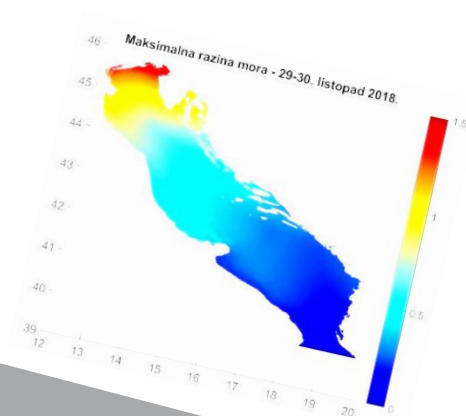
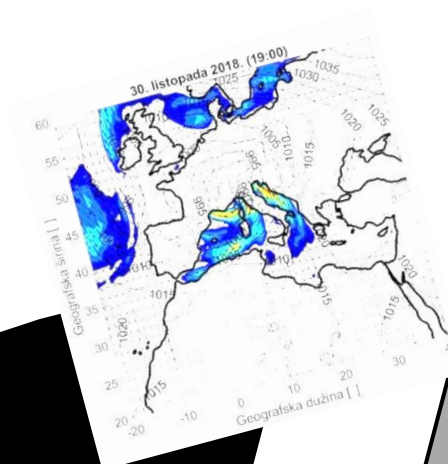


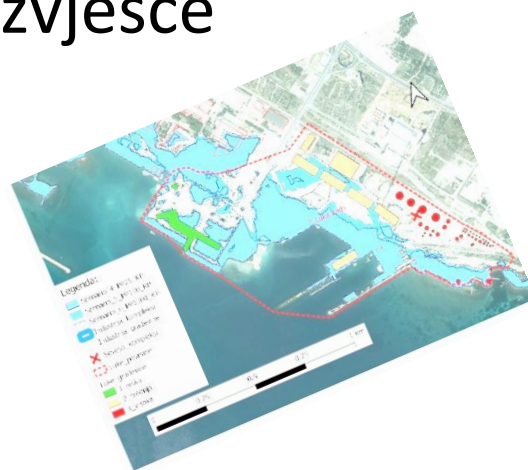
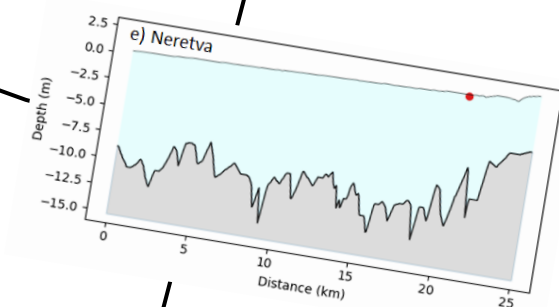


Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za hidrotehniku



STUDIJA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA MORA (VEPAR)

Završno izvješće



Zagreb, travanj 2022.



Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR) - UPRIMO

ZAVRŠNO IZVJEŠĆE

(prazna stranica)



Europska unija

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Kohezijskog fonda.



**EUROPSKI STRUKTURNI
I INVESTICIJSKI FONDOVI**

Zajedno do fondova EU

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost Hrvatskih voda

Za više informacija:

Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, Hrvatska

telefon: +385 1 6307 333

internetska stranica www.voda.hr

Za više informacija o EU fondovima:

www.strukturnifondovi.hr

**PROJEKT UNAPRJEĐNJA NEGRAĐEVINSKIH MJERA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA U
REPUBLICI HRVATSKOJ – VEPAR**

POTPROJEKT B - Unaprjeđenje studijskih i modelskih osnova za upravljanje rizicima od poplava

**UGOVOR O USLUGAMA Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR), KLASA: 325-04/20-
08/212, URBROJ: 374-1-2-21-9, Evid. Broj ugovora: 10-002/21, Pozicija plana: B.07.13.14.**

(prazna stranica)

Naručitelj: **HRVATSKE VODE**
Ulica grada Vukovara 220
10 000 Zagreb, Hrvatska

Projekt: **STUDIJA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA MORA**
(VEPAR) - UPRIMO

Izradio: **SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Zavod za hidrotehniku

Vrsta dokumentacije: **STUDIJA**

Znak naručitelja: **KLASA: 325-04/20-08/212**
URBROJ: 374-1-2-21-9
Evid. broj ugovora: 10-002/21
Pozicija plana: B.07.13.14.

Znak izvršitelja: **Broj ugovora: 120-024/21**
Klasa 644-01/21-12/40, Ur.broj 251-64-12-21-6

Oznaka projekta: **S-373/12**

Voditelj projekta: **doc.dr.sc. Jadranka Šepić, dipl.ing.fizike**

Suradnici: **prof.dr.sc. Goran Lončar, dipl.ing.građ.**
izvr.prof.dr.sc. Damir Bekić, dipl.ing.građ.
doc.dr.sc. Nino Krvavica, dipl.ing.građ.
doc.dr.sc. Mateo Gašparović, dipl.ing.geod.

Datum: **travanj 2022.**

Građevinski fakultet:



prof.dr.sc. Stjepan Lakusić (dekan)



SADRŽAJ

1	POPLAVE OD MORA	1
1.1	Scenariji definirani projektnim zadatkom	14
2	PRIKUPLJANJE PODLOGA ZA POTREBE PROJEKTA UPRIMO	15
2.1	Mjerene razine mora za razdoblje od 1990. do 2020.	16
2.2	Dubine mora i visinske kote	18
2.3	Geometrija korita na području prijelaznih voda	19
2.4	Podmorski ispusti	22
2.5	Uzgajališta riba i školjkaša	23
2.6	Karakteristike dna	23
2.7	Nasipavanje	24
2.8	Luke i lučka infrastruktura	25
2.9	Industrija.....	26
2.10	Salinitet mora.....	27
2.11	Izgrađenost obalne linije.....	28
2.12	Ekspoatacija ugljikovodika	29
2.13	Isporučene datoteke sa prikupljenim podlogama	29
3	NUMERIČKO MODELIRANJE EKSTREMNO VISOKIH RAZINA MORA	33
3.1	Klasifikacija podataka za 18 scenarija	33
3.2	Numerički model SCHISM	43
3.3	Isporučene ulazne datoteke za korištenje modela SCHISM.....	50
4	NUMERIČKO MODELIRANJE EKSTREMNIH VALOVA	51
4.1	Klasifikacija podataka za 18 scenarija	58
4.2	Numerički model SWAN	67
4.3	Isporučene ulazne datoteke za korištenje modela SWAN	72
5	NUMERIČKO MODELIRANJE UTJECAJA EKSTREMNIH UVJETA MORA NA PRIJELAZNE VODE	73
5.1	Klasifikacija podataka za 18 scenarija	89
5.2	Numerički model STREAM 1D	93
5.2.1	Kalibracija Mannigovog koeficijenta trenja	95
5.2.2	Kalibracija koeficijenta trenja na razdjelnici između slojeva slane i slatke vode	96
5.3	Isporučene ulazne datoteke za korištenje modela STREAM-1D	101
6	REZULTATI NUMERIČKOG MODELIRANJA PREMA 18 SCENARIJA	103
6.1	Rezultati modelskih simulacija (model SCHISM).....	103
6.2	Modelske i rezultatne datoteke (model SCHISM)	109
6.3	Rezultati modelskih simulacija (model SWAN).....	114
6.4	Modelske i rezultatne datoteke (model SWAN)	121
6.5	Rezultati modelskih simulacija (model STREAM-1D)	124

6.6	Modelske i rezultatne datoteke (model STREAM 1-D)	129
7	KATALOG MJERA ZA SMANJENJE RIZIKA OD POPLAVA UZROKOVANIH MOREM	131
7.1	Uvod	131
7.2	Analiza potencijalnih štetnih posljedica	132
7.2.1	Analiza posljedica uslijed poplava mora	132
7.2.2	Analiza utjecaja zaslantjenja uslijed visokih razina mora.....	137
7.3	Katalog mjera za smanjenje rizika od poplava	138
7.3.1	Primjeri rješenja pojedinih mjera	142
7.4	Zaključno o katalogu mjera	155
8	PRIJEDLOG BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA	159
8.1	Nadopuna geoprostornih podataka	159
8.2	Uspostava, razvoj i nadopuna monitoringa mora	161
8.3	Prijedlog daljnjeg razvoja modela valne dinamike i plavljenja	164
8.4	Prijedlog ostalih analiza i istraživanja	172
9	LITERATURA	175
10	PRILOZI	189
10.1	Prilog 1 - Kratka uputstva za instalaciju i korištenje modela SCHISM, modela SWAN i modela STREAM-1D	189
10.1.1	Model SCHISM	189
10.1.2	Model SWAN	192
10.1.3	Model STREAM-1D	196
10.2	Prilog 2 - Izvještaj o održanoj radionici i tečaju za korištenja modela za upravljanje rizicima od poplava mora	202
10.2.1	Sadržaj tečaja.....	202
10.2.2	Dnevni red tečaja.....	203
10.2.3	Odabrane slike s tečaja.....	204
10.2.4	Lista sudionika tečaja.....	207

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Prostorna raspodjela registriranih poplava od mora na hrvatskoj obali Jadrana	3
Slika 1.2. Vremenska raspodjela i visina iznimnih olujnih uspora u Veneciji (gore) i Bakru (dolje) - rezidualni dio signala (Međugorac, 2018.).....	3
Slika 1.3. Poplava na Trgu Sv. Marka (Venecija) i na ulicama Rijeke na dane 1-2. prosinca 2008 (izvor: internetski portali https://hr.legaltechnique.org/ i http://www.lokalpatrioti-rijeka.com/).....	4
Slika 1.4. Fotografije uvala u kojima su se dogodili najrazorniji jadranski meteorološki tsunamiji, kao i fotografije nastale za samih događaja (Šepić, 2015.)	4
Slika 1.5. Dio web stranice „Meteorological tsunamis in the Adriatic Sea“ (izvor: http://jadrان.izor.hr/~sepic/meteotsunami_catalogue).....	5
Slika 1.6. Sinoptička situacija prije i tijekom ekstremno visokog olujnog uspora od 1. veljače 1986. zabilježenog u Veneciji (Dević i sur., 2021.).....	6
Slika 1.7. Sinoptička situacija prije i tijekom ekstremno visokog olujnog uspora od 13. studenog 1997. zabilježenog u Splitu (Dević i sur., 2021.).....	6
Slika 1.8. Sinoptička situacija prije i tijekom ekstremno visokog olujnog uspora od 29. prosinca 2000. zabilježenog u Dubrovniku (Dević i sur., 2021.).....	6
Slika 1.9. Izmjereni vodostaji za vrijeme olujnog uspora na sjevernom Jadranu od 1. veljače 1986. (Dević i sur., 2021.)	7
Slika 1.10. Izmjereni vodostaji za vrijeme olujnog uspora na srednjem Jadranu od 13. studenog 1997. (Dević i sur., 2021.)	7
Slika 1.11. Izmjereni vodostaji za vrijeme olujnog uspora na južnom Jadranu od 29. prosinca 2000. (Dević i sur., 2021.)	8
Slika 1.12. Izmjereni vodostaji za vrijeme rekordnog olujnog uspora na sjevernom Jadranu od 4. studenog 1966. (Međugorac, 2018.).....	8
Slika 1.13. (I lijevo) Primjer satnih vremenskih nizova mjenjenih na postajama Venecija, Trst, Rovinj, Bakar, Split i Dubrovnik, a koji sadrže ekstremno visoke razine mora. Crvenom linijom označena je razina mora od 99.95 percentila procijenjena za svaku postaju posebno. Svijetlo crvenom bojom označeni su periodi tijekom kojih su zabilježene ekstremne razine mora zabilježene na jadranskim mareografskim postajama (Šepić i sur., 2021.).....	9
Slika 1.14. Amplituda M2 komponente plimnih oscilacija (izvor: https://www.avisio.altimetry.fr/)	10
Slika 1.15. Prostorna razdioba amplituda i faza komponenti M2 i K1 plimnih oscilacija u Jadranskom moru (Medvedev i sur., 2020.)	11
Slika 2.1. Lokacije aktivnih hrvatskih mareografskih postaja s kojih su podaci korišteni u Studiji upravljanja rizicima od poplava mora; te (gore desno) vremenska dostupnost satnih nizova razine mora.....	17
Slika 2.2. Prikaz GIS preglednika s rasterskim slojem u kojem su dani podaci o dubini mora od -20 m do najvećih dubina sa prostornom rezolucijom podataka od 100m (lijevo), te rasterskog sloja za detalj luke Rijeka (desno) u kojem su dani podaci visina od 0 do 10 m.nm. s prostornom rezolucijom podataka od 10m (desno) ..	18
Slika 2.3. Prikaz GIS preglednika s vektorskim slojem geometrije korita za područja prijelaznih voda	20
Slika 2.4. Prikaz GIS preglednika s vektorskim točkastim slojem prikaza pozicija podzemskih ispusta komunalnih i industrijskih otpadnih voda.....	22
Slika 2.5. Prikaz GIS preglednika s lokacijama uzgajališta bijele morske ribe, tune i školjkaša	23
Slika 2.6. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojem za prikaz prostorne raspodjele sedimentnih obilježja dna	24
Slika 2.7. Prikaz GIS preglednika s lokacijama nasipavanja mora uz obalu tijekom razdoblja 2015.-2019.	24
Slika 2.8. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojem granica lučkog akvatorija i teritorija	25
Slika 2.9. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojem klasa osjetljivosti lučkih objekata	26
Slika 2.10. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojevima industrijskih kompleksa i građevina	27

Slika 2.11. Prikaz GIS preglednika s prezentacijom izmjerenih vrijednosti saliniteta mora u površinskom sloju za „referentno“ ljetno razdoblje (VIII mjesec, lijevo) i vrijednosti saliniteta mora u površinskom sloju za scenario klimatskih promjena RCP-8.5 i ljetno razdoblje (VIII mjesec, desno).....	28
Slika 2.12. Prikaz GIS preglednika s vektorskim linijskim slojem u kojem je obalna linija podjeljene na „prirodnu“ i „izgrađenu“	29
Slika 3.1. Razdioba godišnjih maksimuma (5 maksimuma godišnje) razine mora za predmetne postaje. Crvenom horizontalnom linijom označen je srednjak, plavom 25. i 75. percentil, crnom minimum i maksimum, a crvenim križićem izdvojene vrijednosti (eng. “outlier”).....	35
Slika 3.2. Razdioba mjesečnih maksimuma (1 maksimum godišnje za svaki mjesec) razine mora za predmetne postaje. Crvenom horizontalnom linijom označen je srednjak, plavom 25. i 75. percentil, crnom minimum i maksimum, a crvenim križićem izdvojene vrijednosti (eng. “outlier”)	36
Slika 3.3. GEV prilagodba za sve postaje, za pet godišnjih maksimuma.....	37
Slika 3.4. Očekivane rezidualne razine mora u ovisnosti o povratnim periodima za scenarij bez utjecaja klimatskih promjena. Prikazane su vrijednosti za povratne periode od 2-1000 godina	37
Slika 3.5. Očekivane razine mora u ovisnosti o povratnim periodima, za scenarij s utjecajem klimatskih promjena. Prikazane su vrijednosti za povratne periode od 2-1000 godina.....	39
Slika 3.6. Rezidualni nizovi razine mora izmjereni tijekom 26. listopada-3. studenog 2018. godine. Epizoda ekstremno visoke razine mora je zasjenčena.....	42
Slika 3.7. Rezidualni nizovi razine mora izmjereni tijekom 18.-26. prosinca 2019. godine. Epizoda ekstremno visoke razine mora je zasjenčena.....	42
Slika 3.8. Sinoptička situacija nad Europom za vrijeme epizode od 29-30. listopada 2018. godine (lijevo) i za vrijeme epizode od 22. prosinca 2019. godine (desno) u vremenskom koraku modela najbližem vremenu zabilježenih maksimalno visokih razina mora	43
Slika 3.9. Shematski prikaz dostupnih modula unutar modela SCHISM.....	44
Slika 3.10. Dio domene numeričkog modela SCHISM – prikazana je batimetrija i mreža modela. Cjelokupna domena je prikazana u manjem isječku (Šepić i sur, 2016.).....	45
Slika 3.11. Prostorna mapa reproduciranih ekstremno visokih razina mora dobivena korištenjem numeričkog modela SCHIM (Šepić i sur., 2016.).	45
Slika 3.12. Domena i batimetrija numeričkog modela SCHISM – na slici lijevo je prikazana batimetrija Jadrana, a na slici desno dio mreže modela. Cjelokupna domena je prikazana u manjem isječku desno (Međugorac, 2018.).	46
Slika 3.13. Usporedba mjerenih (crna linija) i modeliranih (crvena linija) razina mora za olujni uspor od 29-30. listopada 2018. Godine	47
Slika 3.14. Prostorna razdioba maksimalne modelirane razine mora za olujni uspor od 29-30. listopada 2018. godine. Razina mora dana je u metrima.	48
Slika 3.15. Prostorna razdioba maksimalne modelirane razine mora za olujni uspor od 13. prosinca 2019. godine. Razina mora dana je u metrima.	48
Slika 4.1. Prostorna domena (Jadran) numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija korištena u radu Ocvirk (2010.) i proglašena mreža (obalna crta sa rezolucijom 100m) od inicijalno korištene u radu Ocvirk (2010.).....	53
Slika 4.2. Polja Hs za sektor SE i povratna razdoblja 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina, dobivena primjenom numeričkog modela Mike 21/SW uz vjetrovno forsiranje sa poljem vjetra iz modela Aladin-HR (Ocvirk, 2010.) .54	54
Slika 4.3. Polja Hs za sektor SE i povratna razdoblja 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina, dobivena primjenom numeričkog modela Mike 21/SW uz vjetrovno forsiranje sa poljem vjetra iz modela Aladin-HR (Ocvirk, 2010.) .55	55
Slika 4.4. Vremenski nizovi izmjerenih Hs na valografu V1 u blizini glavnog lukobrana luke Rijeka (razdoblje 1.6.2009.-1.7.2011.).....	56
Slika 4.5. Vremenski nizovi izmjerenih Hs i Tp na valografu u blizini glavnog lukobrana luke Rijeka (razdoblje 6.12.2019.-26.9.2020.).....	56
Slika 4.6. Odabranih 12 referentnih pozicija unutar prostorne domene numeričkog modela valnog generiranja i vanih deformacija (Rovinj i Medulin za sjeverni J. ; Rijeka, Pag-Rab, Zadar i Šibenik za srednji Jadran ; Splitski	

kanal, Svetac, Hvarski kanal, Korčulanski kanal, Lastovski kanal i Dubrovnik za južni J.) na podlozi polja vjetra iz modela Aladin-HR za 6.11.2000 15:00	58
Slika 4.7. Vremenski niz tro-satne brzine vjetra, usrednjeno za lokacije 1-12, za 1993., 1995., 1997., 1999. i 2001. (sektor SE ; 101.25° – 191.25°)	59
Slika 4.8. Vremenski niz tro-satne brzine vjetra, usrednjeno za lokacije 1-12, za 1993., 1995., 1997., 1999. i 2001. (sektor SW ; 191.25° – 270°)	60
Slika 4.9. Maksimalne godišnje brzine vjetra po lokacijama 1-12 za razdoblje 1992.-2001. (gore – sektor SE (101.25° – 191.25°); dole - sektor SW (191.25° – 270°)).....	61
Slika 4.10. Maksimalne godišnje brzine vjetra usrednjene za lokacije 1-2 (sjeverni Jadran), za razdoblje 1992.-2001.	61
Slika 4.11. Maksimalne godišnje brzine vjetra usrednjene za lokacije 3-6 (srednji Jadran), za razdoblje 1992.-2001.	61
Slika 4.12. Maksimalne godišnje brzine vjetra usrednjene za lokacije 7-12 (južni Jadran), za razdoblje 1992.-2001.	61
Slika 4.13. Maksimalne brzine vjetra za sektore SE i SW, za mjesece kolovoz i studeni po godinama u razdoblju 1992.-2001. (za sjeverni jadransko - usrednjeno sa lokacija 1 i 2)	62
Slika 4.14. Primjer situacije s pojavom maksimalnih godišnjih brzina bure u 1993., 1995., 1997. i 1999. godini	64
Slika 4.15. Prostorna domena numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija sa nestrukturiranom proračunskom mrežom na batimetrijskoj podlozi za analize valovanja pri djelovanju bure	64
Slika 4.16. Polja značajnih valnih visina pri djelovanju maksimalnog godišnjeg intenziteta bure	65
Slika 4.17. Polje maksimalnih vrijednosti značajnih valnih visina za svaku proračunsku ćeliju iz prethodno provedenih 10 simulacija valnog generiranja pri maksimalnim godišnjim djelovanjima bure u razdoblju 1992.-2001.	65
Slika 4.18. Izmjerene razine mora na limnigrafu Bakar tijekom 9 sati simulacijskog perioda (tablica 3.3) pri djelovanju godišnjeg ekstrema bure (NAPOMENA: maksimalna brzina vjetra i visina valova pojavljuje se u 9. satu simulacije).....	66
Slika 4.19. Polja Hs za veliku vjerojatnost pojavljivanja (povratni period 25 godina) pri djelovanju juga (lijevo) i lebića (desno)	66
Slika 4.20. Polja razlike Hs za veliku vjerojatnost pojavljivanja (povratni period 25 godina) pri djelovanju juga (lijevo) i lebića (desno), i maksimalnih vrijednosti Hs (slika 3.7) dobivenih pri djelovanju bure u razdoblju 1992.-2001.	67
Slika 4.21. Prostorna domena modela valnog generiranja i valnih deformacija, te prostorna diskretizacija modelske domene sa triangularnim ćelijama	68
Slika 4.22. Prikaz proračunskih rezultata značajnih valnih visina Hs na pozicijama čvornih točaka proračunske mreže modela valovanja (SWAN) u GIS sučelju (točkasti vektorski sloj). Prikaz se odnosi na scenario srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina)	69
Slika 4.23. Prikaz polja značajnih valnih visina Hs (lijevo) na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (rasterski sloj – veličina piksela 200m x 200m). Prikaz se odnosi na scenario srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina)	70
Slika 5.1. Povećanje maksimalne duljine prodora slane vode L duž korita rijeke Rječine za razine mora od 0 do +1,5 m n.m. za različite protoke Q (Krvavica i sur., 2017.a)	74
Slika 5.2. Uzdužni profil rijeke Neretve od ušća (eng. mouth) do granice s BiH, s prikazom profila sloja slane (eng. seawater) i slatke vode (eng. freshwater) za protoke $Q = 100, 200$ i $300 \text{ m}^3/\text{s}$ te razine mora +0,0 i +1,0 m n.m (Krvavica i Ružić, 2020.).....	74
Slika 5.3. Lokacije ušća svih deset prijelaznih voda na jadranskom vodnom području	75
Slika 5.4. Lokacije ušća svih deset prijelaznih voda na jadranskom vodnom području (PUVP, 2016.)	76
Slika 5.5. Prostorni raspored tipova prijelaznih voda po rijekama (PUVP, 2016.).....	78
Slika 5.6. Prostorni raspored tipova prijelaznih voda po rijekama (PUVP, 2016.).....	78
Slika 5.7. Tipovi prijelaznih voda s obzirom na intenzitet miješanja slane i slatke vode (prema Krvavica, 2016.).....	79

Slika 5.8. Kategorizacija prijelaznih voda s obzirom na intezitet miješanja slane i slatke vode (modificirano prema Geyer i MacCready, 2014.)	80
Slika 5.9. Izmjereni vertikalni profili saliniteta duž rijeke Neretve za protok rijeke $Q = 79 \text{ m}^3/\text{s}$ (7. srpnja 2004.) i $Q = 66 \text{ m}^3/\text{s}$ (13. rujna 2004.) (Ljubenkovi i Vranješ, 2012.)	82
Slika 5.10. Izmjereni vertikalni profili saliniteta i temperature duž rijeke Jadro za protok rijeke $Q = 2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (26. srpnja 2012.) (Ljubenkovi i Vranješ, 2013.)	82
Slika 5.11. Izmjereni vertikalni profili saliniteta s i temperature T duž rijeke Rječine za protoke rijeke: a) $Q = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$, b) $Q = 13,4 \text{ m}^3/\text{s}$, c) $Q = 16,8 \text{ m}^3/\text{s}$, d) $Q = 29,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Krvavica i sur., 2016.)	83
Slika 5.12. Regresijska analiza: a) zavisnosti duljine prodora slanog klina o protoku rijeke Q tijekom plime i oseke u Rječini, b) zavisnosti dubine razdjelnice između slanog klina i sloja slatke vode o protoku rijeke Q na ušću Rječine (Krvavica i sur., 2012.)	84
Slika 5.13. Modelirane duljine prodora slanog klina u rijeci Neretvi za protoke u rasponu od 50 do 1000 m^3/s te razine mora +0,0; +0,5 i +1,0 m n.m. (Krvavica i Ružić, 2020.)	84
Slika 5.14. Rezultati simulacije dinamike slanog klina u rijeci Neretvi za protoke 50 i 200 m^3/s i razine mora +0,0, +0,5 i +1,0 m n.m. (Krvavica i Ružić, 2020.)	85
Slika 5.15. Dijagrami teoretskog utjecaja podizanja razine mora na dimenzije slanog klina u idealiziranim koritima za Froudeov broj rijeke $F_0 = 0,2$, relativnu gustoću $r = 0,97$ i koeficijent trenja među slojevima $C_f = 0,0005$ za različite dubine korita H_0 : a) ukupna duljina prodora slanog klina, b) promjena duljine prodora slanog klina, c) postotna promjena duljina prodora slanog klina, d) ukupni volumen slane vode po širini korita rijeke, e) promjena volumena slane vode po širini korita, f) postotna promjena volumena slane vode (Krvavica i Ružić, 2020.)	86
Slika 5.16. Prijem izrade digitalnom modela terena kraće dionice rijeke Rječine, od izmjerenih poprečnih profila (a), preko generiranja izvodnica duž korita (b), do generiranja dodatnih poprečnih profila između izmjerenih (c), do konačnog modela terena (Krvavica, 2016.)	88
Slika 5.17. Rezultat kalibracije Manningovog koeficijenta trenja na rijekama: a) Mirni, b) Raši, c) Rječini, d) Cetini i e) Neretvi. Proračun je proveden za hidrološke parametre prikazane u tablici 5.7.	96
Slika 5.18. Izmjereni satni nizovi protoka rijeke Neretve u Metkoviću, razina mora na ušću Male Neretve te gustoće mora i rijeke tijekom razdoblja V – XII 2015. godine (Krvavica i sur., 2021.)	97
Slika 5.19. Usporedba modeliranih debljina pridnenog sloja slane vode s izmjerenim salinitetima pri dnu korita rijeke Neretve u Metkoviću tijekom 2015. godine (Krvavica i sur., 2021b)	99
Slika 5.20. Usporedba modeliranih dubina razdjelnice s izmjerenim vertikalnim profilima saliniteta u rijeci Neretvi kod Komina i Opuzena tijekom 2015. godine (Krvavica i sur., 2021b)	99
Slika 5.21. Usporedba modeliranih i izmjerenih dubina razdjelnice uzduž korita rijeke Rječine za protoke $Q = 5,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $Q = 10,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ i $Q = 16,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Krvavica, 2016.)	100
Slika 6.1. Prikaz polja ekstremnih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 1 (gore) i 4 (dole)	104
Slika 6.2. Prikaz polja ekstremnih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 2 (gore) i 5 (dole)	105
Slika 6.3. Prikaz polja ekstremnih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 3 (gore) i 6 (dole)	106
Slika 6.4. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri ekstremnim razinama mora i bez djelovanja valova (model SCHISM). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 1 i 3	107
Slika 6.5. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri ekstremnim razinama mora i bez djelovanja valova (model SCHISM). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 4 i 6	108
Slika 6.6. Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 1 (gore), 2 (sredina) i 3 (dole) pri valovanju iz SE sektora (lijevo) i SW sektora (desno)	115
Slika 6.7. Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 7-12 pri valovima iz SE sektora	116
Slika 6.8. Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 12-18 pri valovima iz SE sektora	117

Slika 6.9. Prikaz polja vršnih spektralnih perioda T_p (gore) i incidentnog smjera valovanja (dole) na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na scenario srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina; lijevo - djelovanje valova iz SE sektora ; desno - djelovanje valova iz SW sektora)	118
Slika 6.10. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri pojavi ekstremnih razina mora i djelovanja valova (modeli SCHISM + SWAN). Prikaz se odnosi na usvojeni scenario 1 i 3 pri valovima iz SE sektora	119
Slika 6.11. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri pojavi ekstremnih razina mora i djelovanja valova (modeli SCHISM + SWAN). Prikaz se odnosi na usvojeni scenario 4 i 6 pri valovima iz SE sektora	120
Slika 6.12. Rezultati proračuna za područje prijelaznih voda rijeke Mirne prema 18 scenarija, uzdužni profili (tamno plava boja – sloj slane morske vode, svjetlo plava boja – sloj slatke vode).	126
Slika 6.13. Rezultati proračuna za područje prijelaznih voda rijeke Neretve prema 18 scenarija, uzdužni profili (tamno plava boja – sloj slane morske vode, svjetlo plava boja – sloj slatke vode).	127
Slika 6.14. Rezultati procjene utjecaja ekstremnih razina mora na prijelazne vode za povratni period 1000 godina uz utjecaj klimatskih promjena (<i>max_elev_cc_1000</i>) – prostorna raspodjela dubine razdjelnice između slojeva slane i slatke vode na rijekama: a) Mirni, b) Zrmanji i c) Neretvi.	128
Slika 7.1. Primjeri nekih vrsta poplava i opasnosti na obalnom području.....	131
Slika 7.2. Primjer nekih štetnih posljedica uslijed poplava mora	132
Slika 7.3. Doseg poplave mora za veliku vjerojatnost pojave s utjecajem klim. promjera (Scenario 4) u dolini Neretve.....	134
Slika 7.4. Ugroženost lučkih, industrijskih i seveso objekata za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klim. promjera (Scenario 4, 5 i 6) - luke Ploče i Rijeka	135
Slika 7.5. Ugroženost lučkih, industrijskih i seveso objekata za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klim. promjera (Scenario 4, 5 i 6) - luke Zadar i Pula.....	136
Slika 7.6. Rezultati dubina vode za Mirnu za kalibraciju modela (lijevo) i za scenarijo 1 (tamno plava – slana morska voda, svjetlo plava – slatka voda).....	137
Slika 7.7. Prikaz različitih skupina mjera zaštite od poplava mora	138
Slika 7.8. Shematski prikaz osiguranja obalnog odmaka (preuzeto sa https://adriadapt.eu/hr/adaptation-options/obalni-odmak/)	143
Slika 7.9. Izgradnja obalnog zida (preuzeto iz Plana upravljanja obalnim područjem grada Kaštela)	144
Slika 7.10. Proširenje i podizanje obale (preuzeto iz Plana upravljanja obalnim područjem grada Kaštela)	144
Slika 7.11. Primjer proširenja obale na Žnjanu u Splitu, gore 1968., dolje 2019. (izvor DGU)	145
Slika 7.12. Primjer izgradnje pera te formiranje plaže i obalnog područja uz vidljivu urbanizaciju zaleđa na području Punta-Buka na otoku Krku (izvor DGU i GoogleEarth)	146
Slika 7.13. Primjer valobrana ispred Porto Garibaldi na talijanskoj obali (izvor GoogleEarth)	147
Slika 7.14. Valobran/lukobran Kaše u Dubrovniku (izvor Bracodbk, Wikipedia)	147
Slika 7.15. Sustav ustava „Mose“ ispred Venecije (izvor www.mosevenezia.eu)	148
Slika 7.16. Lokacije dohranjivanja plaža (preuzeto s http://grad.hr/beachex/)	149
Slika 7.17. Zaštićene livade posidonije unutar Natura 2000 mreže (izvor RAC/SPA 2014)	150
Slika 7.18. Promjena saliniteta na Neretvi po dubini (lijevo, izmjereno) i duž toka Neretve na dubini od -8,0 m za različite režime rada ustave (desno, modelske simulacije) (izvor Lončar et al., 2020)	152
Slika 7.19. Priprema za postavljanje meteorološko-oceanografskih plutača na području Jadrana (izvor Stjepan Ivatek-Šahdan, 2022)	153
Slika 7.20. Primjer prethodno ugrađenih mobilnih barijera, lagane konstrukcije s ručnim izdizanjem (izvor Presray)	154
Slika 7.21. Primjer pločastih zapornica s prethodnom pripremom za postavljanje (izvor Presray)	154
Slika 7.22. Primjer mobilnih modularnih krutih barijera (izvor AquaFence)	155

Slika 7.23. Primjer pasivnog sustava s automatskim izdizanjem i povlačenjem (izvor www.floodcontrolinternational.com)	155
Slika 8.1. Akvatorij obuhvaćen prostornom domenom lokalnog numeričkog modela valnih deformacija na području grada Zadra	165
Slika 8.2. Dubine mora (lijevo, raster 10m x 10m) i visine terena (desno, raster 5m x 5m) prema podlogama izrađenim u sklopu ovog projekta	165
Slika 8.3. Prostorna domena modela valnog geneiranja i valnih deformacija za područje grada Zadra	166
Slika 8.4. Proračunska mreža na prostornoj domeni modela valnog geneiranja i valnih deformacija za područje grada Zadra	167
Slika 8.5. Refleksijsko-transmisijka svojstva uzduž obalne crte predmetnog akvatorija	169
Slika 8.6. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama, i polje dubina mora sa pripadnim izolinijama (scenario PP = 100g. s utjecajem KP)	170
Slika 8.7. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama, i polje dubina mora sa pripadnim izolinijama (scenario PP = 100g. s utjecajem KP)	171

POPIS TABLICA

Tablica 1.1. Registrirane poplave od mora u razdoblju 1990.-2018.	2
Tablica 1.2. Amplituda i faza značajne plimnih komponenti na Jadranu (Medvedev i sur., 2020.)	10
Tablica 3.1. Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez utjecaja klimatskih promjena	38
Tablica 3.2. Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – s utjecajem klimatskih promjena	38
Tablica 3.3. Rezidualne razine mora za 5 godišnje plansko razdoblje po mjesecima	39
Tablica 3.4. Lokacije postaja, te izdvojene epizode ekstremno visokih vodostaja (visina i vrijeme); podebljanim fontom i crvenom, narančastom i zelenom bojom označene su epizode ekstremno visokih vodostaja koje će se numerički modelirati	40
Tablica 3.5. Izdvojene epizode ekstremno visokih vodostaja (visina i vrijeme) po mjesecima koje će se modelirati; podebljanim fontom su, za svaku postaju, označene maksimalne godišnje vrijednosti.	41
Tablica 3.6. Mjerene i modelirane rezidualne razine mora za povratne periode od 25, 100 i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez utjecaja klimatskih promjena	49
Tablica 3.7. Mjerene i modelirane rezidualne razine mora za povratne periode od 25, 100 i 1000 godina – s utjecajem klimatskih promjena	49
Tablica 4.1 Usporedba rezultata H_s za 4 lokacije prema Ocvirk (2010.) i Katalinić (2019.), za povratna razdoblja 5, 25 i 100 godina	52
Tablica 4.2. Usporedba modelskih rezultata H_s (Ocvirk, 2010.) za valovanje SE i SW incidentnog smjera sa rezultatima predočenim u elaboratima vjetrovalnih klima	57
Tablica 4.3. Brzina vjetera po povratnim periodima za SE i SW sektor (sjeverni jadranski)	62
Tablica 4.4. Brzina vjetera po povratnim periodima za SE i SW sektor (srednji jadranski)	62
Tablica 4.5 Brzina vjetera po povratnim periodima za SE i SW sektor (južni jadranski)	62
Tablica 4.6. Usvojene vrijednosti brzine vjetera (sektori SE i SW) za modelsko forsiranje u numeričkim simulacijama valnog generiranja i valnih deformacija po mjesecima	63
Tablica 4.7. Termini pojave maksimalnog godišnjeg djelovanja bure u razdoblju 1992.-2001.	65
Tablica 4.8. Usporedba modelskih rezultata H_s (Ocvirk, 2010. i model VEPAR prema iznesenoj metodologiji) za valovanje SE i SW incidentnog smjera sa rezultatima predočenim u elaboratima vjetrovalnih klima za lokacije: Umag (Hydroexpert, 2012.), Rovinj (GFZ, 2004.), Kuje - Pula (GFZ, 2011.), Mošćenička Draga (Hydroexpert, 2016.), Rijeka (Brodarski institut, 2013.), Susak (Hydroexpert, 2017.), Krk (Hydroexpert, 2018.), Mrtvaška	

(Hydroexpert, 2019.), Novi Vinodolski (GFZ, 2010.), Senj (Hydroexpert, 2012.), Rab (Hydroexpert, 2012.), Zadar (Hydroexpert, 2005.), Šibenik - Zablacé (GFZ, 2010.), Split-luka (GFZ, 2007.), Perna - Pelješac (Hydroexpert, 2007.), Župski zaljev (GFZ, 2018.), Komiža (GFZ, 2007.).....	71
Tablica 5.1. Usvojene temperature $T_{sr,god}$ i saliniteti $S_{sr,god}$ mora po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za osnovnih šest scenarija).....	90
Tablica 5.2. Usvojeni protoci $Q_{t95\%}$ i temperature $T_{sr,god}$ slatke vode po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za osnovnih šest scenarija).....	91
Tablica 5.3. Usvojene srednje mjesečne temperature mora $T_{sr,mj}$ (°C) po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za dodatnih 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja u 5-godišnjem razdoblju).....	92
Tablica 5.4. Usvojeni protoci trajanja 95% $Q_{t95\%,mj}$ (m ³ s ⁻¹) po mjesecima i po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za dodatnih 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja u 5-godišnjem razdoblju).....	92
Tablica 5.5. Usvojene srednje mjesečne temperature slatke vode $T_{sr,mj}$ (°C) po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za dodatnih 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja u 5-godišnjem razdoblju).....	92
Tablica 5.6. Usvojene kombinacije hidroloških parametara za forsiranje modela dvoslojnog toka za svih 18 scenarija.....	93
Tablica 5.7. Hidrološki parametri korišteni za kalibraciju te odabrani Mannigov koeficijent trenja za pet područja prijelaznih voda.....	95
Tablica 7.1. Ugrožene stambene i gospodarske zgrade za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klimatskih promjera (Scenario 4, 5 i 6) po županijama.....	133
Tablica 7.2. Ugrožene površine i objekti za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klimatskih promjera (Scenario 4, 5 i 6).....	134
Tablica 7.3. Vrste mjera i njihove oznake.....	139
Tablica 7.4. Mjere za smanjenje rizika od poplava mora.....	140

PROJEKTNI ZADATAK

PROJEKTNI ZADATAK: STUDIJA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA MORA

PROJEKTNI ZADATAK

STUDIJA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA MORA (VEPAR)

PROJEKTI ZADATAK: STUDIJA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA MORA

Sadržaj

Uvod	3
Cilj projekta	3
Svrha projekta	3
Obuhvat projektnog zadatka	4
Prostorni obuhvat projekta	4
Sadržajni obuhvat	4
Metodološki obuhvat	4
Aktivnosti projekta	5
1. Uvodno izvješće	5
2. Priprema podloga	5
Oceanografske, klimatske i meteorološke podloge	5
Prostorne podloge	5
3. Određivanje scenarija	6
4. Uspostava modela	7
5. Definiranje planskih parametara	7
6. Katalog mjera za smanjenje rizika od poplava uzrokovanih morem	8
7. Prijedlog budućih istraživanja	8
8. Završno izvješće	8
Izvješća	9
Vidljivost Projekta	9
Ostalo	9
Rokovi izrade i prijedlog dinamike plaćanja	10

Uvod

Poplave su prirodni fenomeni koji se rijetko pojavljuju i čije se pojave ne mogu izbjeći, ali se poduzimanjem različitih preventivnih građevinskih i negrađevinskih mjera rizici od poplavlivanja mogu smanjiti na prihvatljivu razinu. One su među opasnijim elementarnim nepogodama i na mnogim mjestima mogu uzrokovati gubitke ljudskih života, velike materijalne štete, devastiranje kulturnih dobara i ekološke štete. Zbog prostranih brdsko-planinskih područja s visokim kišnim intenzitetima, širokih dolina nizinskih vodotoka, velikih gradova i vrijednih dobara na potencijalno ugroženim površinama, te zbog nedovoljno izgrađenih zaštitnih sustava, Hrvatska je prilično izložena poplavama.

Hrvatska već duže vrijeme upravljanje rizicima od poplava usklađuje s Direktivom 2007/60/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima (Tekst značajan za EGP) (SL L 288, 6.11.2007., u daljnjem tekstu: Direktiva o poplavama), a cjelokupno upravljanje vodama s Direktivom 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (SL L 327, 22. 12. 2000., u daljnjem tekstu: Okvirna direktiva o vodama).

Ove direktive su transponirane prvenstveno u Zakon o vodama te u ostale zakonske i druge pravne akte. Na osnovu njih se u šestogodišnjim planskim ciklusima, između ostalog, izrađuju i dokumenti:

- Prethodna procjena rizika od poplava
- Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava te
- Plan upravljanja vodnim područjima koji sadrži i plan upravljanja rizicima od poplava.

Plan upravljanja vodnim područjima usvaja Vlada Republike Hrvatske i po značaju je najvažniji tehnički dokument upravljanja vodama nakon Strategije upravljanja vodama.

Do stupanja na snagu Direktive o poplavama, upravljanje rizicima od poplava uzrokovanih morem, nije bilo u nadležnosti vodnog gospodarstva.

Radi toga je u sklopu projekta OPKK - KK.05.2.1.07.0001 – „VEPAR“ u ELEMENT 2 - POTPROJEKT B: Unaprjeđenje studijskih i modelskih osnova za upravljanje rizicima od poplava, predviđena nabava E2_PN9, Studija upravljanja rizicima od poplava mora. Ovaj Projektni zadatak definira i razrađuje aktivnosti i rezultate navedene Studije.

Cilj projekta

Cilj projekta je stvaranje upravljačkih i planskih podloga te definiranje relevantnih aspekata upravljanja poplavnim rizicima uzrokovanih visokim razinama mora na način koji omogućuje njihovo uključivanje u važeći planski okvir upravljanja rizicima od poplava i upravljanja vodnim područjima. Pri tome će se voditi računa da rezultati Projekta, osim primarnog cilja koji je vezan za smanjivanje rizika od poplava, budu što je moguće više iskoristivi i za druge aspekte integriranog upravljanja vodama.

Svrha projekta

Projektom će biti definiran okvir koji će omogućiti da se, na primjeren način, u upravljanje rizicima od poplava uključi i relativno novi aspekt upravljanja rizicima od poplava uzrokovanim visokim razinama mora. Osim toga, biti će napravljena i podloga koja u određenoj mjeri pomaže u izradi dokumentacije upravljanja vodama većeg stupnja detaljnosti (višegodišnji programi gradnje, studije, idejna rješenja, procjene utjecaja na stanje vodnih tijela i ostalo).

Obuhvat projektnog zadatka

Prostorni obuhvat projekta

Projektom su obuhvaćene:

- sve priobalne i prijelazne vode Republike Hrvatske,
- more do crte razgraničenja između epikontinentalnih pojaseva Republike Hrvatske i Republike Italije,
- kopno uz obalu i otoke do udaljenosti koja je relevantna za aktivnosti ovog Projekta,
- more, otoci i kopno koje ne pripada Republici Hrvatskoj ali ga je potrebno uzeti u obzir kako bi se na odgovarajući način mogli opisati, procijeniti i interpretirati fenomeni od interesa za ovaj Projekt.

Prostorni položaj priobalnih, prijelaznih i teritorijalnih voda je definiran Zakonom o vodama i Planom upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021.

Obalna crta na području Republike Hrvatske (granica između mora i kopna i otoka) mjerodavna za Projekt odgovara crti obale s topografske karte mjerila 1: 25000, Državne geodetske uprave .

Sadržajni obuhvat

Projektom je potrebno definirati odgovarajuće elemente koji će se moći uklopiti u dopune dokumenata upravljanja rizicima od poplava koje će biti provođene u redovitim ciklusima:

- Prethodna procjena rizika od poplava (dopuna 2024. godine),
- Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava (dopuna 2025. godine),
- Plan upravljanja rizicima od poplava, uključujući ciljeve i program mjera (dopuna 2021. i 2027. godine) te
- Plan upravljanja vodnim područjima, uključujući ciljeve i program mjera, imajući u vidu da je Plan upravljanja rizicima od poplava sastavni dio Plana upravljanja vodnim područjima (dopuna 2021. i 2027. godine)

Rezultati Projekta će također, prema potrebi i mogućnostima, biti korišteni za prateće dokumente većeg stupnja detaljnosti a kojima se prvenstveno razrađuju programi mjera navedenih dokumenata.

Rezultati Projekta **neće** biti korišteni za aktivnosti vezane uz plovidbu i navigaciju.

Metodološki obuhvat

Sve aktivnosti, pristupe i rezultate treba prilagoditi slijedećim dokumentima i u njima opisanim metodološkim pristupima:

- Zakon o vodama
- Okvirna direktiva o vodama
- Direktiva o poplavama
- Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021.
- Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava 2014.
- Prethodna procjena rizika od poplava 2018.

S obzirom na to da je u tijeku izrada Plana upravljanja vodnim područjima koji uključuje i Plan upravljanja rizicima od poplava 2022. – 2027., Izvršitelj je dužan, ukoliko je u međuvremenu došlo do

promjena metodologija, rezultate Projekta prilagoditi prema naputcima Naručitelja kako bi bili usklađeni sa metodologijama koje će se primjenjivati u slijedećim dopunama Planova.

Aktivnosti projekta

1. Uvodno izvješće

Izvršitelj će izraditi uvodno izvješće koje će sadržavati:

- Pregled dostupnih i relevantnih istraživanja, monitoringa i informacija vezanih za tematiku Projekta:
 - redoviti i istraživački monitoring te dostupnost podataka,
 - svjetska istraživanja i njihovi rezultati,
 - metodologije relevantnih procjena i istraživanja,
 - ostala relevantna iskustva,
- Program rada na projektu uključujući:
 - Plan provođenja ostalih aktivnosti Projekta te metode istraživanja uključujući pregled literature, potrebne podatke i slično, prema potrebi.
 - Okvirne termine mjesečnih te prema potrebi češćih sastanaka s Naručiteljem te eventualno drugim tijelima, kako bi se provela koordinacija i usmjeravanje aktivnosti.
- Ostala otvorena pitanja bitna za aktivnosti na Projektu.

Izvršitelj će u dogovoru s Naručiteljem sve navedene i ostale potrebne elemente rada na Projektu sažeti u Uvodnom izvješću koji će biti podloga za nastavak rada na Projektu. Tijekom rada na Projektu, Uvodno izvješće se može revidirati prema dogovoru Naručitelja i Izvršitelja.

2. Priprema podloga

Oceanografske, klimatske i meteorološke podloge

Izvršitelj će za mareografe Dubrovnik, Ploče, Split, Vis, Zadar, Mali Lošinj, Bakar i Rovinj:

- pribaviti podatke o mjerenim razinama mora s najvećom dostupnom vremenskom razlučivošću i to za razdoblje:
 - od početka 1990. godine do kraja 2019. godine ili
 - od početka rada mareografa do kraja 2019. godine
- podatke prilagoditi Hrvatskom visinskom referentnom sustavu 1971 (HVR571)
- podatke sistematizirati u bazu podataka u CSV ili TXT formatu prema napucima Naručitelja.

Izvršitelj će pribaviti i sistematizirati u odgovarajuće baze podataka u CSV ili TXT formatu sve dostupne informacije i podatke o ostalim karakteristikama mora koje su potrebne za realizaciju Projekta.

Izvršitelj će pribaviti i sistematizirati klimatološke, meteorološke podatke te podatke i rezultate modeliranja klimatskih promjena bitne za realizaciju Projekta.

Podaci trebaju biti u projekciji HTRS 96 TM i Hrvatskom visinskom referentnom sustavu 1971 (HVR571) te u formatima definiranim prema napucima Naručitelja.

Prostorne podloge

Za prostorni obuhvat Projekta, Izvršitelj će pripremiti vektorske GIS slojeve koji će sadržavati podatke o:

- Dubinama
- Karakteristikama dna

PROJEKTI ZADATAK: STUDIJA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA MORA

- Građevinama i aktivnostima na dnu i obali koji će po stupnju detaljnosti i sadržaju odgovarati detaljnijem od:
 - najpreciznijih službenih pomorskih karata za to područje koje su dostupne u elektroničkom ili papirnatom obliku
 - topografske karte mjerila 1: 25 000 Državne geodetske uprave
- Lukama i lučkoj infrastrukturi na cijelom području koje pripada lukama
- Većim industrijskim kompleksima koji se nalaze uz more
- Nasipanju mora uz obalu

Prostorni podaci trebaju biti u projekciji HTRS 96 TM i Hrvatskom visinskom referentnom sustavu 1971 (HVR571). Format prostornih podloga trebaju biti takvi da su čitljivi GIS programskim paketima koje posjeduje Naručitelj.

Građevine i aktivnosti na dnu i obali trebaju sadržavati, osim prostornog položaja i informacije o vrsti građevine, namjeni, materijalu od koje je izrađena, načinu gradnje, te ostale informacije prema dogovoru i mogućnostima. Projektom je predviđena identifikacija građevina i njihovih karakteristika na osnovu javno dostupnih orto – foto snimaka, satelitskih snimaka te ostalih servisa s javno dostupnim georeferenciranim fotografijama, korištenje postojeće literature, projekata i sličnih izvora informacija.

Osim navedenih informacija, za pojedine infrastrukture na području luka, potrebno je naznačiti ukoliko njihovo poplavljanje može predstavljati bitan rizik za okoliš.

Izvršitelj će provođenje ove aktivnosti i rezultate opisati u izvješću „Priprema podloga za upravljanje rizicima od poplava mora“ koje će sadržati i bazu podataka te sve korištene podatke i rezultate na pratećem elektronskom mediju.

3. Određivanje scenarija

Izvršitelj će definirati ukupno 18 scenarija:

- 6 scenarija sukladnih Planu upravljanja rizicima od poplava i Direktivi o poplavama i to:
 - Scenarij male vjerojatnosti (povratno razdoblje 1000 godina) sa i bez utjecaja klimatskih promjena
 - Scenarij srednje vjerojatnosti (povratno razdoblje 100 godina) sa i bez utjecaja klimatskih promjena
 - Scenarij velike vjerojatnosti (povratno razdoblje 25 godina) sa i bez utjecaja klimatskih promjena

Scenariji moraju uzeti u obzir i odgovarajuće ekstremne odnosno mjerodavne visine vjetrovnih valova.

Scenariji moraju biti definirani tako da rezultiraju nominalnim vjerojatnostima duž cijele obale i svih otoka (anvelopa) a ne samo na jednoj ili više lokacija.

- 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja mora tijekom planskog razdoblja 2016. – 2021.

Izvršitelj će provođenje ove aktivnosti i rezultate opisati u izvješću „Određivanje scenarija za upravljanje rizicima od poplava mora“ koje će sadržati i bazu podataka te sve korištene podatke i rezultate na pratećem elektronskom mediju.

4. Uspostava modela

Naručitelj će na osnovu prijedloga Izvršitelja odabrati jedan ili više računalnih programskih paketa za numeričko modeliranje procesa u Jadranskom moru takvih da:

- za nabavu i produžavanje prava korištenja nije potrebno plaćanje
- mogu se instalirati na računalima s operativnim sustavom Windows ili Linux

Izvršitelj će korištenjem odabranih programskih paketa uspostaviti jedan ili više modela za procjenu:

- anomalija morske razine,
- karakteristika mjerodavnih morskih valova (duljina, period, značajna i druge karakteristične visine),
- površinskih morskih struja (smjer, pravac i brzina),
- saliniteta

prema 18 navedenih scenarija.

Izvršitelj je modele dužan kalibrirati i verificirati na osnovu dostupnih podataka. Prostorna i vremenska razlučivost modela mora biti takva da se rezultati mogu pouzdano prikazati na karti mjerila 1:25 000 te da je uzet u obzir utjecaj svih otoka vidljivih na Državnoj topografskoj karti mjerila 1:25 000 ukoliko utječu na rezultate.

Izvršitelj će:

- Instalirati programske pakete i izrađene modele na dva računala Naručitelja,
- Održati tečaj korištenja modela za Naručitelja,
- Izraditi kratka uputstva za rad s modelima i programskim paketima.

Izvršitelj će provođenje ove aktivnosti i rezultate opisati u izvješću „Uspostava modela za upravljanje rizicima od poplava mora“ koje će sadržati i bazu podataka te sve korištene podatke i rezultate na pratećem elektronskom mediju kao i instalirane verzije korištenih programskih paketa.

