijednosti ekspozicije središnjeg piksela u odnosu na osam susjednih (mreža piksela 3×3). Smjer prema kojem je ploha okrenuta predstavlja ekspoziciju za središnji piksel. Uvjeti za izbijanje požara dramatično se razlikuju ovisno o orijentaciji padine.

Orijentacija padine je povezana s količinom sunčeve svjetlosti koju područje prima. **Južne** i **zapadne** ekspozicije dobivaju više sunčeve svjetlosti od **sjevernih** i **istočnih** (Kant Sharma i dr., 2012). Općenito, većina požara izbija na područjima južne ekspozicije.

- **Vertikalna račlanjenost**

Vertikalna raščlanjenost (eng. *the terrain ruggedness index* - TRI) predstavlja relativnu visinsku razliku između najniže i najviše nadmorske visine unutar nekog područja. U većini istraživanja smatra se da požar **češće nastaje** na terenima koje obilježava **manja energija reljefa**. Razlog tome je činjenica da je (ne)namjerno djelovanje čovjeka jedan od glavnih uzroka požara te da se požari često javljaju na zapuštenim poljoprivrednim parcelama te na pristupačnijem (za hod ili vožnju) terenu.

- **Tip gorivnog materijala/zemljišni pokrov**

Kriterij **tipa gorivnog materijala** se u ovom slučaju odnosi na rizik izbijanja požara na specifičnom tipu vegetacijskog pokrova (Setiawan i dr 2004). "Gorivo" predstavljaju organsku tvar dostupnu za paljenje i izgaranje i predstavlja jedan faktor koji se odnosi na vatru koju ljudi mogu kontrolirati (Rothermel, 1972; Albini, 1976; Salas i Chuvieco, 1994). Ovaj kriterij izveden je iz modela vegetacijskog pokrova. Vrste tipa gorivnog materijala su klasificirane su prema zapaljivosti koja utječe na paljenje i širenje šumskih požara (Kant Sharma i dr, 2012). Podatak o vegetacijskom pokrovu generiran je primjenom objektno-orijentiranih analiza (GEOBIA) u GIS softveru na temelju multispektralnog snimka šireg područja Kaštelanskog zaljeva. Metodološki proces izvođenja modela zemljišnog pokrova prikazan je u prethodnim izvještajima. Prostorna rezolucija modela zemljišnog pokrova iznosila je 1 m, što je omogućilo detaljno izdvajanje različitih tipova vegetacijskog pokrova. Ukupno je izdvojeno **11 različitih tipa zemljišnog pokrova** koji su prema riziku od izbijanja požara klasificirani u **5 klasa**. U 5 klasu (izrazito visok rizik izbijanja požara) primjerice spadaju tip vegetacijskog pokrova *Bor* i *Makija*, dok primjerice u klasu 2 (nizak rizik od izbijanja požara) spada tip vegetacijskog pokrova *Smeđe tlo*. Generalno, listopadna vegetacija ne gori jednako brzo ili intenzivno kao zimzelena.

Međutim, listopadna vegetacija može biti izrazito zapaljiva u rano proljeće, neposredno prije pojave novih listova. Tijekom tog razdoblja razina vlage u drveću je niska, povećavajući njihovu zapaljivost. Vatra se ne širi jednako na listopadnoj i zimzelenoj vegetaciji. Naime, listopadna vegetacija ima odsustvo "gorivnog" materijala koji bi trebao omogućiti "penjanje" vatre, stoga se vatra uglavnom ne prenosi na visoke krošnje tih stabala. Fizička svojstva te vegetacije, koja uključuju visoku bazu krošnje, veći udio vlage u lišću te glatka kora, također ne pogoduju intenzivnom ponašanju vatre.

S druge strane kod crnogorične vegetacije, labava i hrapava kora djeluje kao "ljestve" za prenošenje vatre na krošnju. Vegetacija Mediterana po mnogo čemu je specifična, pa tako i po uzročno-posljedičnoj vezi sa šumskim požarima. Kemijski sastav drveća, grmlja i prizemnog rašća od velike je važnosti za inicijalnu zapaljivost i daljnju gorivost, jer neke biljne vrste sadrže lako zapaljive tvari. Poznato je da su četinjače zbog obilja smole najlakše zapaljive.

- **Vegetacijski indeks normalizirane razlike - NDVI**

NDVI je jedna od najpopularnijih mjera u analizama vegetacijskog pokrova. Izračun NDVI-a rezultira vrijednostima od (-1) do (+1). Vrijednost (0) označava izostanak vegetacije, dok vrijednosti blizu (+1) označavaju visoku gustoću zelene (klorofilom) bogate vegetacije. Vrijednosti manje od -0.1 označavaju kamenite, izgrađene, pjeskovite površine (izostanak vegetacije). Srednje vrijednosti (do 0.3) označavaju umjereno gustu vegetaciju. NDVI je osjetljiv na sadržaj klorofila u listu (veće vrijednosti ukazuju na veću količinu klorofila). Masri i dr., 2003. klasificiraju NDVI na način da **veće vrijednosti** predstavljaju **veći rizik od izbijanja požara**.

- **Insolacija/osunčanost**

Insolacija može snažno utjecati na sadržaj vlage (veća insolacija = brže isušivanje) u vegetaciji. Gorivni materijal izložen izravnoj solarnoj radijaciji postaje mnogo topliji od okolnog zraka. Veće vrijednosti osunčanosti, uglavnom na južnim padinama, mogu uzrokovati veći **vodeni stres** u vegetaciji, time povećavajući vjerojatnost izbijanja požara (Hernandez-Leal i dr., 2008). Ekstremno visoke temperature, osobito ako su dugotrajne, pokazatelj su vremenskog stanja koje pospješuje isušivanje mrtvog gorivog materijala na tlu, ali i vegetacije općenito, te se na taj način povećava potencijalna opasnost od požara raslinja u toplom dijelu godine (Bakšić i dr., 2015).

- **Indeks topografske vlažnosti**

Topografski indeks vlažnosti (TWI), poznat i kao kombinirani topografski indeks (engl. *compound topographic index*) predstavlja mjeru potencijalne vlažnosti određenog terena, koja omogućava izdvajanje i razlikovanje prostora zasićenih vodom (npr. doline, uvale, ponikve, jaruge, itd.), od prostora manje zasićenosti (npr. grebeni, kukovi, vrhovi, strmije padine) (Wilson i Gallant, 2000; Florinsky, 2016.). Vlažnost terena određuje se na temelju modela otjecanja (*flow direction*) i iz njega izvedenog modela akumulacije (*flow accumulation*) te modela nagiba terena (*slope*). TWI ili CTI je čvrsto povezan s vlagom tla. Veće vrijednosti indeksa označavaju potencijalno veću vlažnost terena, odnosno u ovom slučaju manji rizik za izbijanje požara.

- **Indeks toplinskog opterećenja**

Indeks toplinske opterećenja (eng. *heat load index* - HLI), izravna je mjera upadnog zračenja, izračunatog iz digitalnog modela nadmorske visine (DEM). Jugozapadno orijentirani nagibi trebali bi

imati veću temperaturu od nagiba orijentiranih jugoistoka, iako mi je količina sunčevog zračenja koja primaju jednaku.

- **Udaljenost od prometnica i stambenih jedinica**

U literaturi je **čovjekovo (ne)namjerno** djelovanje prepoznato kao **najčešći uzrok** izbijanja požara. Stoga ne čudi činjenica da je udaljenost od prometnica prepoznata kao jedan od najkorištenijih kriterija u modeliranju rizika izbijanja požara. Udaljenost od cesta/putova/staza i stambenih jedinica su važni čimbenici u modeliranju rizika od izbijanja požara jer oni ukazuju na moguću, pojačanu ljudsku aktivnost/prisustnost (Chuvieco and Congalton, 1989, Jo et al.,2000). Naime, u neposrednoj blizini prometnica često se baca razni otpad (npr. boce, staklo, opušci) koji u kombinaciji s povoljnim klimatskim (velika osunčanost i temperatura), topografskim (južna orijentacija) i zemljišnim (suha trava, drača) uvjetima može izazvati izbijanje požara. Nadalje, piromani prilikom podmetanja požara koriste ceste i putove da bi došli do lokacije na kojoj podmeću požar. Dakle, što je manja udaljenost od ceste pretpostavlja se da je rizik od požara veći (Setiawan i dr 2004, López i Abril, 2012). Vrijednost udaljenosti prilagođava se području istraživanja.

- **Izgrađene i vodene površine**

Metodom GEOBIA i ručnom vektorizacijom u krupnom mjerilu 1:200 izdvojena su **izgrađena područja (1) i vodene površine (2)**, koja su iskorištena za pripremanje Boolean kriterija. Pri tome navedene klase predstavljaju područja na kojima ne može doći do izbijanja požara te im je zbog toga **odijeljena vrijednost 0**.

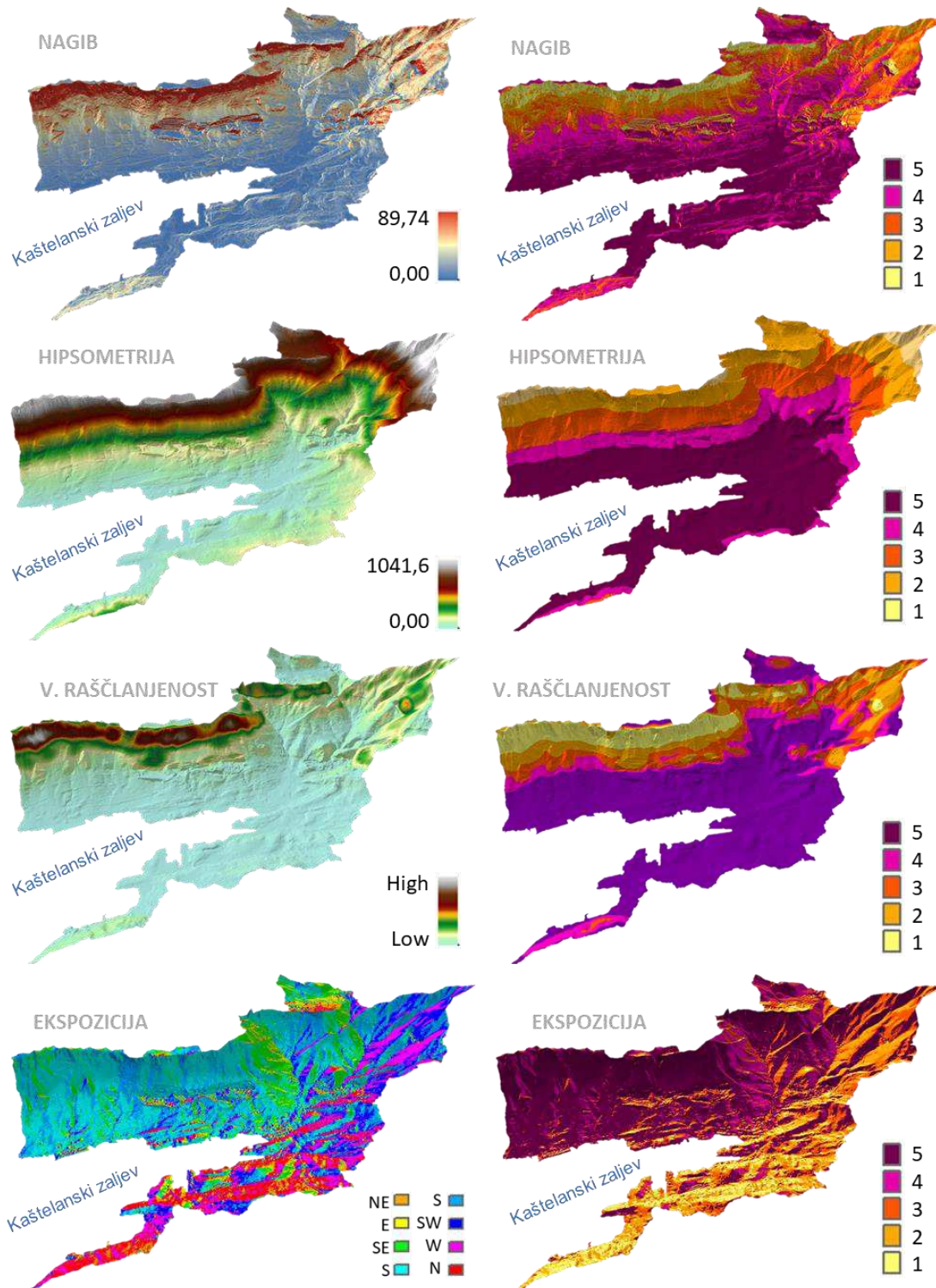
Standardizacija kriterija

Nakon definiranja kriterija izvršen je **proces standardizacije kriterija**. Standardizacijom je svaki kriterij rangiran u 5 klasa (1-5) gdje:

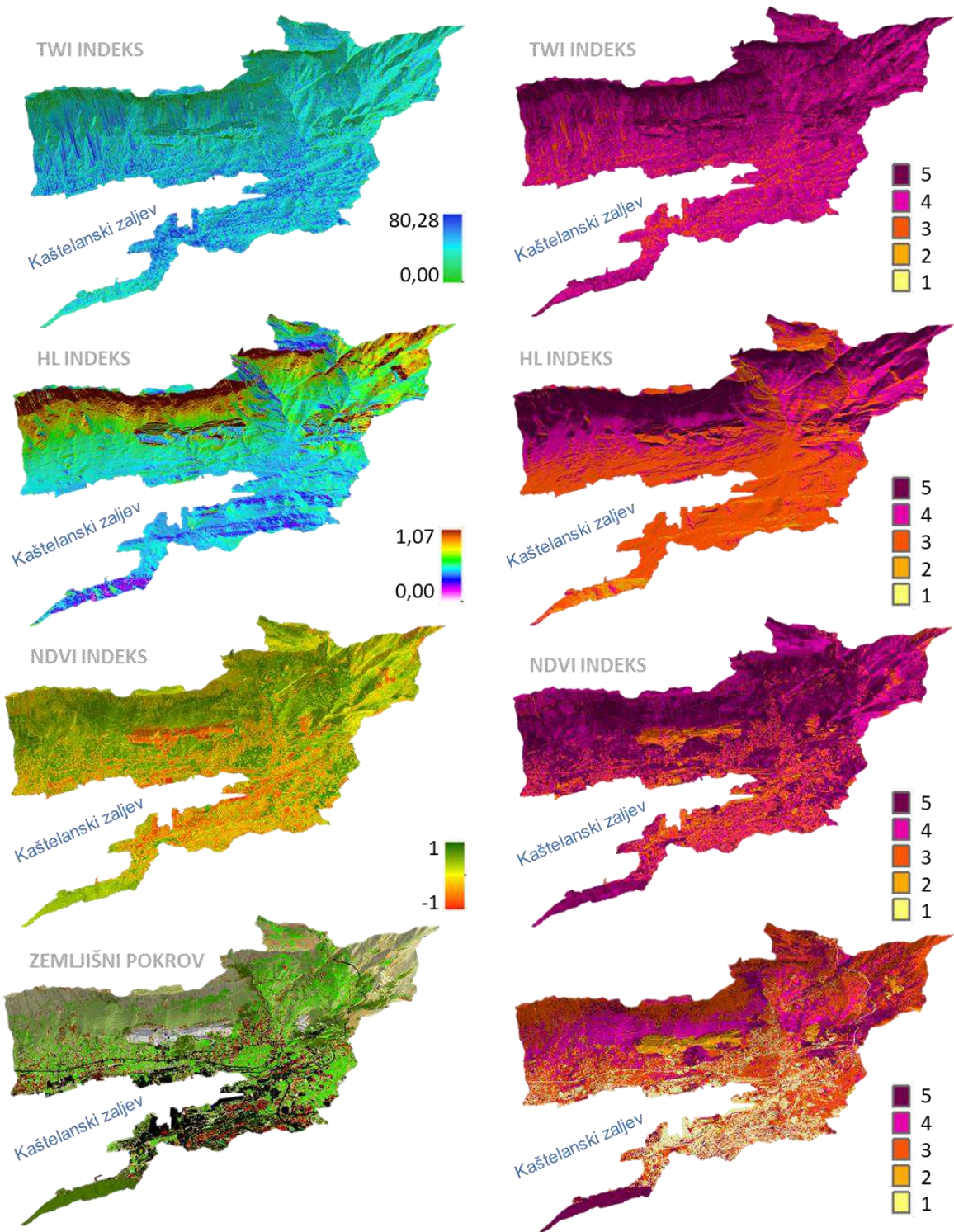
- klasa 5 predstavlja *izrazito visok rizik od izbijanja požara*
- klasa 4 *visok rizik od izbijanja požara*
- klasa 3 *umjeren rizik od izbijanja požara*
- klasa 2 *nizak rizik od izbijanja požara*
- klasa 1 *izrazito nizak rizik od izbijanja požara*.

Standardizacija (Slika I-24-25-26) je važan korak GIS-MCDA jer se njome usklađuju vrijednosti varijabli na istu skalu kako bi bilo moguće njihovo međusobno uspoređivanje. Primjerice, kriterij vertikalne

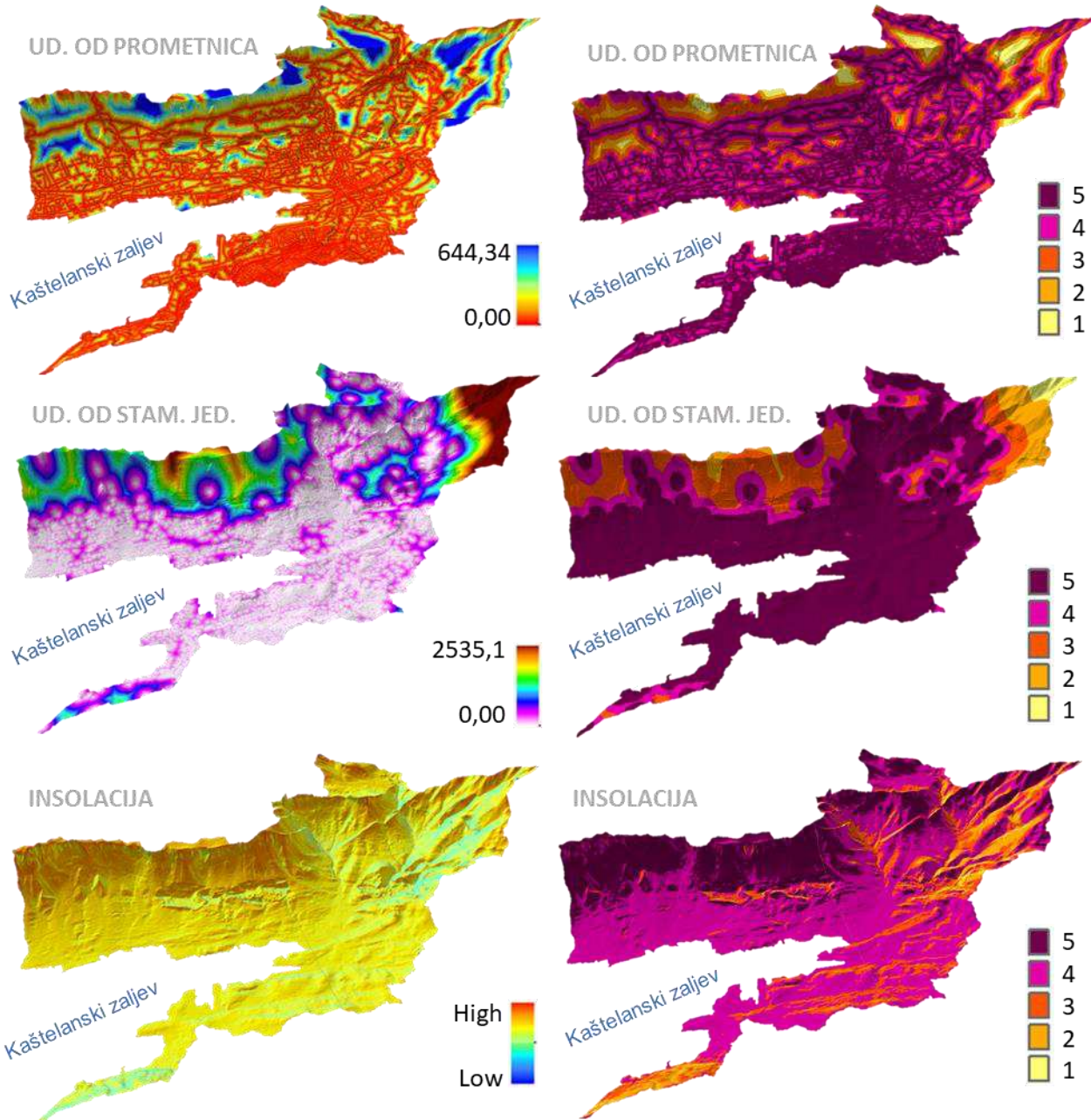
raščlanjenosti iskazuje se u metrima (m), a nagib u stupnjevima (^o). Standardizacijom njihova međusobna usporedba je moguća. Kriteriji kontinuiranih vrijednosti, za razliku od isključujućih (boolean) kriterija, imaju određeni stupanj prikladnosti u razmatranju postavljenog cilja. Ova prikladnost je „stupnjevito“ karaktera te ju je za svaki kriterij kontinuiranih vrijednosti potrebno standardizirati, odnosno utvrditi u kojoj vrijednosti (npr. 40°, ili 300 m) počinje i završava jedan stupanj prikladnosti (npr. "izrazita pogodnost"). Standardizacija ovih "nejasnih" (*fuzzy*) granica može se izvršiti pomoću *Fuzzy Membership* alata u GIS-u, metode donositelja odluka te metode prirodnih granica (Jenks). Alat *Fuzzy Membership* preklasificira ili transformira ulazne podatke na skalu od 0 do 1 na temelju mogućnosti pripadnosti člana određenom skupu. 0 se dodjeljuje onim lokacijama koje definitivno nisu član navedenog skupa.



Slika I-24. Standardizacija kriterija u GIS-MCDA (rizik izbijanja požara raslinja) (1)



Slika I-25. Standardizacija kriterija u GIS-MCDA (rizik izbijanja požara raslinja) (1)



Slika I-26 Standardizacija kriterija u GIS-MCDA (rizik izbijanja požara raslinja) (1)

Određivanje težinskih koeficijenata

Težinski koeficijenti definiranih kriterija određeni su metodom **analitičkoga hijerarhijskog procesa (AHP)** kao jednom od najpoznatijih i najkorištenijih metoda (Crnčan i dr., 2016.).

AHP-om je kompleksna višekriterijska GIS analiza podijeljena na manje komponente i uređena u **hijerarhiju**. Te komponente predstavljaju zadane kriterije koji su **uspoređeni** u odnosu **na druge** pomoću matrice usporedbe parova kriterija, a rezultat je te usporedbe **skup prioriteta kriterija** (Saaty, 2008.).

Za usporedbu kriterija odabran je interval brojeva **1 – 9**, koji pokazuje koliko je puta važniji ili dominantniji jedan element nad drugim elementom. Postupak izračuna težina unutar AHP metode detaljno je opisao **Saaty (2008.)**.

U tablici I-3. prikazan je prvi korak **izvođenja težinskih koeficijanata pomoću Saatyve matrice**. Kriteriji su za početak u stupce i redove poredani po važnosti utjecaja na izlazni rezultat (npr. najbitniji je - *zemljišni pokrov*, a najmanje bitan - *vertikalna raščlanjenost*) te je njihova međusobna važnost u kontekstu definiranog problema **vrednovana**. Ako je jedan kriterij **izrazito mnogo bitniji** (empirijski dokazano) u procesu donošenja odluka u odnosu na drugi, dodaje mu se vrijednost 9, a uspoređenom, manje bitnom kriteriju vrijednost 0,11.

Tablica I-3. Primjena Saatyve skale u procesu određivanja težinskih koeficijanata za definiranih 11 kriterija kontinuiranih vrijednosti

KRITERIJI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	1	2	3	3	4	4	5	5	6	7	9
II	0,50	1	2	2	3	3	4	4	5	6	8
III	0,33	0,50	1	1	2	2	3	3	4	5	7
IV	0,33	0,50	1	1	2	2	3	3	4	5	7
V	0,25	0,33	0,50	0,50	1	1	2	2	3	4	6
VI	0,25	0,33	0,50	0,50	1	1	2	2	3	4	6
VII	0,20	0,25	0,33	0,33	0,50	0,5	1	1	2	3	4
VIII	0,20	0,25	0,33	0,33	0,50	0,5	1	1	2	3	4
IX	0,17	0,20	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	0,50	1	2	3
X	0,14	0,17	0,20	0,20	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	1,00	2
XI	0,11	0,13	0,14	0,14	0,17	0,17	0,25	0,25	0,33	0,50	1
SUM	3,487	5,658	9,260	9,260	14,750	14,750	22,083	22,083	30,833	40,500	57,000

I - gorivni materijal, II - udaljenost od prometnica, III - ekspozicija, IV - osunčanost, V - udaljenost od stambenih objekata, VI - NDVI, VII - indeks toplinskog opterećenja, VIII - nagib, IX - hipsometrija, X - indeks topografske vlažnosti, XI - vertikalna raščlanjenost

Potom su u tablici I-4 prikazani izračunati **težinski koeficijenti** za definiranih jedanaest kriterija. **Suma težinskih koeficijenata** mora iznositi **1** kako bi se zadovoljilo svojstvo nepristranosti.

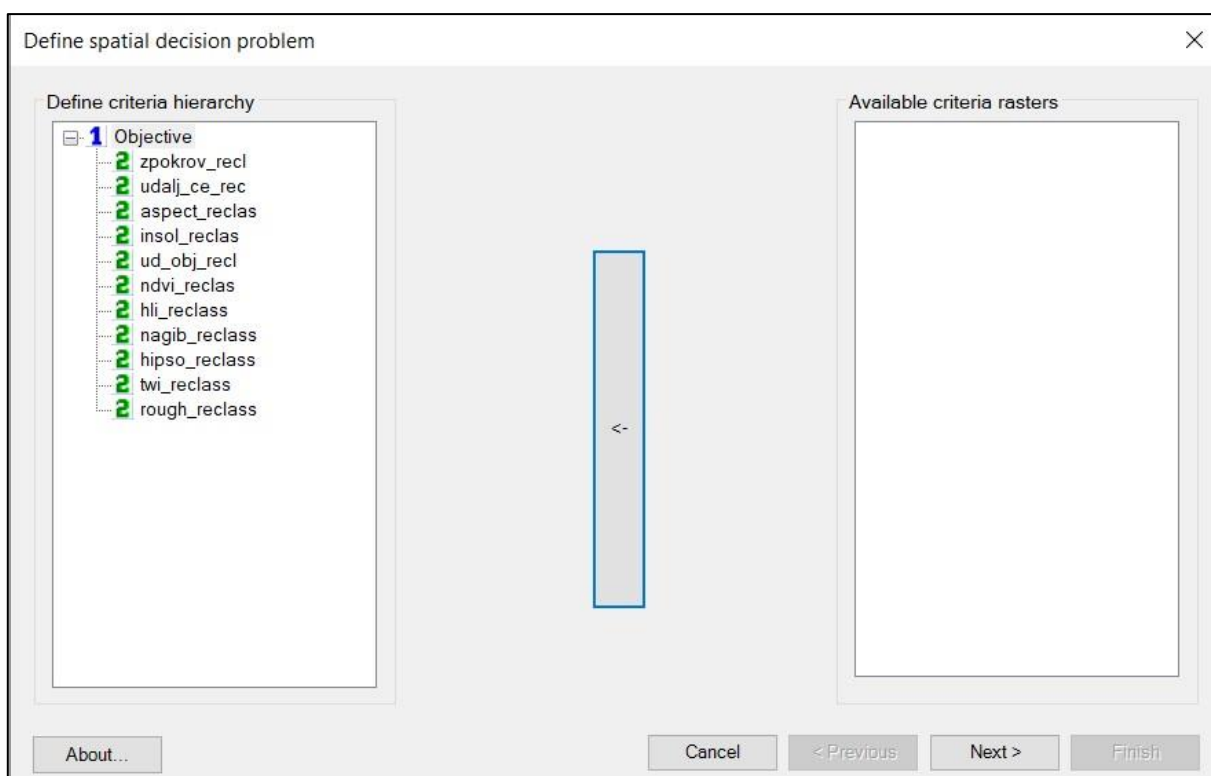
Najveći težinski koeficijent ima **zemljišni pokrov/tip gorivnog materijala (0,256)** te **udaljenost od prometnica (0,179)**. Razlog tome je činjenica da se modelira indeks rizika izbijanja požara raslinja gdje vegetacijski pokrov ima ključnu ulogu te da je dokazano većina požara u prirodi posljedica (ne)namjernog djelovanja čovjeka. Najmanji težinski koeficijent imaju **vertikalna raščlanjenost (0,016)** i **indeks topografske vlažnosti (0,023)** jer ovi kriteriji nisu uočavani u previše analiza stoga se pretpostavlja da kao takvi nisu ključni u izbijanju požara.

Tablica I-4. Izračunati težinski koeficijenti (ponderi) za odabrane kriterije

KRITERIJI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	X1	TOTAL	PONDER
I	0,287	0,353	0,324	0,324	0,271	0,271	0,226	0,226	0,195	0,173	0,161	2,812	0,256
II	0,143	0,177	0,216	0,216	0,203	0,203	0,181	0,181	0,162	0,148	0,143	1,974	0,179
III	0,096	0,088	0,108	0,108	0,136	0,136	0,136	0,136	0,130	0,123	0,125	1,321	0,120
IV	0,096	0,088	0,108	0,108	0,136	0,136	0,136	0,136	0,130	0,123	0,125	1,321	0,120
V	0,072	0,059	0,054	0,054	0,068	0,068	0,091	0,091	0,097	0,099	0,107	0,859	0,078
VI	0,072	0,059	0,054	0,054	0,068	0,068	0,091	0,091	0,097	0,099	0,107	0,859	0,078
VII	0,057	0,044	0,036	0,036	0,034	0,034	0,045	0,045	0,065	0,074	0,071	0,542	0,049
VIII	0,057	0,044	0,036	0,036	0,034	0,034	0,045	0,045	0,065	0,074	0,071	0,542	0,049
IX	0,048	0,035	0,027	0,027	0,023	0,023	0,023	0,023	0,032	0,049	0,054	0,363	0,033
X	0,041	0,029	0,022	0,022	0,017	0,017	0,015	0,015	0,016	0,025	0,036	0,254	0,023
XI	0,032	0,022	0,015	0,015	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012	0,018	0,171	0,016
SUM													1,000

Generiranje indeksa rizika izbijanja požara raslinja

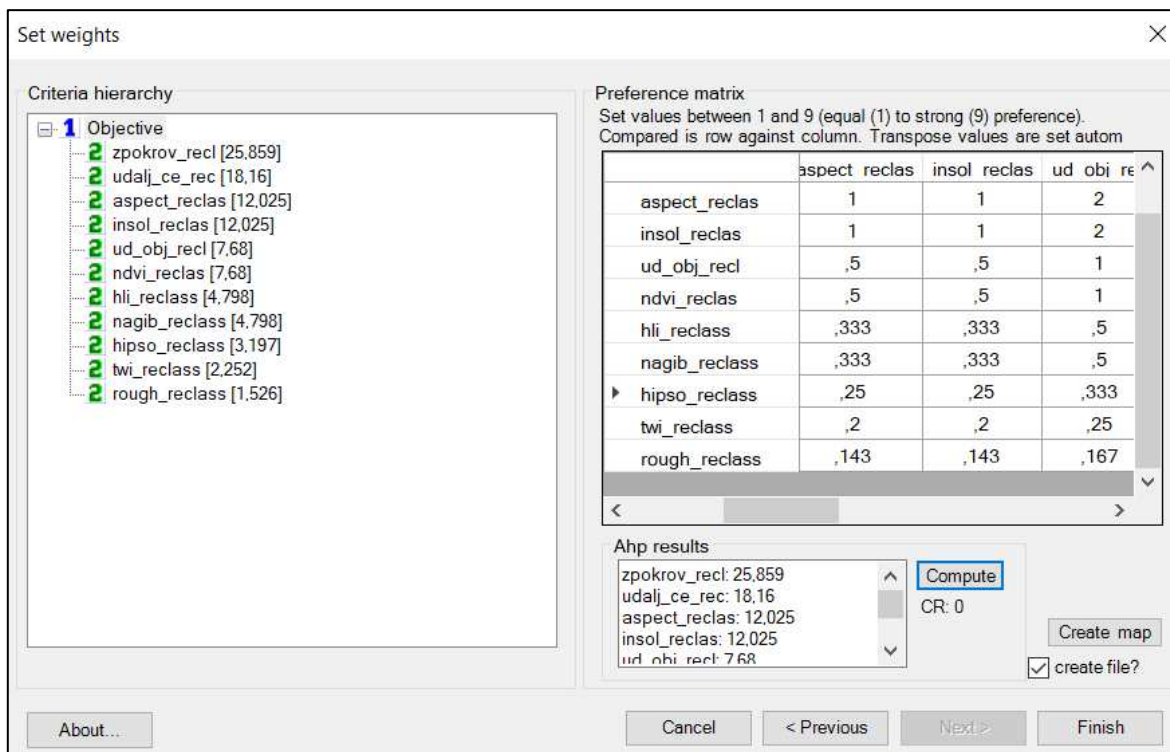
Na slici I-27 prikazan je *screen shop* **ekstenzije Ahp** korištene u *Arc Map* softveru za potrebe izvođenje indeksa rizika izbijanja požara raslinja. U prvom koraku svi kriteriji koji su prethodno standardizirani su prema definiranoj važnosti ubačeni u ekstenziju.



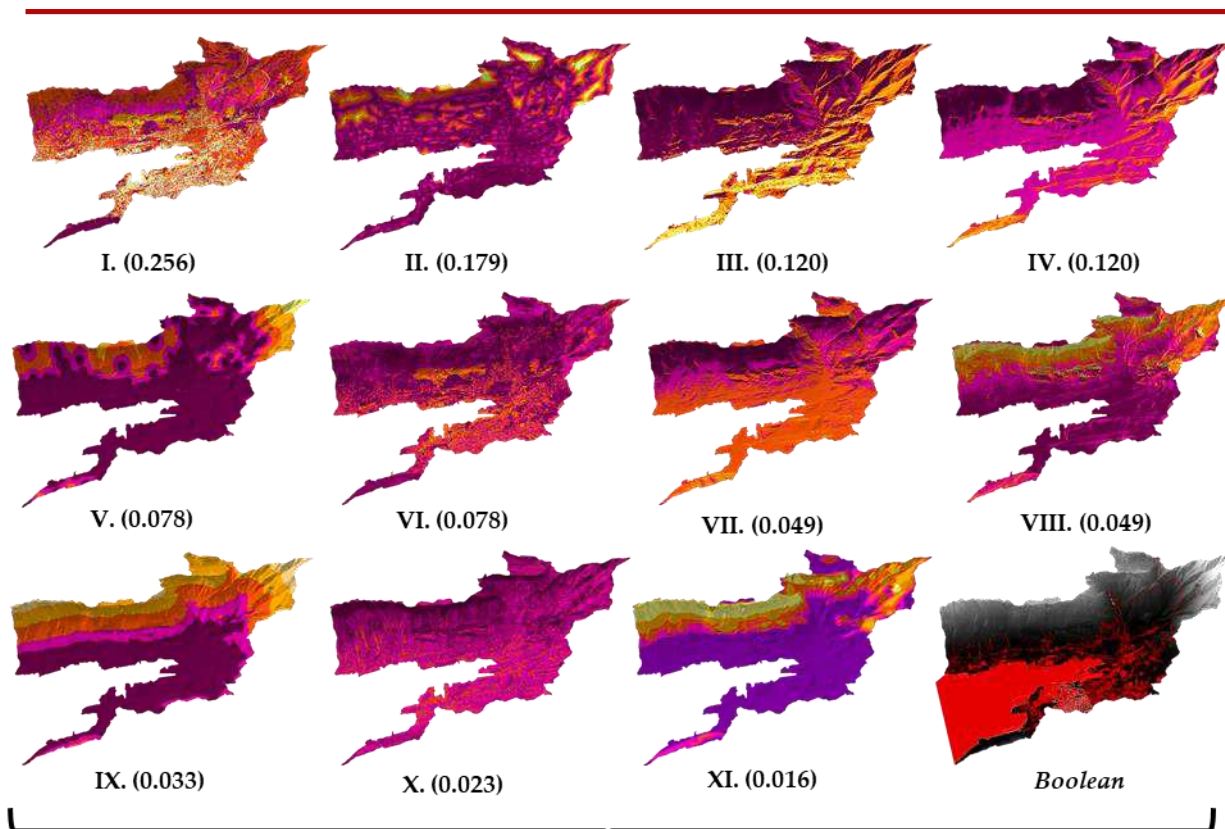
Slika I-27. Ekstenzija Ahp - ubacivanje standardiziranih kriterija

U **drugom koraku** (Slika I-28) u dostupnu matricu upisane su brojčane vrijednosti koje su prethodno bile izračunate u **Saatyevoj tablici**. Potom je ekstenzija ponovno izračunala težinske koeficijente te generirala **prvi model rizika izbijanja požara raslinja**.

Drugi **model rizika izbijanja požara raslinja** nije mogao biti izračunat u ovoj ekstenziji zbog toga što **ne podržava** opciju upisivanja jednakih odnosa (1) unutar svakog kriterija - odnosno generiranje istih težinskih koeficijenata. Stoga je drugi model izveden u **Raster Calculatoru**. Svaki kriterij je imao težinski koeficijent **0,091**.



Slika I-28. Ekstenzija Ahp - ubacivanje standardiziranih kriterija

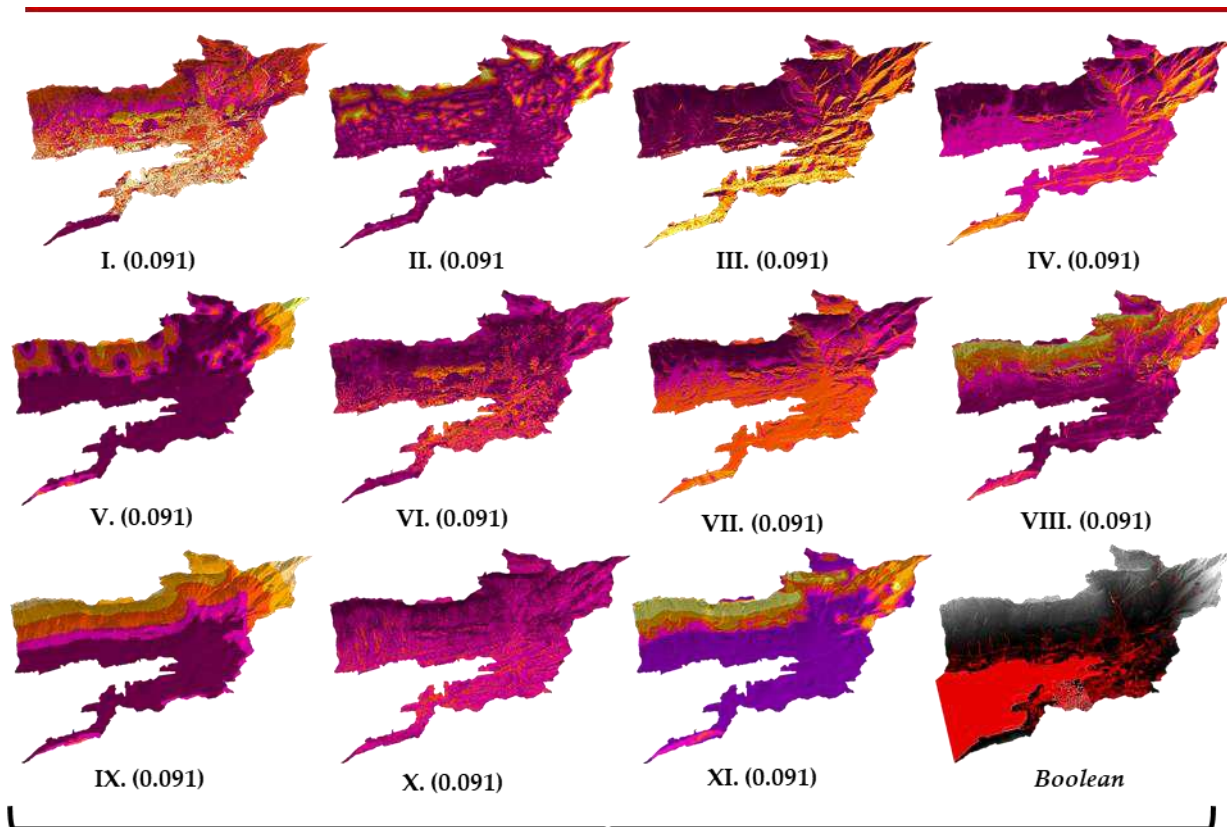


Model 1 (Rizik od izbijanja požara)

- I. Zemljišni pokrov (0.256)
- II. Udaljenost od prometnica (0.179)
- III. Ekspozicija (0.120)
- IV. Osunčanost (0.120)
- V. Udaljenost od stambenih jedinica (0.078)
- VI. Vegetacijski indeksa normalizirane razlike (NDVI) (0.078)
- VII. Indeks toplinskog opterećenja (HLI) (0.049)
- VIII. Nagib (0.049)
- IX. Hipsometrija (0.033)
- X. Indeks topografske vlažnosti (TWI) (0.023)
- XI. Vertikalna raščlanjenost (0.016)

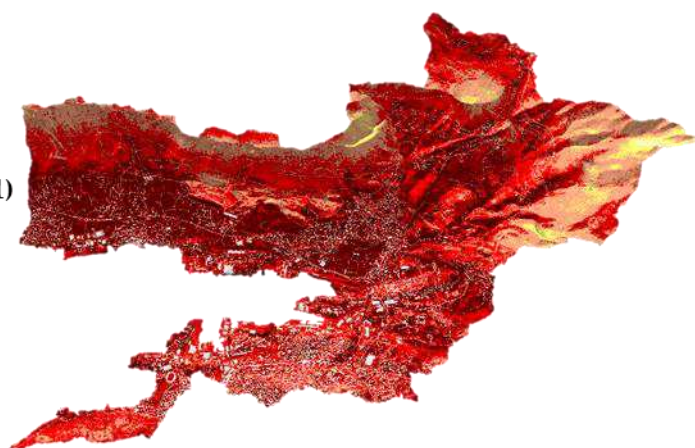


Slika I-29. Indeks rizika izbijanja požara (Model 1)



Model 2 (Rizik od izbijanja požara)

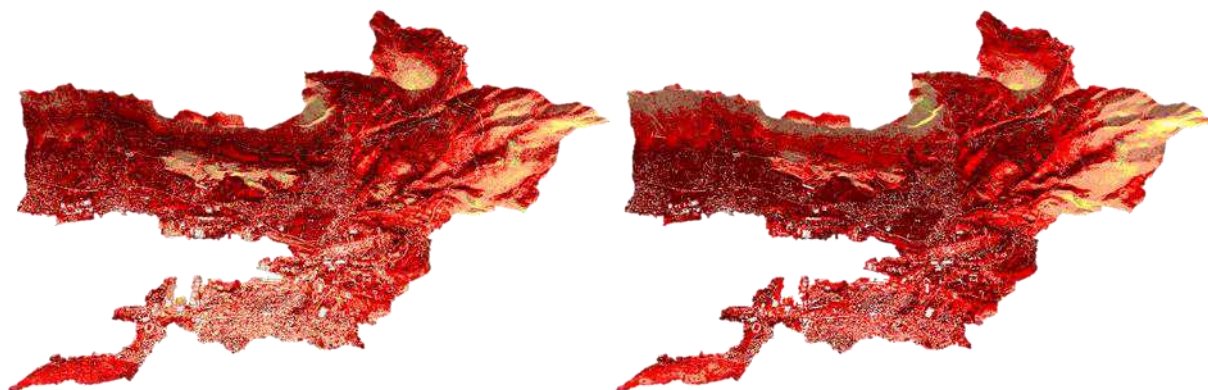
- I. Zemljišni pokrov (0.091)
- II. Udaljenost od prometnica (0.091)
- III. Ekspozicija (0.091)
- IV. Osunčanost (0.091)
- V. Udaljenost od stambenih jedinica (0.091)
- VI. Vegetacijski indeksa normalizirane razlike (NDVI) (0.091)
- VII. Indeks toplinskog opterećenja (HLI) (0.091)
- VIII. Nagib (0.091)
- IX. Hipsometrija (0.091)
- X. Indeks topografske vlažnosti (TWI) (0.091)
- XI. Vertikalna raščlanjenost (0.091)



Slika I-30. Indeks rizika izbijanja požara (Model 2)

Model 1 (Rizik od izbijanja požara)

Model 2 (Rizik od izbijanja požara)

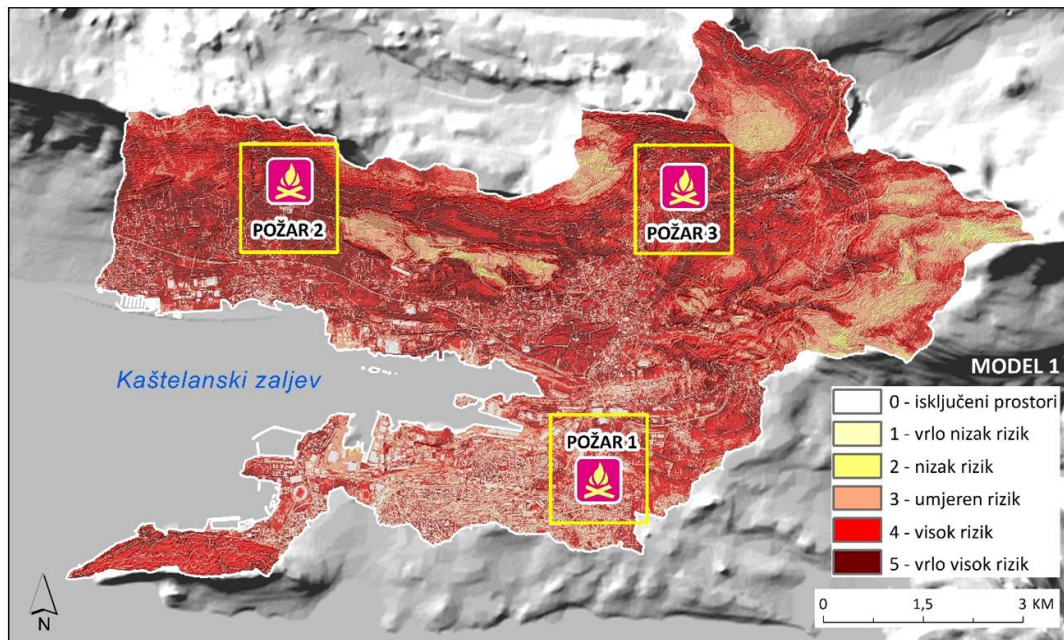


Slika I-31. 3D modeli indeksa rizika izbijanja požara (Model 1 i Model 2)

Na slikama I-29-30. prikazani su modeli (1 i 2) indeksa rizika izbijanja požara. Kreirane su visoko-rezolucijske karte (Slika I-32-33) izvedenih modela. Indeks rizika (0-1) izbijanja požara je u oba slučaja, s ciljem usporedivost, jednako klasificiran.

- **0** - isključeni/boolean prostori
- **0,001 - 0,20** vrlo nizak rizik izbijanja požara
- **0,21 - 0,40** nizak rizik izbijanja požara
- **0,41 - 0,60** umjeren rizik izbijanja požara
- **0,61 - 0,75** visok rizik izbijanja požara
- **>0,76** vrlo visok rizik izbijanja požara

Potom su oba modela **reklasificirana** i pretvorena u **poligon**. Iz poligonskog sloja izračunata je statistika (Tablica I-5-6), odnosno **udjeli pojedinih klasa** u ukupnoj proučavanoj površini drenažnog bazena Kaštelanskog zaljeva.