5. Definiranje planskih parametara

Na osnovu numeričkog modeliranja, izvršitelj će rezultate svih 18 scenarija pripremiti u formi GIS podloga mjerila 1: 25 000 ili preciznijih i to:

- Vektorske poligonalne za područje prostornog obuhvata projekta
- Rasterske za područje prostornog obuhvata projekta
- Linijske za obalnu crtu kako je definirana ovim Projektom
- Linijske za obalnu crtu prijelaznih voda

Atributi vektorskih slojeva trebaju sadržati sve modelirane parametre i sve scenarije. Rasterski GIS slojevi trebaju biti izrađeni za svaki modelirani parametar i svaki scenarij.

Podaci trebaju biti u projekciji HTRS 96 TM i Hrvatskom visinskom referentnom sustavu 1971 (HVR571) te u formatima definiranim prema naputcima Naručitelja.

Izvršitelj će provođenje ove aktivnosti i rezultate opisati u izvješću „Definiranje planskih parametara za upravljanje rizicima od poplava mora“ koje će sadržati i bazu podataka te sve korištene podatke i rezultate na pratećem elektronskom mediju.

6. Katalog mjera za smanjenje rizika od poplava uzrokovanih morem

Izvršitelj će izraditi Katalog mjera za smanjenje rizika od poplava uzrokovanih morem prilagođen hrvatskim specifičnim uvjetima vodeći računa o svim štetnim posljedicama uzrokovanim poplavama mora na:

- zdravlje ljudi
- okoliš
- kulturno nasljeđe
- ekonomske aktivnosti

U Katalogu mjera za smanjenje rizika od poplava uzrokovanih morem potrebno je na osnovu rezultata modeliranja i drugih iskustava uvrstiti mjere koje se odnose na negativne utjecaje zaslanjenja uslijed visokih razina mora te transporta zagađenja i naplavina uzrokovanih analiziranim scenarijima.

Pri definiranju kataloga mjera, potrebno je razmotriti cjelokupni ciklus upravljanja rizicima od poplava:

- prevenciju
- zaštitu
- pripremno stanje, neposredno prije poplavnog događaja
- aktivnosti tijekom poplavnog događaja i
- aktivnosti oporavka nakon poplavnih događaja

Izvršitelj će provođenje ove aktivnosti i rezultate opisati u završnom izvješću.

7. Prijedlog budućih istraživanja

Na osnovu prikupljenih informacija i rezultata Projekta a imajući u vidu potrebe vodnog gospodarstva u područjima upravljanja rizicima od poplava i upravljanja vodnim područjem te imajući u vidu i ciljeve, sadržaj i mjere Planova upravljanja rizicima od poplava te Planova upravljanja vodnim područjima Izvršitelj će predložiti:

- uspostavu, razvoj i nadopunu monitoringa mora,
- ciljana istraživanja te
- ostale potrebne aktivnosti

koje bi unaprijedile Naručiteljeve aktivnosti iz konteksta ovog Projekta

Izvršitelj će provođenje ove aktivnosti i rezultate opisati u završnom izvješću.

8. Završno izvješće

Izvršitelj će sve aktivnosti provedene na Projektu opisati u Završnom izvješću koje će sadržati rezultate Projekta pohranjena na elektroničkim medijima. Izvješće treba biti takvo da se može koristiti bez pozivanja izvješća vezana za pojedine aktivnosti projekta. Točan sadržaj izvješća i pratećeg elektroničkog medija će definirati Izvršitelj u dogovoru s Naručiteljem.

Izvršitelj će na dodatnom elektroničkom mediju sistematizirati i pohraniti sve prikupljene podatke, međurezultate, rezultate, programske pakete, modele i izvješća svih provedenih aktivnosti.

Izvešća

Nacrte svih Izvešća te prateće podatke Izvršitelj treba predati Naručitelju 20 dana prije roka određenog Projektnim zadatkom. Na osnovu naputaka koje Naručitelj dostavi najkasnije 10 dana prije roka, Izvršitelj je dužan dovršiti izvešća te korigirati prateće podatke.

Nacrte izvešća i prateće podatke Izvršitelj treba predati na slijedeći način:

- Nacrte izvešća
 - u papirnatom obliku – u jednom primjerku
 - u elektronskom obliku – u MS Office formatima, elektronskom poštom ili na jednom mediju (USB ili DVD)
- Prateće podatke :
 - u elektronskom obliku – elektronskom poštom ili na jednom mediju (USB ili DVD)

Dovršena izvešća i prateće podatke Izvršitelj treba predati:

- Izvešća
 - U papirnatom obliku – u tri primjerka
 - U elektronskom obliku – na tri medija (USB ili DVD u PDF i MS Office formatima)
- Prateće podatke Izvršitelj treba predati:
 - U elektronskom obliku – na tri medija (USB ili CD ili DVD u formatu dogovorenom sa Naručiteljem i s pratećim opisom podataka)
 - Prostorni podaci trebaju biti u projekciji HTRS 96 TM,

Vidljivost Projekta

S obzirom na to da je nabava ovog predmeta nabave sufinancirana iz sredstava Europskog fonda za regionalni razvoj u sklopu Operativnog programa "Konkurentnost i kohezija" 2014.-2020., odabrani ponuditelj dužan je u provođenju ugovora sklopljenog po ovom predmetu nabave primjenjivati relevantne smjernice o informiranju i vidljivosti EU sufinanciranih projekata, Upute za korisnike sredstava: Informiranje, komunikacija i vidljivost projekata financiranih u okviru Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR), Europskog socijalnog fonda (ESF) i Kohezijskog fonda (KF) za razdoblje 2014.-2020. dostupnih na sljedećoj poveznici: <https://strukturnifondovi.hr/wp-content/uploads/2017/03/Upute-za-korisnike-zadnja-verzija.pdf>, odnosno inačicu tih smjernica koje će biti važeće u trenutku provedbe Ugovora.

Odabrani Ponuditelj (Izvršitelj) dužan je u okviru provedbe ugovora, a napose finalne isporučevine osigurati da ista ima sve elemente vidljivosti sukladno gore navedenoj Uputi.

Ostalo

Naručitelj će Izvršitelju ustupiti sve dostupne podatke te pomoći, u skladu s objektivnim mogućnostima, u organiziranju sastanaka s odgovarajućim institucijama i u prikupljanju podataka.

Sve podatke koji su Izvršitelju potrebni za provođenje projekta a Naručitelj ih mu ne može ustupiti, Izvršitelj je dužan pribaviti o svom trošku.

Rokovi izrade i prijedlog dinamike plaćanja

Rokovi pojedinih aktivnosti te prijedlog dinamike plaćanja su definirani kako slijedi:

IZVJEŠĆE / STUDIJA	ROK ZAVRŠETKA (Mjeseci od potpisa ugovora)	Plaćanje (%)
1. Uvodno izvješće	3	20% max
2. Priprema podloga za upravljanje rizicima od poplava mora	8	
3. Određivanje scenarija za upravljanje rizicima od poplava mora	10	
4. Uspostava modela za upravljanje rizicima od poplava mora	12	
5. Definiranje planskih parametara za upravljanje rizicima od poplava mora		
6. Završno izvješće i dodatni elektronički medij	14	20% min

Plaćanje će se provesti nakon što Izvršitelj preda odgovarajuće izvješće i prateće podatke kako je definirano ovim Projektnim zadatkom.

Pri iskazivanju cijene po pojedinim stavkama troškovnika Uvodno izvješće može biti **maksimalno 20 %** ukupne cijene ponude, a Završno izvješće **minimalno 20 %** ukupne cijene ponude.

Projektni zadatak izradio:

dr.sc. Darko Barbalić, dipl.ing.građ.

1 Poplave od mora

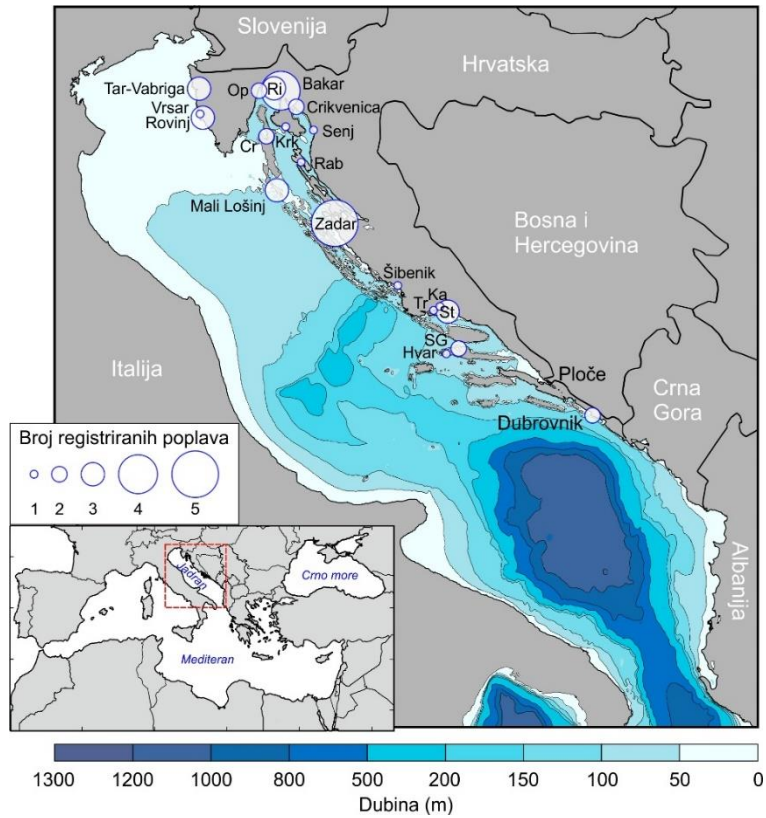
Unutar *Studije upravljanja rizicima od poplava mora – UPRIMO* analizirane su poplave sjeverne i istočne obale Jadrana izazvane ekstremno visokim razinama mora. Najpoznatije i najbolje istražene su Venecije poznate pod lokalnim nazivom „Acqua Alta“ (tal. Visoka voda) (Cavaleri, 2000.; Trincardi i sur., 2016.; Cavaleri et al., 2019.), a koje često imaju destruktivan efekt, povremeno rezultiraju i smrtnim slučajevima (Cavaleri et al., 2020.) te su navele gradske vlasti Venecije za pokušaju izraditi sustav brana za zaštitu od poplava „Mose“ koji je prvi put aktiviran 10. listopada 2020. godine kada je uspješno obranio Veneciju od poplave (<https://www.italymagazine.com/featured-story/venices-flood-barriers-project-mose-activated-first-time>). Iako manje istraživanene i manje poznate, poplave izazvane ekstremno visokim razinama mora javljaju se i na istočnoj, odnosno hrvatskoj obali jadranskog mora (primjerice Vilibić i Šepić, 2009.; Međugorac i sur., 2015., 2016., 2018.; Vilibić i sur., 2017.). U tablici 1.1 dan je popis takvih registriranih poplava u razdoblju od 1990.-2018. godine, a na slici 1.1 prikazane su odgovarajuće lokacije. Može se uočiti da poplave podjednako pogađaju čitav hrvatski dio obale Jadranskog mora. S obzirom na mjesec u kojem se pojavljuju, za očekivati je da je većina navedenih poplava izazvana sinoptičkim atmosferskim djelovanjem, tj. da je riječ o olujnim usporima (Međugorac i sur., 2015, 2016, 2018), dok se manji broj događaja potvrđeno može smatrati meteorološkim tsunamijima (Vilibić i Šepić, 2009.; Denamiel i sur., 2019.). Na slici 1.2 prikazan je primjer kronološkog niza pojave značajnih olujnih uspora na području Bakra i Venecije (Međugorac, 2018.) te visina rezidualnog dijela signala za značajnih događaja. Rezidualni dio signala predstavlja vremenski niz razina mora kojem je oduzet plimni signal. Naizgled je zamjetna intenzifikacija događaja tijekom 2010-ih, no istraživanja ukazuju da trend porasta broja događaja nije značajan (Međugorac, 2018.).

Ekstremno visoke razine Jadranskog mora u pravilu se mogu podijeliti u dvije kategorije te se mogu vezati uz dva atmosferska fenomena: (1) olujne uspore izazvane prolaskom dubokih ciklona nad područjem Jadrana te zajedničkim djelovanjem atmosferskog tlaka zraka i vjetera (Međugorac i sur., 2015., 2016., 2018.); (2) meteorološke tsunamije izazvane prolaskom mezoskalnih atmosferskih poremećaja tlaka zraka nad pogođenim područjem (Vilibić i Šepić, 2009.). Olujni uspori u pravilu zahvaćaju veće područje (red veličine do nekoliko stotina kilometara), duljeg su trajanja – nekoliko sati do par dana, i najčešće se mogu predvidjeti korištenjem združenih atmosferskih i oceanografskih modela (Cavaleri, 2020.). S druge strane, meteorološki tsunamiji u pravilu pogađaju manja izolirana područja (red veličine do nekoliko desetaka kilometara pa i manje) te se učestalo javljaju na istim mjestima pogodnih batimetrijsko-topografskih karakteristika primjerice u Veloj Luci na otoku Korčuli ili Stari Gradu na otoku Hvaru (Vilibić i Šepić, 2009.; Šepić i sur., 2016.), kraćeg su trajanja – nekoliko

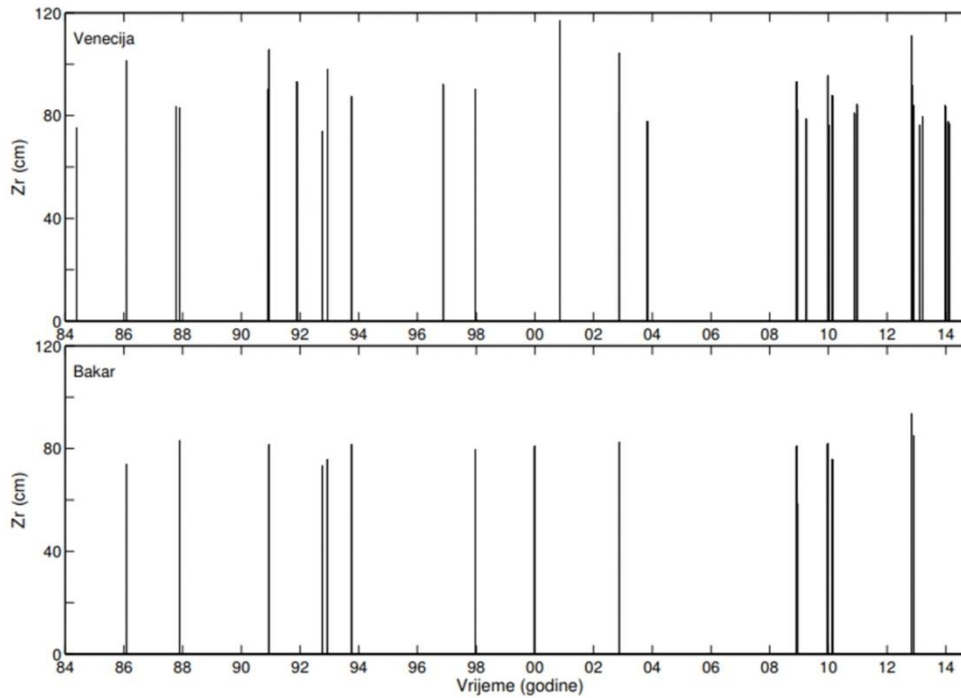
desetaka minuta, te ih je s trenutno dostupnim modelima i mjernim sustavima nemoguće kvalitetno (kvantitativno) prognozirati (Denamiel i sur., 2019.).

Tablica 1.1. Registrirane poplave od mora u razdoblju 1990.-2018.

DATUM POČETKA POPLAVNOG DOGAĐAJA	OPĆINA / GRAD	POVRŠINA (km ²)	TRAJANJE (dana)	IZVOR PLAVLJENJA	MEHANIZAM PLAVLJENJA	ŠIFRA POPLAVNOG DOGAĐAJA
20.10.1998	CRES	0.152	2	A17	A26	SE_1998_002
24.12.2000	SENJ	0.21	1	A17	A26	SE_2000_003
27.6.2003	STARI GRAD	NP	NP	A14	A26	SF_2003_001
27.6.2003	STON	NP	NP	A14	A26	SF_2003_002
22.8.2007	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2007_001
11.9.2007	BRINJE	0.806	5	A17	A26	SE_2007_003
15.8.2008	MALI LOŠINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2008_005
1.12.2008	RIJEKA	NP	NP	A14	A26	SE_2008_002
1.12.2008	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2008_006
1.12.2008	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2008_001
1.12.2008	TROGIR	NP	NP	A14	A26	SF_2008_002
2.8.2009	SPLIT	NP	NP	A14	A26	SF_2009_001
2.8.2009	DUBROVNIK	NP	NP	A14	A26	SF_2009_002
23.12.2009	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2009_018
23.12.2009	ROVINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2009_019
23.12.2009	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2009_003
31.12.2009	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2009_004
31.12.2009	SPLIT	NP	NP	A14	A26	SF_2009_005
31.12.2009	DUBROVNIK	NP	NP	A14	A26	SF_2009_006
19.2.2010	STARI GRAD	NP	NP	A14	A26	SF_2010_007
3.12.2010	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2010_011
3.12.2010	ROVINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2010_012
3.12.2010	ŠIBENIK	NP	NP	A14	A26	SF_2010_005
3.12.2010	SPLIT	NP	NP	A14	A26	SF_2010_008
3.12.2010	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2010_009_2
1.11.2012	RIJEKA	NP	NP	A14	A26	SE_2012_024
1.11.2012	CRIKVENICA	NP	NP	A14	A26	SE_2012_025
1.11.2012	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2012_026
1.11.2012	CRES	NP	NP	A14	A26	SE_2012_027
1.11.2012	RAB	NP	NP	A14	A26	SE_2012_028
10.2.2016	ROVINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2016_028
10.2.2016	TAR-VABRIGA	NP	NP	A14	A26	SE_2016_029
6.3.2016	TAR-VABRIGA	NP	NP	A14	A26	SE_2016_030
6.3.2016	VRSAR	NP	NP	A14	A26	SE_2016_031
6.3.2016	OPATIJA	NP	NP	A14	A26	SE_2016_032
16.6.2016	KAŠTELA	NP	NP	A14	A21	SF_2016_001
11.7.2017	MALI LOŠINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2017_018
11.9.2017	ZADAR	0.561	2	A11	A21, A24	SF_2017_001
11.9.2017	ZADAR	5.38	1	A12, A13	A21	SF_2017_002
29.10.2018	RIJEKA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_018
29.10.2018	OPATIJA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_019
29.10.2018	TAR-VABRIGA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_021
29.10.2018	CRIKVENICA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_022
29.10.2018	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2018_023
29.10.2018	MALI LOŠINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2018_024
29.10.2018	KRK	NP	NP	A14	A26	SE_2018_025
30.10.2018	HVAR	NP	NP	A14	A21	SF_2018_003



Slika 1.1. Prostorna raspodjela registriranih poplava od mora na hrvatskoj obali Jadrana



Slika 1.2. Vremenska raspodjela i visina iznimnih olujnih uspora u Veneciji (gore) i Bakru (dolje) - rezidualni dio signala (Međugorac, 2018.)

Na slici (Slika 1.3) dana je fotografija olujnog uspora koji se dogodio tijekom 1.-2. prosinca 2008. godine, a na slici 1.4 fotografije meteoroloških tsunamija zabilježenih na niz Jadranskih lokacija tijekom 1978. – 2014. godine.



Slika 1.3. Poplava na Trgu Sv. Marka (Venecija) i na ulicama Rijeke na dane 1-2. prosinca 2008 (izvor: internetski portali <https://hr.legaltechnique.org/> i <http://www.lokalpatriot-rijeka.com/>)

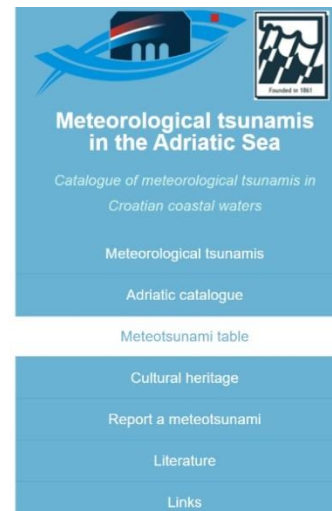


Slika 1.4. Fotografije uvala u kojima su se dogodili najrazorniji jadranski meteorološki tsunamiji, kao i fotografije nastale za samih događaja (Šepić, 2015.)

Za analizu ekstremno visokih razina mora olujnih uspora pogodna su mjerenja razine mora sa minimalno satnim vremenskim uzorkovanjem, dok su za analizu meteoroloških tsunamija nužno potrebna mjerenja razine mora s minutnom rezolucijom (Vilibić i sur., 2016a.). S obzirom na to da su 1-minutna mjerenja razine mora, kroz dovoljno dugo vremensko razdoblje, nedostupna za istočnu obalu Jadrana, a poglavito za najugroženije lokacije, trenutno nije moguće napraviti statističku analizu i izračunati povratne periode takvih meteoroloških tsunamija te su u sklopu ovog projekta neće dalje razmatrati doprinos meteoroloških tsunamija poplavama od mora. Ipak, preporučamo da se u budućnosti realiziraju projekti u kojima će se neovisno procijeniti i doprinos meteoroloških tsunamija poplavama od mora. Pri tome vrijedi napomenuti da već postoji katalog meteoroloških tsunamija vezan uz istočnu obalu jadranskog mora (Orlić i Šepić http://jadrان.izor.hr/~sepic/meteotsunami_catalogue). Isječak s web stranice može se vidjeti na slici (Slika 1.5).

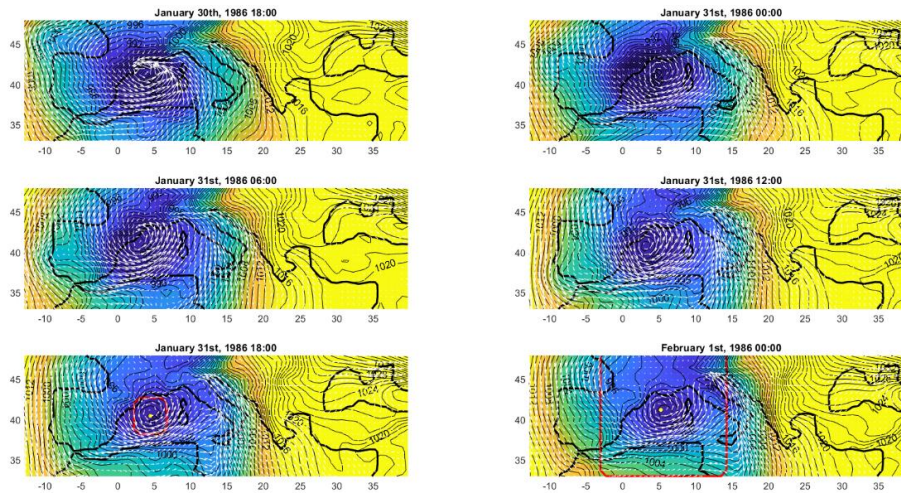
Meteotsunami table

Number	Location	Date	Height (m)	Onset time (LT)	Duration of the event (h)	Period of oscillations (min)	Comment	Quality indicator Q	Source
1	Vela Luka	21/7/1931	/	/	/	/	None	1	Tabain and Tabain (1994)
2	Vela Luka	28-29/5/1935	/	/	/	/	None	1	Tabain and Tabain (1994)
3	Vela Luka	12/9/1937	/	/	/	/	Storm surge at Bakar	1	Tabain and Tabain (1994)
4a	Vela Luka	11-12/11/1951	/	/	/	/	Storm surge at Bakar	1	Tabain and Tabain (1994)
4b	Stari Grad	11-12/11/1951	/	/	/	/	Storm surge at Bakar	1	Slobodna Dalmacija (14/11/1951)
4c	Vrboska	11-12/11/1951	/	/	/	/	Storm surge at Bakar	1	Slobodna Dalmacija (14/11/1951)
4d	Jelsa	11-12/11/1951	/	/	/	/	Storm surge at Bakar	1	Slobodna Dalmacija (14/11/1951)
5	Vela Luka	21/7/1956	/	/	/	/	None	1	Tabain and Tabain (1994)
6	Korčula and the channel	27/8/1966	1.85	16.00	2	15	None	2	Vjesnik (29/8/1966)

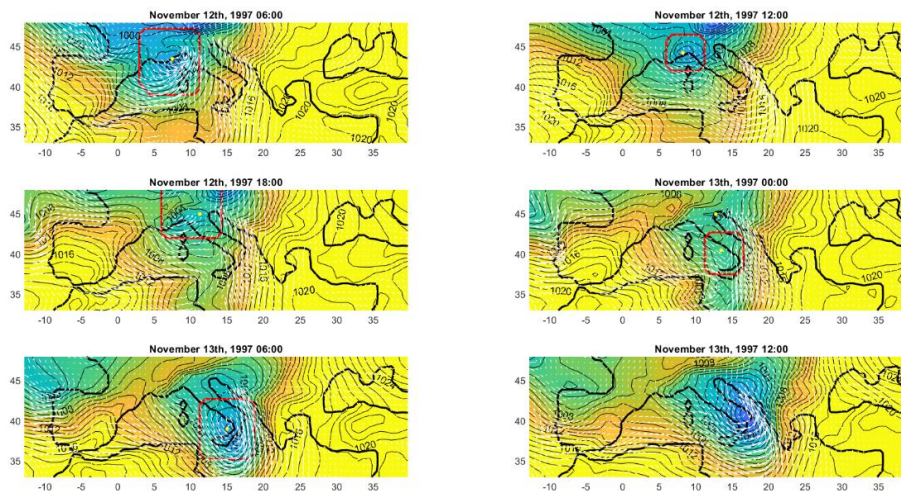


Slika 1.5. Dio web stranice „Meteorological tsunamis in the Adriatic Sea“ (izvor: http://jadrان.izor.hr/~sepic/meteotsunami_catalogue)

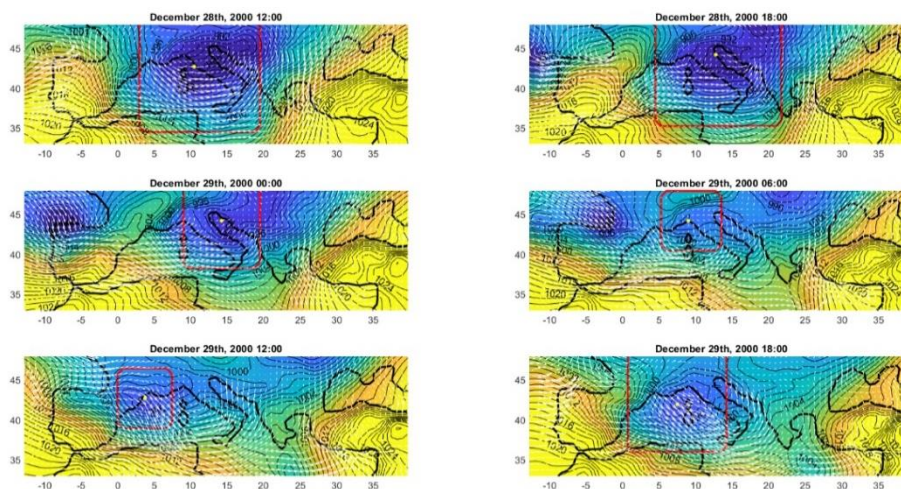
Poplave na obalama Jadranskog mora izazvane olujnim usporima u pravilu nastaju kada se nad područje Jadrana nadvije duboka ciklona (najčešće nastala u Genovskom zaljevu). Uslijed inverznog barometarskog efekta (podizanje razine mora za ~ 1 cm za svako sniženje tlaka zraka od 1 hPa) i napuhivanja mora prema sjevernoj i istočnoj obali Jadrana zbog puhanja vjetrova južnog do jugoistočnog smjera („jugo“) dolazi do značajnog podizanja razine mora na sjevernoj te na istočnoj obali Jadranskog mora (Međugorac i sur., 2018.; Vilibić i sur., 2017.). Tipična sinoptička situacije za koje dolazi do olujnih uspora na sjevernom Jadranu prikazana je na slici (Slika 1.6), dok su tipične sinoptičke situacije za kojih dolazi do olujnih uspora na srednjem i južnom Jadranu prikazane grafički (Slika 1.7, Slika 1.8). Jasno je vidljivo je da su olujni uspori povezani s poljima niskog tlaka zraka zapadno od pogođenih lokacija, te vjetrom koji je usmjeren ravno prema pogođenoj lokaciji.



Slika 1.6. Sinoptička situacija prije i tijekom ekstremno visokog olujnog uspora od 1. veljače 1986. zabilježenog u Veneciji (Dević i sur., 2021.)

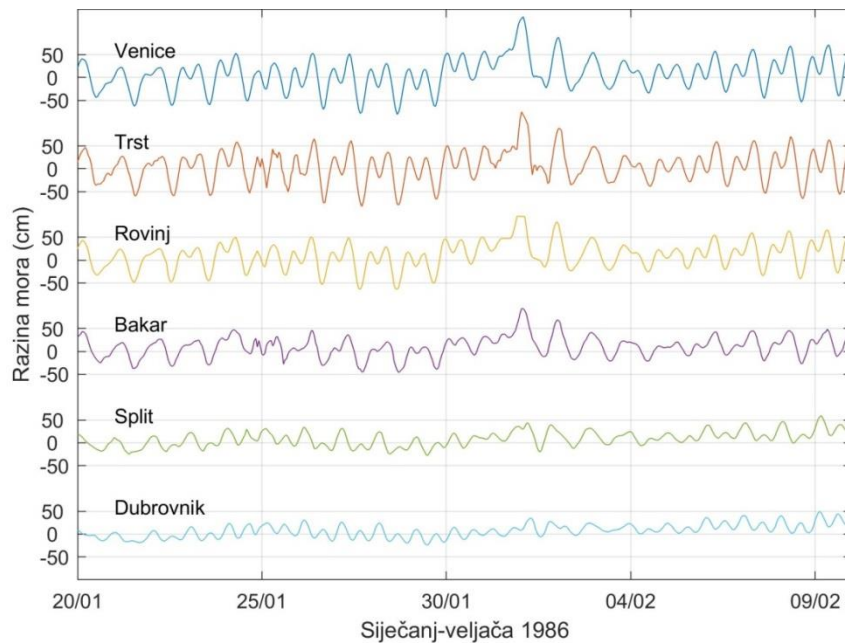


Slika 1.7. Sinoptička situacija prije i tijekom ekstremno visokog olujnog uspora od 13. studenog 1997. zabilježenog u Splitu (Dević i sur., 2021.)

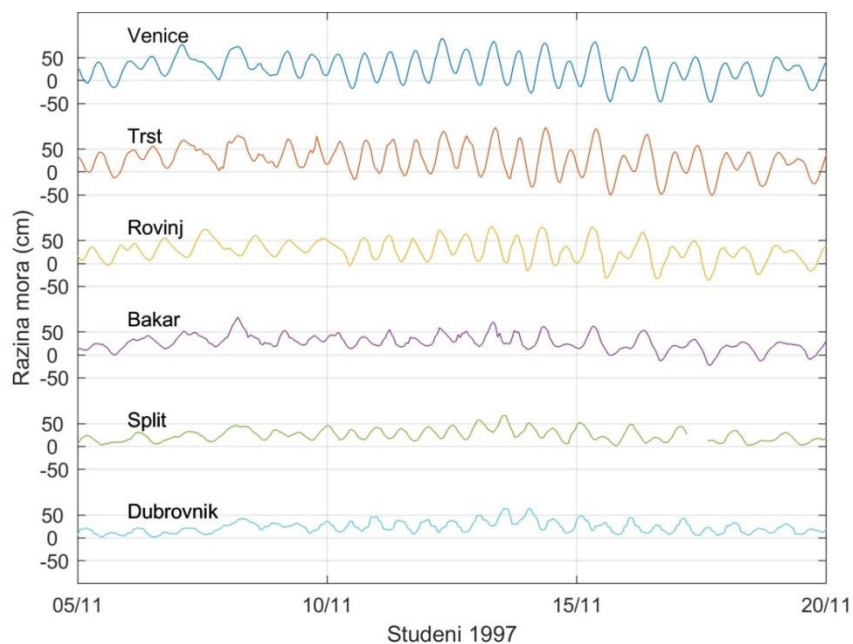


Slika 1.8. Sinoptička situacija prije i tijekom ekstremno visokog olujnog uspora od 29. prosinca 2000. zabilježenog u Dubrovniku (Dević i sur., 2021.)

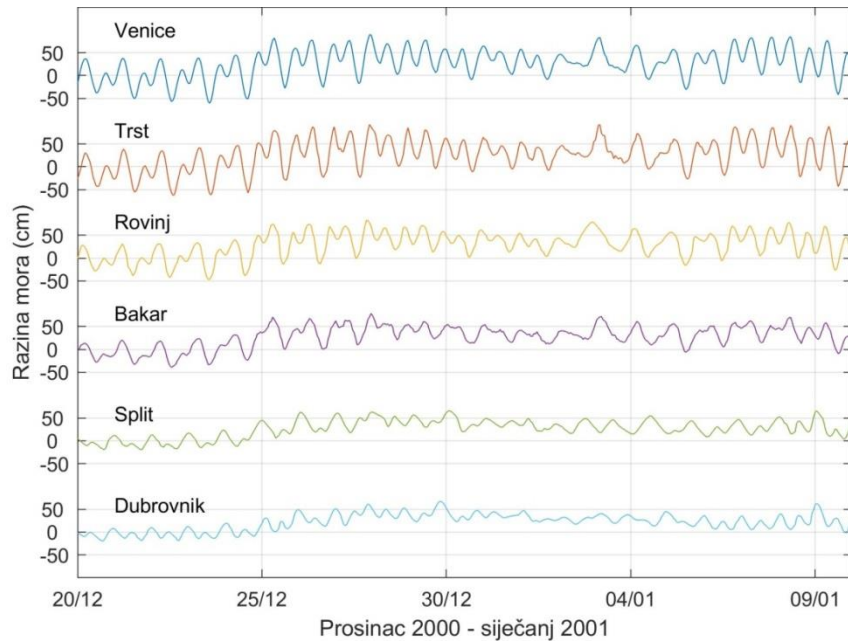
Na slikama (Slika 1.9 do Slika 1.11) prikazani su mjereni nizovi razine mora zabilježeni za vrijeme gore navedenih olujnih uspora, a na slici (Slika 1.12) izmjereni vodostaji za vrijeme poplave iz 1966. godine (Međugorac, 2018.). Za potonjeg događaja zabilježena je najviša razina mora u Veneciji u razdoblju za koja postoje mjerenja razine mora (Trincardi i sur., 2016.).



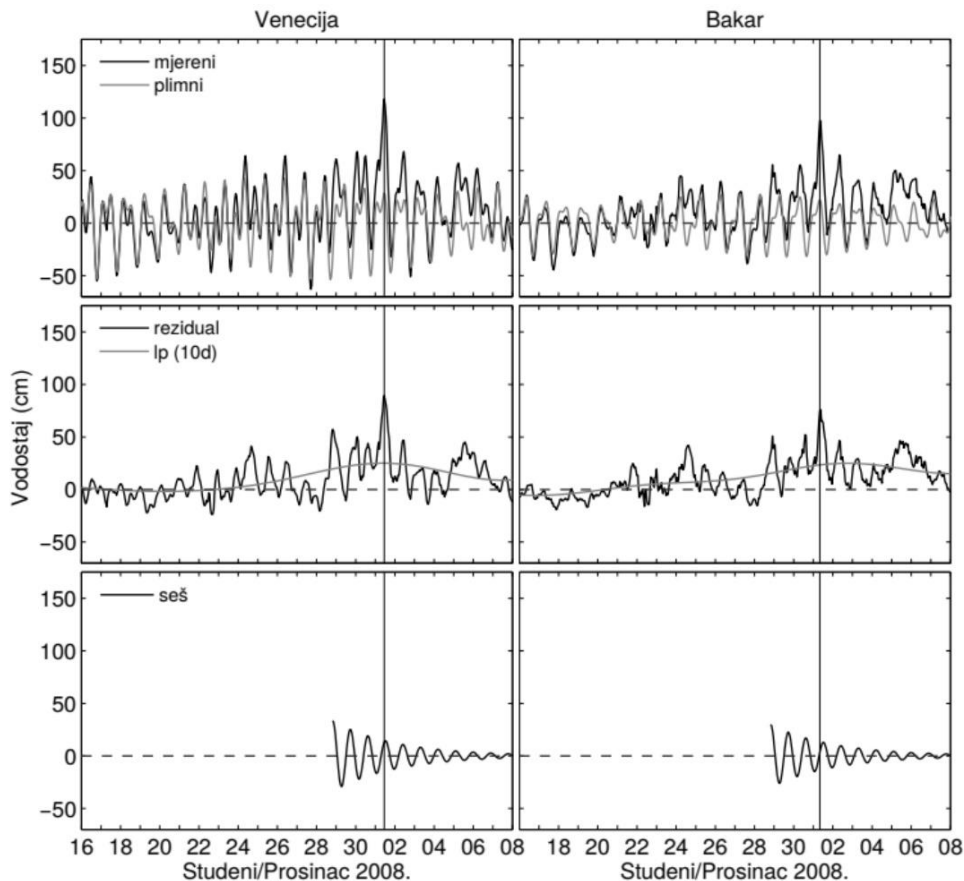
Slika 1.9. Izmjereni vodostaji za vrijeme olujnog uspora na sjevernom Jadranu od 1. veljače 1986. (Dević i sur., 2021.)



Slika 1.10. Izmjereni vodostaji za vrijeme olujnog uspora na srednjem Jadranu od 13. studenog 1997. (Dević i sur., 2021.)

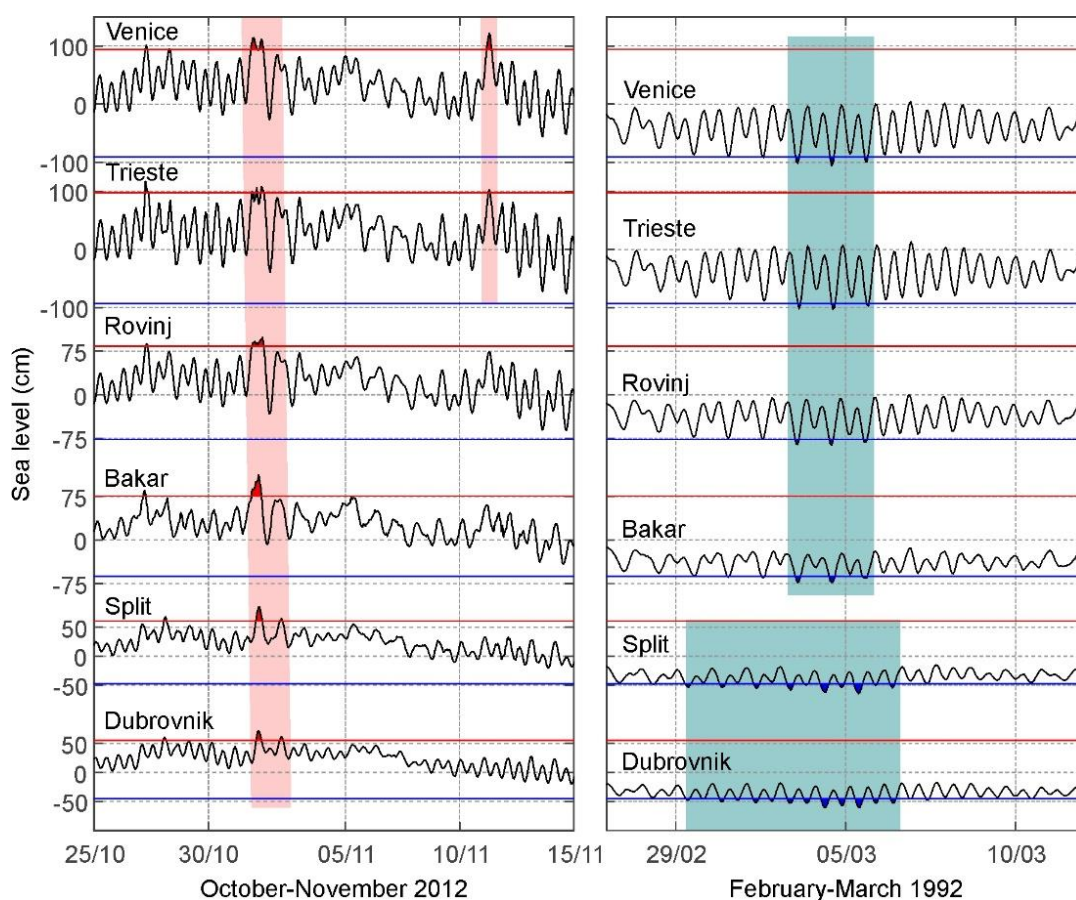


Slika 1.11. Izmjereni vodostaji za vrijeme olujnog uspora na južnom Jadranu od 29. prosinca 2000. (Dević i sur., 2021.)



Slika 1.12. Izmjereni vodostaji za vrijeme rekordnog olujnog uspora na sjevernom Jadranu od 4. studenog 1966. (Međugorac, 2018.)

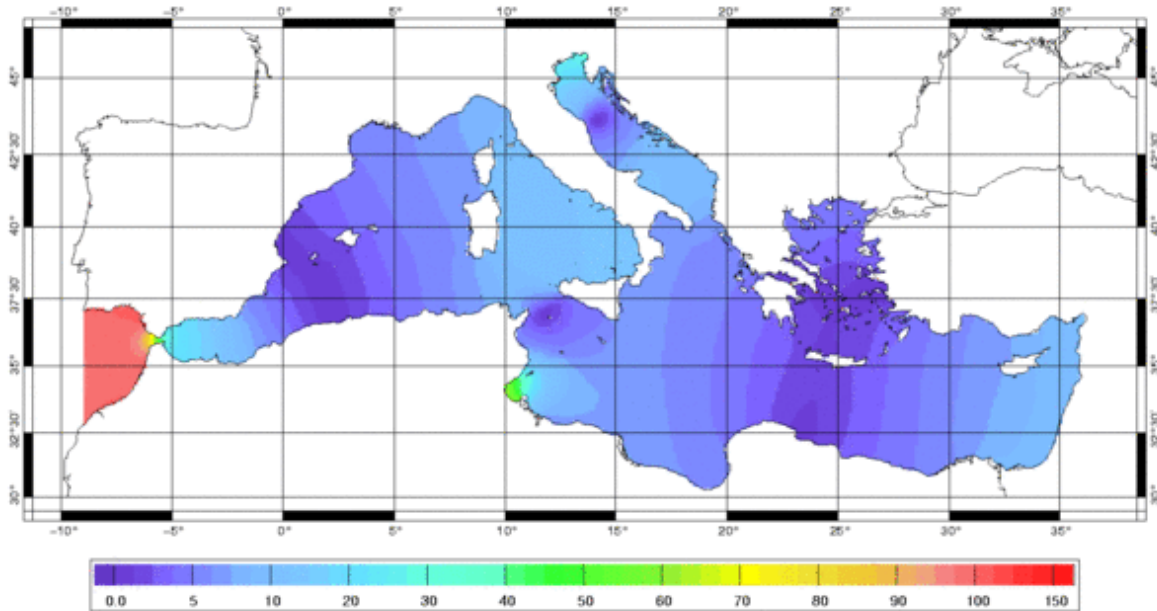
Na slikama (Slika 1.9 do Slika 1.12) vidljivo je da izuzev sinoptičkih procesa (odnosno prolaska ciklona nad Jadrantom) i dodatni procesi sudjeluju u pojavi ekstremno visokih razina mora – ti dodatni procesi su oscilacije razine mora na periodima duljim od 10 dana te plimne oscilacije (Pasarić i sur., 2000.; Pasarić i Orlić, 2001.; Vilibić i sur., 2017.). Na periodima duljim od 10 dana na razinu mora djeluju sporo-propagirajući atmosferski planetarni valovi koji mogu podignuti pozadinsku razinu mora i za više od 30 cm (Pasarić i Orlić, 2001.) te na taj način stvaraju pogodne uvjete za pojavu poplava uslijed prolaza ciklone. Sa slike (Slika 1.13) je vidljivo da se ekstremno visoke razine mora najčešće bilježe kad je pozadinska (na periodima duljim od 10 dana) razina mora već podignuta uslijed navedenih procesa.



Slika 1.13. (lijevo) Primjer satnih vremenskih nizova mjerenih na postajama Venecija, Trst, Rovinj, Bakar, Split i Dubrovnik, a koji sadrže ekstremno visoke razine mora. Crvenom linijom označena je razina mora od 99.95 percentila procijenjena za svaku postaju posebno. Svijetlo crvenom bojom označeni su periodi tijekom kojih su zabilježene ekstremne razine mora zabilježene na jadranskim mareografskim postajama (Šepić i sur., 2021.).

Plimne oscilacije javljaju se zbog privlačnog gravitacijskog djelovanja Mjeseca i Sunca na oceane – u Mediteranu su plimne oscilacije izazvane plimnim oscilacijama Atlantskog oceana koje se kroz Gibraltar prenose u Mediteran (Pugh, 1996.; Arabelos i sur., 2011.), te su u Mediteranu u pravilu slabe (20-30 cm, Lozano i Candela, 1995.; Tsimplis i sur., 1995.).

Izuzetak predstavljaju područja Tuniškog zaljeva gdje raspon plimnih oscilacija može doseći i više od 2 m (Othmani i sur., 2017.; Sammari i sur., 2006.) i Jadrana, i to poglavito sjevernog Jadrana (Polli, 1959.; Janeković i sur., 2003.) gdje plimne oscilacije mogu doseći i 1.2 m. Na slici (Slika 1.14) prikazana je prostorna razdioba amplitude M2 komponente plimnih oscilacija u Mediteranu.

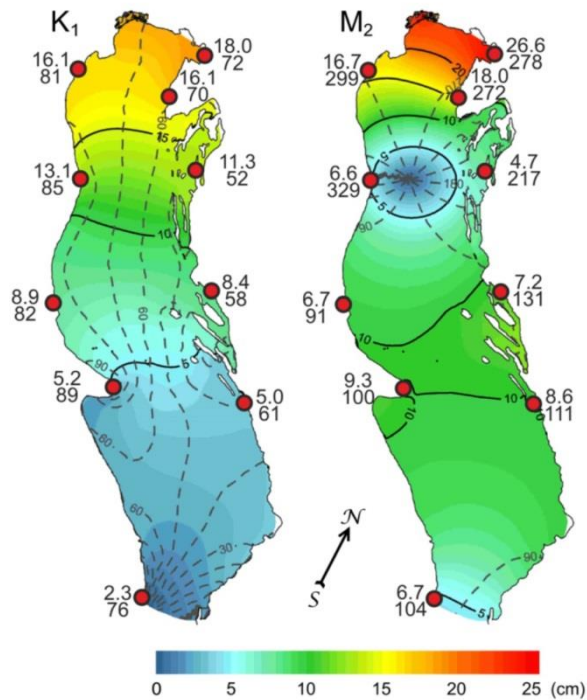


Slika 1.14. Amplituda M2 komponente plimnih oscilacija (izvor: <https://www.avisio.altimetry.fr/>)

U Jadranu se za značajne tradicionalno uzima 7 plimnih komponenti, 4 poludnevne (M2, S2, N2, K2) i 3 dnevne (K1, O1, P1) koje najviše doprinose visini plimnog signala (Medvedev i sur., 2020.). U tablici (Tablica 1.2) dan je popis značajnih plimnih komponenti za Jadransko more kao i njihove amplitude i faze na lokacijama mareografskih postaja, a na slici (Slika 1.15) prikazana je prostorna distribucija plimnih oscilacija u Jadranu dobivena temeljem analize podataka sa mareografskih postaja.

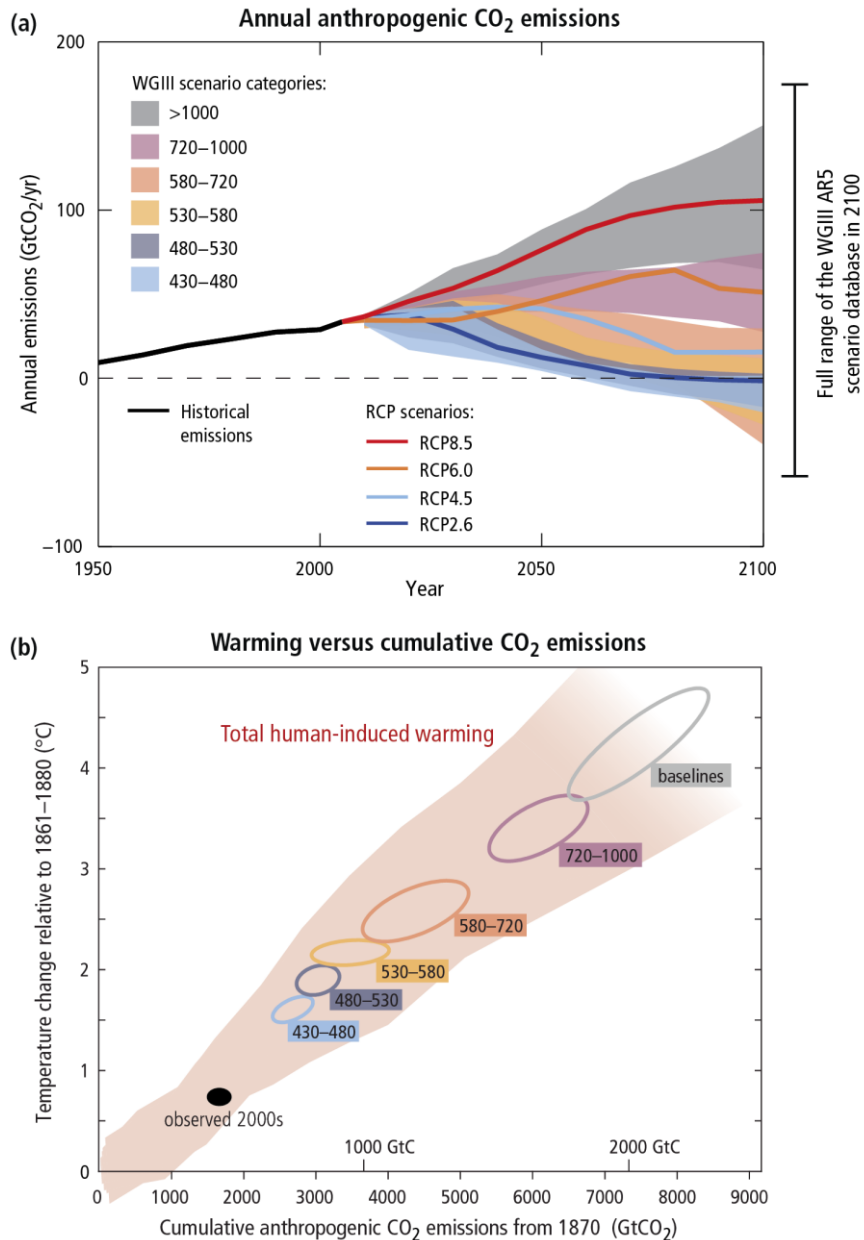
Tablica 1.2. Amplituda i faza značajne plimnih komponenti na Jadranu (Medvedev i sur., 2020.)

MAREOGRAF	O1		P1		K1		N2		M2		S2		K2	
	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)
TRST	5,31	47	5,96	52	17,97	57	4,49	248	26,59	249	15,92	256	4,76	251
ROVINJ	4,91	45	5,41	51	16,10	55	3,06	243	17,97	243	10,55	249	3,24	245
ZADAR	3,35	28	3,60	35	11,34	37	0,91	197	4,68	188	2,77	188	0,78	175
SPLIT	2,67	32	2,85	39	8,35	43	1,16	104	7,21	102	5,07	103	1,54	100
DUBROVNIK	1,77	33	1,72	44	4,96	46	1,41	83	8,58	82	5,41	88	1,58	85



Slika 1.15. Prostorna razdioba amplituda i faza komponenti M2 i K1 plimnih oscilacija u Jadranskom moru (Medvedev i sur., 2020.)