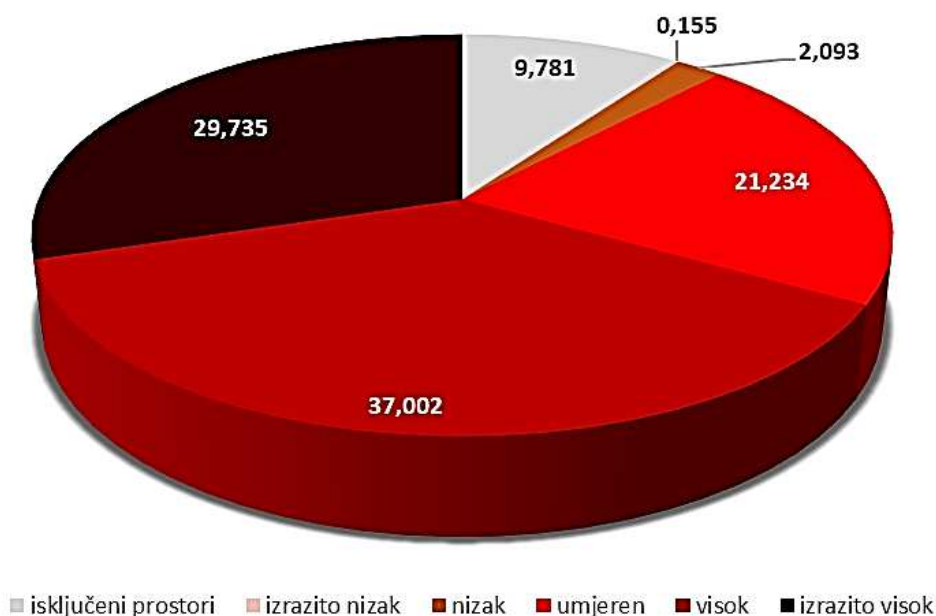


Slika I-32 Indeks rizika izbijanja požara (Model 1)

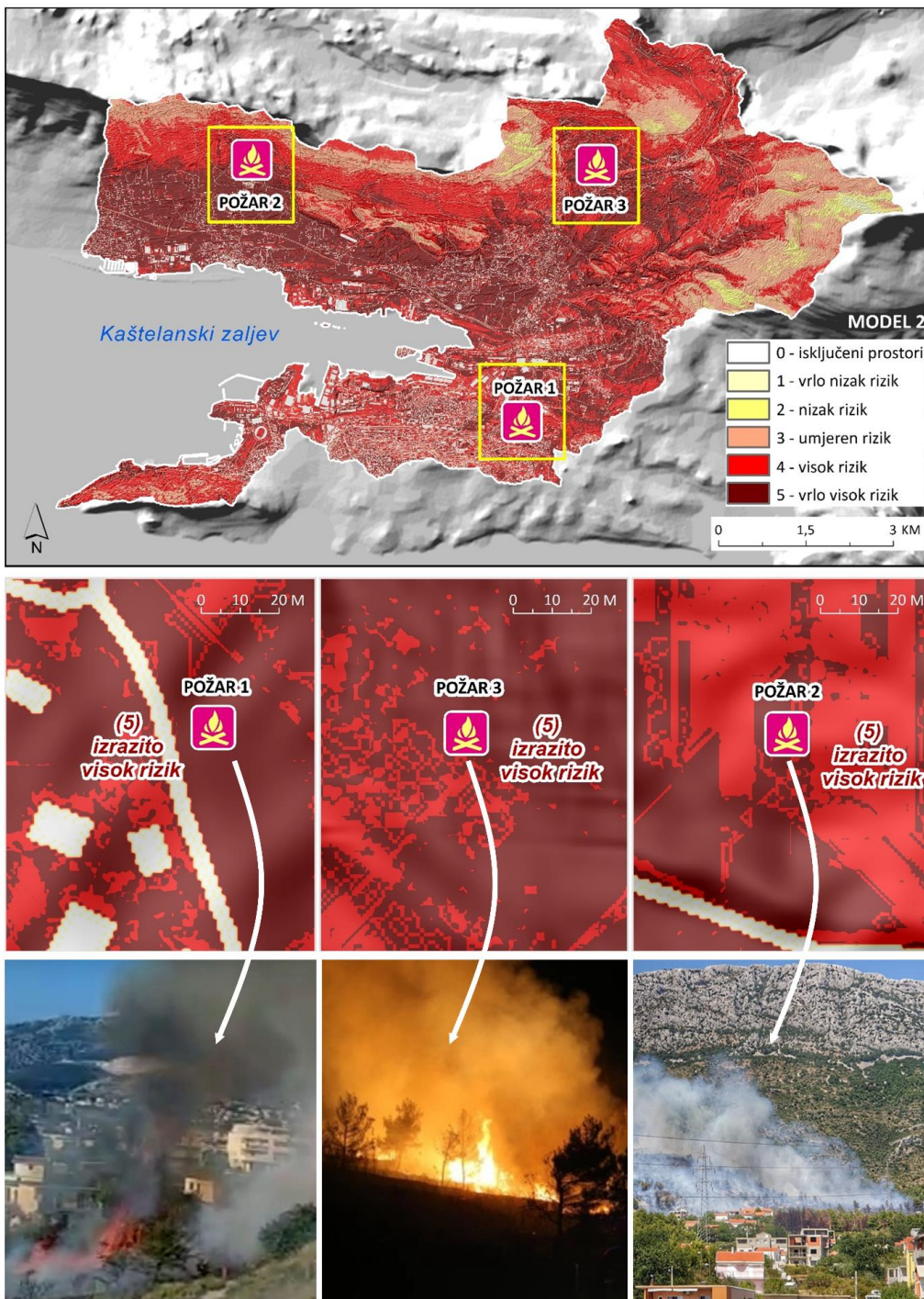
U **modelu 1** klase izrazito visokog i visokog rizika zauzimaju **gotovo 70% ukupne površine drenažnog bazena** Kaštelanskog naselja. Najrizičniji prostori su **zapuštene poljoprivredne parcele blizu prometnica, zimzelena vegetacija, makija i niska suha vegetacija na prisojnoj padini u blizini prometnica i stambenih objekata.**

Tablica I-6. Udio klasa rizika izbijanja požara za model 1

ID	Vrsta_rizika	Površina	Udio
0	Isključeni prostori	562,17	9,781
1	Izrazito nizak	8,93	0,155
2	Nizak	120,30	2,093
3	Umjeren	1220,42	21,234
4	Visok	2126,73	37,002
5	Izrazito visok	1709,05	29,735
	Ukupno	5747,60	100,0



Slika I-33. Udio klasa rizika izbijanja požara za Model 1

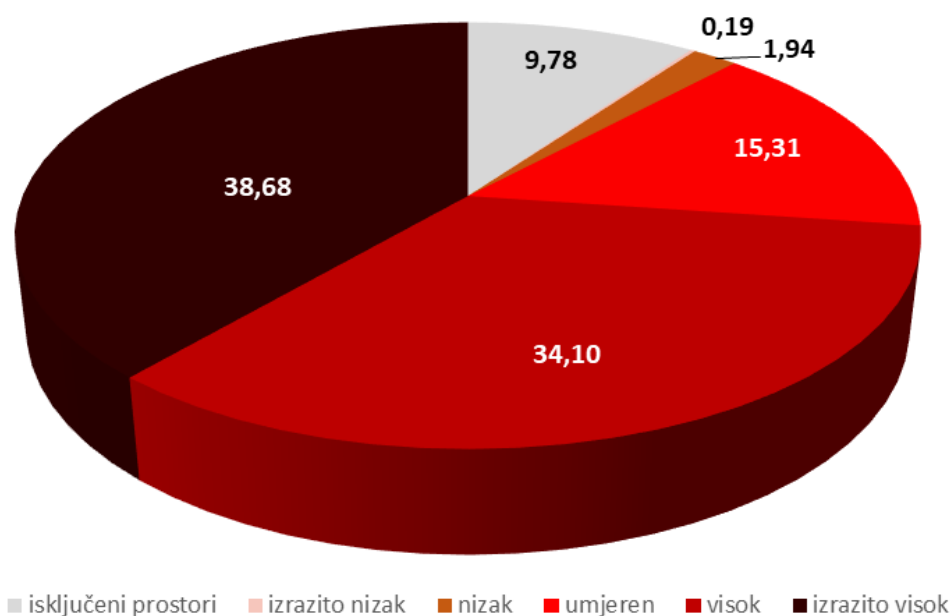


Slika I-34. Indeks rizika izbijanja požara (Model 2)

Tablica I-7. Udio klasa rizika izbijanja požara za model 2

ID	Vrsta_rizika	Povrsina	Udio
0	Isključeni prostori	562,173	9,78
1	Izrazito nizak	11,1024	0,19
2	Nizak	111,3651	1,94
3	Umjeren	879,8453	15,31
4	Visok	1959,8369	34,10
5	Izrazito visok	2223,2753	38,68
	Ukupno	5747,60	100,00

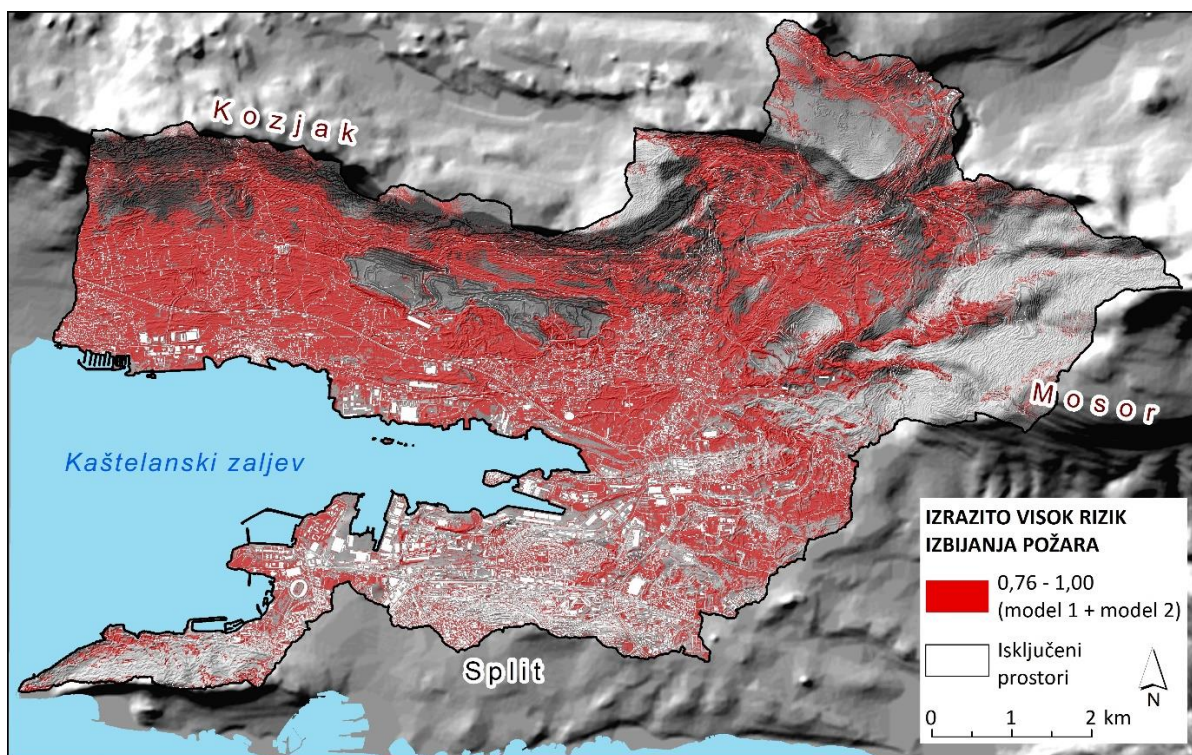
U modelu 2 (Slika I-35) klase izrazito visokog i visokog rizika zauzimaju oko 72% ukupne površine drenažnog bazena Kaštelanskog naselja. Najrizični prostori su također zapuštene poljoprivredne parcele blizu prometnica, zimzelena vegetacija, makija i niska suha vegetacija na prisojnoj padini u blizini prometnica i stambenih objekata.



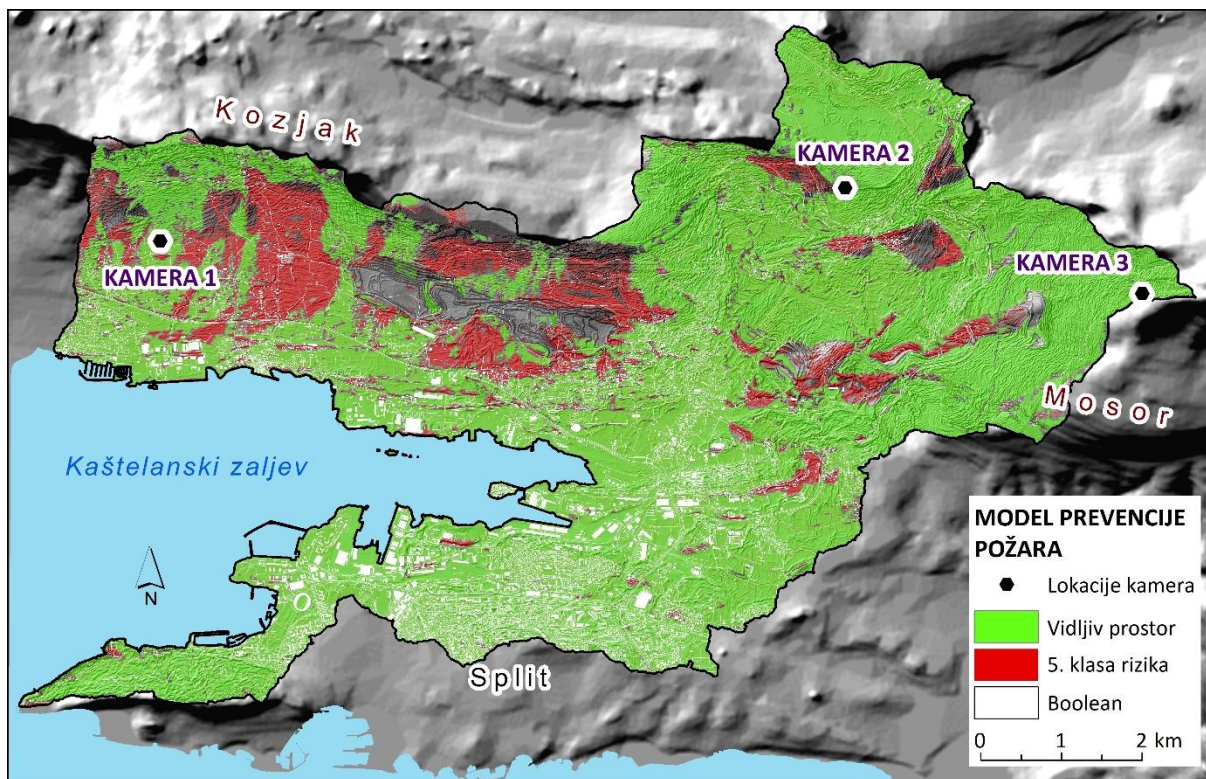
Slika I-35. Udio klasa rizika izbijanja požara za Model 2

Prevenција požara - modeli vidljivosti

S ciljem **prevencije pojave** požara, unutar analiziranog područja drenažnog bazena iz **Modela 1** i **Modela 2** izvedena je **klasa 5** koja reprezentira prostor *izrazito visokog rizika izbijanja požara*. Izdvojeni poligoni su spojeni. Ta površina obuhvaća nešto više od **3932 ha** (Slika I-21). Potom su s ciljem predlaganja sustava prevencije odnosno obrane od požara na odabrane tri lokacije unutar drenažnog bazena provedene analize vidljivosti (Slika I-22). Odabrane tri lokacije u ovom slučaju predstavljaju lokacije nadzornih kamera koje se mogu postaviti na visinu od 10 m s ciljem motrenja prostora koji ima izrazit rizik od izbijanja požara. U analizi su postavljeni parametri **OFFSETA 10m** (kamera se nalazi na visini od 10 m) te **RADIUS2 15 km** (kamera snima prostor u radijusu od 15 km. Provedena je **binarna analiza vidljivosti**. Potom je vidljiv prostor preklapljen s prostorom klase 5 (*izrazito velik rizik od izbijanja požara*). Iz izvedenih modela je u konačnici generirana statistika (Tablica I-8).



Slika I-36. Klasa 5 (izrazito visok rizik izbijanja požara)



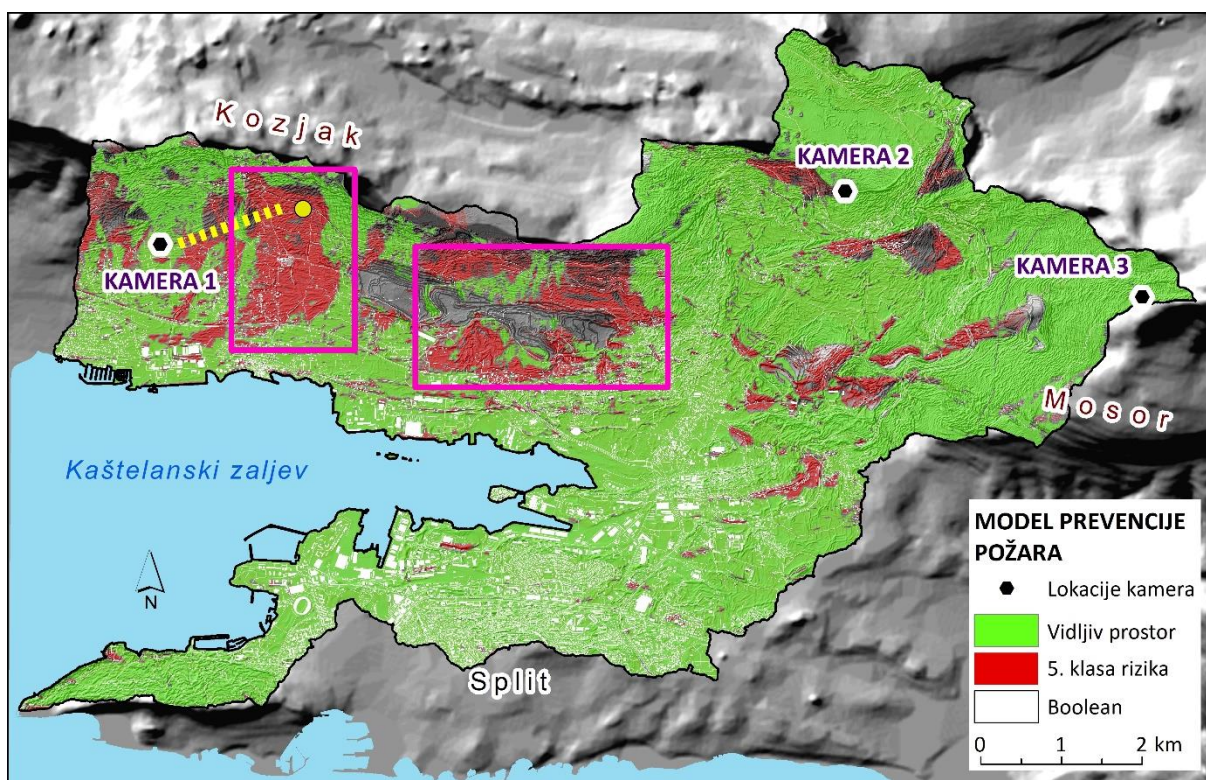
Slika I-37. Predložene lokacije za postavljanje nadzornih kamera (model vidljivosti)

Rasterski model vidljivog područja i klase izrazito visokog rizika izbijanja požara su pretvoreni u poligonski sloj, preklopljeni te je izračunata deskriptivna statistika (Tablic I-8) za prvi scenarij postavljanja nadzornih kamera.

Tablica I-8. Statistika izvedena iz analiza vidljivosti

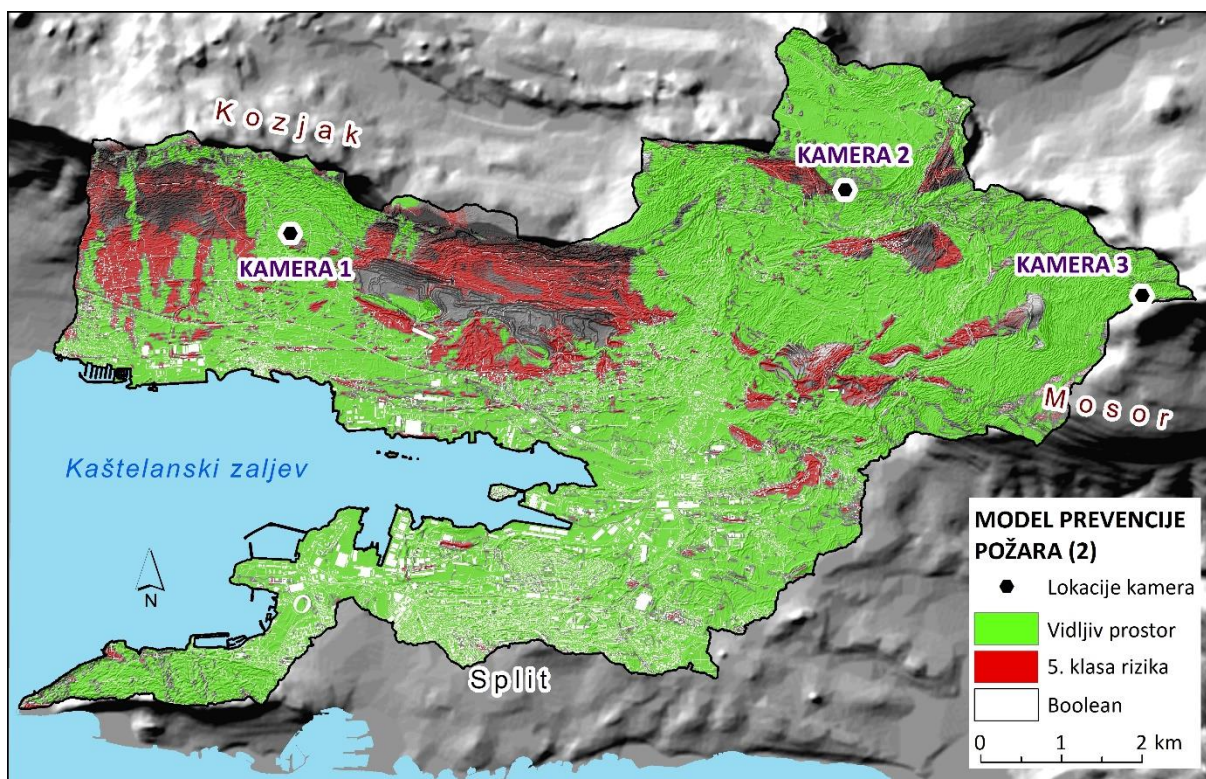
Drenažni bazen Kaštelanskog zaljeva	5747,598
Vidljivo područje s tri predložene kamere	4544,205
Izrazito visok rizik (5) model 1+ model 2	3932,329
Izrazito visok rizik (5) pod nadzorom kamere	2773,44
	%
Drenažni bazen vidljiv s predloženih kamera	79,06
Izrazito visoke rizik (5) pod nadzorom kamera	70,53

U ovom, prvom scenariju sve kamere su postavljene na visinu 10 m od površine tla. U ovom modelu nadzora s predloženih kamera vidi se oko 79% površine drenažnog bazena Kaštelanskog zaljeva te 70,50% površine klase izrazito visokog rizika od izbijanja požara (model 1 + model 2). S ciljem potencijalnog povećanja udjela pokrivenog (vidljivog) područja predložena je i drugi scenarij rasporeda kamera. Na slici I-38 prikazano je gdje je kamera pomaknuta u odnosu na prvi model te koje se prostore (ljubičasti poligoni) nastojalo pokriti s izvedenim poligonom vidljivosti. Također, parametar OFFSETA je kameri 1 povećan s 10 na 15 m.



Slika I-38. Lokacija pomicanje kamere 1 u drugom modelu prevencije požara

Na slici I-38 prikazan je model vidljivosti 2 nakon premještanja kamere 2 na novu lokaciju. Rasterski model vidljivog područja i klase izrazito visokog rizika izbijanja požara ponovno su pretvoreni u poligonski sloj, preklopljeni te je izračunata deskriptivna statistika (Tablic I-9) za drugi scenarij postavljanja nadzornih kamera.



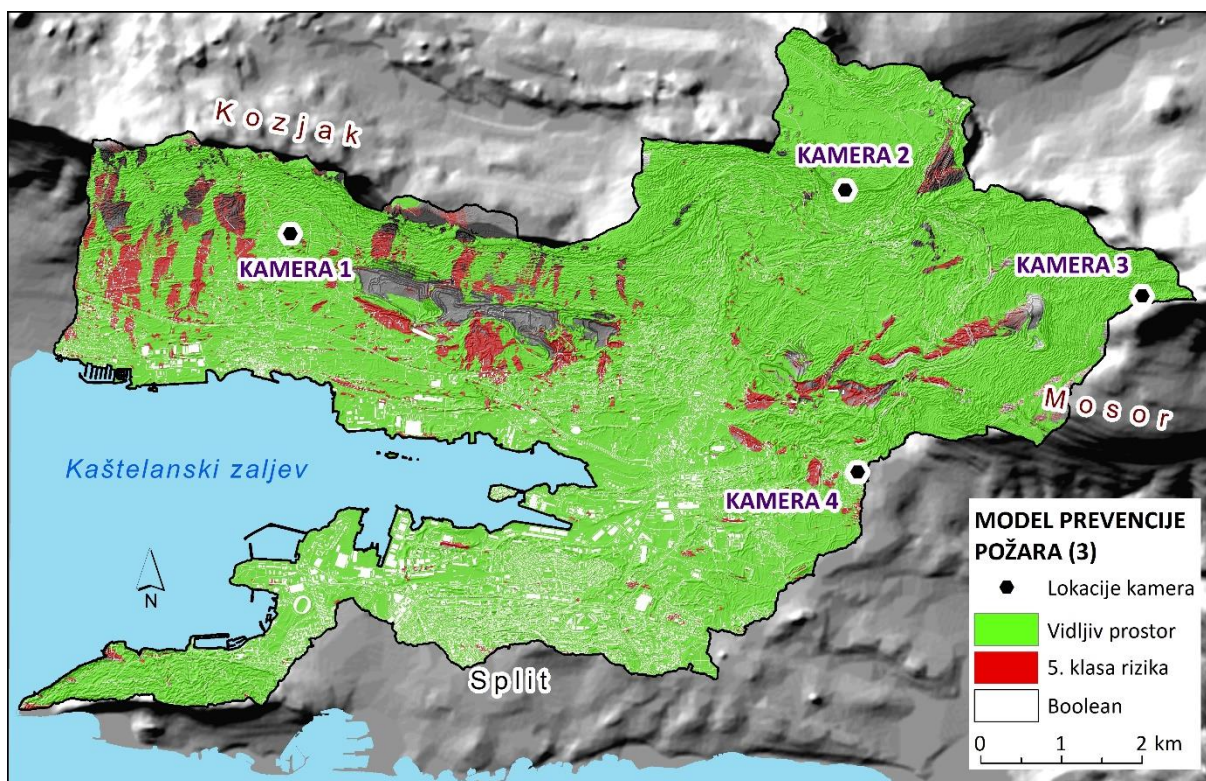
Slika I-39. Predložene lokacije za postavljanje nadzornih kamera (model vidljivosti2)

Tablica I-9. Statistika izvedena iz analiza vidljivosti

Drenažni bazen Kaštelskog zaljeva	5747,598
Vidljivo područje s tri predložene kamere	4513,0738
Izrazito visok rizik (5) model 1+ model 2	3932,329
Izrazito visok rizik (5) pod nadzorom kamere	2844,32
Drenažni bazen vidljiv s predloženih kamera	78,52
Izrazito visoke rizik (5) pod nadzorom kamera	72,33

U ovom modelu nadzora s predloženih kamera vidi se oko 78,5% površine drenažnog bazena Kaštelskog zaljeva te 72,33% površine klase izrazito visokog rizika od izbijanja požara (model 1 + model 2). U ovom scenariju postignuta je veća vidljivost klase izrazito visokog rizika za tek 2%. U konačnici izveden je i treći scenarij prevencije izbijanja požara.

U njemu je dodana četvrta kamera za koju su vrijednosti OFFSETA i RADIUSA 2 ostali isti. Na slici I-40. prikazana je četvrta lokacija kamere i za sve kamere izveden model vidljivog prostora. Vidljivo je da je prostor označenih poligona na slici I-38 u ovom modelu zadovoljavajuće prekriven sa model vidljivosti.



Slika I-40. Predložene lokacije za postavljanje nadzornih kamera (model vidljivosti3)

Rasterski model vidljivog područja i klase izrazito visokog rizika izbijanja požara ponovno su pretvoreni u poligonski sloj, preklopljeni te je izračunata deskriptivna statistika (Tablica I-10) za treći scenarij postavljanja nadzornih kamera.

Tablica I-10. Statistika izvedena iz analiza vidljivosti

Drenažni bazen Kaštelanskog zaljeva	5747,598
Vidljivo područje s tri predložene kamere	5041,86
Izrazito visok rizik (5) model 1+ model 2	3932,329
Izrazito visok rizik (5) pod nadzorom kamere	
Drenažni bazen vidljiv s predloženih kamera	87,72
Izrazito visoke rizik (5) pod nadzorom kamera	89,76

U ovom modelu nadzora s predloženih kamera vidi se skoro 88% površine drenažnog bazena Kaštelanskog zaljeva, što je za gotovo 10% više od prethodnog modela, te 89,76% površine klase izrazito visokog rizika od izbijanja požara (model 1 + model 2). U ovom scenariju postignuta je veća vidljivost klase izrazito visokog rizika za 16% u odnosu na prethodni model.

Predložene mjere

- 1) Podizanje razine svijesti stanovništva o problematici požara otvorenog prostora.
- 2) Revitalizacija i čišćenje zapuštenih poljoprivrednih parcela.
- 3) Instalacija nadzornih kamera, odnosno motrilačkih lokacija protupožarnog sustava kroz analize vidljivosti.
- 4) Čišćenje i prorjeđivanje šuma uz ostale preventivne mjere, kao i izgradnja protupožarnih prosjeka s elementima cesta kako bi se efikasnije mogle provoditi i represivne mjere.
- 5) Obnova postojećih napuštenih maslinika i općenito sadnja masline na zapuštenim poljoprivrednim površinama.
- 6) Planiranje izgradnje promatračnica, spremišta za vodu, spremišta za opremu gašenja požara, protupožarnih prometnica sa elementima šumskih puteva, repetitora (antena) za sistem dojave.
- 7) Zajedničko uključivanje svih učesnika u prostoru (lokalna samouprava-privatne i općinske površine, Hrvatske šume, Elektrodalmacija, hoteli i dr. turistički objekti, telekomunikacije i dr., dojave, ophodnje i motrenja) sa vatrogasnom zajednicom rad na istom sustavu veze-komunikacije.

ODGOVOR NA PRIOPĆENJE

- rizik od izbijanja otvorenog požara -

U nastavku su dani kartki odgovori na pitanja/prijedloge.

1) "Stranica 124. nejasno je po čemu ste utvrdili rizike od izbijanja požara raslinja. Industrijska postrojenja predstavljaju daleko veću prijetnju."

ODGOVOR: u dokumentu 1. podstavka c) se naziva "Model rizika od izbijanja **otvorenog požara**" ili "**požara raslinja**". U engleskoj literaturi za požare koji izbijaju na otvorenom prostoru pretežno se koriste nazivi Wildfire ili Forest Fire.

Otvoreni požar ili požar raslinja se definira kao "požar koji nekontrolirano gori u prirodnom okruženju u kojem je primarno gorivo isključivo vegetacija. Infrastruktura može izgorjeti ako je okružena vegetacijom, ali nije primarno gorivo koje prenosi vatru. "

U modeliranju rizika od izbijanja otvorenog požara korišteno je 11 kriterija kontinuiranih vrijednosti i jedan isključujući kriterij. Jedan od kriterija kontinuiranih vrijednosti je zemljišni pokrov (eng. land cover), odnosno tip gorivnog materijala. Model zemljišnog pokrova generiran je na temelju multispektralnog satelitskog WorldView-3 snimka. Svaki kriterij je standardiziran u pet klasa gdje klasa 5 predstavlja izrazito visok rizik od izbijanja otvorenog požara, klasa 4 visok rizik, klasa 3 umjeren rizik, klasa 2 nizak rizik, a klasa 1 izrazito nizak rizik.

Model zemljišnog pokrova se sastojao od 11 klasa koje uključuju: 1 - Borovu šumu, 2 - Smeđe tlo, 3 - Urbano (objekti), 4 - Vodene površine, 5 - Grmolika vegetacija, 6 - Urbano (betonske površine, ceste), 7 - Kamenolom, 8 - Bogata niska zdrava vegetacija, 9 - Krš sa oskudnom vegetacijom, 10 - Makadam (šljunak, zemlja), 11 - Oskudna niska suha vegetacija.

Klase rizik od izbijanja zemljišnog pokrova su za model zemljišnog pokrova određena prema primjerima dobre prakse, stručnoj literaturi i vegetacijskom indeksu normalizirane razlike (NDVI), koji ukazuje na gustoću i zdravlje vegetacije. Nužno je podsjetiti se da se modelira rizik izbijanja otvorenog požara stoga je standardizacija klasa izvršena na sljedeći način (Tablica I-11):

Tablica I-11. Standardizacija modela zemljišnog pokrova (rizik od izbijanja otvorenog požara)

Klasa	Tip rizika	Tip zemljišnog pokrova
5	<i>izrazito visok rizik</i>	Borova šuma
4	<i>visok rizik</i>	Grmolika vegetacija (makija), Oskudna niska suha vegetacija (NDVI klasif.)
3	<i>umjeren rizik</i>	Bogata niska zdrava vegetacija, Krš sa oskudnom vegetacijom
2	<i>nizak rizik</i>	Makadam, Kamenolom, Smeđe tlo,
1	<i>izrazito nizak rizik</i>	Urbano (objekti), Urbano (betonske pov.), Vodene površine

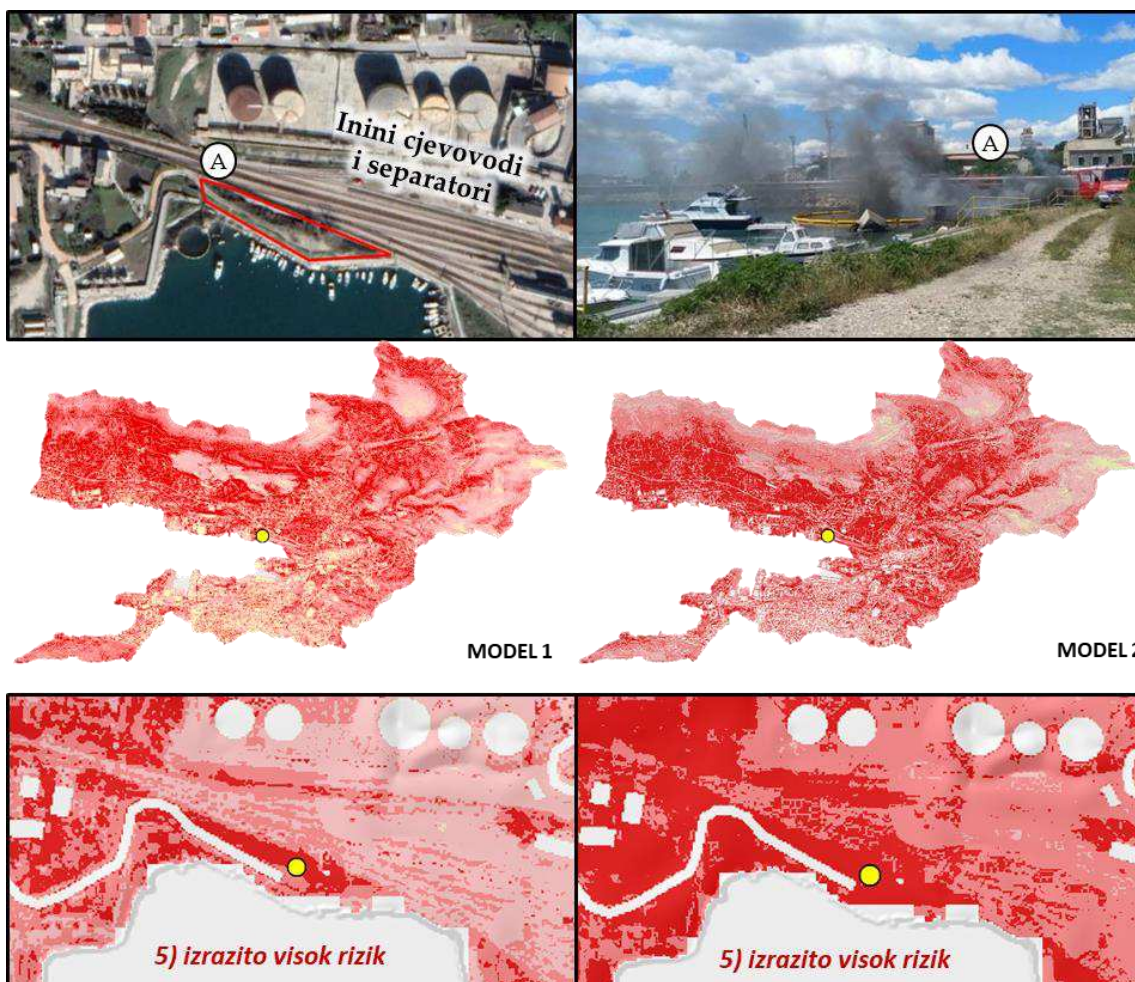
Točno modeliranje rizika od izbijanja požara u zatvorenim prostorima (industrija i stambeni objekti) u ovom slučaju logistički (vremenski, financijski) nije moguće. Naime, rizik od izbijanja požara potencijalno može biti veći u stambenim objektima, osobito onim neodržanim, ili u nesporednoj blizini istih, nego unutar industrijskog postrojenja. U ovom slučaju to je svakako činjenica. Jednostavnom provjerom povijesti požara na proučavanom području (vidljivo u uvodnom dijelu poglavlja c) jasno se može uočiti da je veći broj požara nastao na otvorenim područjima ili u neposrednoj blizini urbanih područja, koji su onda izravno ugrozili industrijske i stambene objekte te obalno područje. To nije iznenađujuće s obzirom na to da je najveći uzrok požara upravo čovjekovo (ne)namjerno djelovanje. Industrijska postrojenja, iako potencijalno sadrže zapaljive tvari, malobrojna su u odnosu na broj stambenih objekata, te imaju definirane preventivne mjere sigurnosti, zaštite i djelovanja u slučaju izbijanja požara.

U velikom broju stambenih i drugih objekata, koji se također nalaze blizu mora, to nije slučaj. Nadalje, učinkovito modeliranje, odnosno izvođenje točnog modela rizika od izbijanja otvorenih i zatvorenih požara, zahtjeva poznavanje informacija (ranjivost eng. vulnerability) za svakih objekt unutar istraživanog područja. Metodom GEOBIA izdvojeno ih je čak 11894.

Ipak, ovaj čimbenik nije zanemaren u modeliranju rizika od izbijanja otvorenog požara. U procesu su korištena dva kriterija koji simuliraju antropogeni utjecaj čovjeka, koji se u ovom slučaju odnosi na industrijske i druge objekte. Oni se odnose na udaljenost prometnica (m) te udaljenost od stambenih i drugih objekata (m). Manja udaljenost od navedenih elemenata predstavlja veći rizik od izbijanja požara. Navedeno je lijepo prikazano na sljedećem primjeru kojeg ste izdvojili.

2) Ove godine je izbio požar kraj Ininog cjevovoda i separatora u Solinu <http://www.solin-live.com/index.php/zamalo-eko-katastrofa-izbio-pozar-pokraj-ininih-cijevi/>

ODGOVOR: Nastavno na prethodni odgovor, u izvješću je navedeno nekoliko primjera požara koji su nastali unutar prostornog obuhvata istraživanja. Svi primjeri požara su se nalazili unutar klase 4 (visok rizik) i 5 (izrazito visok rizik) što potvrđuje točnost izvedenih modela. Ipak, ovaj požar nije naveden, ali odlučio sam testirati oba izvedena modela rizika od izbijanja otvorenog požara (model 1 i model 2) poznavajući sad lokaciju požara (vidljivo na poveznici). U naslovu se vidi, a i prema slikama, ako se ode na poveznicu, da je požar nastao pored Ininog cjevovoda i separatora, a ne u samom objektu (Slika I-41). U oba slučaja požar je izbio na području koje je u oba modela smješteno u klasu izrazito visokog rizika od izbijanja požara (Slika I-41). Ovo, uz ostale primjere u izvješću potvrđuje točnost izvedenog modela.



Slika I-41. Lokacija požara kraj Ininog cjevovoda i separatora u Solinu u odnosu na model rizika od izbijanja otvorenog požara

3) Potrebna je simulirati koliko bi se prostora ugrozilo kad bi izbio požar, npr. požar Ininog spremnika plina u Kaštel Sućurcu.

ODGOVOR: Postavlja se legitimno pitanje prema kojem kriteriju bi se trebao modelirati požar Ininog spremnika plina u Kaštel Sućurcu, a ne npr. Cemex postrojenje? Nadalje, treba li modelirati sve razine od početka požara, vremena razbuktavanja, potpuno razvijenog požara i spontanog gašenja?

Modeliranje izbijanja i širenja požara su potpuno odvojene i različite stvari te zahtjevaju definiranje potpuno drugačijih tipova ulaznih podataka. Ono treba biti poseban aspekt istraživanja. Modeliranje širenja požara Ininog spremnika plina se odnosi na mikro razinu modeliranja za koje je potrebno prikupiti specifične setove podataka (vrsta infrastrukture, gorivo, mikro klima područja, vrste materijala, okolna vegetacija) u puno većoj, submetarskoj prostornoj rezoluciji, što u ovom projektnim aktivnostima nije definirano. Sve drugačije od navedenog bi značilo teško aproksimaciju izlaznih rezultata.

4) Na lokaciji postoji i servis za vagone od Hrvatskih željeznica.

<https://www.dalmacijadanas.hr/pozar-u-solinu-zapalio-se-vagon-u-sv-kaju/>

Nigdje u Izvješću nismo uočili rizik od požara na brodovima, jahtama itd. te koje bi bile posljedice za onečišćenje mora.

požar jedrilice u Marini Kaštela:

<https://dvdkastelgomilica.hr/pozar-na-jedrilici-u-marini-kastela/>

Primjer požar u servisnoj zoni Marine Kaštela:

<http://vatrogasni-portal.com/news.php?readmore=2760;>

<https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/jedrilica-izgorjela-u-pozaru-20090114>

ODGOVOR: Pogledati odgovor na prvo pitanje.

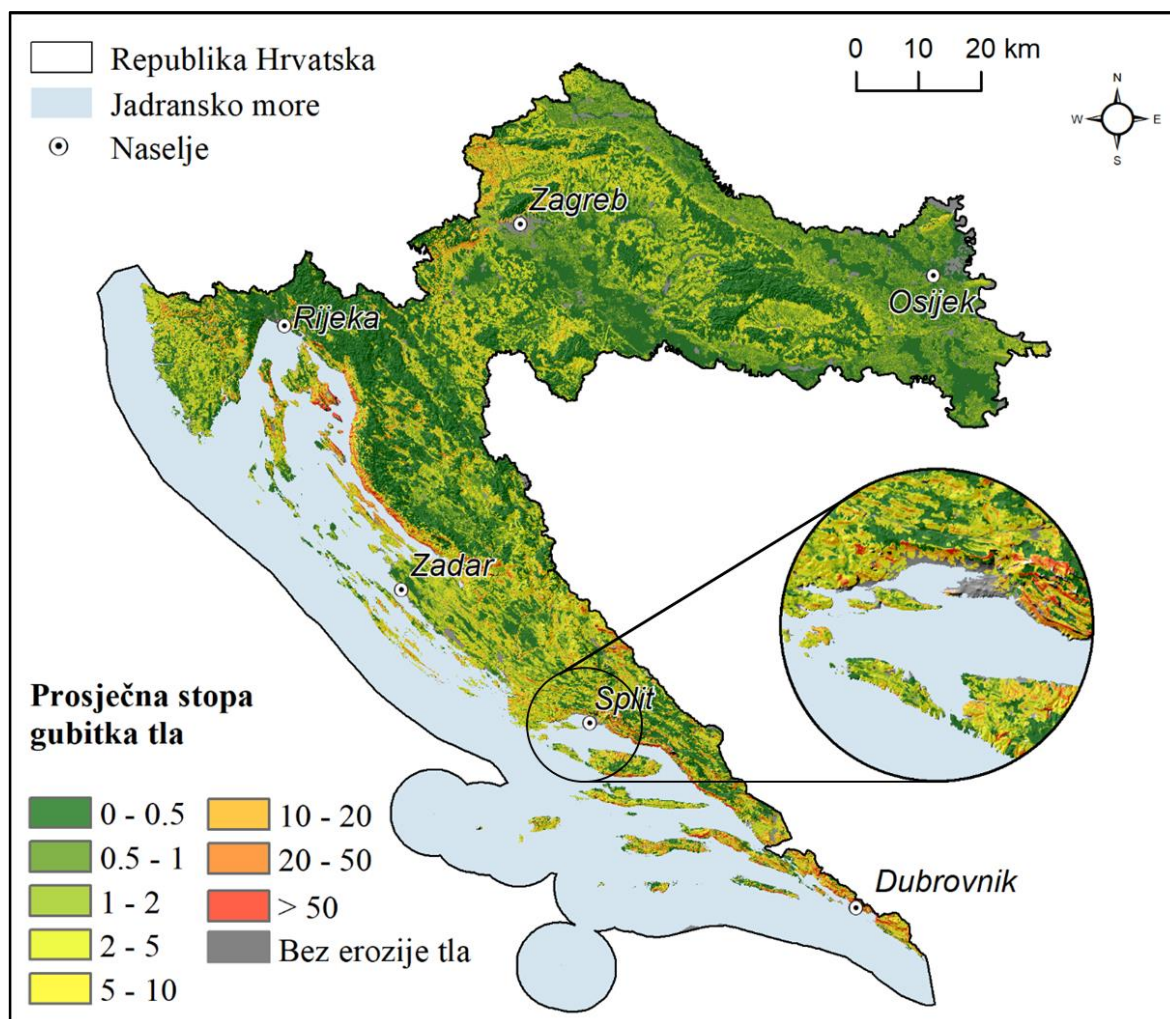
3. Model rizika od erozije

Uvod

Erozija tla predstavlja proces postupne degradacije i denudacije površinskih slojeva tla, koji na globalnoj razini uzrokuje dugoročno smanjivanje poljoprivredne produktivnosti i značajne financijske gubitke (Morgan, 2009; Erkossa i dr., 2015; Montanarella, 2015; Panagos i dr., 2015b; Borelli i dr., 2017.). Unutar Europske Unije erozija tla je prepoznata kao primarna ugroza za postojeće naslage tla, čije djelovanje negativno utječe na stabilnost ekosustava, poljoprivrednu proizvodnju, opskrbu pitkom vodom i povećanje globalnih emisija ugljika (Boardman & Poesen, 2007; Panagos i dr., 2015a; Panagos i dr., 2015b). Iako erozija tla predstavlja prirodan proces, rapidne klimatske promjene (npr. dezertifikacija, ekstremni oborinski događaji, toplinski valovi, itd.) i različiti izraženi antropogeni pritisci (npr. deforestacija, prekomjerna ispaša, neprimjerene poljoprivredne prakse i obrada tla, itd.) u zadnjim desetljećima utječu na značajno intenziviranje i širenje prostornog obuhvata ovog procesa (Pimentel & Burgess, 2013; Borelli i dr., 2017.). Mnogobrojni povijesni izvori iz različitih dijelova svijeta svjedoče da je erozija tla prisutna tijekom gotovo cijelog holocena, ali i da su klimatske promjene i antropogeni učinci postepeno postali glavni propagatori ovog procesa (Dotterweich, 2013.).

Generalno gledano Hrvatska je prema vrijednostima prosječne stope gubitka tla među srednje ugroženim zemljama Europske Unije (Panagos i dr., 2015a). Međutim, pojedini dijelovi Hrvatske su zbog različitih mikrolokacijskih značajki znatno podložniji i ugroženiji od procesa erozije tla, s vrlo visokim vrijednostima prosječne stope gubitka tla (Sl. I-41.). Posebice visoke vrijednosti prosječne stope gubitka tla prisutne su u priobalnom prostoru.

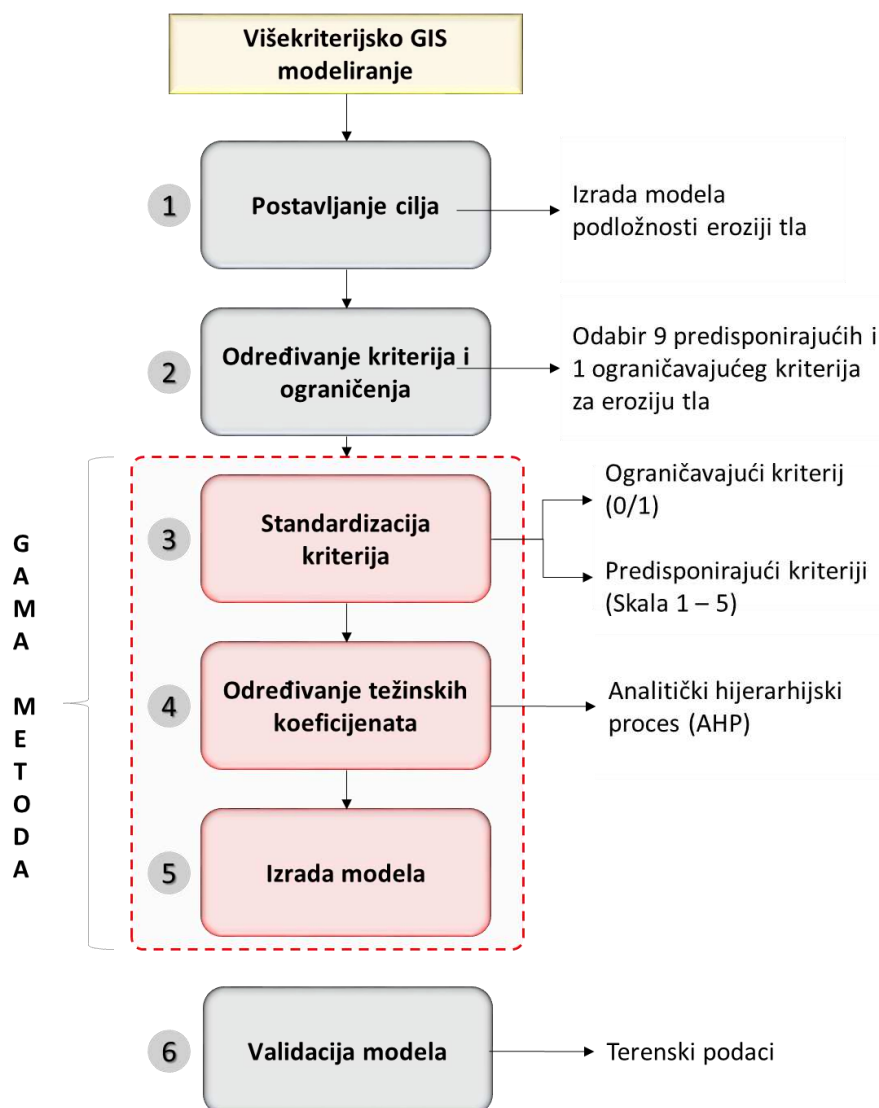
Unutar prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva pretežito prevladavaju srednje vrijednosti prosječne stope gubitka tla ($5 - 10 t ha^{-1} y^{-1}$), dok pojedini dijelovi bilježe i znatno veće stope od $20 - 50 t ha^{-1} y^{-1}$, ili čak iznad $50 t ha^{-1} y^{-1}$ (Panagos i dr., 2015a). Izrada modela podložnosti eroziji tla predstavlja osnovu za planiranje mjera za ograničavanje i prilagodbu daljnjim negativnim posljedicama procesa erozije tla na širem prostoru istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva.



Slika I-42. Prosječna godišnja stopa gubitka tla u Hrvatskoj prema RUSLE metodi
 (preuzeto iz Panagos i dr., 2015a; ESDAC, 2020)

Izrada modela podložnosti eroziji tla

Izrada modela podložnosti eroziji tla provedena je kroz primjenu višekriterijske GIS analize (GIS-MCDA) namijenjene analiziranju podložnosti prostora za pojavu erozije tla prema odgovarajućim predisponirajućim kriterijima. Primjena višekriterijske GIS analize u modeliranju erozije tla sastoji se od ukupno šest koraka (Sl. I-43.), od kojih su tri koraka automatizirana uz pomoć GAMA metode (Domazetović i dr., 2019.):



Slika I-43. Tijek primijenjene višekriterijske GIS analize (prema Eastman, 1999.)

Odabrani kriteriji GIS-MCDA podložnosti eroziji tla

Kvaliteta izrađenog modela podložnosti eroziji tla ovisi o valjanosti izabranih predisponirajućih kriterija, zbog čega su u ovom istraživanju prije odabira kriterija za GIS-MCDA temeljito proučeni čimbenici korišteni u drugim radovima koji obrađuju podložnost eroziji tla. Nakon analize dostupne literature ukupno je izdvojeno 9 različitih kriterija, determinančnih za pojavu erozije tla. Na temelju determinančnih kriterija provedena je GIS-MCDA te su izdvojene zone različite pogodnosti za pojavnost erozije tla, koje su naknadno kategorizirane Jenkovom metodom u pet klasa (*vrlo niska podložnost, niska podložnost, srednja podložnost, visoka podložnost i vrlo visoka podložnost*). U nastavku je dan pregled odabranih kriterija provedene GIS-MCDA, s objašnjenim utjecajem svakog od odabranih kriterija na pojavnost i intenzitet erozije tla. Pri tome su zbog bolje preglednosti kriteriji izdvojeni iz DMR-a šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva podijeljeni na: primarne morfometrijske parametre i sekundarne morfometrijske parametre (Wilson i Gallant, 2000.), dok su preostali kriteriji svrstani u ostale kriterije. Prikaz prostorne zastupljenosti pojedinih kriterija vidljiv je na slikama I-44 - I-49. Tablični prikaz odabranih primarnih, sekundarnih i ostalih kriterija dan je u tablicama I-12., I-13. i I-14.

Tablica I-12. Primarni parametri korišteni za modeliranje podložnosti eroziji tla

#	Parametar	Akronim	Definicija	Korištena metoda
1	Nagib padine	SLO	Mjera nagiba površine nekog terena u određenom smjeru	Horn (1981.)
2	Ekspozicija padine	ASP	Orijentacija padine određenu u smjeru kazaljke na satu prema kutu kojeg zatvaraju referentni pravac i pravac padine	Horn (1981.)
3	Profilna zakrivljenost padine	PROF	Zakrivljenost padine u pravcu najveće strmine, gledano u odnosu na hipotetsku vertikalnu površinu koja siječe padinu u svakom njezinom segmentu	Zeverbergen i Thorne (1987.)
4	Planarna zakrivljenost padine	PLAN	Zakrivljenost padine u sekanti ortogonalnoj na pravac najveće strmine	Zeverbergen i Thorne (1987.)

Tablica I-13. Sekundarni parametri korišteni za modeliranje podložnosti eroziji tla

#	Parametar	Akronim	Definicija	Korištena metoda
1	Topografski indeks vlažnosti	TWI	Potencijal zasićenosti terena vodom izračunat prema lokalnim značajkama drenažnog bazena i nagiba terena	Moore i dr. (1991.)
2	Indeks snage otjecanja	SPI	Potencijalna snaga otjecanja izračunata prema lokalnim značajkama drenažnog bazena i nagiba terena	Moore i dr. (1991.)
3	LS faktor	LSF	Odnos između duljine (L) i nagiba padine (S)	Zhang (2013.)
4	Specifično slivno područje	WAT	Površina drenažnog bazena	Kombinacija alata ²

Tablica I-14. Ostali parametri korišteni za modeliranje podložnosti eroziji tla

#	Parametar	Akronim	Definicija	Korištena metoda
1	Zemljišni pokrov	LULC	Prirodni i antropogeni površinski pokrov	Nadzirana klasifikacija
2	Boolean kriterij	BLN	Ograničavajući kriterij	Nadzirana klasifikacija

² Hydrology toolset – ArcGIS 10.1

Primarni morfometrijski parametri

Za potrebe GIS-MCDA izdvojeni su sljedeći primarni morfometrijski parametri: nagib padine (SLO), orijentacija padine (ASP) te planarna (PLAN) i profilna (PROF) zakrivljenost padine. Iako postoje brojni drugi primarni morfometrijski parametri, koji se mogu izdvojiti iz DMR-a (npr. hipsometrija), njihov utjecaj na pojavnost erozije tla nije značajan te su oni izdvojeni iz ove analize.

Nagib padine (SLO)

Nagib padine jedan je od glavnih predisponirajućih čimbenika u evoluciji padinskog reljefa, koji izravno utječe na intenzitet različitih denudacijskih procesa (Wilson i Gallant, 2000.). Zbog izraženog utjecaja nagiba padinama na evoluciju padinskog reljefa kriterij nagiba padine ima odlučujuću ulogu u izradi modela podložnosti eroziji tla (Confronti i dr., 2011.). Prema tome, vrlo je bitno pravilno rangirati pojedine klase nagiba padina, sukladno razini njihovog utjecaja na pojavnost erozije tla. Brzina i erozivna snaga otjecanja povećavaju se sukladno porastu nagiba padine, zbog čega strmije padine karakterizira veća vjerojatnost za pokretanje različitih denudacijskih procesa, pa tako i erozije tla (Valentin i dr., 2005.). Međutim, u slučaju vrlo strmih terena ($32^\circ - 55^\circ$) te strmaca i litica ($> 55^\circ$) brzina površinskog otjecanja je tolika da se bitno smanjuje mogućnost stvaranja kritične količine usmjerenog otjecanja, potrebnog za pokretanje erozije tla (Valentin i dr. 2005; Poesen, 2003.). S druge strane na blago nagnutim terenima ($2^\circ - 5^\circ$) te pogotovo na ravninama ($0^\circ - 2^\circ$) slabo izražen nagib terena ne onemogućava nastanak bržeg otjecanja, zbog čega je i erozivna snaga na ovakvim padinama manja, kao i mogućnost pojave erozije tla.

Na ovakvim padinama se erozija tla u pravilu javlja samo kod većih drenažnih bazena, koji imaju sposobnost prikupljanja kritične količine vode, potrebne za odnošenje materijala i formiranje različitih erozijskih formi (Chaplot, 2013.).

Nagibi padina unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva klasificirani su prema standardnoj klasifikaciji (IGU, 1968.) (Sl. I-43.). Unutar proučavanog prostora prevladavaju nagnuti tereni ($5^\circ - 12^\circ$) i značajno nagnuti tereni ($12^\circ - 32^\circ$), koji prevladavaju na nižim i blažim padinama Kozjaka i Mosora na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu, te Marjana na jugozapadnom dijelu proučavanog područja. Tereni s ovakvim nagibom ukupno obuhvaćaju 61.81 % površine drenažnih bazena proučavanog prostora (35.66 km²). Upravo na nagnutim i značajno nagnutim terenima je najčešća najveća pojavnost i razvijenost erozijskih formi, zbog čega su ovakve padine najpogodnije za pojavu erozije tla. Slijede blago nagnuti tereni ($2^\circ - 5^\circ$) koji obuhvaćaju 20.13 % površine (11.61 km²), a

najzastupljeniji su na prijelazu s nagnutih i značajno nagnutih padina Mosora, Kozjaka i Marjana, prema priobalnom zaravnjenom dijelu. Ravnice ($0^{\circ} - 2^{\circ}$) su zastupljene na oko 11.90 % površine, pretežito užeg priobalnog dijela. Najmanju zastupljenost imaju vrlo strmi tereni ($32^{\circ} - 55^{\circ}$) i strmci ($> 55^{\circ}$), koji su zastupljeni na manje oko 6 % ukupne površine (3.55 km²), pretežito na strmim vršnim padinama grebena Kozjaka i Mosora. Zbog vrlo strmog nagiba na ovakvim padinama gotovo da nije zamijećena pojavnosti erozijskih formi. Kako se iz ranije navedenog može zaključiti da su nagnuti tereni ($12^{\circ} - 32^{\circ}$) najpogodniji za pojavu erozije tla određeno je da klase s ovakvim vrijednostima nagiba padina trebaju dobiti najviše težinske koeficijente.

Zatim slijede jako nagnuti tereni ($32^{\circ} - 55^{\circ}$) i blago nagnuti tereni ($2^{\circ} - 5^{\circ}$) s nešto slabijim težinskim koeficijentom. Najniži težinski koeficijent dodijeljen je klasi ravnica ($0^{\circ} - 2^{\circ}$) i klasi strmaca i litica ($> 55^{\circ}$), na kojima nepovoljan nagib padine gotovo da onemogućava pojavu erozije tla (Tabl. I-7.).

Tablica I-15. Zastupljenost klasa nagiba padine s pripadajućim težinskim koeficijentima

Nagib padine	$0^{\circ} - 2^{\circ}$	$2^{\circ} - 5^{\circ}$	$5^{\circ} - 12^{\circ}$	$12^{\circ} - 32^{\circ}$	$32^{\circ} - 55^{\circ}$	$> 55^{\circ}$
Površina (km ²)	6.86	11.61	16.11	19.55	3.05	0.50
Udio	11.90	20.13	27.92	33.89	5.29	0.87
Težinski koeficijent	1	2	4	5	3	2

Ekspozicija padine (ASP)

Iako ekspozicija padine ne spada u čimbenike koji neposredno utječu na pojavnost i intenzitet padinskih procesa, ona može neizravno utjecati na intenzitet erozije tla, jer određuje izloženost terena raznovrsnim klimatskim čimbenicima (npr. trajanje osunčanosti, intenzitet oborina, vlažnost, izloženost vjetru itd.) te uvjetuje razvijenost vegetacijskog pokrova (Wijdenes i dr., 2000; Confronti i dr., 2011.; Rahmati i dr., 2016a). Sjeverne padine obilježava kraća osunčanost i veća vlažnost u odnosu na južnije položene padine, zbog čega na tim padinama može lakše doći do pojave površinskog otjecanja, nego na južnijim sušnijim padinama. Nadalje, sjeverne, a posebice sjevernoistočne padine su u priobalnom dijelu izložene utjecaju snažnog, ponekad i olujnog vjetra – bure. Bura je iznimno jak vjetar, koji puše na mahove, a može doseći brzinu i veću od 150 km/h (Penzar i dr., 2001.), koji mjestimice može utjecati na pojavu degradacije vegetacijskog pokrova.

Najzastupljenije padine unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva su padine južne, jugoistočne i jugozapadne orijentacije, koje zajedno obuhvaćaju oko 56,05 % (32.33 km²) površine. U padine ove orijentacije spada većina primorskih padina Kozjaka, Mosora i Marjana. Od padina drugih ekspozicija treba istaknuti još i padine sjeverne, sjeveroistočne i sjeverozapadne orijentacije s 28.57 %

ukupne površine (16.48 km²), koje obuhvaćaju pretežito sjeverne padine Marjana i sjeverne strane pojedinih dolina na primorskoj padini Mosora. Ostale padine su znatno manje zastupljene.

Sjevernim, sjeveroistočnim i sjeverozapadnim padinama su pridodani najveći težinski koeficijenti za podložnost eroziji tla, dok kod ostalih klasa orijentacije padina težinski koeficijenti postupno opadaju prema jugu (Tabl. I-8.). Najnižu ocjenu za podložnost eroziji tla dobile su južno orijentirane padine i zaravnjeni prostori, na kojima prevladavaju najnepovoljniji uvjeti za pojavnost erozije tla.

Tablica I-16. Zastupljenost klasa orijentacije padina s pripadajućim težinskim koeficijentima

Orijentacija padine	Ravno	N	NE	E
Površina (km ²)	0.01	6.33	3.08	2.91
Udio	0.01	10.97	5.34	5.04
Težinski koeficijent	3	5	5	3
SE	S	SW	W	NW
6.83	15.84	9.66	5.96	7.07
11.84	27.46	16.75	10.34	12.26
2	1	2	3	4

Zakrivljenost padine (Curvature)

Zakrivljenost površine se može promatrati kao zakrivljenosti linije koju čini sjecište određene ravnine sa topografskom površinom (Wilson i Gallant, 2000.), pri čemu vrijednost zakrivljenosti označava iznos u kojemu određena površina (npr. teren) odstupa od pravocrtne padine. Zakrivljenost padine utječe na konvergenciju ili divergenciju vode prilikom površinskog otjecanja, ali i na brzinu otjecanja vode niz padinu (Moore, 1991.; Agnesi i dr. 2011.; Confronti i dr., 2011.). Dva osnovna tipa zakrivljenosti padine su profilna i planarna zakrivljenost.

Profilna zakrivljenost padine (PROF) utječe na brzinu površinskog otjecanja vode niz padinu te posljedično i na pojavu odnošenja ili sedimentacije materijala.

Na konveksnim padinama pretežito dolazi do usporavanja površinskog otjecanja i slabljenja transportnog kapaciteta, čime u konačnici može doći i do sedimentacije materijala. S druge strane na konkavnim padinama prevladava ubrzavanje površinskog otjecanja, koje utječe na povećanje energije otjecanja i izraženije usijecanje toka u padinu te moguću pojavu odnošenja materijala. Unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva zastupljenost konkavnih i konveksnih padina je poprilično ujednačena (Tablica I-17.). Konkavne padine obuhvaćaju 48.77 % (28.13 km²) površine, konveksne imaju zastupljenost od 51.11 % (29.48 km²), a zaravnjene samo 0.12 % (0.07 km²).

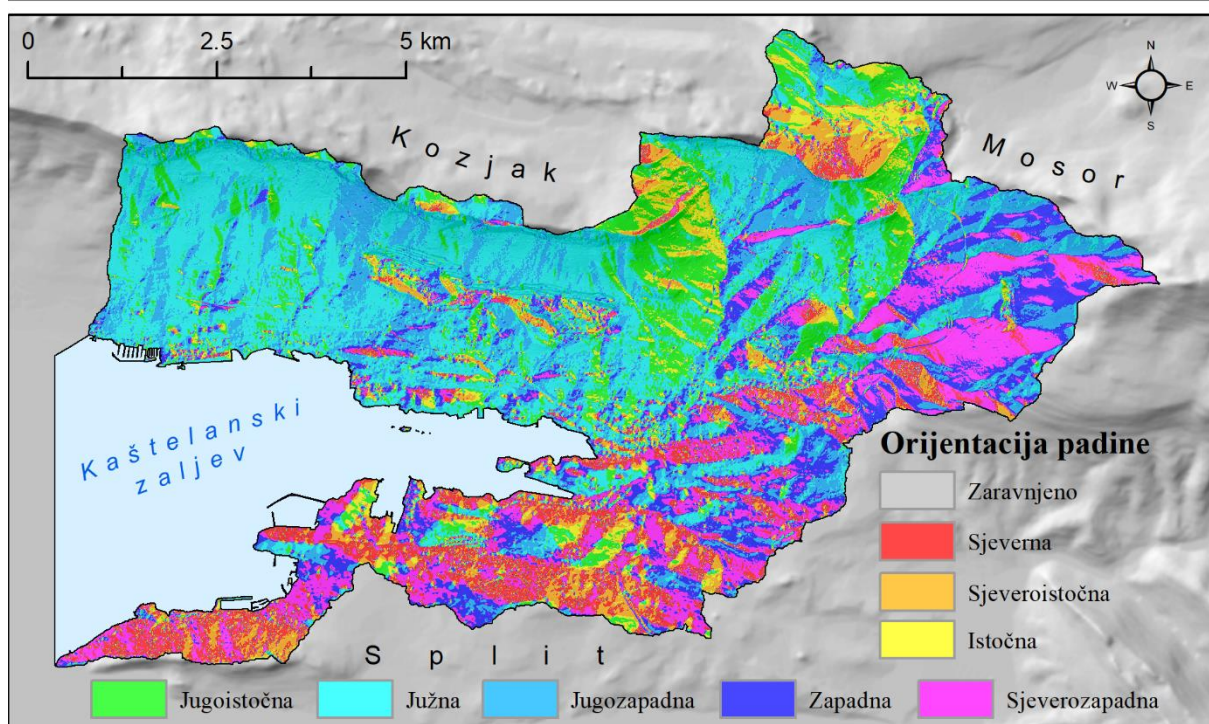
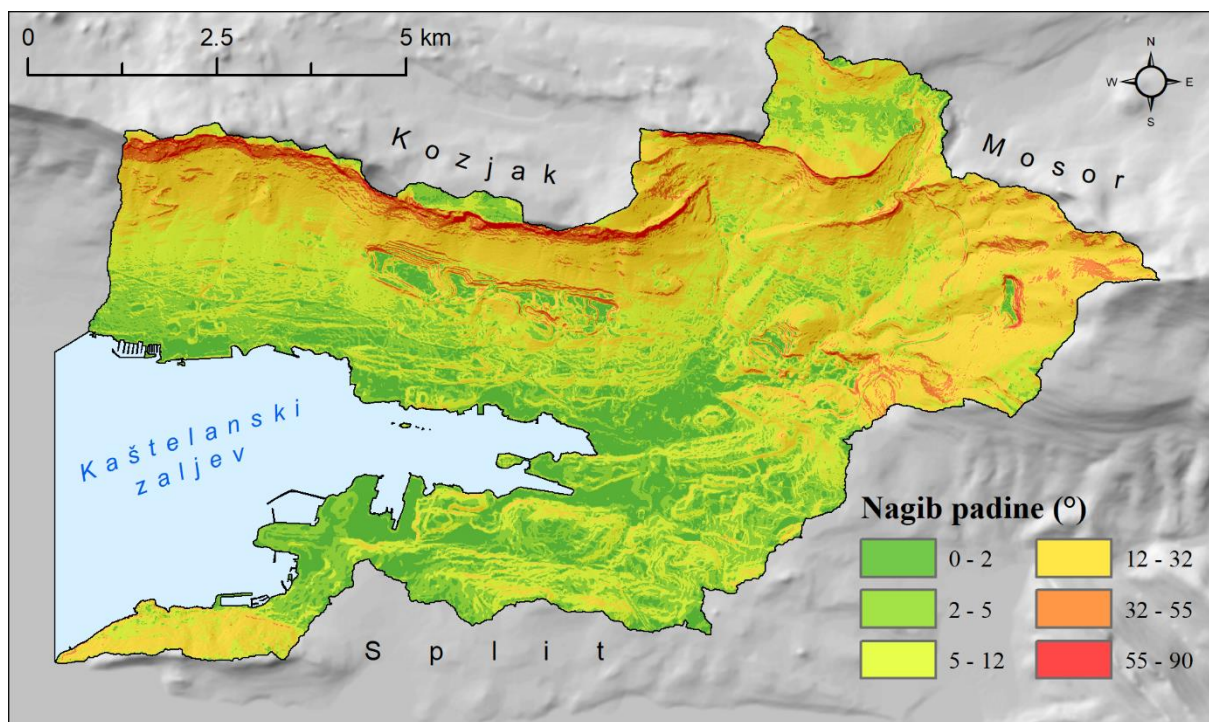
Tablica I-17. Zastupljenost klasa profilne zakrivljenosti padina s pripadajućim težinskim koeficijentima

Profilna zakrivljenost	Konkavne	Pravocrtne	Konveksne
Površina (km ²)	28.13	0.07	29.48
Udio	48.77	0.12	51.11
Težinski koeficijent	1	3	5

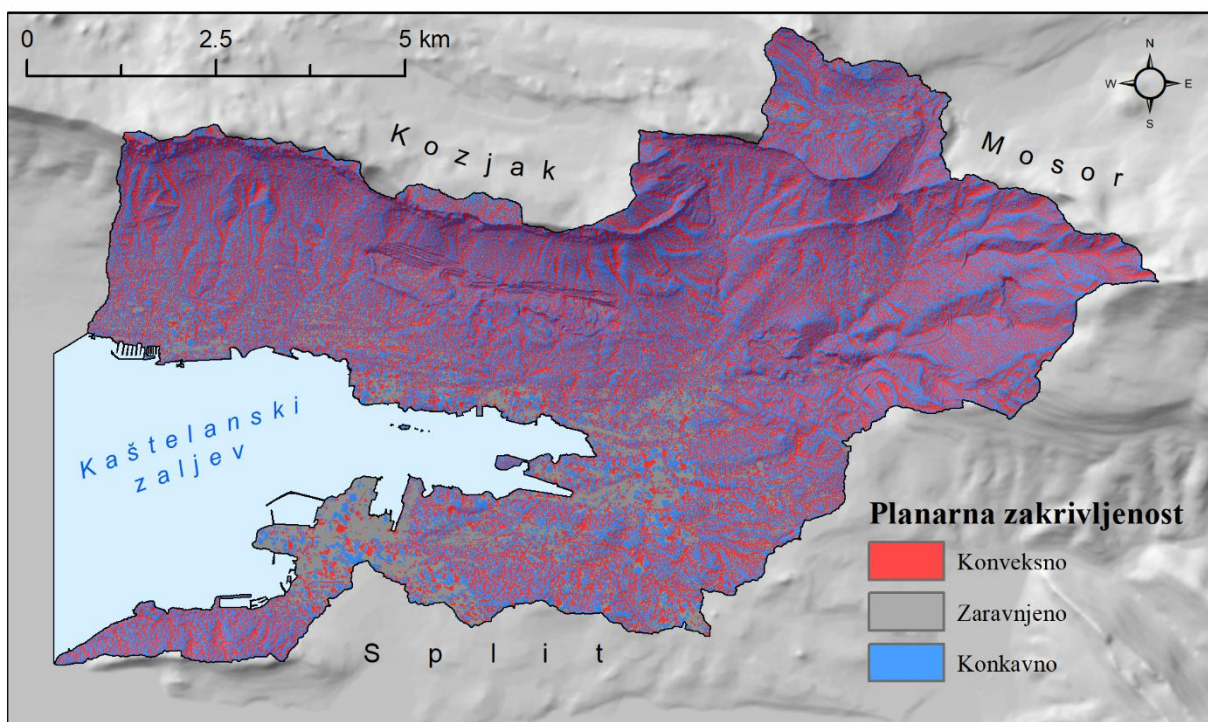
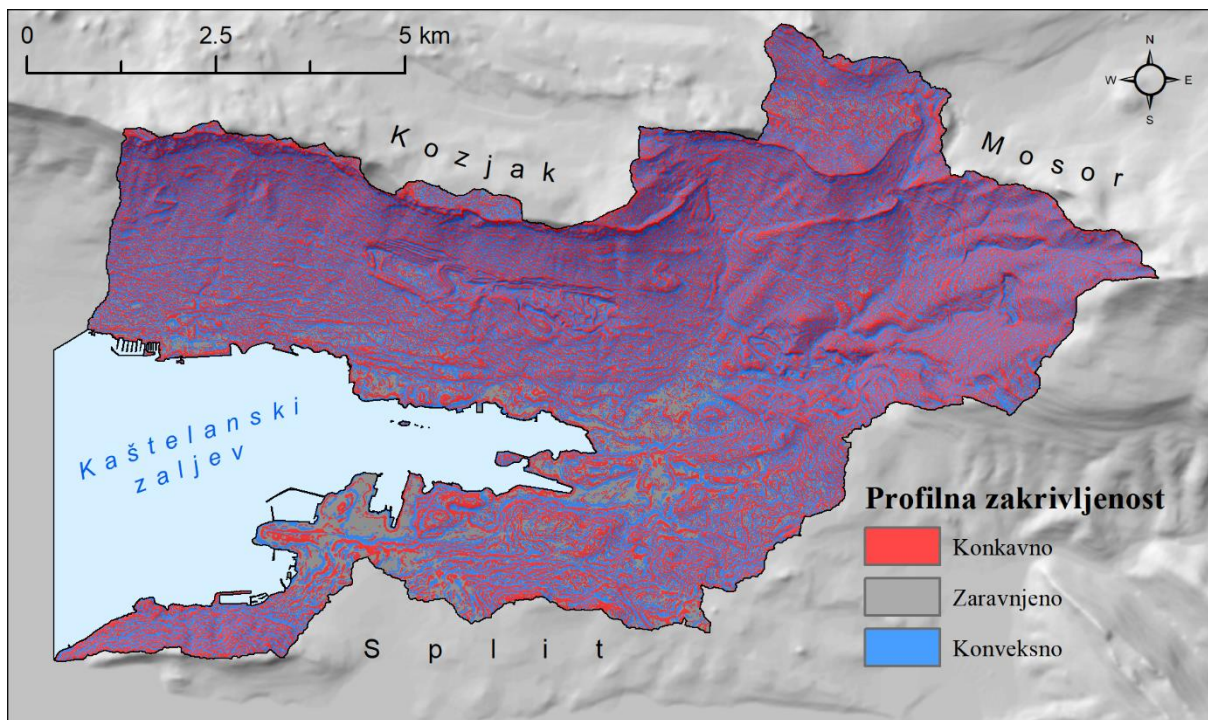
Planarna zakrivljenost padine (PLAN) utječe na homogenost površinskog otjecanja. Kod konkavnih padina vezanih za negativne vrijednosti planarne zakrivljenosti dolazi do konvergencije površinskog otjecanja i formiranja jedinstvenog toka sa znatno većom erozivnom snagom, čime se znatno povećava vjerojatnost za pojavu erozije tla. Kod konveksnih padina, vezanih za pozitivne vrijednosti planarne zakrivljenosti dolazi do razdvajanja, odnosno grananja površinskog otjecanja, čime slabi erozivni potencijal otjecanja te je sukladno tome vjerojatnost pojave erozije tla na ovakvim padinama manja. Kod planarne zakrivljenosti na 48.76 % (28.13 km²) površine su zastupljene konkavne padine, dok su konveksne zastupljene na 51.08 % (29.46 km²) površine (Tablica I-18.).

Tablica I-18. Zastupljenost klasa planarne zakrivljenosti padina s pripadajućim težinskim koeficijentima

Planarna zakrivljenost	Konkavne	Pravocrtne	Konveksne
Površina (km ²)	28.13	0.10	29.46
Udio	48.76	0.17	51.08
Težinski koeficijent	5	3	1



Slika I-44. Odabrani primarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti eroziji tla (A)



Slika I-45. Odabrani primarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti eroziji tla (B)

Sekundarni morfometrijski parametri

Za potrebe ovog istraživanja odabrani su oni sekundarni morfometrijski kriteriji, koje je moguće iskoristiti kao indikatore podložnosti određenog prostora eroziji tla. Izdvojena su tri hidrološka sekundarna parametra (TWI, SPI i WAT) te jedan morfometrijski sekundarni parametar (LS faktor).

Topografski indeks vlažnosti (TWI)

Sa stajališta proučavanja erozije tla TWI je važan kriterij za određivanje potencijala određenog terena za pojavu erozije tla, jer omogućava identifikaciju prostora zasićenog vodom u kojima je infiltracija površinske vode u podzemlje znatno manja. Manja infiltracija vode u podzemlje uvjetuje pojavu izraženijeg površinskog i plitkog podzemnog otjecanja, čime je i denudacijski učinak ovog otjecanja znatno veći. Izraženije površinsko otjecanje u kombinaciji s destabiliziranom ili izloženom slabije otpornom podlogom preduvjet je pojave erozije tla. Zbog toga rasterske ćelije s višim vrijednostima ovog indeksa predstavljaju područja veće pogodnosti za pojavu erozije tla.

Tablica I-19. Zastupljenost klasa topografskog indeksa vlažnosti (TWI) s pripadajućim težinskim koeficijentima

TWI	1	2	3	4
Površina (km ²)	25.76	24.48	7.18	0.26
Udio	44.66	42.44	12.45	0.46
Težinski koeficijent	2	3	4	5

Indeks snage toka (SPI)

SPI je jedan od važnijih čimbenika koji utječu na intenzitet padinskih procesa, pa tako i erozije tla, jer erozivna snaga površinskog otjecanja izravno utječe na intenzitet usijecanja vodotoka u podlogu. Strmije padine većih drenažnih bazena obilježavaju veće vrijednosti ovog indeksa te veća podložnost procesu erozije tla, jer veličina drenažnog bazena utječe na volumen površinskog otjecanja, a nagib padine na brzinu površinskog otjecanja. Utvrđeno je kako područja s većim vrijednostima SPI indeksa imaju veći erozijski potencijal te se često podudaraju s pojavom odnošenja materijala (Favre i dr., 2011.; Confronti i dr., 2011.).

Tablica I-20. Zastupljenost klasa indeksa snage otjecanja (SPI) s pripadajućim težinskim koeficijentima

SPI	1	2	3	4
Površina (km ²)	1.13	7.78	28.50	20.28
Udio	1.95	13.48	49.41	35.17
Težinski koeficijent	2	3	4	5

LS faktor (LSF)

LS faktor, često naveden i kao topografski faktor jedan je od osnovnih varijabli korištenih u USLE (engl. Universal Soil Loss Equation) i RUSLE (engl. Revised Universal Soil Loss Equation) jednadžbama za procjenu erozije tla, kojim se razmatra utjecaj topografskih značajki na intenzitet erozije (Zhang i dr., 2013.).

Prije svega ovaj čimbenik analizira utjecaj duljine padine (L) i nagiba padine (S) na eroziju tla te može poslužiti kao kvantitativna mjera transportnog kapaciteta površinskog otjecanja (Moore, 1992.). Pri tome se s porastom duljine i nagiba padine povećava brzina otjecanja i intenzitet erozije, odnosno sposobnost površinskog otjecanja da odnosi i transportira materijal (Lal, 1988.).

Sa stajališta proučavanja erozije tla LS faktor može poslužiti za izdvajanje erozijskih zona, ponajprije jer se erozija javlja na strmijim padinama, većih slivnih područja, iz čega proizlazi da rasterske ćelije s većim vrijednostima LS faktora imaju veći potencijal za pojavu erozije tla.

Tablica I-21. Zastupljenost klasa LS faktora sa pripadajućim težinskim koeficijentima

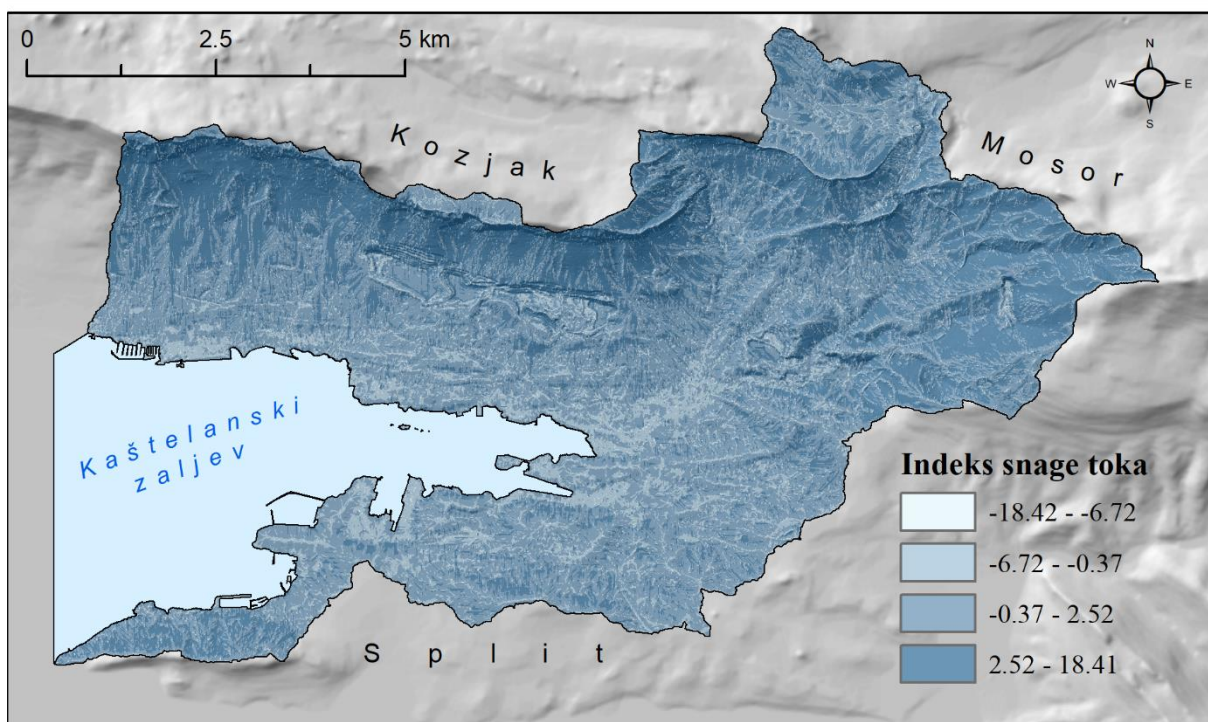
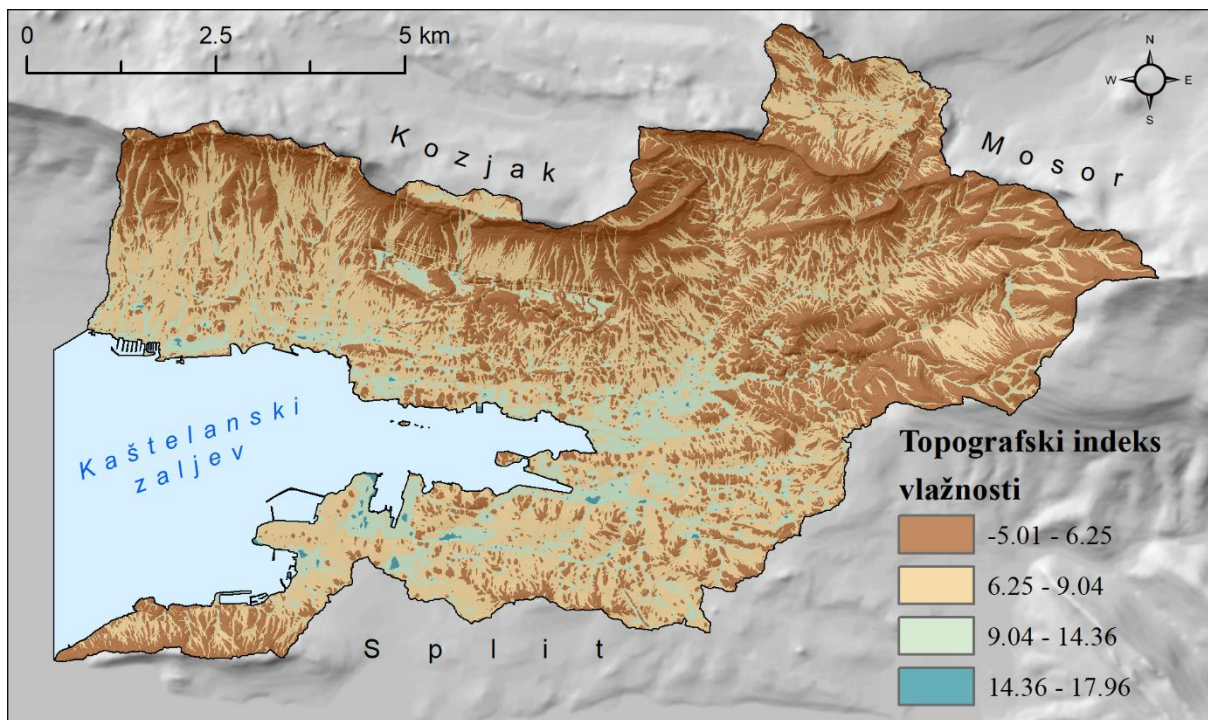
LS Faktor	1	2	3	4
Površina (km ²)	29.69	16.27	9.64	2.09
Udio	51.46	28.21	16.71	3.61
Težinski koeficijent	2	3	4	5

Specifično slivno područje (WAT)

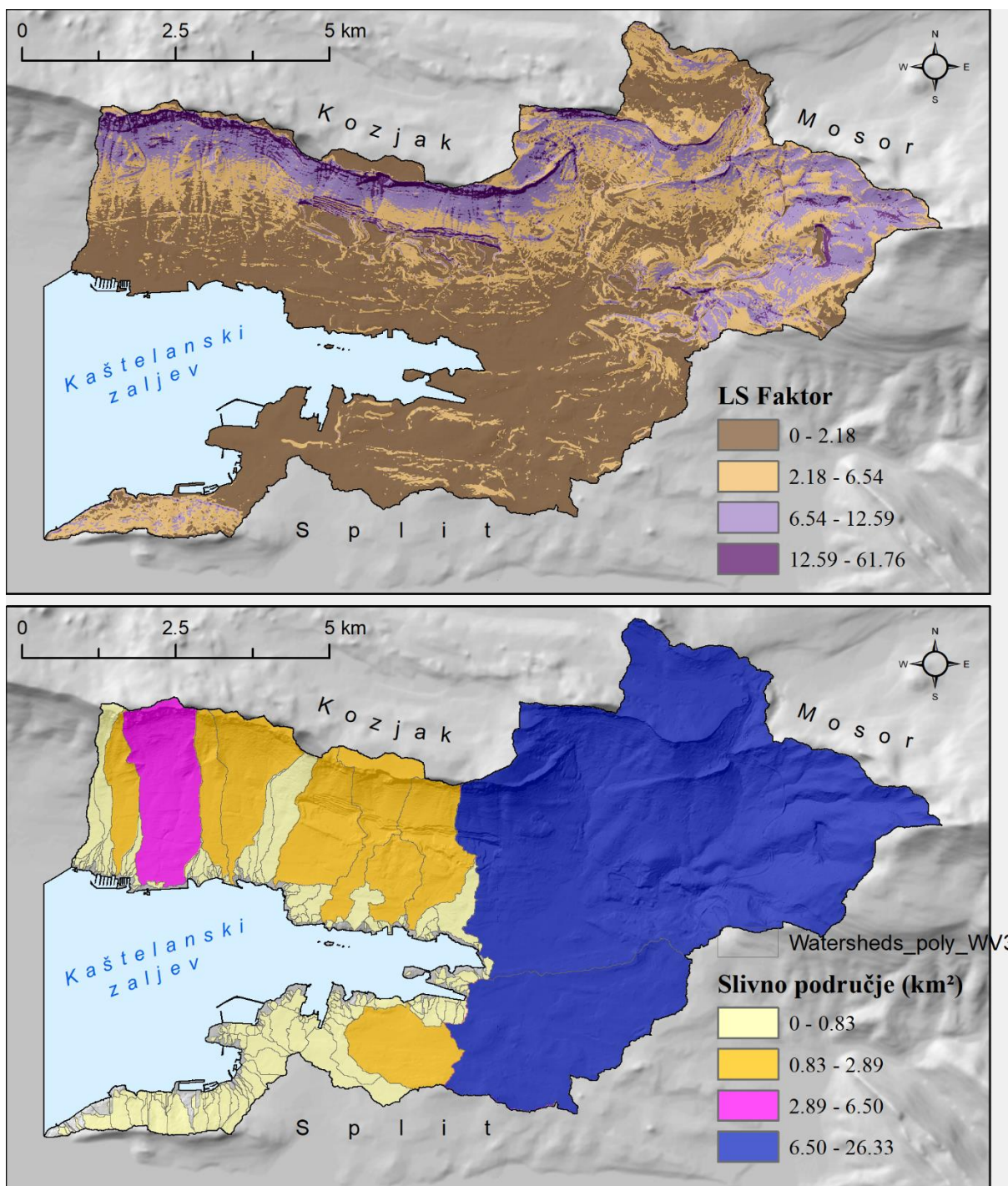
Uz nagib padine erozijska snaga površinskog otjecanja najviše ovisi o površini slivnog područja jaruge (Vandekerckhove i dr., 2000; De Vente i Poesen, 2005; Valentin i dr., 2005.), zbog čega su izdvojeni drenažni bazeni šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva uzeti kao kriterij u GIS-MCDA analizi, pod pretpostavkom da unutar većih drenažnih bazena postoji veća vjerojatnost za pojavu kritičnog površinskog otjecanja, potrebnog za pokretanje erozije tla. Ova pretpostavka temelji se na ranijim istraživanjima koja su pokazala kako je veličina slivnog područja u izravnom suodnosu s intenzitetom horizontalnog pomaka u čeonom dijelu jaruge (GHR), pri čemu jaruge sa većim slivnim područjem bilježe intenzivniji horizontalni pomak i intenzivnije stope erozije tla (Vanmaercke i dr., 2016.).

Tablica I-22. Zastupljenost klasa WAT s pripadajućim težinskim koeficijentima

Specifično slivno područje (km ²)	0 - 0.83	0.83 – 2.89	2.89 – 6.50	6.50 – 26.33
Površina (km ²)	8.38	11.95	2.93	32.88
Udio	0.15	0.21	0.05	0.59
Težinski koeficijent	2	3	4	5



Slika I-46. Odabrani sekundarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla (A)



Slika I-47. Odabrani sekundarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla (B)

Ostali kriteriji

Pod ostale kriterij su svrstani svi oni kriteriji koji nisu izvedeni iz DMR-a, a utječu na pojavnost i intenzitet erozije tla. U prvom redu to su zemljišni pokrov i pedološki sastav podloge, te ograničavajući Boolean kriterij.

Zemljišni pokrov (LULC)

Način korištenja zemljišta ima značajan utjecaj na geomorfološku stabilnost padine i pojavu raznovrsnih padinskih procesa. Primjeri iz cijelog svijeta ukazuju kako neprikladno korištenje zemljišta, kao što su prekomjerna sječa šuma ili stočarska valorizacija određenog prostora, mogu znatno ubrzati prirodni proces erozije tla (Valentin i dr. 2005.). Pojedine tipove zemljišnog pokrova obilježava različita otpornost na procese trošenja materijala, pa tako i na eroziju tla. Otpornost na procese trošenja povezana je s vegetacijskim pokrovom i načinom korištenja određenog zemljišta. Vegetacijski pokrov ima umanjujući učinak na podložnost određenog terena eroziji tla, jer smanjuje erozivnu sposobnost površinskog otjecanja (Conforti i dr., 2011). Primjerice, gola ili rijetko zasađena područja su uglavnom zahvaćena bržim i intenzivnijim trošenjem i većom nestabilnosti padina od čvrsto ukorijenjenih šuma ili kultiviranih parcela. Nadalje, način korištenja zemljišta može utjecati na odnošenje prirodnog organskog pedološkog pokrova, čime se mijenja strukturna stabilnost tla te potiče površinsko otjecanje i krustacija, što u konačnici vodi ka pojavi erozije tla.

Zemljišni pokrov unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva je heterogen. Stoga, prilikom dodjeljivanja težinskih koeficijenata različitim tipovima vegetacijskog pokrova, treba obratiti pozornost na stupanj razvijenosti, gustoću i otpornost na denudaciju pojedinih tipova vegetacijskog pokrova. Najveću ocjenu za pogodnost pojavnosti erozije tla svakako trebaju dobiti goli ili slabo vegetacijski prekriveni tipovi zemljišnog pokrova.

Unutar područja istraživanja najzastupljenija klasa zemljišnog pokrova je grmoliko raslinje, koje pokriva 10.03 km² (17.39 %) ukupne površine. Slijede pašnjaci, koji pokrivaju tek nešto manju površinu, odnosno 9.92 km² (17.19 %). Od klasa s većom zastupljenosti treba istaknuti još i travnate površine (9.02 km² - 15.64 % ukupne površine), kamenjar (8.48 km² - 14.70 % ukupne površine), urbane površine (8.56 km² - 14.84 %) te šumske površine (7.42 km² - 12.87 %). Znatno manju zastupljenost imaju tlo, slabopropusne podloge (n. makadam, šljunak, itd.) te vodene površine.

Tablica I-23. Zastupljenost klasazemljišnog pokrova s pripadajućim težinskim koeficijentima

Zemljišni pokrov	Travnata površina	Šumska površina	Grmoliko raslinje	Kamenjar
Površina (km ²)	9.02	7.42	10.03	8.48
Udio	15.64	12.87	17.39	14.70
Težinski koeficijent	4	2	3	1
Slabopropusna podloga	Pašnjak	Tlo	Urbana površina	Vodena površina
2.20	9.92	2.03	8.56	0.02
3.82	17.19	3.52	14.84	0.03
2	4	5	1	1

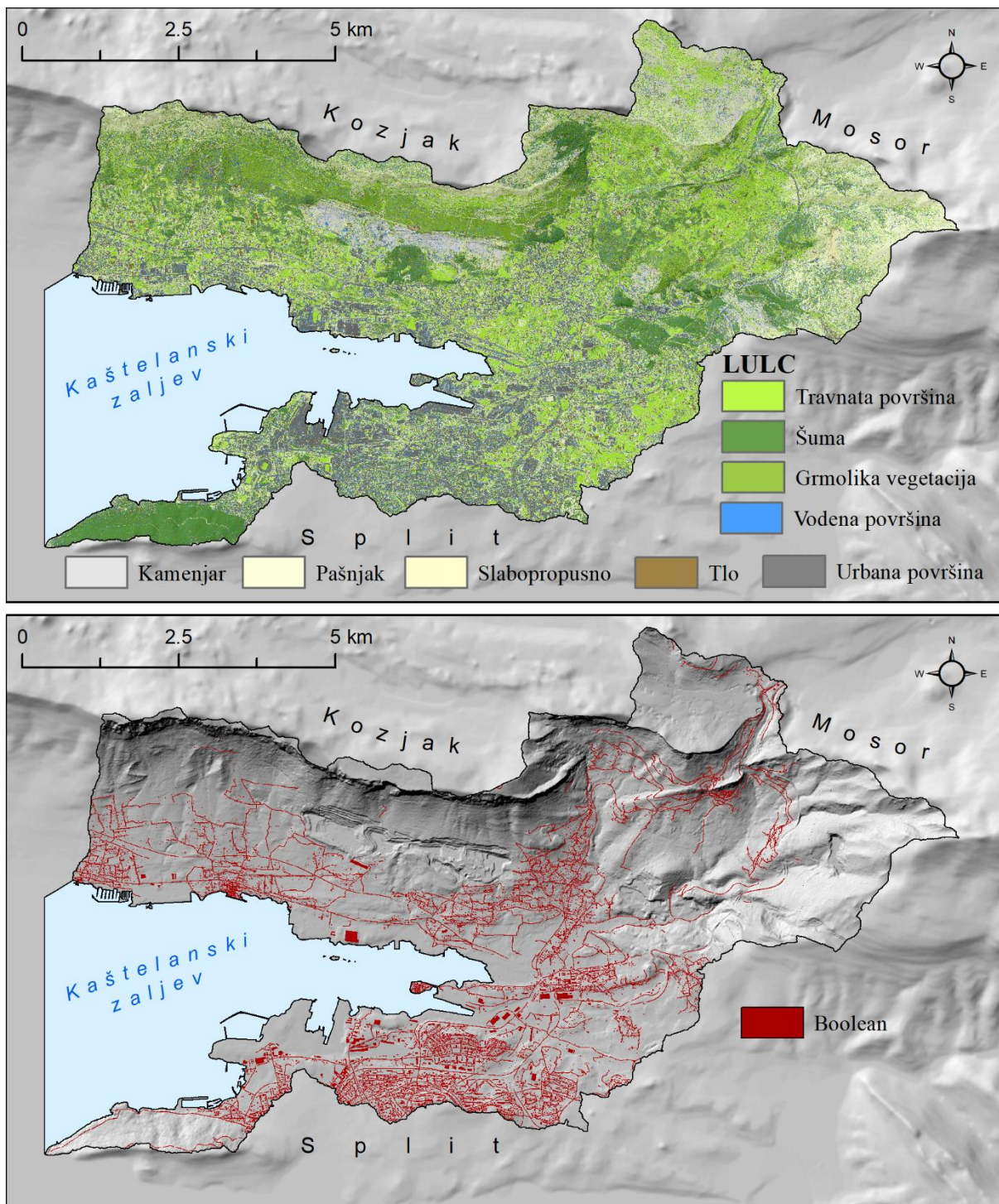
Boolean kriterij

Boolean kriterij obuhvaća sva ona područja na kojima ne postoje nikakvi uvjeti za pokretanje određenog procesa, u ovom slučaju erozije tla. U prvom redu pod Boolean kriterij spadaju sva urbana i industrijska izgrađena područja, u kojima zbog antropogenih modifikacija terena ne može doći do pojave klasične erozije tla. Zatim u Boolean kriterij spadaju sve trajne vodene površine, na prostoru kojih također nije moguća pojavnost padinskih procesa. Unutar prostora istraživanja Boolean kriterij obuhvaća 20.21 km², odnosno 27.67 % ukupne površine. Ovaj prostor obuhvaća sve vodene površine, stambene objekte i prometnice šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva.

Navedeni prostori isključeni su iz višekriterijske analize podložnosti eroziji tla na način da su izdvojeni kao prostori nikakve vjerojatnosti za pojavnost erozije tla, s težinskim koeficijentom $W_i = 0$.