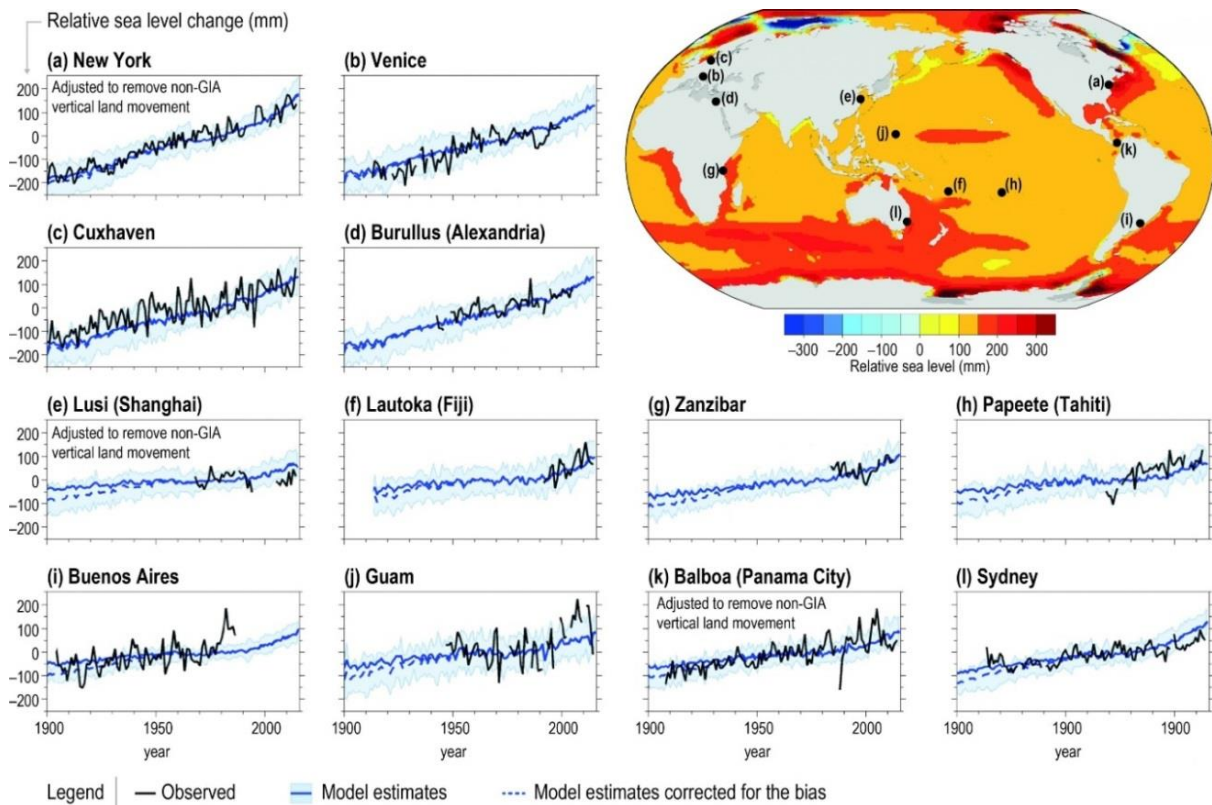
Za procijenu utjecaja klimatskih promjena na ekstremno visoke razine mora duž jadranske obale moguće je koristiti rezultate numeričkih klimatoloških oceanografskih modela za područje Jadranskog mora koji daju procjenu porasta visine mora. Odabrani relevantan srednji modelirani porast razine mora (srednja vrijednost porasta razine mora u promatranom razdoblju) nadodaje se na prethodno izračunate raspodjele ekstremnih razina mora, te se time dobivaju očekivane ekstremne razine mora u budućem razdoblju, uz uvažene klimatske promjene. Tijekom posljednjih 120 godina bilježi se kontinuiran rast razine mora na globalnoj razini, uz ubrzanje rasta tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Oppenheimer i sur. (2019.) navode da je srednji porast razine mora tijekom 1901-1990. godine iznosi 1.4 mm/godina, tijekom 1970-2015. je iznosio 2.1 mm/godina, tijekom 1993-2015. je iznosio 3.2 mm/godina, a tijekom 2006-2015. čak 3.6 mm/godina. Procjena porasta bazirana je na mareografskim i satelitskim (od 1993) mjerenjima. Dominantan uzrok porasta razine mora trenutno je topljenje ledenjaka i ledenih pokrova (grenlandski i antartički ledeni pokrov), a nešto manje širenje volumena uslijed zagrijavanja oceana. Očekivani daljnji porast razine mora uvelike će ovisiti o emisiji stakleničkih plinova odnosno o njihovoj budućoj koncentraciji u atmosferi (eng. „representative concentration pathway“). Tradicionalno se prognozira porast razine mora (i druge klimatske promjene) za četiri scenarija buduće koncentracije stakleničkih plinova: RCP2.6 (smanjenje emisije stakleničkih plinova, počevši od 2020. do 2100. – s dolaskom na nulu 2100. godine), RCP4.5 (smanjenje emisije stakleničkih plinova počevši od 2040), RCP6.0 (smanjenje emisije stakleničkih plinova počevši od 2080) i RCP8.5 (povećanje emisije stakleničkih plinova) (Slika 1.16).



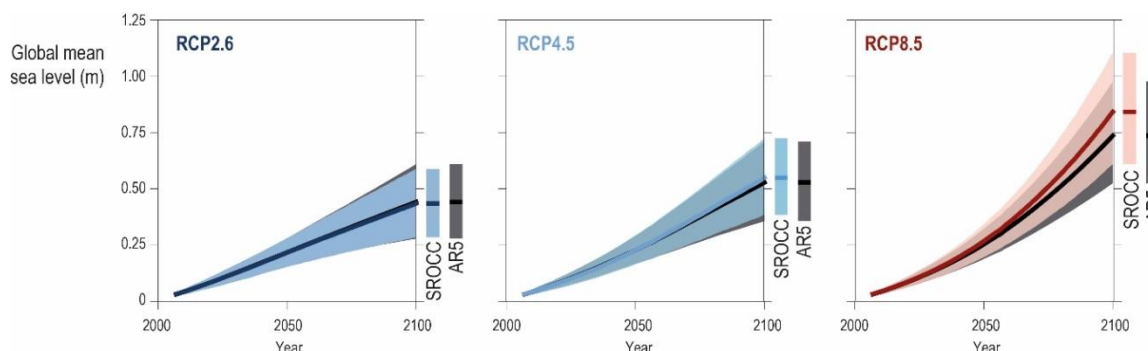
Slika 1.16. (gornja slika) Koncentracija CO₂ u atmosferi u ovisnosti o scenariju emisije stakleničkih plinova (IPCC, 2014.)

Na slici 1.17 prikazan je zabilježeni i modelirani porast razine mora diljem svjetskih oceana i mora za razdoblja od 1900 do 2015. godine (Oppenheimer i sur., 2019.). Na slici 1.18 prikazana je prognozirana relativna promjena razine mora za scenarije RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5, kao i pripadni intervali pouzdanosti. Prognozirani srednjak dobiva se usrednjavanjem rezultata niza numeričkih klimatoloških oceanografskih modela (Oppenheimer i sur., 2019.). Na slici (Slika 1.18) prikazana je regionalna razdioba relativne promjene razine mora za dva perioda: 2046.-2065., i 2081.-2100., i za tri emisijska scenarija: RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5 (Oppenheimer i sur., 2019.). Evidentno je da se na području Jadrana očekuje srednji porast razine mora u iznosu od 20 do 80 cm do kraja 21. stoljeća. Uslijed očekivanog porasta razine

mora, ekstremno visoke razine mora će postati puno učestalije. Očekuje se da će se ekstremne razine mora s povratnim periodom od 100 godina do kraja 21. stoljeća povećati za 50-90 cm, te da će se epizode ekstremnih razina mora koje trenutno imaju povratni period od 100 godine, do 2100. godine, imati povratni period od svega 3 godine (Voussdoukas i sur., 2017.).



Slika 1.17. Vremenski nizovi izmjereng i modeliranog porasta razine mora na niz mareografskih postaja (uključena i Venecija); te modelirana globalna distribucija relativne promjene razine mora, sve za razdoblje 1900-2015. (Oppenheimer i sur., 2019)



Slika 1.18. Globalni porast razine mora (srednjak i intervali pouzdanosti) za tri klimatska scenarija. (Oppenheimer i sur., 2019)

1.1 Scenariji definirani projektnim zadatkom

Obzirom da je intencija UPRIMO projekta sagledavanje šireg konteksta utjecaja poplava od mora, u smislu detekcije zona poplavljanja pri ekstremno visokim razinama mora sa doprinosom gravitacionih vjetrovnih valova i utjecajem ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode, proveden je niz numeričkih modelskih simulacija podjeljenih u tri cjeline:

1. Numeričko modeliranje ekstremno visokih razina mora (poglavlje 3 ovog izvještaja)
2. Numeričko modeliranje ekstremnih vjetrovnih valova (poglavlje 4 ovog izvještaja)
3. Numeričko modeliranje utjecaja ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode (poglavlje 5 ovog izvještaja)

U sklopu projektnog zadatka definirano je ukupno 18 scenarija za provedbu numeričkih analiza sa kojima se simulira potencijal plavljenja priobalja putem poplava od mora:

- a) Scenarij male (povratno razdoblje 1000 godina), srednje (povratno razdoblje 100 godina) i velike (povratno razdoblje 25 godina) vjerojatnosti, sa i bez utjecaja klimatskih promjena (ukupno 6 scenarija);
- b) Scenariji očekivanih mjesečnih stanja mora za planirano 5 godišnje razdoblje (12 scenarija).

Kako bi se provele željene numeričke modelske analize prema navedenim scenarijima, prikupljane su odgovarajuće podloge.

2 Prikupljanje podloga za potrebe projekta UPRIMO

U skladu sa projektnim zadatkom i ciljevima projekta UPRIMO pribavljene su sljedeće podloge potrebne za razvoj sustava upravljanja rizicima od poplava mora:

- a) podaci o razinama mora sa mareografskih postaja Rovinj, Bakar, Zadar, Split, Ploče, Dubrovnik, Golubinka, Prosika, Neretva-Ušće, sa kojih su prikupljene izmjerene razine mora sa satnom vremenskom razlučivošću tijekom razdoblja od početka 1990. godine do kraja 2019. godine, ili od početka rada mareografa do kraja 2019. godine.
- b) podaci o dubinama mora (batimetrija) i visinama nadmorja do 10 m n.m., uključujući infrastrukturne elemente (prometnice) u obalnom dijelu;
- c) podaci geodetskog snimka geometrije korita za područja prijelaznih voda;
- d) podaci o pozicijama podmorskih ispusta komunalnih i industrijskih otpadnih voda uz informacije o broju priključenih stanovnika na pojedinom sustavu javne odvodnje (zadnje registrirano stanje 2012. godine);
- e) podaci o pozicijama uzgajališta bijele morske ribe, tune i školjkaša u područjima prijelaznih i priobalnih voda;
- f) podaci o osnovnim sedimentnim obilježjima dna Jadrana;
- g) podaci o nasipavanju mora uz obalu iz postojećih regionalnih programa uređenja i upravljanja morskim plažama;
- h) podaci o Lukama i lučkoj infrastrukturi na području koje pripada lukama otvorenim za javni promet od osobitog gospodarskog interesa za RH (Rijeka, Zadar, Šibenik, Split, Ploče i Dubrovnik);
- i) podaci o većim industrijskim kompleksima (IED, SEVESO i UPOV, stanje iz 2019. godine) koji se nalaze u zoni potencijalnog plavljenja od mora;
- j) podaci o izmjerenoj vertikalnoj raspodjeli saliniteta mora (razlučivost 0,5m) temeljem monitoringa provedenog u razdoblju 11.2007.-11.2008. na cca 85 postaja u području hrvatskog probalja (referentno stanje bez klimatskih promjena). Podaci o utjecaju klimatskih promjena na salinitet mora za dekadu 2090.-2100. i tri scenarija: RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5. Također se prikazuju i izmjereni podaci vertikalne raspodjele saliniteta mora za niz lokacija iz monitoring programa u području iz monitoring prijelaznih i priobalnih voda RH tijekom razdoblja 2012. – 2019.;
- k) Podaci o karakteristikama obalne linije podjelom na „prirodnu“ obalu (bez ljudskih građevnih intervencija - šljunčana, kamena, pješćana ...) i „izgrađenu“ obalu (posljedica ljudskih intervencija u smislu izvedbe hidrotehničkih građevina);
- l) Podaci o područjima eksploatacije ugljikovodika.

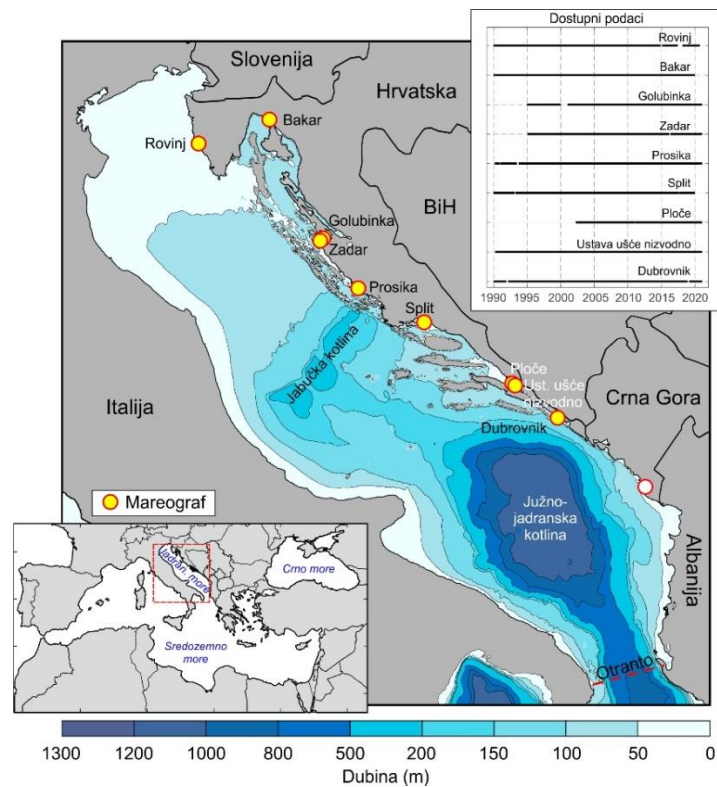
2.1 Mjerene razine mora za razdoblje od 1990. do 2020.

Kontinuirana mjerene razine mora u Jadranu započela su 1854. godine u Trstu (Vilibić i sur., 2005.), dok su kontinuirana mjerenja razine mora na hrvatskoj obali Jadrana započela 1929. godine kada je Prirodoslovno-matematički fakultet instalirao do danas aktivnu mareografsku postaju u Bakru, a Hrvatskih hidrografske institut mareografsku postaju u Splitu koja je nažalost uništena za vrijeme bombardiranja tijekom Drugog svjetskog rata. Tijekom 1955/56., uspostavljena je mreža stalnih mareografskih postaja koju su uz već spomenutu postaju Bakar i obnovljenu postaju Split, činile postaje Hrvatskog hidrografskog instituta Rovinj i Dubrovnik, te postaja Instituta za oceanografiju i ribarstvo (Split) Split-Marjan. Tijekom narednog razdoblja Hrvatski hidrografski institut instalirao je još niz mareografskih postaja, od kojih su brojne prestale s mjerenjima (postaja Vis tijekom 1957.; <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1954.php>; postaja Ušće Neretve tijekom 1957., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1951.php>; postaja Mali Ston tijekom 1957.-1959., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/894.php>; postaja Broce tijekom 1957.-1959., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/893.php>; postaja Ubli tijekom 1987.-1991.; <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1718.php>; postaja Sučuraj od 1987. Do 2005., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1706.php>; postaja Zirje od 1989. Do 1991., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1756.php>; postaja Zlarin od 1983. do 1988., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1578.php>; postaja Gaženica od 1983. do 1988., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1577.php>; postaja Rijeka tijekom 1998.-1999., <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1906.php>), dok dvije kontinuirano mjere do danas (mareografska postaja Zadar od 1994. do danas, <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1859.php>; postaja Ploče od 2006 do danas, <https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1945.php>). Na hrvatskoj obali Jadrana dostupni su podaci s još tri mareografske postaje, koje su sve u vlasništvu Instituta za oceanografiju i ribarstvo, i to postaje Vela Luka (otok Korčula), Stari Grad (otok Hvar) i Sobra (otok Mljet) koje su instalirane u sklopu projekta MESSI u svrhu praćenja meteoroloških tsunamija, te za koje su 1-minutni podaci dostupni od sredine 2017. godine (<http://jadrان.izor.hr/~sepic/messi>, http://faust.izor.hr/autodatapub/postaje_r).

Od strane Hrvatskog Hidrografskog Instituta pribavljeni su satni nizovi razine mora mjereni na mareografskim postajama Rovinj, Zadar, Split, Ploče i Dubrovnik. Nizovi za Rovinj, Split i Dubrovnik dostupni su za čitavo traženo razdoblje (od početka 1990. godine do kraja 2019. godine), dok je niz za Zadar dostupan za razdoblje od 1994. do kraja 2019. godine, a za Ploče za razdoblje od 2006. do kraja 2019. godine (Slika 2.1). Od Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pribavljeni su satni nizovi razine mora mjereni na mareografskoj postaji Bakar – ovaj niz je dostupan za čitavo traženo

razdoblje (Slika 2.1). Od Hrvatskih voda preuzeti su podaci sa mareografskih postaja Golubinka (1995. - 2020.), Prosika (1990.-2020.) i Mala Neretva (1990.-2020.). Svi navedeni podaci pripremljeni su u satnoj rezoluciji podataka i „xlsx“ i „txt“ formatu, te se kao takvi isporučuju investitoru na digitalnom mediju.

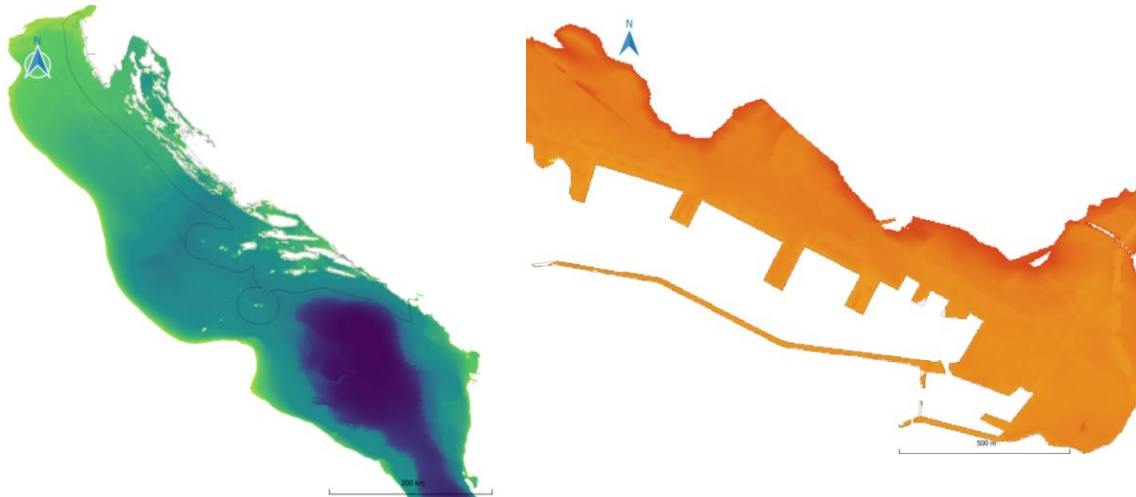
Obzirom da javno publiciranje podataka u satnoj rezoluciji nije dozvoljeno temeljem tropartitivnog ugovora sklopljenog između HV, HHI i GFZ, te HV, PMF-Zagreb i GFZ (mareografi Rovinj, Bakar, Zadar, Split, Ploče, i Dubrovnik), za navedene postaje u sklopu GIS sučelja podastiru se samo vremenski nizovi mjesečnih srednjaka, mjesečnih minimuma i mjesečnih maksimuma za pripadno razdoblje mjerenja. Stoga je u GIS pregledniku formirana grupa podataka pod imenom „Mareografi mjesečni_SR-MIN-MAX 1990-2020“. Unutar nje formirani su točkasti vektorski slojevi, za svaku mareografsku postaju ponaosob (Rovinj.shp, Bakar.shp, ..., Dubrovnik.shp). U pratećim atributnim tablicama u kolonama su dane oznake vremena (godine i mjeseca) i pripadne srednje, minimalne i maksimalne vrijednosti.



Slika 2.1. Lokacije aktivnih hrvatskih mareografskih postaja s kojih su podaci korišteni u Studiji upravljanja rizicima od poplava mora; te (gore desno) vremenska dostupnost satnih nizova razine mora

2.2 Dubine mora i visinske kote

Provedena je obrada/sistematizacija raspoloživih podataka (podaci batimetrijske izmjere i drugih dostupnih podataka poput EMODnet – službena EU verzija batimetrije), te je izrađen model dubina od 20 m do najvećih dubina Jadrana u rasterskom formatu „tiff“ (Slika 2.2). Navedeni podaci isporučeni su u datoteci „Dubine veće od -20m.tif“ u prostornoj rezoluciji 100 m x 100 m (veličina piksela). Model tj. rasterska matrica je dimenzija 6362 x 6285 piksela i isporučena je u HTRS96/TM projekciji i referentnom sustavu 1971 (HVR571). Za dubine od 0 do -30m koristiti će se i najnovije dostupne tehnologije i metode poput satelitske batimetrije (engl. Satellite Derived Bathymetry – SDB) na bazi satelitskih snimaka Sentinel-2. Izrađeni model dubina od 0 do 30 m je u rasterskom formatu „tiff“. Navedeni podaci isporučeni su u datoteci „Dubine od 0 do -30m.tif“. Model tj. rasterska matrica isporučena je u HTRS96/TM projekciji i referentnom sustavu 1971 (HVR571).



Slika 2.2. Prikaz GIS preglednika s rasterskim slojem u kojem su dani podaci o dubini mora od -20 m do najvećih dubina sa prostornom rezolucijom podataka od 100m (lijevo), te rasterskog sloja za detalj luke Rijeka (desno) u kojem su dani podaci visina od 0 do 10 m.nm. s prostornom rezolucijom podataka od 10m (desno)

Nadalje, provedena je i obrada/sistematizacija raspoloživih podataka (fotogrametrijska restitucija prikupljena iz aerofotogrametrijskog snimanja i kupljena od Državne Geodetske Uprave) te je izrađen digitalni modela visina (DEM) do 10 m nadmorske visine u rasterskom formatu „tiff“. Digitalni model reljefa (DMR) predstavlja skup položajno i visinski određenih točaka i geometrijskih elemenata poput prijelomnica, linija oblika i površina isključenja potrebnih za prikaz Zemljine površine. DEM je napravljen interpolacijom vektorskih podataka DMR-a prikupljenih fotogrametrijskom stereoizmjerom temeljem zračnih snimaka prostorne rezolucije od oko 30 cm (engl. Ground sampling distance – GSD). Navedeni podaci isporučeni su u datoteci „Visine od 0 do 10m.tif“ (Slika 2.2) u prostornoj rezoluciji 5 m x 5 m (veličina

piksela). DEM tj. rasterska matrica je dimenzija 111616 x 93381 piksela i isporučena je u HTRS96/TM projekciji i referentnom sustavu 1971 (HVR571).

Osim navedenih rasterskih slojeva priložen je i vektorski sloj „Luke_i_uvale_izobate.shp“ u kojima su dane izobate za 30 lokacija luka i uvala u zoni teritorijalnog mora RH. Izobate imaju maksimalnu visinsku razlučivost od 1m.

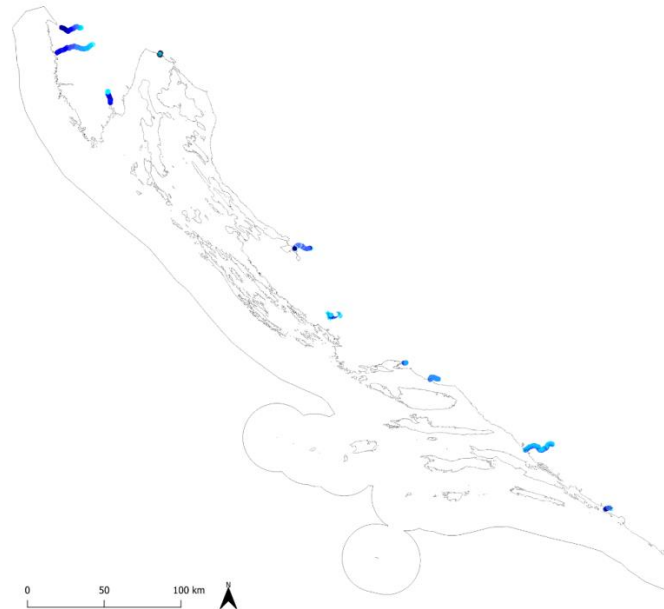
2.3 Geometrija korita na području prijelaznih voda

Prikupljeni su podaci geometrije korita za područja prijelaznih voda: Dragonja, Mirna, Raša, Rječina, Zrmanja, Krka, Jadro, Cetina, Neretva i Ombla. Neka od područja prijelaznih voda su u potpunosti pokrivena službenim geodetskim snimkama poprečnih profila korita (Dragonja, Mirna, Raša, Rječina, Jadro, Neretva), neka djelomično (Cetina), dok za područje rijeke Zrmanje, Krke i Omble nisu dostupne službene geodetske snimke. Pritom, za područje rijeke Krke postoji snimak dubina Prokljanskog jezera. U slučaju nedostajućih podataka, koristile su se izobate iz javno dostupnih nautičkih karata (Navionics). U GIS pregledniku formirana je grupa podataka pod imenom „Prijelazne vode“ sa zasebnim podgrupama za svako prijelazno područje („Dragonja“, „Raša“, ..., „Ombla“) u kojima su formirani odgovarajući vektorski slojevi. Pritom, za neka su područja dani samo točkasti vektorski slojevi (npr. Dragonja-tocke.shp), a za neka kombinacija točkastih i linijskih vektorskih podataka (npr. Mirna-tocke.shp i Mirna-pop_profili.shp, Slika 2.3). U pratećim atributnim tablicama točkastih vektorskih podataka u stupcu „z“ dane su vrijednosti dubina dna (u visinskom referentnom sustavu HVR571).

Geometrija korita rijeke Dragonje preuzeta je iz dokumenta „Geodetska izmera prečnih profilov na reki Dragonji“ (ARSO, 2017.). Izvorni podaci su dani u vektorskom obliku kao niz georeferenciranih visinskih točaka poprečnih profila korita rijeke (DXF i ASCII datoteke). Dobiveni podaci su u položajnom referentnom koordinatnom sustavu HTRS96 i visinskom referentnom sustavu HVR71. Geometrija korita rijeke Dragonje se isporučuje u obliku jednog vektorskog sloja koji sadrži niz visinskih točaka poprečnih profila (Dragonja-tocke.shp).

Geometrija korita rijeke Mirne dobivena je od Naručitelja. Izvorni podaci su dani u vektorskom obliku kao niz georeferenciranih stacionaža te zasebno poprečnih profila korita rijeke (DWG datoteke). Podaci su dobiveni u „starom“ projekcijskom sustavu (položajni sustav HDKS i visinski sustava „Trst“), te su stoga transformirani u novi položajni referentni koordinatni sustav HTRS96 i visinski referentni sustav HVR71. Geometrija korita rijeke Mirne se isporučuje u obliku dva vektorska sloja koja sadrže 3D linije poprečnih profila (Mirna-pop_profili.shp) i visinske točke izvedene iz poprečnih profila (Mirna-tocke.shp).

Geometrija korita rijeke Raše preuzeta je iz dokumenta „Rekonstrukcije korita rijeke Raše“ (Geodet Labin, 1997.). Izvorni podaci su dani u vektorskom obliku kao niz visinskih točaka poprečnih profila (DWG datoteka). Podaci su dobiveni u „starom“ projekcijskom sustavu (HDKS i „Trst“), te su stoga transformirani u novi položajni referentni koordinatni sustav HTRS96 i visinski referentni sustav HVR71. Geometrija korita rijeke Raše se isporučuje u obliku jednog vektorskog sloja koji sadrži visinske točke poprečnih profila (Rasa-tocke.shp). Geometrija korita rijeke Rječine preuzeta je iz dokumenta „Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala odnosno poplavlivanja donjeg toka Rječine“ (Tehnički fakultet u Rijeci i Vodoprivredno-projektni biro d.d., 2015.). Izvorni podaci su dani u vektorskom obliku kao niz georeferenciranih visinskih točaka (DWG datoteka). Podaci su dobiveni u „starom“ projekcijskom sustavu (HDKS i „Trst“), te su stoga transformirani u novi položajni referentni koordinatni sustav HTRS96 i visinski referentni sustav HVR71. Geometrija korita rijeke Rječine (i Mrtvog kanala) se isporučuje u obliku vektorskog sloja koji sadrži visinske točke poprečnih profila (Rjecina-tocke.shp).



Slika 2.3. Prikaz GIS preglednika s vektorskim slojem geometrije korita za područja prijelaznih voda

Geometrija korita rijeke Zrmanje izrađena je digitalizacijom Navionics navigacijskih karata (<https://www.navionics.com/>). Izvorni podaci pribavljeni su u rasterskom obliku kao karte s prikazom izolinija dubina dna. Navedeni podaci su prvo georeferencirani, potom vektorizirani polu-automatskom metodom te zatim transformirani u položajni referentni koordinatni sustav HTRS96 i visinski referentni sustav HVR71. S obzirom da su dubine dane u odnosu na hidrografsku nulu, iste su korigirane za $-0,249$ m, što je razlika između hidrografske i geodetske nule (određena linearnom interpolacijom podataka s mareografa u Zadru i Bakru).

Geometrija korita rijeke Zrmanje se isporučuje u obliku dva vektorska sloja koja sadrže izolinije dubine dna (Zrmanja-izolinije.shp) i dodatne visinske točke dna (Zrmanja-tocke.shp).

Geometrija korita rijeke Krke izrađena je digitalizacijom Navionics navigacijskih karata (<https://www.navionics.com/>). Izvorni podaci pribavljeni su u rasterskom obliku kao karte s prikazom izolinija dubina dna. Navedeni podaci su prvo georeferencirani, potom vektorizirani polu-automatskom metodom te zatim transformirani u položajni referentni koordinatni sustav HTRS96 i visinski referentni sustav HVR71. S obzirom da su dubine dane u odnosu na hidrografska nula, iste su korigirane za -0,204 m, što je razlika između hidrografske i geodetske nule (određena linearnom interpolacijom podataka s mareografa u Zadru i Splitu). Geometrija korita rijeke Krke se isporučuje u obliku dva vektorska sloja koja sadrže izolinije dubine dna (Krka-izolinije.shp) i dodatne visinske točke dna (Krka-tocke.shp). Dodatno se isporučuje i vektorski sloj koji sadrži izolinije dubina dna Prokljanskog jezera dobivenog od Naručitelja u HTRS96/HVRS71 referentnom sustavu (Prokljansko-izolinije.shp).

Geometrija korita rijeke Jadro preuzeta je iz geodetske izmjere korita ove rijeke (Geokompas – Split, 1997.). Izvorni podaci su dani u vektorskom obliku kao niz georeferenciranih stacionaža te zasebno poprečnih profila korita rijeke (DWG datoteka). Podaci su dobiveni u „starom“ projekcijskom sustavu (HDKS i „Trst“), te su stoga transformirani u novi položajni referentni koordinatni sustav HTRS96 i visinski referentni sustav HVR71. Geometrija korita rijeke Jadro se isporučuje u obliku dva vektorska sloja koja sadrže 3D linije poprečnih profila (Jadro-pop_profili.shp) i visinske točke izvedene iz poprečnih profila (Jadro-tocke.shp).

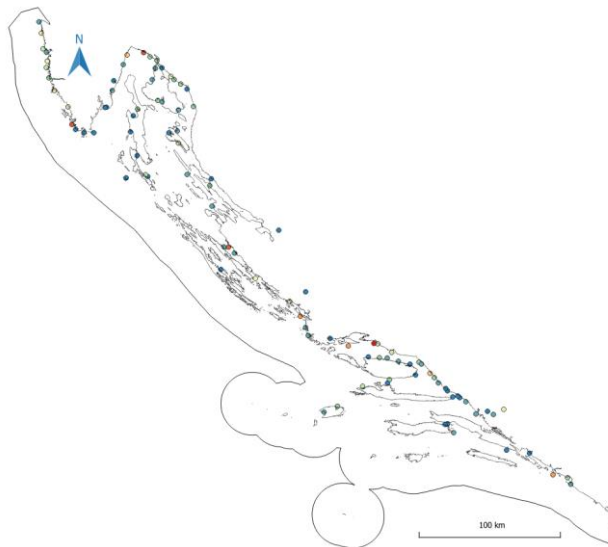
Geometrija korita rijeke Cetine preuzeta je iz dva dokumenta: „Snimanje kontrolnih poprečnih presjeka korita rijeke Cetina (Geodetski zavod d.d. – Split, 2016.) i „Geodetsko – hidrografske podloge rijeke Cetine u Omišu“ (Geomatika d.o.o., 2003.). U oba su dokumenta izvorni podaci dani u vektorskom obliku kao niz georeferenciranih stacionaža te zasebno poprečnih profila korita rijeke (DWG datoteka). Podaci iz novijeg dokumenta (2016.) su dani u HTRS95/HVRS61 referentnom sustavu, dok su podaci iz starijeg dokumenta transformirani iz starog (HDKS/„Trst“) u novi referentni sustav (HTRS96/HVRS71) te potom objedinjeni u jedinstveni skup podataka. Geometrija korita rijeke Cetine se isporučuje u obliku dva vektorska sloja koja sadrže 3D linije poprečnih profila (Cetina-pop_profili.shp) i visinske točke izvedene iz poprečnih profila (Cetina-tocke.shp).

Geometrija korita rijeke Neretve preuzeta je iz geodetske izmjere korita ove rijeke (Vodoprivredno-projektirni biro d.d., 2020.). Izvorni podaci su dani u vektorskom obliku kao niz georeferenciranih 3D linija poprečnih profila korita rijeke (SHP datoteke). Podaci su dobiveni u položajnom referentnom koordinatnom sustavu HTRS96 i visinskom referentnom sustavu HVR71. Geometrija korita rijeke Neretve se isporučuje u obliku dva vektorska sloja

koja sadrže 3D linije poprečnih profila (Neretva-pop_profili.shp) i visinske točke izvedene iz poprečnih profila (Neretva-tocke.shp).

Geometrija korita rijeke Omble izrađena je digitalizacijom Navionics navigacijskih karata (<https://www.navionics.com/>). Izvorni podaci dostupni su u rasterskom obliku kao navigacijske karte s prikazom izolinija dubina dna. Navedeni podaci su prvo georeferencirani, potom vektorizirani polu-automatskom metodom te zatim transformirani u položajni referentni koordinatni sustav HTRS96 i visinski referentni sustav HVR71. S obzirom da su dubine dane u odnosu na hidrografsku nulu, iste su korigirane za -0,37 m, što je razlika između hidrografske i geodetske nule (određena linearnom interpolacijom podataka s mareografa u Dubrovniku i Pločama). Geometrija korita rijeke Omble se isporučuje u obliku dva vektorska sloja koja sadrže izolinije dubine dna (Ombla-izolinije.shp) i dodatne visinske točke dna (Ombla-tocke.shp).

2.4 Podmorski ispusti



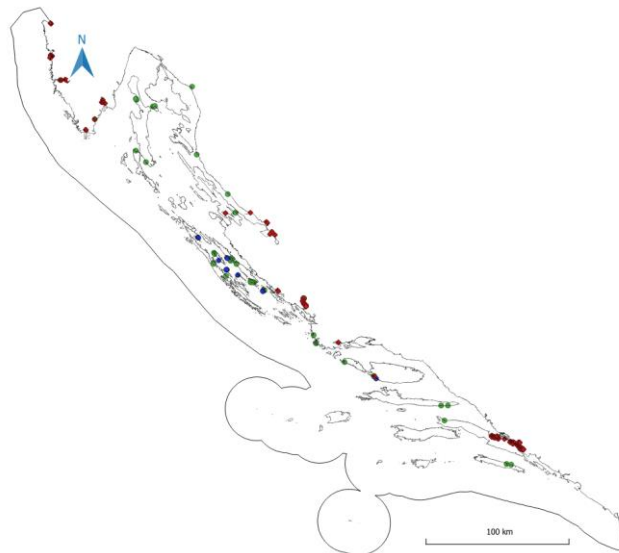
Slika 2.4. Prikaz GIS preglednika s vektorskim točkastim slojem prikaza pozicija podmorskih ispusta komunalnih i industrijskih otpadnih voda

Pripremljena je podloga u vidu GIS vektorskih točkastih slojeva sa prikazom pozicija podmorskih ispusta komunalnih i industrijskih otpadnih voda u teritorijalnim vodama RH (podaci za 2012. godinu, Slika 2.4). Formirana je grupa podataka pod imenom „Ispusti“ (Slika 2.4). Unutar nje formirani su GIS točkasti vektorski slojevi za dvije kategorije: Ispusti priključeni na UPOV (Ispust sa UPOV.shp), ispusti sa direktnim upuštanjem u more (Ispusti bez UPOV.shp). U atributnoj tablici ispusta priključenih na UPOV dane su i informacije o tipu

vode recipijenta, ID ispusta i imenu sustava odvodnje, stupnju pročišćavanja na pripadnom UPOV (P- predtretman, 1 – prvi stupanj, 2 – drugi stupanj, 3 – treći stupanj), broju priključenih stanovnika i šifri vodnog tijela. U atributnoj tablici ispusta koji nisu priključeni na UPOV dane su samo informacije o tipu vode recipijenta, ID ispusta i šifri vodnog tijela.

2.5 Uzgajališta riba i školjkaša

Pripremljena je podloga u vidu GIS vektorskih točkastih slojeva sa prikazom pozicija uzgajališta bijele morske ribe, tune i školjkaša u područjima prijelaznih i priobalnih voda prema dostupnim podacima o dodijeljenim koncesijama za obavljanje uzgoja bijele morske ribe, tune, školjkaša i riblje mladi (stanje iz 2015. godine). Formirana je grupa podataka pod imenom „Uzgajališta ribe i školjkaša“ (Slika 2.5). Unutar nje formirani su GIS točkasti vektorski slojevi sa pratećim datotekama za tri kategorije: Tuna (Tuna.shp), Školjkaši (Školjkaši.shp), Bijela_riba (Bijela_riba.shp).

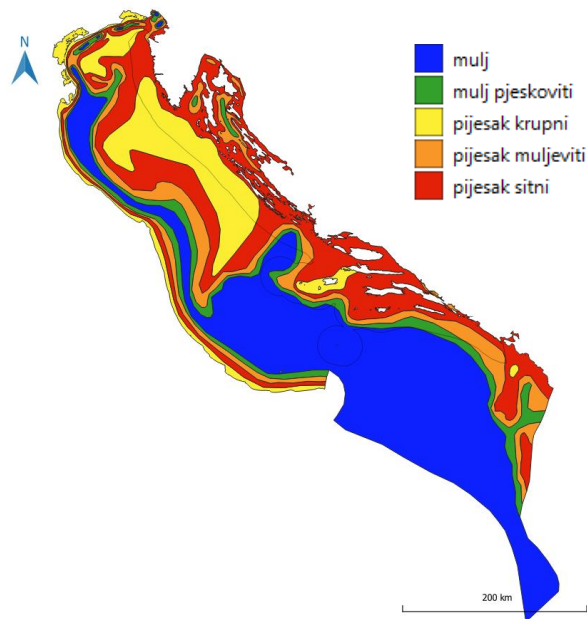


Slika 2.5. Prikaz GIS preglednika s lokacijama uzgajališta bijele morske ribe, tune i školjkaša

2.6 Karakteristike dna

Za šire područje od teritorijalnih voda RH (akvatorij Jadranskog mora) pripremljena je prostorna podloga u vidu GIS vektorskog poligonskog sloja sa prikazom osnovnih sedimentnih obilježja dna (Slika 2.6). Ime sloja u GIS pregledniku je „Karakteristike dna“, a pripadne datoteke GIS vektorskog poligonskog sloja je „Sediment.shp“. U prikazu je korišteno pet različitih boja za podjelu granulometrijskih karakteristika sedimenta (pjesak

krupni, pijesak sitni, pijesak muljeviti, mulj pjeskoviti, mulj). Ovi podaci su preuzeti iz reference GF-Zagreb, IZOR-Split, IRB-CIM-Rovinj, HHI-Split (2009.).



Slika 2.6. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojem za prikaz prostorne raspodjele sedimentnih obilježja dna

2.7 Nasipavanje

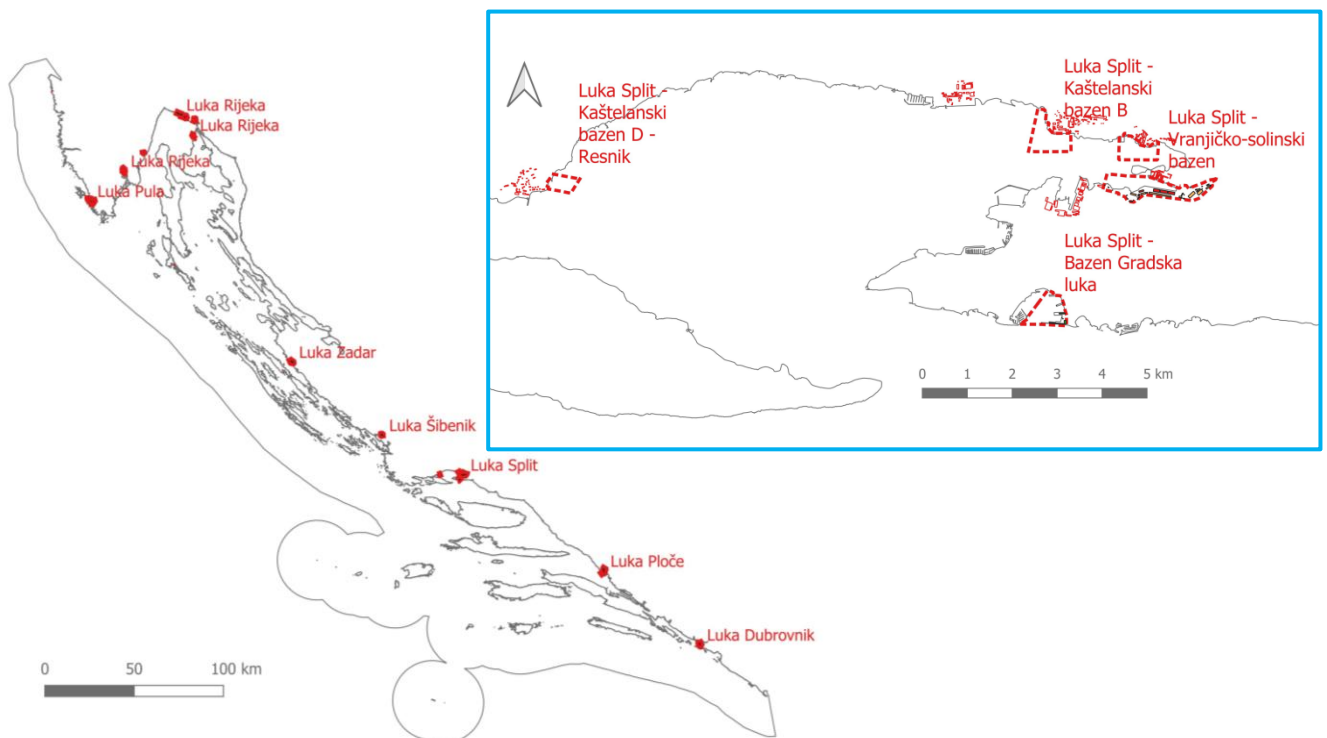


Slika 2.7. Prikaz GIS preglednika s lokacijama nasipavanja mora uz obalu tijekom razdoblja 2015.-2019.

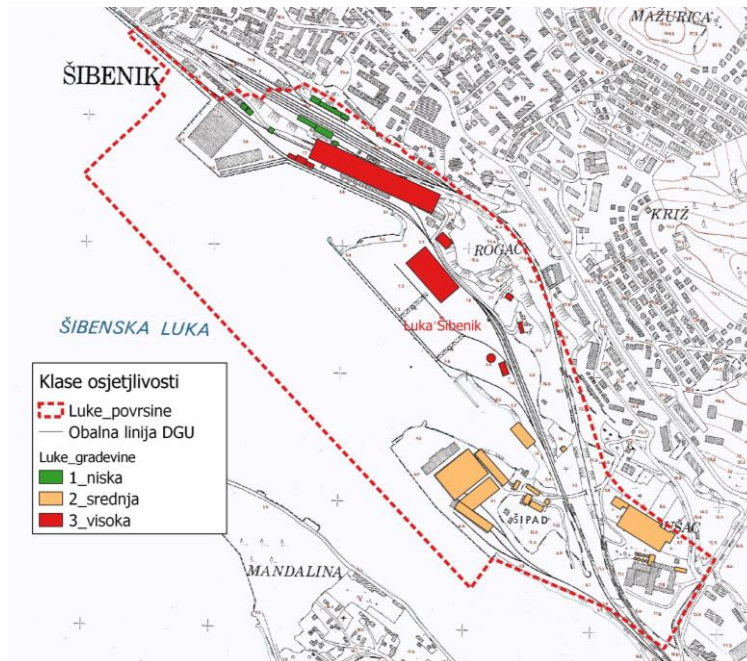
Pripremljena je podloga u vidu GIS vektorskog točkastog sloja sa prikazom pozicija nasipavanja mora uz obalu na 248 lokacija tijekom razdoblja 2015.-2019., poglavito u svrhu dohrane plaža prema postojećim regionalnim programima uređenja i upravljanja morskim plažama (Slika 2.7). Ime sloja u GIS pregledniku i pripadne datoteke je „Nasipavanje.shp“. U atributnoj tablici dane su i informacije o imenu plaže, pripadnoj općini i županiji, broju nasipavanja tijekom razdoblja 2015.-2019., volumenu nasipanog materijala po godinama i ukupno za razdoblje 2015.-2019., tipu materijala nasipavanja (krupni šljunak, sitni šljunak) i procijenjenoj duljini obale plaže.

2.8 Luke i lučka infrastruktura

Za prostor koji pripada lukama sistematizirani su podaci o granicama lučkog akvatorija i teritorija te pozicijama građevina u lukama. Poligonski vektorski slojevi i pripadne datoteke vode se pod imenom „Luke_povrsine.shp“ i „Luke_građevine.shp“ (Slika 2.8). Lučke građevine grupirane u tri klase osjetljivosti na poplave („1_niska“, „2_srednja“ i „3_visoka“) u smislu mogućeg izvora onečišćenja okoliša uslijed plavljenja (Slika 2.9).



Slika 2.8. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojem granica lučkog akvatorija i teritorija



Slika 2.9. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojem klasa osjetljivosti lučkih objekata

2.9 Industrija

Pripremljene su podloge u vidu GIS vektorskih slojeva s prikazom većih industrijskih kompleksa i građevina koji se nalaze u zoni potencijalnog plavljenja od mora (IED, SEVESO i UPOV, stanje iz 2019. godine). Formirana je grupa podataka pod imenom „Industrija“ (Slika 2.10). Unutar grupe „Industrija“ formirana su dva GIS vektorska poligonska sloja za dvije kategorije: industrijski kompleksi (Industrija_kompleksi.shp) i industrijske građevine (Industrija_gredvine.shp), te dva GIS vektorska točkasta sloja za dvije kategorije: Seveso (Seveso_kompleksi.shp) i UPOV (UPOV do 10m visine.shp).

Trenutačno su sve industrijske građevine klasificirane u srednju grupu osjetljivosti na poplave u smislu mogućeg izvora onečišćenja okoliša uslijed plavljenja. Detaljne rekognosciranje osjetljivosti će se izvršiti nakon utvrđivanja dosega poplave male vjerojatnosti pojave. U sloju Seveso_kompleksi.shp dana je i atributna tablica u kojoj su dane informacije o nazivu tvrtke, adresi tvrtke, šifri i registriranoj djelatnosti. U sloju UPOV do 10m visine.shp dana je i atributna tablica u kojoj su dane informacije o šifri i nazivu anglomeracije, nadležnoj firmi (IVU), te pripadnoj VGO i županiji.

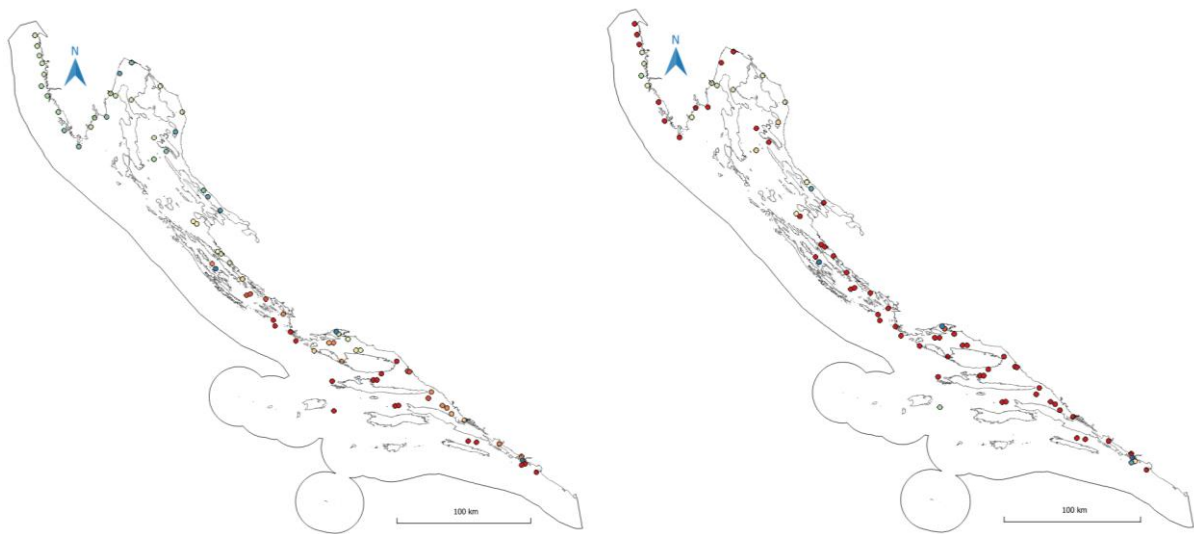


Slika 2.10. Prikaz GIS preglednika s vektorskim poligonskim slojevima industrijskih kompleksa i građevina

2.10 Salinitet mora

Pripremljena je podloga u vidu GIS vektorskih točkastih slojeva sa prikazom izmjerene vertikalne raspodjele saliniteta mora (razlučivost 0,5m) temeljem monitoring programa provedenog u razdoblju 11.2007.-11.2008. (referentno stanje bez klimatskih promjena). Podaci su grupirani u 7 terminskih razreda ovisno o razdoblju mjerenja (III, V-VI, VI-VII, VII, VIII, IX-X, X-XI). Utjecaj klimatskih promjena na salinitet mora definiran je za dekadu 2090.-2100. kroz primjenu podataka recentnih istraživanja interakcije mora i atmosfere (rezultati numeričkih simulacija, mjesečne srednje vrijednosti saliniteta mora iz baza podataka MEDCORDEX, www.medcordex.eu) prema tri scenarija: RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5. Formirana je grupa podataka pod imenom „Salinitet“ (Slika 2.11). Unutar nje formirani su GIS točkasti vektorski slojevi za navedena razdoblja mjerenja: III_T_S_RO_S-RCP.shp, V-VI_T_S_RO_S-RCP.shp, VI-VII_T_S_RO.shp, VII_T_S_RO.shp, VIII_T_S_RO_S-RCP.shp, IX-X_T_S_RO.shp, X-XI_T_S_RO_S-RCP.shp. U kolonama atributne tablice dane su informacije o nazivu mjerne postaje, datumu i satu provedenog mjerenja, dubinama izmjerenih vrijednosti temperature/saliniteta/gustoće mora, te očekivanim salinitetima mora prema tri scenarija (RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5). Prikaz podataka o izmjerenoj vertikalnoj raspodjeli saliniteta mora iz monitoring programa prijelaznih i priobalnih voda RH tijekom razdoblja 2012. – 2019. dan je točkastim vektorskim slojevima: priobalne vode T_S.shp, prijelazne vode T_S.shp. U atributnim tablicama ovih slojeva i datoteka nalaze se informacije o tipu vode,

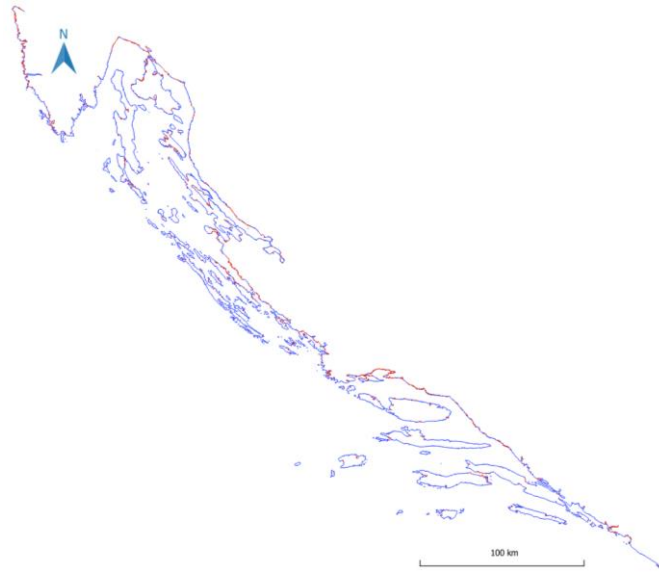
imenu estuarija, imenu vodnog tijela, nazivu mjerne postaje, šifri postaje, datumu i satu provedenog mjerenja, te dubinama izmjerenih vrijednosti temperature i saliniteta mora.