Tablica I-24. Zastupljenost Boolean klasa s pripadajućim težinskim koeficijentima

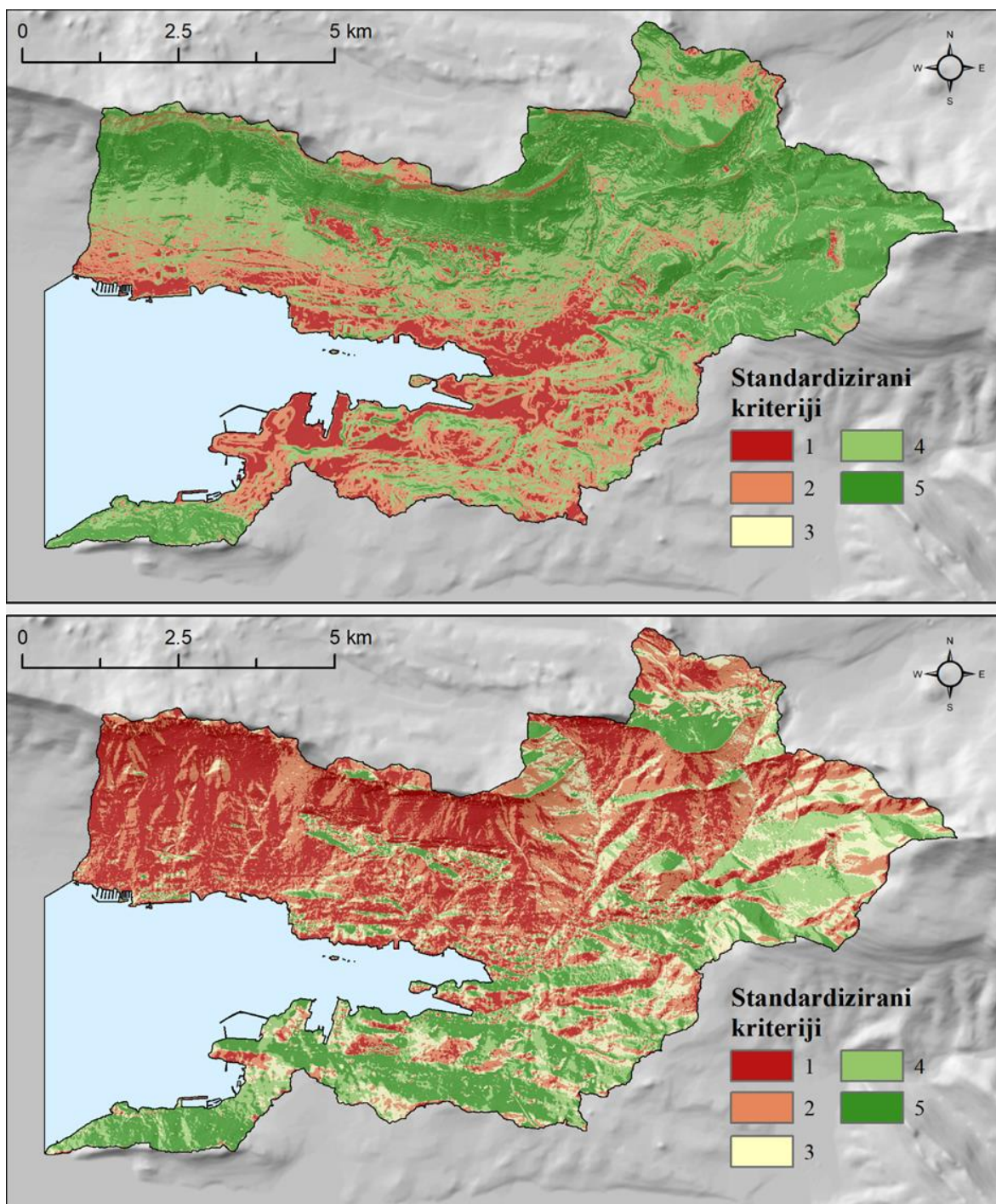
Boolean	0	1
Površina (km ²)	20.21	52.83
Udio	27.67	72.33
Težinski koeficijent	0	1



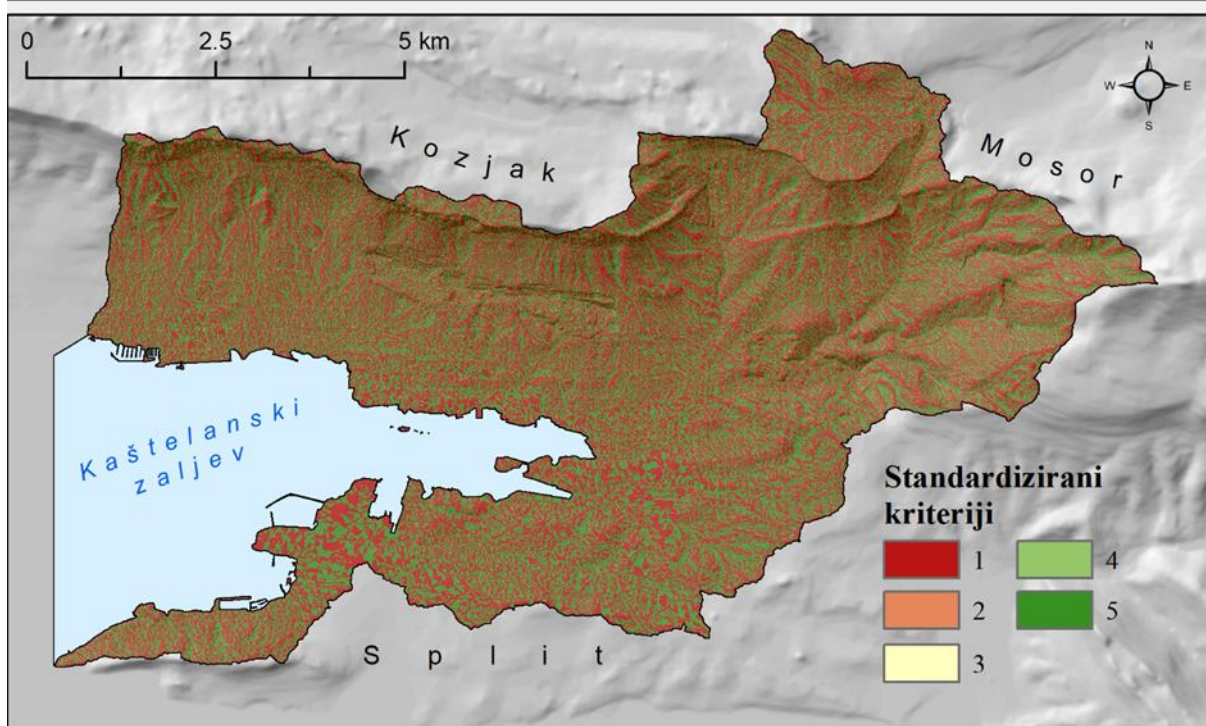
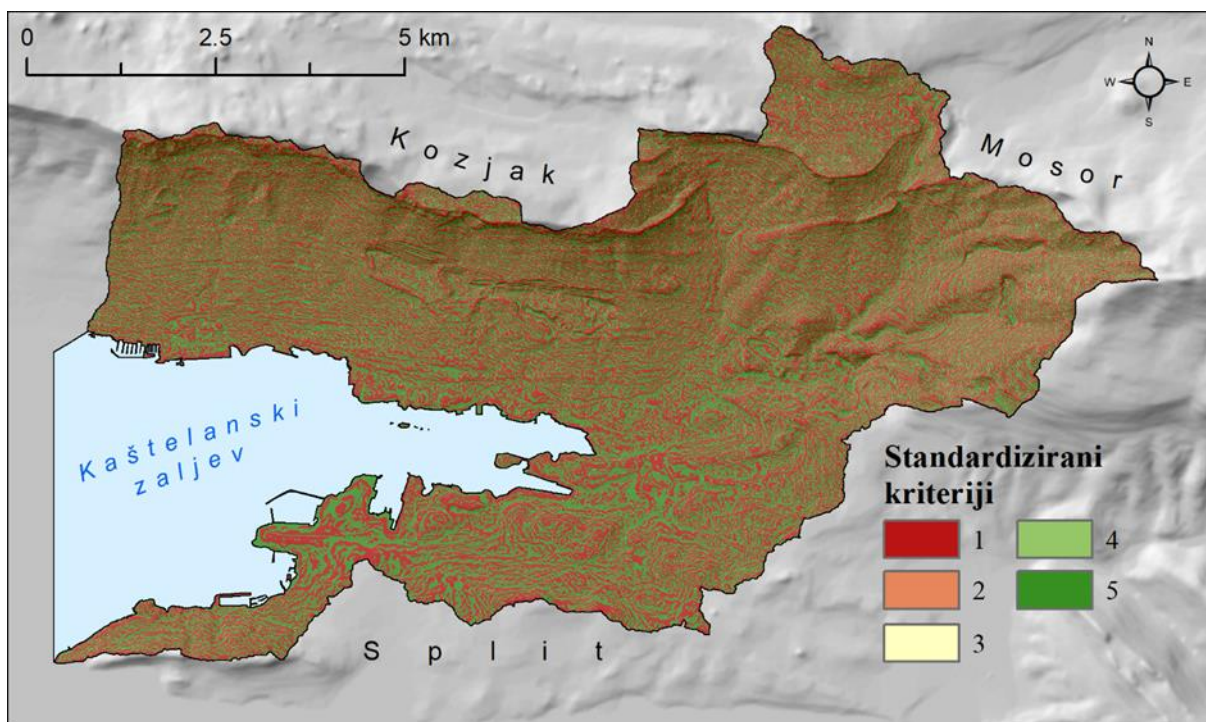
Slika I-48. Odabrani ostali kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla

Standardizacija odabranih GIS-MCDA kriterija

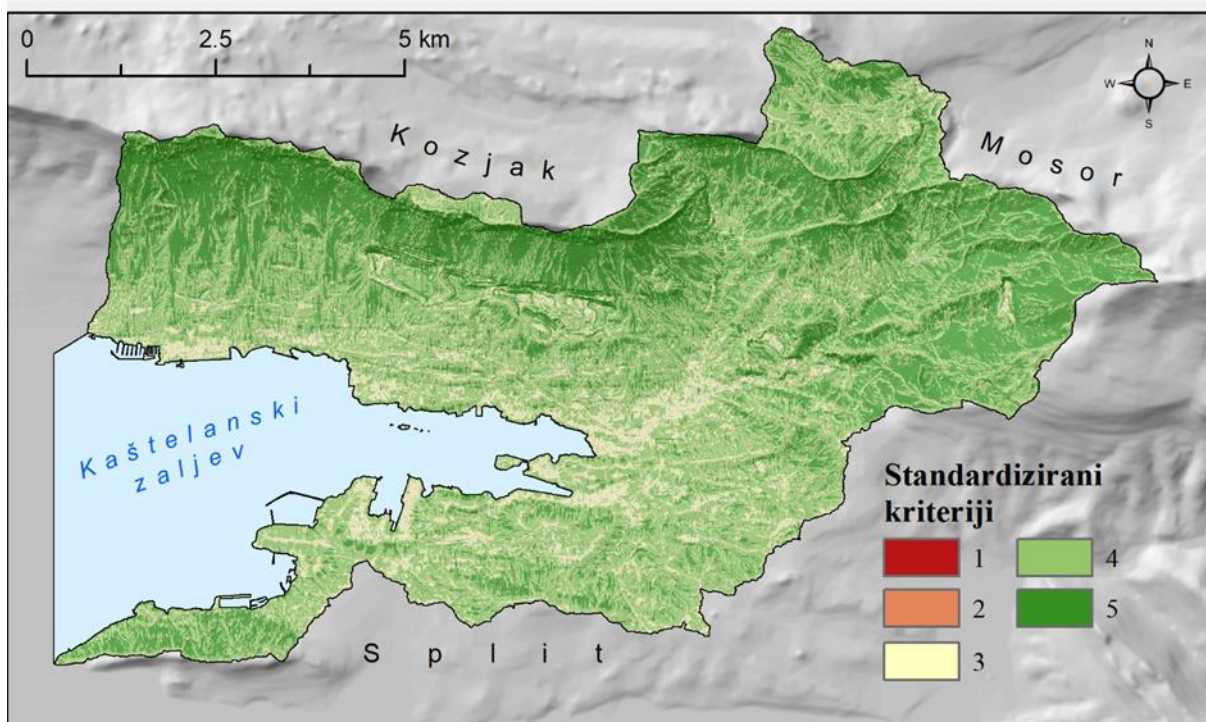
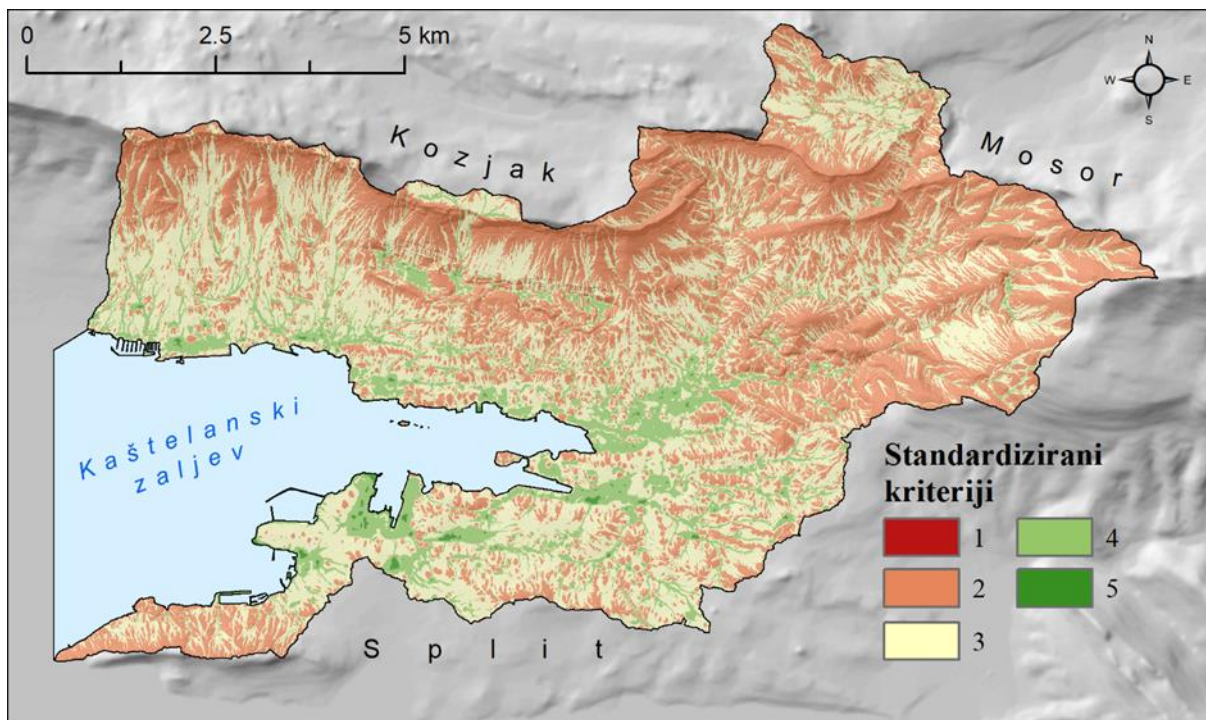
Da bi različiti kriteriji bili međusobno usporedivi, potrebno ih je ujednačiti na način da se svi podaci svedu na jednaku brojčanu skalu (npr. 0 – 1 ili 1 – 5), kroz proces koji je poznat kao standardizacija kriterija (Malczewski, 2015.). Osnovni pristup standardiziranju različitih kriterija su Fuzzy Membership Functions koje reklasificiraju ulazne podatke na skalu od 0 do 1, na temelju niza specifičnih funkcija (npr. linearna funkcija, Gaussova funkcija, itd.), pri čemu donosioci odluka trebaju prema svom iskustvu i stručnosti prosuditi koja funkcija bi najbolje odgovarala standardiziranju određenih podataka (Eastman, 2006.). Odabranih 10 kriterija standardizirano je na brojčanu skalu 1 – 5 uz pomoć GAMA metode, na način da su ocjenu 1 dobili najmanje pogodne klase određenog kriterija, a ocjenu 5 najpogodnije klase. Iz priloženih tablica (Tabl. I-15. - Tabl. I-24.) vidljivo je kako su svi odabrani kriteriji GIS-MCDA standardizirani, na način da su njihovim klasama pridodani odgovarajući težinski koeficijenti (1 – 5), dok su Boolean kriteriju pridodane binarne ocjene 0 i 1. Prikaz prostorne zastupljenosti standardiziranih kriterija unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva vidljiv je na slikama I-49; I-50; I-51; I-52 i I-53.



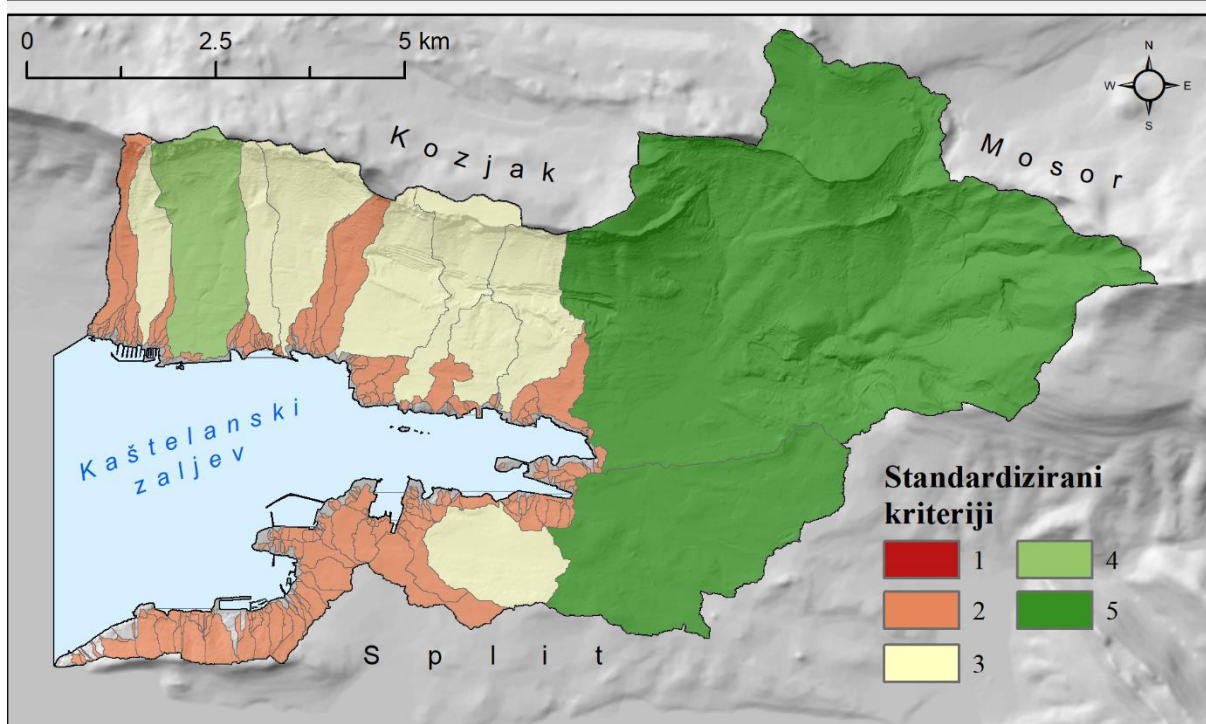
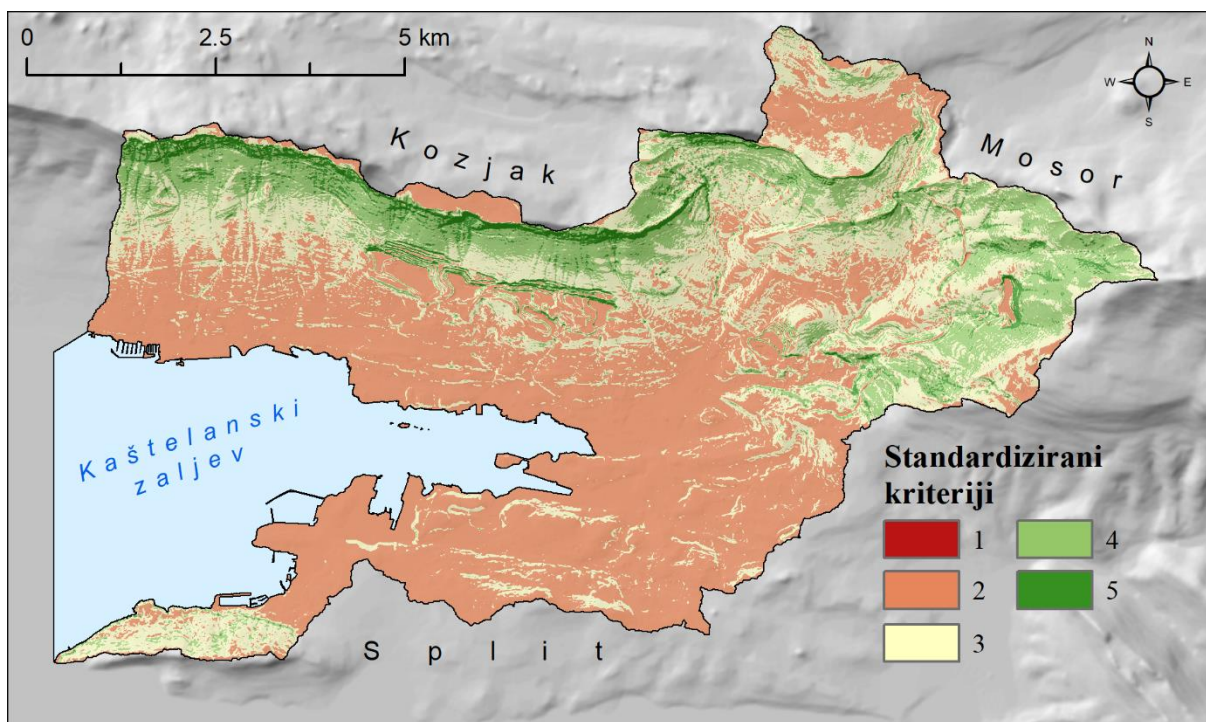
Slika I-49. Standardizirani primarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla (A)



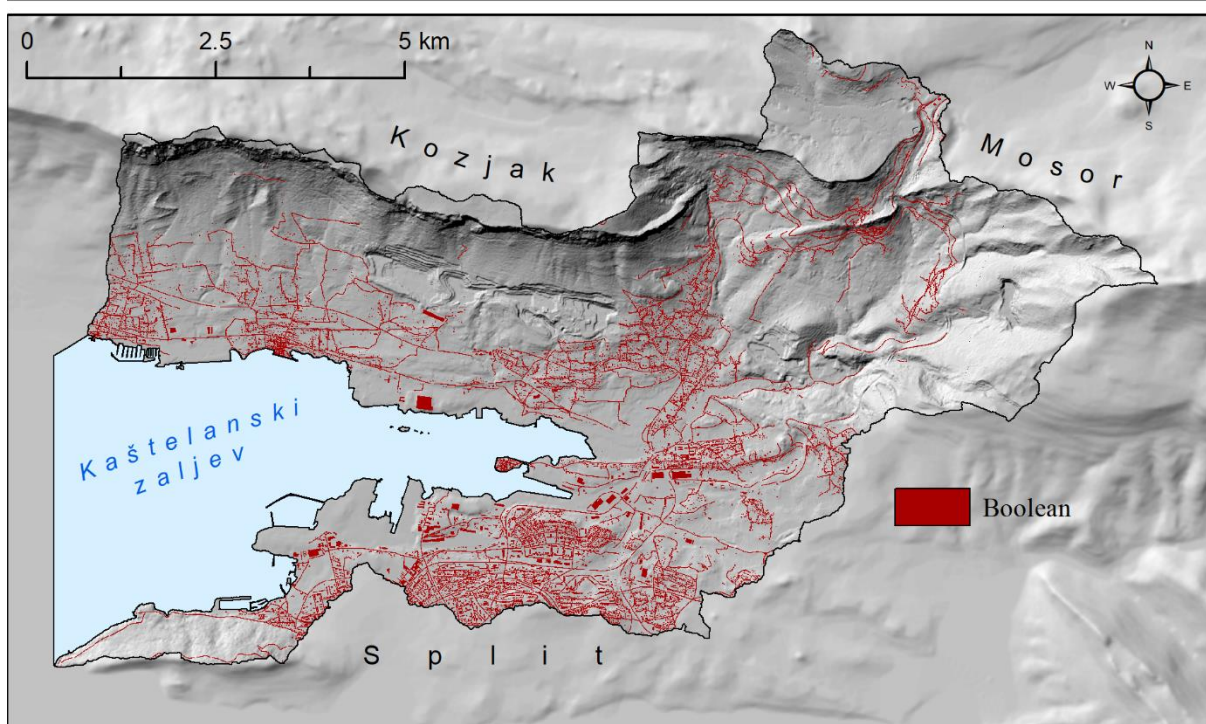
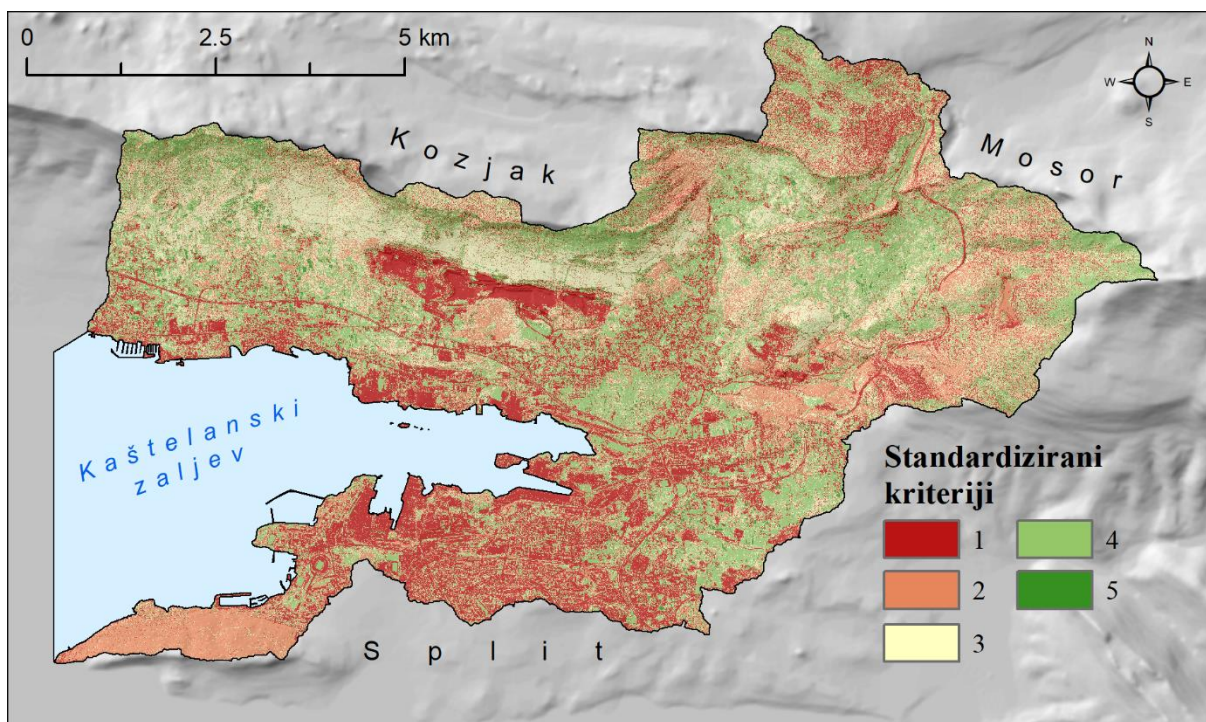
Slika I-50. Standardizirani primarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla (B)



Slika I-51. Standardizirani sekundarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla (A)



Slika I-52. Standardizirani sekundarni kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla (B)



Slika I-53. Standardizirani ostali kriteriji GIS-MCDA podložnosti terena eroziji tla

Određivanje težinskih koeficijenata odabranih GIS-MCDA kriterija

Za određivanje težinskih koeficijenata odabran je Analitički hijerarhijski proces (engl. *analytical hierarchy process (AHP)*), koji omogućava provjeru subjektivnosti i dosljednosti pridodavanja težinskih koeficijenata kroz omjer konzistentnosti (engl. Consistency ratio (CR)) (Saaty, 1990.). AHP se može okarakterizirati kao teorijski pristup mjerenju utjecaja pojedinih kriterija na određeni ishod, koji na temelju prosudbi stručnjaka međusobno uspoređuje parove kriterija i izvodi ljestvicu njihovog vrednovanja (Saaty, 1980; Saaty, 2008.). AHP omogućava međusobnu usporedbu svih korištenih kriterija, ali i mogućnost provjere objektivnosti dodijeljenih težinskih koeficijenata kroz dane vrijednosti CR (Saaty, 1980.). Pri tome je određivanje težinskih koeficijenata valjano ako je CR manji od 0,1.

Omjer konzistentnosti računa se prema sljedećoj formuli (Saaty, 1980.):

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

gdje je:

CI = indeks konzistentnosti RI = indeks slučajne dosljednosti

Indeks konzistentnosti (CI) računa se prema formuli:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

gdje je:

λ_{\max} = Principal Eigen Value n = broj kriterija

λ_{\max} se računa prema formuli:

$\lambda_{\max} = \Sigma$ proizvoda između prioritetnog vektora svakog elementa i umnoška stupca

Prikaz matrice dvostruke usporedbe AHP-a dan je u tablici 25., a izračunati težinski koeficijenti su dani u tablici I-26.

Tablica I-25. Matrica dvostruke usporedbe kriterija uz pomoć AHP-a

Kriterij	SLO	ASP	PROF	PLAN	TWI	SPI	LSF	WAT	LULC
SLO	1	3	6	6	3	3	3	9	4
ASP	1/3	1	5	5	1/2	1/2	1/2	6	3
PROF	1/6	1/5	1	1	1/3	1/3	1/3	3	1/3
PLAN	1/6	1/5	1	1	1/3	1/3	1/3	3	1/3
TWI	1/3	2	3	3	1	1	1	6	2
SPI	1/3	2	3	3	1	1	1	6	2
LSF	1/3	2	3	3	1	1	1	6	2
WAT	1/9	1/6	1/3	1/3	1/6	1/6	1/6	1	1/6
LULC	1/3	1/4	3	3	1/2	1/2	1/2	6	1

Tablica I-26. Težinski koeficijenti izračunati uz pomoć AHP-a

ID	Kriterij	Težinski koeficijent	Postotak (%)
1	SLO	0.299	29.9
2	ASP	0.125	12.5
3	PROF	0.041	4.1
4	PLAN	0.041	4.1
5	TWI	0.131	13.1
6	SPI	0.131	13.1
7	LSF	0.131	13.1
8	WAT	0.019	1.9
9	LULC	0.082	8.2
UKUPNO		1	100

Agregacija kriterija i dodijeljenih težinskih koeficijenata

Okupljanje kriterija i njihovih težinskih koeficijenata obavljeno je prema sljedećoj formuli (Easman, 1999.):

$$P = \sum w_i X_i * \prod C_j \quad (4)$$

gdje je:

P = pogodnost

C_j = ograničenje j

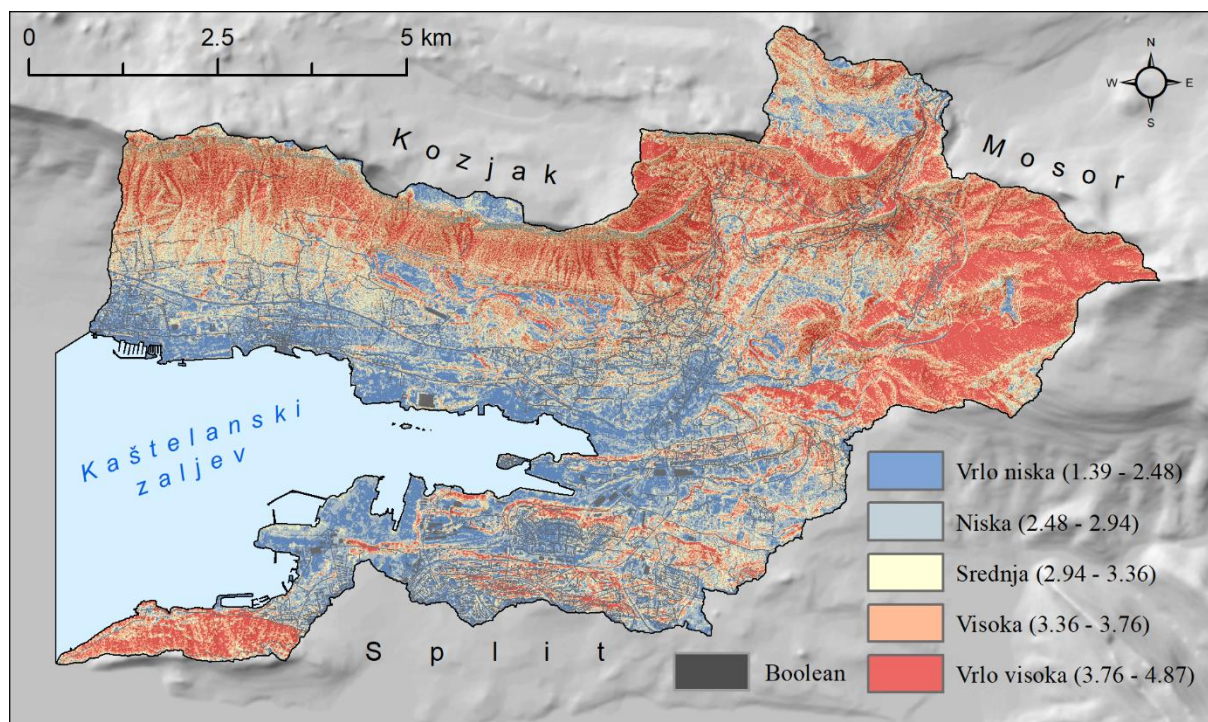
w_i = težinski koeficijent dodijeljen kriteriju

\sum = suma ponderiranih kriterija;

\prod = umnožak ograničenja (1 – pogodno, 0 – nepodno) X_i = vrijednost kriterija

Područja potencijalno ugroženo erozijom tla

Na temelju izrađenog modela podložnosti eroziji tla šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva (Slika I-54.) utvrđene su zone potencijalne ugroze od buduće pojave negativnih učinaka erozije tla.

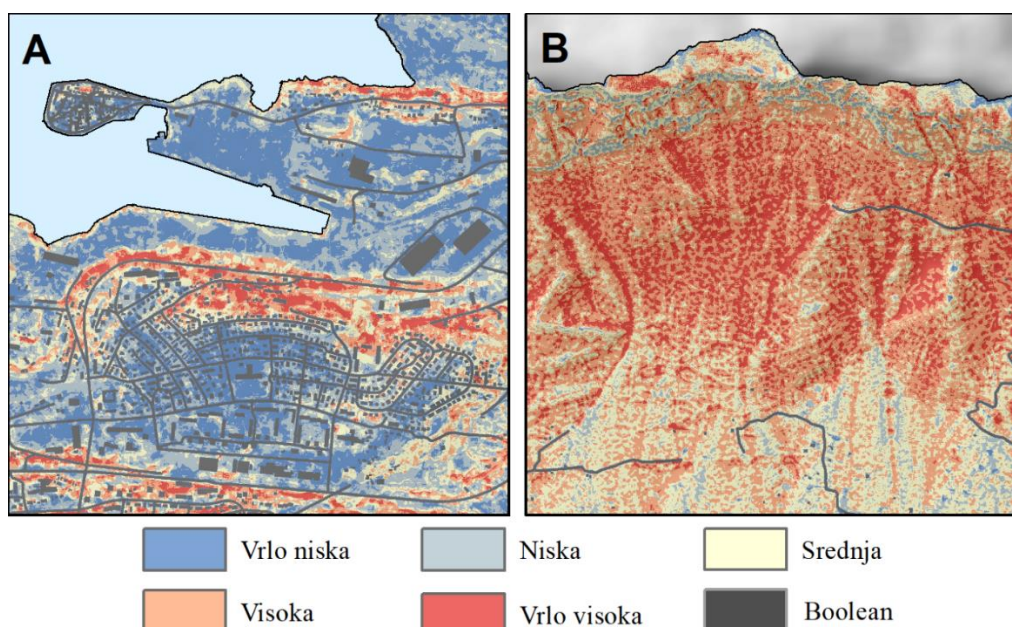


Slika I-54. Izrađeni model podložnosti eroziji tla šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva

Kao što je vidljivo na izrađenom modelu podložnosti (Slika I-54.) unutar šireg prostora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva prevladavaju zone visoke (14.98 km²) i vrlo visoke (9.35 km²) podložnosti eroziji tla, koje zajedno obuhvaćaju 33.34% ukupne površine područja istraživanja. Najveća zastupljenost ovih klasa prisutna je na nagutim i značajno nagutim padinama masiva Kozjaka i Mosora. Na ovim padinama dolazi do otjecanja vode s većeg područja, gdje mjestimice može doći do postupnog formiranja izraženijeg površinskog otjecanja i pojave erozije tla. Ovaj prostor ujedno je zahvaćen i recentnom intenzivnom urbanizacijom, ali i poljoprivrednom valorizacijom te eksploatacijom mineralnih sirovina za proizvodnju cementa (npr. eksploatacijsko polje „Sv. Juraj – Sv. Kajo“). Navedeni antropogeni čimbenici utječu na akceleraciju prirodnog intenziteta erozije tla, pridonoseći pritom povećanju podložnosti pojavi novih erozijskih zona.

Za razliku od navedenih zona, priobalni pojas istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva karakterizira niska podložnost eroziji tla (Slika I-55.). Zone vrlo niske podložnosti prekrivaju ukupno 6.98 km² (9.56 % ukupne površine), dok zone niske podložnosti pokrivaju 9.94 km², odnosno 13.62 % ukupne površine istraživanog područja. Priobalni prostor karakterizira zaravnjeni, visoko-urbanizirani prostor, unutar kojega je pogodnost za pojavu erozije tla vrlo niska. S obzirom da se radi o visoko-urbaniziranom prostoru, velik dio ovog prostora prekrivaju nepropusne antropogene podloge (npr. beton, asfalt), koje onemogućavaju pojavu erozije tla.

Niska i vrlo niska podložnost eroziji tla prisutni su i na ogoljenim strmcima u vršnoj zoni Kozjaka i Mosora (Slika I-55.), gdje konfiguracija reljefa onemogućava formiranje istaknutijeg površinskog otjecanja.

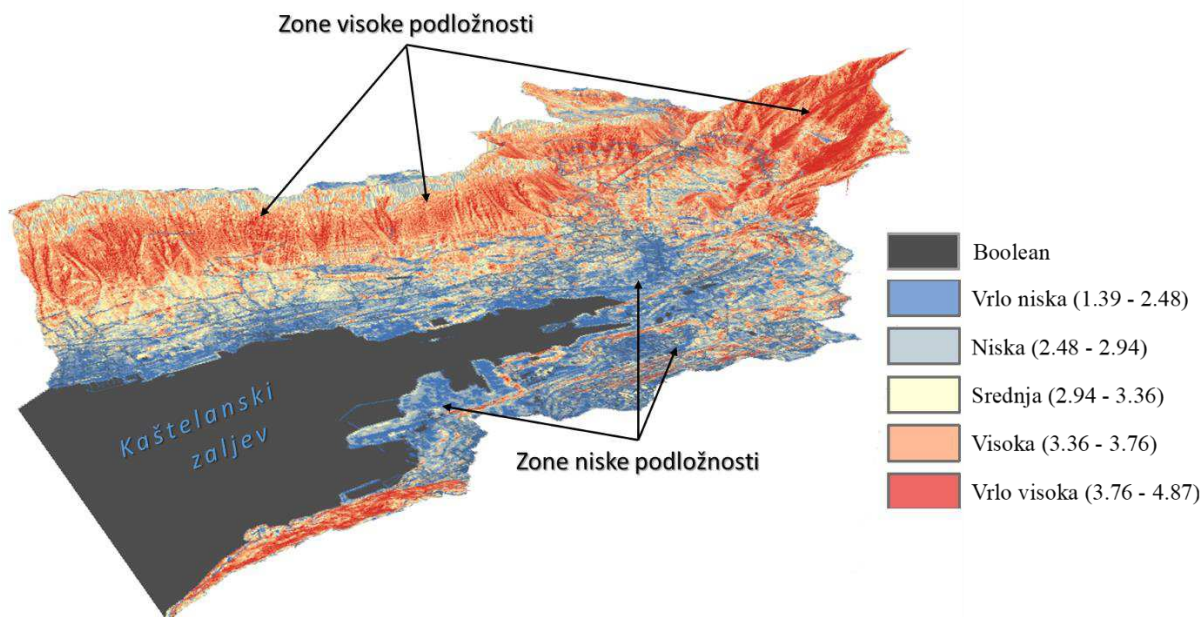


Slika I-55. Razlika u podložnosti eroziji tla između priobalnog urbaniziranog prostora (A) i strmijih obronaka Kozjaka (B)

Zona srednje podložnosti eroziji tla obuhvaća 15.91 % ukupne površine područja istraživanja, što se pretežito odnosi na prijelazni prostor između zaravnjenog priobalnog prostora i strmijih padina Kozjaka i Mosora.

Iz 3D prikaza izrađenog modela podložnosti eroziji tla (Slika I-56.) može se dodatno potvrditi da se većina zona najveće podložnosti eroziji tla nalazi na nagnutim i značajno nagnutim padinama Kozjaka i Mosora.

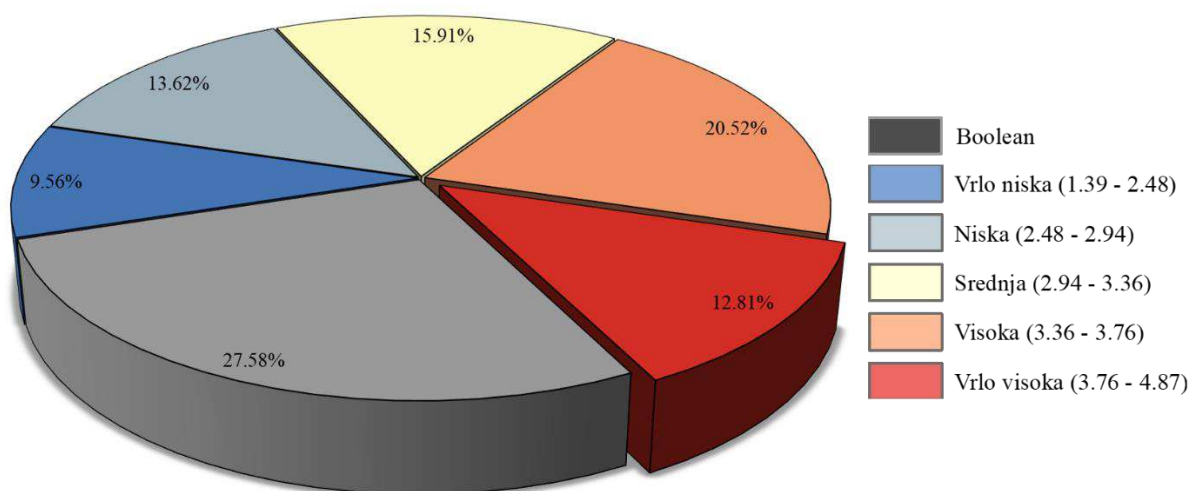
Također, vidljivo je i da se zone najmanje podložnosti eroziji tla nalaze pretežito na prostoru zaravnjenog priobalnog prostora.



Slika I-56. 3D prikaz modela podložnosti eroziji tla

Tablica I-27. Zastupljenost pojedinih klasa podložnosti eroziji tla

ID	Podložnost	Površina (km ²)	Udio (%)
1	<i>Vrlo niska</i>	6.98	9.56
2	<i>Niska</i>	9.94	13.62
3	<i>Srednja</i>	11.61	15.91
4	<i>Visoka</i>	14.98	20.52
5	<i>Vrlo visoka</i>	9.35	12.81
6	<i>Boolean</i>	20.12	27.58
UKUPNO		72.98	100



Slika I-57. Grafički prikaz udjela pojedinih klasa podložnosti eroziji tla

4. Modeli rizika od iznenadnog onečišćenja mora

Uvod

Onečišćenje mora priobalnog pojasa ali i otvorenog mora je svakodnevna pojava. More se onečišćuje stalno i povremeno ovisno od lokacije. Stalni izvori onečišćenja su podmorski ispusti gradova i onečišćenja s brodova. Povremeni izvori onečišćenja potaknuti su vremenskim neprilikama kada se iz poljoprivrednog i drugog priobalnog područja sliva u more ogromna količina kako hranjivih tako i toksičnih tvari. Dok se o izljevima toksičnih tvari zna manje, izljevi hranjivih tvari su bolje dokumentirani te se zna da uzrokuju eutrofikaciju. Najpoznatiji primjeri u Jadranu su gornji Jadran, Riječki zaljev, Šibenski zaljev, Kaštelanski zaljev i Malostonski Zaljev. U gornji Jadran se slijevaju vode poljoprivrednog zemljišta i farmi uzgoja životinja u padskoj nizini. Te hranjive tvari sadrže značajno više koncentracije dušika i fosfora te uzrokuju eutrofikaciju gornjeg Jadrana osobito kada se intenzivnom kišom spere poljoprivredno zemljište od unesenih gnojiva. Stalni izvori onečišćenja su uglavnom poznati i o njima se vodi briga koliko je to moguće, iznenadna onečišćenja mora se također događaju samo što vrijeme njihove pojave nije poznato. Međutim šteta može biti višestruko veća. Stoga je potrebno izračunati rizik od nastupa iznenadnog onečišćenja mora i unaprijed investirati u opremu i ljudske resurse kako bi se brzo moglo djelovati čim se moguće onečišćenje može predvidjeti ili kada nastupi.

CILJ

Cilj procjene rizika od iznenadnih onečišćenja mora istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva je prepoznati te procijeniti vjerojatnost i štetu od mogućih iznenadnih onečišćenja mora. Svrha procjene je dati osnovu za pripremu infrastrukture i ljudskih potencijala na vrijeme kako bi, kada iznenadno onečišćenje nastane, sanacija gdje je to moguće i suglasno NRT bila brza i efikasna a konačna šteta što je moguće manja.

Procjena rizika uključuje informacije o:

- brodskim plovidbenim putevima;
- navigacijskim obilježjima i zahtjevima;
- pomorskim nezgodama;
- nezgodama na kopnu koje mogu rezultirati u onečišćenju mora;
- reljefu slivnog područja uvale;
- hidrometeorološkim prilikama;
- karakteristikama i količinama onečišćujućih tvari koje će se iznenadnim onečišćenjem emitirati u more.

Principi upravljanja rizicima su prepoznati kao integralni dio pozitivne prakse poslovnog upravljanja neočekivanim procesima i akcidentima. Upravljanje rizikom je interaktivan proces koji omogućava lakše donošenje odluka uz nadopunu procjene gdje se rizik može pojaviti i koji je njegov mogući sveukupan utjecaj na more. Principi upravljanja rizicima su prihvaćeni u mnogim organizacijama koje upravljaju pružanjem pomoći u katastrofama i žurnim intervencijama.

Procjena rizika od iznenadnih onečišćenja mora podupire pripravnost na intervenciju i planiranje intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora.

Procjena rizika je jedan od koraka u upravljanju rizicima pojedinih neželjenih a iznenadnih procesa bilo da su oni prirodni ili uvjetovani čovjekovim aktivnostima. Procjena rizika je usmjerena na moguće opasnosti, vjerojatnost da se one dogode, njihov značaj i odluke o intervencijama koje valja poduzeti da bi se preventivno djelovalo i umanjilo rizike do prihvatljivih razmjera uzimajući u obzir troškove preventive i interventnih strategija u sklopu NRT.

Upravljanje incidentima u morskome okolišu uključuje osnovne principe upravljanja rizikom koji čine posebno strukturiran način kojim se povezuju prevencija, pripravnost, intervencija i sanacija u zajedničku strategiju koja omogućava učinkovito upravljanje te usmjerava resurse i strategije na one elemente koji će imati najveći utjecaj na smanjenje rizika.

Procjena rizika od iznenadnih onečišćenja mora treba pomoći planiraju poboljšanja u organizaciji i interventnim resursima (ljudskim i materijalnim) na području istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva te čini integralni dio plana intervencije Splitsko-dalmatinske županije.

Vremenski obuhvat

Ova procjena rizika od iznenadnih onečišćenja mora vrijedi do trenutka kad se na pilot lokaciji sagradi infrastruktura koja može imati značajan utjecaja na barem jedan od elemenata rizika kao što su: značajna izmjena prostornih planova, izgradnja objekata podgradnje, nadgradnje na kopnu i moru ili porast gospodarske aktivnosti. U tom slučaju nije potrebno napisati novi dokument već revidirati postojeći elementom rizika koji je promijenjen. Ipak, svaka buduća revizija temeljena na podacima koji nisu uzeti u obzir u ovoj procjeni, novim podacima, znanstvenim dostignućima ili tehnološkim rješenjima je dobrodošla. Osim toga, dokument je podložan dvogodišnjoj provjeri odnosno reviziji.

Prostorni obuhvat

Projekt obuhvaća istočni dio Kaštelanskog zaljeva s pripadajućim morskim i priobalnim slivnim područjem. Obala u obuhvatu pilot projekta proteže se kroz tri jedinice lokalne samouprave: Grad Split, Grad Solin i Grad Kaštela te pripada regionalnoj samoupravnoj jedinici Splitsko-dalmatinske županije.

Obala ima dužinu od oko 23 km i niske je nadmorska visine koja se na neuređenim dijelovima spušta u more plitkom grebenastom obalom. Uz obalu se nalaze brojne pličine. Sjeverna obala zaljeva pretežito je zaštićena kamenometom ili kosim kamenim zidom kako bi se spriječilo ispiranje tla i služilo kao zaštita od valova. Na dijelu gdje se koristi kao luka izgrađen je obalni zid, molovi i gatovi. Na krajnjem istočnom dijelu u gradu Solinu, na ušću rijeke Jadro uz obalu se nalaze pješčani sprudovi. Uzduž južnog dijela pilot lokacije, osim manjeg dijela neuređene niske kamene obale, nalaze se izgrađeni infrastrukturni pomorski objekti s gradskim sadržajima, gospodarskim proizvodnim sadržajima te objektima posebne namjene.

Meteorološka i oceanografska obilježja

Ova sekcija je djelomice preuzeta iz sekcije VIII ove studije a djelomice je nadopunjena sukladno potrebama procjene rizika.

Tlak zraka i vjetar

Ljetna razdioba srednjeg tlaka zraka nad Jadranom pod utjecajem je jake azorske anticiklone. Opadanje tlaka zraka od zapadnog prema istočnom Mediteranu uzrokuje pojavu etezijskog vjetra ili maestrala, koji na otvorenom dijelu Jadrana najčešće puše u periodu od lipnja do rujna.

Za vrijeme jesensko-zimskog perioda azorska anticiklona se povlači prema jugu, pa se stoga područje Jadrana nalazi na putanjama atlantskih ciklona (odnosno područja niskog tlaka), koje uzrokuju jake vjetrove. Zavisno od razdiobe glavnih baričkih sustava moguće je produbljivanje i zadržavanje ciklone nad Jadranom, kada na njezinoj stražnjoj strani može puhati olujna i orkanska bura i nekoliko dana (tzv. ciklonalna ili mračna bura), uz pojavu vrlo hladnog vremena. U zimskom razdoblju uobičajena je pojava stabilne anticiklonalne situacije, najčešće kao posljedica jačanja grebena azorske anticiklone nad područjem Mediterana. Tada je vrijeme na Jadranu tiho ili malo vjetrovito, često s jutarnjom sumaglicom ili maglom na gotovo cijelom

Jadranu. Osim tople azorske anticiklone, područje Jadrana često se nalazi i pod utjecajem sibirске anticiklone, koja uzrokuje hladno vrijeme i mraz u obalnom području. Sibirská anticiklona se najčešće javlja u kombinaciji s ciklonom nad područjem srednjeg i istočnog Mediterana, uz pojavu tzv. anticiklonalne ili vedre bure koja može potrajati i nekoliko dana.

Atmosferske fronte su područja sučeljavanja hladnog i toplog zraka. Pri dodiru toplog zraka bogatijeg vlagom i hladnijeg suhog zraka, vlaga se kondenzira tvoreći oblačne sustave uz pojavu oborina. Fronte se dijele na tople, hladne i fronte okluzije.

U toploj fronti topliji zrak napreduje te potiskuje hladni zrak. S obzirom na to da je topliji zrak lakši od hladnijeg, on se nalazi iznad hladnijeg pod blagim kutom. Stoga je područje protezanja fronte prilično široko, a oborine koje uzrokuje su slabijeg do umjerenog intenziteta i zahvaćaju veću površinu.

U hladnoj fronti hladni zrak napreduje te potiskuje topli zrak. Hladna fronta može, kao i topla, zahvatiti veće područje te uzrokovati umjerene oborine. Ako je prodor hladnog zraka vrlo nagao, fronta zahvaća manje područje, a oborine su jakog intenziteta uz pojavu oblaka visokog razvoja (kumulo-nimbusi) i s njima povezanih olujnih lokalnih vjetrova.

Fronta okluzije nastaje spajanjem hladne i tople fronte. Zavisno od intenziteta tople i hladne fronte, fronta okluzije može uzrokovati pojavu slabih do umjerenih oborina i vjetrova, te pojavu lokalnih neverina. Fronta okluzije slabi s vremenom, te iščezava.

Najčešći vjetrovi na Jadranu su bura (iz smjera NNE do ENE), jugo (ESE do SSE) i maestral (WNW do NW). Osim njih pušu i vjetrovi iz smjerova S (oštro), SW (lebić, garbin), W (pulenat), N do NW (tramontana), E (levanat), te vjetrovi obalne cirkulacije (burin ili kopnenjak te zmorac). Utjecaj obalnih masiva modificira smjer i jačinu puhanja vjetra u obalnom području.

U jesenskom i zimskom razdoblju najčešći vjetar u južnom Jadranu je jugo, a u sjevernom bura. Učestala je i pojava tramontane, naročito nad otvorenim morem, a lebić i lebićada se javljaju pri prolasku frontalnih sustava, i to češće u sjevernom nego u južnom Jadranu. Ljeti najčešće puše maestral, a pojava juga i bure je znatno rjeđa nego u zimskom razdoblju.

Vjetar jačine 6 bofora ili više puše uz obalu uglavnom 25 do 40 dana godišnje, no na izloženim mjestima može puhati i preko 100 dana u godini. Olujni vjetar (jačine 8 bofora ili više) puše rjeđe, obično od 2 do 10 dana u godini. Najčešće se javlja u obalnom području kao bura a rjeđe kao jugo, naročito u južnom Jadranu.

Najveća učestalost vjetra jačine veće od 8 Bofora očekuju se tijekom zime (9 dana). U proljeće i ljeto učestalost vjetra jačeg od 8 Bofora je 4 do 5 dana. Učestalost tišine tijekom godine je u rasponu od 10% u proljeće do 13% u jesen. Promatrajući smjer vjetra tijekom godine uočavaju se znatne razlike u pojedinim godišnjim dobima. Tijekom proljeća najveću učestalost imaju vjetrovi iz jugoistočnog i istočnog smjera, dok su vjetrovi iz zapadnog i sjeverozapadnog smjera znatno manje učestali. U ljetnom periodu najučestaliji vjetar je iz zapadnog smjera, dok vjetrovi iz sjeverozapadnog i istočnog smjera imaju podjednaku učestalost. Tijekom jeseni i zime najveću učestalost imaju vjetrovi iz istočnog i jugoistočnog smjera.

Na istočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva najčešće pušu vjetrovi iz sjevernog kvadranta, a među njima se po učestalosti ističe bura koja je osobito česta i jaka tijekom hladnijeg dijela godine. Tijekom ljetnih mjeseci tipičan vjetar na ovom području je maestral. Najjači su vjetrovi iz južnog kvadranta, osobito jugo. Na cijelom području se uočava mali broj dana s jakim i olujnim vjetrom. Oni se najčešće pojavljuju zimi, a među njima se ističu jugo (prosječno 2,4 Beauforta), a zatim bura (1,9 Beauforta). Broj dana s vjetrom jačim od 6 Beauforta iznosi 19 godišnje, a jačim od 8 Beauforta 5 dana godišnje

Peljar Jadranskoga mora (HHI, 2012) za vremenske prilike u Kaštelanskom zaljevu navodi: „Bura može puhati olujnom jačinom uzrokujući valovito more s morskom prašinom. Jug u unutrašnjosti zaljeva puše iz ESE i E smjera uzrokujući valovito i jače valovito more. U Sjevernoj luci bura uzrokuje valovito more s morskom prašinom i otežava manevar brodovima. Na cijelom području Sjeverne luke, a posebno

u bazenu brodogradilišta, bura može puhati olujnom jačinom uzrokujući valovito more s morskom prašinom. U Vranjičkom bazenu NW vjetar uzrokuje valovito more. Pristan ispred tvornice Sv. Juraj izložen je svim vjetrovima, ali bez valova. “

Temperatura zraka

Prosječna godišnja temperatura zraka iznosi oko 16 °C, dok je prosječna temperatura najtoplijeg mjeseca srpnja oko 26 °C, a najhladnijega siječnja oko 7 °C.

Oborine

U prosjeku je najkišovitiji mjesec studeni s oko 141 mm oborine. U toplom dijelu godine (travanj do rujan) padne manje oborine nego li u hladnom dijelu. Najsušniji je mjesec srpanj s prosječnih 18 mm oborine, dok ukupno godišnje padne u prosjeku 870 mm oborine.

Magla

Nad Jadranom magla je češća pojava na sjevernom nego na srednjem i južnom dijelu a najčešće se pojavljuje u zimskom razdoblju. Tijekom godine na području istočnog dijela Kaštelskog zaljeva očekuje se 5 dana s maglom.

Morske mjene

Morske mijene su periodične oscilacije razine mora, uglavnom uslijed plimotvornog utjecaja Mjeseca i Sunca. Osim astronomskih uvjeta na visinu vode utječe atmosferski tlak: pri visokom tlaku razina mora je niža, a pri niskom tlaku razina mora je viša. Nadalje, dugotrajnim puhanjem vjetra dolazi do potiskivanja vodenih masa u smjeru puhanja. Također, može doći i do kašnjenja vremena nastupa visokih i niskih razina mora od morskih mjena.

Mijene Jadranskog mora su mješovitog (poludnevnog i dnevnog) tipa s izrazitom nejednakošću po visini. Ipak, za vrijeme sizigija morske su mijene uglavnom poludnevnog tipa dok su za vrijeme kvadratura

jednodnevnog tipa. U prijelaznim fazama mijene su mješovitog tipa. Za vrijeme kvadratura morske mijene nastupaju duž čitavog Jadrana istovremeno, a za sizigija

dolazi do kašnjenja koja rastu obrnuto od kazaljka na satu duž jadranske obale.

Amplitude morskih mijena se povećavaju od juga prema sjeveru. Srednje amplitude

kreću se od 0,22 m (Bar) do 0,68 m (Trst). U području istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva srednje amplitude morskih mijena su od 0,2 do 0,3 m.

Uz dugotrajno olujno jugo razina se može podignuti za 0,6 m a sniziti do 0,3 m tijekom anticiklonalne bure.

Olujni uspori, seše i meteotsunami

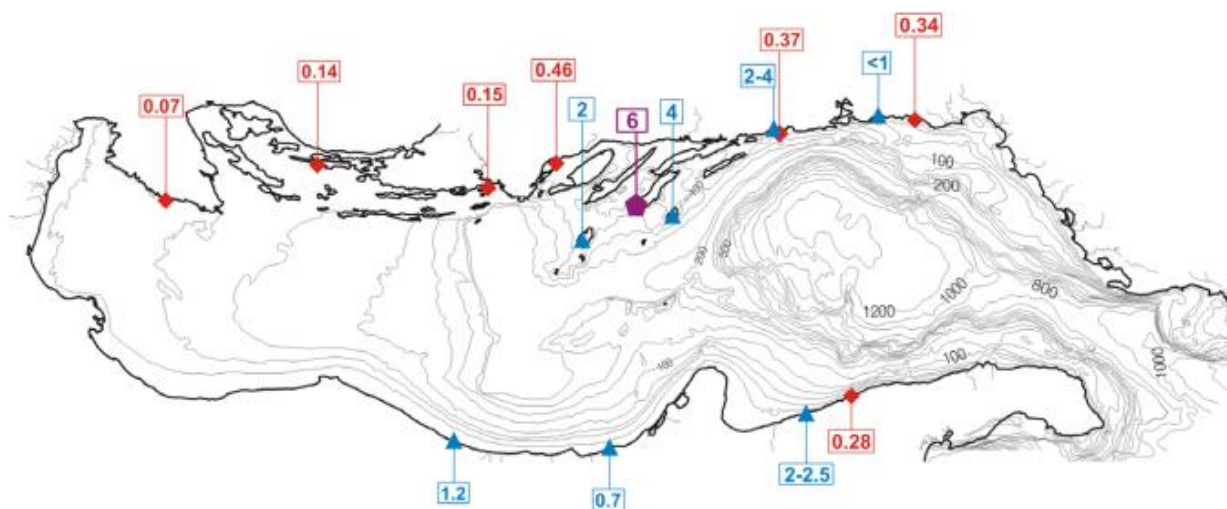
Olujni uspori su najčešće vezani uz prolaz dubokih ciklona preko Jadrana praćenih olujnim vjetrom, najčešće jugom i lebićem, kada je zabilježen porast razine mora do 0,8 m u srednjem i južnom Jadranu. Tijekom plime takav uspor može uzrokovati poplave u nekim lukama.

Povećanje tlaka zraka i jaki, dugotrajni sjeverni vjetrovi (bura i tramontana) mogu uzrokovati sniženje razine mora do 0,5 m u južnom i srednjem Jadranu.

Osim prisilnog kolebanja razine mora, brze i intenzivne promjene tlaka zraka, te smjera i brzine vjetra, mogu uzrokovati i slobodne oscilacije koje dovode do stojnog vala razine mora odnosno seše. U cijelom Jadransko bazenu javljaju se seši s periodima oscilacije od oko 22 sata (unimodalni – osnovni seš Jadrana) ili oko 11 sati (bimodalni seš). Amplituda jadranskog seša može biti i do 0,6 m. Seši se javljaju i u pojedinim manjim dijelovima Jadrana: zaljevima, uvalama, kanalima, ušćima rijeka i lukama no tada su značajno kraćeg perioda.

Ekstremne oscilacije visine razine mora duž hrvatske obale zabilježene su 1978. u Veloj luci, kada je ukupni raspon oscilacije morske razine bio oko 6 m, perioda oko 15 min. Ova pojava je uzrokovana putujućim poremećajem atmosferskog tlaka, koji izaziva intenzivno gibanje u moru zbog pojave tzv. dvostruke rezonancije. Budući da sinoptičari ne mogu na sinoptičkim kartama uočiti ovakav poremećaj atmosferskog tlaka, za sada se može zaključiti da tu pojavu nije moguće prognozirati.

Nadalje, kada se 1978 g. razina mora u Veloj Luci podigla za 6 m, što je jedno od najvećih zabilježenih podizanja razine mora na istočnoj obali Jadrana, porast razine mora na istočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva je bio oko 46 cm, kao što pokazuje slijedeća slika.



Slika I-58. Porast razine mora kao posljedica meteotsunamija 1978 g. Najveći porast je zabilježen u Veljoj Luci a iznosio je 6 m. (Vučetić i dr., 2009).

Dinamika visine mora u protekla tri dana te prognoza za slijedeća tri dana se može naći na <http://www.hhi.hr/tide/index/>

Valovi

Kaštelanski zaljev je poluzatvoreni akvatorij ograničenih privjetrišta za sve smjerove vjetra. Ipak, jesenski i zimski mjeseci (siječanj-ožujak, studeni-prosinac) su razdoblja najintenzivnije ciklonalne aktivnosti i najčešće pojave najviših površinskih valova, ali zbog raznolikosti pomorskoga prometa u akvatoriju njihove karakteristike mogu ugrožavati sigurnu plovidbu, boravak na sidru i vezu za određene vrste plovila.

Vjetar jugo, koji je po svojim karakteristikama stalniji i manjih udara, u akvatoriju može, prema simulacijama, prouzrokovati značajne valove (H_s) do 1 m u zapadnom dijelu Kaštelanskog zaljeva, dok u ostalom dijelu akvatorija H_s iznosi 0,6 m.

Sukladno simulacijama, vjetar iz jugozapadnog kvadranta garbin – lebić, koji može imati udare i do 45,0 m/s, te zbog konfiguracije zaljeva ima najdulje privjetrište, u akvatoriju pilot lokacije može uzrokovati značajne visine valova H_s i do 1,8 m na zapadnom dijelu pilot lokacije.

Peljar (HHI, 2012) za vremenske prilike u Kaštelanskom zaljevu navodi: „Bura može puhati olujnom jačinom uzrokujući valovito more s morskom prašinom. Jugo na ulazu u zaljev puše pretežno iz SSE smjera, a u unutrašnjosti zaljeva puše iz ESE i E smjera, uzrokujući valovito i jače valovito more “.

Morske struje

Morske struje predstavljaju gibanje morske vode i važan su čimbenik dinamike mora, kemijskih i bioloških procesa te sigurnosti plovidbe. Smjer morske struje se određuje prema strani svijeta kamo se voda giba.

Kaštelanski zaljev zbog zemljopisnog položaja i brze urbanizacije obalnog područja, a posebno njegovog istočnog dijela, učinili su potrebnim istraživanje morskih struja Kaštelanskog zaljeva u periodu od 40 godina. Zaključci istraživanja uključeni u „Studija o utjecaju na okoliš za zahvat-izgradnja pomorskih i kopnenih objekata na prostoru «Giričić»-Kaštel gomilica“ (HIDROELEKTRA-PROJEKT d.o.o. 2004.) čine materijal od interesa za ovu studiju.

Veličina Kaštelanskog zaljeva (površina 61 km²), njegov oblik te raspored dubine (prosječna dubina je 23 m) uvjetuju osobite hidrodinamičke uvjete. Raspored dubina koje se povećavaju prema ulazu u Splitski kanal (širine oko 2 km) omogućavaju izmjenu vode u svim slojevima vodenog stupca dok je izmjena vode zanemariva kroz prolaz prema Trogirskom zaljevu zbog njegove male dimenzije. U istočnom dijelu zaljeva se nalazi ušće rijeke Jadro sa prosječnim dotokom vode 8 m³/s. Taj tok uzrokuje izlazno strujanje iz zaljeva u tankom površinskom sloju. Osobine strujnog polja su u području Kaštelanskog zaljeva promjenjive i zavise prvenstveno od meteoroloških uvjeta (posebice od jakosti i smjera vjetra), dotoka slatke vode izravno sa kopna ili od aktivnosti podmorskih izvora (vrulje) i evaporacije, te advekcije i smjera strujanja izvan zaljeva u odnosu na položaj njegovog ulaza (Zore- Armanda,1980). Kako se ovi generirajući činitelji koji izravno utječu na strujanje različiti u pojedinim godišnjim razdobljima tako su i strujanja različita. U proljeće su činitelji koji utječu na strujanje najmanje jakosti i strujanje je najsporije. U jesen je uz najveću jakost vanjskih činitelja (vjetar, dotok slatke vode, advekcija) i strujanje najbrže, ali su pri tom smjerovi strujanja najviše raspršeni. U tom razdoblju je i vertikalno miješanje vodenih masa najveće. Zimi i ljeti se razvija zatvorena vertikalna cirkulacija na način da zimi voda pretežito ulazi u zaljev u površinskom sloju uz njeno spuštanje i izlaženje iz zaljeva u pridnenom sloju. Ljeti je situacija obrnuta jer voda pretežito izlazi u površinskom a ulazi u pridnenom sloju što znači da se u zaljevu voda užiže s dna na površinu. Ulazna i izlazna komponenta struja u površinskom sloju se u proljetnom i jesenskom razdoblju bitno ne razlikuju. U ljetnom razdoblju izlazna komponenta je za oko 10 cm/s veća od ulazne i kreće se od 11 do 18 cm/s, dok je u zimskom razdoblju obrnuta situacija, tj. ulazna komponenta struje je veća od izlazne za oko 10 cm/s i kreće se od 12 do 22 cm/s. Ovo potvrđuje ranije pretpostavke o izravnom utjecaju vanjskih činitelja na strujanje u zaljevu. Ove pretpostavke o jačem

strujanju u površinskom i nešto slabijem u srednjem i pridnenom sloju su potvrdila i kasnija mjerenja struja izvršena u razdoblju 1982. - 1990. godine.

Međutim, cirkulacija vodenih masa unutar Kaštelanskog zaljeva odvija se u najvećoj mjeri pod utjecajem vjetrova pri čemu u osnovi prevladavaju dvije vrste strujanja: ciklonalno i anticiklonalno. Pri tome vjetar kao prevladavajući činitelj uzrokuje određeni tip strujanja u površinskom sloju što uzrokuje pojavu kompenzacijskog strujanja u pridnenom sloju. Vjetar jugo, koji puše iz jugoistočnog smjera uzrokuje pojavu anticiklonalne cirkulacije što je povezano s izrazitom pojavom ulaska vode u površinskom sloju u zaljev. Tada dolazi do spuštanja vode u donje slojeve, što uzrokuje pridneno kompenzacijsko strujanje. Vjetar bura, koji puše iz sjeveroistočnog smjera uzrokuje pojavu ciklonalne cirkulacije pri čemu se javlja izrazita pojava izlaska vode iz zaljeva s pojavom izdizanja hladnije vode u površinski sloj. Osim ova dva dominantna vjetra u ljetnom razdoblju prevladava sjeverozapadni vjetar maestral (lokalno puše iz jugozapadnog smjera) kao posljedica dnevno-noćne cirkulacije zraka. Kako maestral traje relativno kratko (najviše do 12 sati) njegov je utjecaj na ukupno strujanje, a prema tome i na izmjenu vode zaljeva s okolnim morem slabiji nego u situacijama s jugom i burom. Ove rezultate potvrđuju i spektralne analize dužih nizova strujomjernih podataka izmjerenih u Kaštelanskom zaljevu u razdoblju 1982. -1990. godine pri čemu je pokazan veliki utjecaj sinoptičkih atmosferskih poremećaja u razdobljima od nekoliko dana. Plimne i druge visokofrekventne oscilacije imaju znatno manje amplitude od onih induciranih sinoptičkim poremećajima. Analiza vremenskih nizova struja za puhanja vjetrova s brzinom većom od 5 m/s i odgovarajućih vremenskih nizova vjetra s meteorološke postaje Split-Marjan pokazala je da su struje u vratima zaljeva polarizirane u smjeru istok-zapad sa strujom niz vjetar u površinskom sloju i kompenzacijskim strujanjem u većim dubinama. Na dubinama između 20 i 30 metara struje mijenjaju smjer i prelaze u kompenzacijske struje. Znatnija odstupanja od ove situacije javljaju se uz obale Marjana i Čiova. Za vrijeme puhanja juga u vratima zaljeva se u površinskom sloju formira ulazno strujanje, a za bure izlazno uz obrnuti sustav strujanja na većim dubinama. Srednji iznosi struja u površinskom i pridnenom sloju za puhanja juga od 10 m/s su reda veličine 10 cm/s.

Kakvoća mora

More je jedan od najvažnijih osnovnih resursa za razvoj prometa, turizma, ribolova i marikulture i stoga je kakvoća mora od iznimne važnosti.

Kvantitativna ocjena ekološkog stanja površinskog sloja od 0 do 10 m priobalnih voda te otvorenih voda sa stajališta eutrofikacije izražava se kao trofički indeks TRIX. Prema vrijednostima trofičkog indeksa moguće je razlikovati četiri klase ekološkog stanja mora s obzirom na stupanj eutrofikacije to su: vrlo dobro odnosno oligotrofno; dobro odnosno mezotrofno; umjereno dobro odnosno eutrofno te slabo odnosno ekstremno eutrofno.

Ekološko stanje akvatorija na području istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva može se ocijeniti najvišim stupnjem, odnosno vrlo dobrom ocjenom, a s obzirom na stupanj eutrofikacije kao oligotrofno (Jerončić, 2017). To se u prvom redu može zahvaliti projektima odvodnje otpadnih voda izvan Kaštelanskog zaljeva.

Kakvoća mora na plažama istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva sukladno mikrobiološkim pokazateljima (crijevni enterokoki i *Escherichia coli*) ocjenjuje se kao izvrsno.

Stanovništvo i privredne aktivnosti

Prema Popisu stanovništva iz 2011. godine na području Grada Kaštela živi 38.667 stanovnika, što čini 8,5% stanovništva Splitsko-dalmatinske županije. U gradu Solinu živi 23 926 stanovnika. Na dijelu grada Splita koji je u slivnom području istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva živi još barem 35 000 stanovnika. Prema tome može se zaključiti da u slivnom području sjeveroistočnog dijela Kaštelanskog zaljeva živi barem 100 000 stanovnika.

Stanovništvo u priobalnoj zoni uz brojne druge aktivnosti koje se odvijaju u obalnom području, uzrokuje kontinuirano te moguće iznenadno onečišćenje mora, što može ugroziti prirodno stanje morskog ekosustava. Također i pridružene gospodarske aktivnosti koje koriste ili ne koriste morske resurse kao što su industrija, poljoprivreda, pomorski promet, ribarstvo i turizam mogu imati utjecaj na stanje mora.

Privredne aktivnosti

Trgovačka društva

Kako pokazuje tablica 32 u sekciji VIII postoji 11 trgovačkih društava koje imaju koncesiju samo na području lučke uprave Split. Međutim postoji mnogo veći broj trgovačkih društava sa raznolikim i značajnim djelatnostima koje se nalaze u slivnom području pilot lokacije i koje mogu iznenadnim nesretnim događajem (akcidentom) prouzročiti onečišćenje mora.

Poljoprivreda

U strategiji razvoja grada Kaštela (Meta Consulting, 2016) stoji „Poljoprivreda je tradicionalno važna djelatnost na području Kaštela te i danas ima svoju vrijednost i potencijal, kako u proizvodnji tradicionalnih kultura i izvora prihoda za obiteljska poljoprivredna gospodarstva, tako u smislu prateće djelatnosti razvoja posebnih oblika turizma“.

U gornjem je dokumentu također navedeno da postoji 710 registriranih poljoprivrednih gospodarstava te 502 hektara ukupne poljoprivredne površine koje su uvedene u sustav ARKOD. No, također se

napominje da su površine pod poljoprivrednim kulturama mnogo veće jer su mnoge u obiteljskim vlasništvima koja nisu registrirana u gornjem sustavu. Prema tome valja uzeti u obzir i poljoprivrednu aktivnost kao potencijalni uzrok onečišćenja mora.

Turizam

Sukladno podacima u Strategiji razvoja grada Kaštela (Meta Consulting, 2016) tijekom 2013 g. turistička djelatnost je sukladno broju obrta iznosila 15 %. Podaci Turističke zajednice grada Kaštela navode da je tijekom 2014 g. bilo 242 966 noćenja. Broj noćenja u prvih 10 mjeseci 2019 g. je iznosio 631 581 što govori o značajnom porastu turizma u ukupnoj dohodovnoj slici grada.

Ribarstvo

U sektoru poljoprivrede, šumarstva i ribarstva se 2014 g. nalazio relativno mali broj poduzetnika s obzirom na ostale djelatnosti od svega 2, 35 % (Meta Consulting, 2016). Barem što se ribarstva tiče, nije jasno da će se ta djelatnost značajno razvijati u budućnosti s obzirom da se trenutno značajno povećanje prihoda od prodaje ribe vidi jedino u razvoju marikulture.

Pomorski promet

Svi lučki kapaciteti, pristaništa i marine nalaze se u obuhvatu Županijske lučke uprave Splitsko-dalmatinske, gradova Kaštela, Solin i Split. Od osobitog značaja su: Luka Vranjic, Luka Kaštel Gomilica, Luka Kaštel Kambelovac, Luka Kaštel Lukšić, Luka Kaštel Stari, Luka Kaštel Štafilić. Luka Kaštel Sućurac, (u Kaštel Sućurcu se nalaze još dvije manje športske luke), Marina Kaštela, vojna luka Brižine i skladište goriva, brodogradilište Split, luka i športsko društvo HVK Mornar, Špinut športska luka te luka posebne namjene. Prostornim planom županije predviđena je izgradnja ribarske luke u području Brižina, te dvije luke nautičkog turizma u Kaštel Gomilici i Adriavinila u Kaštel Sućurcu

O intenzitetu prometa najbolje govori slika 12 u poglavlju VIII ove studije. Iz nje se vidi da sjeveroistočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva pripada oko trećina prometa Splitske luke.

Najveću opasnost predstavljaju pličine u zaljevu, no ta je opasnost značajno smanjena imajući na umu da je peljarenje obvezatno za sve brodove preko 500 BRT (osim brodova hrvatske ratne mornarice, javnih brodova, brodova koji održavaju plovne puteve te putničkih brodova na redovitim linijama).

Svojstva onečišćujućih tvari

U pomorskom prometu, kao pogonsko gorivo plovila pojavljuju se samo slijedeće vrste onečišćujućih tvari:

- benzin,
- dizel gorivo,
- brodsko dizel gorivo,
- teško brodsko gorivo i
- sirova nafta.

Onečišćujuće tvari se pojavljuju kao teret koji se prevozi brodovima i kao pogonsko gorivo.

Gornje onečišćujuće tvari mogu dospjeti u morski okoliš u slučaju pomorske nezgode, uglavnom nasukavanja, kada zbog oštećenja brodskih spremnika gorivo može doći do njihovog djelomičnog ili potpunog ispuštanja u more.

Ova procjena razmatra spomenute naftne derivate. Svaki tip mineralnog ulja ima specifične karakteristike, koje utječu kako na njegovo ponašanje kad se razlije po vodenoj površini, tako i na prirodne procese koji uvjetuju učinkovitost metoda čišćenja. Sirova nafta sastoji se od niza kompleksnih spojeva ugljikovodika – od laganog plina do teških čvrstih tvari. Sukladno povećanju gustoće pojedinih frakcija to su: plinovi, benzini, petrolej, ulja za loženje, maziva ulja, teška ulja za loženje, asfalt i parafin. Vodik i ugljik su najvažniji i prevladavajući elementi u nafti, čineći do 98% nekih vrsta nafte, a 100% mnogih rafinerijskih produkata. Ostali sastojci nafte su derivati ugljikovodika koji sadrže kisik, sumpor, dušik, vanadij, nikel i mineralne soli.

Benzin

Kao pogonsko gorivo manjih brodica i jahti, benzin se pojavljuje u relativno malim količinama. Benzin se ubraja u „ne-perzistentna ulja“ što znači da se kod ispuštanja vrlo brzo širi po površini mora te vrlo brzo isparava. Zbog svojeg niskog viskoziteta benzin isparava gotovo u potpunosti i to već u prvih nekoliko sati. O određenim uvjetima, kod povišenih ljetnih temperatura mora i zraka, isparavanje benzina iznosi 80-85% i to u prvom satu nakon izlivanja. Izlivanje benzina u ograničenim prostorima predstavlja

opasnost jer zbog vrlo niske temperature paljenja može doći do eksplozije i požara. Također, otrovni sastojci benzina mogu biti opasni za morski okoliš a osobito u zoni plime i oseke. Gustoća benzina je od 0,72 do 0,74 a viskoznost 4 do 10. Netopljiv je u vodi. U zraku se može osjetiti koncentracija od 100 ppm. U ovisnosti od temperature, maksimalno dopustiva koncentracija u zraku i morui iznosi: 40-120 °C: 500 ppm; 120–200 °C : 300 ppm; 150-300 °C: 100 ppm gdje je 1 ppm = 3 mg/m³. (<http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/A865.pdf>)

Dizel

Dizel gorivo će nakon izlijevanja ispariti sa površine a dijelom se raspršiti u roku od 12 do 24 sata. To se događa zbog malog viskoziteta što omogućava brzo širenje po morskoj površini i stvara veliku površinu isparavanja. Temperatura mora i zraka, valovi i vjetar značajno doprinose isparavanju. Kao i svako ulje malog viskoziteta i dizel gorivo je vrlo „pokretno“ odnosno nije ljepljivo pa lako prodire u šljunčane i druge porozne tipove obala. No, pod utjecajem valova, plime i oseke, brzo se ispire tako da se u najvećem broju slučajeva obala ne čisti. Ovisno o vrsti obale, dizel gorivo se prirodno razgradi u roku jednog do dva mjeseca. Specifične težine oko 0,85 dizel gorivo je lakše od vode pa je mala vjerojatnost taloženja

na morskom dnu, čak i kada se „veže“ na pijesak ili druge tvari. Zbog benzinskih frakcija, dizel gorivo je izrazito toksično za organizme u vodi tako da kod većih izlijevanja, osobito u ograničenom prostoru, može izazvati pomor riba, beskralježnjaka i algi. Do utjecaja na morske sisavce ili ptice može doći putem direktnog kontakta i to isključivo u slučaju izlijevanja neposredno u blizini njihovih staništa. Također može utjecati na boju rakova ili školjki. Dizel nestaje u roku do dva mjeseca, prirodnom razgradnjom.

Dizelsko gorivo ima plamište iznad 55 °C. Dodatkom [benzina](#) od 3 % plamište se smanjuje toliko da pada na razinu sobne temperature. Dizel detonira znatno slabije od benzina jer je poput ulja, teži je i manje isparava. (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Dizel>)

Brodska dizel goriva

Brodsko dizel gorivo u osnovi je mješavina teških goriva i lakših frakcija. Karakteristike ovog goriva ovise o udjelu težih odnosno lakših frakcija. Većim udjelom lakših frakcija ovo gorivo lakše isparava i lakše se raspršuje u vodeni stupac. Istovremeno, zbog lakših frakcija, ovo ulje ima veću toksičnost od teškog brodskog goriva te može imati izraženiji štetni utjecaj na organizme u moru..

Gustoća: 0.95. Plamište: 90-95 °C.

Za pogon brodova se koristi: EURODIZEL, EURODIZEL PLAVI i FDMA

(<https://www.ina.hr/veleprodaja/proizvodi/brodaska-goriva/>)

Teško brodsko gorivo

Teško gorivo je perzistentno ulje velikog viskoziteta koje je u procesima rafinerijske prerade dobiveno miješanjem teških ostataka s lakšim frakcijama. Specifična težina ovog goriva je od 0,95 do 1,03 a plamište je na 115 °C pa zato izliveno gorivo najčešće pluta na morskoj površini, ali može preći u vodeni stupac ili potonuti na dno. Plutanje ili potonuće ovisi o vrlo malim promjenama u gustoći morske vode.

Protekom vremena ovo gorivo emulgira u mješavinu ulja i vode, čime se količina onečišćujuće tvari (emulzija) višestruko uvećava, a to otežava i značajno produljuje a time i poskupljuje mehaničko čišćenje. Do 10% izlivenog teškog goriva će ispariti u prvim satima od izlivanja a određena količina će biti raspršena u vodeni stupac. Zbog emulgiranja ova vrsta goriva se može tretirati disperzantima samo u prvih 48 sati od izlivanja. Upotrebu disperzanata treba razmatrati zajedno s primjenom mehaničkih metoda čišćenja koje će također dati bolje rezultate u ranoj fazi nakon izlivanja.

Kada teško gorivo onečisti obalu uglavnom ostaje na površini obale i to u zoni plime i oseke, te zbog svoje gustoće i „ljepljivosti“ teže prodire dublje u sediment. Utjecaj ovog goriva na obalne biocenoze može potrajati više godina. Zbog svojih svojstva može značajno utjecati na priobalne organizme i ptice (IŽ, 2012).

Avionsko gorivo JET A-1

Mlazno gorivo JET A-1 je mješavina različitih ugljikovodika. Temperatura samozapaljenja je 210 oC. Na otvorenom, gorenje može razviti temperaturu od 1030 oC. Temperatura smrzavanja iznosi -47 oC. Gustoća na 15 oC iznosi 0.8 kg/l dakle ako je razliveno po moru gorivo će plutati na površini. Prilikom proizvodnje uobičajeno je dodavanje gorivu različitih dodataka kao što su antioksidansi za prevenciju gumiranja, antistatičke tvari kako bi se prevenirao utjecaj statičkog elektriciteta, inhibitor smrzavanja, biocidi kako bi se spriječio rast mikroorganizama u rezervoaru aviona, te metalnih deaktivatora kako bi se reducirao utjecaj tragova metala na termalnu stabilnost.

Imajući na umu da gorivo sadrži preko 260 različitih alifatičnih i aromatičnih ugljikovodika uključivši toksične tvari, preporučuje se izbjegavanje kontakta a osobito udisanja para goriva.

Gašenje požara: prskanje vodom, pjenu, suhim prahom i ugljičnim dioksidom.

Oprema: osobna zaštitna oprema je nužna uključujući zaštitu od udisanja para goriva. Pare su teže od zraka pa će se širiti uz površinu mora. Proliveno gorivo se može ograditi zaštitnim branama a sakupiti absorbensima. Paziti na razliveno gorivo po palubi broda jer je sklisko.

Hranjive tvari

More u širem području istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva je oligotrofno. To znači da je dotok hranjivih tvari premali da bi se razvila velika i perzistentna koncentracija fitoplanktona. Međutim, dotok hranjivih tvari s obale u more nije konstantan. Za vrijeme iznenadnih i intenzivnih kiša i pojave bujica, voda koja ispire poljoprivredna zemljišta i urbano područje je bogata hranjivim tvarima. Tada u more za vrijeme od jednog dana ulazi do 100 puta veća količina hranjivih tvari. One će dolaskom u more pospješiti razmnožavanje slobodno plutajućih stanica algi (fitoplanktona) te, ako tada struje nisu jake, nastati će mutna zelena, žuta ili crvena boja mora ovisno od dominantne svojte fitoplanktona. Boja se može zadržati i do tri tjedna dok struje mora ne rasprše veću koncentraciju algi. Kako je dotok velike količine hranjivih tvari kratkotrajni puls, naglo razmnožavanje fitoplankton će stvoriti do 1000 puta veću koncentraciju dominantne vrste fitoplanktona. Nakon potrošnje hranjivih tvari velika količina fitoplanktona se više ne može razmnožavati stoga izbacuje organsku tvar iz stanica i pretvara se u spore. Organsku tvar koja se sastoji od primitivnih šećera napadaju bakterije koje velikom brzinom potroše kisik i na dnu nastaje hipoksija (nedostatak kisika) . Daljnjom razgradnjom organske tvari, hipoksija može prijeći praktički u anoksiju (nestanak kisika) kada na dnu zahvaćenog područja nastaje pomor faune.

U istočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva pomor faune a osobito faune na dnu (bentosa) moguć je jedino nakon iznenadnog dotoka velike količine hranjivih tvari s kopna ili akcidenta na moru u neposrednoj blizini obale.

Otopljeni metali

Stalni izvor otopljenih metala predstavlja otapanje metala iz protuobraštajnih boja brodica u marinama i brodski promet. Metali koji se nalaze u protuobraštajnim bojama od najvećeg interesa predstavljaju: bakar, cink i olovo. Postoje i drugi metali koji se otpuštaju u more ali oni ne igraju veliku ulogu osim kositra u obliku tributil kositra (TBT). Toksičnost TBT-a ustanovljena je početkom 1980-tih kada je u zaljevu Arcachon u Francuskoj smanjenje populacije kamenica i nepravilnosti u njihovu rastu povezano s visokom koncentracijama TBT-a u vodi. Do danas je ustanovljeno kako prisutnost TBT-a u morskom okolišu uzrokuje: usporavanje rasta dagnji te povećanje smrtnosti larvi već pri koncentracijama od 7

ng(Sn)/l, zadebljanje ljuske kamenica i anomalije pri njihovom rastu pri koncentracijama od 0,8 ng(TBT)/l, smanjivanje populacija školjkaša, imunološku disfunkciju kod riba, povećanje smrtnosti larvi riba te smanjivanje populacije zooplanktona i algi. Ipak, najštetnijim toksičnim učinkom TBT-a na morske organizme smatra se razvoj imposeksa u gastropodima već pri izrazito niskoj koncentraciji TBT-a u vodi od 0,4-2 ng(Sn)/l. Imposeks je definiran kao razvoj naizgled muških spolnih organa na ženskim jedinkama što za posljedicu ima sterilnost ženskih jedinki te lokalno izumiranje svojte. Do danas je ta pojava zabilježena kod gotovo 200 vrsta gastropoda.

Iako je upotreba i promet organokositrenim spojevima zabranjen u Hrvatskoj od 2006 (NN, 17, 2006) a uplovljavanje brodova u luke koji koriste organokositrene spojeve u protuobraštajnim bojama od 2008 g. (NN,10,2008). Organokositreni spojevi se unose u more najviše putem protuobraštajnih boja ali i putem komunalnih i industrijskih otpadnih voda te procijedih voda s odlagališta otpada te ispiranjem poljoprivrednih zemljišta oborinskim vodama. Istraživanje u marinama duž Hrvatskog Jadrana (Furdek, 2015) pokazalo je značajne koncentracije tributil kositra u morskoj vodi, sedimentu i dagnjama. Na primjer, u Puntarskoj dragi je nađeno do 12,4 ngSn/l u vodi; do 596 ngSn/g u dagnjama i do 50 823 ngSn/g u sedimentu kraj brodogradilišta. To su vrlo visoke koncentracije ako se ima na umu da Uredba o standardu kakvoće voda, NN 73, 2013; NN 78, 2015) propisuje maksimalno dozvoljenu koncentraciju u vodi od 1.5 ngSn/l.

U marini Split je u morskoj vodi nađeno oko 24.7 ng(Sn)/l, u luci Split oko 13 ng(Sn)/l, u lučici Stobreč 26,7 ng(Sn)/l, u lučici Vranjic oko 7 ng(Sn)/l, dok je u marini Kaštela nađeno 5 ng(Sn)/l. Ove vrijednosti, koje su od 3.3 do 17.8 puta više nego što iznosi maksimalno dozvoljena koncentracija, govore da se unatoč zabrani, organokositreni spojevi još koriste u protuobraštajnim bojama iako se ne proizvode u Hrvatskoj.

Ostale onečišćujuće tvari

Od ostalih onečišćujućih tvari valja spomenuti plastične proizvode kao što su kontejneri i plastične vrećice a osobito stiropor te metalom prekrivena papirnata ambalaža.

Valja napomenuti da pri pojavi u moru, svo makro-onečišćenje treba što prije pokupiti i adekvatno zbrinuti kako ne bi ulazilo u hranidbeni lanac organizama u moru.

Metode procjene rizika

Pojam rizika i doseg procjene

Rizik. U svakodnevnom govoru rizik se poistovjećuje sa vjerojatnošću nastanka pojave. Međutim u stručnoj literaturi je:

rizik = šteta od iznenadne pojave puta vjerojatnost te pojave.

Tako na primjer, ako je vjerojatnost od nastanka eksplozije jednaka jednom događaju u deset godina a pri tom je šteta jednaka milijun kuna tada je rizik od eksplozije = $(1/10) * 10^6 = 100,000$ kuna godišnje.

Ova Procjena iznosi kvantitativne modele procjene rizika od iznenadnih onečišćenja mora te je izrađena u skladu s važećom metodologijom procjene rizika i standardima sigurnosti.

Prema Međunarodnoj pomorskoj organizaciji (IMO) iznenadna onečišćenja mora uljem

dijele se, prema količini razlivenog ulja, na tri stupnja: 1) do 7 tona; 2) od 7 do 700 tona, i

3) više od 700 tona. U kontekstu količine emitiranih ili razlivenih štetnih tvari ova procjena razmatra sve navedene stupnjeve onečišćenja uljima (sirova nafta, teško brodsko gorivo i dizelsko brodsko gorivo), hranjivim tvarima, biocidima i teškim metalima. Sukladno tome, osim rizika od pomorskog prometa trgovačkih i putničkih brodova, ribarskih brodova, brodice i jahti, razmatraju se iznenadna onečišćenja čiji su izvori na kopnu ili su stacionarni u moru.

Kao što je gore navedeno, rizik (R) se definira kao umnožak štete (Š) od akcidenta i vjerojatnosti (V) pojave akcidenta:

$$R = \text{Š} * V$$

Ako se šteta mjeri u kunama (kn) a vjerojatnost da će akcident nastati u intervalu vremena od godinu dana iznosi, V, onda se rizik mjeri u:

$$[R] = [\text{Š}] * [V] = [\text{kn/god}].$$

Jasno je da velika šteta i mala vjerojatnost moraju dati isti rizik kao mala šteta i velika vjerojatnost nastanka akcidenta.

U slučaju da u godinu dana može nastati $x > 1$ akcidenta sa vjerojatnošću V tada je rizik:

$$[R] = [\text{Š}] * x * [V] = [\text{kn/god}].$$

Procjena rizika je usklađena sa ISO Standardom (30100, 2018; 31010:2019); koji definira procese za upravljanje rizicima.

Proces procjene uključuje:

- prepoznavanje opasnosti: sve što može krenuti po zlu te sve što trenutno onečišćuje more i zašto;
- analiza učestalosti (vjerojatnosti): koliko često se svaka od prepoznatih opasnosti može pojaviti;
- analiza posljedica: koliko štete može nastati zbog svakog od prepoznatih štetnih događaja;
- kalkulacija rizika: učestalost ili vjerojatnost u kombinaciji s posljedicama.

Elementi procjene

Proces procjene rizika započinje analizom konteksta u kojem se akcidenti mogu dogoditi, nastavlja se prepoznavanjem opasnosti, analizom vjerojatnosti pojave akcidenta, računanjem rizika, mogućim mjerama sanacije i izvještavanjem. Proces procjene uključuje komunikaciju i konzultaciju s dionicima a poboljšava se praćenjem (monitoringom) i revizijom.

Prepoznavanje rizika

Prvi korak u analizi rizika od akcidenta u morskom okolišu predstavlja identifikaciju svih mogućih pritisaka i akcidenta. To je u suglasnosti sa svim postojećim metodama analize rizika.

Svrha prepoznavanja (identifikacije) rizika je nalaženje i opis svih objekata i načina koji sudjeluju u pojavama iznenadnih onečišćenja mora. Često se upotrebljavaju različite tehnike za prepoznavanje nesigurnosti koje mogu dovesti u pitanje kakvoću mora. Među njima su:

- očiti i manje očiti izvori rizika;
- uzroci i posljedice;
- opasnosti i mogućnosti nastanka akcidenta;
- osjetljivost ekosustava mora;
- sustavne ili vremenske promjene u ekosustavu mora (dnevne, sezonske i međugodišnje);
- indikatori rizika;
- priroda i vrijednost dobara;
- posljedice i njihov utjecaj na ciljeve zaštite;
- ograničenost znanja i pouzdanost informacija;

- pretpostavke o mogućim rizicima.

Analiza rizika

Svrha analize rizika je shvatiti prirodu rizika i njegove karakteristike uključujući, ako je moguće, nivo rizika. Analiza rizika uključuje pažljivo razmatranje nesigurnosti, izvora rizika, posljedica, događaja, različitih mogućih scenarija, postojećih kontrola i njihove učinkovitosti. Neočekivana pojava može imati višestruke uzroke i posljedice te ugroziti više ciljeva zaštite kakvoće mora.

Također, analiza rizika se može poduzeti uključujući različiti stupanj detalja i kompleksnosti, ovisno o svrsi analize, dostupnim i pouzdanim podacima te dobrima i vremenu koji stoji na raspolaganju.

Tehnike analize mogu biti kvalitativne i kvantitativne, ili kombinacije ovih dviju tehnika, ovisno o prilikama i ciljevima.

Analiza rizika često uzima u obzir:

- vjerojatnost nastanka neočekivane štetne pojave i posljedica;
- prirodu i značaj posljedica;
- kompleksnost i povezanost sa drugim mogućim posljedicama;
- efikasnost postojećih kontrola;
- osjetljivost i interval pouzdanosti procjene.

Najveći utjecaj se očekuje od kakvoće relevantnih podataka i načina kako su oni uzeti u obzir.

Međutim, na analizu rizika mogu utjecati i različita mišljenja, predrasude, poimanja rizika i sudovi dionika.

Malo vjerojatni događaji mogu biti teški za kvantifikaciju. To može biti problem kod analiziranja događaja koji ugrožavaju veliku vrijednost ili imaju ozbiljne posljedice. U tom slučaju upotrebom kombinacije tehnika često je moguće dobiti bolji uvid vjerojatnost događaja.

Najveći broj metoda analize rizika sadrži kvantificiranje mogućih rizika od akcidenata **rangovima** koji označavaju ozbiljnost posljedica njihove pojave. S obzirom na štete koje oni proizvode rangovi su obično: visoka, srednja i mala šteta (sa mogućim rangovima između tih podjela). Međutim, za alokaciju fondova u izgradnju infrastrukture za prevenciju ili za sanaciju mora od štete (rijetko u potpunosti ali češće

donekle) za koju se predviđa da može nastati, rangovi nisu dovoljni. Za tu svrhu, identifikacija rizika mora sadržavati najmanje dva broja: procjenu vjerojatnosti nastanka akcidenta, v , u zadanom vremenskom intervalu, Δt , te procijenjenu štetu u novčanom iznosu, \check{S} , u slučaju da se akcident dogodi.

Sukladno tome, identifikacija rizika nastanka štete od akcidenta poprima tablicu:

Tablica I-28. Vrijednosti i štete koje omogućuju procjenu rizika od n mogućih akcidenta.

Ime akcidenta	Vjerojatnost nastanka u vremenskom intervalu Δt	Izgubljen novčani iznos ako se akcident dogodi
Akcident 1	v_1	\check{S}_1
Akcident 2	v_2	\check{S}_2
...
Akcident $n-1$	v_{n-1}	\check{S}_{n-1}
Akcident n	n_n	\check{S}_n

Stoga prvo valja identificirati sve značajne pritiske i moguće akcidente. U slučaju da svi značajni pritisci i mogući akcidenti nisu identificirani, izgubljena je mogućnost da se procijeni sveukupan rizik ali i mogućnost da se alociraju sredstva prema smanjenju najvećeg rizika od akcidenta.

U slijedećem koraku valja procijeniti vjerojatnost nastanka akcidenta, v , u zadanom vremenskom intervalu Δt , za svaki identificirani akcident. U slučaju postojećeg i kontinuiranog, recimo j -tog pritiska, gdje je $1 \leq j \leq n$, vjerojatnost je: $v_j = 1$.

Napokon, valja procijeniti izgubljeni novac, \check{S}_i , $i = 1, \dots, n$ od nastanka svakog od n mogućih akcidenta.

Rizik izgubljenog novca (štete) u slučaju i -tog akcidenta ($R\check{S}_i(t)$) u zadanom vremenskom intervalu Δt , iznosi:

$$R\check{S}_i(\Delta t) = v_i(\Delta t) \check{S}_i.$$

Rizik izgubljenog novca tijekom m intervala Δt , iznosi:

$$R\check{S}_i(m) = m v_i(\Delta t) \check{S}_i$$

pri tom se $v_i(\Delta t)$ ne smije mijenjati od jednog do drugog vremenskog intervala Δt , odnosno mora biti konstanta.

Pojašnjenje: Razmotrimo niz od m nezavisnih događaja sa vjerojatnošću, v . Neka X bude broj akcidenata tijekom m intervala Δt . Tada X ima Binomnu raspodjelu sa parametrima m i v . Očekivana vrijednost Binomne slučajne varijable $E(X) = m v$.

U slučaju da se vjerojatnost pojave akcidenta mijenja od jednog do drugog vremenskog intervala, Δt , na primjer od sezone do sezone, od godine do godine ili od godine prije i godine nakon implementacije zaštitne mjere, tada rizik izgubljenog novca od i -tog mogućeg akcidenta tijekom m zadanih vremenskih intervala iznosi:

$$R\check{S}_i(m, v) = \check{S}_i \sum_{j=1}^m v_i(\Delta t_j).$$

U slučaju da se i vrijednost izgubljenog novca mijenja od jednog do drugog zadanog intervala vremena tada rizik od izgubljenog novca zbog i -tog akcidenta tijekom m intervala vremena iznosi:

$$R\check{S}_i(m, v, \check{S}) = \sum_{j=1}^m (v_{i,j} \check{S}_{i,j}).$$

Rizik od izgubljenog novca od svih pobrojanih rizika tijekom zadanog vremenskog intervala Δt iznosi:

$$TR\check{S}(n, \Delta t) = \sum_{i=1}^n (v_i(\Delta t) \check{S}_i).$$

Rizik izgubljenog novca od svih pobrojanih rizika tijekom m zadanih vremenskih intervala Δt gdje u sukcesivnim vremenskim intervalima šteta i vjerojatnost nastanka akcidenta mogu biti različiti iznosi:

$$TR\check{S}(n, m, v, \check{S}) = \sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^n (v_{i,j}(\Delta t) \check{S}_{i,j}))$$

gdje su v i \check{S} matrice sa n redaka i m kolona, a $v_{i,j}$ i $\check{S}_{i,j}$ su korespondentni matrični elementi.

Domino efekt

Do sada smo razmatrali samo nezavisne događaje, no događaji nisu uvijek nezavisni.

Domino efekt je takav primjer. Kada se dogodi nepredviđeni događaj može slijediti drugi događaj čiji je prvi događaj uzrok. Vjerojatnost da se dogodi drugi događaj, B , pretpostavljajući da se prvi, A , dogodio se računa sukladno Bayesovu teoremu:

$$v(B|A) = (v(A|B) * v(B)) / v(A)$$

Primjer: Gledajući dalekozorom opazili smo dim. Koja je vjerojatnost da tamo imamo požar?

Statistika nam kaže: požar je rijetka pojava (2%), dim je češća pojava zbog turista koji peču meso ili ribu na gradelama (10%), ali 90% požara uzrokuju dim. Tada je vjerojatnost da imamo požar ako smo opazili dim = $(90\% * 2\%) / 10\% = 18\%$. Ali, ako smo dalekozorom opazili dim onda nismo mogli vidjeti dim od gradela već uglavnom dim od požara ili nekih drugih aktivnosti koje stvaraju veću količinu dima što ukupno čini (2%). Uz ovu informaciju vjerojatnost da imamo požar od dima kojeg smo opazili dalekozorom iznosi 90%. Stoga treba hitno tu informaciju provjeriti i pripremiti se na žurno djelovanje.

Rezultat analize rizika se koristi za ocjenu i odluku o metodama tretiranja, odnosno za donošenje odluka o investicijama u smanjenje rizika i sanaciji nakon pojave nepredviđenih onečišćenja mora.

Vrednovanje rizika

Svrha vrednovanja rizika je pomoć u donošenju odluka. Vrednovanje rizika uključuje usporedbu rezultata analize rizika sa potvrđenim kriterijima koji određuju gdje su dodatna ulaganje i pažnja potrebni. To može doprinijeti odlukama:

- za sada ne treba poboljšavati analizu rizika;
- potrebno je razmotriti nove mogućnosti tretmana ili umanjenja rizika;
- valja pokrenuti daljnju analizu za bolje razumijevanje specifičnog rizika;
- treba unaprijediti postojeće kontrole;
- nužno je ponovno razmotriti ciljeve analize ili upravljanja rizikom.

Odluke valja osnivati na širem kontekstu, sadašnjih i predviđenih posljedica uz konzultaciju svih dionika.

Prvi nužan uvjet za investiciju u Infrastrukturu kojom se utječe na Rizik, (IR), odnosno za upravljanje rizikom od nastanka *i*-tog akcidenta u vremenskom horizontu $m \cdot \Delta t$ ima smisla jedino ako je:

$$IR_i < R\check{S}_i(m).$$

U slučaju da je v_i konstanta tijekom svih m vremenskih intervala Δt ;

ili

$$IR_i < R\check{S}_i(m, v)$$

u slučaju da je v_i varijabilna tijekom m vremenskih intervala Δt ;

ili

$$IR_i < R\check{S}_i(m, v, \check{S})$$

u slučaju da v_i i \check{S}_i variraju tijekom m vremenskih intervala Δt .

Sukladno gornjem uvjetu lako je definirati nužan uvjet za upravljanje rizikom više od jednog ili svih navedenih mogućih akcidenata.

No, zašto gornji uvjet nije dovoljan?

Zato što investicija u prevenciju bilo kojeg akcidenta najčešće nije dovoljna da u potpunosti spriječi njegovu pojavu.

U stvari, mogu se nabrojati barem tri klase realističnih scenarija nakon što se investiralo i implementiralo pojedinu mjeru.

- a) Redukcija vjerojatnosti pojave akcidenta sa v na v_1 gdje je $v_1 < v$.

Primjer: Investicija u poboljšanje signalizacije smanjuje vjerojatnost akcidenta brodova ali ne smanjuje tu vjerojatnost na $v_1 = 0$.

- b) Investicija u infrastrukturu ne utječe na pojavu akcidenta već na štetu od njega.

Primjer: Postoji vjerojatnoća $v = 1$ od štete uzrokovane promjenom globalne klime koja će zasigurno povećati srednju temperaturu i nivo mora. Međutim investicija u infrastrukturu može smanjiti štetu od \check{S} na \check{S}_1 gdje je $\check{S}_1 < \check{S}$.

U slučaju da se identificira korist od globalne promjene klime, tu vrijednost valja odbiti od izgubljene monetarne vrijednosti. Štoviše, tada može biti korisno identificirati investiciju u infrastrukturu kojom će se najviše profitirati od globalne promjene klime a koja će se zasigurno dogoditi.

U slučaju da postoji investicija kojom se reducira:

- a) vjerojatnost od v_i na v_{1i} i

- b) izgubljeni novac od \check{S}_i na \check{S}_{1i} , tada se a) i b) mogu kombinirati. Korist od investicije u

smanjenje rizika i štete od i -tog akcidenta u vremenskom intervalu Δt iznosi:

$$BIR_i = (v_i - v_{1i}) (\check{S}_i - \check{S}_{1i}).$$

Odnosno, općenito, u horizontu od m vremenskih intervala Δt :

$$BIR_i(m) = R\check{S}_i(m, v_i - v_{1i}, \check{S}_i - \check{S}_{1i}).$$

- c) Redukcija štete od postojećeg pritiska:

Postojeći pritisak ima vjerojatnost $v = 1$, ali investicija u infrastrukturu za sprječavanje štete može smanjiti jedino \check{S} na \check{S}_1 , gdje je $\check{S}_1 < \check{S}$.