Slika 2.11. Prikaz GIS preglednika s prezentacijom izmjerenih vrijednosti saliniteta mora u površinskom sloju za „referentno“ ljetno razdoblje (VIII mjesec, lijevo) i vrijednosti saliniteta mora u površinskom sloju za scenario klimatskih promjena RCP-8.5 i ljetno razdoblje (VIII mjesec, desno)

2.11 Izgrađenost obalne linije

Pripremljena je podloga u vidu GIS vektorskog linijskog sloja sa prikazom obalne linije prema dobivenoj službenoj podlozi od strane DGU, sa podjelom na „prirodnu“ obalu (bez ljudskih građevnih intervencija - šljunčana, kamena, pješčana ...) i „izgrađenu“ obalu (posljedica ljudskih intervencija u smislu izvedbe hidrotehničkih građevina). Shodno tome, formiran je GIS vektorski linijski sloj **Izgrađenost obalne linije.shp** s dvije kategorije: „prirodna“ obala i „izgrađena“ obala, koje su naznačene različitim bojama (Slika 2.12). Pod pojmom „prirodne“ obale misli se na obalu na kojoj nisu poduzimane građevinske intervencije (šljunčana, kamena ili pješčana obala), dok se pod pojmom „izgrađene“ obale podrazumjeva obala nastala ljudskom građevinskom (hidrotehničkom) djelatnosti.



Slika 2.12. Prikaz GIS preglednika s vektorskim linijskim slojem u kojem je obalna linija podjeljena na „prirodnu“ i „izgrađenu“

2.12 Eksploatacija ugljikovodika

Za šire područje od teritorijalnih voda RH (akvatorij Jadranskog mora) pripremljena je prostorna podloga u vidu GIS vektorskog poligonskog sloja sa prikazom koncesijskih polja za eksploataciju ugljikovodika, a koja se koriste od strane RH. Ime sloja u GIS pregledniku je „Eksploatacija ugljikovodika“, a pripadna datoteka GIS vektorskog poligonskog sloja je „eksploatacija ugljikovodika.shp“. Prikazani poligoni su dobiveni temeljem rubnih točaka poligona pod nazivima „Sjeverni Jadran“, „Marica“ i Isabela“. U pripadnoj atributnoj tablici navedene su i šifre polja preuzete od strane Agencije za ugljikovodike (AZU), te pripadne površine polja.

2.13 Isporučene datoteke sa prikupljenim podlogama

2.13.1 Mareografski podaci

1. Mareografi 1990-2020.xlsx (satna rezolucija podataka, na zasebnom mediju)
2. Mareografi 1990-2020.txt (satna rezolucija podataka, na zasebnom mediju)
3. Rovinj.shp
4. Bakar.shp
5. Golubinka.shp
6. Zadar.shp
7. Prosika.shp
8. Split.shp

9. Ploče.shp
10. Mala Neretva.shp
11. Dubrovnik.shp

2.13.2 Dubina mora i visinske kote

1. Visine od 0 do 10m.tif
2. Dubine od 0 do -30m.tif
3. Dubine veće od -20m.tif
4. Luke_i_uvale_izobate.shp

2.13.3 Geometrija korirta za područje prijelaznih voda

1. Dragonja-tocke.shp
2. Mirna-tocke.shp
3. Mirna-pop_profili.shp
4. Rasa-tocke.shp
5. Rjecina-tocke.shp
6. Zrmanja-tocke.shp
7. Zrmanja-izolinije.shp
8. Krka-tocke.shp
9. Krka-izolinije.shp
10. Prokljansko-izolinije.shp
11. Jadro-tocke.shp
12. Jadro-pop_profili.shp
13. Cetina-tocke.shp
14. Cetina-pop_profili.shp
15. Neretva-tocke.shp
16. Neretva-pop_profili.shp
17. Ombla-tocke.shp
18. Ombla-izolinije.shp

2.13.4 Podmorski ispusti

1. Ispusti sa UPOV.shp
2. Ispusti bez UPOV.shp

2.13.5 Uzgajališta riba i školjkaša

1. Tuna.shp
2. Školjkaši.shp
3. Bijala riba.shp

2.13.6 Karakteristike dna

1. Sediment.shp

2.13.6 Nasipavanje

1. Nasipavanje.shp

2.13.7 Luke i lučka infrastruktura

1. Luke_povrsine.shp
2. Luke_gradevine.shp

2.13.8 Industrija

1. Industrijski_kompleksi.shp
2. Industrijske_gradevine.shp
3. Seveso_kompleksi.shp
4. UPOV do 10m visine.shp

2.13.9 Salinitet mora

1. III_T-S-RO-S-RCP.shp
2. V-VI_T-S-RO-S-RCP.shp
3. VI-VII_T-S-RO.shp
4. VII_T-S-RO.shp
5. VIII_T-S-RO-S-RCP.shp
6. IX-X_T-S-RO.shp
7. X-XI_T_S_RO_S-RCP.shp
8. priobalne vode T_S.shp
9. prijelazne vode T_S.shp

2.13.10 izgrađenost obalne linije

1. Izgradenost obalne linije.shp

2.13.11 Eksploatacija ugljikovodika

1. Eksploatacija ugljikovodika.shp

(prazna stranica)

3 Numeričko modeliranje ekstremno visokih razina mora

3.1 Klasifikacija podataka za 18 scenarija

Numeričkom modeliranju ekstremno visokih razina mora pristupilo se kako bi se odredile očekivane ekstremno visoke razine mora izazvane atmosferskim djelovanjem, i to za 18 usvojenih scenarija: scenarij male (povratno razdoblje 1000 godina), scenarij srednje (povratno razdoblje 100 godina) i velike (povratno razdoblje 25 godina) vjerojatnosti, sa i bez utjecaja klimatskih promjena te scenariji očekivanih mjesečnih stanja mora.

Metodologija određivanja ekstremno visokih razina mora podijeljena je na iduće korake:

1. Analiza mjerenih nizova razine mora:
 - a. Prikupljanje i kontrola kvalitete podataka
 - b. Procjena plimnog signala te određivanje reziduala
 - c. Procjena prostorne i vremenske razdiobe ekstremno visokih razina mora
 - d. Izračun povratnih perioda za scenarij male, srednje i velike vjerojatnosti, sa i bez utjecaja klimatskih promjena za svaku postaju
 - e. Procjena očekivanih srednjih mjesečnih stanja za svaku postaju
 - f. Odabir situacija za kojih su razine mora bile najviše na pojedinim postajama, odnosno na određenim dijelovima obale
2. Numeričko modeliranje
 - a. Prikupljanje podataka prikladnog atmosferskog modela koji će se koristiti za forsiranje numeričkog oceanografskog modela SCHISM
 - b. Prikupljanje podataka razine mora na otvorenoj domeni modela (Otrant), a koji će se koristiti kao rubni uvjeti za numerički oceanografski model SCHISM
 - c. Numeričko modeliranje odabranog broja ekstremnih situacija korištenjem numeričkog oceanografskog modela SCHISM
 - d. Usporedba mjerenih i modeliranih podataka
 - e. Korekcija modeliranih podataka prema mjerenjima za scenarij srednje i male vjerojatnosti te dobivanje vrijednosti ekstremno visokih razina mora za scenarij male, srednje i velike vjerojatnosti bez utjecaja klimatskih promjena
 - f. Određivanje ekstremno visokih razina mora za scenarij male, srednje i velike vjerojatnosti sa utjecajem klimatskih promjena
 - g. Određivanje očekivanih mjesečnih stanja mora

Treba napomenuti da je, vezano uz točku (2.e), korekciju modeliranih podataka prema mjerenjima za scenarij male i srednje vjerojatnosti potrebno napraviti zbog toga što je

predmetno razdoblje (1990.-2019.; dakle 30 godina) prekratko te se ne može smatrati da su u istom zabilježene ekstremno visoke razine mora koje odgovaraju scenarijima male i srednje vjerojatnosti (što će se i pokazati u ovom izvještaju). Stoga se ne može ni pretpostaviti da je tijekom predmetnog razdoblja u atmosferi postojala sinoptička situacija koja bi dovela do takvih ekstremno visokih razina mora. Posljedično, bez odgovarajućeg atmosferskog forsiranja, takva situacija u moru se ne može ni modelirati. Stoga će se numerički oceanografski model iskoristiti za procjenu prostorne razdiobe ekstremnih razina mora u Jadranu. Tako dobivene ekstremne razine mora pomnožit će se s prostorno interpoliranim korekcijskim faktorom (određen usporedbom modelskih rezultata i mjerenih vrijednosti), a kako bi se dobile ekstremne razine mora vezane uz scenarij male i srednje vjerojatnosti.

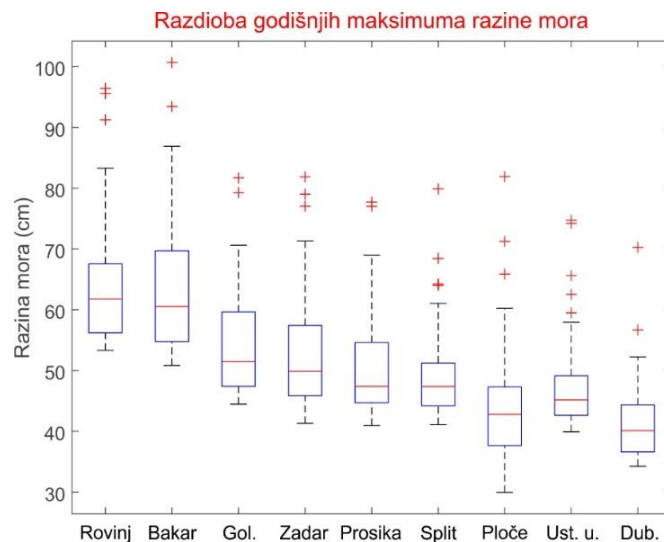
Također, bitno je napomenuti, vezano uz točku (2.f), da se utjecaj klimatskih promjena uvažava pretpostavkom porasta srednje razine Jadranskog mora, sljedeći najnovije i najpouzdanije procjene sadržane u IPCC6 izvještaju iz 2021. godine. U okviru ovog projekta pretpostavljeno je izuzeće promjena sinoptičkih situacija u atmosferi (što je primjerice predmet analiza koje se provode u Državnom-hidrometeorološkom zavodu https://klima.hr/razno/publikacije/NIKIP7_DHMZ.pdf; https://meteo.hr/objave_najave_natjecaji.php?section=onn¶m=objave&el=priopcenja&daj=pr28052021), a koje, u konačnici mogu utjecati na nešto drugačiju raspodjelu ekstremno visokih razina mora za scenarije u kojima je uvažen utjecaj klimatskih promjena. No, treba napomenuti da, kada je riječ o ekstremno visokim razinama mora, očekivani porast srednje razine mora (+ 60 cm do 2100. godine) uvelike nadmašuju mogući utjecaj promjene atmosferskog forsiranja.

U koraku (1.a), prikupljeni su i analizirani mjereni podaci razine mora s mareografskih postaja Hrvatskog-hidrografskog instituta (Rovinj, Zadar, Split, Ploče, Dubrovnik), Geofizičkog odsjeka (Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu) (Bakar) te Hrvatskih voda (Golubinka, Prosika, Ustava ušće nizvodno). Podaci za cijelo razdoblje 1990.-2020. dostupni su za: Rovinj (kraći prekidi tijekom 2015-2020.), Bakar, Split, Ploče, Ustava ušće Neretva (mjerenja započela 26. ožujka 1990.), Dubrovnik (kraći prekidi tijekom 1991-1992., te tijekom 2018-2019.). Mjerne postaje Golubinka (1-godišnji prekid 2000. godine) i Zadar započele su s radom 1995. godine; a postaja Ploče 1. travnja 2002. godine. Svi dostupni vremenski nizovi su vizualno pregledani te je utvrđena visoka kvaliteta dostupnih podataka.

U drugom koraku analize mjerenih nizova razine mora (1.b) nizovima je oduzet plimni signal – za svaku postaju su izračunate i oduzete sve značajne komponente plimnog signala (komponente Q1 O1 M1 P1 S1 K1 J1 OO1 2N1 MU2 N2 NU2 M2 LD2 L2 T2 S2 R2 K2 M3 S3 OP2 MKS2 MO3 SO3 MK3 SK3 M4 MS4 MK4 S4 M6 2MS6 2MK6 MSK6 S5 S6). Na taj način je dobiven rezidualni signal (originalni niz od kojeg je oduzet plimni signal). Ovo je napravljeno

jer nas prvenstveno zanimaju ekstremno visoke razine mora izazvane meteorološkim forsiranjem – efekt plimnog signala (koji je deterministički) se naknadno vraća u izračune.

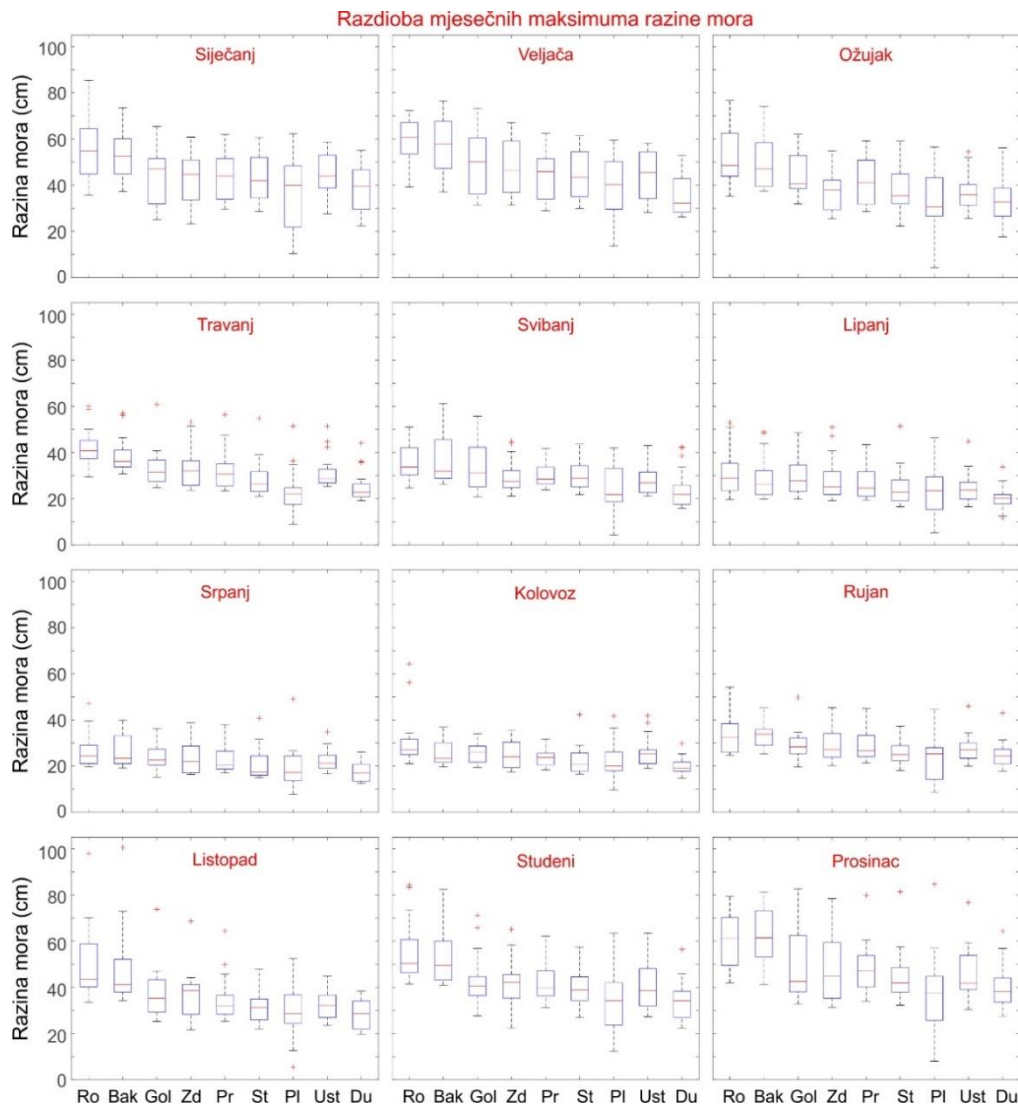
U trećem koraku analize mjernih nizova razine mora (1.c), procijenjena je prostorna i vremenska razdioba ekstremno visokih razina mora. Iz satnih nizova razine mora izdvojeno je po 5 godišnjih maksimuma (sve skupa, ovisno o raspoloživosti podataka na postaji, najviše do $31 \times 5 = 155$ maksimuma po postaji; za neke postaje bili su dostupni i podaci za 2020. godinu, stoga 31 godina). Raspodjela ovako izdvojenih godišnjih maksimuma prikazana je na slici 3.1. (Slika 3.1). Izražen je prostorni gradijent ekstremno visokih razina mora, usmjeren od juga prema sjeveru. Najviše razine mora bilježe se na središnjem dijelu sjevernog Jadrana (Rovinj i Bakar). Zatim slijedi južni dio sjevernog Jadrana (postaje Golubinka i Zadar) gdje se bilježe 10-15 cm niže srednje vrijednosti ekstremno visokih razina mora, te do 20 cm niže vrijednosti maksimalnih ekstremnih razina mora. Još niže srednje vrijednosti ekstremno visokih razina mora bilježe se na srednjem Jadranu (postaje Prosika, Split, Ploče, Ustava ušće nizvodno), a najniže na južnom Jadranu (postaja Dubrovnik).



Slika 3.1. Razdioba godišnjih maksimuma (5 maksimuma godišnje) razine mora za predmetne postaje. Crvenom horizontalnom linijom označen je srednjak, plavom 25. i 75. percentil, crnom minimum i maksimum, a crvenim križićem izdvojene vrijednosti (eng. “outlier”)

Iz satnih nizova razine mora izdvojen je za svaki mjesec, po jedan godišnji mjesečni maksimum razine mora (sve skupa, ovisno o raspoloživosti podataka na postaji, najviše do 31 maksimum po postaji, za svaki mjesec). Raspodjela ovako izdvojenih mjesečnih maksimuma prikazana je na slici 3.2 (Slika 3.2). Uočljivo je da razdiobe za tri jesenska mjeseca i za ranu zimu (listopad, studeni, prosinac, siječanj) približno prate razdiobu godišnjih ekstrema, odnosno da postoji slični prostorni gradijent usmjeren od juga prema sjeveru. Ovo je očekivani rezultat jer se većina godišnjih maksimuma bilježi upravo tijekom ova četiri mjeseca. Tijekom veljače, ožujka te ranog proljeća (travanj) također je uočljiv prostorni gradijent usmjeren od južnih prema sjevernim postajama – no ovaj gradijent je mnogo blaži

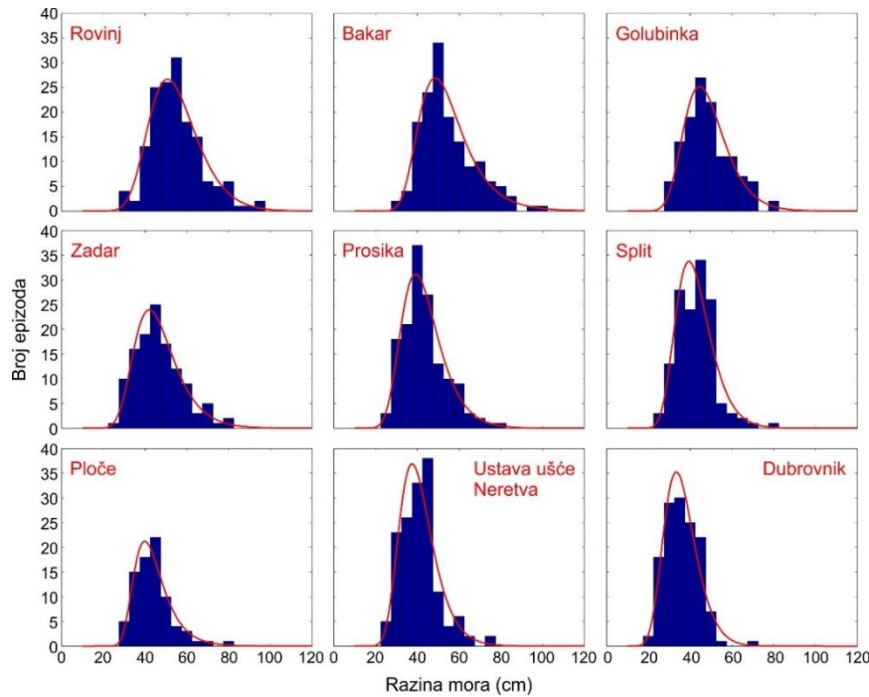
nego tijekom listopada-siječnja. Tijekom toplijeg dijela godine (svibanj-rujan) prostorni gradijent je minimalan, te se slične ekstremno visoke razine mora bilježe duž cijelog Jadrana. Treba primijetiti i da su ekstremne razine mora zabilježene tijekom toplijeg dijela godine u pravilu 2-3 puta manje od ekstremnih razina mora koje se bilježe u hladnijem dijelu godine – pa je primjerice srednjak ekstremno visokih razina mora u Rovinju u srpnju 22 cm, a u prosincu 61 cm



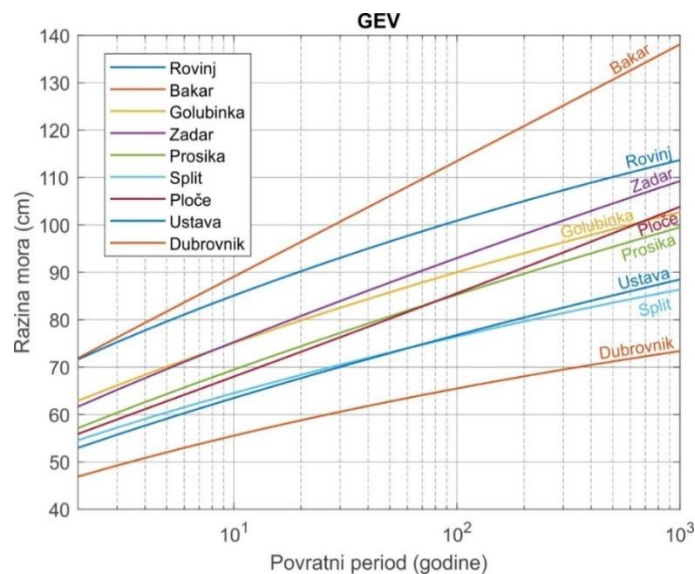
Slika 3.2. Razdioba mjesečnih maksimuma (1 maksimum godišnje za svaki mjesec) razine mora za predmetne postaje. Crvenom horizontalnom linijom označen je srednjak, plavom 25. i 75. percentil, crnom minimum i maksimum, a crvenim križićem izdvojene vrijednosti (eng. “outlier”)

U četvrtom i petom koraku analize mjernih nizova razine mora (1.d, 1.e) provedena je statistička analiza kojom se procijenila vrijednost ekstremno visokih razina mora za scenarije male (povratno razdoblje = 1000 godina), srednje (povratno razdoblje = 100 godina) i velike (povratno razdoblje = 25 godina) vjerojatnosti. Na nizovima godišnjih (5 ekstrema godišnje

po postaji), odnosno mjesečnih (1 ekstrem godišnje po postaji) ekstrema, izvršena je prilagodba generalizirane distribucije ekstremnih vrijednosti (GEV) te je na taj način određena optimalna razdioba (Slika 3.3) iz koje su određene vrijednosti ekstremno visokih godišnjih razina mora za scenarij male, srednje i velike vjerojatnosti poplavlivanja (Slika 3.4, Tablica 3.1, Tablica 3.2).



Slika 3.3. GEV prilagodba za sve postaje, za pet godišnjih maksimuma



Slika 3.4. Očekivane rezidualne razine mora u ovisnosti o povratnim periodima za scenarij bez utjecaja klimatskih promjena. Prikazane su vrijednosti za povratne periode od 2-1000 godina

Tablica 3.1. Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez utjecaja klimatskih promjena

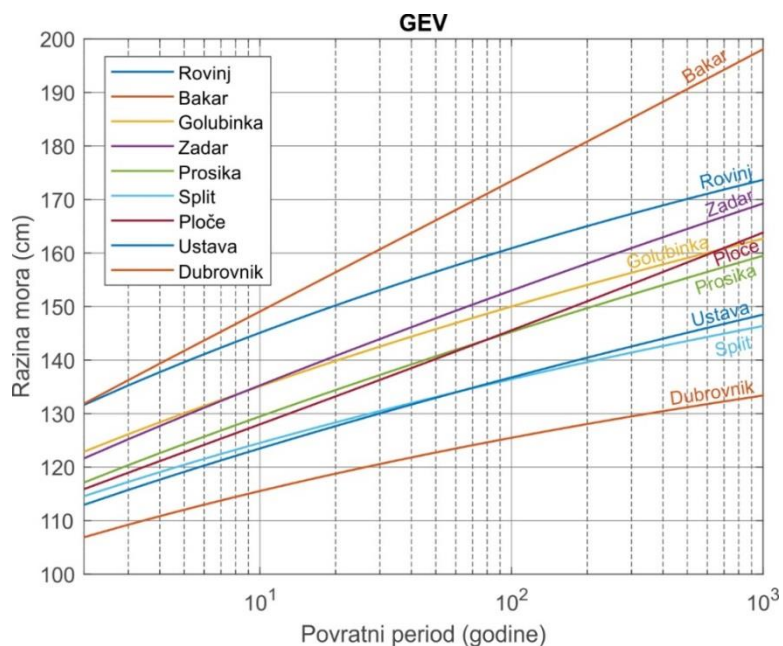
Period	25 godina	100 godina	1000 godina
Postaja	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)
Rovinj	91.8	100.9	113.7
Bakar	98.8	113.5	138.1
Golubinka	81.3	90.0	102.7
Zadar	82.5	93.0	109.3
Prosika	76.0	85.3	99.5
Split	69.5	76.4	86.4
Ploče	74.9	85.6	103.8
Ustava ušće niz.	69.0	76.8	88.5
Dubrovnik	59.8	65.5	73.4

Tablica 3.2. Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – s utjecajem klimatskih promjena

Period	25 godina	100 godina	1000 godina
Postaja	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)
Rovinj	151.8	160.9	173.7
Bakar	158.8	173.5	198.1
Golubinka	141.3	150.0	162.7
Zadar	142.5	153.0	169.3
Prosika	136.0	145.3	159.5
Split	129.5	136.4	146.4
Ploče	134.9	145.6	163.8
Ustava ušće niz.	129.0	136.8	148.5
Dubrovnik	119.8	125.5	133.4

Procjena za scenarije koje uključuju klimatske promjene dobivena je pod pretpostavkom da će razina mora u Jadranu do 2100 godine narasti za 60 cm, što je najvjerojatniji scenarij sudeći po posljednjem IPCC izvješću (<https://podaac.jpl.nasa.gov/announcements/2021-08-09-Sea-level-projections-from-the-IPCC-6th-Assessment-Report>) (Slika 3.5).

Vrijednosti mjesečnih ekstremno visokih razina mora za scenarij 5 godišnjeg planskog razdoblja dane su u tablici 3.3 (Tablica 3.3).



Slika 3.5. Očekivane razine mora u ovisnosti o povratnim periodima, za scenarij s utjecajem klimatskih promjena. Prikazane su vrijednosti za povratne periode od 2-1000 godina

Tablica 3.3. Rezidualne razine mora za 5 godišnje plansko razdoblje po mjesecima

Mjesec	Postaja – očekivana razina mora za 5 godišnje plansko razdoblje(cm)								
	Rovinj	Bakar	Golub.	Zadar	Prosika	Split	Ploče	Ustava	Dubro.
Siječanj	58.0	56.3	50.6	48.8	46.2	47.6	50.0	47.8	43.1
Veljača	63.0	61.2	54.7	52.7	45.8	47.6	51.7	45.3	39.2
Ožujak	55.0	54.0	50.3	43.2	43.3	41.1	45.9	38.7	35.4
Travanj	45.9	41.3	38.1	36.8	34.7	31.6	30.3	33.7	26.5
Svibanj	37.8	40.7	39.9	32.9	32.2	33.5	33.7	30.5	27.0
Lipanj	31.8	30.7	37.4	31.7	28.0	26.6	31.1	26.3	21.6
Srpanj	29.0	29.2	29.7	25.1	24.8	22.9	24.4	23.8	19.1
Kolovoz	32.6	28.1	28.1	28.4	25.6	24.7	28.4	27.7	21.5
Rujan	35.3	34.7	33.5	32.2	30.8	27.2	31.9	29.4	26.7
Listopad	54.3	52.5	44.2	41.9	38.4	34.9	38.9	34.7	30.3
Studeni	60.3	57.2	49.4	46.3	45.3	42.6	46.2	42.3	36.8
Prosinac	68.2	68.3	58.0	56.9	52.1	48.6	51.0	49.0	43.5

U posljednjem koraku analize mjerenih vremenskih nizova (1.f), odabrane su situacije (epizode) za kojih su razine mora bile najviše na određenim dijelovima obale. Za svaku postaju su izdvojene tri najviše epizode ekstremno visokih vodostaja tijekom cijelog promatranog razdoblja (Tablica 3.4). Ranije opisanom statističkom analizom godišnjih (Slike 3.1-3.4, tablice 3.1-3.2) i mjesečnih (Tablica 3.3) maksimuma te pregledom vremenskih nizova utvrđeno je da postoje prostorno koherentna područja na kojima događaji redovito imaju usporedive intenzitete odnosno ekstremno visoke razine mora. Ta područja su središnji dio sjevernog Jadrana (reprezentativne postaje: Rovinj i Bakar) na kojem ekstremno

visoke razine mora dosežu visine iznad 90 cm, južni dio sjevernog Jadrana (postaje Golubinka i Zadar) na kojem ekstremno visoke razine mora dosežu visine iznad 75 cm, srednji Jadran (postaje Prosika, Split, Ploče i Ustava ušće Neretva) na kojem ekstremno visoke razine mora dosežu visine iznad 70 cm te južni Jadran na kojem ekstremno visoke razine mora dosežu visine iznad 60 cm. Na postaji Ploče bilježe se nešto veće ekstremne razine mora – vjerojatno zbog utjecaja srednje-jadranskog seša. Za svako od ovih područja odabrana je po jedna ekstremna epizoda koja se modelira numeričkim oceanografskim modelom i na temelju koje se radi analiza raspodjele ekstremno visokih razina mora duž istočne obale Jadranskog mora.

Tablica 3.4. Lokacije postaja, te izdvojene epizode ekstremno visokih vodostaja (visina i vrijeme); podebljanim fontom i crvenom, narančastom i zelenom bojom označene su epizode ekstremno visokih vodostaja koje će se numerički modelirati

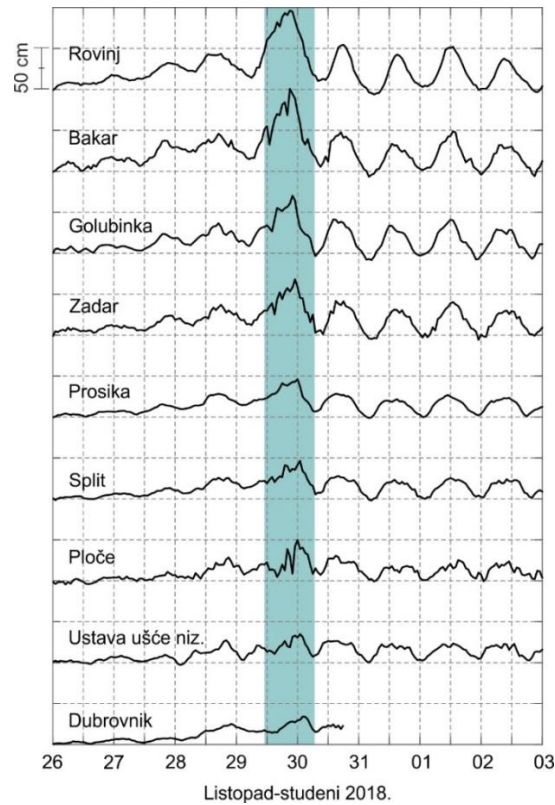
Postaja	Geograf. širina	Geografs. duljina	1. Epizoda		2. epizoda		3. epizoda	
			Vrijeme	Visina (cm)	Vrijeme	Visina (cm)	Vrijeme	Visina (cm)
Rovinj	45.0837	13.6291	29/10/2018 21:00	96.4	1/11/2012	95.6	12/11/2019 19:00	91.2
Bakar	45.3050	14.5400	29/10/2018 21:00	100.7	1/11/2012 04:00	93.4	2/10/1993 21:00	86.9
Golubinka	44.2565	15.2654	22/12/2019 10:00	81.7	1/11/2012 07:00	79.3	25/12/1996 14:00	70.6
Zadar	44.1192	15.2304	22/12/2019 13:00	79.0	1/11/2012 06:00	77.0	20/12/1996 10:00	71.3
Prosika	43.8440	15.6226	21/10/1992 17:00	77.7	22/12/2019 14:00	77.0	13/12/2019 19:00	69.0
Split	43.5067	16.4386	22/12/2019 15:00	79.9	13/12/2019 21:00	68.5	1/11/2012 06:00	64.2
Ploče	43.0481	17.4241	22/12/2019 16:00	81.9	13/12/2019 71.2	71.2	13/11/2019 12:00	65.9
Ustava ušće	43.0073	17.4698	22/12/2019 15:00	74.7	14/11/1997 11:00	74.2	30/12/2000 06:00	65.6
Dubrovnik	42.6579	18.0608	29/12/2000 22:00	70.3	13/11/2019 11:00	67.5	13/12/2019 23:00	58.4

Nadalje, napravljena je analiza ekstremno visokih razina mora po mjesecima, te je za numeričko modeliranje odabrana po jedna mjesečna epizoda – i to ona za koje su razine mora bile najviše duž najvećeg dijela obale (Tablica 3.5).

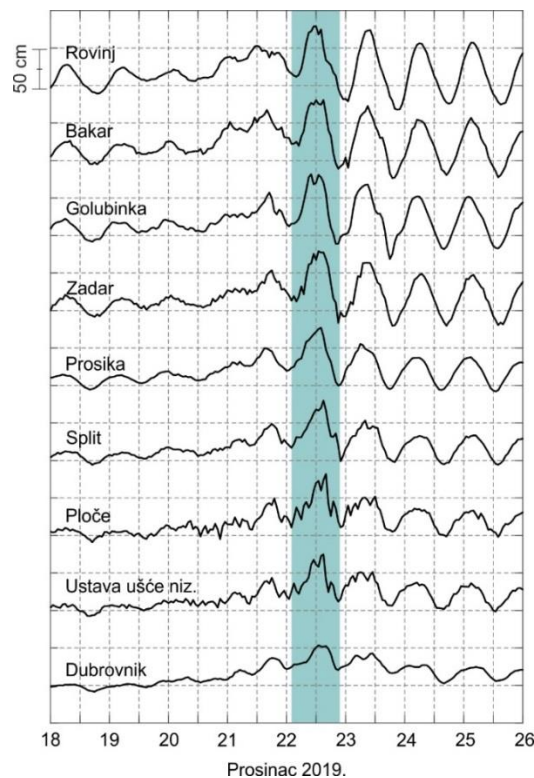
Na slikama (Slika 3.6, Slika 3.7) dani su primjeri epizoda ekstremno visokih vodostaja. Prikazani su rezidualni nizovi epizoda od 29-30. listopada 2018. godine kada su razine mora bile najviše na sjevernom Jadranu te od 22. prosinca 2019. godine kada su razine mora bile najviše na srednjem i južnom Jadranu.

Tablica 3.5. Izdvojene epizode ekstremno visokih vodostaja (visina i vrijeme) po mjesecima koje će se modelirati; podebljanim fontom su, za svaku postaju, označene maksimalne godišnje vrijednosti.

		Postaja								
		Rovinj	Bakar	Gol.	Zadar	Prosika	Split	Ploče	Ustava ušće nizvodno	Dub.
Siječanj	Vrijeme	30. siječnja 2015.								
	Visina (cm)	67.5	70.3	62.9	55.5	52.9	53.8	60.2	52.0	44.4
Veljača	Vrijeme	3. veljače 2019.								
	Visina (cm)	59.1	67.9	62.4	58.3	37.8	50.0	51.2	46.0	N/A
Ožujak	Vrijeme	25. ožujka 2015.								
	Visina (cm)	60.0	47.6	40.2	36.9	31.4	29.0	18.5	15.9	10.8
Travanj	Vrijeme	5. travnja 2013.								
	Visina (cm)	49.5	49.2	51.8	46.6	46.4	47.6	43.5	41.0	34.3
Svibanj	Vrijeme	12. svibnja 2017.								
	Visina (cm)	54.7	37.8	39.8	30.7	27.3	28.3	29.4	27.8	19.2
Lipanj	Vrijeme	16. lipnja 2016.								
	Visina (cm)	45.2	45.5	43.9	47.5	37.2	32.1	42.8	23.0	15.5
Srpanj	Vrijeme	28. srpnja 2019.								
	Visina (cm)	35.4	33.9	29.0	25.4	25.5	23.6	20.1	16.9	15.2
Kolovoz	Vrijeme	2. kolovoza 2019.								
	Visina (m)	23.2	28.4	27.6	32.2	15.9	10.9	30.8	24.5	9.9
Rujan	Vrijeme	28. rujna 2020.								
	Visina (cm)	N/A	N/A	43.7	44.0	42.4	N/A	43.3	44.8	43.8
Listopad	Vrijeme	29. listopada 2018.								
	Visina (cm)	96.4	100.7	70.2	68.1	46.1	46.5	49.9	34.8	34.1
Studeni	Vrijeme	1. studenog 2012.								
	Visina (cm)	95.6	93.4	79.3	77.0	68.9	64.3	56.4	57.6	48.9
Prosinac	Vrijeme	22. prosinca 2019.								
	Visina (cm)	78.8	80.6	81.7	79.0	77.0	79.9	81.9	74.7	53.5

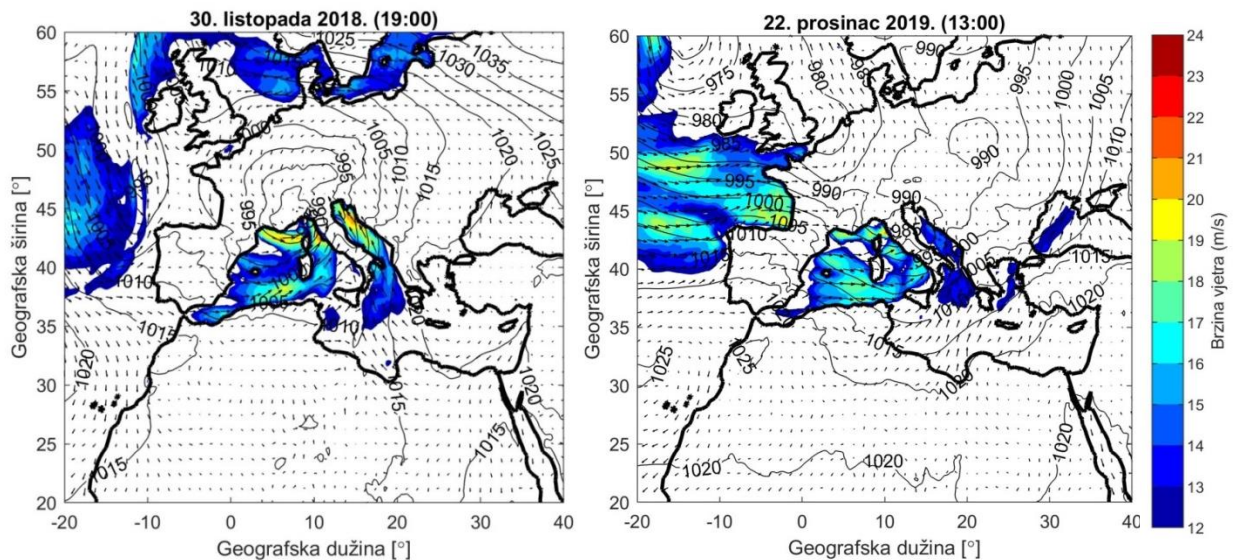


Slika 3.6. Rezidualni nizovi razine mora izmjereni tijekom 26. listopada-3. studenog 2018. godine. Epizoda ekstremno visoke razine mora je zasjenčena



Slika 3.7. Rezidualni nizovi razine mora izmjereni tijekom 18.-26. prosinca 2019. godine. Epizoda ekstremno visoke razine mora je zasjenčena

Slika 3.8 prikazuje sinoptičku situaciju za vrijeme epizoda maksimalno visoke razine mora od 29-30. listopada 2018. godine i od 22. prosinca 2019. godine. Prikazana je sinoptička situacija dobivena iz podataka ERA5-reanalize – ova reanaliza je odabrana za prikaz s obzirom na to da pokriva cijelu Europu (tj. svijet) te se iz nje može dobiti bolja predodžba o sinoptičkom forsiranju. Uočljivo je da je epizoda od 29-30. listopada 2018. izazvana poljem niskog tlaka zraka nad područjem Genovskog zaljeva te povezanim puhanjem jakog juga (satne brzine iznad 20 m/s) nad Jadranom. Ovakva sinoptička situacija uzrokuje „guranje“ mora prema sjevernom Jadranu te posljedično najviši porast razine na ovom području, kako je i zabilježeno. Nasuprot ovome, epizoda od 22. prosinca 2019. može se povezati s poljem niskog tlaka zraka nad sjevernim Jadranom te s njim povezanim puhanjem južnog vjetrova, odnosno „lebića“ prema obali srednjeg i južnog Jadrana. Ovakva sinoptička situacija uzrokuje „guranje mora“ upravo prema obali južnog i srednjeg Jadrana te posljedično najviši porast razine mora upravo na ovim područjima, kako je i zabilježeno.

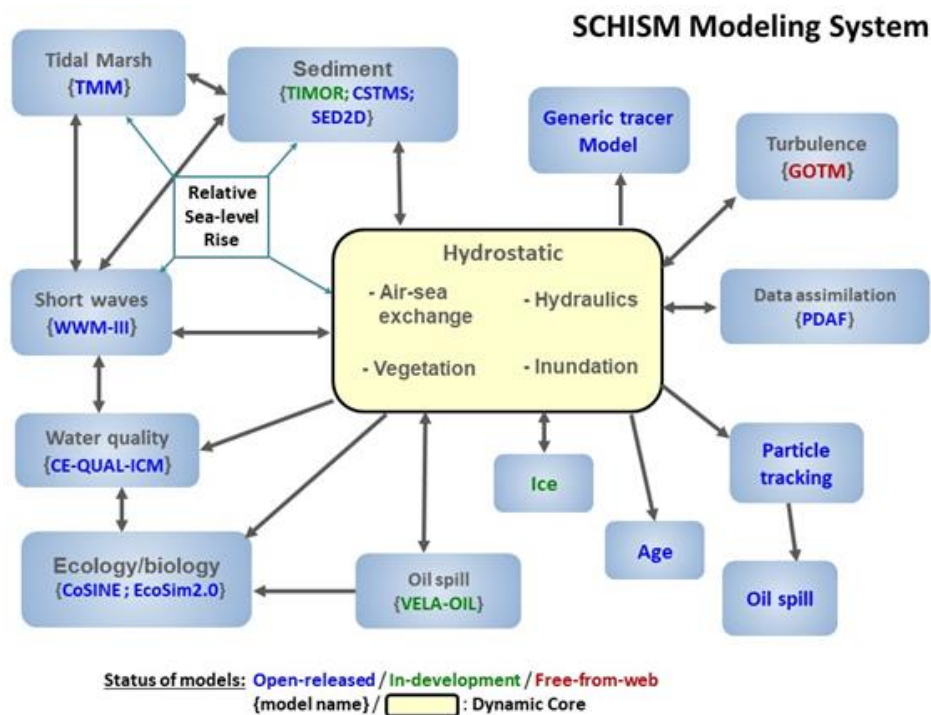


Slika 3.8. Sinoptička situacija nad Europom za vrijeme epizode od 29-30. listopada 2018. godine (lijevo) i za vrijeme epizode od 22. prosinca 2019. godine (desno) u vremenskom koraku modela najbližem vremenu zabilježenih maksimalno visokih razina mora

3.2 Numerički model SCHISM

Za modeliranje odgovora mora, odnosno ekstremno visokih vodostaja, koristi se oceanografski model **SCHISM** (<http://ccrm.vims.edu/schismweb/>; Zhang i sur., 2016a.) forsiran površinskim poljima tlaka zraka i u i v komponente vjetrova dobivenima iz opisanog modela ALADIN/HR. Model SCHISM (**S**emi-implicit **C**ross-scale **H**ydroscience **I**ntegrated **S**ystem **M**odel) je nestrukturirani model otvorenog koda namijenjen simulaciji 3D barokline

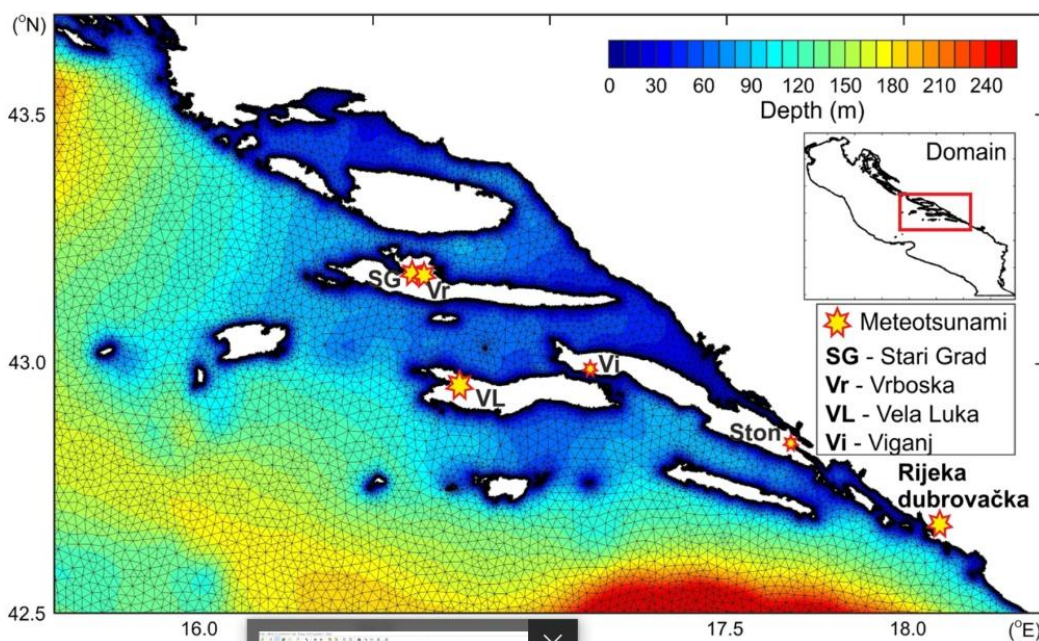
cirkulacije na prostornim skalama od izuzetno male (potoci) do izuzetno velike (oceani). U modelu se koriste visoko efikasna i točna semi-implicitna shema, kombinacija konačnih-elemenata i konačnog-volumenam te Euler-Lagrangeov algoritam za rješavanje Navier-Stokesovih jednadžbi gibanja. Model je hidrostatski. Modelom SCHISM može se modelirati niz fizičkih i bioloških procesa u slatkim i slanim vodama. Unutar numeričkog algoritma koriste se metode višeg i nižeg reda, a sve kako bi se dobili stabilni i točni rezultati na efikasan način. Očuvanje mase je osigurano primjenom metode konačnog volumena na proračune transporta. U modelu SCHISM dostupan je i algoritam za poplavljanje obalnih područja (tj. isušivanje morskog dna) (eng. “wetting-drying”). Model SCHISM je korišten u brojnim istraživanjima koja uključuju regionalna mora, zaljeve i estuarije te su njima uspješno modelirane opća cirkulacija (Stanev i sur., 2017.), tsunamiji (Zhang i sur. 2016b.), meteorološki tsunamiji (Bubalo i sur., 2018.), olujni uspori (Fernandez-Montblanc i sur., 2020.; Liu i sur., 2020.), kvaliteta vode, izljevi nafte, transport sedimenata, obalna ekologija, doprinos valova olujnim usporima (Lavaud i sur., 2020.) i brojni drugi procesi. Shematski prikaz modela kao i prikaz svih dostupnih modula dani su na slici (Slika 3.9). Računski kod modela SCHISM i upute za korištenje mogu se besplatno dohvatiti sa web stranice <http://ccrm.vims.edu/schismweb/>, a daljnji detalji su dostupni u radu Zhang i sur. (2016a.).



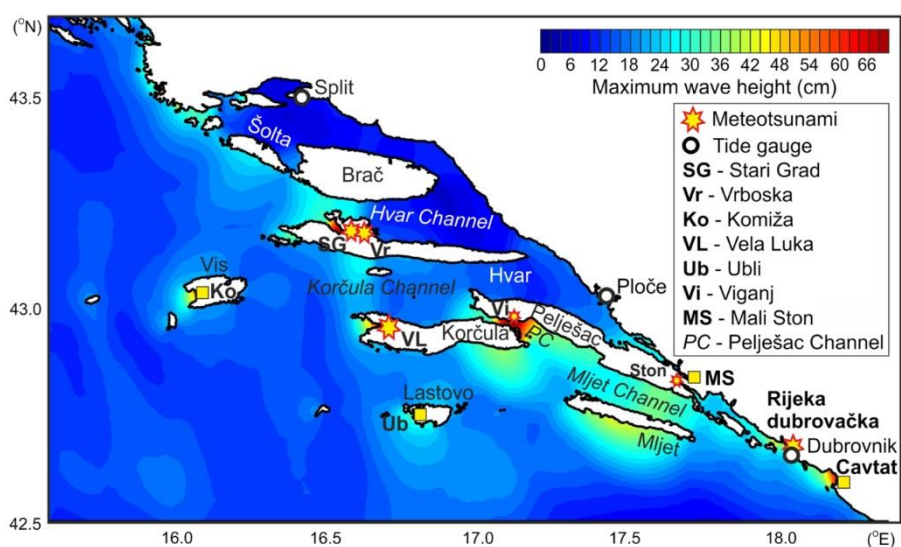
Slika 3.9. Shematski prikaz dostupnih modula unutar modela SCHISM

U okviru projekta koristi se isključivo osnovni hidrostatski modul, te barotropna verzija modela – s obzirom na to da se time povećava računaska učinkovitost i brzina, a očekivani rezultati modeliranja ekstremno visokih razina mora su zadovoljavajući (Međugorac i sur., 2018.; Šepić i sur., 2016.). Model SCHISM je uspješno korišten za modeliranje procesa u

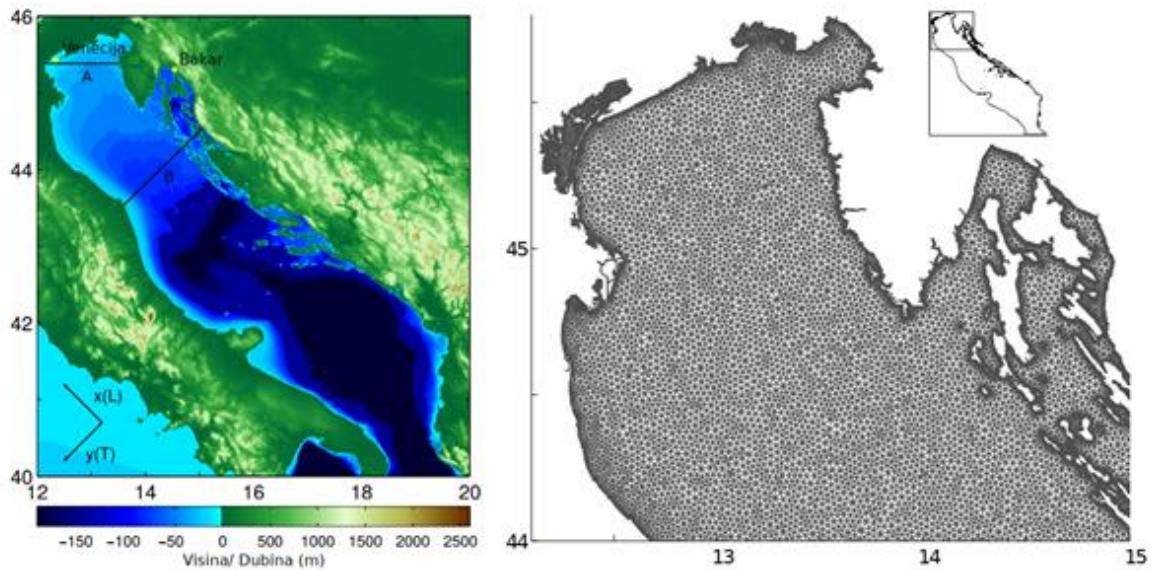
jadranskom moru vezanih uz ekstremno visoke razine mora (Međugorac i sur., 2018.; Šepić i sur, 2016.). Na slici (Slika 3.10) prikazana je triangularna mreža korištena u radu Šepić i sur. (2016.) u kojem su uspješno reproducirani meteorološki tsunamiji koji su pogodili područje srednje Jadrana tijekom 24 do 27. lipnja 2014., a na slici (Slika 3.11) prostorna raspodjela ekstremno reproduciranih ekstremno visokih razina mora. Nadalje na slici (Slika 3.12) prikazana je prostorna domena i triangularna mreža korištena u radu Međugorac i sur. (2018.), u kojem su uspješno reproducirani olujni uspori karakteristični za sjeverni Jadran



Slika 3.10. Dio domene numeričkog modela SCHISM – prikazana je batimetrija i mreža modela. Cjelokupna domena je prikazana u manjem isječku (Šepić i sur, 2016.).