Identifikacija prioriteta investicija

U najjednostavnijem slučaju, proširenjem tablice 4 može se odgovoriti na pitanje koja investicija ima prioritet.

Tablica I-29. Podaci za precizno rangiranje razmatranja potrebnih investicija

Ime akcidenta	Vjerojatnost nastanka u Δt	Izgubljen novčani iznos ako se accident dogodi	Potencijalno izubljen novčani iznos u $m\Delta t$
Akcident 1	v_1	\check{S}_1	$m v_1 \check{S}_1$
Akcident 2	v_2	\check{S}_2	$m v_2 \check{S}_2$
...
Akcident n-1	v_{n-1}	\check{S}_{n-1}	$m v_{n-1} \check{S}_{n-1}$
Akcident n	v_n	\check{S}_n	$m v_n \check{S}_n$

Zadnja kolona u tablici 5 omogućava redosljed rasprave o mogućim investicijama u smanjenje rizika od nastanka akcidenta. Međutim, konačni redosljed investicija će ovisiti od dobrote investicije.

Dobrota investicije, $DI_i(m)$ prema smanjenju rizika od akcidenta i u vremenskom intervalu $m \Delta t$ se definira kao:

$$DI_i(m) = BIR_i(m) - IR_i(m).$$

Izračunavanjem dobrote investicije za svaki potencijalni akcident ili pritisak, investicije se mogu rangirati od najviše prema najmanjoj vrijednosti i sukladno tome odlučivati o prioritetu investicija.

Prioritet investicija je nužan uvjet za izradu **plana investicija**.

Smanjenje rizika

U ovom koraku se razmatraju faktori koji umanjuju rizik te se daju preporuke kako izbjeći ili umanjiti opasnosti od iznenadnih onečišćenja mora. Također se daje doprinos održivosti i učinkovitosti odabranih strategija smanjenja rizika.

Nadzor i ocjenjivanje

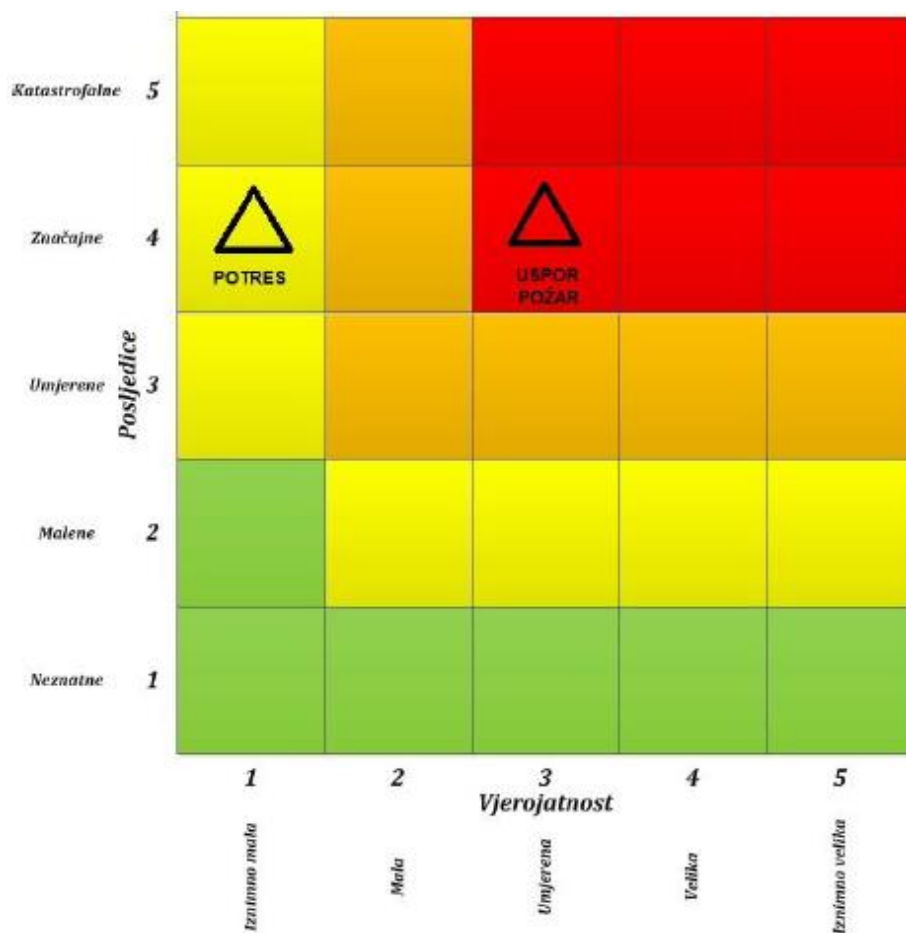
Nadzor odnosno praćenje (monitoring) je proces periodičnog utvrđivanja da li se primjenjuju najbolja raspoloživa rješenja i NRT, jesu li najefikasnija te postoje li mjesta i procesi koji se mogu poboljšati. Također se prate rizici u novonastalim okolnostima, a sve u svrhu smanjenja prepoznatih rizika.

Ocjenjivanje je mjera kojom se nalaze nedostaci u primjeni donesenih strategija i na taj način predstavlja uputu na koje mjere valja obratiti veću pažnju.

Procjena rizika onečišćenja mora u istočnom dielu kaštelanskog zaljeva **Identifikacija rizika**

Postoje mnogi čimbenici koji mogu dovesti do iznenadnog onečišćenja mora. Neke od tih čimbenika možemo pretpostaviti na temelju dosadašnjih akcidenata i razmatranja postojećih procesa koji se mogu otrgnuti kontroli ali zasigurno ne sve i stoga je nužno procjenu rizika periodički reanalizirati.

U studiji Procjena rizika od velikih nesreća za grad Kaštela (ALFA ATEST, 2019) navode se tri tipa rizika: potres, požar otvorenog tipa i poplava koja nastaje od uspora mora. Za svaki se rizik navode dva scenarija: najvjerojatniji i s najgorim posljedicama. Kako bi se dobio uvid u nivoe opasnosti, opisuju se posljedice, procjenjuju se vjerojatnosti te utjecaj na kritičnu infrastrukturu. Osim toga, potres, požar i poplava od uspora se uspoređuju u smislu događaja sa najgorim mogućim posljedicama (Slika I-59).



Slika I-59. Usporedba scenarija najgorih posljedica za potres, požar i poplavu od uspora. Gdje iznimno mala vjerojatnost znači 1 događaj u 100 g., umjerena vjerojatnost znači 1 događaj u 2 do 20 g. dok je značajna šteta u rasponu od 216 do 360 milijuna kuna.

Vjerojatnost je izražena uz pomoć pet rangova (iznimno mala, mala, umjerena, velika te iznimno velika). Posljedice su izražene u okviru pet rangova (neznatne, malene, umjerene, značajne te katastrofalne) (ALFA ATEST, 2019).

Kako je rizik umnožak štete i vjerojatnosti, matrica je morala biti simetrična. Uzrok male nesimetrije su nejednake podjele u rangovima na horizontalnoj i vertikalnoj osi.

Iz matrice je vidljivo kako se procjenjuje da požar i poplava od uspora imaju jednak i najveći rizik koji potječe od umjerene vjerojatnosti i značajne štete. Procjenjuje se da potres ima značajno manji rizik koji

potječe od iznimno male vjerojatnosti a očekuje se da će inducirati istu štetu kao požar ili poplava od uspora. Ipak, značaj gornjih usporedbi valja gledati u smislu vrlo visoke nepouzdanosti procjene za potres te visoke nepouzdanosti za požar i poplave uzrokovane usporom. U izvješću se ne navode utjecaji na iznenadno onečišćene mora od navedenih rizika, stoga će ovdje i o tome biti riječi.

Potres

U studiji: Procjenu rizika od velikih nesreća za grad Kaštela (ALFA-ATEST, 2019) se nalazi da je procjena vjerojatnosti značajnog potresa koji bi uzrokovao rušenje zgrada iznimno mala ali bi šteta po ljude i infrastrukturu bila značajna. Stoga, za potrebne radnje i elemente upravljanja rizikom valja konzultirati tu studiju.

Značajan potres može inducirati puknuće vodovoda i kanalizacije. Puknuće vodovoda dovodi do izljeva pitke vode u tlo i na površinu a obadvoje otjecanjem dovodi do onečišćenja mora. Puknuće kanalizacije dovodi do izljeva otpadne vode i značajnog mikrobiološkog onečišćenja mora tijekom cijelog vremena dok se kanalizacija ne popravi. Kako popravak kanalizacije najčešće nije prioritet nakon potresa, mikrobiološko onečišćenje mora može potrajati mjesecima i ugroziti trenutnu ili nadolazeću turističku sezonu.

Osim gornjeg, značajan potres može dovesti do puknuća ventila na spremnicima velike količine goriva te izljevom posljedično onečistiti more.

Značajan potres može dovesti do puknuća podmorskih ispusta u more te značajno onečistiti more mikrobiološkim parametrima.

Također, značajan potres može dovesti do sudara brodova, brodica i jahti lukama i marinama i izljeva goriva, ulja ili kaljužnih voda u more. Time se u prvom trenutku onečišćuje površina mora slojem ulja ili goriva a kasnije se onemogućuje transport kisika u vodeni stupac. Time direktno i indirektno dolazi do posljedica na cijeli vodeni stupac i život u njemu.

Na koncu, značajan potres može inducirati požar. Požar često inducira posljedice na onečišćenje mora kako je opisano u slijedećoj sekciji.

Požar

Požar otvorenog tipa može biti uzrok iznenadnog onečišćenja mora. Prvo, čađa nošena vjetrom može pasti na površinu mora, promijeniti kiselost (pH) te vizualno onečistiti površinu. Ulaskom u vodeni stupac onečišćuje se more po cijeloj dubini uključujući sediment. Drugo, ispiranjem pepela sa tla uzrokovanog kišom i bujicama može nanijeti pepeo u more. Ovako naneseni pepeo se nalazi u slatkoj vodi koja ulazi na površinu vodenog stupca ali se u relativno kratkom vremenu potrebnom da slatka voda stigne do kontakta sa otvorenim morem na rubu uvale već pomiješala sa vodenim stupcem i time onečistila more iznad termokline ljeti a zimi i dublje.

Požar zatvorenog tipa u skladištima goriva također može dovesti do iznenadnog, indirektnog onečišćenja mora.

Poplava

U istočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva poplava može nastati na dva načina: a) usporom mora i dizanjem morske razine koje je inducirano naglom padom tlaka, intenzivnim vjetrom (jugom), plimom te rezonancijama u kolebanju razine mora; te b) velikom količinom kiše u kratkom vremenu te nastankom bujica.

Usporom poplava dolazi s mora a morska voda se izliva po obali. Opadanjem razine mora onečišćena morska voda se vraća u more.

Poplavom koja nastaje od velike količine kiše u kratkom vremenu pojavljuju se bujice i po iznimno strmom dijelu reljefa prema moru, zamučena voda tlom, prašinom i onečišćenjem s kopna ulazi u more. Doista, ekstremna kiša u roku od par sati može stvoriti bujice kojima se voda sa velikom koncentracijom hranjivih tvari, mulja i kamenja te se strmim terenom obrušava u more.

Pomorski promet

Kada se razmatraju čimbenici pomorskog prometa tada se prvo analiziraju obilježja plovnog puta jer ona u trenucima nepovoljnih vremenskih prilika mogu biti uzrok akcidenta. Otežano upravljanje brodom može biti i rezultat oceanografskih čimbenika kao što su morske struje, izrazita smanjenja razine mora uzrokovana osekom i ekstremnim a praktički nevidljivim i nepredvidivim meteorološkim situacijama. Posljedica može biti udar broda u obalu, sudar brodova ili nasukavanje. Napokon na brodu može nastati eksplozija ili požar. Svaki od navedenih neželjenih događaja može uzrokovati onečišćenje mora.

Procjena rizika

U ovom poglavlju se razmatraju vjerojatnosti i ukupna šteta od iznenadnog onečišćenja mora. Također se iznose argumenti za jedno i drugo te se izračunava rizik.

Potres

Studija ALFA-ATEST, 2019 navodi da „područje Grada Kaštela valja tretirati kao ugroženo područje VIII° intenziteta potresa po MSK ljestvici zbog čega mogu nastati znatne materijalne štete i ljudske žrtve“.

Na području Grada Kaštela u razdoblju od 1897. do 2003. godine zabilježeni su potresi slijedećih intenziteta: 16 potresa intenziteta V° MSK ljestvice, 1 potres VI° MSK ljestvice i 2 potresa VII° MSK. Navedeni potresi navodno nisu imali značajnijih zabilježenih posljedica.

Seizmološke karte Hrvatske (95 i 475 g povratnog perioda) se mogu naći na poveznici:

<http://seizkarta.gfz.hr/>

a karta epicentara potresa u Hrvatskoj se nalazi na poveznici

https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_seizmologiji

Suglasno ALFA-ATEST, 2019 potres s najgorim mogućim posljedicama je intenziteta VIII po MSK skali. Vjerojatnost se procjenjuje na 1jedan događaj u 100 g. i rjeđe.

Procijenjeno je da bi takav potres uzrokovao 60 poginulih i 541 ranjenih stanovnika grada Kaštela. Gospodarstvo bi pretrpio štete u rasponu od 24 do 40 milijuna Kn. Štete na javnim društvenim građevinama bi također bile između 24 i 40 milijuna kn te isto toliko i štete na kritičnim infrastrukturama. Dakle, očekuje se šteta od 72 do 120 milijuna kuna ne računajući u ljudske žrtve.

Međutim, gornja šteta se odnosi samo za grad Kaštela, stoga se ukupna šteta u području sjeveroistočnog dijela Kaštelanskog zaljeva očekuje od 216 do 360 milijuna kuna.

Ukupna šteta na onečišćenje mora će biti oko 5 puta manja s tim da može doći do puknuća cijevi kanalizacije i mikrobiološkog onečišćenja koje će trajati do popravka kanalizacije.

Ukupnan rizik od potresa iznosi: $0.01 \cdot (216 \text{ do } 360 \text{ milijuna}) = 2 \text{ do } 3.6 \text{ milijuna kn/god.}$

Ukupnan rizik od potresa po zagađenje mora iznosi od 400 000 do 720 000 kn/god.

Požar

U studiji Procjena rizika od velikih katastrofa općine grada Kaštela (ALFA-ATEST,2019) razmatran je i požar otvorenog tipa. Pri tome se misli na požar šume, makije i općenito raslinja. Potencijalna opasnost od požara se ističe kao velika (na skali rangova od: mala, umjerena, velika vrlo velika).

U studiji se navodi: "Najvjerojatniji scenarij se u načelu događa svake godine."

Ta je konstatacija točna u smislu da se požari u Hrvatskoj pojavljuju svake godine i to na više mjesta, međutim ona nije točna u smislu da je toliko velika vjerojatnost da će se požar šume ili makije razmjera koji može utjecati na onečišćenje mora u području slivnog područja dogoditi svake godine. Vjerojatnija je tvrdnja da će se takav požar dogoditi svake pete godine a još vjerojatnija tvrdnja da će se dogoditi svake desete godine.

Kako se o požarima redovito izvještava u novinama potražili smo takova izvješća kako bi se dobili podaci o čestini požara koji mogu dovesti do onečišćenja mora.

Dana 9. srpnja 2011. „Vatrogasni operativni centar Split zaprimio je...dojavu o požaru otvorenog prostora iznad Kaštel Lukšića prema Kozjaku. **Opožareno je oko 0.5 ha borovine, trave i makije na nepristupačnom terenu.** U gašenju je sudjelovalo 28 vatrogasaca s 8 vozila iz DVD-a Mladost, Kaštela i Gomilica. Pomoć iz zraka pružala su im dva zračna traktora“.

(<http://www.kastela.org/novosti/kronika/14490-vatrogasci-ugasili-pozar-iznad-kastel-luksica-foto>)

Dana 12. srpnja 2015. **Zahvaćeno je područje od 50 do 60 hektara** borove šume, trave i niskog raslinja, pri tom su kuće obranjene. Nakon 2.5 sati borbe s požarom koji je nešto prije 12.30 buknuo u blizini groblja u Kaštel Kambelovcu, prema riječima nadležnih, isti je stavljen pod kontrolu. U gašenju požara sudjelovalo je oko 90 vatrogasaca iz Kaštela i okolice, kao i tri kanadera te zračna traktora. Nešto poslije 15 sati, kanaderi su obavili svoj dio posla te su se povukli s požarišta. Na požarištu su ostale sve ljudske snage s opremom i vozilima, te se pristupa sanaciji požarišta...vatrogasci su na samom početku intervencije spriječili mogućnost širenja požara na nekoliko obližnjih kuća.

Dana 18.listopad 2018. Požar u Kaštel Gomilici. Dolaskom na teren utvrđeno je da se radi o 2 požara na udaljenosti cca 100 metara. Na teren su izašla 3 vozila i 7 vatrogasaca, te po jedno vozilo iz DVD Mladost Kaštel Sućurac i DVD Kaštela.

Dana 3. kolovoza 2020. Veliki šumski požar na Kozjaku iznad Kaštel Sućurca koji je buknuo rano popodne lokaliziran je malo prije 19 sati, doznaje se od kaštelanskih vatrogasaca koji će na terenu ostati cijelu noć... a vatra je krenula s lokaliteta Dragočevo odakle se proširila na groblja u Kaštel Sućurcu i Kaštel Gomilici....kuće su obranjene no vjetar gasiteljima ne ide na ruku. Opožarena površina je ogromna...na terenu je 140 vatrogasaca iz Kaštela, Solina, Trogira, Dugog Rata, Splita te 36 vozila, a požar još uvijek gase i dva kanadera. Vjetar otežava posao

vatrogascima... U požaru je izgorjela veća površina trave, niskog raslinja, borove šume...brojni maslinici i vinogradi,... Tijekom večeri umornim vatrogascima će stići zamjena koja će cijelu noć sanirati požarište, te se vjeruje kako će tijekom jutra požar najvjerojatnije biti proglašen ugašenim....ovo je klasičan primjer eruptivnog požara, kažu nam vatrogasci...ovakvi požari buknu uvijek kad puše, a ovaj današnji planuo je u blizini lokacije gdje je prije mjesec dana plamtio veliki požar usred kojega je zamalo izgorio veliki broj kuća.

(<https://slobodnadalmacija.hr/dalmacija/obala/pozar-krenuo-prije-sat-vremena-iz-dragoceva-u-kastel-sucurcu-zaprijetio-i-obiteljskim-kucama-angazirane-zracne-snage-1036104>)

25. kolovoza 2020. Požar koji je jutros izbio u Tvornice za preradu ribe „Nadalina“ u Kaštelima, pod kontrolom je vatrogasaca. DVD Kaštela je u 06:30 zaprimio dojavu o požaru Tvornice za preradu ribe „Nadalina“...Vatra se brzo širila po objektu, a vatrogascima je posao otežavala velika količina dima. Na intervenciju su upućeni DVD Kaštela, Mladost i Gomilica s 13 vozila i 50 vatrogasaca. Požar je zahvatio proizvodni pogon i skladišni prostor....U požaru je uništen cijeli objekt. Posljedičnog onečišćenja mora nije bilo.

(<http://www.hvz.hr/vijesti/po%C5%BEar-u-tvornici-za-preradu-ribe-u-ka%C5%A1telima>)

Osim požara raslinja mogu nastati požari i eksplozije na brodovima u marinama i vožnji, brojnim industrijskim postrojenjima a požari raslinja mogu također inducirati požare na postrojenjima.

15.travnja 2017. 12 h. Eksplozija silosa za skladištenje žitarica n vranjičkom dijelu Sjeverne luke. Ozlijeđena su petorica radnika od kojih dva s težim opeklinama. Na teren su izašli pripadnici DVD Split, Solin i Vranjic te djelatnici Zavoda z hitnu medicinu. Nije bilo potrebe za gašenjem plamena.

Mogući uzrok: iskra koja je zapalila plinove u skladištu soje. Posljedičnog onečišćenja mora nije bilo.

(<https://sibenski.slobodnadalmacija.hr/dalmacija/svjedoci-eksplozije-u-sjevernoj-luci-o-strahotama-koje-su-dozivjeli-trazila-sam-moga-vinka-dok-su-komadi-silosa-padali-oko-mene-sve-je-uzasno-izgledalo-svi-smo-bili-u-soku-480673>)

15.lipnja 2020 u 19 h. Požar u Solinu. Zapalio se vagon u Sv. Kaju. Da teren su izašli DVD Solin, DVD Vranjic i djelatnici Ine. Požar je uskoro ugašen. Posljedičnog onečišćenja mora nije bilo.

<https://www.dalmacijadanas.hr/pozar-u-solinu-zapalio-se-vagon-u-sv-kaju/>

26. svibnja 2020. Požar kod plaže Mramorna u Solinu. Požar raslinja je izbio tik uz cijevi INA d.o.o. Brzom reakcijom DVD Solin požar je lokaliziran 12 minuta nakon dojave i ugašen u 5 minuta. Posljedičnog onečišćenja mora nije bilo.

<http://www.solin-live.com/index.php/zamalo-eko-katastrofa-izbio-pozar-pokraj-ininih-cijevi/>

Procijenjeno je da se najgori mogući scenarij može dogoditi jednom u 20 godina.

U okviru najgoreg vjerojatnog scenarija se navodi šteta na gospodarstvo koja se procjenjuje između 24 i 40 milijuna kuna.

Moguć je nastanak štete na građevinama od javnog društvenog interesa u iznosu od 802 000 do 1603 000 kn.

Kritična infrastruktura će pretrpjeti sličnu štetu kao građevine od javnog društvenog interesa, između 802 000 do 1603 000 kn.

Ukupna procijenjena šteta za grad Kaštela iznosi oko 34,4 milijuna kn. Ukupna procijenjena šteta za sjeveroistočni dio Kaštelanskog zaljeva iznosi 103,2 milijuna kn.

Ukupna šteta zagađenja mora je oko 10 puta manja a potječe od onečišćenja pepelom i materijalom preostalim od izgaranja šume i makije. Dakle, srednja vrijednost je oko 10,3 milijuna kn.

Rizik zagađenja mora od najgoreg mogućeg scenarija požara iznosi 516 000 kn/god.

Poplava

Uspor

Za područje sjevero-istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva porast razine mora uzrokovan jugom iznosi od 4 do 8 cm dok je tijekom 1996. g. iznosila od -50 do + 25 cm. Kao što je već spomenuto, za vrijeme meteotsunamija, porast razine mora na istočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva je bio oko 46 cm.

Dana 12. studenog 2019. g. a za vrijeme orkanskojuga došlo je do poplave u Kaštelima. U Kaštel Štafiliću i Kaštel Novome voda je ušla u stambene objekte te je nastradalo više brodica.

Dana 22. prosinca 2019. g. olujno jugo i veliki valovi potopili su rive te je tako zatvoreno cesta u Kaštel Sućurcu uzduž obale kralja Tomislava. Tada je javljeno iz Hrvatskog Hidrografskog Instituta da je razina mora porasla za 91.1 cm iznad srednje razine mora, odnosno 152 cm iznad mareografske nule.

Usljed uspora koji je uzrokovan plimom, niskim tlakom, intenzivnim jugom i rezonancijom kolebanja razine mora, dolazi do poplavlivanja objekata uz more, uglavnom prizemlja i podruma. Ugroženi su stambeni i gospodarski objekti te kanalizacija. Nastaju štete na stambenim i ugostiteljskim objektima na rivi, dolazi do plavljenja sustava kanalizacije, istjecanja kanalizacije te izbijanja šahtova na ulicama.

Sukladno Studiji (ALFA-ATEST, 2019), posljedice bi bile oštećenje plovni objekata, od kojih će neki pretrpjeti teža oštećenja ili biti potopljeni. More bi ušlo u stambene objekte duž čitave obalne linije u kojima će biti oštećeni uređaji i namještaj, a nakon povlačenja bilo bi nužno njihovo ispumpavanje i čišćenje. Također bi bili oštećeni automobili parkirani u neposrednoj blizini morske obale.

Prilikom povlačenja mora sa poplavljenog područja moguće je značajno onečišćenje mora. Ono nastaje miješanjem i topljenjem onečišćenja s obale ali i otvorenih zauljenih površina, manipulativnih postrojenja, separatora i skladišta.

U najgorem scenariju Studija predviđa štetu po gospodarstvo: od 24 do 40 milijuna kn. Procjenjuju se štete na građevinama od javnog značaja veće od 40 milijuna kn.

Šteta na kritičnu infrastrukturu se procjenjuje na više od 40 milijuna kn.

Međutim ukupna šteta na sjeverno-istočnom području Kaštelanskog zaljeva bila bi oko tri puta veća.

Sukladno Studiji čestina najgoreg mogućeg neželjenog događaja jest 1 u 2 do 20 godina.”

Pa je srednja vrijednost 1 događaj u 11 godina.

Na temelju gornjih podataka zaključujemo o intenzitetu rizika.

Rizik od uspora u najgorem scenariju iznosi: $0.09 \cdot 336$ milijuna kn = 27 milijuna (kn/god).

Bujični tokovi

Bujični tokovi mogu nastati od intenzivne kiše u vremenu od svega 2 do 3 sata.

Navodimo nekoliko primjera iz štampe o poplavama uzrokovanih bujičnim tokovima.

Dana 3. srpnja 2007 g. za vrijeme nevremena sa kišom i tučom poplavljeni podrumi, prizemlja i ulica u dolnjem dijelu Kaštela, Kaštel Starom i Kaštel Sućurcu . Željeznička postaja u Radunu je ostala bez električne energije.

(<http://crljenak.com/novosti/aktualnosti/4324-nevrijeme-uzrokovalo-poplave>)

Dana 11 rujna 2014 g. najviše kiše je palo na području Kaštel Štafilića i Kaštel Novoga, pa su tu obilne oborine stvorile najviše problema. Na mjernoj postaji Kaštel Gomilica u samo sat vremena palo je 60 litara kiše po kvadratnom metru. „Prepune bujice, prelijevanje vode u vrtove i okućnice, začepljene šahte, prepuna kanalizacija, donijele su i pune ruke posla kaštelanskim vatrogascima, pa su tako vatrogasci iz Kaštel Starog imali više od 30 intervencija u Donjim Kaštelima, a ništa manje posla nije bilo ni za gomiličku i sućuračku postrojbu“ (kaštela.org)

Dana 6. ožujka 2018 g. obilne kiše na kaštelanskom području su uzrokovale bujične poplave koje remete normalno odvijanje cestovnog prometa te je cesta od KaštelŠtafilića do Kaštel novoga zatvorena.

(<https://www.dalmacijadanas.hr/kastela-pod-vodom-zatvorena-stara-kastelanska-cesta/>)

Vjerojatnost najgoreg mogućeg događaja: 1 u 12 godina

Šteta bi iznosila oko 180 milijuna kn.

Ukupni rizik od poplava usporom i bujicama iznosila bi 42 milijuna kn/god.

Ukupni rizik od onečišćenja mora iznosio bi oko 4,2 milijuna kn/god a odnosi se na mikrobiološko onečišćenje i makro-onečišćenje iako se samo manji dio može sanirati.

Sanacija se poduzima samo kako bi se površinski dio makro-onečišćenja pokupio i adekvatno odložio iz plićih dijelova zaljeva.

Pomorski promet

Najčešće se nesreće na brodovima i brodicama događaju u lukama, no naravno nesreće se mogu dogoditi i u plovidbi.

14. siječnja. 2009. u 03 h U Marini Kaštela u Kaštel Gomilici u požaru izgorjela 14-metarska jedrilica a oštećene su i dvije obližnje jedrilice.

(<https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/jedrilica-izgorjela-u-pozaru-20090114>)

1. srpnja. 2017 u 11 h. Požar na jedrilici u marini Kaštela. Mobilizirana je posada eco brodice Sv, Florijan. Jedrilica je izvučena na more izvan marine. Posada eco brodice je brzo ugasila požar te spriječila i sanirala onečišćenje mora.

(<https://dvdkastelgomilica.hr/pozar-na-jedrilici-u-marini-kastela/>)

18. lipnja. 2018 u 01h30min. Prodor vode u strojarnicu broda MV Hansa. Dolaskom eco broda Sv. Florijan, brod je otegljen u brodogradilište Trogir.

<https://dvdkastelgomilica.hr/sprijecavanje-ekoloske-katastrofe-uslijed-havarije-na-turskom-brodu-mv-haksa/>

31. lipnja. 2018 u 14h05. Požar na jedrilici u Splitskom kanalu na udaljenosti 2 milje od splitskih vrata. Na teren je izašla eco brodica Sv. Florijan. Gašenje požara je započeto u 14h 30min. Oko jedrilice su postavljene absorbirajuće brane u dužini od 50 m. Požar je ugašen u 16 h. Jedrilica je dotegljena u sjevernu luku u 19 h. Pri gašenju je potrošeno 250 l pjene.

Vjerojatnoća nesreće

Broj plovila koja su uplovila u luke na sjeveroistočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva (zona A, B i C) tijekom 2016 g je iznosio 962 u, a tijekom 2017 g. broj uplovljavanja je iznosio 1122. Srednji broj uplovljavanja iznosi 1044.

Tijekom 2016 g. je broj uplovljavanja u sve Hrvatske luke iznosio 332047 a tijekom 2017 b. broj uplovljavanja je bio 338 603. Srednja vrijednost iznosi: 335 325.

Tijekom 4 godine u RH je bilo 38 akcidenata, odnosno 9,5 na godinu.

Kako su se sva onečišćenja dogodila u lukama, procjena vjerojatnosti je relevantna.

Stoga vjerojatnost akcidenta iznosi: 0.03 (1/god)

Šteta

Najveće onečišćenje je iznosilo 100 m³ što je unutar raspona brodskog goriva brodova koji pristaju u Splitskoj luci.

U 11 od 13 dokumentiranih slučajeva onečišćivalo je bilo brodsko pogonsko gorivo.

Stoga se šteta može računati za onečišćenje brodskim gorivom. U vremenu od 10 dana gorivo koje se izlilo moglo bi se sakupiti.

Utjecaj izlijevanja goriva na gospodarstvo odnosno turizam šteta bi bila značajna: od 25 milijuna do 40 milijuna kn.

Iako će se najveća šteta pojaviti u kraćem periodu dok traje operacija čišćenja, ne smije se zaboraviti i utjecaj na ostatak turističke sezone ako se akcident tada dogodi.

Na morski ekosustav šteta bi između 5 i 8 milijuna kn, ovisno o mjestu gdje se nesreća dogodi.

Ipak treba svim raspoloživim sredstvima spriječiti da izliveno gorivo dopluta do obale.

Rizik za ljetnu sezonu iznosi 0,03 *32,5 (milijuna kn/god) = 975 000 kn/god dok je rizik za zimsku sezonu značajno manji.

Rizik na morski ekosustav iznosi oko 200 000 (kn/god).

Osjetljivost i interval pouzdanosti procjene

Procjena je jednako osjetljiva na vjerojatnost neželjene pojave kao i na procjenu štete. Pouzdanost procjene vjerojatnosti slijedi iz pouzdanosti statistika neželjenih događaja u prošlosti. Statistika potresa je relativno dobro određena jer tu postoje brojni podaci o vremenu i intenzitetu potresa. Statistika uspora je također dobro određena jer i tu postoji više nego dovoljan broj podataka o vremenskim prilikama i visini mora. Statistika požara je također relativno pouzdana. Manje je pouzdana statistika pomorskih nesreća, jer na sreću je njihov broj bio premali u intervalu od kada se one poudane prate u nas.

Procjena štete je značajno manje pouzdana od vjerojatnosti pojave. Prvo i ključno, zbog toga što se sva šteta u pravilu ne prijavljuje i drugo što je i prijava štete sama po sebi nepouzdana.

Rezultantno, stoga što raspon intervala pouzdanosti vjerojatnosti oko navedene vrijednosti može varirati do dva puta i stoga što procjena štete može varirati do pet puta, procjenu rizika treba smatrati pouzdanom do na red veličine.

Tablica rizika i isplativost intervencije

Kao što je navedeno u prethodnim sekcijama procjena rizika je procjena vjerojatnosti nastanka iznenadnog zagađenja mora pomnožena sa procijenjenom štetom. Međutim, kao što smo vidjeli u prethodnom razmatranju rizika, postoje različite vjerojatnosti za štetu od akcidenta, sukladno tome u slijedećoj tablici su rizici svedeni na zajedničku vjerojatnost koja odgovara istom ukupnom riziku na godinu.

Tablica I-30. *Rizik od iznenadnog onečišćenja mora (kn/god) i isplativost intervencije (%).*

Uzrok iznenadnog onečišćenja mora	Procjena učestalosti akcidenta (1/god.)	Procjena ukupne štete (kn)	Ukupan rizik (kn/god.)	Isplativost intervencije (% od štete na more)
Potres	0,001	56 000 000	560 000	100
Požar	0,05	10 320 000	516 000	50
Poplava	0.0833	50 400 000	4 200 000	30
Pomorski promet	0.033	6 060 000	200 000	60

U zadnjoj koloni gornje tablice naznačena je približna isplativost intervencije u sanaciju mora. Tako se kod potresa očekuje isplativost intervencije od 100 % čime se misli na popravak mogućeg oštećenja vodovoda, kanalizacije, podmorskih ispusta te da je relativno lako pokupiti makro-onečišćenje. Uspješnost sanacije štete na morskom ekosustavu od požara se ne očekuje biti većom od 50 % a što se odnosi na površinsko onečišćenje. Isplativost intervencije u sanaciju morskog ekosustava od štete uzrokovane poplavom je još manja i odnosi se samo na čišćenje zaljeva od površinskog onečišćenja. Očekuje se da bi oporavak od pomorskog akcidenta bio uspješan oko 60 % dok se ostatak izlivenog ulja ne bi mogao sanirati jer bi se otopio u vodenom stupcu ili ispario.

Zaključak

Ovaj dokument prikazuje rizik od iznenadnog onečišćenja sjevero-istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva upotrebom kvantitativnih modela (za razliku od kvalitativnih i semi-kvantitativnih modela koji su inferiorniji). Zaključujemo da najveći rizik predstavlja poplava od uspora i bujica izazvanih intenzivnom kišom stoga bi valjalo, osim ostaloga, pokrenuti procese obrane od tog rizika.

C. PROJECT PARTNER 4 – ŠIBENIK-KNIN COUNTY

KREIRANJE I TESTIRANJE MODELA



Abstract

The sea level rise model was developed for three sea level rise models (1 m, 2 m and 6 m). An open fire risk model was developed, and it was determined that due to the configuration of the coastal zone of the St. Anthony's Channel and the absence of settlements, the danger of sudden sea pollution caused by fire is negligible. Based on the developed model of erosion susceptibility, it was determined that the examined area is not susceptible to erosion. A maritime traffic risk model has also been developed, and it is estimated that the probability of stranding in the Šibenik navigable area is approximately 5 stranding per year for the highest annual traffic. Stranding is significantly more likely due to an error in the implementation of navigation decisions than due to engine failure. The probability of collisions between ships sailing in the other Šibenik navigable area is significantly lower and amounts to 0.02. Yachts and fishing boats are most exposed to this risk.

Sažetak

Model podizanja morske razina izrađen je za tri modela porasta morske razine (1 m, 2 m i 6 m). Izrađen je model rizika od izbijanja otvorenog požara, te je utvrđeno da uslijed konfiguracije obalnog pojasa kanala Sv. Ante i odsutnosti naselja, opasnost od iznenadnog zagađenja mora izazvanog požarom je zanemariva. Na temelju izrađenog modela podložnosti eroziji i utvrđeno je da ispitivano područje nije podložno eroziji. Izrađen je i model rizika od pomorskog prometa, te je procijenjeno da je vjerojatnost nasukanja u plovnom području Šibenik iznosi približno do 5 nasukanja godišnje za najveći godišnji promet. Značajno su vjerojatnija nasukanja zbog greške u provedbi navigacijskih odluka nego zbog otkaza poriva. Vjerojatnost sudara brodova u plovidbi ostalim plovnim područjem Šibenik je značajno manja i iznosi do 0,02. Tome su u najvećoj mjeri izložene su jahte i ribarski brodovi.

1. Model podizanja morske razine

Uvod

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

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).

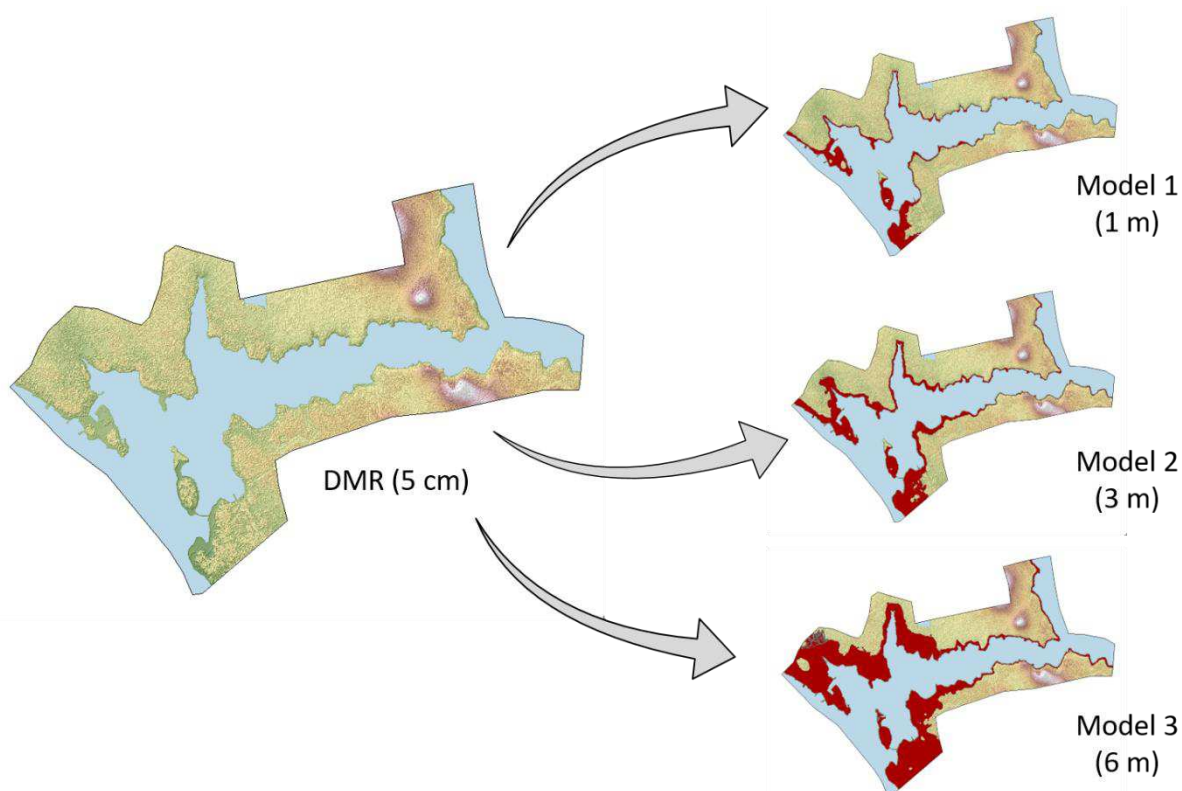
Brojne različite studije i znanstvena istraživanja ukazala su na ugroženost pojedinih dijelova (Krišković, 2015; Ružić i Benac, 2016.), ili cijele hrvatske obale (Domazetović i dr., 2017.) od kontinuiranog porasta morske razine tijekom 21. stoljeća. Da bi se proučile moguće negativne posljedice unutar šireg prostora kanala Svetog Ante od budućeg porasta morske razine 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).

Metodologija izrade modela podizanja morske razine

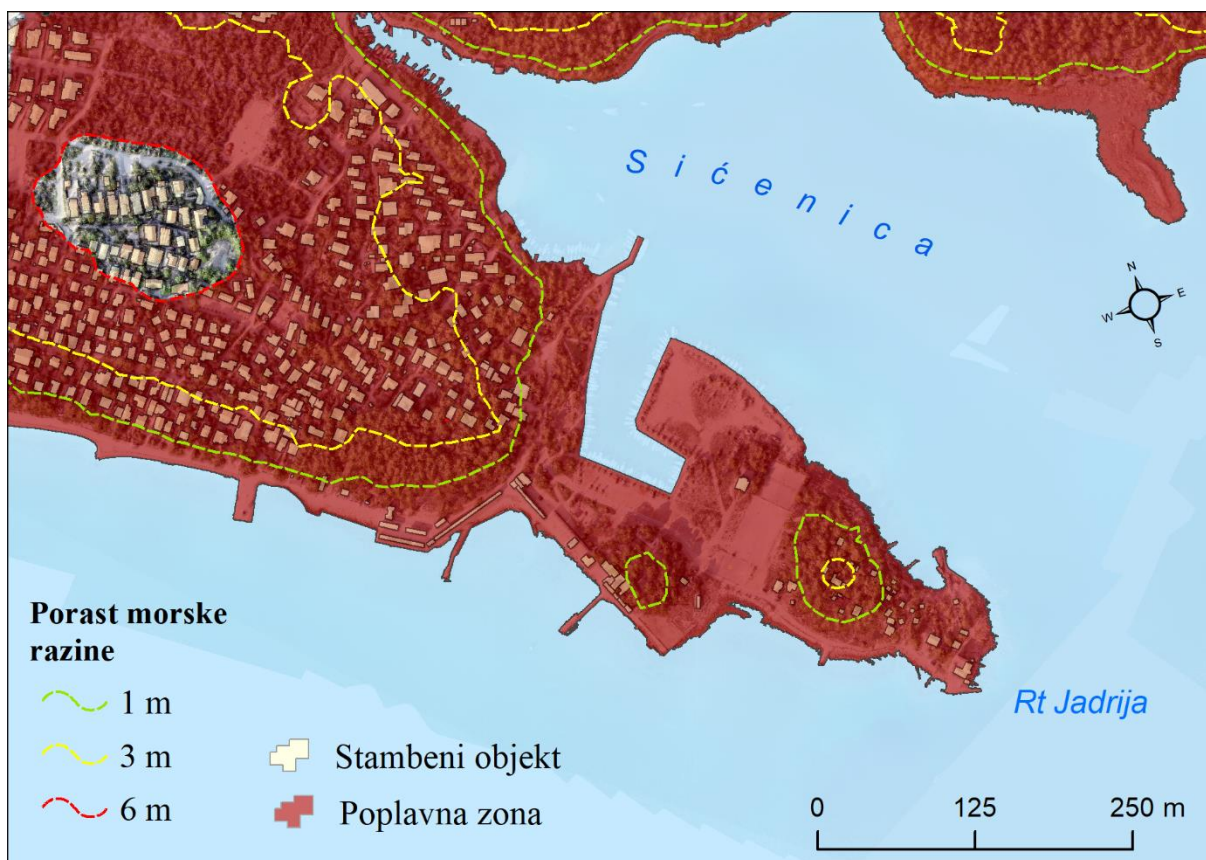
U izradi modela porasta razine Jadranskog mora koristili su se alati iz *Spatial analyst* ekstenzije ArcGIS 10.1 softvera. Kao osnova za izradu modela podizanja morske razine iskorišten je DMR generiran iz aerofotogrametrijskih podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom. Zahvaljujući vrlo visokoj prostornoj rezoluciji ovog DMR-a (10 cm) omogućeno je detaljno modeliranje utjecaja porasta morske razine na priobalni prostor. Uz pomoć alata Raster Calculator izrađena su tri različita modela porasta morske razine za područje kanala Svetog Ante (Slika X-I), pri čemu su korištene sljedeća formule za izdvajanje poplavljenih zona:

$$M_1 = DMR \leq 1 m \quad M_2 = DMR \leq 3 m \quad M_3 = DMR \leq 6 m \quad (1)$$



Slika X-1. Izrada modela porasta morske razine iz DMR-a vrlo visoke rezolucije

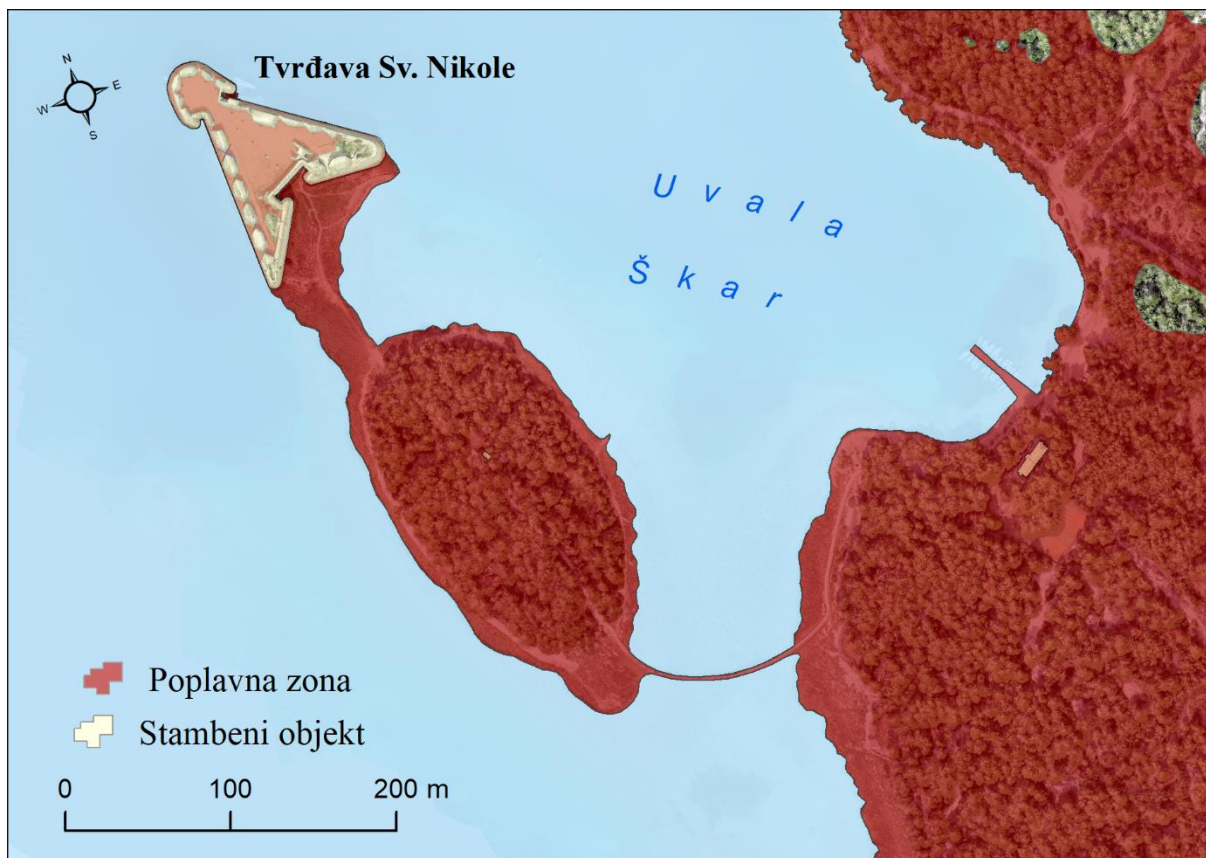
Generirane poplavne zone predstavljaju dijelove terena koji su niži od modela porasta morske razine, odnosno koji bi pri određenom porastu morske razine (1 m; 3 m; 6 m) bili poplavljeni (Slika X-2). Pri tome je jasno vidljivo kako s porastom izdizanja morske razine dolazi do postupnog poplavljanja većih dijelova priobalnog prostora (Slika X-2). 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 moguće pretpostaviti da bi i ove depresije bile potopljene, one su zbog kompleksnosti modeliranja izostavljene iz analize.



Slika X-2. Usporedba maksimalnog prostornog obuhvata poplavnih zona izrađenih modela podizanja morske razine

Procjena utjecaja izrađenih modela podizanja morske razine na obalni prostor

Na temelju tri različita izrađena modela porasta morske razine obavljena je analiza potencijalnih negativnih utjecaja porasta razine Jadranskog mora na širi priobalni prostor kanala Svetog Ante, s posebnim naglaskom na negativnim utjecajima na naselje Jadrija. Pri tome je na temelju svakog izrađenog modela izračunata ukupna površina priobalnog prostora koja bi bila potopljena uslijed određenog izdizanja morske razine. Nadalje, izdvajanjem poplavnih zona omogućena je analiza utjecaj porasta morske razine na različite socioekonomske segmente obalnog prostora. U prvom redu analiziran je utjecaj različitih modela podizanja morske razine na stambene objekte i prometnice naselja Jadrija, ali i na širi prostor tvrđave Sv. Nikola.



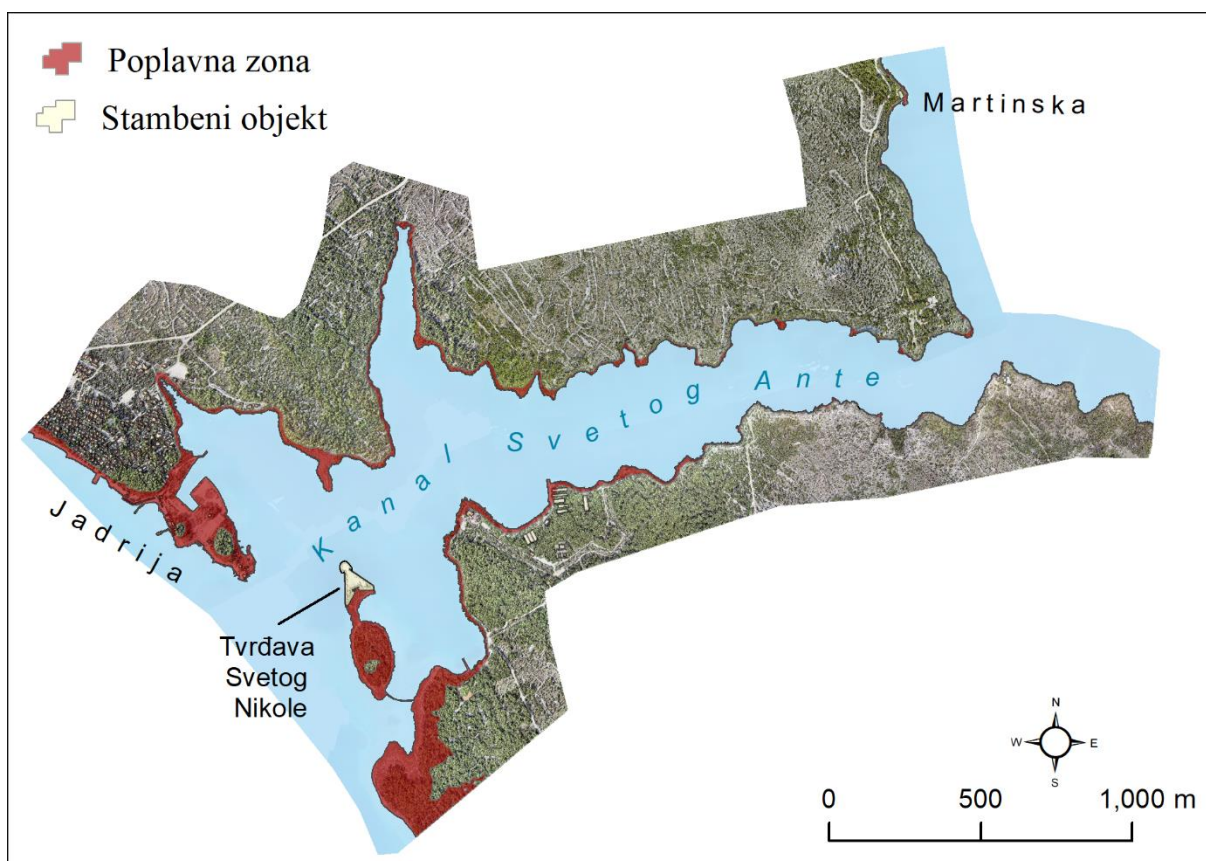
Slika X-3. Utjecaj poplavne zona generirane izdizanjem morske razine za 6 m na širi prostor tvrđave Svetog Nikole

Izdvojene poplavne zone

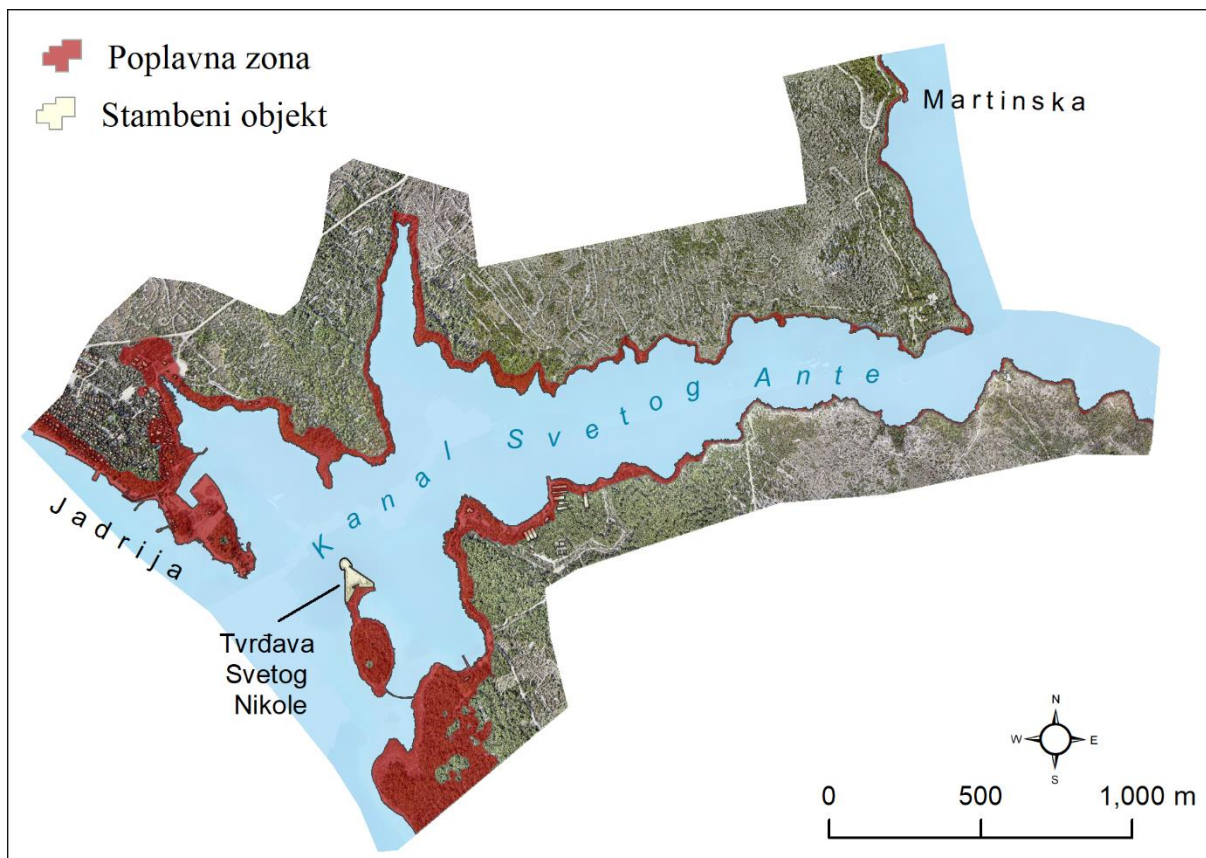
Zbog morfologije reljefa poplavne zone izdvojene iz izrađenih modela porasta razine Jadranskog mora obuhvaćaju površinom relativno veliki dio priobalnog prostora uz kanal Sv. Ante (Tablica X-1.). Strme padine sjeveroistočnog dijela kanala sprječavaju značajnije prodiranje mora dublje u unutrašnjost kod sva tri izrađena modela porasta morske razine (Slika X-4; Slika X-5; Slika X-6). Međutim, jugozapadni, ulazni dio kanala karakterizira vrlo niska obala, zbog čega je u ovom dijelu prodiranje mora u unutrašnjost, ali i negativan utjecaj porasta na priobalnu infrastrukturu i socioekonomske elemente znatan, što je detaljnije analizirano u nastavku.

Tablica X-1. Priobalna površina poplavljena podizanjem morske razine

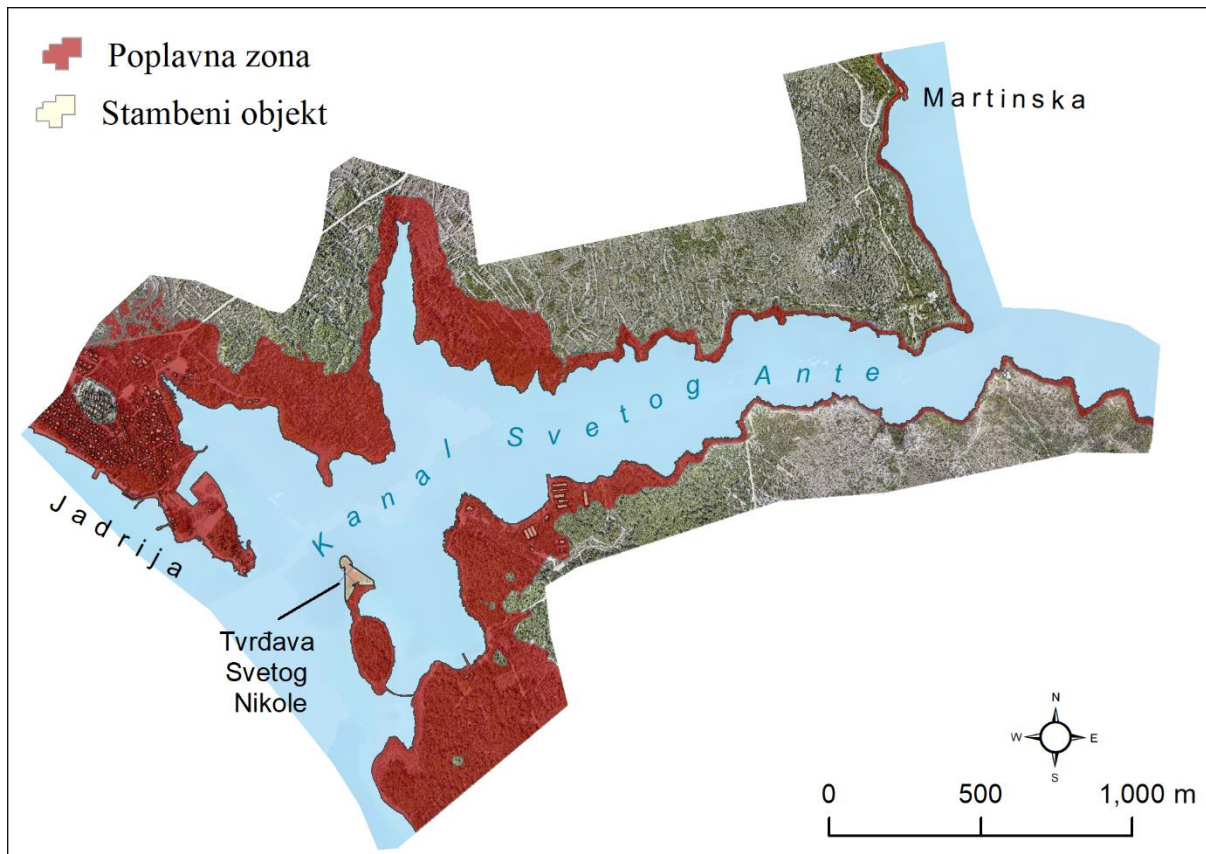
#	Model porasta	Površina (km ²)	Površina (ha)	Udio (%)
1	Model 1 (1 m)	0.27	27.39	6.27
2	Model 2 (3 m)	0.49	49.81	11.38
3	Model 3 (6 m)	1.08	107.86	25.08



Slika X-4. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora kanala Svetog Ante pri modelu podizanja morske razine od 1 m (M1)



Slika X-5. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora kanala Svetog Ante pri modelu podizanja morske razine od 3 m (M2)



Slika X-6. Prostorni obuhvat poplavljenih dijelova obalnog prostora kanala Svetog Ante pri modelu podizanja morske razine od 6 m (M3)

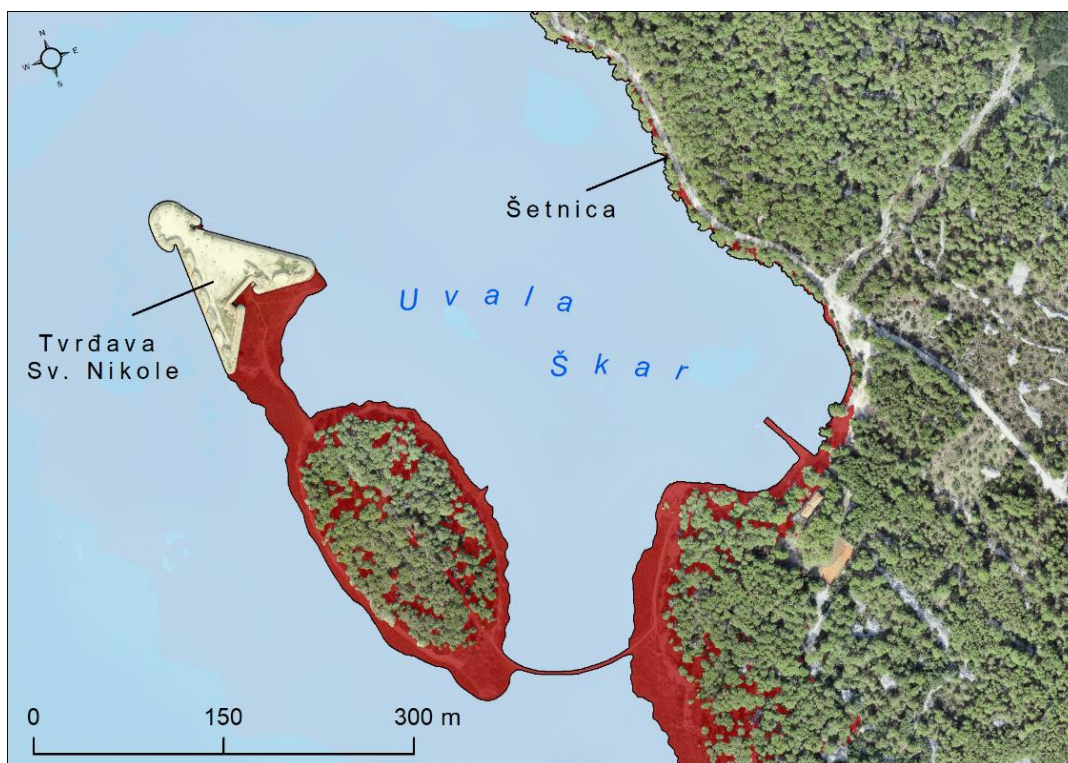
Utjecaj poplavnih zona na priobalni prostor

Utjecaj modela M1 na priobalni prostor

Prema izrađenom M1 modelu porast morske razine od 1 m utjecao bi na poplavljanje čak 27.39 ha obalnog prostora uz kanal Sv. Ante. Već i ovakav porast morske razine imao bi ozbiljne posljedice na obalnu infrastrukturu. Primjerice, ovakav porast morske razine utjecao bi na poplavljanje dijela lučice naselja Jadrija u uvali Sićenica (Slika X-7) i znatnog dijela šetnice i obalnog prostora uz tvrđavu Svetog Nikole (Slika X-8). Ukupno bi pri ovakvom porastu morske razine bila izravno ugrožena 63 stambena objekt, koja se nalaze u neposrednoj blizini mora. Pretežito se radi o objektima u neposrednoj blizini današnje obale mora, na prostoru plaže i poluotoka Jadrija, gdje bi došlo do poplavljanja poznatih Jadriskih vikend kućica, ali i postojećeg kampa, te nekoliko apartmanskih objekata. Većina poplavljenog prostora unutar naselja Jadrije obuhvaća vrlo nizak prostor koji je nastao nasipavanjem nekadašnjeg mora. Osim na prostoru Jadrije veći utjecaj porasta morske razine bio bi prisutan i na širem prostoru tvrđave Sv. Nikole, gdje bi more poplavilo šetnicu i nekoliko postojećih objekata uz nju. Ukupno bi porast morske razine unutar šireg prostora kanala Sv. Ante ugrozio 11.35 % svih stambenih objekata. S obzirom da prema većini procjena porast morske razine tijekom 21. stoljeća ne bi trebao prelaziti 1 m na globalnoj razini, M1 model se može smatrati najvjernijom procjenom ugroženosti šireg prostora kanala Sv. Ante.



Slika X-7. Stambeni objekti i dijelovi obalnog prostora na prostoru Jadrije zahvaćeni izdizanjem morske razine za 1 m



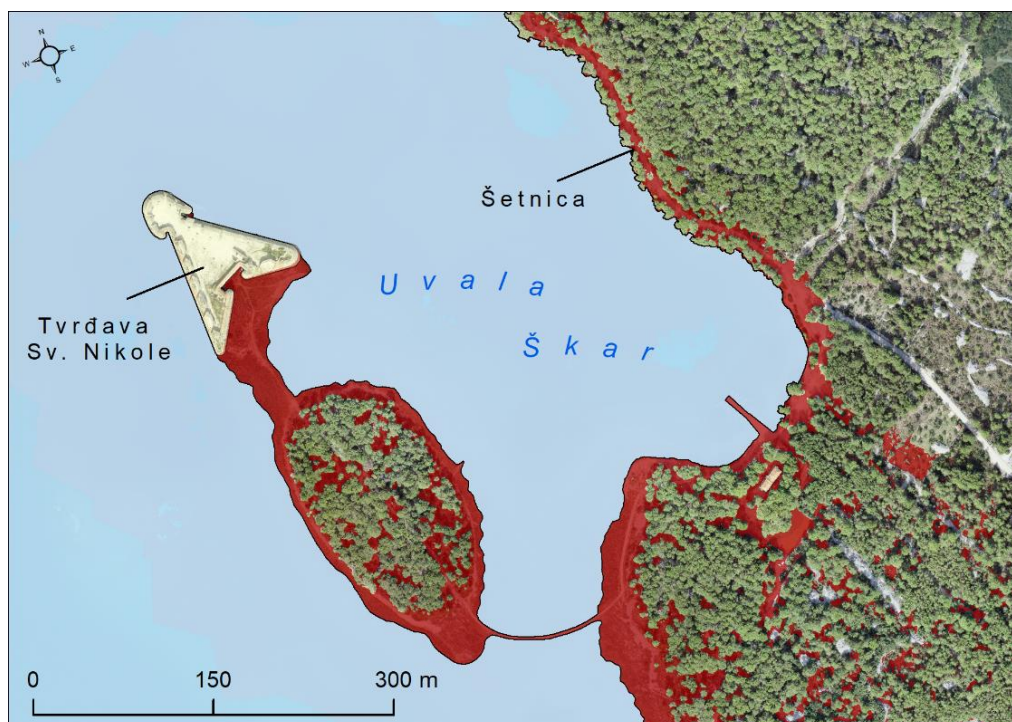
Slika X-8. Ugroženi dijelovi šetnice prema tvrđavi Sv. Nikole i obalnog prostora u uvali Škar zahvaćeni izdizanjem morske razine za 1 m

Utjecaj modela M2 na priobalni prostor

Utjecaj modela M2 na obalni prostor je daleko izraženiji nego u slučaju M1 modela. Prema izrađenom M2 modelu porast morske razine od 3 m utjecao bi na poplavlivanje 49.81 ha obalnog prostora, što predstavlja oko 11.38 % ukupne površine područja istraživanja. Izdizanje morske razine za 3 m u potpunosti bi uzrokovalo potapanje obalne infrastrukture naselja Jadrija, pri čemu bi potopljena bila cijela riva i sve prometnice u neposrednoj blizini mora, ali i lučica u uvali Sićenica. Također, tome treba pridodati vrlo velik broj izravno potopljenih stambenih objekata, ukupno čak 227, odnosno oko 40.90 % svih objekata unutar područja istraživanja. Kao i kod ranije modela (M1), najviše stambenih objekata bilo bi potopljeno unutar prostora naselja Jadrija, gdje bi pri porastu morske razine za 3 m došlo do znatnog prodiranja mora dublje u unutrašnjost. Pri tome bi gotovo svi stambeni objekti koji se danas nalaze u prvih nekoliko redova do mora bili potopljeni. Unutar prostora tvrđave Svetog Nikole porast morske razine utjecao bi na potpuno potapanje šetnice i svih objekata koji se nalaze uz nju. Također, niži dijelovi same tvrđave također bi bili potopljeni.



Slika X-9. Stambeni objekti i dijelovi obalnog prostora na prostoru Jadrije zahvaćeni izdizanjem morske razine za 3 m



Slika X-10. Ugroženi dijelovi šetnice prema tvrđavi Sv. Nikole i obalnog prostora u uvali Škar zahvaćeni izdizanjem morske razine za 3 m

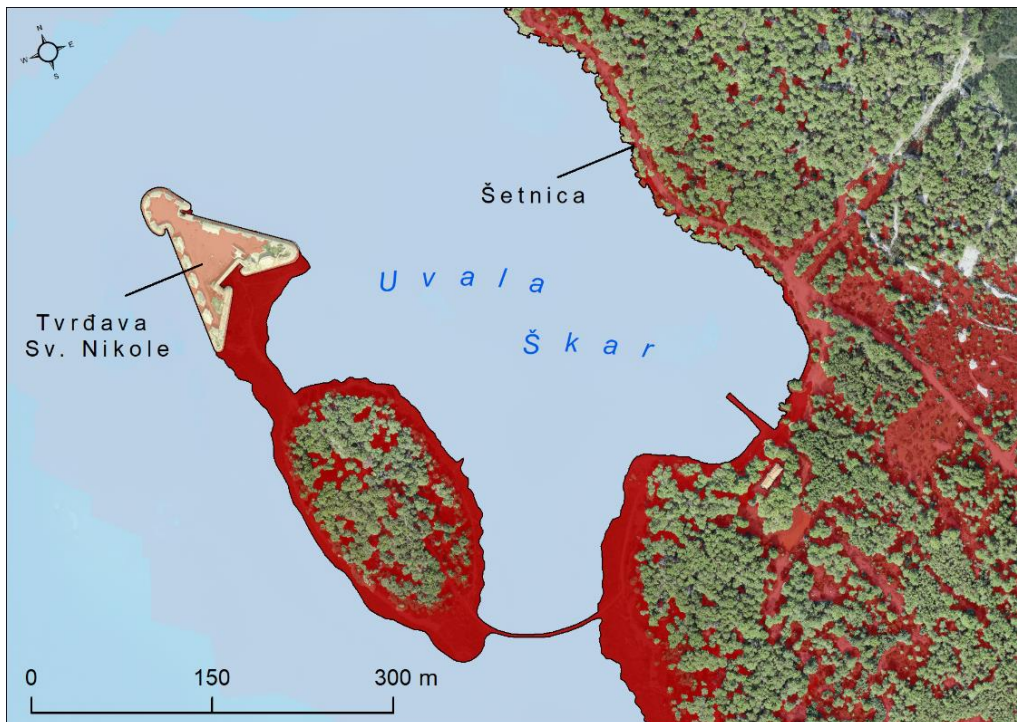
Utjecaj modela M3 na priobalni prostor

Prema modelu M3 porast morske razine od 6 m imao bi katastrofalne posljedice na znatne dijelove priobalnog prostora kanala Sv. Ante. Ukupno bi ovakav porast morske razine utjecao na poplavljanje 107.86 ha površine, odnosno oko 25.08 % ukupne površine područja istraživanja. Sveukupno bi pri ovakvom porastu morske razine bilo potopljeno 479 objekata, odnosno čak 86.31 % svih postojećih objekata unutar odabranog područja istraživanja. Gotovo čitav prostor naselja Jadrija bio bi potopljen, izuzev manjeg broja stambenih objekata koncentriranih na najvišem dijelu uzvisine u središtu naselja. Međutim, ovi stambeni objekti nalazili bi se na otoku koji bi u potpunosti bio odsječen od kopna, jer bi gotovo sve prilazne ceste prema naselju bile također potopljene.

Prostor tvrđave Svetog Nikole bio bi također gotovo u potpunosti potopljen, uključujući i samu tvrđavu, čiji bi samo najviši dijelovi bili iznad razine mora.



Slika X-11. Stambeni objekti i dijelovi obalnog prostora na prostoru Jadrije zahvaćeni izdizanjem morske razine za 6 m



Slika X-11. Ugroženi dijelovi šetnice prema tvrđavi Sv. Nikole i obalnog prostora u uvali Škar zahvaćeni izdizanjem morske razine za 6 m

Zaključak

Zbog vrlo heterogene morfologije ugroženost pojedinih dijelova kanala Svetog Ante je vrlo heterogena. Dok je niski i zaravnjeni jugozapadni ulazni dio obalnog prostora uz kanal izrazito ugroženo već i pri modelu minimalnog porasta morske razine (M1), viši sjeveroistočni dio kanala znatno je slabije ugrožen, čak i pri značajnijem porastu morske razine (M2 i M3).

Upravo unutar najugroženijeg prostora najveća je koncentracija stambenih objekata i priobalne infrastrukture, zbog čega ne čudi da su izrađeni modeli ukazali da sva tri modela porasta morske razine uzrokuju znatnu štetu i potapanje velikog broja stambenih objekata. Posebice je ugrožen prostor naselja Jadrija, gdje se velik broj stambenih objekata nalazi u neposrednoj blizini obale mora t je izravno ugrožen već i pri modelu porasta morske razine od 1 m.

Osim prostora Jadrije znatno je ugrožen i širi prostor oko tvrđave Svetog Nikole, gdje i minimalan porast morske razine može dovesti do potapanja turističke šetnice i objekata koji se nalaze uz nju.

Izrađeni modeli su neupitno ukazali da je priobalni prostor jugozapadnog dijela kanala Svetog Ante izrazito ugrožen od porasta morske razine, zbog čega bi prilikom daljnjeg razvoja ovog prostora trebalo voditi računa o planiranju mjera obrane od daljnjeg porasta morske razine.

Conclusion

Due to the very heterogeneous morphology, the endangerment of certain parts of the St. Anthony's canal is very heterogeneous. While the low and flat southwestern entrance of the coastal area along the canal is extremely endangered even in the model of minimal sea level rise (M1), the higher northeastern part of the canal is much less endangered, even with significant sea level rise (M2 and M3).

It is within the most endangered area that the greatest concentration of housing and coastal infrastructure is, which is why it is not surprising that the developed models indicated that all three models of sea level rise cause significant damage and flooding of a large number of buildings. The area of the Jadrija settlement is particularly endangered, where a large number of residential buildings are located in the immediate vicinity of the sea coast, which is directly endangered even in the model of sea level rise of 1 m.

In addition to the area of Jadrija, the wider area around the fortress of St. Nicholas is significantly endangered, where even a minimal increase in sea level can lead to the sinking of the tourist promenade and the buildings that are located next to it.

The developed models unquestionably indicated that the coastal area of the southwestern part of the Sveti Ante canal is extremely endangered by sea level rise, which is why the further development of this area should take into account the planning of defense measures against further sea level rise.

2. Model rizika od izbijanja otvorenog požara

Jedna od značajnih preventivnih mjera u sprječavanju požara je određivanje **rizika od izbijanja požara raslinja**. U engleskoj literaturi za požare koji izbijaju na otvorenom prostoru pretežno se koriste nazivi *Wildfire* ili *Forest Fire*. U hrvatskom jeziku udomaćili su se nazivi šumski požar ili požar otvorenog prostora. Šumski požar je po samom značenju riječi požar u kojem gori šuma, dok je požar otvorenog prostora bilo koji požar koji se ne događa u zatvorenom prostoru. Prema tome požar otvorenog prostora uključuje i požare građevina i drugih struktura koje su se cijele zapalile, pa nije potrebno kod gašenja požara ući u unutrašnji prostor. Požar kod koje je primarna goriva tvar isključivo vegetacija, a ne ljudske tvorevine, u engleskoj se literaturi uobičajava nazivati *Wildfire*.

Opasnost od izbijanja požara raslinja (eng. *Forest Fire Danger*) je rezultat konstantnih i promjenjivih čimbenika vezanih s zapaljenjem, širenjem, teškoćom gašenja i utjecajem vatre na okolinu.

U literaturi se mogu se razlikovati tri osnovna tipa opasnosti povezana s požarima:

- d) **opasnost zapaljenja** (eng. *Ignition Danger*) – čine ga faktori vezani za inicijalno zapaljenje požara raslinja
- e) **opasnost širenja** (eng. *Propagation Danger*) – čine ga faktori koji pogoduju širenju vatre
- f) **ranjivost** (eng. *Vulnerability*) - čine ga faktori vezani s potencijalnom štetom koju požar može napraviti na okoliš i socio-ekonomske elemente

Prema terminologiji **rizik izbijanja požara raslinja** je “rizik pojave vatre uzrokovane prisutnošću i aktivnošću bilo kojeg uzroka paljenja požara s isključenom infrastrukturom”. Procjena rizika požara raslinja u užem smislu, bez uključivanja mogućih šteta, uključuje **identificiranje i kvantificiranje rizičnih varijabli**, te proračun numeričkog pokazatelja koji se naziva **indeks rizika od izbijanja požara raslinja** (eng. *Forest Fire Risk Index*). Indeks iskazuje stupanj rizika požara raslinja i vezan je s određenim zemljopisnim područjem. U literaturi postoji mnogo načina izračuna indeksa rizika izbijanja požara raslinja.

Šumski požari (požari raslinja) su složene pojave koje se uglavnom događaju kao rezultat prirodnih i ljudskih čimbenika. Mnoge zemlje koje su suočene s problemima požara razvile su sustave procjene opasnosti od požara kako bi upravljale tim kompliciranim pojavama (Viegas i dr. 1999). Znanje stečeno kroz ove sustave omogućava agencijama civilne zaštite da **identificiraju rizična područja** i planiraju potrebne **preventivne i kontrolne** akcije (Deeming i sur. 1977; Hoffmann i sur. 1999; Taylor i Alexander 2006; Van Wagner 1987). Prostorni podaci koji se uzimaju u obzir pri identificiranju pojava divljih požara

često se prikupljaju, upravljaju, analiziraju i prezentiraju primjenom geografskih informacijskih sustava (Chou 1992a; Chuvieco i Congalton 1989; Preisler et al. 2004).

Procjena opasnosti od požara, odnosno procjena onih uvjeta koji mogu dovesti do paljenja vatre (eng. *fire ignition index*) problematika je koja nije dovoljno obrađena u znanstvenoj literaturi. **Indeks izbijanja požara raslinja** (*Fire Ignition Index*) uzima u obzir varijable koje utječu na **vjerojatnost početka/nastanka požara**. U pravilu se u literaturi po važnost (težinskim koeficijentima) ističu kriteriji koji reprezentiraju pojavu požara izazvanu primarno **čovjekovim djelovanjem**.

Generalno, izbijanje otvorenih požara može biti posljedica:

- 1) **prirodnih uzroka** (npr. udar groma, sušna razdoblja...)
- 2) **namjernog djelovanja** čovjeka (npr. piromani...)
- 3) **nenamjernog djelovanja** čovjeka (npr. bacanje otpada, opuška...)

Posljednjih nekoliko desetljeća na **području Mediterana**, uslijed povećanja **temperaturnih ekstrema** i povećanja **učestalosti toplinskih valova** s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka većom od 30 °C, prisutan je generalni trend **povećanja opožarene površine, učestalosti požara, njihovog intenziteta i žestine**. U Hrvatskoj je taj trend također uočljiv (Bakšić i dr., 2015).

U požarnoj je sezoni, prema razdoblju **1981–2010**, najugroženije područje u Hrvatskoj, s obzirom na požare raslinja, **dalmatinska obala** s otocima i **dalmatinsko zaleđe** (Barešić, 2011). Glavni razlozi su dugotrajna **sušna razdoblja** s visokom temperaturom zraka. Tu potencijalnu opasnost od šumskih požara svakako povećava i **ljudski čimbenik** zbog povećanog broja turista u ljetnim mjesecima (Bakšić i dr., 2015).

Zaključak

Uslijed konfiguracije obalnog pojasa kanala Sv. Ante i odsutnosti naselja, opasnost od iznenadnog zagađenja mora izazvanog požarom je zanemariva.

Conclusion

Due to the configuration of the coastal belt of the St. Anthony's canal and the absence of settlements, the risk of sudden marine pollution caused by fire is negligible.

3. Model rizika od erozije

Erozija tla predstavlja proces postupne degradacije i denudacije površinskih slojeva tla, koji na globalnoj razini uzrokuje dugoročno smanjivanje poljoprivredne produktivnosti i značajne financijske gubitke (Morgan, 2009; Erkossa i dr., 2015; Montanarella, 2015; Panagos i dr., 2015b; Borelli i dr., 2017.). Unutar Europske Unije erozija tla je prepoznata kao primarna ugroza za postojeće naslage tla, čije djelovanje negativno utječe na stabilnost ekosustava, poljoprivrednu proizvodnju, opskrbu pitkom vodom i povećanje globalnih emisija ugljika (Boardman & Poesen, 2007; Panagos i dr., 2015a; Panagos i dr., 2015b). Iako erozija tla predstavlja prirodan proces, rapidne klimatske promjene (npr. dezertifikacija, ekstremni oborinski događaji, toplinski valovi, itd.) i različiti izraženi antropogeni pritisci (npr. deforestacija, prekomjerna ispaša, neprimjerene poljoprivredne prakse i obrada tla, itd.) u zadnjim desetljećima utječu na značajno intenziviranje i širenje prostornog obuhvata ovog procesa (Pimentel & Burgess, 2013; Borelli i dr., 2017.). Mnogobrojni povijesni izvori iz različitih dijelova svijeta svjedoče da je erozija tla prisutna tijekom gotovo cijelog holocena, ali i da su klimatske promjene i antropogeni učinci postepeno postali glavni propagatori ovog procesa (Dotterweich, 2013.).

Generalno gledano Hrvatska je prema vrijednostima prosječne stope gubitka tla među srednje ugroženim zemljama Europske Unije (Panagos i dr., 2015a). Međutim, pojedini dijelovi Hrvatske su zbog različitih mikrolokacijskih značajki znatno podložniji i ugroženiji od procesa erozije tla, s vrlo visokim vrijednostima prosječne stope gubitka

tla. Posebice visoke vrijednosti prosječne stope gubitka tla prisutne su u priobalnom prostoru. Međutim, uslijed konfiguracije terena obalnog pojasa kanala Sv. Ante rizik od iznenadnog zagađenja mora izazvan obalnom erozijom je zanemariv.

4. Modeli rizika od pomorskog prometa

Na sjeverozapadnom dijelu plovnog područja Šibenik nalazi se Murtersko more između otoka Kornata na zapadu i otoka Murtera na istoku. Područje u svome sjeverozapadnom dijelu nema prirodnih zapreka, dok se u jugoistočnom dijelu nalazi skupina otočića okruženih pličinama. Na srednjem dijelu se nalazi skupina otoka koji prometno gravitiraju luci Šibenik te su s njome povezani državnim obalnim linijama. Znatni dio kanala i prolaza između otoka nije povoljan za plovidbu većih brodova radi mnogih otočića, hridi i pličina. Jugoistočni dio je mnogo povoljniji za plovidbu većih brodova zbog znatno manjeg broja prirodnih opasnosti. Područje južno od otoka Zlarina je izravno povezano s otvorenim morem srednjeg Jadrana te tim dijelom prolazi glavni plovni put prema luci Šibenik.

Prirodno-geografski uvjeti i prometni uvjeti zahtijevaju razvijenu mrežu pomorske signalizacije kako bi se održala zadovoljavajuća sigurnost plovidbe.

Prema luci Šibenik moguća su dva prilaza za trgovačke i putničke brodove: prilaz s otvorenog mora i prilaz iz Murterskog mora što je nastavak plovnih putova iz Srednjeg i Pašmanskog kanala. S otvorenog mora brodovi prilaze luci između otoka Žirje i kopna. Južno od otoka Zlarin nalazi se vanjska peljarska stanica na poziciji $\varphi=43^{\circ}38.6'N$ $\lambda=015^{\circ}51.9'E$ koja opslužuje brodove s opasnim teretom i sve druge brodove koji zatraže peljara za u slučaju nepovoljnih vremenskih uvjeta. Do vanjske peljarske stanice dubine mora su velike i kreću se od 65 m do preko 100 m. Izuzetak je neobilježena pličina od 18 m koja se nalazi oko 2,5 M južno od otočića Komorica.

Nadalje, brodovi se do kanala Sv. Ante kreću Šibenskim kanalom ili Zlarinskim kanalom. Šibenskim kanalom prolaze brodovi s opasnim teretom i brodovi koji su dužni uzeti peljara na unutrašnjoj poziciji ($43^{\circ}41.5'N$, $015^{\circ}52.2'E$). Šibenskom kanalu se prilazi uskim prolazom između otoka Zlarina i Drvenika dužine oko 1 M i širine

svoga 0,3 M, u kojemu su dubine povoljne odnosno 41 do 52 m. Južni dio Šibenskog kanala do ulaza u kanal Sv. Ante je dug oko 3 M te u najužem dijelu širok oko 0,6 M. Dubine su znatno veće uz obale otoka Zlarina koje iznose oko 42 m te naglo padaju u smjeru kopna. Sredinom kanala dubine se kreću od 13 do 25 m. Potrebno je istaknuti dvije pličine od 9,5 i 9,8 m koje se nalaze oko 0,2 M zapadno od ulaza u Zablaće.

Zlarinskim kanalom te Šibenskim vratima se u pravilu kreću manji brodovi i brodovi koji ne moraju koristiti peljare. Zlarinski kanal je dug oko 4 M i širok oko 1,3 M. Dubine su od 60 do 35 m. U kanalu se nalazi obilježena pličina Sestre te je u tom najužem dijelu kanal širok 0,7 M. Šibenska vrata su duga oko 2 M te zbog označenih pličina Roženik široka 0,3 M. Prilazeći iz ovog smjera kanalu Sv. Ante odnosno rtu Jadrija brod plovi područjem dubine od 7 do 8 m.

Najfrekventniji prilazni plovidbeni put luci Šibenik odnosno kanalu Sv. Ante jest put kroz Šibenska vrata između otoka Zlarina i otoka Prvića. Tim prolazom usmjerava se promet plovila s otvorenog mora kroz Zlarinski kanal, iz Murterskog mora kroz Zmajanski kanal, te manjih brodica i jahti kroz niz prolaza otočja Kakan-Kaprije-Zmajan. Za razliku od ostalih prilaznih putova (sjeverni i južni prolaz Šibenskog kanala) ovaj prolaz koriste sve vrste brodova, brodica i jahti, izuzev brodova s opasnim teretom čiji je promet razmjerno skroman, odnosno točnije:

- ☐ trgovački i putnički brodovi u međunarodnoj plovidbi,
- ☐ redovna ro-ro putničke linije (Šibenik – Zlarin – Kaprije – Žirje);
- ☐ redovna brza putnička linija (Žirje – Kaprije – Šibenik);
- ☐ redovna klasična putnička linija (Vodice – Prvić – Zlarin – Šibenik);
- ☐ manji putnički brodovi za višednevna krstarenja i izlete, posebice oni koji dolaze iz domaćih luka sjevernog Jadrana (tijekom ljetnih mjeseci);
- ☐ ribarski brodovi;
- ☐ jahte i brodice različitih veličina (uglavnom tijekom ljetnih mjeseci).

Cijeli prilazni put od otvorenog mora do luke Šibenik (Slika X-12) je dobro navigacijski označen. Brodovi iz smjera Zlarinskog kanala u Šibenska vrata ulaze kursom oko 000° načelno bliže otoku Zlarinu, dok brodovi iz smjera Zmajanskog kanala ulaze kursom oko 090°, tako da na samom zapadnom ulazu u Šibenska vrata dolazi do križanja kursova pri uključivanju dva tijeka prometa. U Šibenskim vratima brodovi se usmjeravaju u kurs oko 040° držeći se sredine prolaza između otoka Zlarina i otočića Lupac. U središnjem dijelu kanala nalazi se pličina Roženik označena kardinalnom oznakom i svjetlom. Veći brodovi prolaze zapadno od pličine odnosno između otočića Lupac i pličine Roženik gdje je širina prolaza oko 0,3M između izobata 10m, u kursu oko 010°. Samo manji brodovi i brodice, posebice oni koji dobro poznaju plovidbeno područje prolaze istočno od pličine odnosno između otoka Zlarina i pličine Roženik gdje je širina prolaza oko 0,1M između izobata 10m, u kursu oko 045°. Daljnjom plovidbom brodovi ulaze u Šibenski kanal, te kanal Sv. Ante. Brodovi većeg gaza moraju izbjegavati plitko područje dubine 7-8 m zapadno od rta Jadrija koje je označeno navigacijskim svjetlom, tako da Šibenskim kanalom plove u kursu 105°. Prolazeći južno od oznake plitkog područja zaokreću u lijevo sve do kursa 000° odnosno ulaze u kanal Sv. Ante. Kanal Sv. Ante (Slika X-13), širok svega 140 m u svom najužem dijelu, jest najsloženiji dio plovidbenog puta, posebice za veće brodove. Iako je dobro navigacijski označen, ovaj prilazni put nalaže gotovo neprekidno, značajno i pravovremeno mijenjanje plovidbenog kursa.

Ulazni podaci za model temelje se na procjeni godišnjeg prometa za luku Šibenik i Skradin te prosječnim duljinama plovila kako slijedi:

Tablica X-2 Struktura prometa na prilazu luci Šibenik (godišnja razina najveće količine prometa)

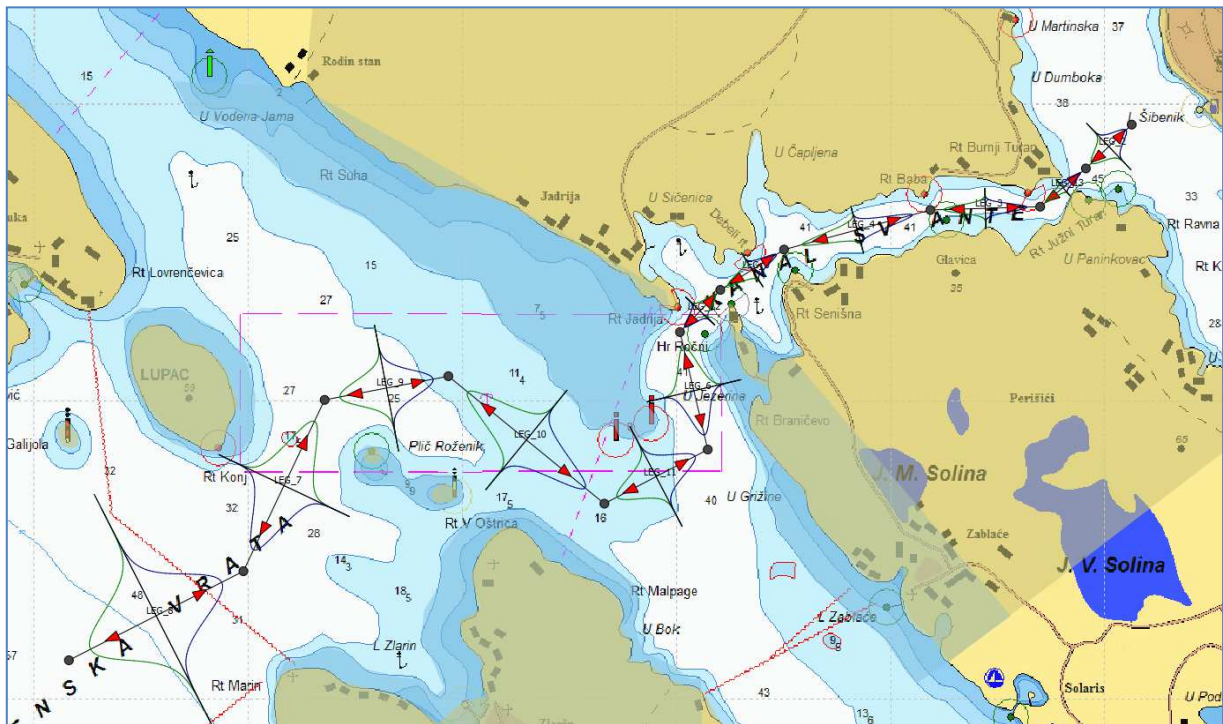
Vrsta broda	Broj prolaza	Prosječna duljina plovila
Ro-ro putnički brodovi - redovne linije	730	48 m
Brza putnička plovila (HSC) - redovne linije	730	34 m
Klasični putnički brodovi - redovne linije	1825	38 m
Putnički brodovi izvan linije	2620	21 m
Putnički brodovi za kružna putovanja	5	do 100 m
	48	100-200 m
	/	200-300 m
	/	više od 300 m
Brodovi za rasute terete	6	125 m
Ostali teretni brodovi	111	101 m
Jahte	1825	40 m
Ribarski brodovi	916	21 m

U simulacijskom modelu plovni put sastoji se od 12 dijelova. U svim dijelovima pretpostavlja se normalna razdioba brodova oko sredine plovnog puta kako je prikazano na priloženoj slici. Za svaki dio pretpostavljaju se sljedeća srednja odstupanja (u svaku stranu):

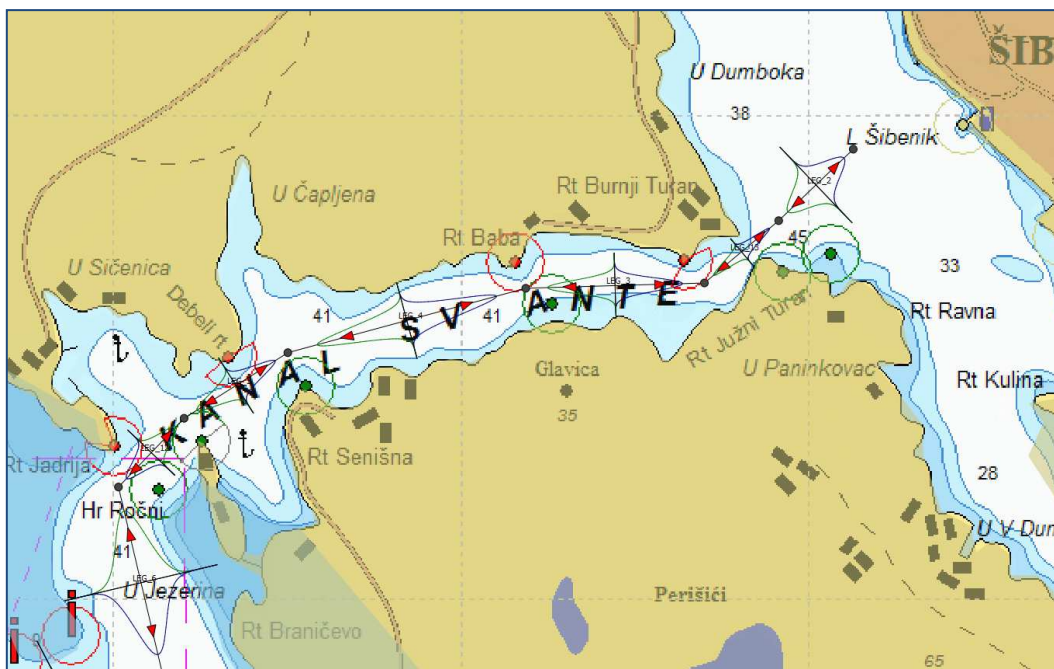
- ☐ Šibenska vrata: $\sigma = 170$ m
- ☐ Prolaz zapadno od Roženik: $\sigma = 90$ m
- ☐ Prolaz sjeverno od Roženik: $\sigma = 80$ m
- ☐ Šibenski kanal: $\sigma = 80$ m
- ☐ Prolaz južno od rta Jadrinja: $\sigma = 70$ m

☐	ulaz kanal Sv. Ante:	$\sigma = 60$ m
☐	kanal Sv. Ante 1 :	$\sigma = 25$ m
☐	kanal Sv. Ante 2:	$\sigma = 25$ m
☐	kanal Sv. Ante 3:	$\sigma = 30$ m
☐	kanal Sv. Ante 4:	$\sigma = 25$ m
☐	kanal Sv. Ante 5:	$\sigma = 13$ m
☐	Izlaz kanal Sv. Ante:	$\sigma = 40$ m

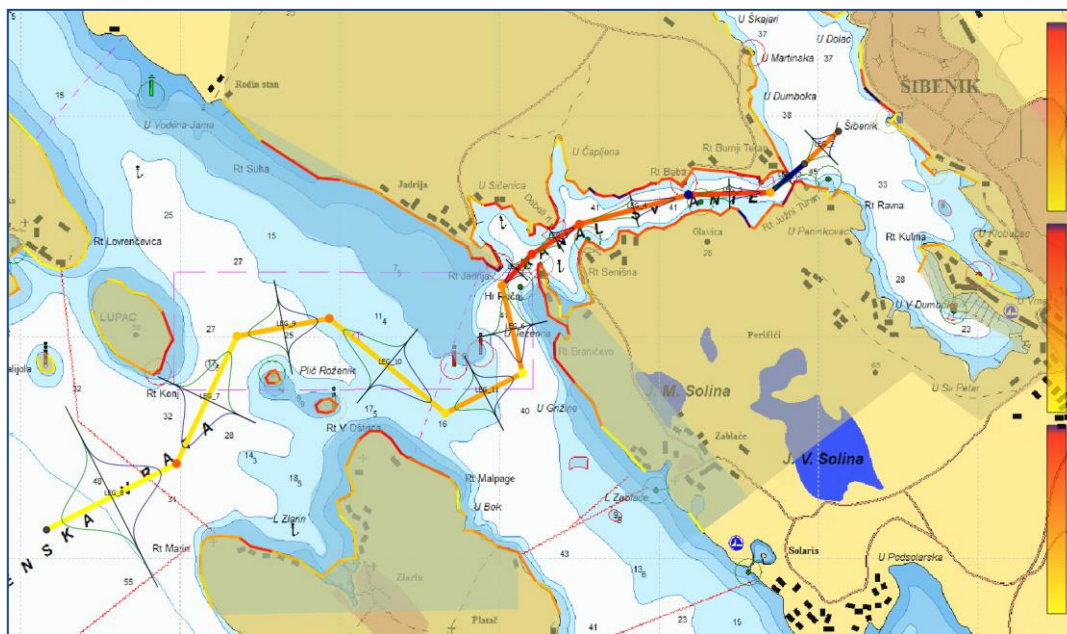
Za svaki navedeni dio puta pretpostavlja se promet u oba smjera.



Slika X-12 Prilaz luci Šibenik s razdiobom prometa



Slika X-13 Kanal Sv. Ante s razdiobom prometa

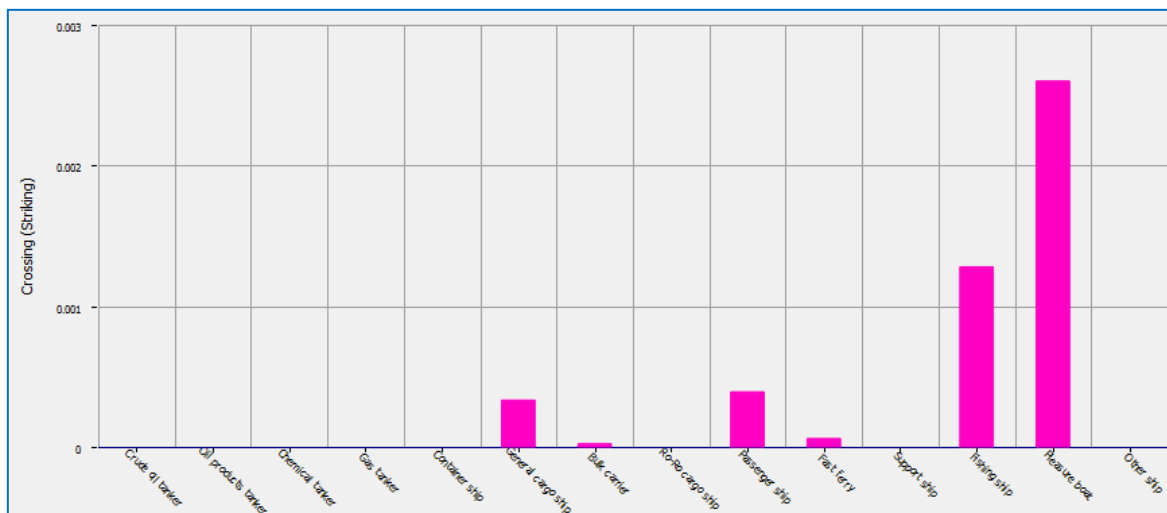


Slika X-14 Grafički rezultati simulacijskog modela za prilaz luci Šibenik

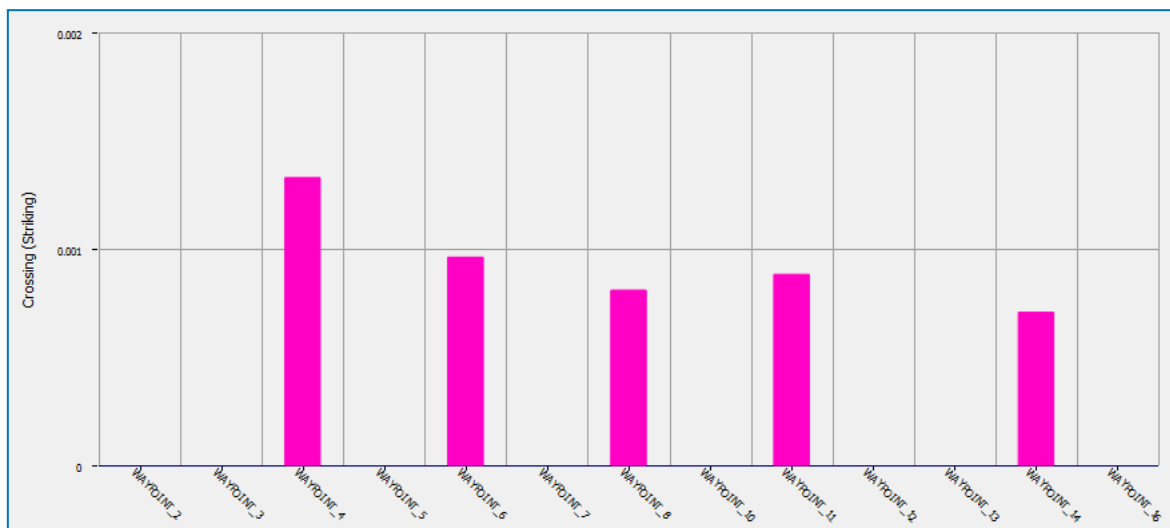
Kanal Sv. Ante je prolaz koji s otvorenog mora, odnosno Šibenskog kanal vodi u plovno područje luke Šibenik. Kanal se koristi za plovidbu svih vrsta plovila prema luci Šibenik odnosno prema području rijeke Krke i Prokljanskog jezera te luka koje se nalaze na tom plovnom području (prvenstveno luke i marine Skradin).