Slika 3.11. Prostorna mapa reproduciranih ekstremno visokih razina mora dobivena korištenjem numeričkog modela SCHIM (Šepić i sur., 2016.).



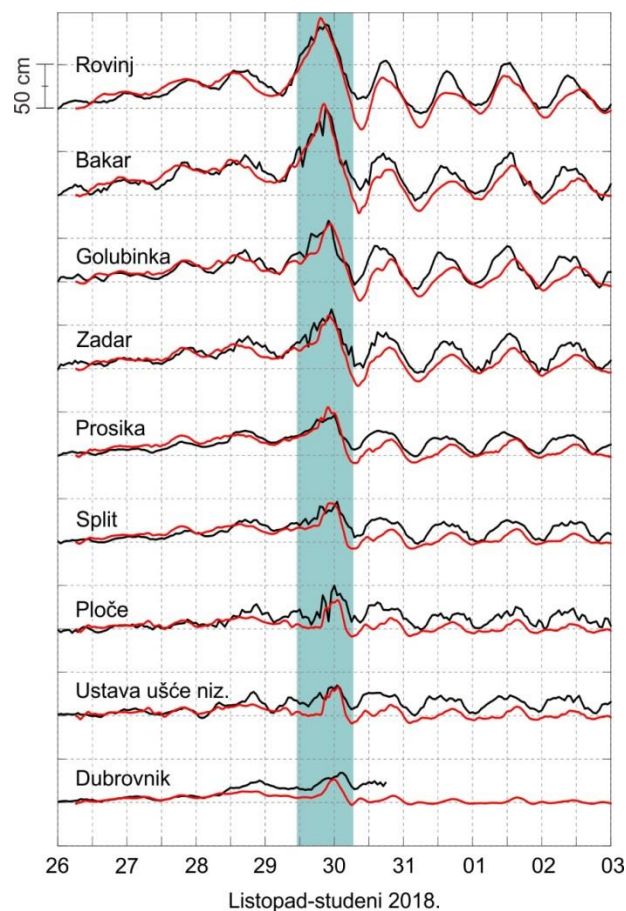
Slika 3.12. Domena i batimetrija numeričkog modela SCHISM – na slici lijevo je prikazana batimetrija Jadrana, a na slici desno dio mreže modela. Cjelokupna domena je prikazana u manjem isječku desno (Međugorac, 2018.).

Modelirane ekstremno visoke razine mora uspoređuju se sa ekstremno visokim razinama mora mjenjenim na mareografskim postajama. Za svaku postaju određuje se, na temelju svih modeliranih situacija, BIAS (odstupanje) i RMS (srednja kvadratna pogreška) modela - te su izračunati korekcijski faktor za svaku postaju. Korekcijski faktori interpolirani su na čitavu hrvatsku obalu Jadrana te je sukladno tome primijenjen na modelirane razine mora. Isto rezultira realističnijim (tj. korigiranim) ekstremno visokim razinama mora duž čitave hrvatske obale Jadrana. S obzirom na to da je za poplavlivanje različitih dijelova obale Jadrana u pravilu odgovorna drugačija sinoptička situacija, kao ekstremno visoka modelirana razina mora odabire se za svaku točku obale najviša modelirana razina mora, neovisno o sinoptičkoj situaciji koja je poslužila za forsiranje. Nadalje, pretpostavljeno je da za svaku točku obale vrijedi raspodjela ekstremno visokih razina mora kakva je dobivena iz mareografskih podataka. Alternativa bi bila primijeniti oceanografski model za čitavo promatrano razdoblje od 30 godina, no isto je računski neizvedivo u zadanom projektom vremenu, te se korištenjem korekcijskog faktora primijenjenog na rezultate modela, dobiva raspodjela ekstremno visokih razina mora duž čitave obale, za odgovarajući scenariji male, velike i srednje vjerojatnosti i svaku točku na obali.

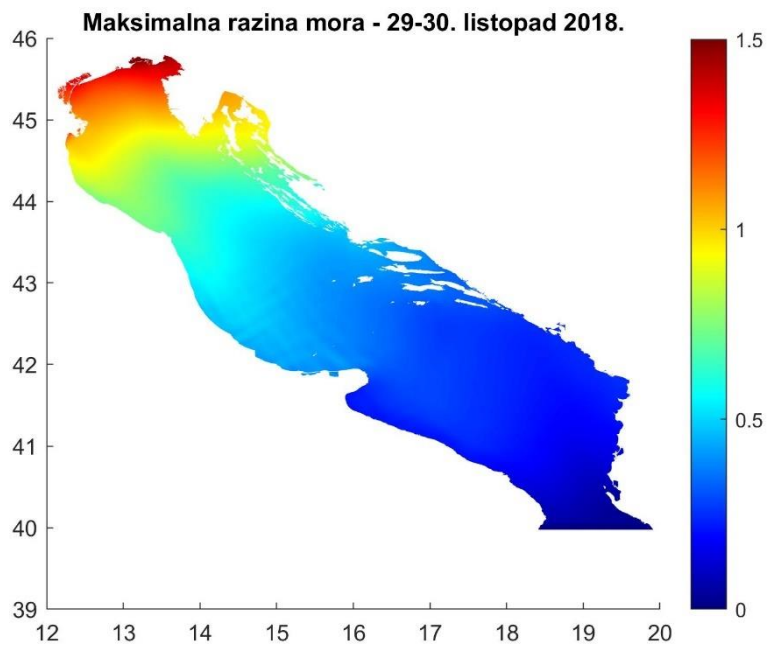
Korištenjem modela Aladin-HR određene su tipične sinoptičke situacije za svih 12 mjeseci. Tipičnim sinoptičkim poljima forsiran je oceanografski model SCHISM, te su na taj način dobivena očekivana mjesečna stanja. Ista su, u mareografskim točkama, uspoređena s izmjerenim karakterističnim mjesečnim stanjima. Ponovo su izračunati korekcijski faktor koji je primijenjen na sve točke duž obale kako bi se dobila prostorna razdioba očekivanih mjesečnih stanja razine mora.

Napravljen je niz modelskih simulacija pri kojima je oceanografski model SCHISM forsiran poljima tlaka zraka i vjetra dobivenima iz atmosferskog modela ALADIN. Rezultati simulacija dobiveni SCHISM modelom su uspoređeni s mjerenjima na mareografskim postajama – postignuto je zadovoljavajuće slaganje – te je zaključeno da se modelske simulacije mogu koristiti za reprodukciju prostorne razdiobe ekstremno visokih razina Jadranskog mora te za izračun povratnih perioda.

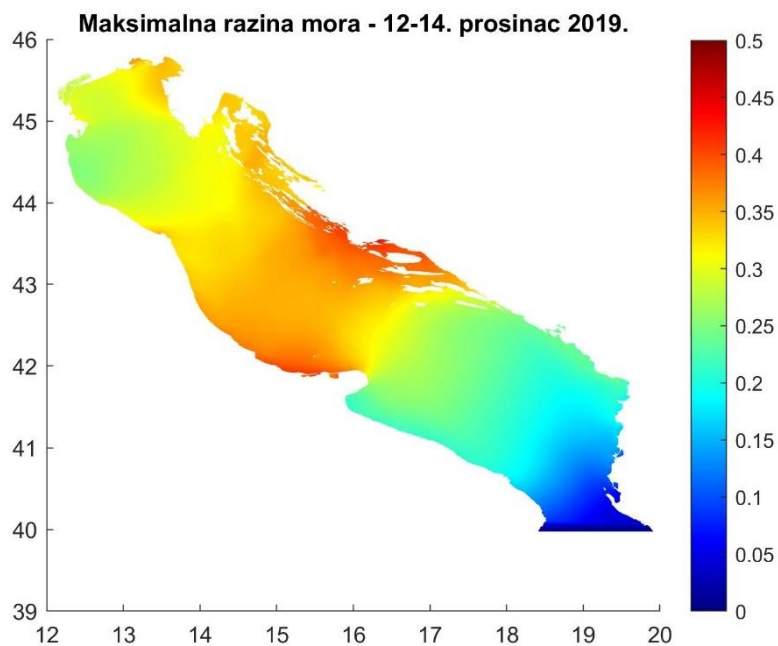
Primjer usporebde mjerenih i modeliranih razina mora dan je na slici (Slika 3.13) za olujni uspor od 19. listopada 2019. godine. Vidljivo je da je na svim postajama ekstremno visoka morska razina (parametar koji nas dominantno zanima) reproducirana izuzetno precizno. Model je manje uspješan u reproduciranju jadranskog seša (periodičke oscilacije razine mora koje slijede nakon što razina mora počne padati od maksimalne) kojeg pretjerano guši – no to nije proces koji utječe na sam maksimum razine mora. Prostorna razdioba ekstremnih razina mora za olujni uspor od 29-30. listopada 2018. dana je na slici (Slika 3.14). Ovaj olujni uspor bio je maksimalan na sjevernom jadraniu. Prostorna razdioba ekstremnih razina mora za olujni uspor od 13. prosinca 2019. dana je na slici (Slika 3.15). Ovaj olujni uspor bio je maksimalan na srednjem Jadraniu.



Slika 3.13. Usporedba mjerenih (crna linija) i modeliranih (crvena linija) razina mora za olujni uspor od 29-30. listopada 2018. Godine



Slika 3.14. Prostorna razdioba maksimalne modelirane razine mora za olujni uspor od 29-30. listopada 2018. godine. Razina mora dana je u metrima.



Slika 3.15. Prostorna razdioba maksimalne modelirane razine mora za olujni uspor od 13. prosinca 2019. godine. Razina mora dana je u metrima.

Rezultati modelskih simulacija po područjima (sjeverni, srednji i južni Jadran) su ukomponirani kako bi se dobila jedinstvena prostorna razdioba maksimalnih razina mora duž istočne obale Jadrana. Ove vrijednosti su skalirane odgovarajućim parametrom kako bi se

prilagodile povratnim periodima izračunatim iz mjerenih podataka. U tablici 3.6 dana je usporedba povratnih perioda dobivenih na temelju mjerenih podataka te povratnih perioda dobivenih na temelju modelskih simulacija. U tablici 3.7 dana je ista usporedba, ali s uvažanim utjecajem klimatskih promjena. U obje tablice dane su i srednja kvadratna greška te BIAS (srednje odstupanje) modela.

Iznosi srednjih kvadratnih pogrešaka i BIASa su unutar granica pouzdanosti procjena razina mora za dane povratne periode te možemo smatrati da model zadovoljavajuće reproducira ekstremne razine mora na istočnom dijelu Jadranskog mora. U završnim rezultatima (*.tif datoteke na elektronskom mediju) na povratne periode dodan je i deterministički plimni signal.

Tablica 3.6. Mjerene i modelirane rezidualne razine mora za povratne periode od 25, 100 i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez utjecaja klimatskih promjena

Period	25 godina		100 godina		1000 godina	
Postaja	Razina mora (cm)		Razina mora (cm)		Razina mora (cm)	
	Mjerenja	Model				
Rovinj	91.8	95.3	100.9	104.7	113.7	118.0
Bakar	98.8	96.2	113.5	110.5	138.1	134.4
Golubinka	81.3	82.1	90.0	90.6	102.7	103.7
Zadar	82.5	82.1	93.0	92.6	109.3	108.8
Prosika	76.0	80.8	85.3	90.7	99.5	105.8
Split	69.5	81.8	76.4	89.9	86.4	101.7
Ploče	74.9	70.7	85.6	80.8	103.8	98.0
Ustava ušće niz.	69.0	69.1	76.8	76.9	88.5	88.6
Dubrovnik	59.8	51.1	65.5	55.9	73.4	62.7
RMSE (cm)	5.6		6.2		7.1	
Bias (cm)	5.4		5.8		6.2	

Tablica 3.7. Mjerene i modelirane rezidualne razine mora za povratne periode od 25, 100 i 1000 godina – s utjecajem klimatskih promjena

Period	25 godina		100 godina		1000 godina	
Postaja	Razina mora (cm)		Razina mora (cm)		Razina mora (cm)	
Rovinj	151.8	155.3	160.9	164.7	173.7	188.0
Bakar	158.8	156.2	173.5	170.5	198.1	194.4
Golubinka	141.3	142.1	150.0	150.9	162.7	163.7
Zadar	142.5	142.1	153.0	152.6	169.3	168.8
Prosika	136.0	140.8	145.3	150.7	159.5	165.8
Split	129.5	141.8	136.4	149.9	146.4	161.7
Ploče	134.9	130.8	145.6	140.8	163.8	158.0
Ustava ušće niz.	129.0	129.1	136.8	136.9	148.5	148.6
Dubrovnik	119.8	111.1	125.5	115.9	133.4	122.7
RMSE (cm)	5.6		6.2		7.1	
Bias (cm)	5.4		5.8		6.2	

3.3 Isporučene ulazne datoteke za korištenje modela SCHISM

Za provedbu numeričkih simulacija ekstremnih razina mora (18 scenarija) pripremljene su sljedeće datoteke (za forsiranje modela SCHISM):

1. HR22_20121019_06+00 (polja geografske širine, geografske dužine, zonalne brzine vjetra, meridionalne brzine vjetra, i tlaka zraka na srednjoj razini mora u 06:00 UTC, 19. listopada 2012.; datoteka će se iskoristiti za forsiranje modela na kontaktu mora i atmosfere)
2. HR22_20121019_06+01 (polja geografske širine, geografske dužine, zonalne brzine vjetra, meridionalne brzine vjetra, i tlaka zraka na srednjoj razini mora u 07:00 UTC, 19. listopada 2012.; datoteka će se iskoristiti za forsiranje modela na kontaktu mora i atmosfere)
3. HR22_20121019_06+02 (polja geografske širine, geografske dužine, zonalne brzine vjetra, meridionalne brzine vjetra, i tlaka zraka na srednjoj razini mora u 08:00 UTC, 19. listopada 2012.; datoteka će se iskoristiti za forsiranje modela na kontaktu mora i atmosfere)

4-407. ...

408. HR22_20121104_06+24 (polja geografske širine, geografske dužine, zonalne brzine vjetra, meridionalne brzine vjetra, i tlaka zraka na srednjoj razini mora u 06:00 UTC, 5. studenog 2012.; datoteka će se iskoristiti za forsiranje modela na kontaktu mora i atmosfere)

409. HR22_20121119_06+00

410. HR22_20121119_06+01

411-791. ...

792. HR22_20121204_06+24

793. HR22_20181019_06+00

794. HR22_20181019_06+01

795-1198. ...

1199. HR22_20181104_06+24

1200. HR22_20191201_06+00

1201. HR22_20191201_06+01

1202-1918. ...

1919. HR22_20191230_06+24

1920. med-cmcc-ssh-rean-h_20121019-20211105.nc (razine mora iz modela Mediterranean Forecasting System - vremenska rezolucija 1h; koristit će se za rubni uvjet na Otrantu, za razdoblje 19. listopada 2012.-5. studenog 2021.

1921. med-cmcc-ssh-rean-h_20121119-20121205.nc

1923. med-cmcc-ssh-rean-h_20181019-20181104.nc

1924. med-cmcc-ssh-rean-h_20191201-20191231.nc

4 Numeričko modeliranje ekstremnih valova

Modeliranje generiranja i zamiranja gravitacionih vjetrovnih valova na području otvorenog mora i priobalnih kanalskih sustava omogućuje dobivanje relevantnih podataka za daljnje potrebe niza potencijalnih korisnika, poput projekatana koji se dobivenim rezultatima služe u proračunima stabilnosti planiranih konstrukcija ili za provjeru njihove funkcionalnosti.

Mjerenje valova sa valografima je vremenski i financijski zahtjevno a dobivene informacije mjerodavne su za sam lokalitet provedenog monitoringa. U novije vrijeme valografska mjerenja obavljaju se u svrhu baždarenja numeričkih modela sa kojima se omogućava prostorna interpolacija rezultata na proizvoljno detaljnim prostornim i vremenskim skalama.

Za aktiviranje modela valne dinamike potrebni su podaci u vidu polja vjetrovnog djelovanja iznad analiziranog područja (atmosferski model). U Državnom hidrometeorološkom zavodu Hrvatske je trenutno operativno funkcionalan atmosferski model Aladin-Hr u hidrostatskoj verziji baziranoj na primitivnim jednadžbama sa numeričkom implementacijom razvijenom u kooperaciji sa nekoliko nacionalnih meteoroloških institucija. Model proizlazi iz globalnog ARPEGE (Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) modela od Meteo-France (Courtier i sur., 1991.), sa kojime izmjenjuje i podatke o većini fizikalnih relevantnih parametara potrebnih za definiranje rubnih uvjeta (Cordoneanu i Geleyn, 1998.). Model Aladin koristi prostornu rezoluciju dostatnu za razlučivanje intenzivnih izmjena u smjerovima i intenzitetima prevladavajućih vjetrova na području Jadrana (Brzović i Strelec-Mahović, 1999.; Ivatek-Sahdan i Tudor, 2004.). Upravo izlazni skup podataka o brzinama i smjerovima vjetra iz modela Aladin pogodan je za numeričko spektralno modeliranje valne dinamike na području Jadrana.

Proces generiranja valova od njihove inicijalizacije do razvijenog stanja prijenosa energije sa vjetra na valove do sada nije potpunosti razriješen. Doprinose u općoj teoriji generiranja valova dali su Lamb (1932.), Phillips (1957.) i Miles (1957.) a u numeričkoj implementaciji teorijskih osnova Donelan (1977.), Cavaleri i Malanotte-Rizzoli (1981.) te Janssen (1989., 1991., 1992., 1998.) i Johnson [1998., 2000.). Pioniri istraživanja o značajnim valnim visinama u području ograničenih privjetrišta dali su Sverdrup i Munk (1946) te Bretschneider (1952). U novije vrijeme vrlo značajni doprinos istraživanju dali su Kahma i Calkoen (1992.), te Hercbach, H., Janssen (1999.). Posebno važan doprinos u svjetlu uspostave numeričkih modela valnog generiranja i valnih deformacija dali su Holthuijsen i sur. (1989.).

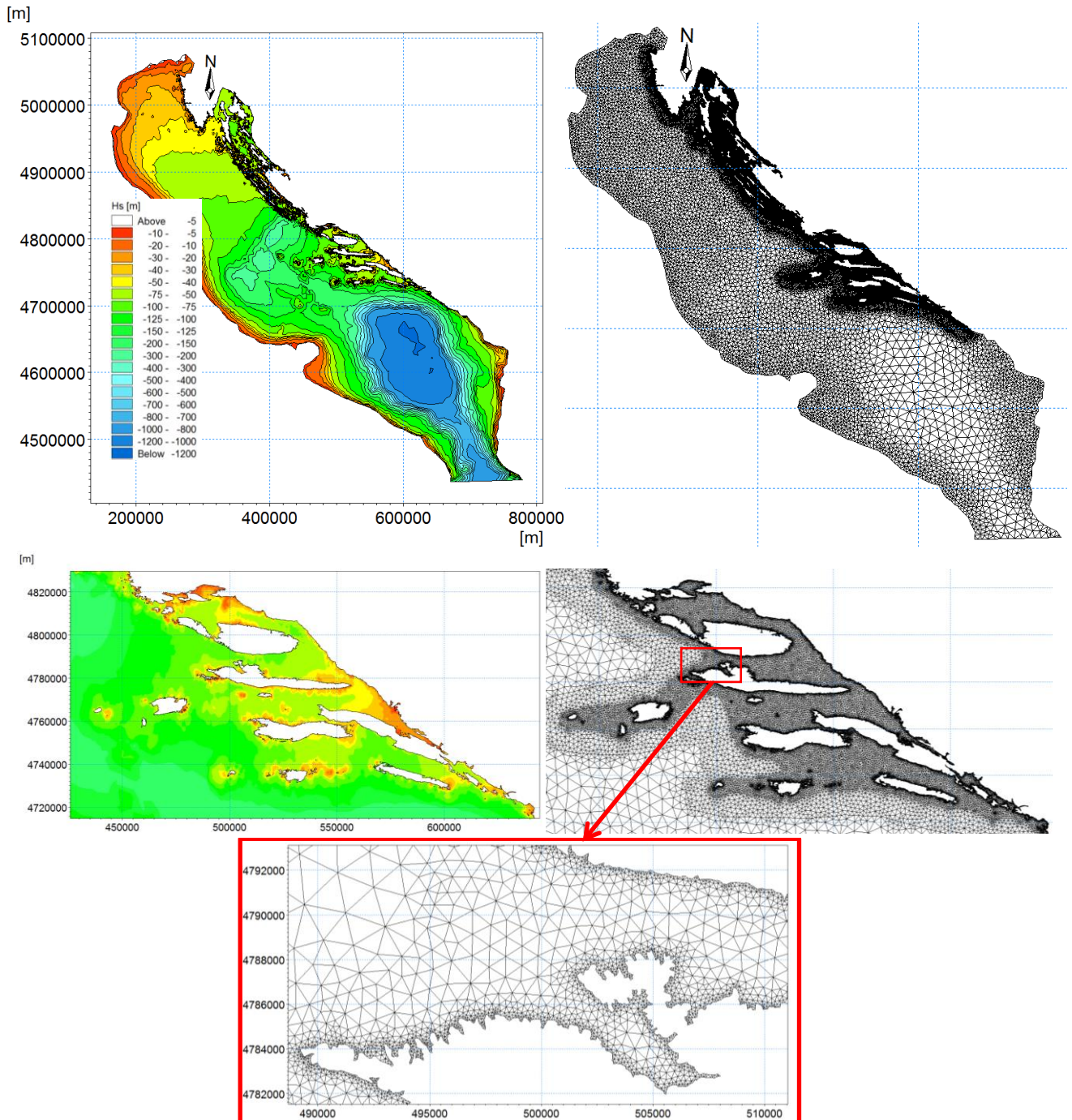
Primjena numeričke modelske tehnike u analizi valnog generiranja i valnih deformacija na području otvorenog mora Jadrana i u akvatorijima sa znatno ograničenim privjetrištima (kanalski sustav istočnog Jadrana) prezentirana je u radovima Lončar i sur. (2019a.), Lončar i sur. (2019b.), Berbić i sur. (2017.), Lončar i sur. (2011.), Lončar i sur. (2010a.), Lončar i sur. (2010b.), Lončar i sur. (2010c.). U navedenim radovima prepoznat je disbalans u transferu energije vjetera na valove, potvrđena je hipoteza o uvjetima rasta značajnih valnih visina do ekstremnih vrijednosti, iznađene su optimalne konfiguracije za hidrauličko oblikovanje luke u smislu postizanja maksimalne zaštite akvatorija od valovanja, uz istovremeno minimalno smanjenje cirkulacije i izmjene mora, prezentirani su rezultati uspostave numeričkog modela valnog generiranja za područje Jadrana koji se oslanja na dostupne podatke iz operativnog prognostičkog atmosferskog modela Aladin-HR sa prepoznavanjem situacija u kojima primijenjena modelska tehnika daje rezultate male pouzdanosti, te je dan kritički osvrt primijenjenih metoda procjene valne dinamike iz podataka o vjetru (numeričke simulacije i semi-empirički obrasci).

U okviru rezultata istraživanja Ocvirk (2010.) prezentirana su rezultatna polja značajne valne visine H_s za razdoblje 1992.-2001., dobivena primjenom numeričkog modela Mike 21/SW, uz vjetrovno forsiranje sa poljem vjetera iz modela Aladin-HR sa prostornom rezolucijom 4km i vremenskom rezolucijom 3h. Ispravnost parametrizacije numeričkog modela Mike 21/SW i njegovih rezultata na području otvorenog mora verificirani su usporedbom sa mjerenjima na valografskoj postaji smještenoj na poziciji plinske platforme Ivana (Lončar i sur., 2010a., Lončar i sur., 2016.), te sa rezultatima prikazanim u radu Katalinić (2019.) za 4 točke (Sjeverni Jadran - $44.5^{\circ}/14^{\circ}$; Srednji Jadran - $43.5^{\circ}/15.5^{\circ}$; Južni Jadran – $42.5^{\circ}/17^{\circ}$ i $42.5^{\circ}/17.5^{\circ}$) iz baze podataka Fugro OCEANOR o površinskim valovima u Jadranskom moru za razdoblje 1992. - 2016. Usporedba rezultata H_s za navedene 4 lokacije prema Ocvirk (2010.) i Katalinić (2019.), za povratna razdoblja 5, 25 i 100 godina, prikazana je u tablici 4.1.

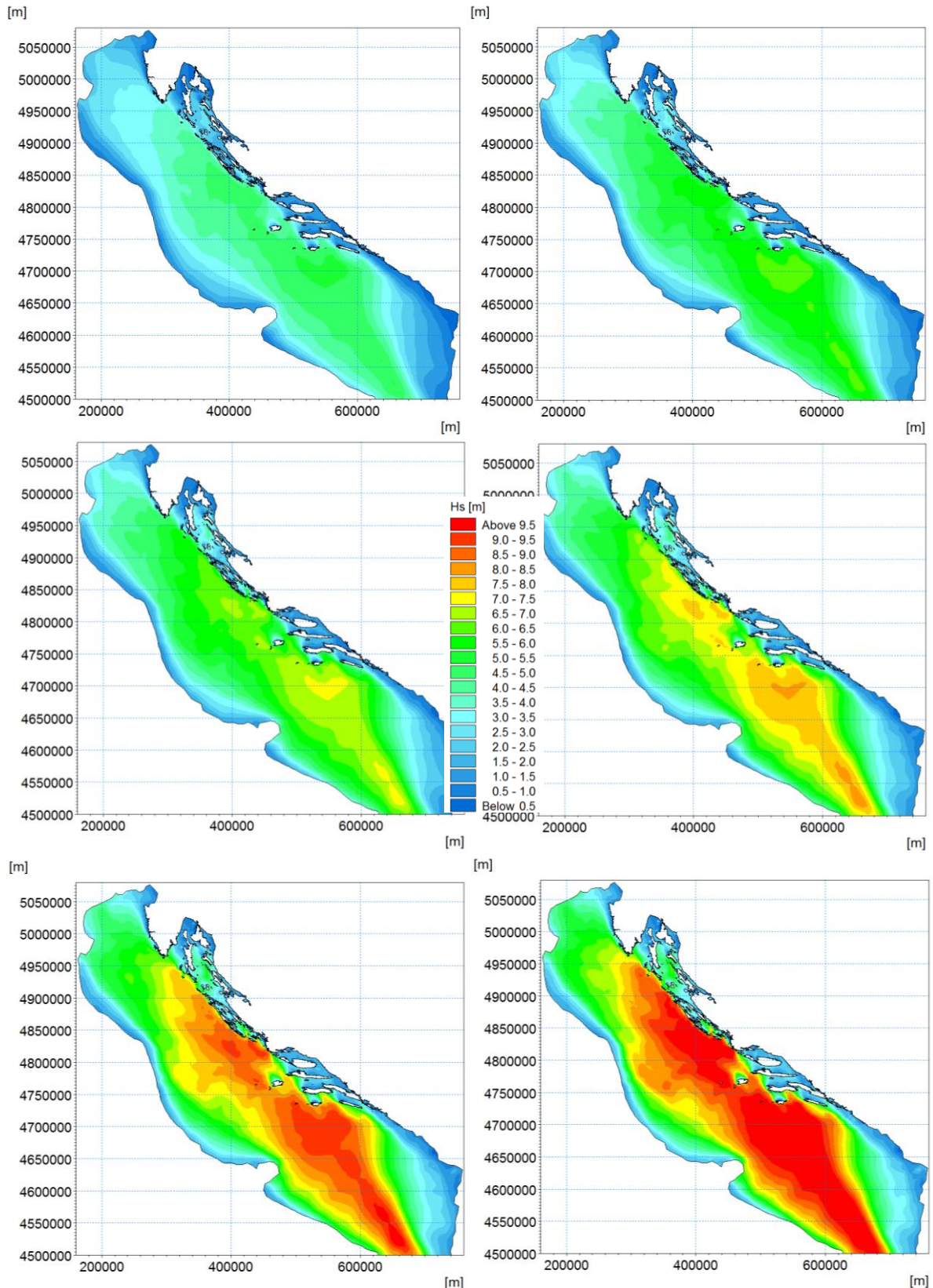
Tablica 4.1 Usporedba rezultata H_s za 4 lokacije prema Ocvirk (2010.) i Katalinić (2019.), za povratna razdoblja 5, 25 i 100 godina

	Lat ($^{\circ}$)	Long ($^{\circ}$)	PP = 5 g.	PP = 25 g.	PP = 100 g.
	Hs (m)				
Katalinić (2019.)	44.5	14.0	5.93	6.87	7.96
	43.5	15.5	5.72	6.59	7.61
	42.5	17.0	6.41	7.39	8.55
	42.5	17.5	6.70	7.78	9.07
Ocvirk (2010.)	44.5	14.0	4.92	6.48	7.82
	43.5	15.5	5.75	7.12	9.63
	42.5	17.0	5.22	7.18	9.52
	42.5	17.5	5.78	8.02	9.82

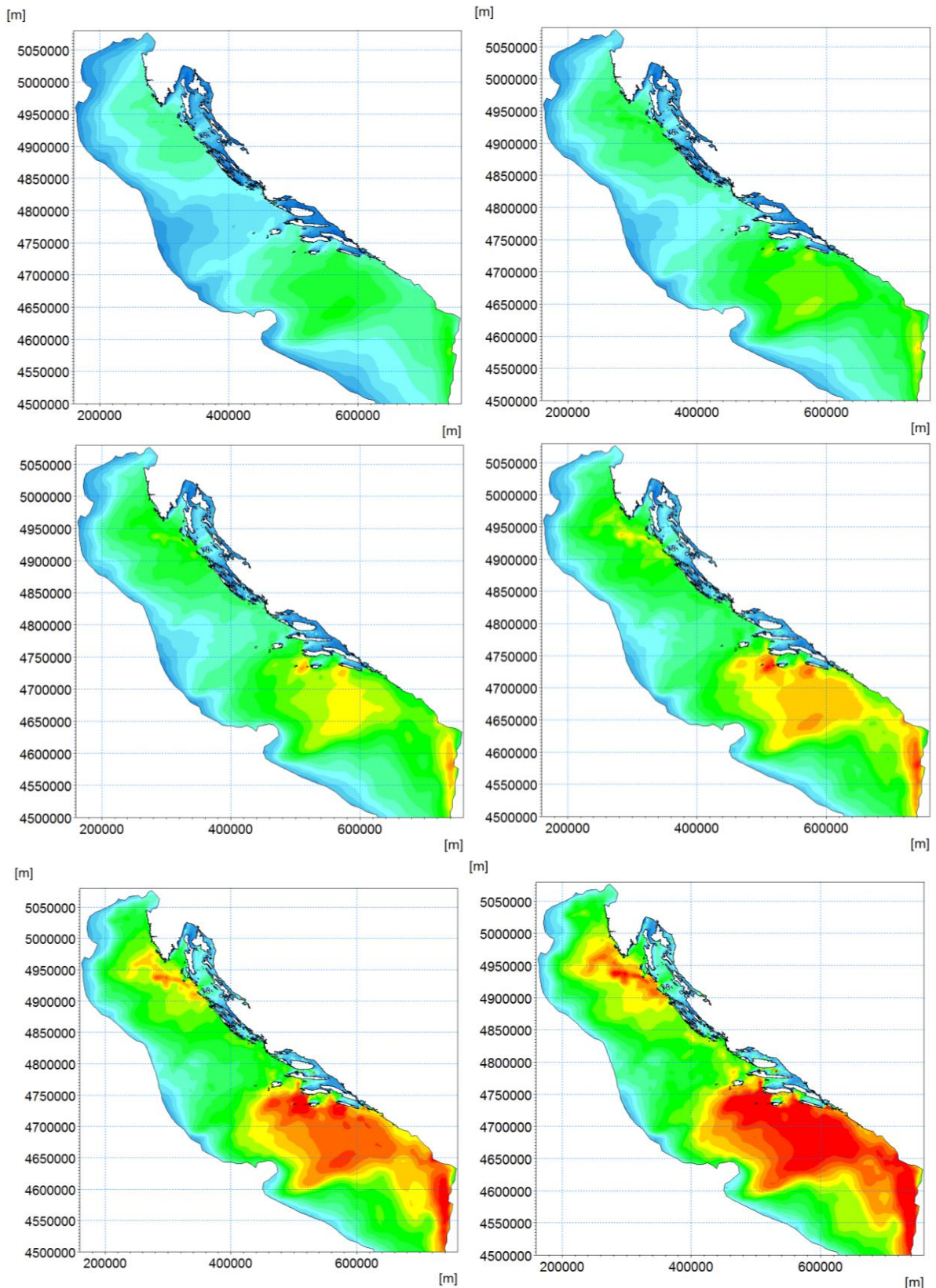
Zaključna-rezultantna polja Hs iz rada Ocvirk (2010.) prebačena su u HTRS sustav, te su ubačena u prostornu mrežu koja je gušća (obalna crta sa rezolucijom 100m, Slika 4.1) od inicijalno korištene u radu Ocvirk (2010.). Obrabljena su polja Hs za PP = 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina, te za smjerove SE i SW. Rezultati provedene obrade prikazani su na slikama (Slika 4.2 i Slika 4.3).



Slika 4.1. Prostorna domena (Jadran) numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija korištena u radu Ocvirk (2010.) i progušćena mreža (obalna crta sa rezolucijom 100m) od inicijalno korištene u radu Ocvirk (2010.)

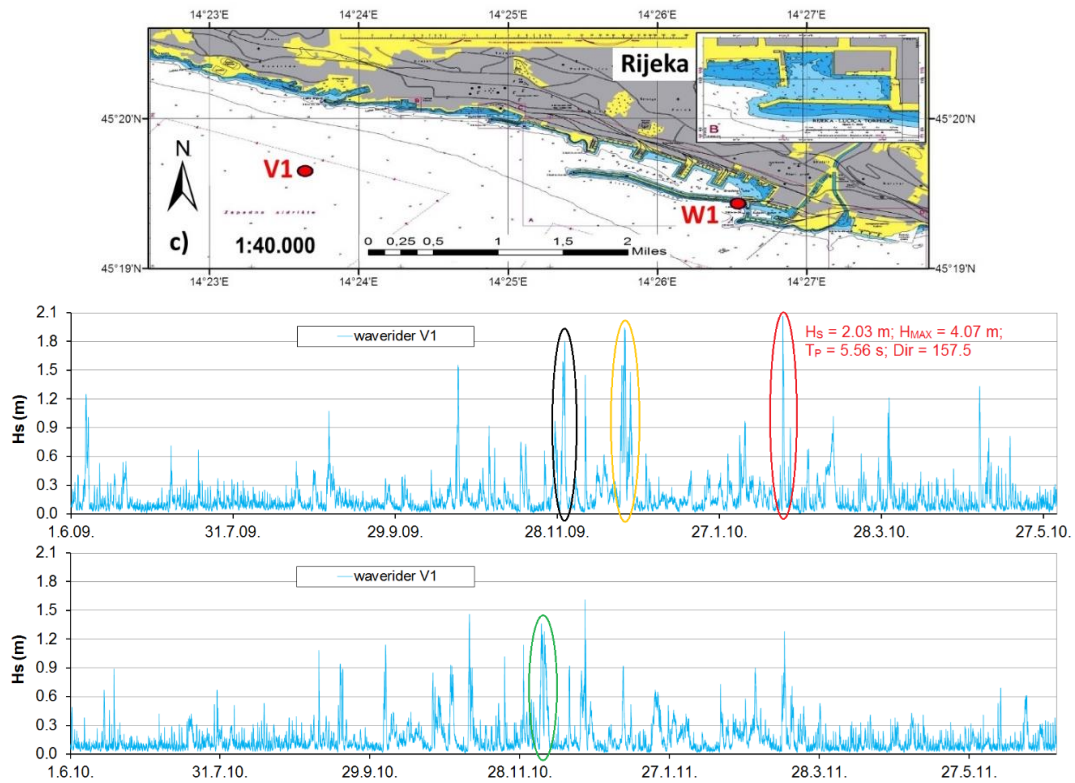


Slika 4.2. Polja Hs za sektor SE i povratna razdoblja 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina, dobivena primjenom numeričkog modela Mike 21/SW uz vjetrovno forsiranje sa poljem vjetra iz modela Aladin-HR (Ocvirk, 2010.)

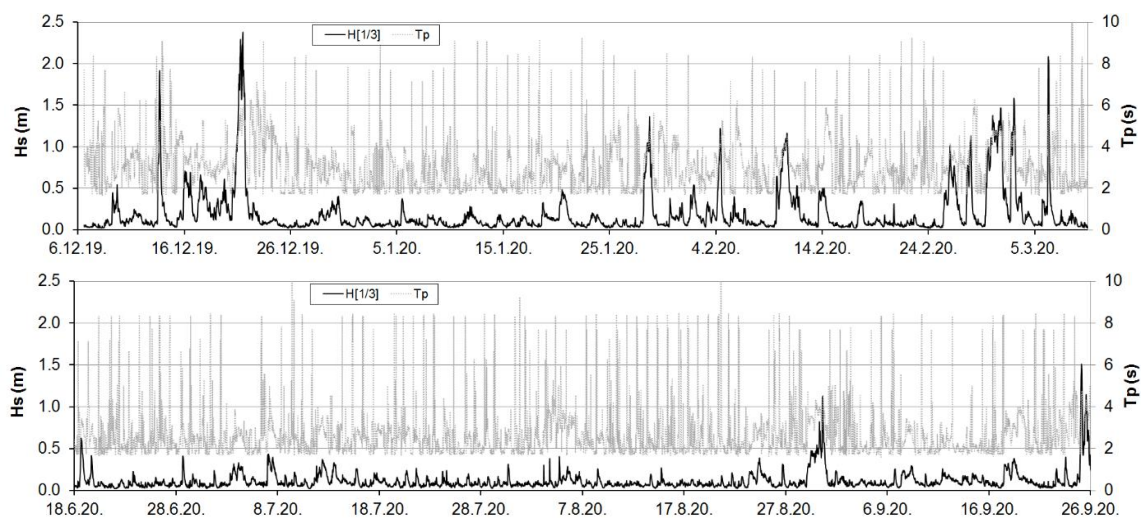


Slika 4.3. Polja H_s za sektor SE i povratna razdoblja 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina, dobivena primjenom numeričkog modela Mike 21/SW uz vjetrovno forsiranje sa poljem vjetra iz modela Aladin-HR (Ocvirk, 2010.)

Valografska mjerenja gravitacionih površinskih vjetrovnih valova u zatvorenom akvatoriju istočnog Jadrana vrlo su rijetka. Na raspolaganju su podaci mjerenja valova u neposrednoj blizini glavnog lukobrana luke Rijeka (Lončar i sur., 2019.; projekt BEACHEX, 2019.-2022.). Vremenski nizovi izmjerenih valnih elemenata u razdobljima valografskog registriranja prikazani su na slikama (Slika 4.4, Slika 4.5).



Slika 4.4. Vremenski nizovi izmjerenih H_s na valografu V1 u blizini glavnog lukobrana luke Rijeka (razdoblje 1.6.2009.-1.7.2011.)



Slika 4.5. Vremenski nizovi izmjerenih H_s i T_p na valografu u blizini glavnog lukobrana luke Rijeka (razdoblje 6.12.2019.-26.9.2020.)

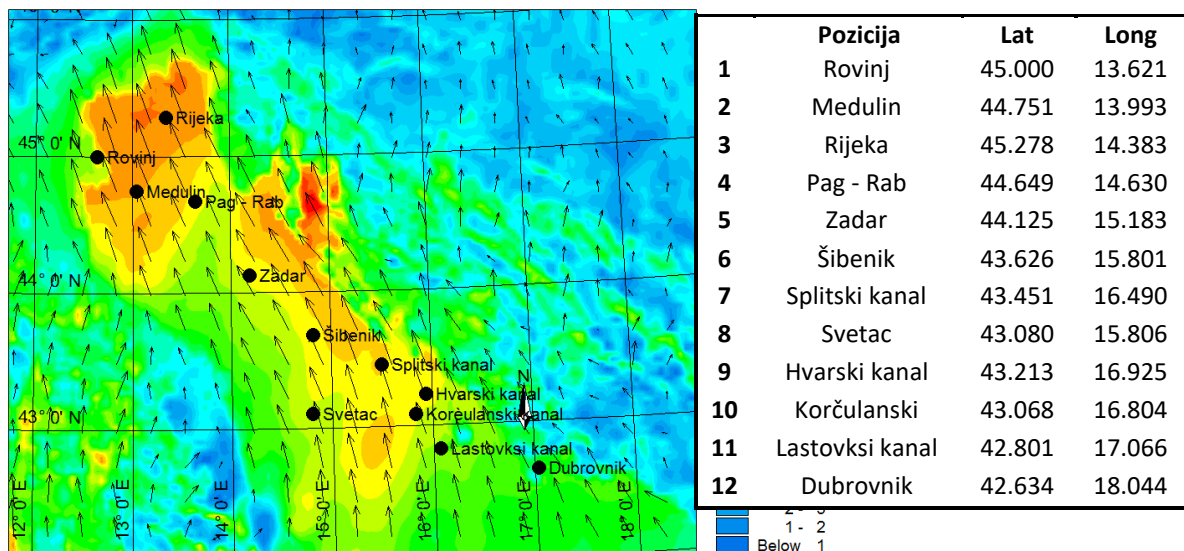
Također je potrebno napomenuti da postoji niz elaborata vjetrovalne klime u kojima su definirana spektralna valna obilježja za kritične sektore vjetrovnog i valnog djelovanja, za odgovarajuću dubokovodnu poziciju ispred predmetnih lokacija. U tablici 4.2 prikazani su dubokovodni valni parametri za valovanje SE i SW incidentnog smjera na lokacijama: Umag (Hydroexpert, 2012.), Rovinj (GFZ, 2004.), Kuje-Pula (GFZ, 2011.), Mošćenička Draga (Hydroexpert, 2016.), Rijeka (Hydroexpert, 2013.), Susak (Hydroexpert, 2017.), Krk (Hydroexpert, 2018.), Mrtvaška (Hydroexpert, 2018.), Novi Vinodolski (Hydroexpert, 2010.), Senj (Hydroexpert, 2012.), Rab (Hydroexpert, 2012.), Zadar (Hydroexpert, 2005.), Šibenik-Zablaće (GFZ, 2010.), Split-luka (GFZ, 2007.), Perna-Pelješac (Hydroexpert, 2007.), Župski zaljev (GFZ, 2018.) i Komiža (GFZ, 2007.). Usporedbom modelskih rezultata Hs (Ocvirk, 2010.) sa rezultatima valografskih zapisa i rezultatima predloženim u prethodno navedenim elaboratima vjetrovalnih klima (Tablica 4.2) može se konstatirati da modelski rezultati (Ocvirk, 2010.) daju znatno manje vrijednosti Hs u području poluzatvorenog otočnog i priobalnog akvatorija istočnog Jadrana. S druge strane, na lokacijama uzduž obalne crte zapadne Istre, modelski rezultati Hs (Ocvirk, 2010.) su u suglasju sa rezultatima prezentiranim u elaboratima vjetrovalnih klima.

Tablica 4.2. Usporedba modelskih rezultata Hs (Ocvirk, 2010.) za valovanje SE i SW incidentnog smjera sa rezultatima predloženim u elaboratima vjetrovalnih klima

Lokacija / PP	Hs (m) iz elaborata			Hs (m) iz modela (Ocvirk, 2000.)		
	5 god.	20 god.	100 god.	5 god.	20 god.	100 god.
Umag	2.8 (SW)	3.3 (SW)	3.7 (SW)	2.5 (SW)	2.9 (SW)	3.4 (SW)
Rovinj	2.4 (SW)	3.1 (SW)	4.0 (SW)	2.6 (SW)	3.3 (SW)	4.0 (SW)
Kuje - Pula	2.5 (SE)	2.7 (SE)	3.0 (SE)	3.1 (SE)	3.8 (SE)	4.7 (SE)
M. Draga	2.8 (SE)	3.0 (SE)	3.3 (SE)	0.8 (SE)	1.0 (SE)	1.3 (SE)
Rijeka	2.9 (SE)	3.4 (SE)	3.6 (SE)	0.6 (SE)	0.7 (SE)	0.9 (SE)
	2.5 (SW)	3.2 (SW)	3.6 (SW)	0.7 (SW)	1.0 (SW)	1.3 (SW)
Susak	4.7 (SE)	5.1 (SE)	5.6 (SE)	4.6 (SE)	5.3 (SE)	6.6 (SE)
Krk	2.6 (SE)	2.8 (SE)	3.0 (SE)	0.5 (SE)	0.7 (SE)	1.1 (SE)
Mrtvaška	4.8 (SE)	5.7 (SE)	6.3 (SE)	4.4 (SE)	5.5 (SE)	6.2 (SE)
	2.7 (SW)	4.2 (SW)	5.5 (SW)	3.1 (SW)	4.0 (SW)	5.1 (SW)
Novi Vinodolski	2.0 (SE)	2.3 (SE)	2.8 (SE)	1.0 (SE)	1.4 (SE)	1.5 (SE)
	1.3 (SW)	1.5 (SW)	1.6 (SW)	0.8 (SW)	1.4 (SW)	1.8 (SW)
Senj	1.0 (SW)	1.1 (SW)	1.2 (SW)	1.1 (SW)	1.6 (SW)	2.1 (SW)
Rab	2.2 (SW)	2.4 (SW)	2.5 (SW)	1.4 (SW)	1.8 (SW)	2.2 (SW)
Zadar	1.6 (SE)	1.8 (SE)	1.9 (SE)	1.5 (SE)	1.9 (SE)	2.4 (SE)
	0.8 (SW)	0.9 (SW)	1.1 (SW)	0.5 (SW)	0.6 (SW)	0.8 (SW)
Split-Luka	2.8 (SE)	3.1 (SE)	3.4 (SE)	1.3 (SE)	1.5 (SE)	1.8 (SE)
	1.2 (SW)	1.6 (SW)	2.0 (SW)	0.6 (SW)	0.9 (SW)	1.2 (SW)
Šibenik - Zablaće	0.9 (SE)	1.0 (SE)	1.2 (SE)	1.0 (SE)	1.3 (SE)	1.5 (SE)
	0.8 (SW)	0.8 (SW)	0.9 (SW)	0.5 (SW)	0.7 (SW)	0.9 (SW)
Perna - Pelješac	1.4 (SE)	1.6 (SE)	1.8 (SE)	0.9 (SE)	1.0 (SE)	1.2 (SE)
	0.7 (SW)	0.8 (SW)	0.9 (SW)	0.3 (SW)	0.5 (SW)	0.8 (SW)
Župski zaljev	3.9 (SW)	4.4 (SW)	4.9 (SW)	3.0 (SW)	3.9 (SW)	4.9 (SW)
Komiža	3,0 (SW)	3.4 (SW)	3.7 (SW)	2.7 (SW)	3.5 (SW)	4.3 (SW)

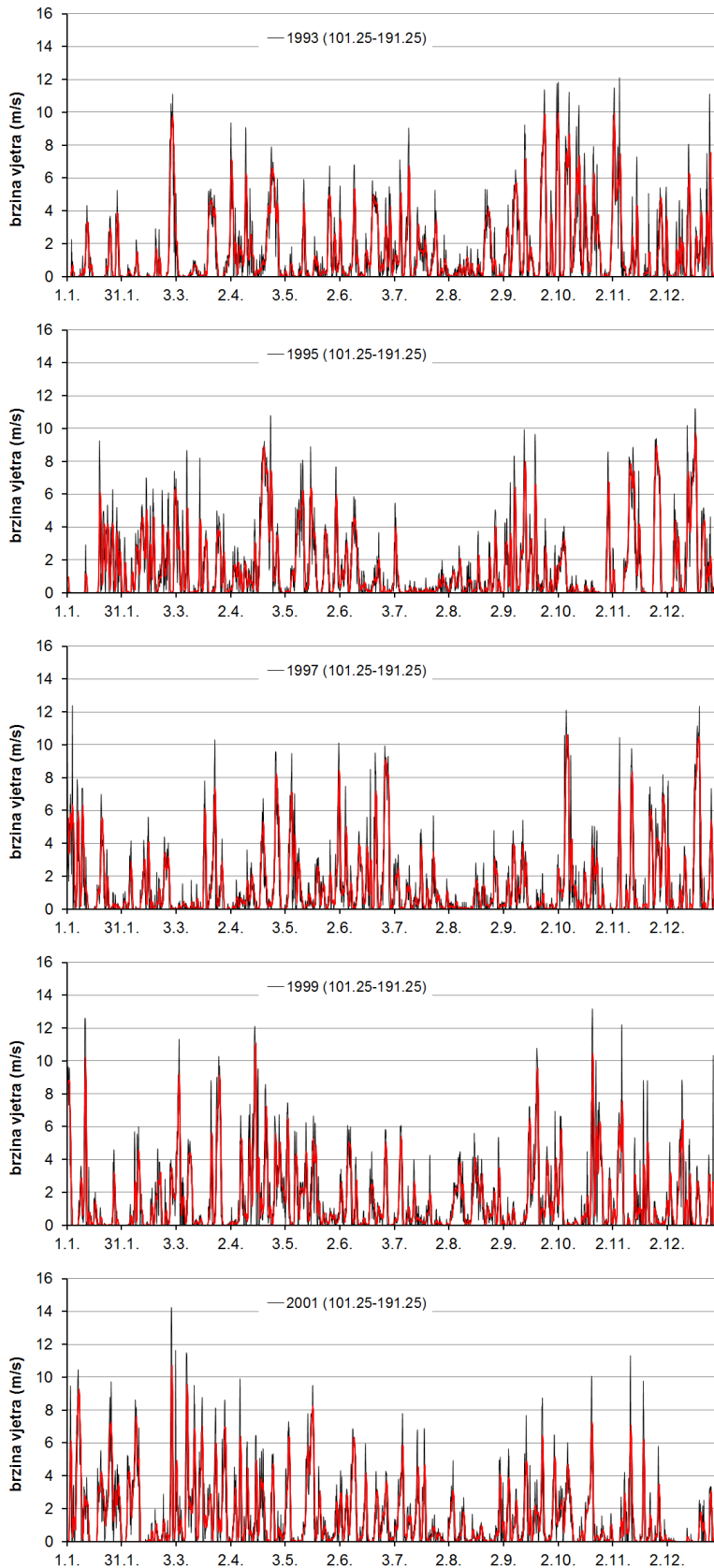
4.1 Klasifikacija podataka za 18 scenarija

Na raspolaganju su polja vjetra iz modela Aladin-HR za razdoblje 1992.-2001. u prostornoj rezoluciji 4 km i vremenskoj rezoluciji 3 sata. Kako je to već prethodno navedeno, u fokusu su dva kritična sektora puhanja, sektor „juga“ (SE ; 101.25^o – 191.25^o) i „lebića“ (SW ; 191.25^o – 270^o). Za obradu podataka iz modela Aladin-HR odabrano je 12 referentnih pozicija prikazanih na slici 4.6. Ekstrakcijom 3-satnih podataka o brzini vjetra iz modela Aladin-HR, te njihovim usrednjavanjem za sve lokacije 1-12, dobiveni su vremenski nizovi prikazani na slikama 4.7 (sektor SE) i 4.8 (sektor SW). Maksimalne godišnje brzine vjetra po pojedinačnim lokacijama 1-12, za razdoblje 1992.-2001., prikazane su na slici 4.9.