Pomorski promet uključuje promet trgovačkih brodova (teretnih i brodova za kružna utovanja) te intenzivni promet plovila nautičkog turizma, manjih putničkih izletničkih brodova i putničkih brodova u redovnoj liniji. Najveći brodovi koji prolaze kanalom su brodovi za kružna putovanja približne duljine do 220 metara. 59 Promet svih vrsta plovila je vrlo intenzivan u ljetnim mjesecima dok je tijekom zimskih mjeseci ograničen na putničke brodove u redovnoj liniji, uključujući i vrlo brze putničke brodove te manji broj teretnih brodova. U kanalu plovila moraju značajnije mijenjati smjer plovidbe. Kanal se nalazi u području VTS sektora manevriranja Šibenik.

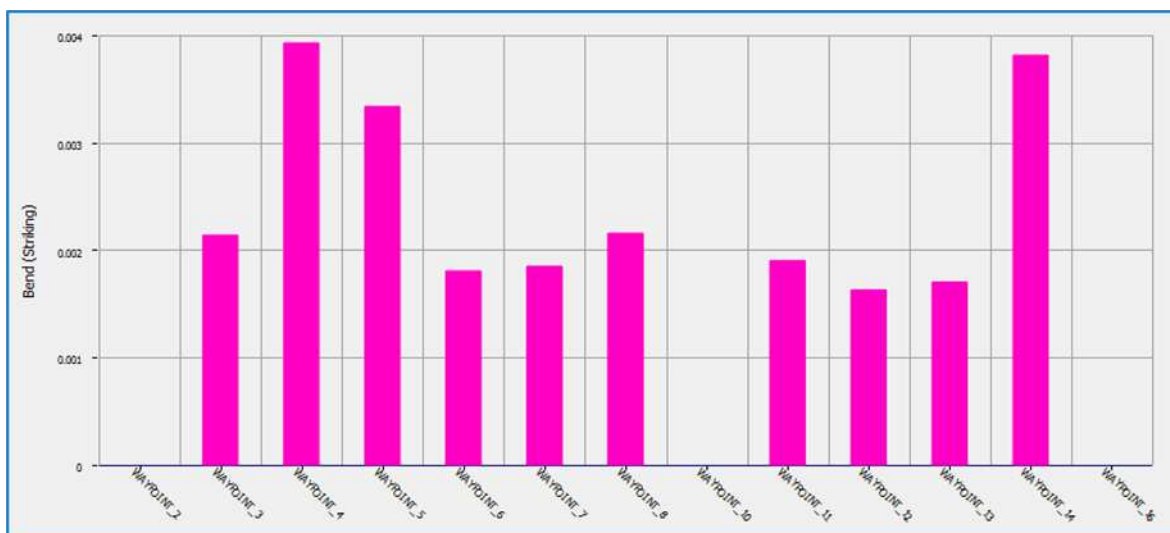
Širina kanala od samo 140 metara na najužem dijelu, velike brzine morskih struja 60 , potreba za većim promjenama smjera plovidbe na cjelokupnoj duljini kanala te značajan pomorski promet, prvenstveno plovila nautičkog turizma čini kanal Sv. Ante područjem povećane opasnosti od nasukanja i sudara za trgovačke brodove, jahte te manje putničke brodove.



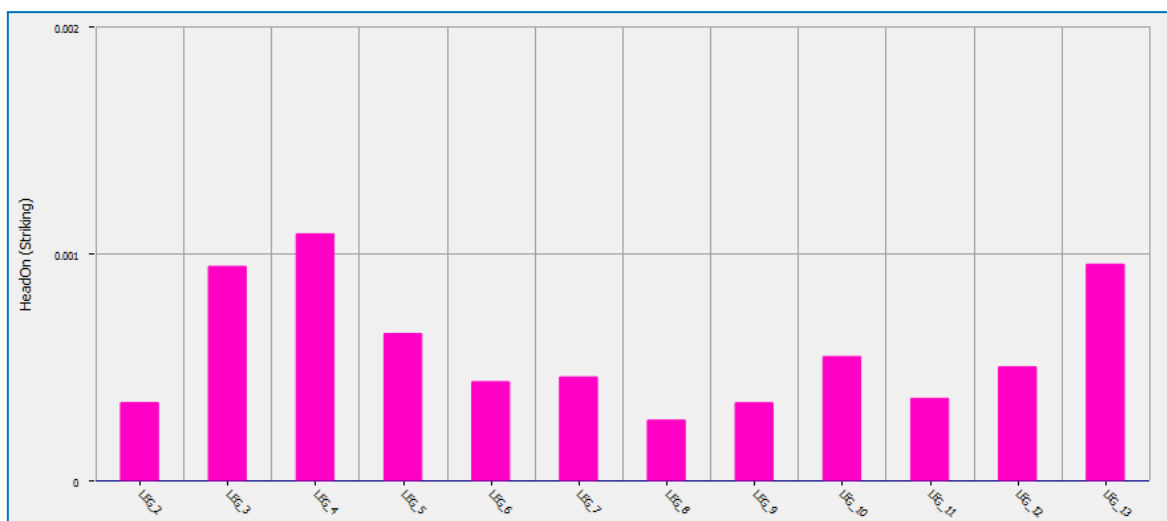
Slika X-15 Vjerojatnosti nastupa sudara križanjem (po vrsti broda)



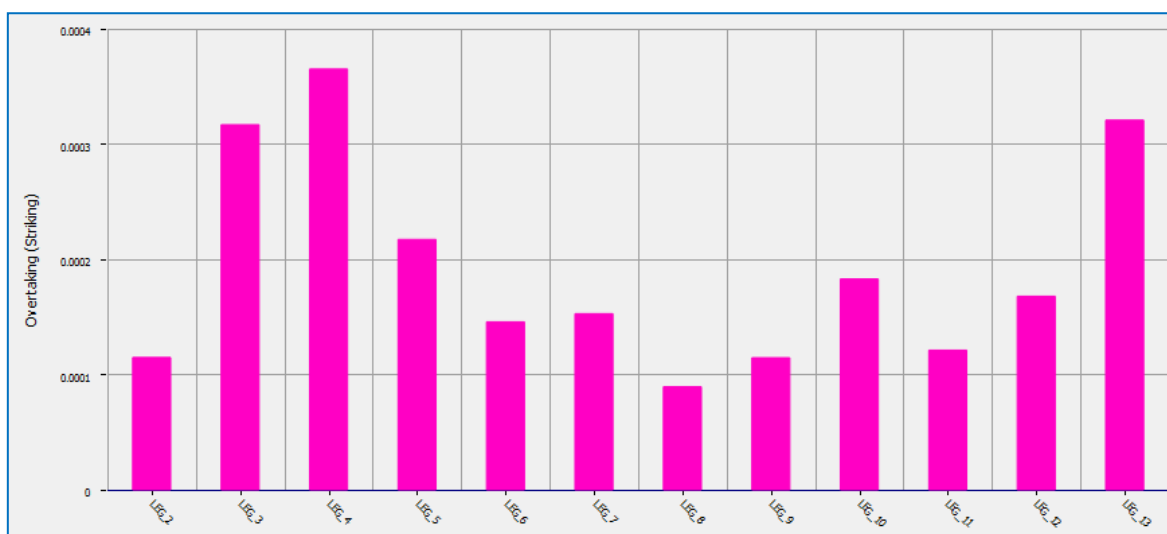
Slika X-16 Vjerojatnosti nastupa sudara križanjem (po točki okreta)



Slika X-17 Vjerojatnosti nastupa sudara u okretu (po točki okreta)



Slika X-18 Vjerojatnosti nastupa sudara nasuprotnim kursovima (po dionicama puta)



Slika X-19 Vjerojatnosti nastupa sudara pretjecanjem (po dionicama puta)

	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pleasure boat	Other ship	Sum
Crude oil tanker															
Oil products tanker															
Chemical tanker															
Gas tanker															
Container ship															
General cargo ship						4,46153e-05	2,97763e-06		0,00023375	3,6726e-05		0,000203474	0,000385163		0,000906705
Bulk carrier						2,62736e-06	1,68432e-07		1,45383e-05	2,32475e-06		1,30594e-05	2,4062e-05		5,67802e-05
Ro-Ro cargo ship															
Passenger ship						0,00033709	2,24396e-05		0,00143943	0,000215851		0,00138728	0,00228303		0,00568511
Fast ferry						4,39737e-05	2,90718e-06		0,000164661	1,40109e-05		0,0001776	0,000254713		0,000657865
Support ship															
Fishing ship						0,000359748	2,47236e-05		0,00170237	0,000258125		0,00132172	0,00275359		0,00642028
Pleasure boat						0,000639046	4,27431e-05		0,00238671	0,000340216		0,00245856	0,00404931		0,00918538
Other ship															
Sum						0,0014271	9,59595e-05		0,00594145	0,000867254		0,0055817	0,00974987		0,0236433

Slika X-20 Vjerojatnosti nastupa sudara između različitih vrsta brodova

Rezultati simulacije ukazuju da su najvećoj ugroženosti izložene jahte, a zatim putnički i ribarski brodovi. Numerički prikazano, rezultati imaju sljedeće vrijednosti (Slika X-20).

Tablica X-3 Vjerojatnosti nastupa nasukanja i sudara te vremenski razmak između događaja

Vrst nezgode:	Godišnja vjerojatnost	Učestalost (god).
Nasukanje u plovidbi	5,553	0,18
Nasukanje – otkaz poriva	0,1243	8,04
UKUPNO nasukanja	5,678	0,17
Sudar pri pretjecanju	0,002309	433
Sudar nasuprotno	0,006863	145,7
Sudar križanjem	0,002343	426,8
Sudar u točki okreta	0,01213	82,45
UKUPNO sudara	0,02364	42,3

U ovom promatranom području nasukanje u plovidbi valja očekivati jednom svakih 0,18 godina odnosno svaka 2 mjeseca, a u slučaju otkaza poriva jednom svakih 8,04 godina. Promatrano zajedno, vjerojatnost nasukanja bez obzira na stanje poriva u trenutku nasukanja iznosi 5,678 odnosno jednom svakih 0,17 godina. Numerički izračunata mjesta najveće vjerojatnosti nasukanja su očekivano obalna područja u kanalu Sv. Ante, posebice na samom ulazu odnosno rt Jadrija te na samom izlazu s istočne strane (obalni rub označen jarko crvenom i ljubičastom bojom na slici grafičkih rezultata). Ostala mjesta rizična za nasukanje su otočić Lupac, pličina Roženik, te rt Braničevo .

Na ovom prilazu promet gotovo svih vrsta brodova se može usporediti s lukom Zadar. Međutim, iako je kraći, prilaz je u navigacijskom smislu znatno složeniji, s brojnim hridima i pličinama koje zahtijevaju velike i učestale promjene kursa, što znatno povećava rizik u slučaju navigacijske pogreške ili otkazivanja poriva broda.

Kao i u oba prethodna slučaja, valja voditi računa o činjenici da je promet simuliran za najveće količine prometa koje se javljaju tijekom ljetnog razdoblja. Stvarne vrijednosti godišnje vjerojatnosti su približno 50% manje od onih procijenjenih numeričkom simulacijom.

Prema procjeni najveća očekivana vjerojatnost sudara jest u točkama promjene kursa broda (točkama okreta) koja iznosi 0,01213 odnosno svakih 82,4 godine. Ta opasnost je izražena na području kanala Sv. Ante i to najviše pored rta Baba i Debelog rta (točke okreta/križanja označene jarko crvenom i ljubičastom bojom na slici grafičkih rezultata).

Vjerojatnost sudara pri nasuprotnim kursovima iznosi 0,006863 odnosno jednom u 145 godina dok vjerojatnost sudara pretjecanjem iznosi 0,002309 odnosno jednom u 433 godine. Obje opasnosti su izražene u cijelom kanalu Sv. Ante, posebice na samom istočnom izlazu odnosno na njegovom najužem dijelu (plovidbeni putovi označeni crvenom i ljubičastom bojom na slici grafičkih rezultata). Ukupno, vjerojatnost svih vrsta sudara je 0,02364 odnosno jednom u 42,3 godine.

Valja istaći da numerički rezultati simulacije, bez obzira što su u obzir uzete najnepovoljnije okolnosti, značajno odstupaju od iskustvenih vrijednosti. Navedeno se obrazlaže ponajprije dobrim navigacijskim uvjetima te značajno većim udjelom prometa tijekom ljetnog razdoblja u odnosu na promet u preostalom dijelu godine.

Zaključak

- (1) Vjerojatnost nasukanja u plovnom području Šibenik iznosi približno do 5 nasukanja godišnje za najveći godišnji promet. Najveća je u području kanala Sv. Ante, posebice u blizini rta Jadrija. Značajno su vjerojatnija nasukanja zbog greške u provedbi navigacijskih odluka nego zbog otkaza poriva.
- (2) Vjerojatnost sudara brodova u plovidbi plovnim područjem Šibenik je značajno manja i iznosi do 0,02 (vrlo slično kao i u slučaju područja Zadar). U najvećoj mjeri izložene su jahte i ribarski brodovi.

Conclusion

- (1) The probability of stranding in the Šibenik navigable area is approximately 5 strands per year for the highest annual traffic. It is the largest in the area of the St. Anthony's canal, especially near Cape Jadrija. Strands are significantly more likely due to an error in the implementation of navigation decisions than due to a failure of the urge.
- (2) The probability of collisions between ships navigating the Šibenik navigable area is significantly lower and amounts to 0.02 (very similar to the case of the Zadar area). Yachts and fishing boats are mostly on display.

D. PROJECT PARTNER 6 – PO DELTA VENETO REGIONAL PARK

List of abbreviations and terms

ARPAE: Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna

ARPAV: Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

EPS: Enclosed Parts of the Sea

ISPRA : Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

ISTAT: Istituto Nazionale di Statistica

RIR: Aziende a rischio di incidente rilevante (Legislative Decree 105/2015)

Executive Summary

Pollution risk for delta Po, both for North and South pilot areas is twofold since due the hydro-morphological features the risk comes both from the Sea and from the river basin district. Pollution risk from upstream cannot be considered low, as a matter of fact it already occurred in February 2010, the oil spill accident in the Lambro river in Lombardy.

Companies at significant risk (RIR) defined by Legislative Decree 105/2015 treating petrochemical product are 303, even if correct geo-localization was not possible the total number must be considered significative.

The risk for the delta is related not only to the protected areas which have a high conservation value but also the economy both for the local population as well as to a significative part of Italian clam aquaculture sector. In the last 10 years clam aquaculture inside the lagoons of the geographic Po river delta produced about 80% of the national production.

INTRODUCTION

This model of sea pollution risk is drafted using the information from WP 3.2, "Thorough survey of the pilot EPSs" integrated with georeferenced database on the biodiversity of the Po Delta Veneto Regional Park.

The project's area of interest is represented in Figure 1

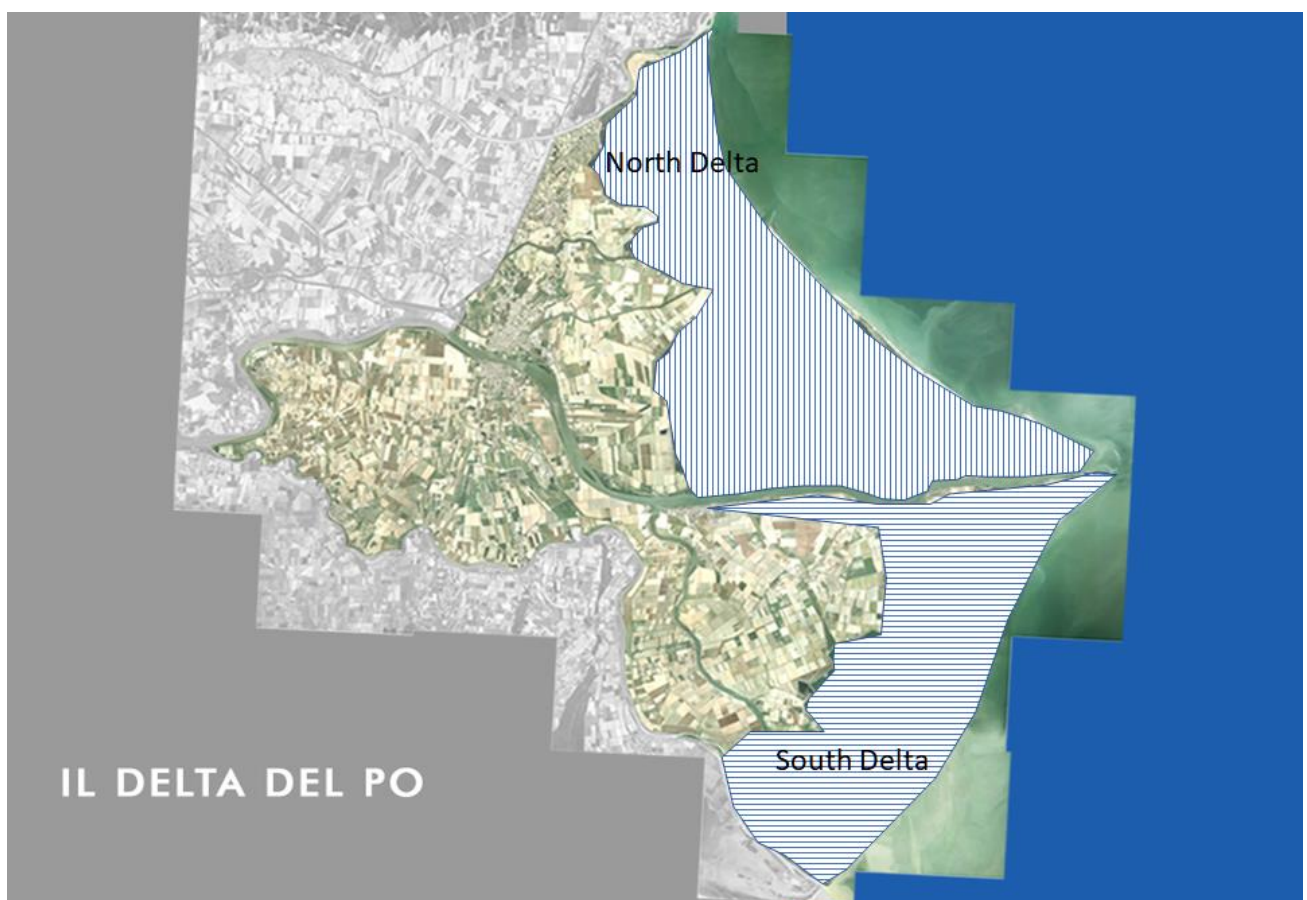


Figure 1: PEPSEA project areas of interest.

POLLUTION RISK

1. Area of analysis

The Regional Park of Po delta Veneto insists over a surface of about 12,500 ha and 9 Municipalities, but regarding the oil pollution risk must be considered the hydro-morphological features.

As a matter of fact, the Po river delta must not be considered in connection only with Adriatic Sea for oil pollution risk but also with its three main river catchments: Adige, Canal Bianco and Po, see Figure 2.

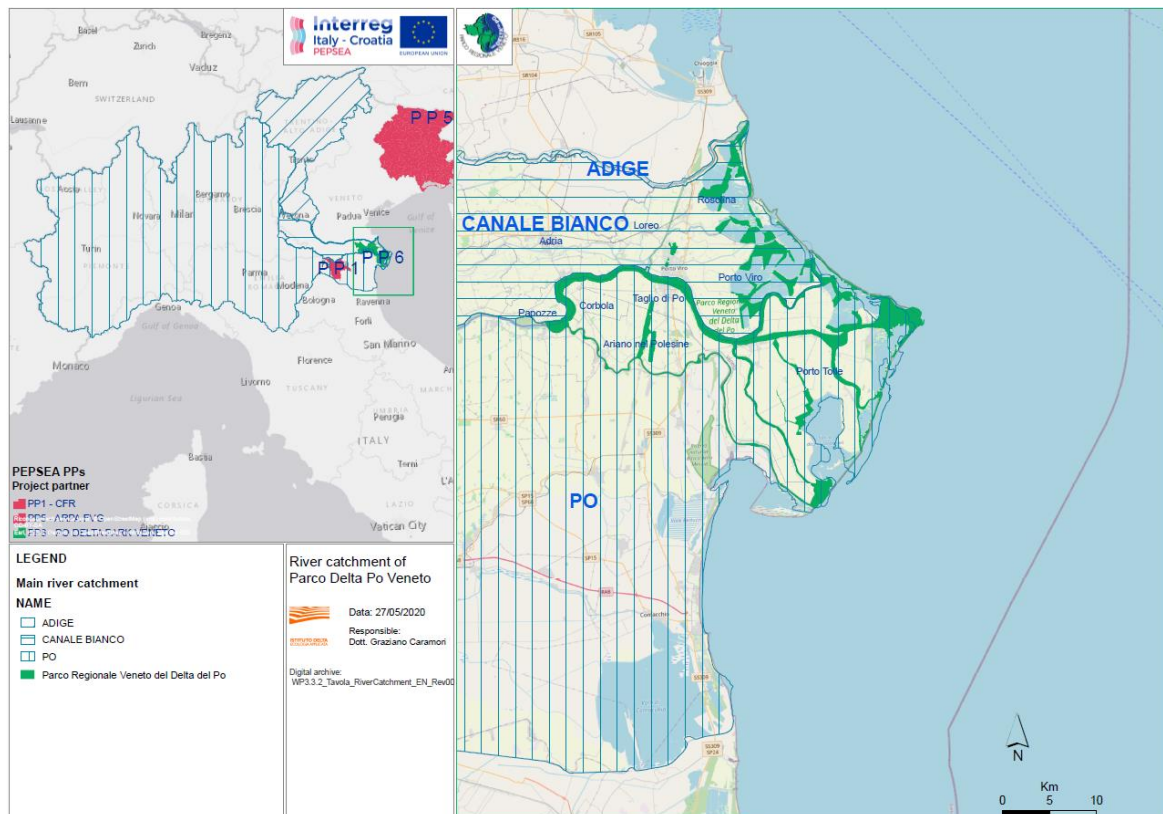


Figure 2: Main river catchment of the Po river delta.

Therefore analyzing the delta we should more correctly use the term river basin district, since, by definition, river basin is the area of land in which surface waters flow to the river mouth or delta, while the river basin district is the area of land and sea made up of one or more neighboring river basins together with their associated groundwaters and coastal waters, and represents the true unity of management, as it is recognized by the administrative point of view by Water Framework Directive 2000/60/EC.

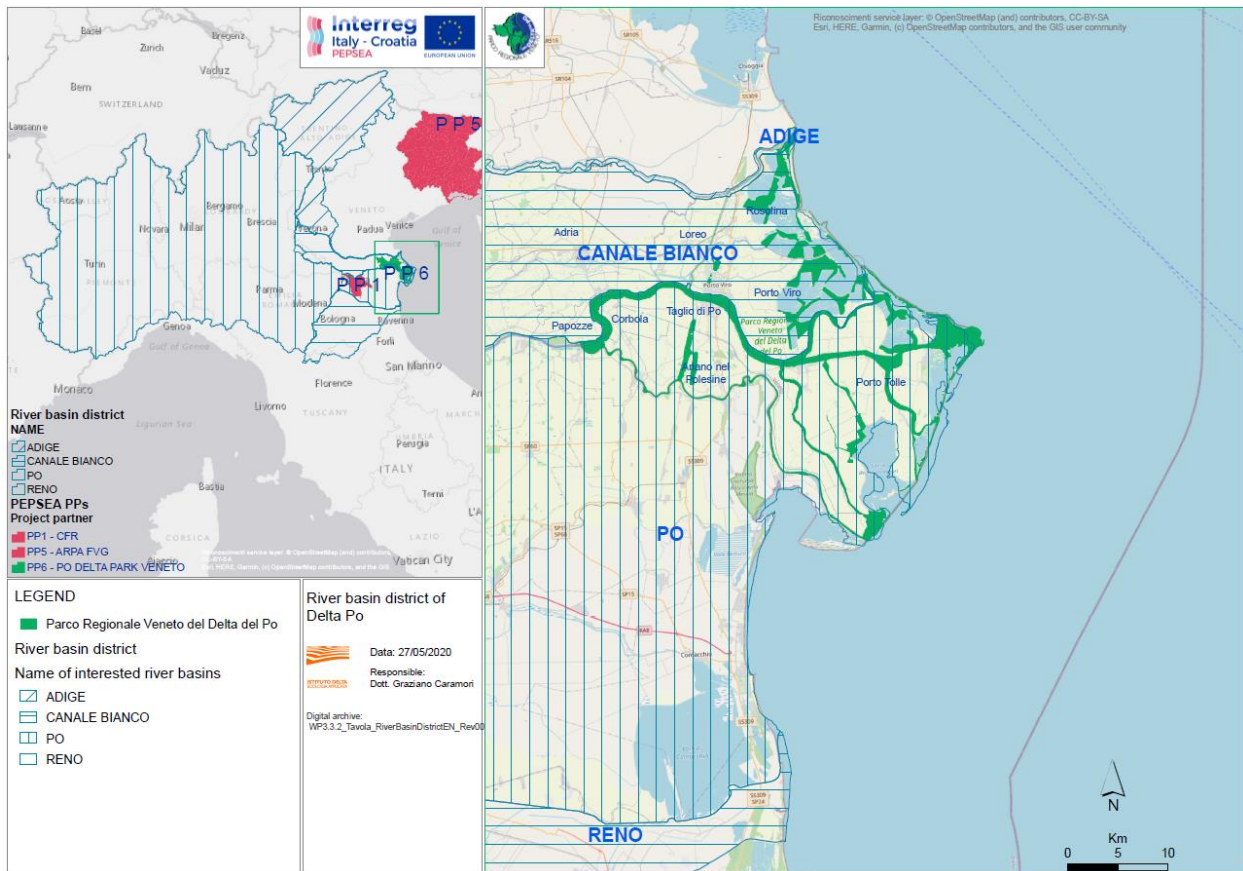


Figure 3: river basin district of Po delta.

In the case of River basin district, Figure 3, at first glance the area does not change a lot in comparison with river basin, Figure 2. But actually this include a further river basin, the Reno River which increase the total risk since it includes a wider areas. Furthermore it must be considered that in the southern part of the delta water circulation might direct towards north surface pollution such as in case of oil spill.

On the whole the oil pollution risk for Delta Po EPS must be considered not only from the sea but also from upstream considering the river basin district. This is not a low level risk, as a matter of fact it already occurred in February 2010, the oil spill accident in the Lambro river in Lombardy. Therefore a specific chapter is dedicated to the analysis of companies at significant risk.

2. Socio-economic characteristics

In the Municipalities of the Park the population trend in the period 2019- 2021 is in sharp decrease on average of -2.7% ranging from -1.3% of Ariano nel Polesine to -5.4% of Corbola.

Municipalities	January 2021	January 2019	Difference	Difference %
Adria	18,861	19,347	- 486	-2.5
Ariano nel Polesine	4,147	4,202	- 55	-1.3
Corbola	2,215	2,341	- 126	-5.4
Loreo	3,299	3,458	- 159	-4.6
Papozze	1,413	1,433	- 20	-1.4
Porto Tolle	9,284	9,546	- 262	-2.7
Porto Viro	13,939	14,217	- 278	-2.0
Rosolina	6,257	6,383	- 126	-2.0
Taglio di Po	7,999	8,195	- 196	-2.4
Total	67,414	69,122	- 1,708	-2.7

In the 9 municipalities the population decrease in the last two years is of 1,708 units, for comparison is much more than the whole population of the smallest Municipality, Papozze, therefore it might be considered as the disappearing of a whole Municipality.

The distribution into the territory is better represented in **Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**, in which the number of residents is represented with a graduated color from the lightest gradation for the minimum number of residents (1,413 Papozze), up to the darkest gradation corresponding to the maximum number of residents (18,861 Adria).

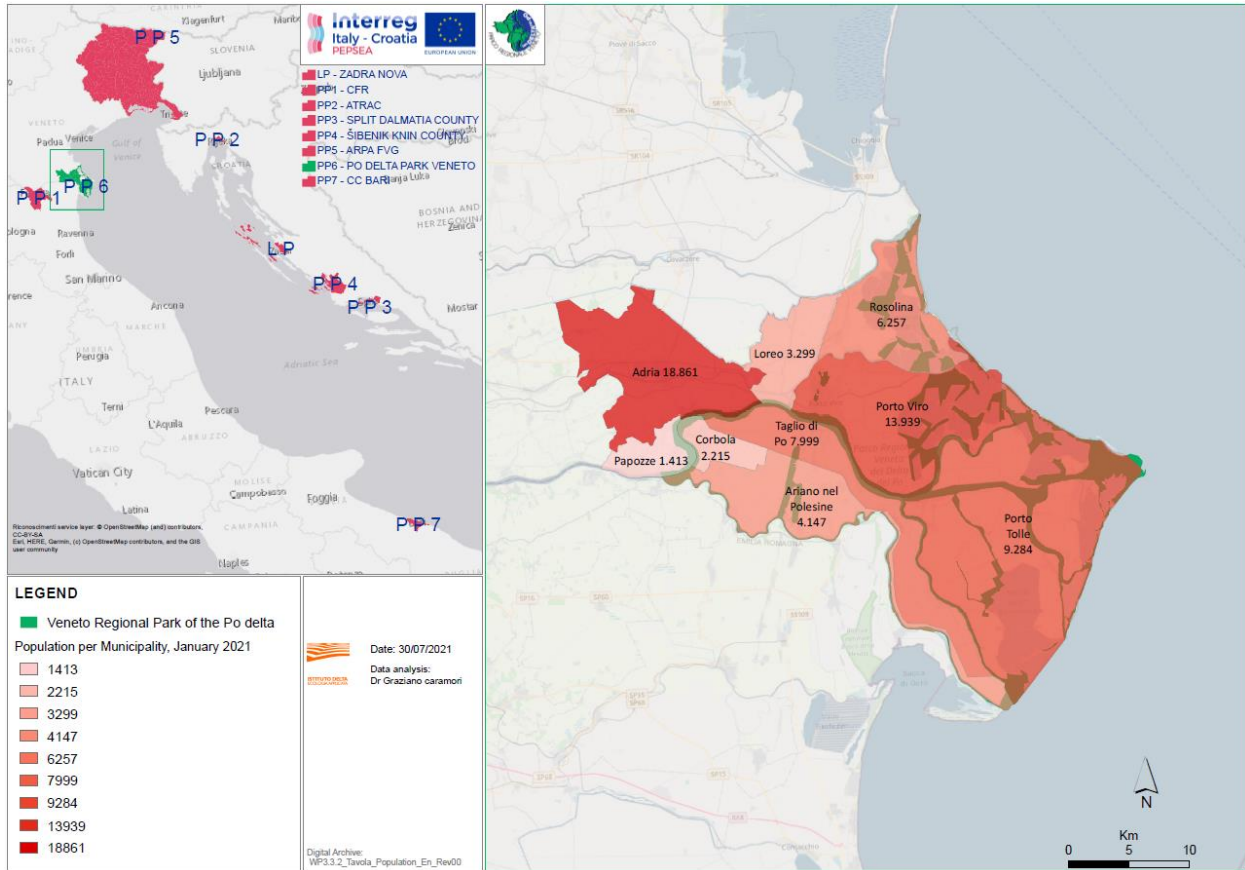


Figure 4: resident population on January 2021, ISTAT data, elaboration by Istituto Delta.,

In the Po delta pilot area the EPS are declined the brackish lagoons, consequently the economic activities of EPS are shellfish farming, traditional fishing, tourism and hunting. Shellfish farming is practiced inside the lagoons and it is the most significant economic activities, it involves two species, the clam *Ruditapes philippinarum*, and the mussel *Mytilus galloprovincialis*. Mussel farming is practiced both inside the lagoons and at sea, thanks to the ecological characteristics of this species. On the contrary, clam aquaculture of *R. philippinarum* is practiced only and exclusively within the EPS.

The ecological characteristics of this species confine it to a narrow salinity range, the species can tolerate marine salinities for short periods, but they cannot survive for long. In addition to these two species, a small-scale oyster farming activity has begun with very low quantities but with high quality productions. Clam farming, in the last 10 years, inside the lagoons of the geographic Po river delta are leading the Italian production, as a matter of fact about 80% of the national production is produced here, with a significant economic return.

3. Companies at significant risk (RIR)

Companies at significant risk (RIR) are defined by Legislative Decree 105/2015, a survey of the data available for the Veneto Region was carried out thanks to ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto), in the catchment areas are listed three companies at significant risk (RIR) pursuant to Legislative Decree 105/2015, of the petrochemical or hydrocarbon type, see Figure 5.

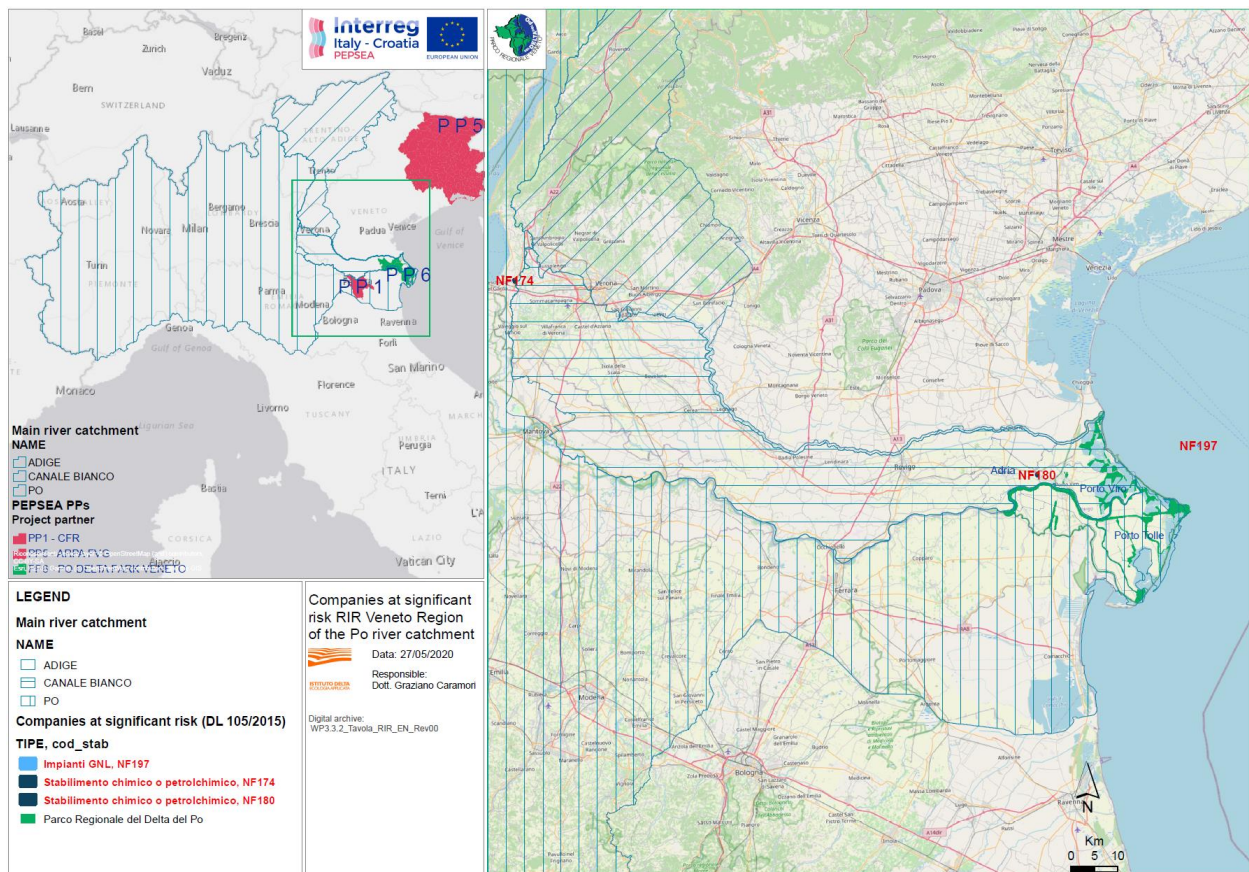


Figure 5: companies at significant risk (RIR) of Veneto Region, ARPAV data updated to 2019.

However from the characteristics of the delta and its river basin district it emerged clearly that a risk model must consider pollution sources of the whole basin district.

ARPAV provides georeferenced data for RIR, anyhow the data are not available georeferenced for all Regions, the ISPRA web site ³provides a list with a territorial unit a Province and Municipalities level.

Crossing the data of RIR at province level with the provinces of river basin district it results into a list of 512 RIR, considering only petrochemical RIR the total list is reduced to 303.

The oil spill accident in the Lambro river of February 2010 did not cause serious consequences in the delta since it was blocked at the Isola Serafini dam located on the Po river close to the city of Piacenza. Therefore it must be considered that the risk increases for RIR nearer the delta. In particular the RIR downstream the Isola Serafini dam poses a greater risk due to the shorter times necessary to reach the Po delta.

The ARPAE of Emilia-Romagna Region provides at its website a map of RIR divided by upper threshold (Soglia superior) in red and lower threshold in blue but without specification of the type of possible pollutants, Figure 6.

Even if it is not possible to get a correct list of petrochemical companies downstream Isola Serafini dam the risk can be considered significative.

³ https://www.rischioindustriale.isprambiente.gov.it/seveso-query-105/inventario_listatolist.php?pageno=1&t=inventario_listato&recperpage=ALL. website consulted on July 2021.

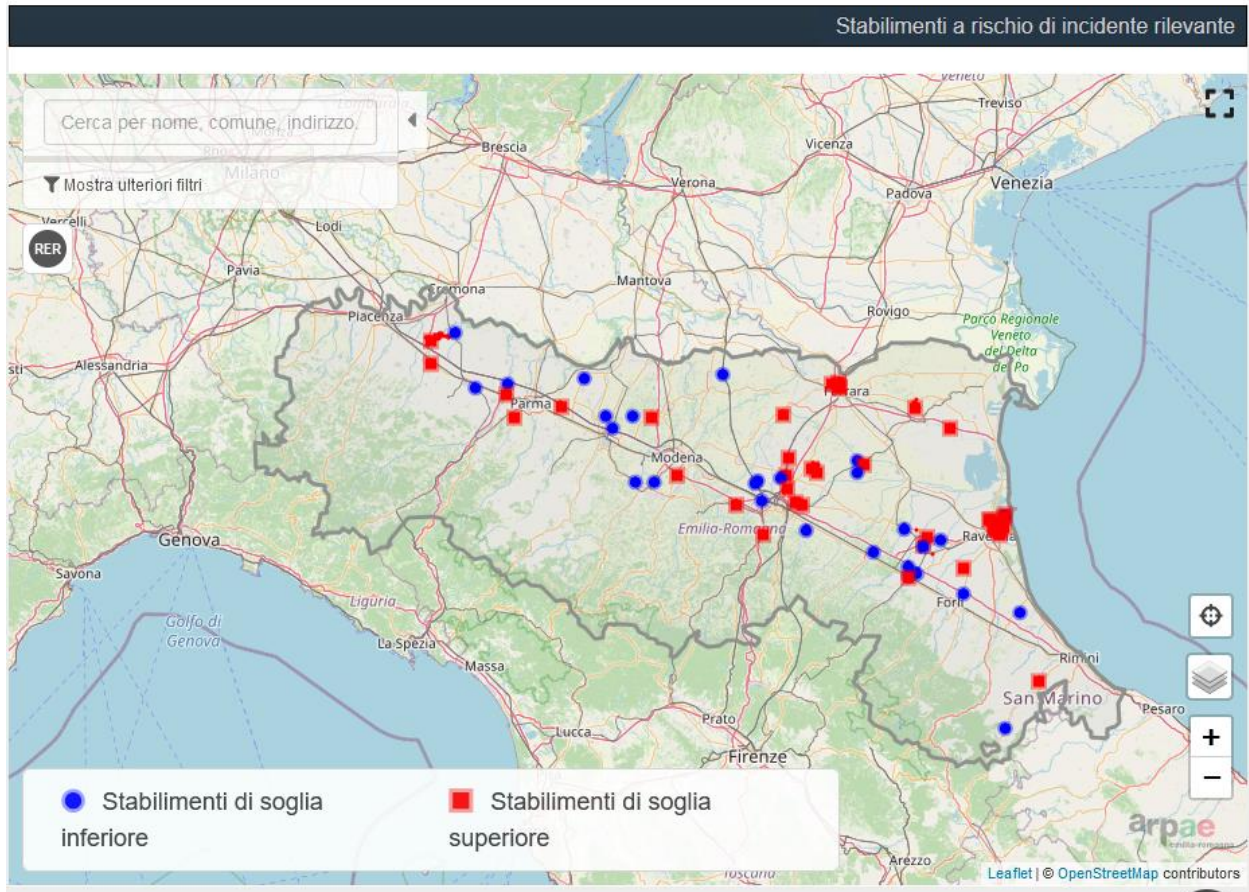


Figure 6: RIR of Emilia-Romagna Region, website consulted on July 2021:
<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/rischio-industriale/stabilimenti-rir-in-emilia-romagna/mappa-stabilimenti-a-rischio>

4. River dams and risk protection

From the case of the Lambro river oil spill it might be infer that river dams are a desirable features along the river courses. For a correct analysis must be considered the benefits and damages of the whole lifespan of dams. Considering the river dams usually last for decades the main damages are related to fishing economy, altered recreational activities, degraded sediment flows and increased coastal erosion. In USA this damage is considered of such a level in particular for salmon industry that in the period 2000-2021 1149 dams were removed⁴.

At European level the recent project AMBER⁵ provided a river barrier Atlas for all Europe in order to achieve a more efficient restoration of stream connectivity and address impacts caused by river fragmentation.

At Po river basin district level dams are one of the main threats for fish species conservation some of which of economic interests such as sturgeons and related economy in particular caviar. Two of the three species of sturgeons present in the Po river are already locally extinct.

⁴ *American Rivers. 2021. Raw Dataset— ARDamRemovalList_figshare_Feb2021. Figshare. Available: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5234068>*

Retrieved: July 2021.

⁵ <https://amber.international/>

PILOT AREAS AND RISKS

At level of pilot EPS in the North and South area of the delta the risk is also related to the circulation inside each EPS. The hydraulic model identified three areas in North pilot EPS, the Caleri lagoon, Figure 7. In this three areas the risk is higher whenever the pollutants reach the areas in particular for floating portion.

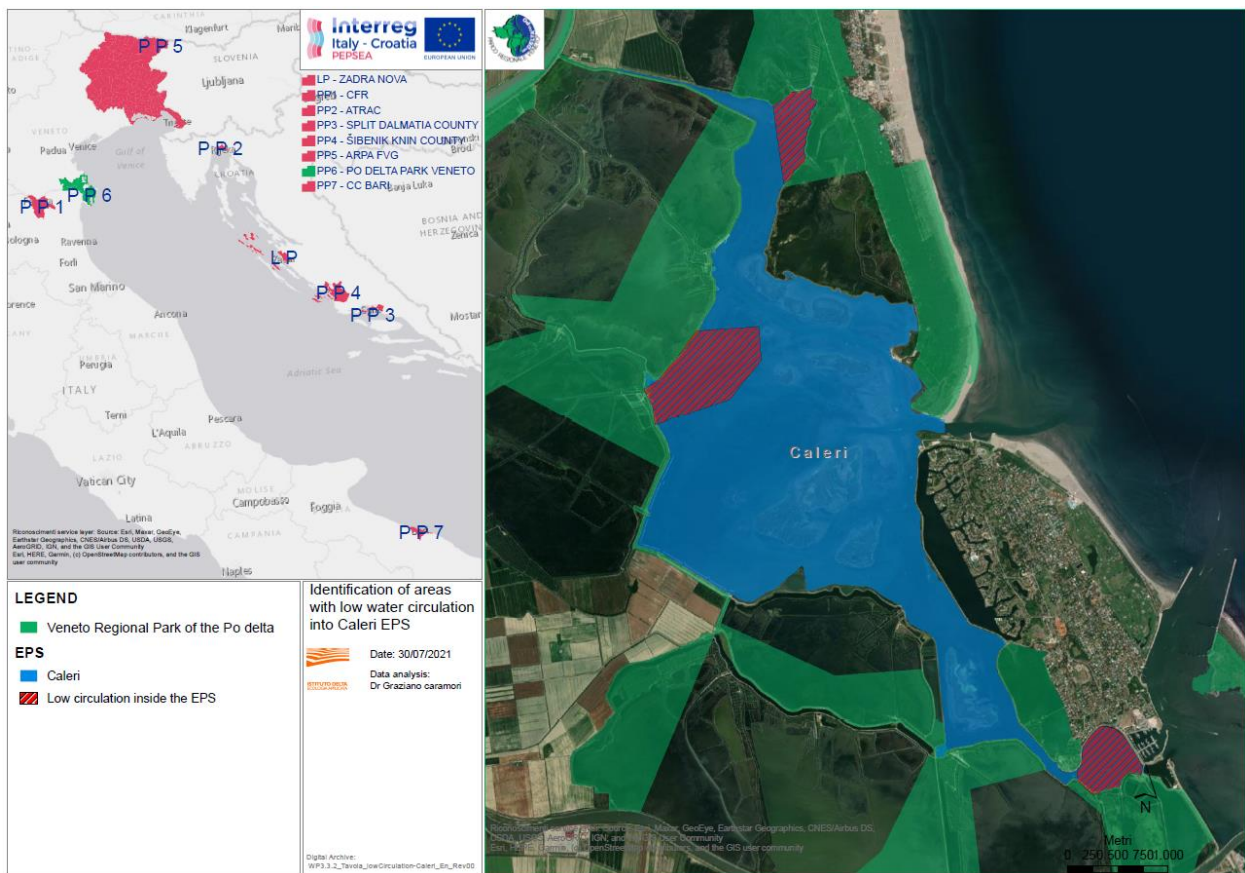


Figure 7: low water circulation areas in Caleri EPS.

The hydraulic model identified four areas in South pilot EPS, the Canarin lagoon, Figure 8.

In total six areas were identified with low water circulation having a surface of 119 ha for Caleri and 42 ha for Canarin, corresponding to 22% of the surface of the two pilot lagoons.

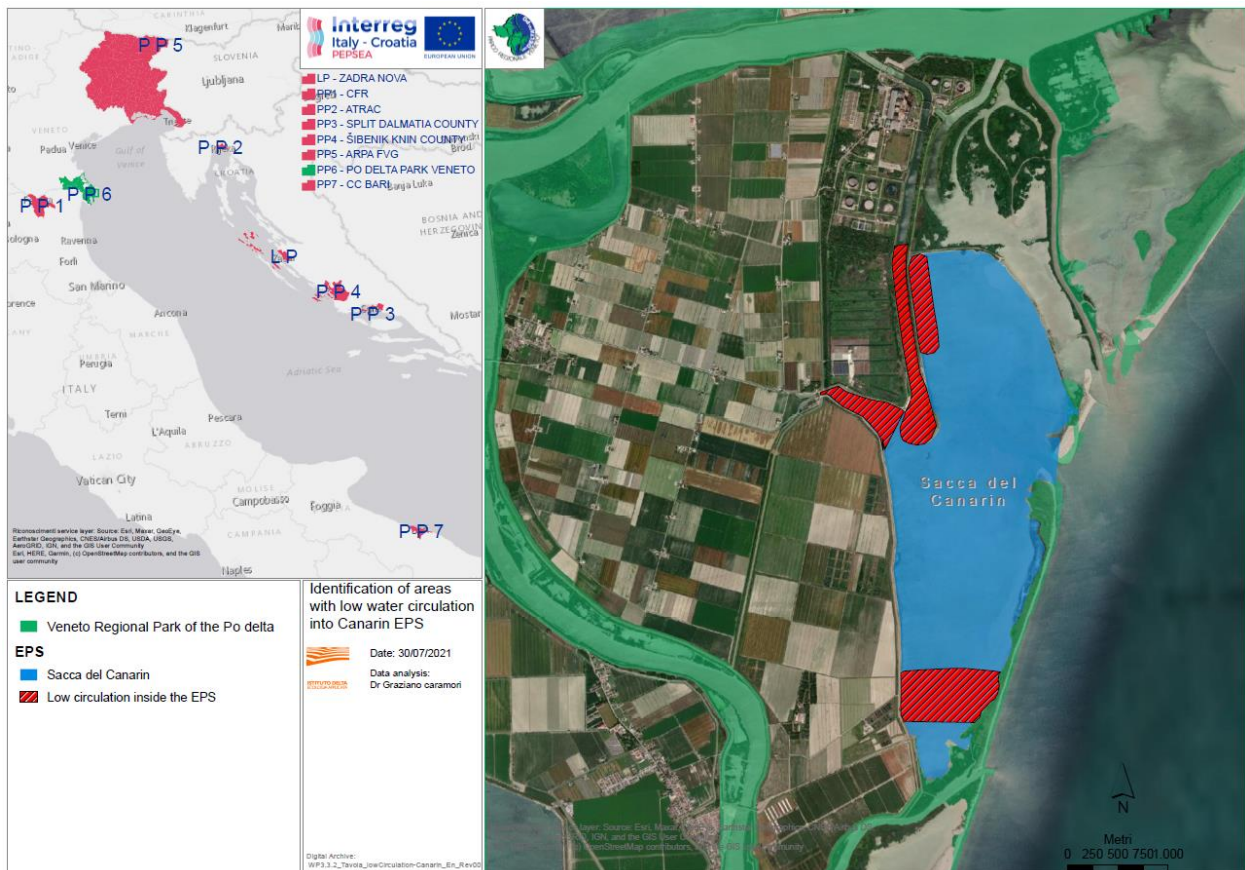


Figure 8: low water circulation areas in Canarin EPS.

CONCLUSION

From the territorial analysis arise that the delta has a two sources of oil pollution risk: from the Sea as well as from the river basin district in which lays 512 Companies at significant risk (RIR), of which 303 working with petrochemical products.

The risk includes not only the protected areas of the Po river delta which have a high conservation value but also the economy of the local population, which depends almost totally from natural resources such as molluscs aquaculture, professional fishing and tourism. Furthermore the Po river delta economy it is not correlated only to local population but it represent a significative portion of Italian production sector. Clam aquaculture farming, in the last 10 years, inside the lagoons of the geographic Po river delta are leading the Italian production, representing about 80% of the national production.

The analysis of hydraulic circulation also identified 6 areas into the two pilot EPS with higher risk due to low water circulation.