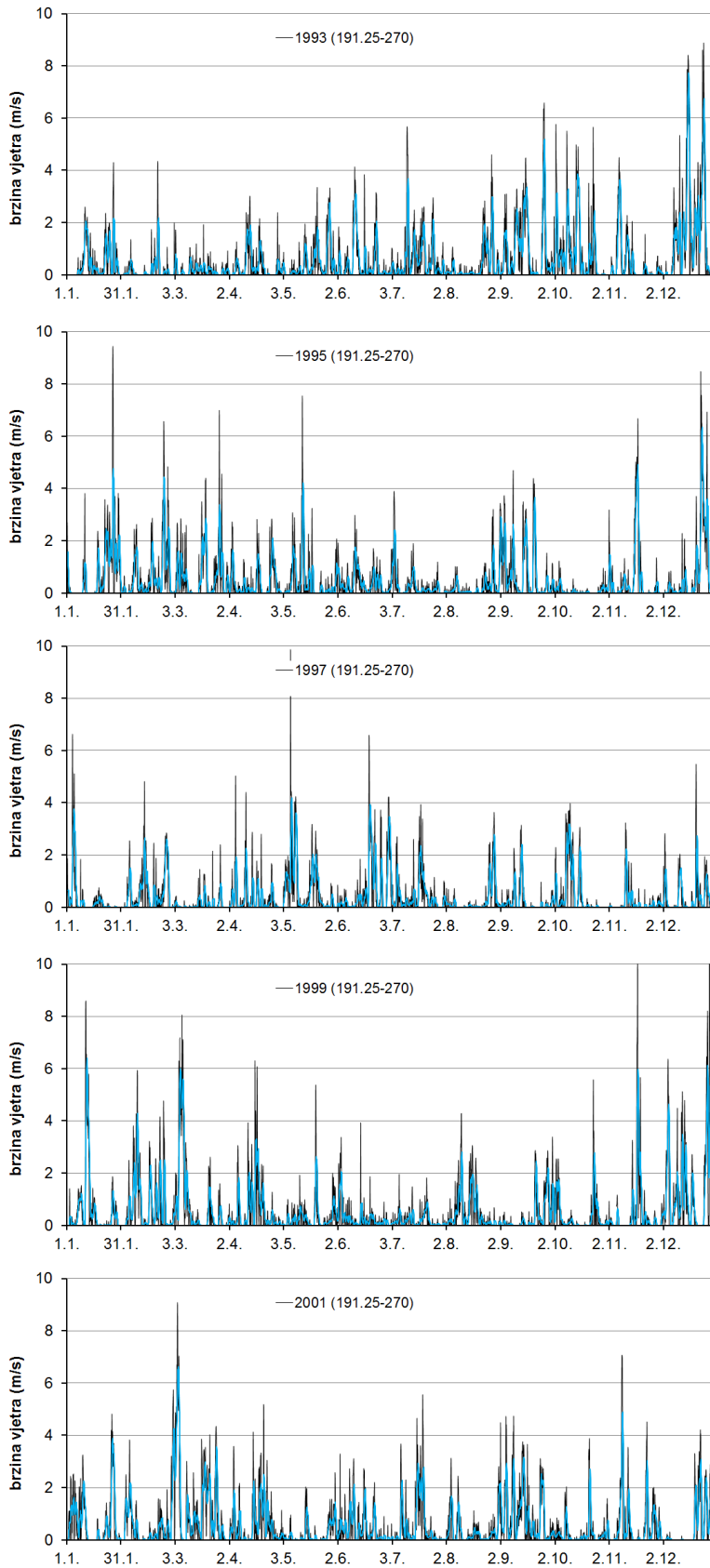


Slika 4.6. Odabranih 12 referentnih pozicija unutar prostorne domene numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija (Rovinj i Medulin za sjeverni J. ; Rijeka, Pag-Rab, Zadar i Šibenik za srednji Jadran ; Splitski kanal, Svetac, Hvarski kanal, Korčulanski kanal, Lastovski kanal i Dubrovnik za južni J.) na podlozi polja vjetra iz modela Aladin-HR za 6.11.2000 15:00

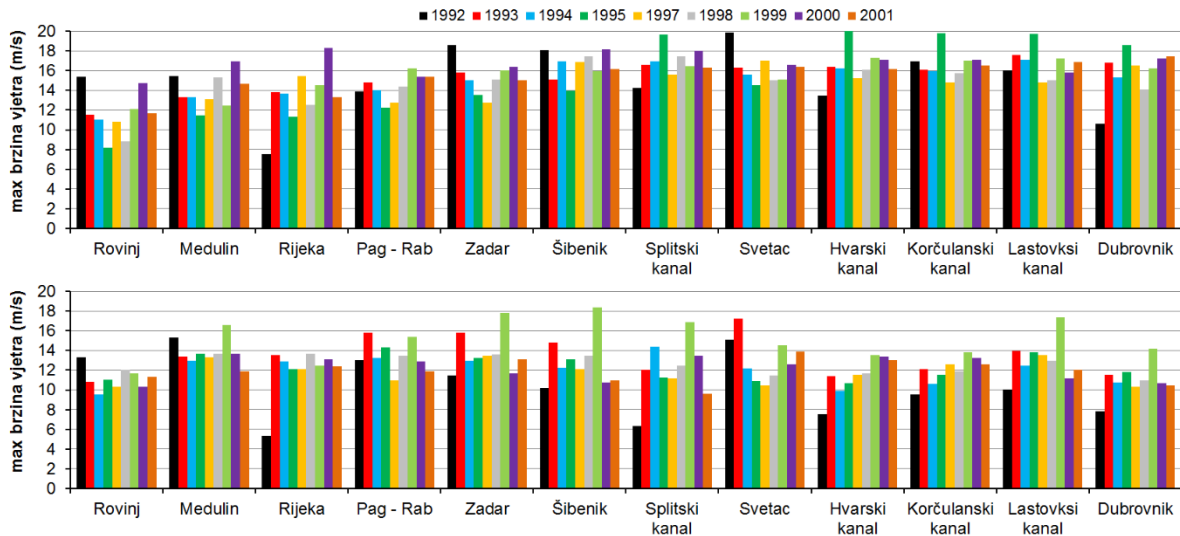
Daljnjom obradom dobivene su i maksimalne godišnje brzine vjetra za područje sjevernog jadrana (usrednjeno za lokacije 1-2), srednjeg jadrana (usrednjeno za lokacije 3-6) i južnog jadrana (usrednjeno za lokacije 7-12) po godinama za razdoblje 1992.-2001. (slike 4.12, 4.11 i 4.12). Na ovom statističkom uzorku provedena je daljnja analiza vjerojatnosti pojave za PP = 25, 100 i 1000 godina. U analizi je korištena troparameterska Weibull distribucija. U tablicama 4.3, 4.4 i 4.5 prikazane su vrijednosti proračunate brzine vjetra po povratnim periodima 25, 100 i 1000 godina za sektore SE i SW, pojedinačno za područja sjevernog, srednjeg i južnog Jadrana. Upravo ove vrijednosti predstavljaju referentni skup podataka za vjetrovno forsiranje numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija.



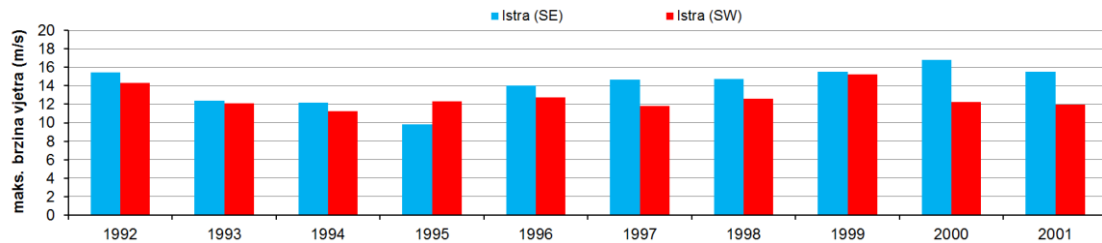
Slika 4.7. Vremenski niz tro-satne brzine vjetra, usrednjeno za lokacije 1-12, za 1993., 1995., 1997., 1999. i 2001. (sektor SE ; 101.25⁰ – 191.25⁰)



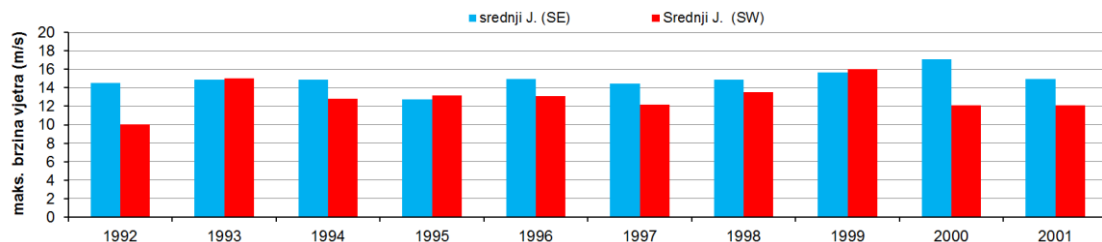
Slika 4.8. Vremenski niz tro-satne brzine vjetra, usrednjeno za lokacije 1-12, za 1993., 1995., 1997., 1999. i 2001. (sektor SW ; $191.25^{\circ} - 270^{\circ}$)



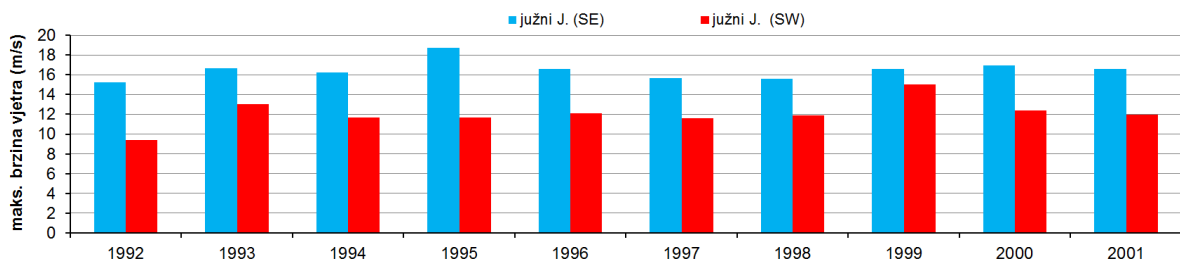
Slika 4.9. Maksimalne godišnje brzine vjetra po lokacijama 1-12 za razdoblje 1992.-2001. (gore – sektor SE (101.25⁰ – 191.25⁰) ; dole - sektor SW (191.25⁰ – 270⁰)



Slika 4.10. Maksimalne godišnje brzine vjetra usrednjene za lokacije 1-2 (sjeverni Jadran), za razdoblje 1992.-2001.



Slika 4.11. Maksimalne godišnje brzine vjetra usrednjene za lokacije 3-6 (srednji Jadran), za razdoblje 1992.-2001.



Slika 4.12. Maksimalne godišnje brzine vjetra usrednjene za lokacije 7-12 (južni Jadran), za razdoblje 1992.-2001.

Tablica 4.3. Brzina vjetra po povratnim periodima za SE i SW sektor (sjeverni jadrان)

SE	Brzina vjetra	SW	Brzina vjetra
25	17.0	25	15.2
100	17.6	100	16.6
1000	18.3	1000	18.6

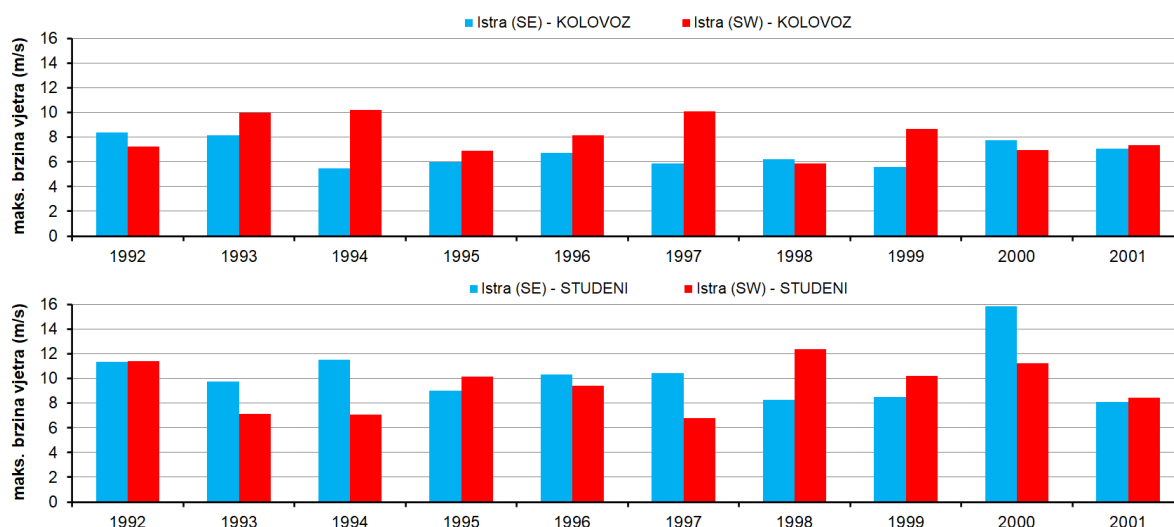
Tablica 4.4. Brzina vjetra po povratnim periodima za SE i SW sektor (srednji Jadran)

SE	Brzina vjetra	SW	Brzina vjetra
25	16.8	25	16.0
100	17.4	100	17.0
1000	18.1	1000	18.2

Tablica 4.5 Brzina vjetra po povratnim periodima za SE i SW sektor (južni jadrان)

SE	Brzina vjetra	SW	Brzina vjetra
25	18.5	25	14.8
100	19.5	100	15.7
1000	21.0	1000	17.0

U domeni modeliranja ekstremnih valova po mjesecima također se usvajaju dva kritična sektora puhanja vjetra „SE“ ($101.25^0 - 191.25^0$) i „SW“ ($191.25^0 - 270^0$), te 12 referentnih pozicija (Slika 4.6). Iz rezultata modela Aladin-HR za razdoblje 1992.-2001. određuju se maksimalne brzine vjetra za sektore SE i SW po mjesecima svake pojedinačne godine, za svaku od 12 referentnih pozicija. Daljnji korak obrade je usrednjavanje mjesečnih maksimuma sa lokacija 1-2 (sjeverni Jadran), zatim sa lokacija 3-6 (srednji Jadran), te sa lokacija 7-12 (južni Jadran). Na slici 4.13 dan je prikaz rezultata tako provedenog postupka za sjeverni Jadran, za mjesec kolovoz i studeni. Time je dobiven statistički uzorak za daljnju provedbu analize vjerojatnosti po mjesecima za povratno razdoblje od 5 godina (3-parameterska Weibull distribucija).



Slika 4.13. Maksimalne brzine vjetra za sektore SE i SW, za mjesec kolovoz i studeni po godinama u razdoblju 1992.-2001. (za sjeverni jadrان - usrednjeno sa lokacija 1 i 2)

U tablici 4.6 prikazane su konačne-usvojene vrijednosti brzine vjetra za sektore SE i SW, a koje se koriste za modelsko forsiranje u numeričkim proračunima valnog generiranja i valnih deformacija po mjesecima za 5-godišnje razdoblje.

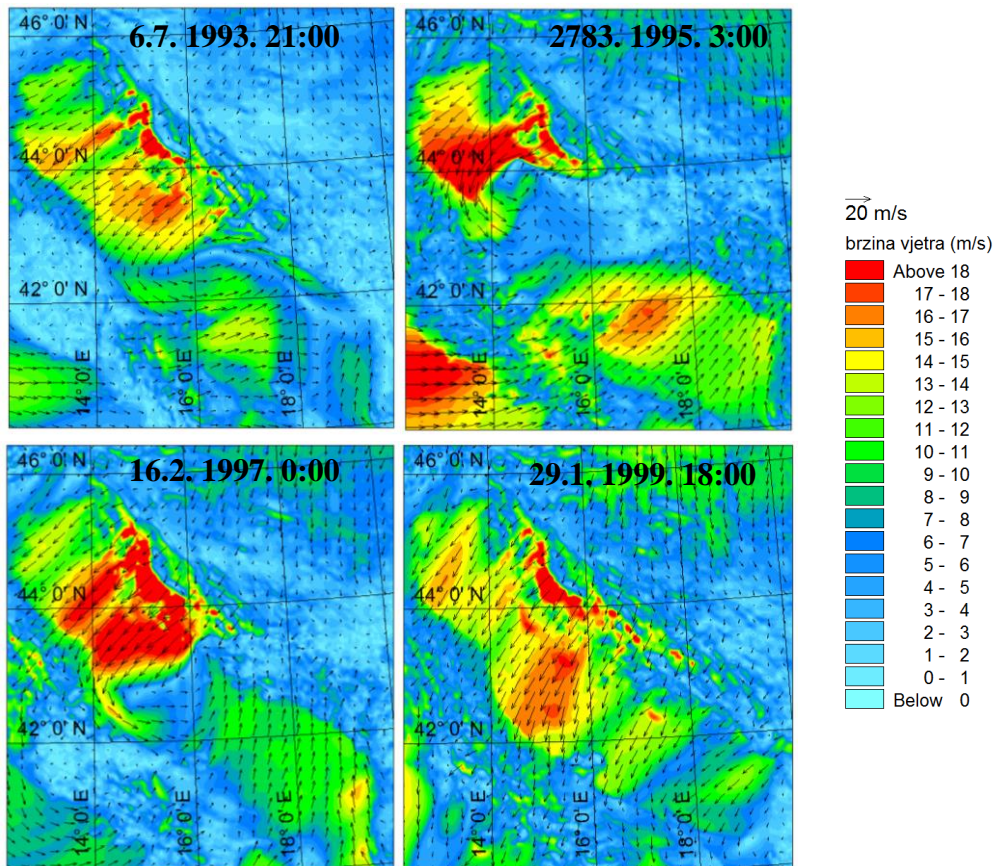
Tablica 4.6. Usvojene vrijednosti brzine vjetra (sektori SE i SW) za modelsko forsiranje u numeričkim simulacijama valnog generiranja i valnih deformacija po mjesecima

Brzina vjetra	Sjeverni jadrans		Srednji jadrans		Južni jadrans	
	sektor SE	sektor SW	sektor SE	sektor SW	sektor SE	sektor SW
Siječanj	10.4	10.3	11.9	11.3	13.7	9.1
Veljača	10.2	8.0	12.2	10.0	14.0	8.6
Ožujak	10.5	11.1	12.9	10.7	14.8	8.9
Travanj	10.6	11.0	12.8	11.3	14.6	9.3
Svibanj	9.5	9.4	10.8	9.7	13.1	7.7
Lipanj	9.0	9.9	9.6	10.3	10.7	7.4
Srpanj	8.3	10.3	9.4	10.1	11.0	8.0
Kolovoz	7.6	9.4	8.2	10.1	9.2	6.4
Rujan	11.0	11.2	12.6	11.2	13.9	10.5
Listopad	12.9	11.9	14.2	10.3	15.1	7.8
Studeni	12.0	9.7	14.6	11.7	15.5	10.7
Prosinac	10.8	12.1	13.0	13.0	16.3	12.0

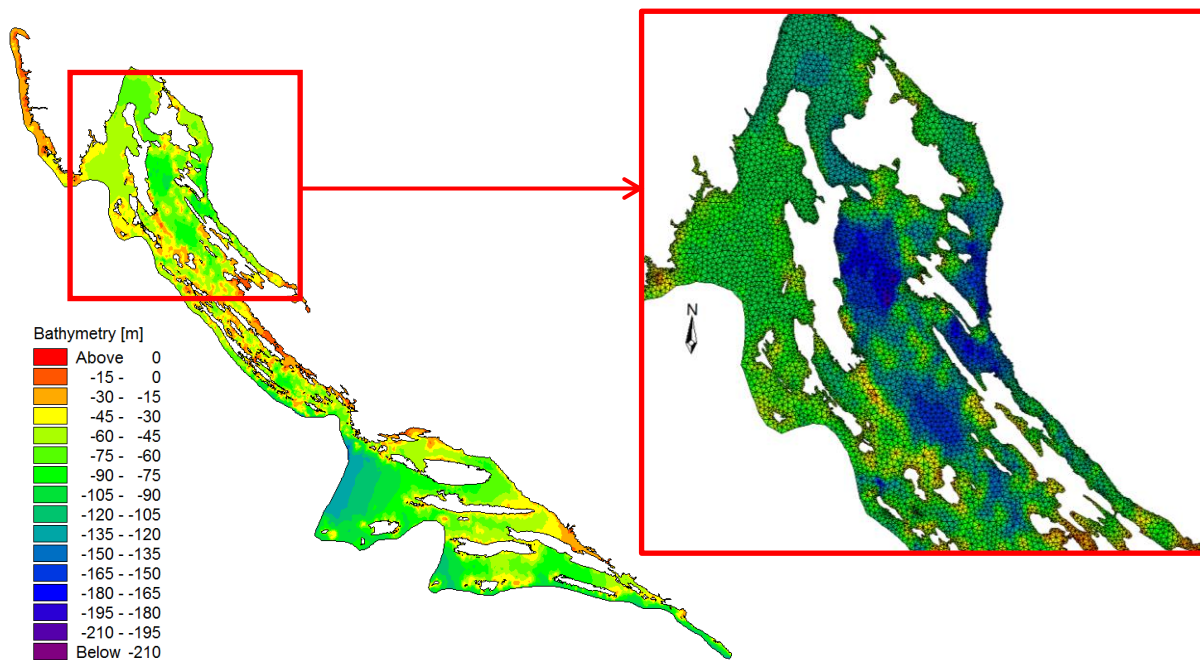
Valovi generirani burom nisu toliko interesantni u kontekstu potencijalnog plavljenja obalnog područja kao valovi juga i lebića. Za vrijeme djelovanja bure polje tlaka zraka poprima povećane vrijednosti a morska raz oscilira u rasponu nižih razina-visina. Kao potvrda iznesenoj tvrdnji napravljene su dodatne numeričke simulacije valnog generiranja i valnih deformacija.

Prvotno su iz trosatnih rezultatnih polja vjetra tijekom razdoblja 1992.-2001. (Model Aladin-Hr) prepoznate situacije s pojavom maksimalnih godišnjih brzina bure na području Jadrana (Slika 4.14). Nakon toga su provedene numeričke analize valnog generiranja i valnih deformacija na prostornoj domeni prikazanoj na slici 4.15, uz forsiranje modela sa poljem vjetra iz modela Aladin-Hr u razdoblju od 9h prethodno na termin pojave maksimalnog godišnjeg djelovanja bure (tablica 4.7). Primjeri polja značajnih valnih visina pri djelovanju maksimalnog godišnjeg intenziteta bure prikazana su na slici 4.16. Na slici 4.17 prikazano je polje maksimalnih vrijednosti značajnih valnih visina za svaku proračunsku ćeliju iz prethodno provedenih 10 numeričkih simulacija valnog generiranja pri maksimalnim godišnjim djelovanjima bure u razdoblju 1992.-2001.

Obzirom da se maksimalne značajne valne visine pojavljuju u području sjevernog Jadrana (Slika 4.16) za referentni limnigraf odabrana je pozicija Bakra. Na slici 4.18 prikazana je izmjerena dinamika morskih razina tijekom 9 sati simulacijskog perioda u svakoj kalendarskoj godini iz razdoblja 1992. – 2001. (tablica 4.7).



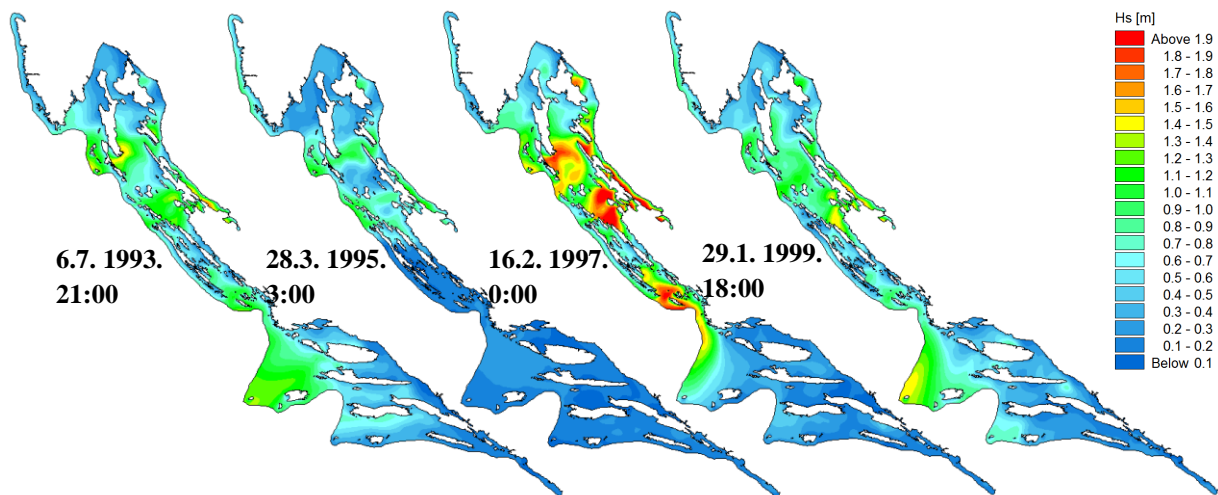
Slika 4.14. Primjer situacije s pojavom maksimalnih godišnjih brzina bure u 1993., 1995., 1997. i 1999. godini



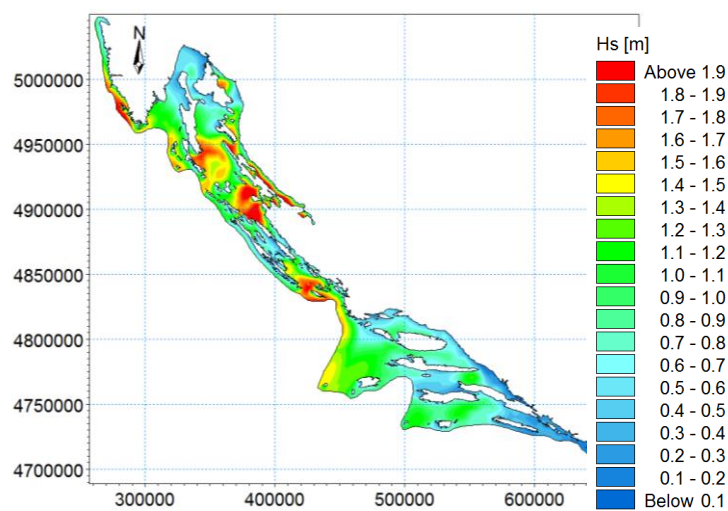
Slika 4.15. Prostorna domena numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija sa nestrukturiranom proračunskom mrežom na batimetrijskoj podlozi za analize valovanja pri djelovanju bure

Tablica 4.7. Termini pojave maksimalnog godišnjeg djelovanja bure u razdoblju 1992.-2001.

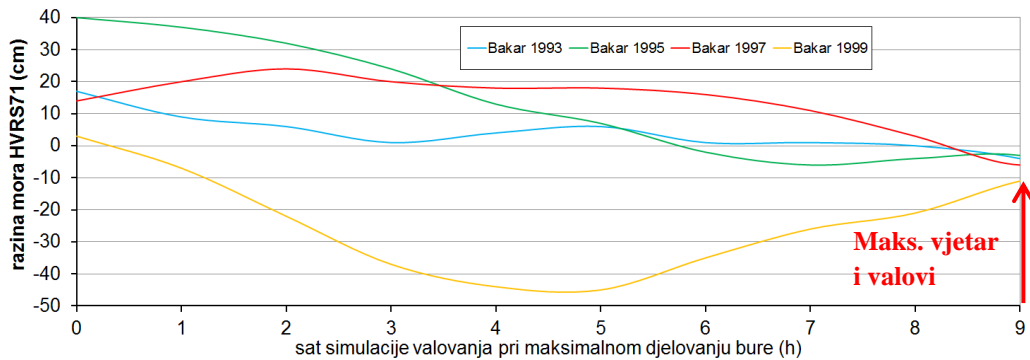
Godina	početak simulacije	kraj simulacije (maks. brzina bure)
1992	28.12. 0:00	28.12. 9:00
1993	6.7. 13:00	6.7. 21:00
1994	22.12. 21:00	23.12. 6:00
1995	27.3. 18:00	28.3. 3:00
1996	7.3. 21:00	8.3. 6:00
1997	15.2. 15:00	16.2. 0:00
1998	22.12. 9:00	22.12. 18:00
1999	29.1. 9:00	29.1. 18:00
2000	8.7. 15:00	9.7. 0:00
2001	3.6. 9:00	3.6. 18:00



Slika 4.16. Polja značajnih valnih visina pri djelovanju maksimalnog godišnjeg intenziteta bure



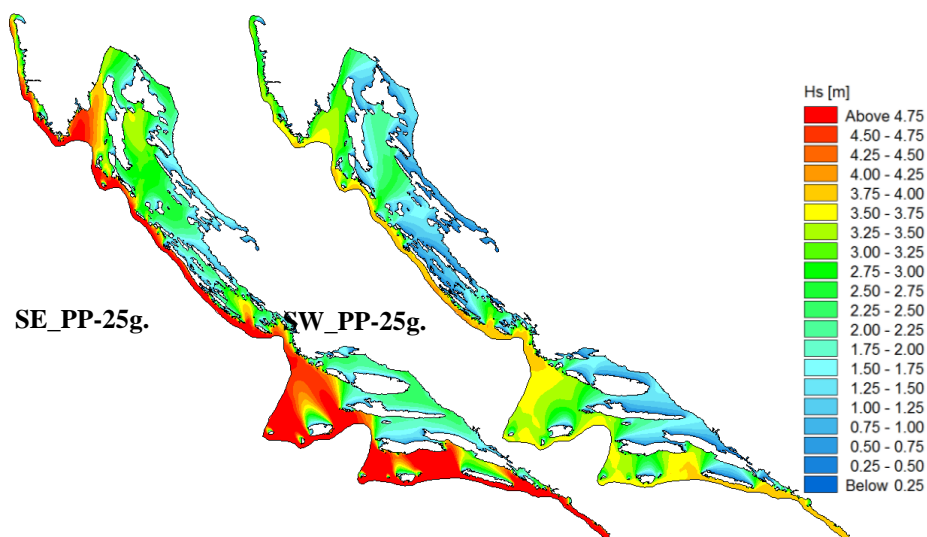
Slika 4.17. Polje maksimalnih vrijednosti značajnih valnih visina za svaku proračunsku ćeliju iz prethodno provedenih 10 simulacija valnog generiranja pri maksimalnim godišnjim djelovanjima bure u razdoblju 1992.-2001.



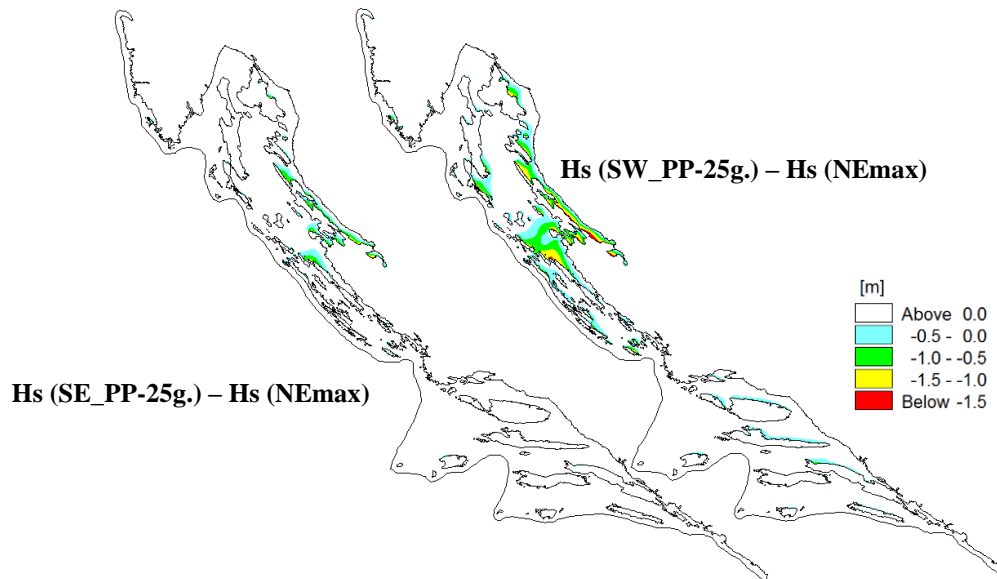
Slika 4.18. Izmjerene razine mora na limnigrafu Bakar tijekom 9 sati simulacijskog perioda (tablica 3.3) pri djelovanju godišnjeg ekstrema bure (NAPOMENA: maksimalna brzina vjetra i visina valova pojavljuje se u 9. satu simulacije)

Sa slike 4.18 je razvidno da razina mora u uvjetima maksimalnog djelovanja bure dostiže visine u rasponu od -10 cm do -2 cm (HVRS71). Sa druge strane, pri djelovanju jakog juga razine mora na mareografskoj postaji Bakar registriraju se sa visinama > +100 cm. Ukoliko se vrijednosti značajnih valnih visina za veliku vjerojatnost pojavljivanja (povratni period 25 godina) pri djelovanju juga i lebića (slika 4.19) umanje za maksimalne vrijednosti dobivene pri djelovanju bure (slika 4.17) dobivaju se područja na kojima bura generira veće valove od juga i lebića (Slika 4.20, negativne vrijednosti - veći valovi pri djelovanju bure od valova pri djelovanju juga ili lebića).

Ukoliko se prikazane razlike H_s sa slike 4.20 umanje za razliku razina mora od 1,1m pri djelovanju juga/lebića u odnosu na razine mora pri djelovanju bure (slika 4.18), može se konstatirati da je potencijal plavljenja obale pri djelovanju bure pokriven provedbom simulacija sa scenarijima djelovanja juga i lebića.



Slika 4.19. Polja H_s za veliku vjerojatnost pojavljivanja (povratni period 25 godina) pri djelovanju juga (lijevo) i lebića (desno)

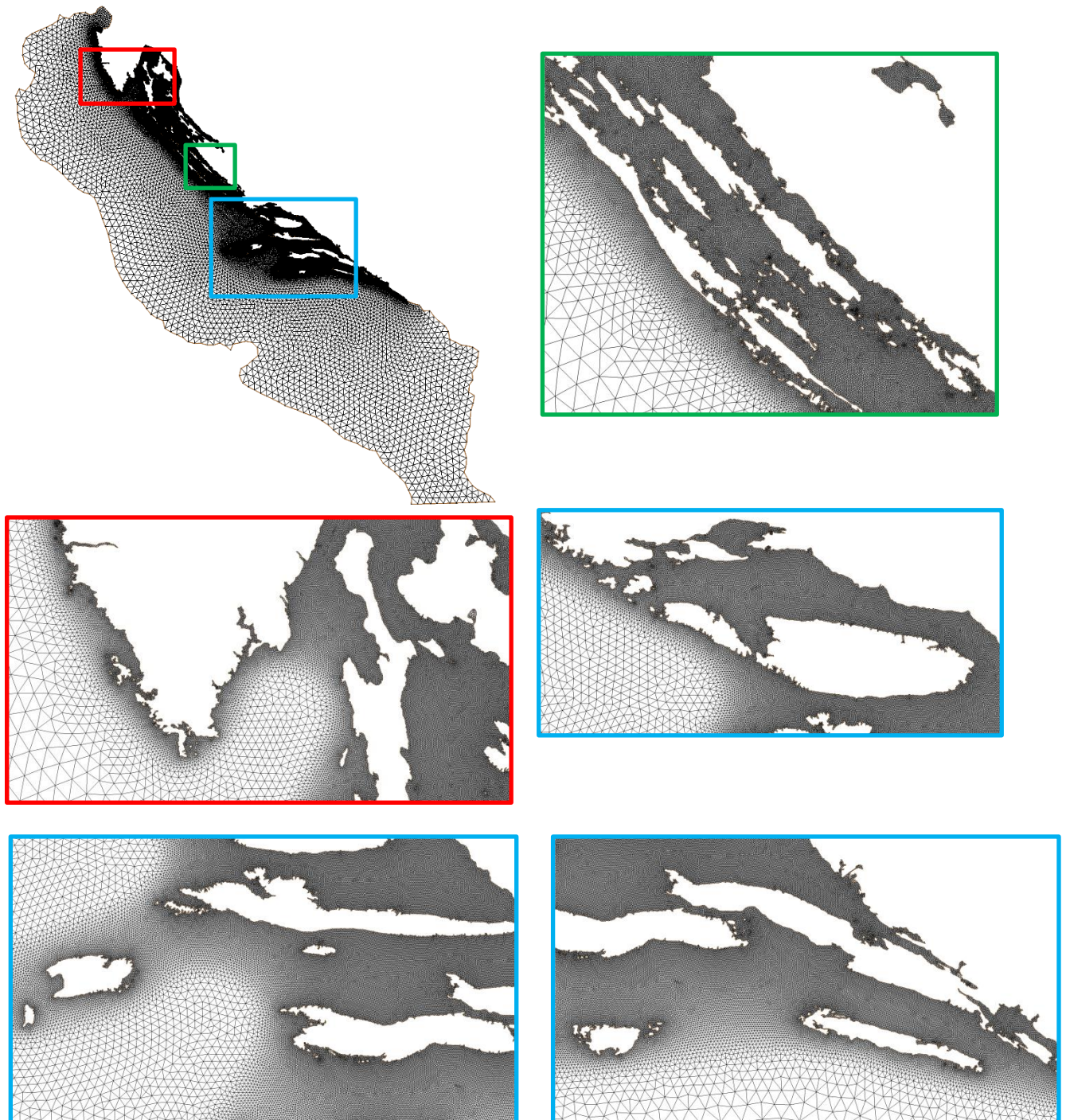


Slika 4.20. Polja razlike Hs za veliku vjerojatnost pojavljivanja (povratni period 25 godina) pri djelovanju juga (lijevo) i lebića (desno), i maksimalnih vrijednosti Hs (slika 3.7) dobivenih pri djelovanju bure u razdoblju 1992.-2001.

4.2 Numerički model SWAN

Uzevši u obzir veličinu prostornog obuhvata ovog projekta, te prethodno navedene spoznaje, za analizu valnog generiranja i valnih deformacija (površinskih vjetrovnih gravitacionih), usvojena je modelska prostorna domene prikazana na slici 4.21. Za potrebe numeričkih modelskih simulacija valnog generiranja i valnih deformacija u sklopu provedbe projekta UPRIMO korišten je model SWAN (Holthuijsen, 2007.), verzija Cycle III - 41.31A. Na slici 4.21 prikazana je prostorna diskretizacija modelske domene sa triangularnim ćelijama (nestrukturirana proračunska mreža sa 490 000 elemenata). Model se primarno forsira poljem vjetra na 10 m od površine mora. Usvajaju se dva kritična sektora puhanja vjetra u kontekstu analize rizika od poplavlivanja priobalnog područja. To su sektori formalnog naziva „jugo“ (SE) i „lebić“ (SW).

Numerički model SWAN omogućava simulaciju generiranja, deformacija i zamiranja gravitacijskih vjetrovnih valova i valova mrtvog mora u području otvorenog mora i priobalja. Korištena je puna spektralna formulacija oslonjena na radove Komen-a i sur. (1994.) pri čemu je direkcijski valni spektar zavisna varijabla. Modelskom implementacijom obuhvaćeni su procesi valnog generiranja s vjetrom, međusobnih valnih nelinearnih interakcija, refrakcije, utjecaja oplićavanja, disipacije izazvane trenjem s dnom i površinskim lomovima valova (eng: white capping), te lomovima valova pri nailasku na male dubine. Član-funkcija izvora u jednadžbi očuvanja valnog djelovanja tretirana je na temelju 3. generacije u formulaciji opisa tog člana.

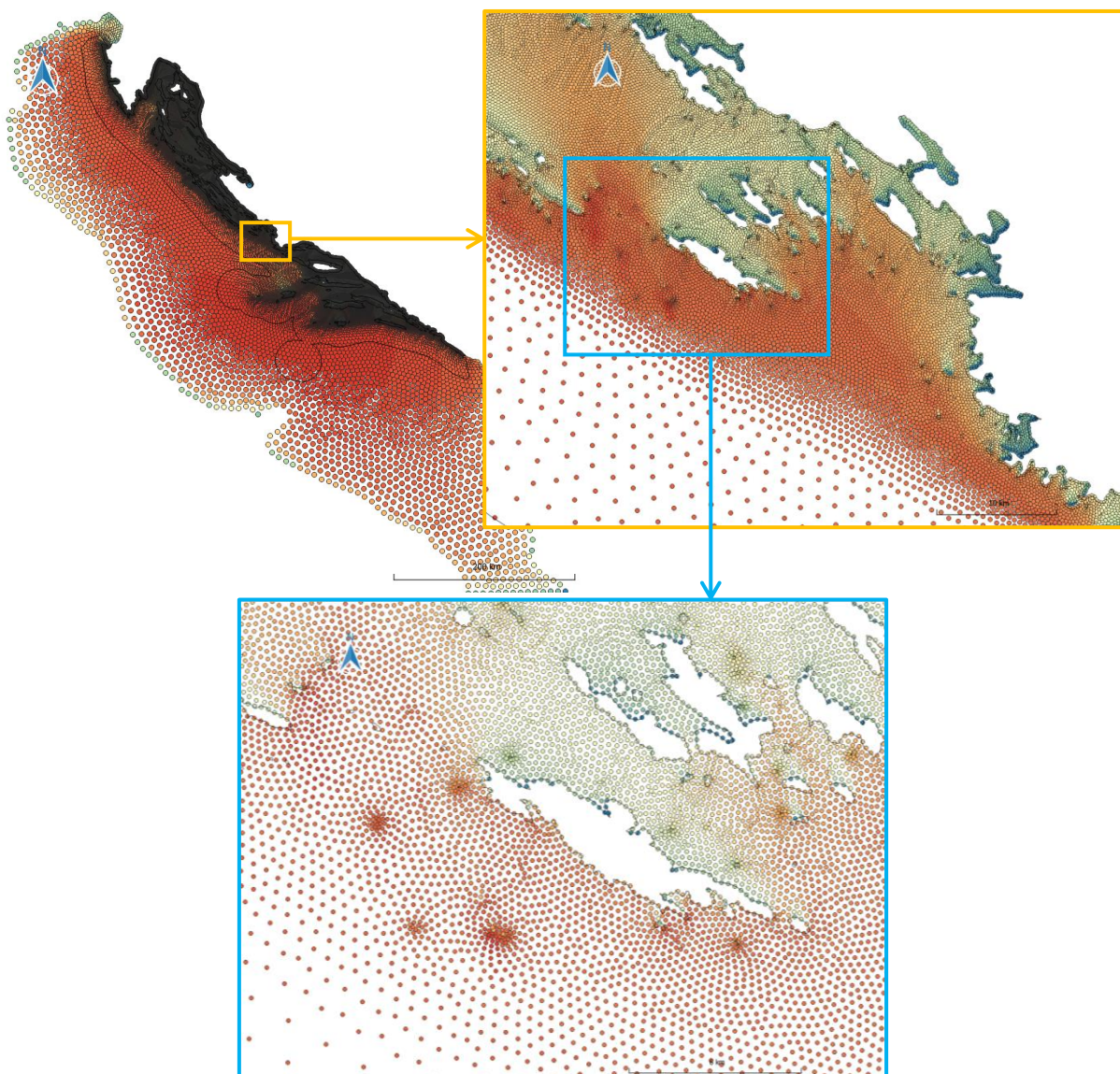


Slika 4.21. Prostorna domena modela valnog generiranja i valnih deformacija, te prostorna diskretizacija modelske domene sa triangularnim ćelijama

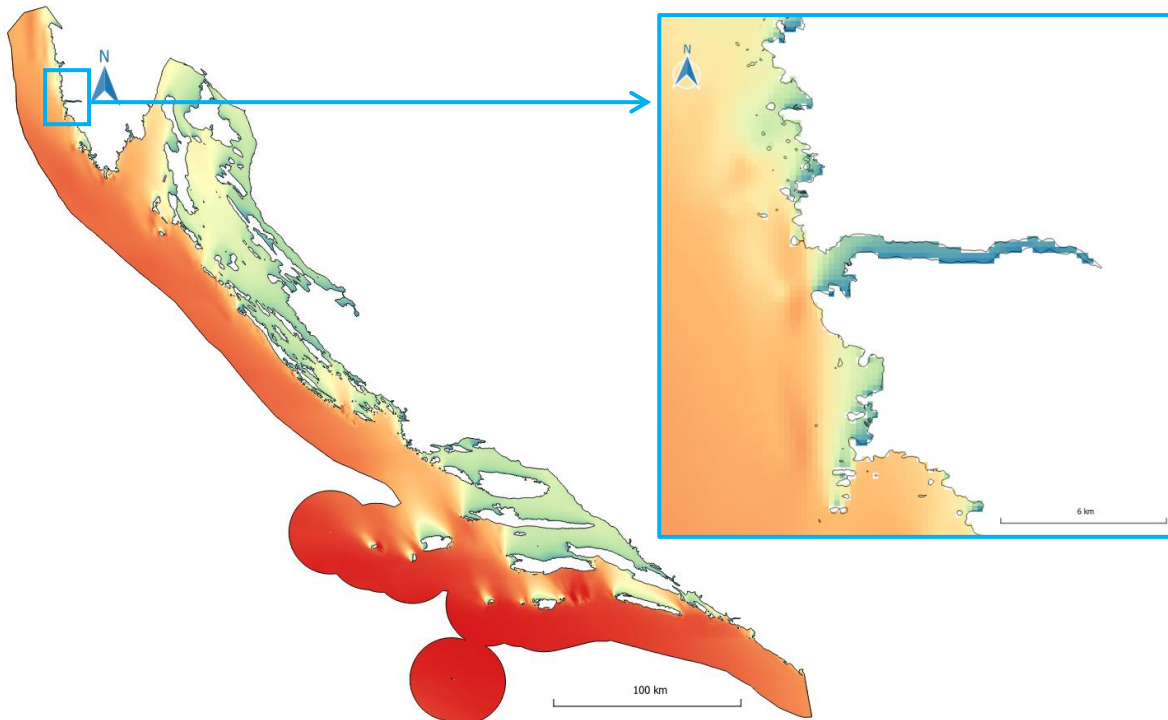
Model ekstremnih vjetrovnih valova za prvih 6 scenarija (mala, srednja i velika vjerojatnost pojave) forsira se nehomogenim i stacionarnim poljem vjetra, sa brzinama prezentiranim u tablicama 4.3, 4.4 i 4.5. Za smjerove se također usvaja nehomogeno polje vjetra, pri čemu se na području sjevernog Jadrana primjenjuju smjerovi 168.25° (SE sektor) i 225° (SW sektor), na području srednjeg Jadrana smjerovi 157.5° (SE sektor) i 225° (SW sektor), te na području južnog Jadrana smjerovi 135° (SE sektor) i 225° (SW sektor). Model ekstremnih vjetrovnih

valova za preostalih 12 scenarija (mjesečna ekstremna polja valova za 5-godišnje plansko razdoblje) forsira se nehomogenim i stacionarnim poljem vjetra (isto kao i u slučaju prvih 6 scenarija), sa brzinama prezentiranim u tablici 4.6.

Provedbom numeričkih simulacija sa modelom SWAN dobivaju se vrijednosti značajnih valnih visina H_s , vršnih spektralnih perioda T_p i incidentnog smjera valovanja u čvornim točkama nestrukturirane proračunske mreže za cijelo akvatorijalno područje Jadrana (Slika 4.22). Ti rezultati prezentiraju se u okviru GIS sučelja kao točkasti vektorski slojevi (Slika 4.22). Daljnjom obradom rezultata (interpolacija) dobivaju se i GIS rasterski slojevi prostorne razlučivosti 200m (Slika 4.23) na području primarnog interesa ovog projekta (teritorijalne vode RH).



Slika 4.22. Prikaz proračunskih rezultata značajnih valnih visina H_s na pozicijama čvornih točaka proračunske mreže modela valovanja (SWAN) u GIS sučelju (točkasti vektorski sloj). Prikaz se odnosi na scenario srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina)



Slika 4.23. Prikaz polja značajnih valnih visina H_s (lijevo) na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (rasterski sloj – veličina piksela 200m x 200m). Prikaz se odnosi na scenario srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina)

Rezultati modela valovanja (SWAN) povezuju se sa rezultatima hidrodinamičkog modela ekstremnih razina mora (SCHISM) na način da se temeljem proračunatih vrijednosti H_s i T_p iz modela valovanja (SWAN), te prethodno izrađenog rastera dubina (rezolucija 10m x 10m) i rastera visina (rezolucija 5m x 5m), proračuna visinski doseg vala (eng: „run-up“) po metodi Madellin i sur. (2016.). Tako proračunate vrijednosti „run-up“ superponiraju se uzduž obalne linije sa proračunatim vrijednostima ekstremnih razina mora iz modela SCHISM.

U tablici 4.8 prikazana je usporedba modelskih rezultata H_s dobivenih u radu Ocvirk (2010.) i primjenom modeliranja valovanja prema iznesenoj metodologiji modeliranja za ovaj projekt (VEPAR) sa rezultatima predloženim u elaboratima vjetrovalnih klima za navedene lokacije. Unaprjeđenje točnosti rezultata je posebice razvidno za lokalitete koji se nalaze u kanalskom sustavu istočnog Jadrana. Nadalje, rezultati valografskog zapisa ispred luke Rijeka (Slika 4.4 i Slika 4.5) također jasno upućuju na veću točnost rezultata dobivenih provedbom numeričkih simulacija po metodologiji korištenoj u ovom projektu.

Tablica 4.8. Usporedba modelskih rezultata Hs (Ocvirk, 2010. i model VEPAR prema iznesenoj metodologiji) za valovanje SE i SW incidentnog smjera sa rezultatima predočenim u elaboratima vjetrovalnih klima za lokacije: Umag (Hydroexpert, 2012.), Rovinj (GFZ, 2004.), Kuje - Pula (GFZ, 2011.), Mošćenička Draga (Hydroexpert, 2016.), Rijeka (Brodarski institut, 2013.), Susak (Hydroexpert, 2017.), Krk (Hydroexpert, 2018.), Mrtvaška (Hydroexpert, 2019.), Novi Vinodolski (GFZ, 2010.), Senj (Hydroexpert, 2012.), Rab (Hydroexpert, 2012.), Zadar (Hydroexpert, 2005.), Šibenik - Zablaće (GFZ, 2010.), Split-luka (GFZ, 2007.), Perna - Pelješac (Hydroexpert, 2007.), Župski zaljev (GFZ, 2018.), Komiža (GFZ, 2007.).

Lokacija / PP	Hs (m) za PP = 100 godina		
	Elaborati	Ocvirk (2010.)	Model SWAN (VEPAR)
Umag	3.7 (SW)	3.4 (SW)	3.5 (SW)
Rovinj	4.0 (SW)	4.0 (SW)	3.9 (SW)
Kuje - Pula	3.0 (SE)	4.7 (SE)	3.1 (SE)
M. Draga	3.3 (SE)	1.3 (SE)	3.4 (SE)
Rijeka	3.6 (SE)	0.9 (SE)	3.3 (SE)
	3.6 (SW)	1.3 (SW)	2.8 (SW)
Susak	5.6 (SE)	6.6 (SE)	5.6 (SE)
Krk	3.0 (SE)	1.1 (SE)	3.1 (SE)
Mrtvaška	5.5 (SW)	5.1 (SW)	4.2 (SW)
Novi Vinodolski	2.8 (SE)	1.5 (SE)	2.9 (SE)
	1.6 (SW)	1.8 (SW)	1.6 (SW)
Senj	1.2 (SW)	2.1 (SW)	1.8 (SW)
Rab	2.5 (SW)	2.2 (SW)	2.5 (SW)
Zadar	1.8 (SE)	2.4 (SE)	1.7 (SE)
	1.1 (SW)	0.8 (SW)	1.1 (SW)
Split-Luka	3.4 (SE)	1.8 (SE)	2.4 (SE)
	2.0 (SW)	1.2 (SW)	2.0 (SW)
Šibenik - Zablaće	1.2 (SE)	1.5 (SE)	1.5 (SE)
	0.9 (SW)	0.9 (SW)	1.0 (SW)
Perna - Pelješac	1.8 (SE)	1.2 (SE)	1.9 (SE)
	0.9 (SW)	0.8 (SW)	0.9 (SW)
Župski zaljev	4.9 (SW)	4.9 (SW)	4.3 (SW)
Komiža	3.7 (SW)	4.3 (SW)	3.5 (SW)

4.3 Isporučene ulazne datoteke za korištenje modela SWAN

Za provedbu numeričkih simulacija ekstremnih uvjeta valovanja (18 scenarija) pripremljene su sljedeće datoteke (za forsiranje modela SWAN):

1. SE_PP25.txt (polje vjetra za SE sektor, povratni period 25 godina)
2. SE_PP100.txt (polje vjetra za SE sektor, povratni period 100 godina)
3. SE_PP1000.txt (polje vjetra za SE sektor, povratni period 1000 godina)
4. SW_PP25.txt (polje vjetra za SW sektor, povratni period 25 godina)
5. SW_PP100.txt (polje vjetra za SW sektor, povratni period 100 godina)
6. SW_PP1000.txt (polje vjetra za SW sektor, povratni period 1000 godina)
7. SE_sj.txt (polje vjetra za SE sektor, za sječanj)
8. SE_ve.txt (polje vjetra za SE sektor, za veljaču)
9. SE_oz.txt (polje vjetra za SE sektor, za ožujak)
10. SE_tr.txt (polje vjetra za SE sektor, za travanj)
11. SE_sv.txt (polje vjetra za SE sektor, za svibanj)
12. SE_li.txt (polje vjetra za SE sektor, za lipanj)
13. SE_sr.txt (polje vjetra za SE sektor, za srpanj)
14. SE_ko.txt (polje vjetra za SE sektor, za kolovoz)
15. SE_ru.txt (polje vjetra za SE sektor, za rujan)
16. SE_lis.txt (polje vjetra za SE sektor, za listopad)
17. SE_st.txt (polje vjetra za SE sektor, za studeni)
18. SE_pr.txt (polje vjetra za SE sektor, za prosinac)
19. SW_sj.txt (polje vjetra za SW sektor, za sječanj)
20. SW_ve.txt (polje vjetra za SW sektor, za veljaču)
21. SW_oz.txt (polje vjetra za SW sektor, za ožujak)
22. SW_tr.txt (polje vjetra za SW sektor, za travanj)
23. SW_sv.txt (polje vjetra za SW sektor, za svibanj)
24. SW_li.txt (polje vjetra za SW sektor, za lipanj)
25. SW_sr.txt (polje vjetra za SW sektor, za srpanj)
26. SW_ko.txt (polje vjetra za SW sektor, za kolovoz)
27. SW_ru.txt (polje vjetra za SW sektor, za rujan)
28. SW_lis.txt (polje vjetra za SW sektor, za listopad)
29. SW_st.txt (polje vjetra za SW sektor, za studeni)
30. SW_pr.txt (polje vjetra za SW sektor, za prosinac)

Podaci o brzini i smjeru vjetra iz modela Aladin-HR za 12 referentnih točaka u Jadranskom bazenu i razoblje 1992.-2001., koji su podvrgnuti statističkoj analizi s ciljem definiranja polja vjetra za forsiranje modela SWAN (prethodno navedene datoteke 1-30) dani su na elektronskom mediju pod naslovima:

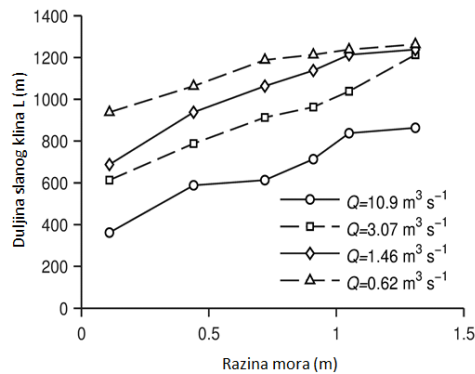
1. Obrada vjetra ALADIN_velika-srednja-mala vjerojatnost.xlsx
2. Obrada vjetra ALADIN_mjesečno.xlsx

5 Numeričko modeliranje utjecaja ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode

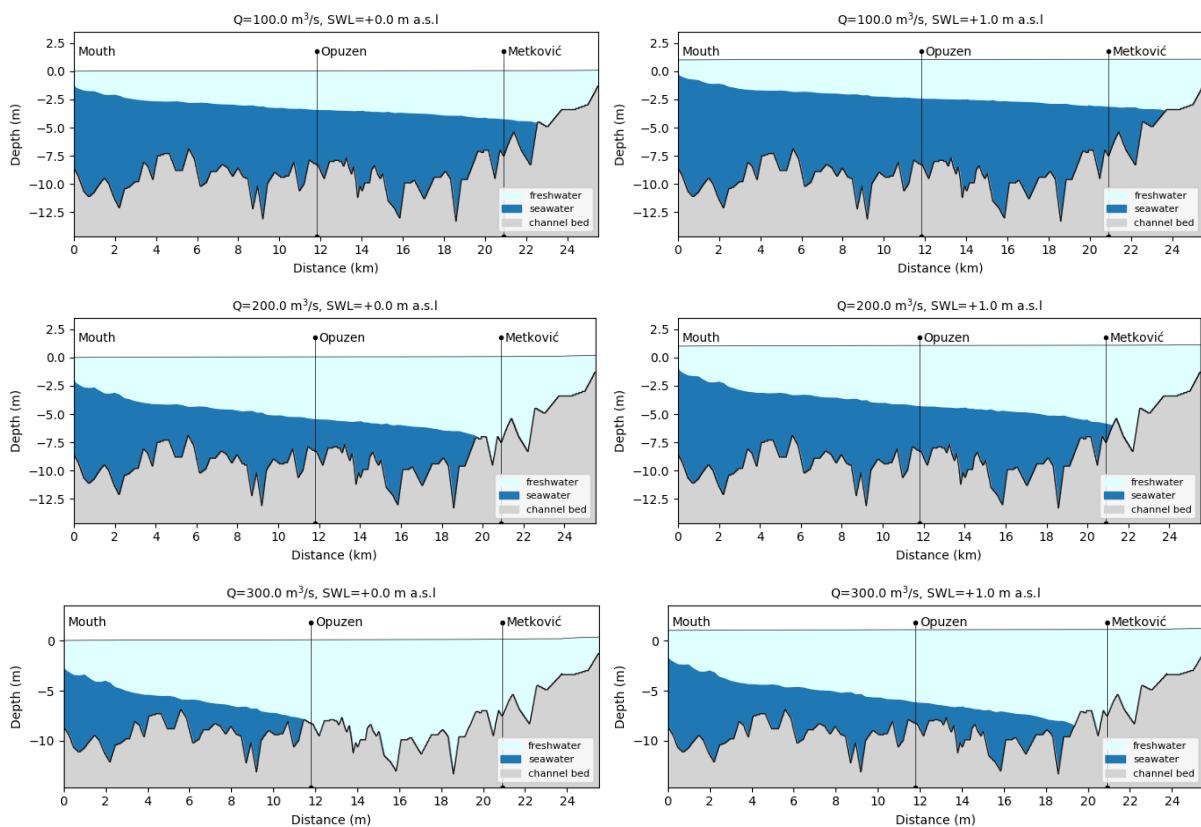
Podizanje razine mora prepoznato je kao globalna prijetnja nizinskim obalnim područjima, kao što su estuariji i delte priobalnih rijeka, lagune i slane močvare (Kirwan i sur, 2010, Cui i sur, 2015., Carrasco i sur., 2016.). Priobalne rijeke su posebno osjetljiva priobalna područja, u kojima visoke razine mora mogu imati negativan utjecaj na povećanje saliniteta i intenzivniji prodor slane vode koja može ugroziti osjetljiv ekosustav i narušiti kvalitetu slatke vode koja se koristi za navodnjavanje ili vodoopskrbu. Stoga prognoziranje utjecaja promjene razine mora na priobalne rijeke postaje jedan od ključnih koraka u upravljanju vodnim područjima. Tijekom prošlog desetljeća brojne su studije istraživale utjecaj promjene razine mora na priobalne rijeke. Zaključci se većine tih studija slažu da promjene razine mora mogu imati značajan utjecaj na salinitet vode. Povećanje koncentracije saliniteta ili duljine prodora slane vode uzvodno od ušća prepoznato je na svjetskoj razini, primjerice u zaljevu San Francisco (Chua i Fringer, 2011), u estuariju rijeke Delawere (Ross i sur., 2015.), u estuariju rijeke Snohomish (Yang i sur., 2015.), u zaljevu Chesapeake (Hong i Shen, 2012.) i njezinim pritocima James i Chickahominy (Rice i sur., 2012.) u Sjedinjenim Američkim Država (SAD), u estuariju rijeke Fraser u Kanadi (Tsz Yeung Leung i sur., 2018.), u estuarijima rijeka Yangtze (Li i sur., 2015.) i Nandu (He i sur., 2018.) u Kini, u estuariju rijeke Simjin u Južnoj Koreji (Shaha i sur., 2012.), u estuariju rijeke Wu u Tajvanu (Chen i sur., 2015.) u rijeci Gorai u Bangladešu (Bhuiyan i Dutta, 2012.), estuariju rijeke Sebuja u Maroku (Haddout i Maslouhi, 2018.), rijeci Nil u Egiptu (Mahgoub i sur., 2014.), estuariju rijeke Gironde u Francuskoj (van Maanen i Sottolichio, 2018.), kao i skupini od 96 estuarija u Engleskoj i Walesu (Prandle i Lane, 2015.). Pored povećane koncentracije saliniteta i duljeg prodora slane vode, podizanje razine mora može dodatno i pojačati uslojenosti vodnog stupca (Chua i Fringer, 2011.), oslabiti vertikalno miješanje između slojeva slatke i slane vode (Hong i Shen, 2012.), povećati cjelokupni volumen slane vode unutar korita rijeke (Hong i Shen, 2012.), povećati vrijeme zadržavanja slane vode u koritu rijeke (Hong i Shen, 2012., Chen i sur., 2015.) te uzrokovati poremećaje u širenju plimnih valova uzvodno od ušća (Kuang i sur., 2014., van Maanen i Sottolichio, 2018.). Pored navedenih utjecaja, Tian (2019.) je pokazao kako je razina mora najznačajniji vanjski utjecaj na fizikalne procese u priobalnim vodnim tijelima nakon protoka rijeke.

U Jadranskom moru, utjecaj podizanja razine mora na prodor slane vode analiziran je u recentnim istraživanjima kroz modelske analize i simulacije dinamike rijeke Rječine (Krvavica i sur., 2017.a) i rijeke Neretve (Krvavica i Ružić, 2020.). U Rječini numeričke simulacije

validirane usporedbom s terenskim mjerenjima ukazuju da će se povećanjem razine mora povećati duljina prodora slane vode za nekoliko stotina metara (Slika 5.1).



Slika 5.1. Povećanje maksimalne duljine prodora slane vode L duž korita rijeke Rječine za razine mora od 0 do +1,5 m n.m. za različite protoke Q (Krvavica i sur., 2017.a)



Slika 5.2. Uzdužni profil rijeke Neretve od ušća (eng. mouth) do granice s BiH, s prikazom profila sloja slane (eng. seawater) i slatke vode (eng. freshwater) za protoke $Q = 100, 200$ i $300 \text{ m}^3/\text{s}$ te razine mora +0,0 i +1,0 m n.m. (Krvavica i Ružić, 2020.)

U rijeci Neretvi je također, sličnim pristupom, pokazano da će podizanje razine mora za +1,0 m rezultirati duljim prodorom pridnenog sloja slane vode, povećanjem debljine sloja slane vode (odnosno izdizanjem vertikalne granice između sloja slane i slatke vode) te povećanjem

ukupnog volumena slane vode (Slika 5.2). U navedenim analizama također je naglašeno kako povećanje prodora slane vode, osim razine mora ovisi i u protoku rijeke, ali i geometriji korita, odnosno nagibu dna kanala.

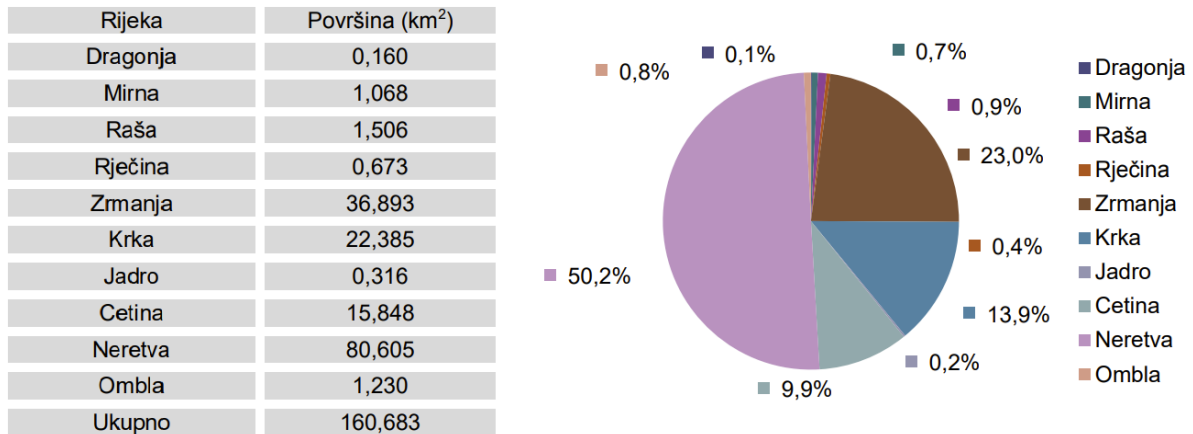
S obzirom na navedeno, u ovoj će se studiji posebna pažnja posvetiti područjima prijelaznih voda u priobalnim rijekama u Hrvatskoj kako bi se individualno kvantificirao utjecaj podizanja razine mora i poplava mora na promjene u salinitetu, odnosno na dubinu i duljinu prodora slane morske vode duž korita priobalnih rijeka.



Slika 5.3. Lokacije ušća svih deset prijelaznih voda na jadranskom vodnom području

Prijelazne vode javljaju se na kontaktnim područjima priobalnog mora i kopna, gdje more značajno utječe na dinamiku kretanja, kao i na kemijske i ekološke značajke slatkih voda. Prema Okvirnoj direktivi o vodama (ODV, 2000/60/EZ) to su tijela površinskih voda u blizini riječnih ušća, koja su djelomično slana uslijed blizine obalnih voda, ali se nalaze pod znatnim utjecajem slatkovodnih tokova. Granice prijelaznih voda sa slatkom vodom u gornjem dijelu vodenog toka definirana je pojavom saliniteta većeg od 0,5 PSU, dok je u području ušća ona određena poveznicom između suprotnih obala ušća ili pojavom izraženijeg horizontalnog gradijenta saliniteta (PUVP, 2016.). U jadranskom vodnom području značajnije rijeke u kojima je primjetan utjecaj mora su Dragonja, Raša, Mirna i Rječina koje pripadaju istarsko-primorskim slivovima te Zrmanja, Krka, Jadro, Cetina, Neretva i Ombla koje pripadaju dalmatinskim slivovima (PUVP, 2016.). Na slici 5.3 prikazana je karta s lokacijama ušća svih deset prijelaznih voda na jadranskom vodnom području.

Na slici 5.4 dan je prikaz površina prijelaznih voda u jadranskom vodnom području (prema podacima IOR-a) (PUVP, 2016.). Ukupna površina svih navedenih prijelaznih voda iznosi 160,7 km², pritom prijelazne vode rijeke Neretve zauzimaju najveću površinu, približno 50% od ukupne površine, a slijede je prijelazne vode rijeka Zrmanje, Krke i Cetine. Prijelazne vode preostalih rijeka čine manje od 10% ukupne površine.



Slika 5.4. Lokacije ušća svih deset prijelaznih voda na jadranskom vodnom području (PUVP, 2016.)

Osnovne karakteristike rijeka na kojima se nalaze prijelazne vode su sljedeće (Kušpilić i Precali, 2010.):

- Rijeka **Dragonja** duga je 28 km sa slivnom površinom od 95,6 km². Srednji godišnji protok u gornjem je toku 0,289 m³/s, a pri ušću 1,78 m³/s. U Dragonju utječe 18 desnih i 13 lijevih pritoka. Dragonja ima pluvijalni (kišni) riječni režim sredozemne varijante. Ljeti često presuši, a pri većim kišama zimi vodostaj brzo naraste pa rijeka poplavljuje okolno područje. U donjem je toku ispod bujske ploče napaja više jakih i stalnih izvora. Najveće specifično otjecanje može biti i preko 60 puta veće od prosječnoga.
- Rijeka **Mirna** duga je 38,5 km sa slivnom površinom od 317 km². Srednji godišnji protok izračunat za ušće je 9,4 m³/s. Budući da u ušću rijeke Mirne još postoji poluzatvoreno vodeno tijelo, ovo se ušće može svrstati u tip krškog estuarija s progradacijom estuarijske delte. Ušće rijeke Mirne će u budućnosti vjerojatno postati delta jer će riječni materijal u potpunosti ispuniti dolinu, uz pretpostavku da se morska razina bitnije ne mijenja.
- Rijeka **Raša** duga je 23 km sa slivnom površinom od 279 km². Srednji godišnji protok izračunat za ušće je 5,3 m³/s. Procijenjeno hidrogeološko drenažno područje iznosi oko 450 km². Područje estuarija izduženog je oblika i pruža se istim smjerom kao i sliv rijeke Raše. Najveći dio suspendiranog materijala prenesenog rijekom sedimentira se u gornjim dijelovima estuarija dok je brzina sedimentacije u donjim dijelovima estuarija mala, na što ukazuju i dubine mora (do 44m) koje su slične dubinama u Kvarnerskom zaljevu.
- Rijeka **Rječina** duga je 19 km sa slivnom površinom od 246 km². Srednji godišnji protok izračunat za ušće je 12,9 m³/s. Rječina je najizdašnija rijeka na vodnom području primorsko-istarskih

slivova. Donos i taloženje materijala na ušću Rječine je intenzivno te je rječina stvorila deltno ušće. Područje ušća znatno je izmijenjeno djelatnošću čovjeka još od rimskog doba.

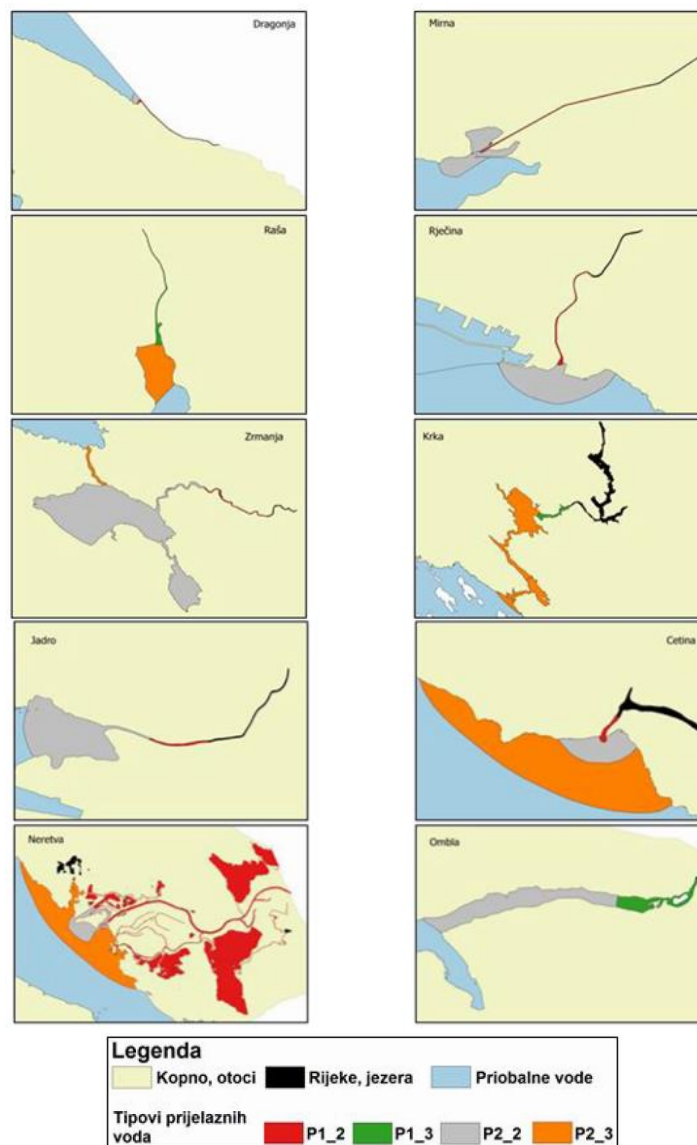
- Prijelazne vode rijeke **Zrmanje** čine vodne cjeline dijela rijeke Zrmanje uzvodno od Obrovca, Novigradsko i Karinsko more, te Novigradsko ždrilo. Granicu između prijelaznih voda rijeke Zrmanje i priobalnog mora čini crta povučena između suprotnih obala Novskog ždrila na granici s Velebitskim kanalom.
- Prijelazne vode rijeke **Krke** počinju uzvodno od Skradina, a čine ih vodne cjeline dijela rijeke Krke, Prokljansko jezero, šibenski zaljev, Kanal Sv. Ante i područje u šibenskom kanalu saliniteta od 20 do 30 PSU.
- Prijelazne vode rijeke **Jadro** čini dio rijeke Jadro nizvodno od Solina (između predjela Blato i širina) kao i mali vanjski estuarij rijeke u istočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva. Granični raspon saliniteta koji razdvaja prijelazne vode rijeke Jadro od priobalnih voda Kaštelanskog zaljeva je 5 do 20 PSU.
- Prijelazne vode rijeke **Cetine** čini dio rijeke nizvodno od Radmanovih mlinica, te vanjski dio estuarija. Granični salinitet koji razdvaja prijelazne od priobalnih voda iznosi 5 do 20 PSU.
- Prijelazne vode rijeke **Neretve** čini dio rijeke nizvodno od državne granice s Bosnom i Hercegovinom, sve vodene cjeline u delti Neretve, te vanjski dio estuarija raspona saliniteta od 5 do 20 PSU.
- Prijelazne vode rijeke **Omble** čine dio rijeke Omble kao i cijeli unutarnji estuarij rijeke, a dužina je oko 3 km. Granicu između prijelaznih i priobalnih voda čini spojnica između suprotnih obala na izlazu iz estuarija, gdje se ujedno uspostavlja horizontalni površinski gradijent saliniteta.

U Planu upravljanja vodnim područjima (2016.) tipizacija prijelaznih voda provedena je prema sustavu B ODV-a, odnosno prema četiri obvezna kriterija (ekoregija, geografska širina i duljina, raspon plime i oseke te srednji godišnji salinitet) te jednim izbornim kriterijem (sastav supstrata). Svih deset područja prijelaznih voda nalaze se u ekoregiji Sredozemnog mora te u mikroplimnim uvjetima (raspon oscilacija plime i oseke manji od 2 m).

S obzirom na srednji godišnji salinitet, prijelazne vode mogu biti oligohaline ($0,5 < S < 10$ PSU) ili mezo/polihaline ($S > 10$ PSU), pritom sve vode u kojima je salinitet manji od 0,5 PSU smatraju se slatkim vodama. S obzirom na navedene čimbenike u PUVP-u (2016.) su određena četiri tipa prijelaznih voda, prikaza na Slici 5.5. Prostorni raspored tipova prijelaznih voda po rijekama prikazan je na slici 5.6.

	Naziv tipa	Oznaka tipa	Geografska širina		Geografska dužina		Raspon plime i oseke	Srednji godišnji salinitet (s) PSU	Sastav supstrata
			Min.	Maks.	Min.	Maks.			
MEDITERANSKA EKOREGIJA (6. SREDOZEMNO MORE)	Oligohalini estuarij krupnozrnatog sedimenta	HR-P1_2	42,94751	45,47944	13,58330	17,63168	mikroplimni	0,5<s<10	Krupnozrnati sediment
	Oligohalini estuarij sitnozrnatog sedimenta	HR-P1_3	42,66931	45,0618	14,04203	18,13693	mikroplimni	0,5<s<10	Sitnozrnati sediment
	Mezo i polihalini estuarij krupnozrnatog sedimenta	HR-P2_2	42,66649	45,48181	13,58040	18,11888	mikroplimni	s > 10	Krupnozrnati sediment
	Mezo i polihalini estuarij sitnozrnatog sedimenta	HR-P2_3	42,97063	45,03234	14,03902	17,49293	mikroplimni	s > 10	Sitnozrnati sediment

Slika 5.5. Prostorni raspored tipova prijelaznih voda po rijekama (PUVP, 2016.)

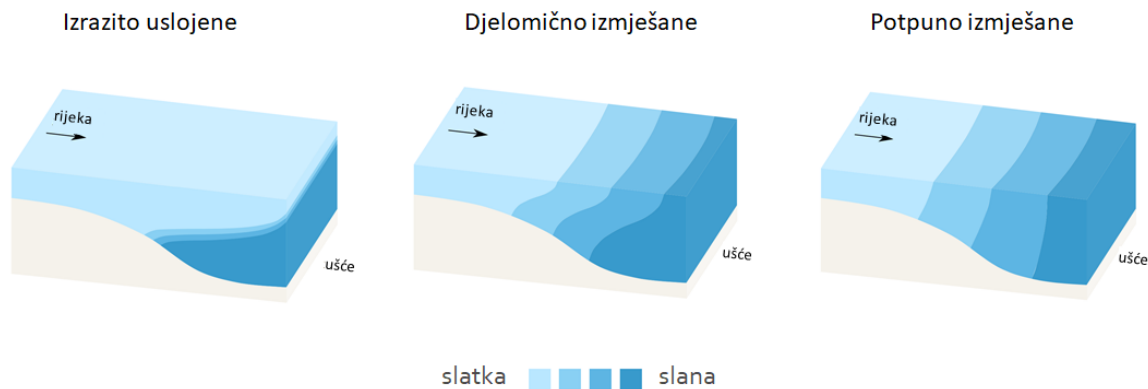


Slika 5.6. Prostorni raspored tipova prijelaznih voda po rijekama (PUVP, 2016.)

Iako je tipizacija prijelaznih voda u PUVP-u (2016.) provedena prema sustavu B ODV-a uz razmatranje samo jednog izbornog čimbenika (sastav supstrata), za prognoziranje utjecaja podizanja razine mora i poplava mora na fizikalne procese potrebno je definirati tipove prijelaznih voda s obzirom na miješanje slojeva slane i slatke vode, odnosno na uslojenost. U pravilu, slatka voda (manje gustoće) teče prema ušću iznad sloja slane vode (veće gustoće) koja prodire uzvodno. Ovisno o intenzitetu miješanja između slane i slatke vode, prijelazne vode mogu se kategorizirati kao (Dyer, 1973):

- Izrazito uslojene
- Djelomično izmiješane
- Potpuno izmiješane

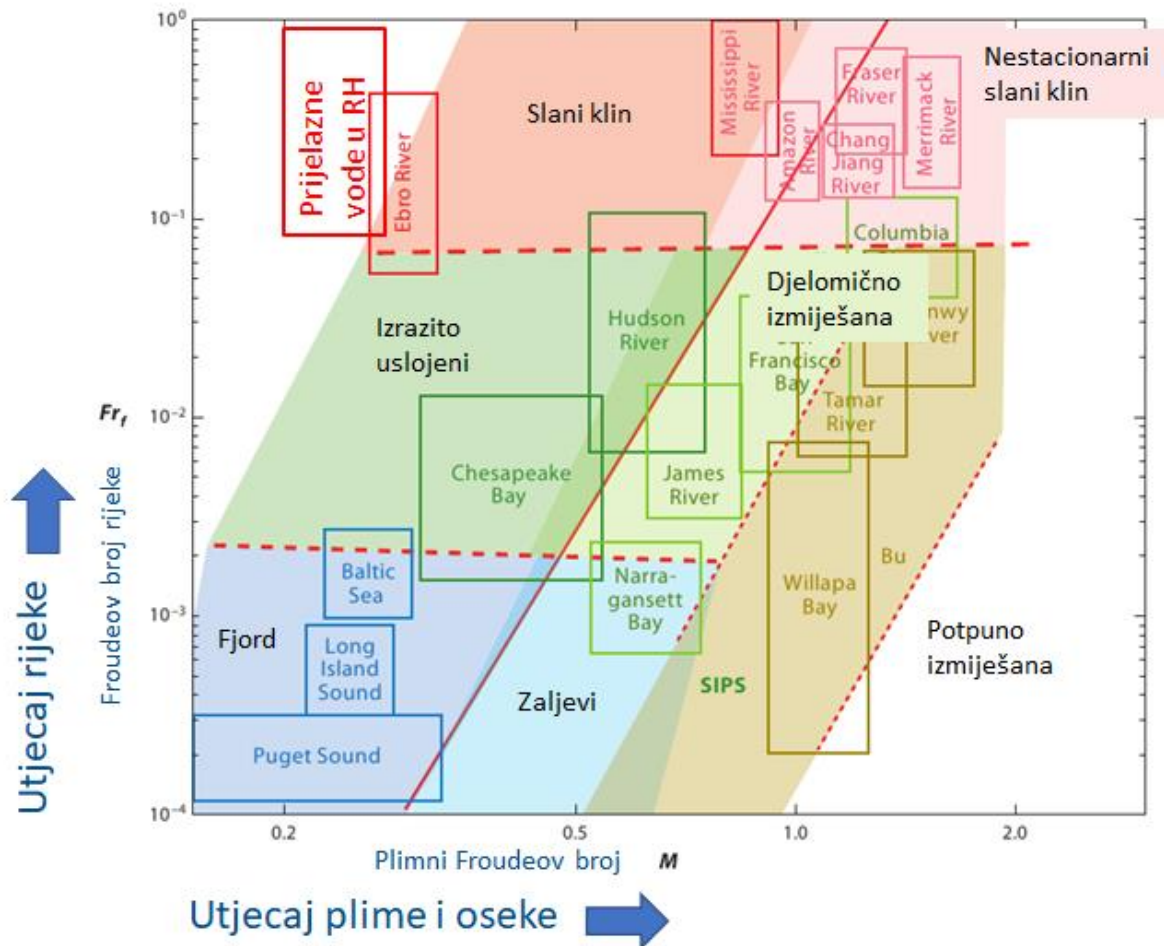
Intenzitet miješanja ovisi o vanjskim djelovanjima s kopna i mora, kao što su plimne oscilacije, valovi, protoci rijeka te geometrija korita. Na slici 5.7 ilustrirane su tipične strukture ovih triju tipova.



Slika 5.7. Tipovi prijelaznih voda s obzirom na intenzitet miješanja slane i slatke vode (prema Krvavica, 2016.)

Potpuno izmiješane prijelazne vode nastaju u područjima pod dominantnim djelovanjem plimnih oscilacija s malim dotocima slatke vode, uslijed čega dolazi do intenzivnog vertikalnog miješanja slane i slatke vode. Karakterizira ih vertikalno homogena struktura saliniteta i gustoće te blagi horizontalni gradijent saliniteta od slatke preko bočate do slane vode (u nizvodnom smjeru). Djelomično izmiješane prijelazne vode nastaju u područjima s podjednako snažnim djelovanjem plimnih oscilacija i riječnih dotoka. U ovom tipu primjetan je postepeni gradijent od slatke prema slanoj vodi, kako u vertikalnom, tako i u horizontalnom smjeru. Izrazito uslojene prijelazne vode nastaju u područjima s dominantnim djelovanjem rijeka (dotok slatke vode) ili u morima sa vrlo malim plimnim amplitudama, kao što je to Jadransko more. U ovom tipu prisutna je uslojenost slane i slatke vode, sa vrlo oštrim gradijentom saliniteta i gustoće vode. U idealnim uvjetima, gornji sloj slatke vode jasno je odvojen je od donjeg sloja slane vode, koji se ponekad naziva „slani klin“ (Hansen i Rattray, 1966.).

Najnovija tipizacija prijelaznih područja (Geyer i MacCready, 2014.) definira dvoparametarsku klasifikaciju s obzirom na intenzitet dotoka rijeke i plimnih oscilacija (slika 5.8). Prema navedenoj klasifikaciji izrazito uslojene prijelazne vode mogu biti tipa: a) slani klin ili b) nestacionarni slani klin.



Slika 5.8. Kategorizacija prijelaznih voda s obzirom na intenzitet miješanja slane i slatke vode (modificirano prema Geyer i MacCready, 2014.)

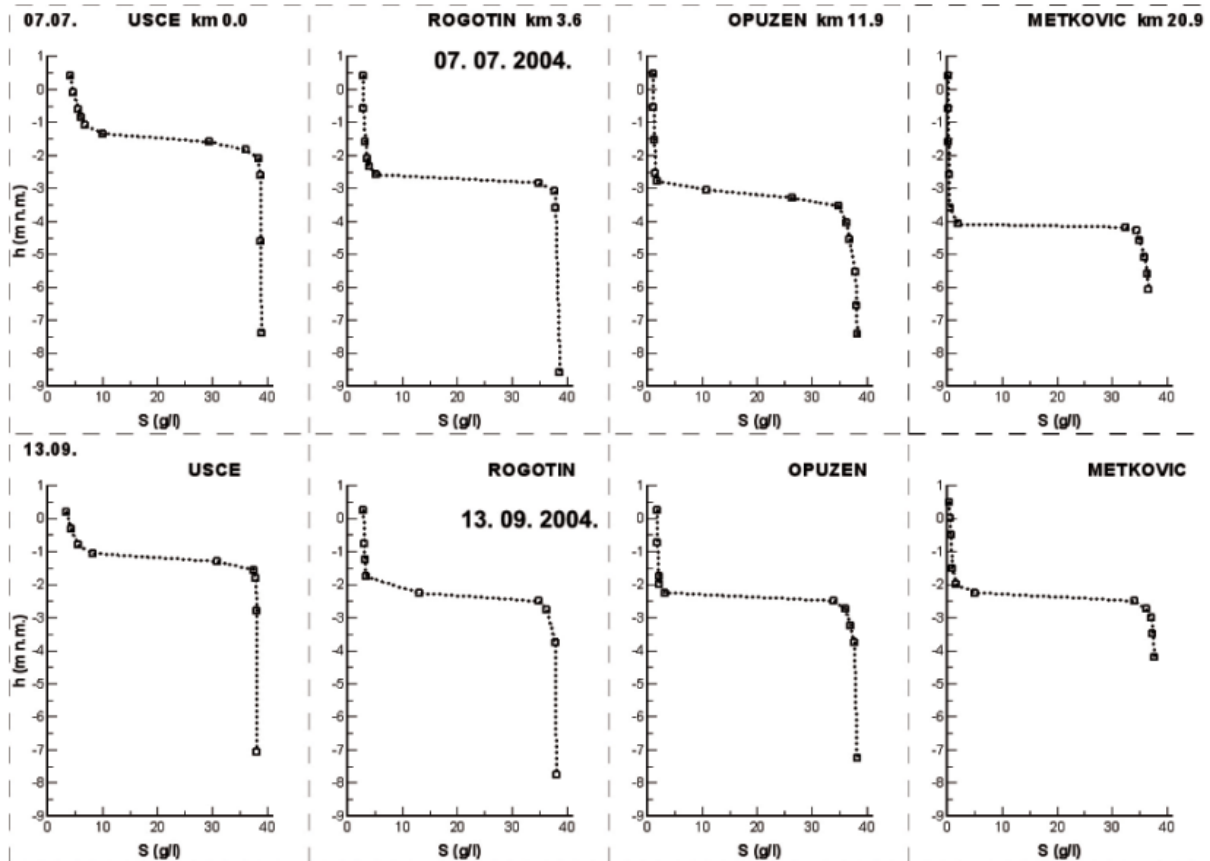
Pritom, slani klin nastaje u mikroplimnim morima, gdje je dotok slatke vode s kopna znatno jači od dinamike plime i oseke, pa je stoga vertikalna struktura izrazito uslojena s jasno definiranim piknoklinom (izraženi gradijent gustoće vode). S druge strane, nestacionarni slani klin se obično formira u mezoplumnim morima, gdje je dotok slatke vode i dovoljno snažan u odnosu na oscilacije plime i oseke da osigura uslojene uvjete toka. U takvim je uvjetima obično prisutna troslojna struktura (sloj slane vode – piknoklin primjetne debljine - sloj slatke vode), a moguće je i raslojavanje u kojem debljina piknoklina varira s obzirom na ciklus plime i oseke. Tipični primjer slanog klina se javlja u priobalnim rijekama Sredozemnog mora, kao što su Ebro, Rona i Po. Rijeka Mississippi (SAD) rubni je primjer slanog klina, dok su rijeke

Amazona (Brazil), Fraser (Kanada) i Merrimack (SAD) tipični primjeri nestacionarnog slanog klina.

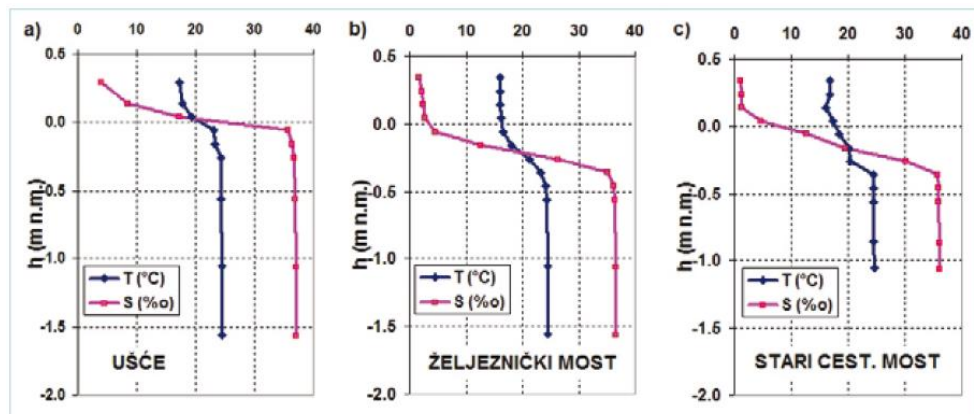
Prema ovoj kategorizaciji, prijelazne vode na svim rijekama jadranskom slivnog područja nalaze se u lijevom gornjem kutu parametarskog prostora te se stoga mogu kategorizirati kao slani klin (slika 5.8).

Prethodne analize fizičkih procesa u prijelaznim vodama u Hrvatskoj svode se na nekoliko recentnih istraživanja na donjem toku rijeke Neretve (Ljubenković i Vranješ, 2011.; Krvavica i Ružić, 2020.; Lončar i sur., 2020., Krvavica i sur., 2021.), rijeke Jadro (Ljubenković i Vranješ, 2013.; Ljubenković, 2015.) i rijeke Rječine (Krvavica i sur., 2012.; Krvavica i sur., 2016.; Krvavica, 2016.; Krvavica i sur., 2017.a,b). Kroz ova istraživanja proveden je niz terenskih mjerenja popraćenih modeliranjem dinamike slanog klina.

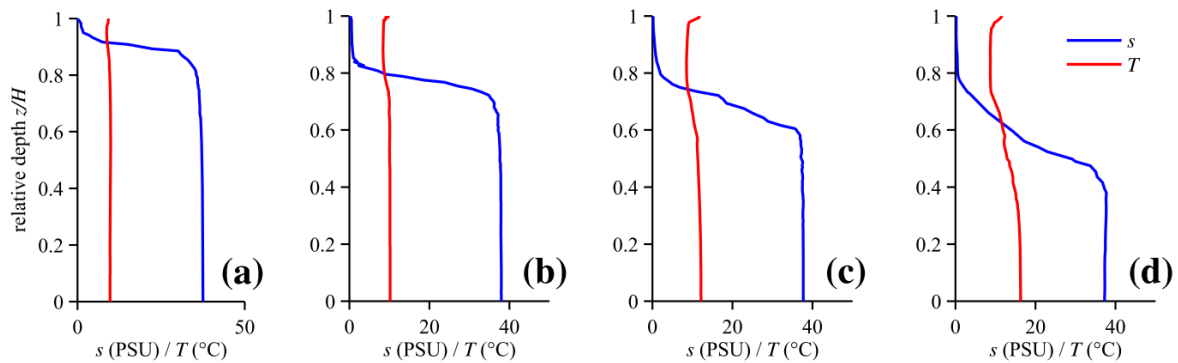
Na slici 5.9 prikazani su izmjereni vertikalni profili saliniteta duž rijeke Neretve za dva različita protoka, na slici 5.10 prikazani su izmjereni profili saliniteta i temperature duž rijeke Jadro, dok su na slici 5.11 prikazani izmjereni profili saliniteta i temperature blizu ušća Rječine za četiri različita protoka. Iz danih prikaza može se zaključiti kako su u sve tri rijeke prisutni izrazito uslojeni uvjeti toka, odnosno jasno definirani donji sloj slane vode (slani klin), relativno tanki međusloj (piknoklin) te gornji sloj slatke vode. Također, iz mjerenja na Rječini može se primijetiti kako su jače uslojeni uvjeti prisutni za niže protoke, dok s povećanjem protoka rijeke slabi uslojenost i povećava se debljina međusloja (piknoklina). Također se može primijetiti kako za isti protok debljina slanog klina opada u uzvodnom smjeru te da se prosječna debljina slanog klina smanjuje s povećanim protokom rijeke.



Slika 5.9. Izmjereni vertikalni profili saliniteta duž rijeke Neretve za protok rijeke $Q = 79 \text{ m}^3/\text{s}$ (7. srpnja 2004.) i $Q = 66 \text{ m}^3/\text{s}$ (13. rujna 2004.) (Ljubenkovi i Vranješ, 2012.)



Slika 5.10. Izmjereni vertikalni profili saliniteta i temperature duž rijeke Jadro za protok rijeke $Q = 2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (26. srpnja 2012.) (Ljubenkovi i Vranješ, 2013.)

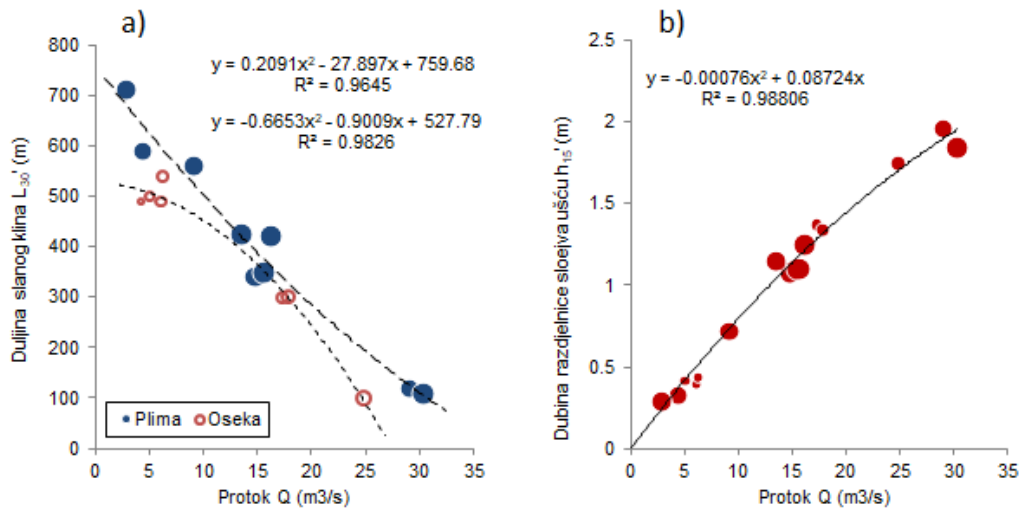


Slika 5.11. Izmjereni vertikalni profili saliniteta s i temperature T duž rijeke Rječine za protoke rijeke: a) $Q = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$; b) $Q = 13,4 \text{ m}^3/\text{s}$; c) $Q = 16,8 \text{ m}^3/\text{s}$; d) $Q = 29,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Krvavica i sur., 2016.)

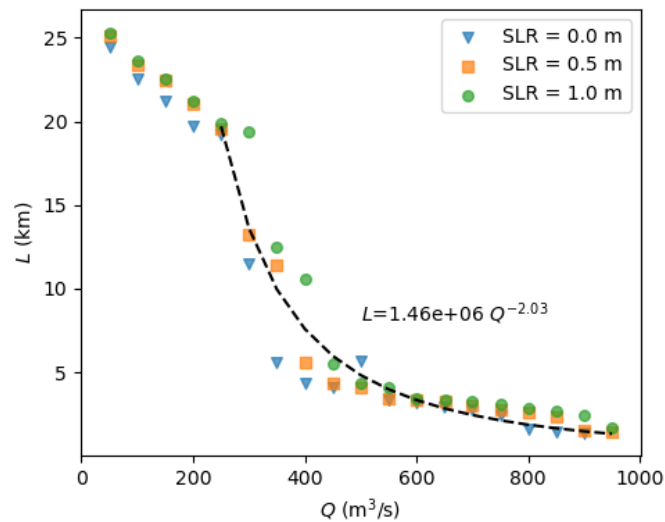
Provedena terenska mjerenja profila saliniteta u kombinaciji s izmjerenim protocima rezultirala su novim spoznajama o utjecaju protoka rijeke i razine mora na dimenzije slanog klina te duljinu njegovog prodora uzvodno. Regresijska analiza detaljnih terenskih mjerenja na Rječini (Krvavica i sur., 2012.) potvrdila je da protok rijeke ima znatan utjecaj na duljinu prodora slanog klina, ali da istodobno razina mora utječe i na duljinu prodora (Slika 5.12a). Protok rijeke također utječe i na debljinu slanog klina, odnosno na dubinu na kojoj se nalazi piknoklin (razdjelnica između donjeg sloja slane vode i gornjeg sloja slatke vode) (Slika 5.12b). S jedne strane, veći protok rijeke potiskuje slani klin prema ušću (smanjuje se i duljina i debljina slanog klina), dok s druge strane visoka razina mora i plima potiskuju slani klin uzvodno (povećava se duljina i debljina slanog klina).

Terenska mjerenja profila saliniteta i vodostaja poslužila su i za kalibraciju i validaciju numeričkih modela. Na sva tri područja u navedenim radovima korišten je sličan pristup – modeli dvoslojnog toka plitkih voda – jedan koji se zasniva na metodi konačnih elemenata (Ljubenković i Vranješ, 2012., 2013.), dok se drugi zasniva na metodi konačnih volumena – STREAM 1D (Krvavica, 2016., Krvavica i sur., 2016., 2017.a, 2020., 2021.), koji se koristi i u ovom projektu, a o čemu će više biti rečeno u nastavku.

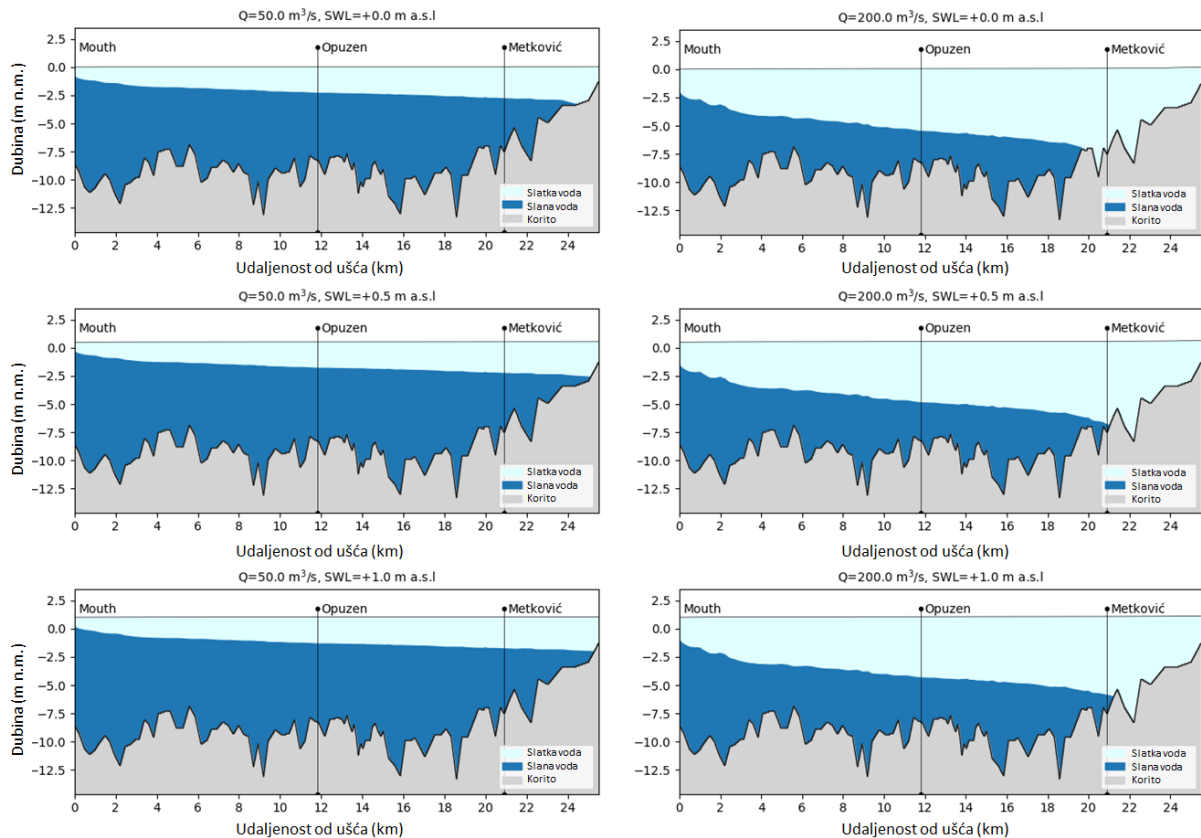
Navedena modelska ispitivanja provedena su kako bi se preciznije odredio položaj slanog klina u koritima triju rijeka za različite hidrološke (protok i temperatura vode) i mareografske (razina mora) uvjete. Na slici 5.13 prikazani su objedinjeni rezultati modeliranih duljina prodora slanog klina u rijeci Neretvi za različite kombinacije protoka rijeke i razine mora. Na slici 5.14 prikazani su rezultati simulacije dinamike slanog klina u rijeci Neretvi za različite protoke i razine mora.



Slika 5.12. Regresijska analiza: a) zavisnosti duljine prodora slanog klina o protoku rijeke Q tijekom plime i oseke u Rječini, b) zavisnosti dubine razdjelnice između slanog klina i sloja slatke vode o protoku rijeke Q na ušću Rječine (Krvavica i sur., 2012.)



Slika 5.13. Modelirane duljine prodora slanog klina u rijeci Neretvi za protoke u rasponu od 50 do 1000 m³/s te razine mora +0,0; +0,5 i +1,0 m n.m. (Krvavica i Ružić, 2020.)

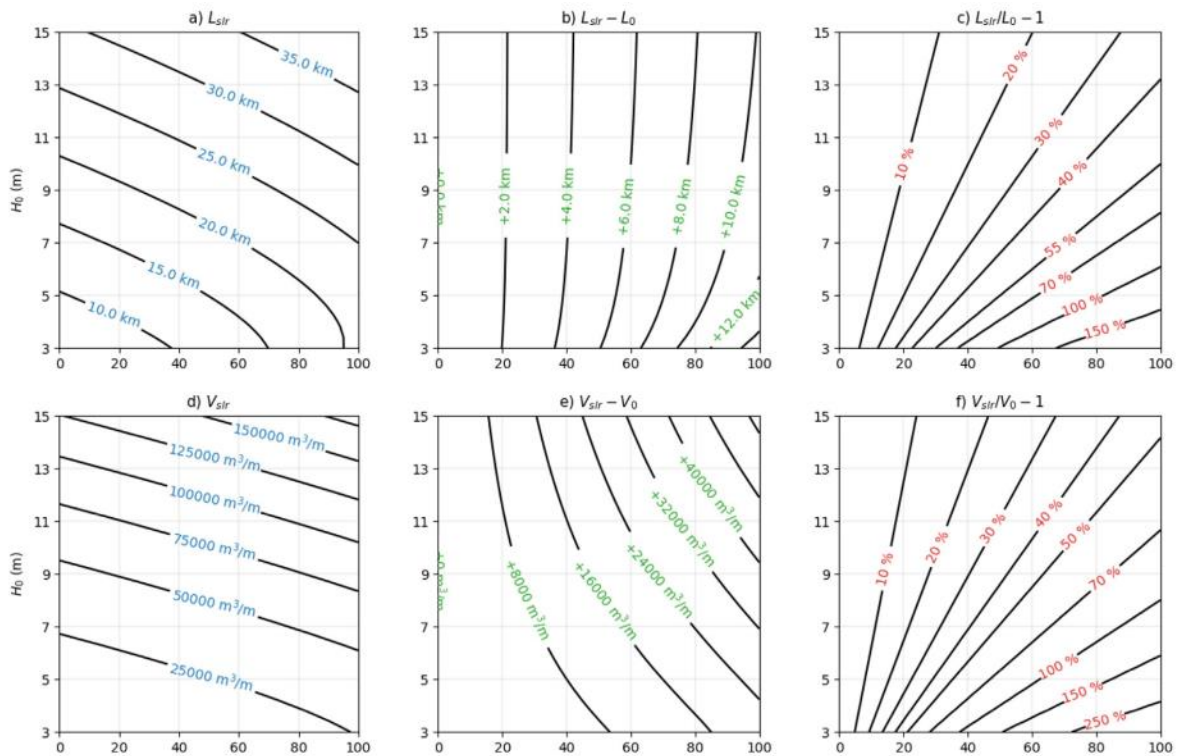


Slika 5.14. Rezultati simulacije dinamike slanog klina u rijeci Neretvi za protoke 50 i 200 m³/s i razine mora +0,0, +0,5 i +1,0 m n.m. (Krvavica i Ružić, 2020.)

Pored istraživanja pojedinih prijelaznih područja, nedavno je provedena studija utjecaja podizanja razine mora u idealiziranim koritima priobalnih rijeka (Krvavica i Ružić, 2020.). Pomoću jednostavnih matematičkih formula izvedenih iz teorije dvoslojnih tokova plitkih voda procjenjene su apsolutne i relativne promjene duljine prodora slanog klina u prizmatičnim koritima s pravokutnim poprečnim presjecima i horizontalnim dnom korita.

Na slici 5.15 prikazani su rezultati ovog istraživanja gdje su dane očekivane promjene duljine prodora slanog klina i volumena slane vode za korita različite dubine te za različite razine mora. Može se primijetiti kako su dublja područja osjetljivija na podizanje razine mora od plićih. U idealiziranim koritima, slani klin može prodirati od nekoliko stotina metara to 30-ak km uzvodno od ušća za korita s rasponom dubina od 3 do 15 m. Uslijed podizanja razine mora za 1 m, duljine slanog klina se mogu povećati i za više od 10 km, što je ovisno o početnoj duljini prodora slanog klina uvećanje za 30% do čak 150%. Volumen slane vode koji se nalazi duž korita priobalnih rijeka može biti u rasponu od 20.000 do 125.000 m³/m za dubine korita od 2 do 15 m. Pritom, uslijed povećanja razine mora za 1 m, volumen slane vode može se povećati između 16.000 do čak 56.000 m³ po metru širine korita, što je povećanje od 50% do čak 250%.

Međutim, treba također napomenuti da su ovo procijenjene vrijednosti za idealizirana korita s horizontalnim dnom te da je u stvarnosti nagib dna korita dominantni faktor koji sprječava prodor slane vode uzvodno čak i tijekom vrlo malih protoka. Stoga se procjena prodora slane vode u priobalnim rijekama mora provesti za svako područje zasebno uvažavajući sve lokalne karakteristike, a posebice geometriju korita kanala.



Slika 5.15. Dijagrami teoretskog utjecaja podizanja razine mora na dimenzije slanog klina u idealiziranim koritima za Froudeov broj rijeke $F_0 = 0,2$, relativnu gustoću $r = 0,97$ i koeficijent trenja među slojevima $C_f = 0,0005$ za različite dubine korita H_0 : a) ukupna duljina prodora slanog klina, b) promjena duljine prodora slanog klina, c) postotna promjena duljina prodora slanog klina, d) ukupni volumen slane vode po širini korita rijeke, e) promjena volumena slane vode po širini korita, f) postotna promjena volumena slane vode (Krvavica i Ružić, 2020.)

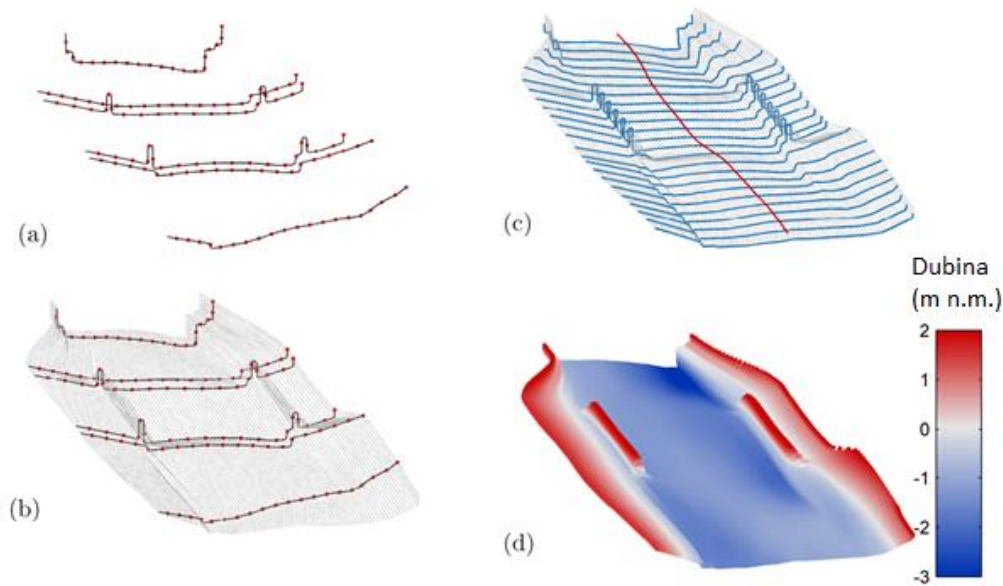
Projektom UPRIMO obuhvaćene sve priobalne i prijelazne vode Republike Hrvatske, što znači da se procjene poplava mora trebaju provesti i na području prijelaznih voda. Predmetna analiza ima uporište u saznanjima da se posljedice poplava mora u prijelaznim vodama ne mogu kvantificirati samo dubinom i obuhvatom poplavljenih kopnenih područja već i duljinom te volumenom prodora slane vode. Nadalje, sukladno Projektom zadatku, scenarije poplava mora trebaju rezultirati i linijskim podacima za obalnu crtu prijelaznih voda, odnosno potrebno je procijeniti hoće li se linija prijelaznih voda izmijeniti uslijed poplava s mora. Također, Projektom zadatkom je zatraženo da se u katalogu mjera za smanjenje rizika od poplava uzrokovanih morem uvrste i mjere koje se odnose na negativne

utjecaje zaslanjenja uslijed visokih razina mora, čemu moraju prethoditi i procjene negativnih utjecaja zaslanjenja (prodora slane vode).

Iz prethodno navedenog polazišta slijedi da je osnovni cilj procjene utjecaja poplava mora kvantificirati maksimalne duljine i dubine (volumena) sloja slane vode uslijed odabranih scenarija. Navedeni cilj realizira se kroz sljedeće aktivnosti:

- Priprema podloga (prostornih i hidroloških) za svih deset područja prijelaznih voda
- Izrada digitalnog modela terena iz geodetskog snimka batimetrije ili poprečnih profila korita prijelaznih voda
- Sistematizacija i statistička analiza vjerojatnosti pojave malih voda
- Definiranje 18 scenarija, i to pod dva scenarija male, srednje i velike vjerojatnosti te 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja mora i protoka rijeka.
- Uspostava modela za procjenu prodora saliniteta u priobalnim rijekama (prijelaznim vodama).
- Kalibracija i validacija modela za procjenu prodora saliniteta.
- Definiranje rasterskog i vektorskog sloja s rezultatima modela za svih 18 scenarija.
- Prijedlog mjera koje se odnose na negativne utjecaje zaslanjenja uslijed visokih razina mora.

Za svih deset prijelaznih voda pribavljene su i pripremljene prostorne podloge u vidu geodetskog snimka batimetrije ili poprečnih presjeka korita. U sljedećem koraku izrađen je digitalni model terena za područje prijelaznih voda, odnosno od granice prijelaznih voda s priobalnim morem do granice uzvodno od ušća do kuda je prisutan utjecaj mora, što u pojedinim slučajevima može nadmašiti sadašnje definicije uzvodnih granica prijelaznih voda. Batimetrijski podaci su transformacijskim metodama adekvatnim za transformacije visina transformirati u sustav normalnih-ortometrijskih visina u Hrvatski visinski referentni sustav 1971 (HVR571). Visine digitalnog modela terena dane su u HVR571 i na taj način model podmorja pripremljen iz transformiranih batimetrijskih mjerenja i digitalni model terena nalaziti se u istom visinskom referentnom sustavu što je preduvjet za provođenje analiza. Na slici 5.16 prikazan je primjer generiranja digitalnog modela terena za jednu kraću dionicu nizvodnog toka rijeke Rječine, koja obuhvaća proširenje korita i stupove mosta. Iz danog prikaza mogu se vidjeti sve faze izrade modela terena od postojećih poprečnih presjeka, preko generiranja izvodnica duž korita, do generiranih gušće raspoređenih poprečnih presjeka do konačnog modela terena. Ovaj pristup detaljnije je objašnjen u radu Krvavice (2016.) i sukladno tome primijenjen je i na sva područja u predmetnoj analizi. Model terena izrađen je u projekciji HTRS 96/TM i Hrvatskom visinskom referentnom sustavu 1971 (HVR571).



Slika 5.16. Prijem izrade digitalnom modela terena kraće dionice rijeke Rječine, od izmjerenih poprečnih profila (a), preko generiranja izvornica duž korita (b), do generiranja dodatnih poprečnih profila između izmjerenih (c), do konačnog modela terena (Krvavica, 2016.)

Za svih deset prijelaznih voda pribavljeni su hidrološki podaci u obliku razina i protoka vode (većinski od DHMZ-a, a manjih dijelom i od Hrvatskih voda), i to:

- Za rijeku **Dragonju** niz dnevnih vodostaja s postaje Plovanija (2001.–2019.) za hidrološku analizu malih voda te izmjereni satni vodostaji i protoci (2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Mirnu** niz dnevnih protoka s postaje Portonski most (1991.–2019.) za hidrološku analizu malih voda te izmjereni satni vodostaji, protoci i temperature (2007.–2008. i 2018.–2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Rašu** niz dnevnih protoka s postaje Mutvica Most (2003.–2019.) za hidrološku analizu malih voda te satni vodostaji i protoci s postaje Mutvica Most (2007.–2008. i 2018.–2019.) i satni vodostaji s postaje Most Raša (2007.–2008. i 2018.–2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Rječinu** niz dnevnih protoka s postaje Tvornica papira (1991.–2019.) za hidrološku analizu malih voda te satni vodostaji i protoci s iste postaje (2007.–2008. i 2018.–2019.) i satni vodostaji s postaje Titov trg (2018.–2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Zrmanju** niz dnevnih protoka i vodostaja s postaje Muškovci (od početka mjerenja do 2019.) za hidrološku analizu malih voda te satni vodostaji s postaje Obrovac (2018.–2019.), satni vodostaji s postaje Muškovci (2018.–2019.) i satni vodostaji s postaje Jankovića buk (2018.–2019.) za kalibraciju i validaciju modela.

- Za rijeku **Krku** niz dnevnih protoka s postaje Skradinski buk gornji (1991.-2019.) za hidrološku analizu malih voda te satni vodostaji, protoci i temperature s iste postaje (2007.-2008. i 2018.-2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Jadro** niz dnevnih vodostaja i protoka s postaje Majdan (1991.-2019.) za hidrološku analizu malih voda te satni vodostaji i protoci s iste postaje (2007.-2008. i 2018.-2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Cetinu** niz dnevnih vodostaja i protoka s postaje Tisne Stine (1991.-2019.) za hidrološku analizu malih voda te satni vodostaji i protoci s iste postaje (2007.-2008. i 2018.-2019.) i satni vodostaji s postaje Omiš (2007.-2008. i 2018.-2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Neretvu** niz satnih vodostaji s postaja Ustava Ušće Nizvodno, Opuzen i Metković (2007.-2008. i 2018.-2019.), kao i izmjerene temperature i protoci s postaje Metković (2018.-2019.) za kalibraciju i validaciju modela.
- Za rijeku **Omblu** niz dnevnih vodostaja, protoka i temperature s postaje Komolac (1991.-2019.) za hidrološku analizu malih voda te satni vodostaji i protoci s iste postaje (2007.-2008. i 2018.-2019.) za kalibraciju i validaciju modela.

5.1 Klasifikacija podataka za 18 scenarija

Modeliranje dvoslojnog toka u prijelaznim vodama uslijed ekstremnih razina mora provodi se prema 18 scenarija, pri čemu je svaki scenarij definiran kombinacijom tri hidrološka parametra: a) razine mora (nizvodni rubni uvjet), b) protoka slatke vode (uzvodni rubni uvjet) i c) relativne razlika gustoće slatke i slane vode. Pritom, gustoća slatke i slane vode određuje se iz vrijednosti temperature i saliniteta vode.

U skladu s navedenim, rubni uvjeti modela dvoslojnog toka za osnovnih šest scenarija određeni su prvenstveno ekstremnim visokim razinama mora povratnog razdoblja 1000 godina H_{1000g} . (mala vjerojatnost), 100 godina H_{100g} . (srednja vjerojatnost) i 25 godina H_{25g} . (velika vjerojatnost), sa i bez utjecaja klimatskih promjena (podizanje razine mora ΔH), koji će se preuzeti iz rezultata hidrodinamičkog modela ekstremnih razina mora (opisano u poglavlju 2 ovog izvješća), odnosno iz ćelije rastera najbliže ušću svakog od deset područja. Kao mjerodavne vrijednosti temperature i saliniteta mora usvajaju se srednji godišnji saliniteti izmjereni na lokacijama koje su najbliže pojedinom području (opisano u izvješću Priprema podloga za upravljanje rizicima od poplava mora). U tablici 5.1 prikazane su usvojene vrijednosti srednjih godišnjih temperatura i saliniteta mora po područjima za osnovnih šest scenarija. Treba napomenuti kako usvojene vrijednosti predstavljaju prosjek temperature i saliniteta na dubinama od -5 do -15 m. Utjecaj klimatskih promjena u predmetnim analizama razmatra se samo za razine mora, stoga se vrijednosti temperature i saliniteta mora usvajaju kao konstantne za svih šest osnovnih scenarija.

Tablica 5.1. Usvojene temperature $T_{sr, god}$ i saliniteti $S_{sr, god}$ mora po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za osnovnih šest scenarija)

Područje prijelaznih	Srednja godišnja	Srednji godišnji salinitet
Dragonja	17,4	37,6
Mirna	18,1	37,2
Raša	17,3	37,8
Rječina	16,8	37,5
Zrmanja	15,1	36,8
Krka	19,0	37,4
Jadro	16,9	37,3
Cetina	18,1	37,1
Neretva	17,6	37,5
Omla	18,9	38,2

Pri procjeni maksimalnih duljina prodora slane morske vode, pretpostavlja se da dominantan utjecaj imaju visoke razine mora, a za protok slatke vode usvaja se dnevni protok trajanja 95% s odgovarajuće hidrološke postaje kao reprezentativna vrijednost malih voda (iste vrijednosti se koriste za svih šest scenarija). Kombinacija ekstremnih razina mora i dotoka malih voda, određenih protokom trajanja 95%, preuzeta je iz metodologije procjene negativnih utjecaja podizanja razine mora na priobalne rijeke (Krvavica i sur., 2017b.). Kao mjerodavne vrijednosti temperature slatke vode usvajaju se srednje godišnje temperature vode izmjerene na odgovarajućim hidrološkim postajama. Na onim postajama na kojima nisu uspostavljena mjerenja temperature, vrijednosti ovog parametra procijenjene su interpolacijom vrijednosti sa susjednih postaja. U tablici 5.2 prikazane su mjerodavne hidrološke postaje te usvojene vrijednosti protoka malih voda i srednjih godišnjih temperatura slatke vode po područjima za osnovnih šest scenarija. Protoci i temperature slatke vode također su konstantni za svih šest osnovnih scenarija.

Rubni uvjeti modela dvoslojnog toka za preostalih 12 scenarija definiraju se na sličan način kao i za osnovnih šest scenarija, ali za mjesečna stanja razine mora, protoka slatke vode te temperatura i saliniteta. Visoke razine mora također se preuzimaju iz rezultata hidrodinamičkog modela ekstremnih razina mora za mjesečne vrijednosti u 5-godišnjem povratnom razdoblju $H_{5g, mj}$ (opisano u poglavlju 2 ovog izvješća). Saliniteti mora ispod dubine -5 m nemaju izražen sezonski karakter (maksimalne promjene iznose $\pm 0,2$ PSU), stoga se i na mjesečnoj razini usvajaju srednje godišnje vrijednosti prikazane u tablici 5.1.

Za temperature mora usvajaju se srednje mjesečne vrijednosti izračunate na osnovu 5-godišnjeg niza podataka (2015.-2019.) iz Copernicus baze podataka (modelska reanaliza uz prilagodbu prostorno-vremenske raspodjele temperature izmjerenim točkastim podacima).

Tablica 5.2. Usvojeni protoci $Q_{t95\%}$ i temperature $T_{sr,god}$ slatke vode po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za osnovnih šest scenarija)

Područje prijelaznih voda	Hidrološka postaja i razdoblje protoka	Protok trajanja 95% $Q_{t95\%}$ ($m^3 s^{-1}$)	Srednja godišnja temperatura $T_{sr,god}$ ($^{\circ}C$)
Dragonja	Plovanija (2019.)	0,05	14,2
Mirna	Portonski most (1991.-2019.)	0,47	14,2
Raša	Mutvica most (2003.-2019.)	0,27	14,2
Rječina	Tvornica papira (1999.-2019.)	0,91	14,2
Zrmanja	Jankovića buk (1996.-2019.)	1,03	16,1
Krka	Skradinski buk gornji (1991.-2016., 2018.-2019.)	9,62	16,1
Jadro	Majdan (1991.-2019.)	1,91	13,2
Cetina	Tisne stine (1991.-2019.)	4,87	13,2
Neretva	Metković (2015.-2019.)	128,4	13,2
Ombla	Komolac (1991.-2018.)	5,94	13,2

U tablici 5.3. prikazane su usvojene mjesečne temperature mora po područjima. Prikazane vrijednosti dobivene su uprosječivanjem temperatura na dubinama od -5 do -15 m iz ćelije najbliže ušću pojedinog područja prijelaznih voda. Za mjerodavni protok slatke vode usvaja se dnevni protok trajanja 95% po mjesecima, što je prikazano u tablici 5.4. Slično temperaturama mora, za mjerodavnu temperaturu slatke vode usvajaju se srednje mjesečne vrijednosti izmjerene na odgovarajućoj hidrološkoj postaji (prikazano u tablici 5.5). I u ovom slučaju je provedena interpolacija podataka na onim postajama na kojima nije uspostavljen sustav mjerenja temperature.

Konačno, u tablici 5.6. prikazane su usvojene kombinacije rubnih uvjeta i hidroloških parametara kojima će se forsirati model STREAM 1D za provedbu svih 18 scenarija.

Nakon simulacije 18 scenarija na svakom od deset područja prijelaznih voda rezultati se prikazuju u obliku rasterskih podloga, odnosno prostorne raspodjele dubina slane morske vode na području prijelaznih voda.

Tablica 5.3. Usvojene srednje mjesečne temperature mora $T_{sr,mj}$ (°C) po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za dodatnih 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja u 5-godišnjem razdoblju)

Područje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dragonja	10,1	9,1	9,8	12,6	16,3	20,2	23,1	24,2	23,5	19,8	16,2	12,7
Mirna	10,6	9,6	10,1	12,8	16,3	20,2	22,6	23,3	23,0	20,1	16,6	13,4
Rasa	11,3	10,1	10,2	12,4	16,0	20,4	22,7	23,6	22,1	19,3	16,8	13,8
Rjecina	11,2	10,0	10,0	11,9	15,1	18,8	20,6	20,8	20,7	18,4	16,0	13,5
Zrmanja	11,3	10,6	11,2	13,6	16,9	20,3	21,7	22,6	22,1	19,6	16,8	13,8
Krka	14,7	13,5	13,4	14,5	17,1	19,5	20,4	21,8	23,0	20,9	18,9	16,9
Jadro	12,9	11,9	12,2	13,9	16,8	20,6	23,3	24,9	23,7	20,7	18,1	15,4
Cetina	13,4	12,0	12,1	13,7	16,6	20,5	23,3	24,7	23,5	20,6	18,2	15,9
Neretva	13,2	12,8	13,4	15,0	17,4	20,2	21,6	22,4	22,6	20,3	17,8	15,3
Ombla	14,9	14,0	14,1	15,5	18,1	20,9	21,9	23,5	23,8	21,7	19,6	17,5

Tablica 5.4. Usvojeni protoci trajanja 95% $Q_{t95\%,mj}$ (m³ s⁻¹) po mjesecima i po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za dodatnih 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja u 5-godišnjem razdoblju)

Područje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dragonj	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	1,6
Mirna	0,9	0,9	0,8	1,3	0,9	0,7	0,4	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9
Rasa	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4
Rjecina	1,9	1,7	2,5	3,1	2,4	1,3	0,8	0,5	0,6	1,3	2,8	2,2
Zrmanja	7,2	7,9	7,1	4,9	2,7	1,4	0,9	0,7	0,8	0,9	2,2	7,1
Krka	19,2	19,1	17,4	24,7	18,3	14,3	10,3	8,2	8,2	8,6	12,5	19,1
Jadro	3,1	3,3	3,1	3,3	3,1	2,3	1,7	1,3	1,3	1,7	2,4	3,3
Cetina	6,1	6,1	6,4	6,8	5,2	4,9	4,3	4,0	4,0	4,6	6,4	9,1
Neretva	134,8	175,5	170,4	159,8	156,1	128,4	126,5	113,4	121,8	133,9	157,6	144,1
Ombla	12,3	12,4	10,4	10,4	10,1	8,6	6,0	5,0	4,6	5,5	7,0	10,7

Tablica 5.5. Usvojene srednje mjesečne temperature slatke vode $T_{sr,mj}$ (°C) po područjima (forsiranje modela dvoslojnog toka za dodatnih 12 scenarija očekivanih mjesečnih stanja u 5-godišnjem razdoblju)

Područje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dragonja	8,0	8,1	10,5	13,0	14,9	18,7	22,7	22,6	18,5	12,9	11,1	9,2
Mirna	8,0	8,1	10,5	13,0	14,9	18,7	22,7	22,6	18,5	12,9	11,1	9,2
Rasa	8,0	8,1	10,5	13,0	14,9	18,7	22,7	22,6	18,5	12,9	11,1	9,2
Rjecina	8,0	8,1	10,5	13,0	14,9	18,7	22,7	22,6	18,5	12,9	11,1	9,2
Zrmanja	7,9	8,7	10,9	14,1	18,4	21,8	24,4	25,0	21,7	17,2	13,3	9,7
Krka	7,9	8,7	10,9	14,1	18,4	21,8	24,4	25,0	21,7	17,2	13,3	9,7
Jadro	8,1	9,0	10,3	12,0	13,8	16,5	18,9	19,0	16,5	13,9	11,1	9,1
Cetina	8,1	9,0	10,3	12,0	13,8	16,5	18,9	19,0	16,5	13,9	11,1	9,1
Neretva	8,1	9,0	10,3	12,0	13,8	16,5	18,9	19,0	16,5	13,9	11,1	9,1
Ombla	13,0	12,9	12,9	12,9	13,0	13,2	13,4	13,5	13,6	13,4	13,2	13,1

Tablica 5.6. Usvojene kombinacije hidroloških parametara za forsiranje modela dvoslojnog toka za svih 18 scenarija.

Scenarij	Opis	Razina mora	Protok	Temperatura	Salinitet
1	<i>Mala vjerojatnost</i>	$H_{100g.}$	$Q_{t95\%}$	$T_{sr, god.}$	$S_{sr, god}$
2	<i>Srednja vjerojatnost</i>	$H_{100g.}$			
3	<i>Velika vjerojatnost</i>	$H_{25g.}$			
4	<i>Mala vjerojatnost + klimatske promjene</i>	$H_{100g.} + \Delta H$			
5	<i>Srednja vjerojatnost + klimatske promjene</i>	$H_{100g.} + \Delta H$			
6	<i>Velika vjerojatnost + klimatske promjene</i>	$H_{25g.} + \Delta H$			
7	<i>Siječanj</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
8	<i>Veljača</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
9	<i>Ožujak</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
10	<i>Travanj</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
11	<i>Svibanj</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
12	<i>Lipanj</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
13	<i>Srpanj</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
14	<i>Kolovoz</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
15	<i>Rujan</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
16	<i>Listopad</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
17	<i>Studeni</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	
18	<i>Prosinac</i>	$H_{5g, mj}$	$Q_{t95\%, mj.}$	$T_{sr, mj}$	

5.2 Numerički model STREAM 1D

Modeliranje procjene prodora slane vode u priobalnim rijekama provedeno je računalnim programom STREAM 1D (Krvavica, 2016., Krvavica i sur., 2017.a,b). *Stratified Estuarine Model* (STREAM 1D) je originalni jednodimenzijski (1D) numerički model koji opisuje dvoslojno i nestacionarno tečenje plitkih voda u uslojenim uvjetima. Model je prvenstveno razvijen kako bi se mogli prognozirati kompleksni hidrodinamički procesi u izrazito uslojenim uvjetima priobalnih rijeka, pri čemu se prvenstveno misli na prodiranje slane vode uslijed različitih hidroloških i mareografskih utjecaja, ali i na propagaciju poplavnih valova u priobalnim zonama uslijed međudjelovanja velikih/malih voda i visokih razina mora.

Iako su danas sve dostupniji 3D numerički modeli koji rješavaju Navier-Stokesovu jednadžbu (npr. MIKE3, Delft 3D, OpenFOAM, itd.), za opisivanje uslojenog tečenja u priobalnim rijekama potrebno je koristiti dvofazne sheme te dinamičko prognošavanje mreže u blizini razdjelnice slojeva, što zahtijeva izrazito snažne računalne resurse (super računala) ili pak

rezultira s vrlo dugotrajnim proračunima. S druge strane, modeli plitkih voda su puno jednostavniji za implementirati, računalno su manje zahtjevni, a mogu se proširiti na dva međusobno povezana sloja te na taj način dovoljno precizno opisati fizikalne procese u uslojenim uvjetima toka (Krvavica, 2016., Krvavica i sur. 2017.a).

Procesne jednadžbe STREAM 1D modela izvedene su iz zakon očuvanja mase i zakon očuvanja količine gibanja uz nekoliko pretpostavki i pojednostavljenja (Krvavica, 2016.). Pretpostavlja se da je vertikalna struktura uslojena te da se tok vode može opisati sa dva sloja slatke i slane vode koji su odvojeni piknoklinom zanemarive debljine. Nadalje, u skladu s uobičajenom teorijom plitkih voda (eng. shallow water theory), brzina i gustoća su konstantne po dubini svakog sloja, vertikalne akceleracije su zanemarive, tlak je hidrostatski, nagib dna korita je blag, a viskozne sile se mogu opisati jednostavnim empirijskim izrazima. Također, tok je jednodimenzijski, a korito rijeke se može opisati nizom proizvoljnih poprečnih profila. Na ovaj način, procesne jednadžbe sastoje se od sustava četiri parcijalne diferencijalne jednadžbe, trenje između fluida i korita opisano je Manningovom jednadžbom, trenje između dvaju fluida različitih gustoća opisano je posmičnim naprezanjem i koeficijentom trenja na razdjelnici. Više detalje o ovom modelu dostupno je u literaturi (Krvavica, 2016., Krvavica i sur., 2017.a,b). Rubni uvjeti zadaju se na nizvodnom i uzvodnom rubu domene, gdje se na uzvodnom rubu definira protok rijeke, dok se na nizvodnom rubu definira ukupna razina vode (koja odgovara razini mora) i uvjetom unutarnjeg kritičnog toka dvaju slojeva slane i slatke vode (obično na samom ušću u more).

Dvoslojni modeli plitkih voda uspješno su primijenjeni i detaljno validirani na različitim primjerima uslojenog tečenja, kao što su izmjene dvaju mora kroz tjesnace, gravitacijske struje te izrazito stratificirana ušća. STREAM 1D pokazao se kao vrlo učinkovit i pouzdan model za prognoziranje prodora slanog klina u više priobalnih rijeka na području RH, u rijeci Neretvi (Krvavica i Ružić, 2020.; Krvavica i sur., 2021.) i Rječini (Krvavica, 2016.; Krvavica i sur., 2016.; Krvavica i sur., 2017.a). Na slici 5.17 prikazana je usporedba izmjerenih i modeliranih dubina razdjelnice (između slanog klina i gornjeg sloja slatke vode) u Rijeci za različite hidrološke i mareografske uvjete, koja potvrđuje preciznost i točnost STREAM 1D modela u svrhu prognoziranja dinamike slanog klina, odnosno duljine i volumena slane vode u prijelaznim vodama.

Nakon što je uspostavljen model za svako pojedino područje prijelazne vode, provedena je kalibracija, a kalibrirani modeli validirani su usporedbom sa mjerenjima, pri čemu se kvantificirala pouzdanost i točnost modela.

Kalibracija modela STREAM 1D provodi se s ciljem identificiranja dva osnovna hidraulička parametra: a) koeficijenta trenja između fluida i stijenke korita rijeke (koji može biti opisan

Manningovim koeficijentom hrapavosti ili Darcy-Weisbachovom jednađbom) te b) koeficijenta trenja na razdjelnici između fluida slatke i slane vode.

5.2.1 Kalibracija Manningovog koeficijenta trenja

U predmetnim analizama koeficijent pod a) opisan je Manningovim koeficijentom trenja, a kalibracija je provedena metodom pokušaja i pogreške te usporedbom izmjerenih i modeliranih razina vode na samom ušću i na najbližoj hidrološkoj postaji uzvodno od ušća. S obzirom da je, od svih deset prijelaznih voda, samo na rijeci Neretvi uspostavljeno hidrološko mjerenje vodostaja na samome ušću, na preostalim područjima korišteni su podaci s najbliže mareografske postaje. Pritom, kalibracija je provedena za vrijednosti maksimalnog satnog protoka i pripadajuće satne vrijednosti vodostaja i razine mora. S obzirom da je pri velikim protocima slani klin u potpunosti istisnut iz korita rijeke, proračun se tijekom kalibracije provodi za jednoslojni sustav.

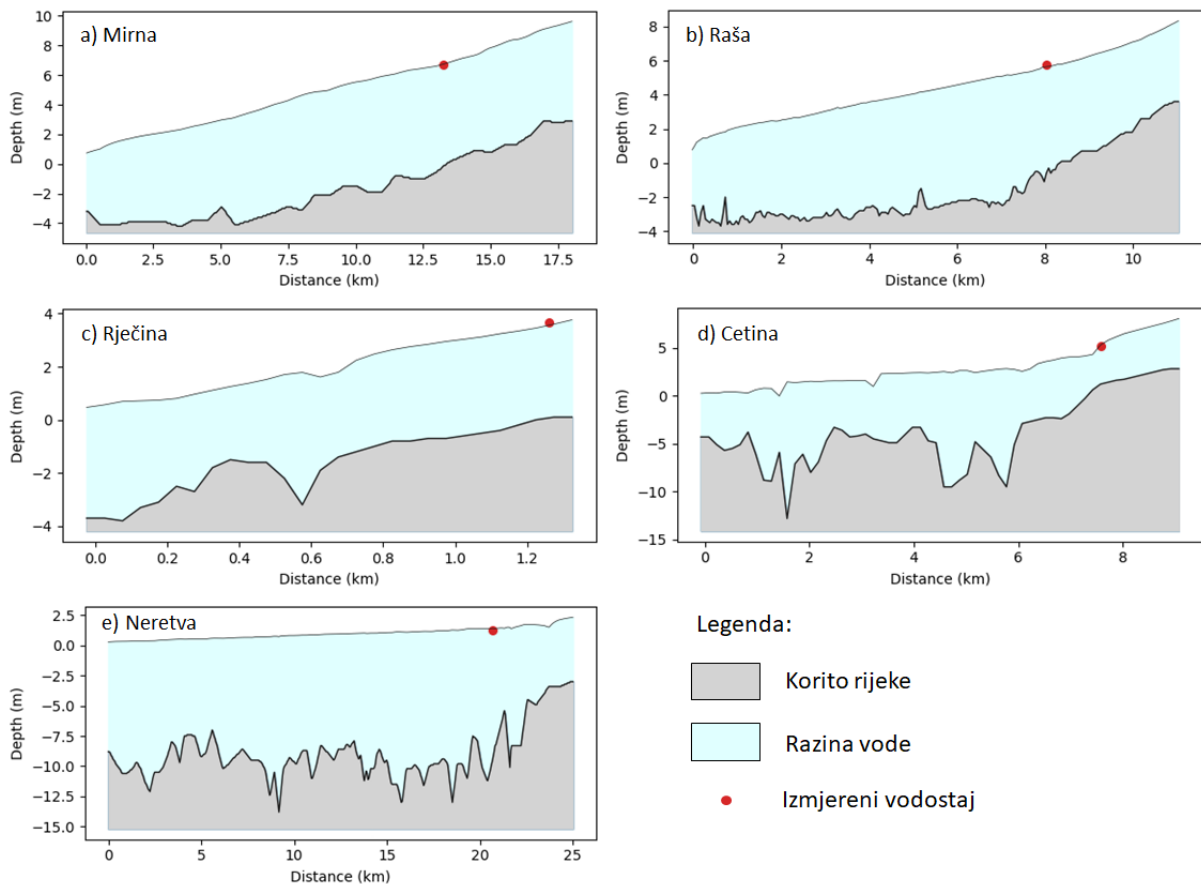
Treba napomenuti kako nije bilo moguće provesti kalibraciju na svih deset područja prijelaznih voda zbog neodgovarajućeg položaja hidroloških postaja. Primjerice na rijekama Zrmanji, Krki i Jadro hidrološka postaja postavljena je neposredno uzvodno od izraženih diskontinuiteta u koritu, odnosno iza Skradinskog buka (rijeka Krka), Janković buka (rijeka Zrmanja) te nekoliko uzastopnih stepenica na rijeci Jadro, što onemogućava uspostavu kontinuiranog nagiba vodnog lica od ušća do predmetne hidrološke postaje. Također, na rijeci Ombli velika dubina i širina korita te mala udaljenost od ušća također onemogućavaju uspostavu pouzdanog nagiba vodnog lica za kalibraciju koeficijenta trenja. Stoga je kalibracija trenja provedena za rijeke Mirnu, Rašu, Rječinu, Cetinu i Neretvu, dok je za preostale rijeke odabrana uprosječna vrijednost Manningovog koeficijenta trenja.

U tablici 5.7 prikazani su podaci korišteni za kalibraciju s odabranim (kalibriranim) Manningovim koeficijentom trenja. Vrijednosti Manningovog koeficijenta trenja n nalaze se u rasponu od 0,021 do 0,031 s $m^{-1/3}$ što odgovara preporučenim vrijednostima iz literature. Prosječna vrijednost koja je korištena za preostala područja prijelaznih voda iznosi $n = 0,025 s m^{-1/3}$.

Tablica 5.7. Hidrološki parametri korišteni za kalibraciju te odabrani Manningov koeficijent trenja za pet područja prijelaznih voda.

Rijeka	Hidrološka postaja	Protok ($m^3 s^{-1}$)	Vodostaj (m n.m.)	Razina mora (m n.m.)	Kalibrirani n ($s m^{-1/3}$)
Mirna	Portonski most	188	6.719	0.737	0.022
Rasa	Mutvica most	109	5.768	0.77	0.030
Rječina	Tvornica papira	153.1	3.674	0.47	0.031
Cetina	Tisne stine	349	5.212	0.238	0.024
Neretva	Metković	1375.84	1.244	0.294	0.021

Na slici 5.17 prikazani su uzdužni profili slobodnog vodnog lica na pet područja prijelaznih voda s izmjerenim vodostajem za hidrološke situacije koje odgovaraju vrijednostima prikazanim u tablici 5.7.



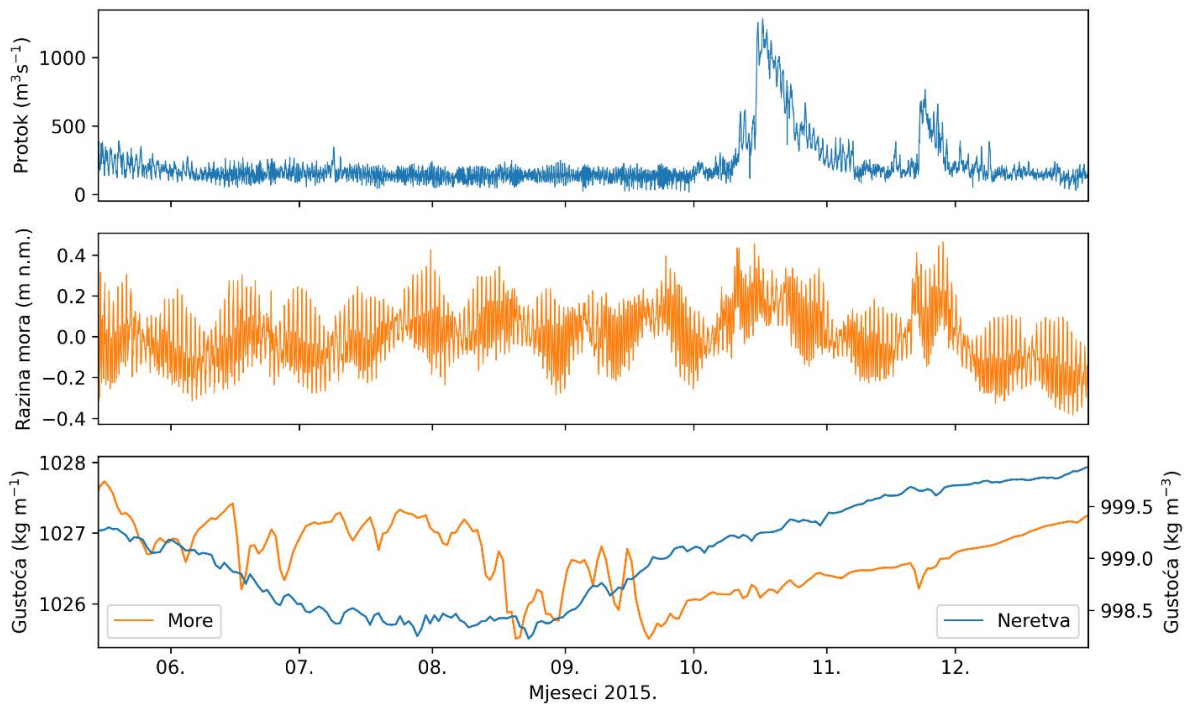
Slika 5.17. Rezultat kalibracije Manningovog koeficijenta trenja na rijekama: a) Mirni, b) Raši, c) Rječini, d) Cetini i e) Neretvi. Proračun je proveden za hidrološke parametre prikazane u tablici 5.7.

5.2.2 Kalibracija koeficijenta trenja na razdjelnici između slojeva slane i slatke vode

Za kalibraciju koeficijenta trenja na razdjelnici između slojeva slane i slatke vode potrebno je minimalno raspolagati izmjerenim podacima o salinitetu vode na određenoj udaljenosti od ušća. Ovakvi podaci trenutno su raspoloživi samo za rijeku Neretvu te djelomično za rijeku Rječinu. Na Neretvi je uspostavljeno kontinuirano mjerenje saliniteta na postaji Metković u razdoblju od 2015. do danas te u tijekom 2015. godine provedena dodatna mjerenja vertikalnog profila saliniteta kod Komina i Opuzena (Krvavica i sur., 2021.a,b), dok su na rijeci Rječini provedena samo pojedinačna terenska mjerenja vertikalnog profila saliniteta na nekoliko lokacija uzvodno od ušća tijekom 2012. i 2015. godine (Krvavica, 2016.).

Za potrebe predmetnih analiza koeficijent trenja na razdjelnici između slojeva slane i slatke vode kalibriran je na temelju monitoringa i terenskih mjerenja provedenih na Neretvi i Rječini te skaliran za preostala područja s obzirom na karakteristične hidrološke uvjete.

Na rijeci Neretvi kalibracija koeficijenta trenja na razdjelnici provedena je na temelju niza podataka iz 2015. godine. Na slici 5.18 prikazani su izmjereni satni nizovi protoka rijeke Neretve u Metkoviću, razina mora na ušću Male Neretve te gustoće mora i rijeke tijekom razdoblja V – XII 2015. godine.



Slika 5.18. Izmjereni satni nizovi protoka rijeke Neretve u Metkoviću, razina mora na ušću Male Neretve te gustoće mora i rijeke tijekom razdoblja V – XII 2015. godine (Krvavica i sur., 2021.)

Kalibracija faktora trenja na razdjelnici provedena je sličnim pristupom pokušaja i pogrešaka kao i pri kalibraciji Manningovog koeficijenta hrapavosti, s razlikom što je procjena provedena usporedbom dvaju različitih mjerenja: a) kontinuirane vremenske serije izmjerenih saliniteta u Metkoviću te b) pojedinačnih mjesečnih mjerenja profila saliniteta kod Opuzena i Komina.

Unatoč višestrukim pokušajima i širokim rasponom mogućih vrijednosti, nije pronađena jedna vrijednost faktora trenja koja bi dala zadovoljavajuće rezultate za sve protoke. Do istoga zaključka su došli autori i u prethodnoj studiji rijeke Neretve (Krvavica i sur., 2021a.), u kojoj je proveden i dodatani napor da se pronađe zavisnost faktora trenja o različitim bezdimenzionalnim brojevima, kao što su denzimetrijski Froudeov broj i Reynoldsov broj te

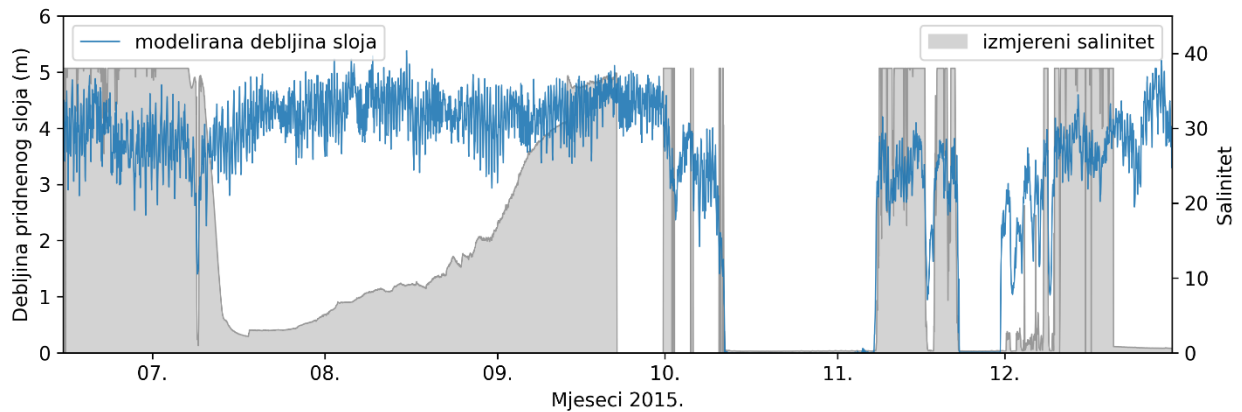
njihove različite kombinacije. Međutim, najbolje slaganje modeliranih i izmjerenih vrijednosti postignuto je za izraz koji faktor trenja definira kao funkciju apsolutne razlike protoka u slojevima slane Q_2 i slatke vode Q_1 te je konačno definirana sljedeća jednadžba (Krvavica i sur., 2021b.):

$$f_i = 1.4 \times 10^{-6} |Q_1 - Q_2|. \quad (5.1)$$

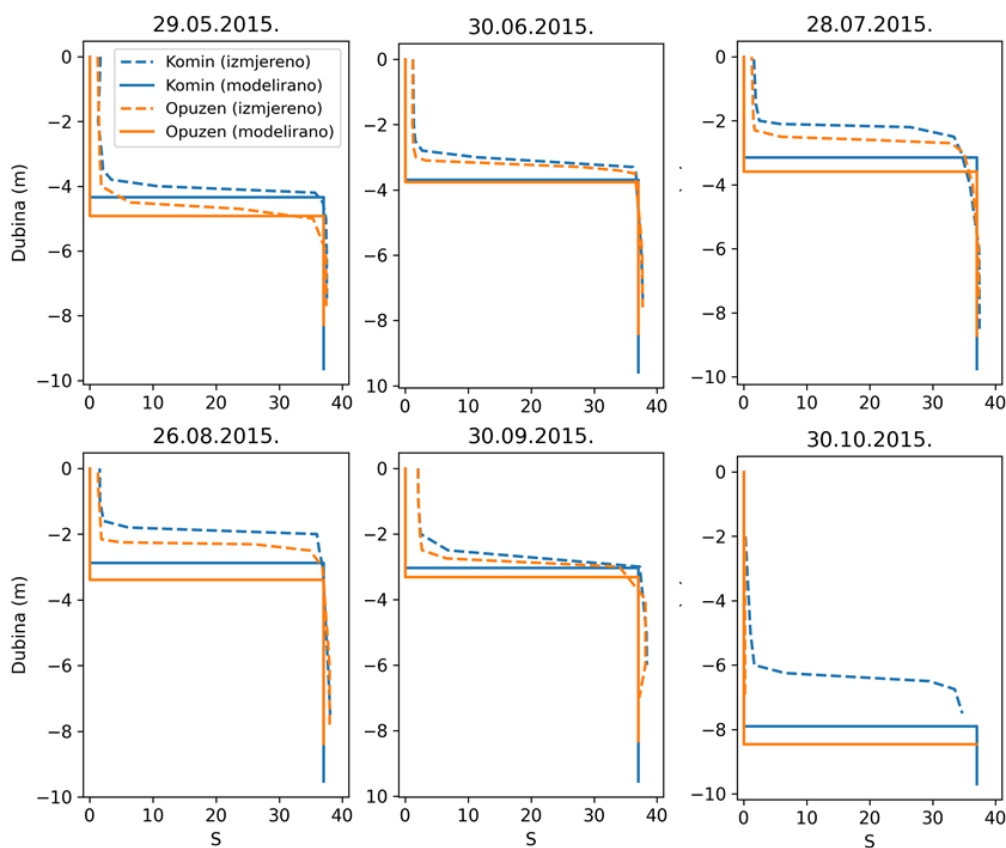
Na slici 5.19 prikazana je usporedba modeliranih debljina pridnenog sloja slane vode u Metkoviću s izmjerenim vrijednostima saliniteta pri dnu. S obzirom na pojednostavljenje dvoslojnog modela, izračunate vrijednosti saliniteta su konstantne u svakom sloju, stoga je umjesto direktne usporedbe vrijednosti saliniteta, moguća jedino provjera koliko precizno model predviđa razdoblja kada će slani klin prodirati uzvodno od Metkovića. Naime, ako u istom razdoblju kada su izmjereni saliniteti viši od neke minimalne vrijednosti (npr. $S > 2$) model izračuna debljinu sloja veću od nule, tada usporedba zadovoljava. U slučaju kada je izračunata debljina sloja slane vode veća od nule, a istodobno su izmjerene vrijednosti saliniteta niže od 2, tada se može zaključiti da model precjenjuje duljinu prodora slanog klina, dok u slučaju kada je izračunata debljina sloja slane vode jednaka nuli, a istodobno su izmjerene vrijednosti saliniteta više od 2, tada se može zaključiti da model podcjenjuje duljinu slanog klina. Iz danog prikaza može se zaključiti da model dobro prognozira hidrauličke uvjete pri kojima je slani klin potisnut nizvodno od Metkovića, odnosno u kojima prodire uzvodno od ove lokacije.

Druga se provjera sastoji od usporedbe dubine razdjelnice s izmjerenim vertikalnim profilom saliniteta na lokacijama Komin (+8,0 km) i Opuzen (+11,8 km). Na slici 5.20 prikazana je usporedba modeliranih i izmjerenih profila saliniteta, podudarnost je zadovoljavajuća, iako dva profila izmjerena krajem srpnja i kolovoza upućuju da model podcjenjuje debljinu sloja slane vode na oba profila. S obzirom na tendenciju modela da precjenjuje duljinu slanog klina, ovi rezultati modela mogu se pripisati potencijalno prestrogoj definiciji nizvodnog rubnog uvjeta, odnosno unutarnjeg kritičnog toka tijekom malih protoka. Do sličnih su rezultata i zaključaka došli autori i u prethodnoj studiji Neretve (Krvavica i sur., 2021.).

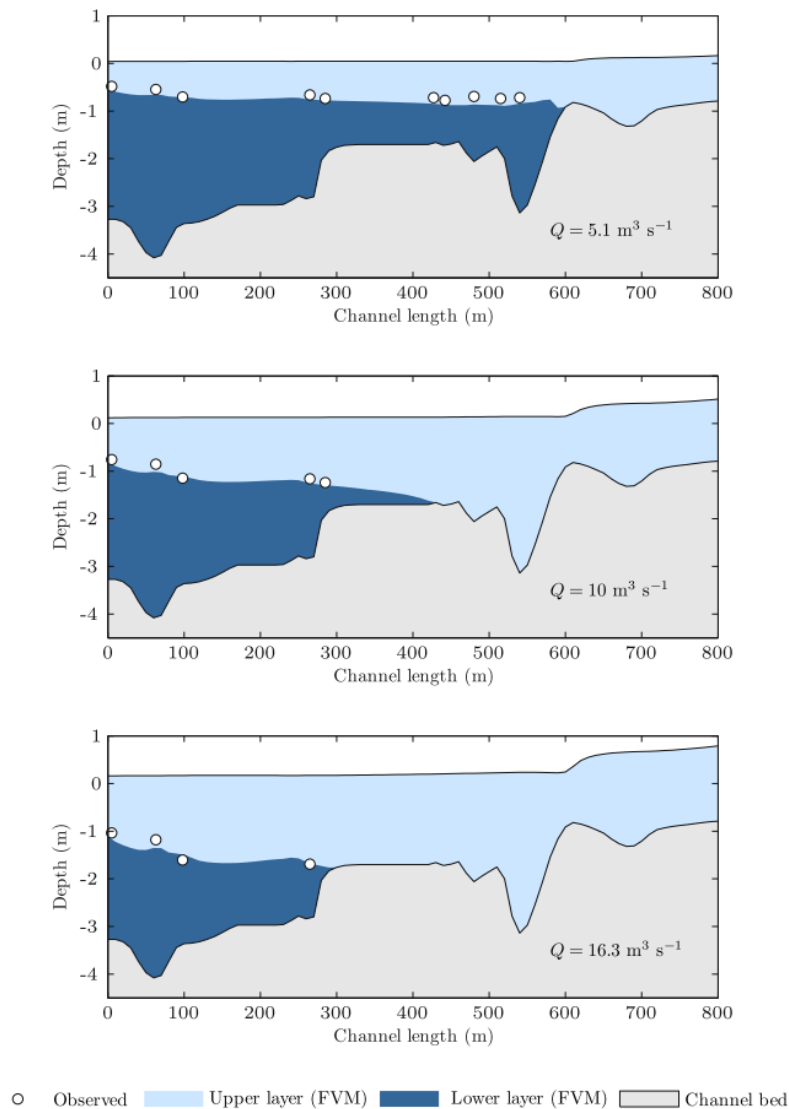
S druge strane, na rijeci Rječini provedena je kalibracija za pojedinačna mjerenja, ali u usporedbi s mjerenjima na Neretvi, izmjerene su dubine razdjelnice na više lokacija uzvodno od ušća. Na slici 5.21 prikazana je usporedba uzdužnih profila izmjerenih i modeliranih dubina razdjelnice za tri različita protoka i razine mora. Na Rijeci Rječini je iz pojedinačnih mjerenja (ukupnih njih 22) također zaključeno kako koeficijent trenja linearno raste s protokom te da se ovaj koeficijent nalazi u rasponu od 1×10^{-4} do 16×10^{-4} (Krvavica, 2016.).



Slika 5.19. Usporedba modeliranih debljina pridnenog sloja slane vode s izmjerenim salinitetima pri dnu korita rijeke Neretve u Metkoviću tijekom 2015. godine (Krvavica i sur., 2021b).



Slika 5.20. Usporedba modeliranih dubina razdjelnice s izmjerenim vertikalnim profilima saliniteta u rijeci Neretvi kod Komina i Opuzena tijekom 2015. godine (Krvavica i sur., 2021b).



Slika 5.21. Usporedba modeliranih i izmjenjenih dubina razdjelnice uzduž korita rijeke Rječine za protoke $Q = 5,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $Q = 10,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ i $Q = 16,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Krvavica, 2016.).

Konačno kako bi se definirao univerzalni izraz za koeficijent trenja na razdjelnici koji je primjenjiv za svih deset područja prijelaznih voda, definiran je sljedeći izraz koji je izveden iz jednadžbe (5.1), ali skaliran s vrijednosti karakterističnog protoka malih voda za svako područje:

$$f_i = 2 \times 10^{-4} \left| \frac{Q_1 - Q_2}{Q_{t95\%}} \right|. \quad (5.2)$$

gdje je f_i koeficijent trenja na razdjelnici, Q_1 protok u gornjem sloju, Q_2 protok u donjem sloju te $Q_{t95\%}$ protok trajanja 95% (karakteristični protok malih voda na svakom od deset područja prijelaznih voda). Jednadžba (5.2) primjenjiva je za sva područja u RH, a ujedno daje jednake rezultate kao i jednadžba (5.1) za Neretvu te niz pojedinačnih vrijednosti u rasponu od 1×10^{-4} do 16×10^{-4} za Rječinu.

5.3 Isporučene ulazne datoteke za korištenje modela STREAM-1D

Za provedbu numeričkih simulacija ekstremnih utjecaja mora na prijelazne vode (18 scenarija) pripremljene su sljedeće datoteke (za forsiranje modela STREAM 1D):

1. Srednje godišnje temperature i saliniteti mora.txt
2. Protoci trajanja Q95 i srednje godišnje temperature rijeka.txt
3. Srednje mjesečne temperature mora.txt
4. Protoci trajanja Q95 po mjesecima.txt
5. Srednje mjesečne temperature rijeka.txt

(prazna stranica)

6 Rezultati numeričkog modeliranja prema 18 scenarija

U ovom poglavlju prezentirani su rezultati uspostavljenih modela (računalni programski paketi za upravljanje rizicima od poplave mora) za numeričko modeliranje procesa u Jadranskom moru sa karakteristikama da za njihovu nabavu i produžavanje prava korištenja nije potrebno plaćanje, te se mogu instalirati na računalima s operativnim sustavom Windows.

Rezultati simulacija provedenih sa numeričkim modelima daju procjenu anomalije morske razine, karakteristike gravitacionih vjetrovnih morskih valova i utjecaja ekstremnih razina mora na riječne vodotoke u domeni prijelaznih voda. Numeričke simulacije su provedene prema 18 scenarija definiranih u projektnom zadatku.

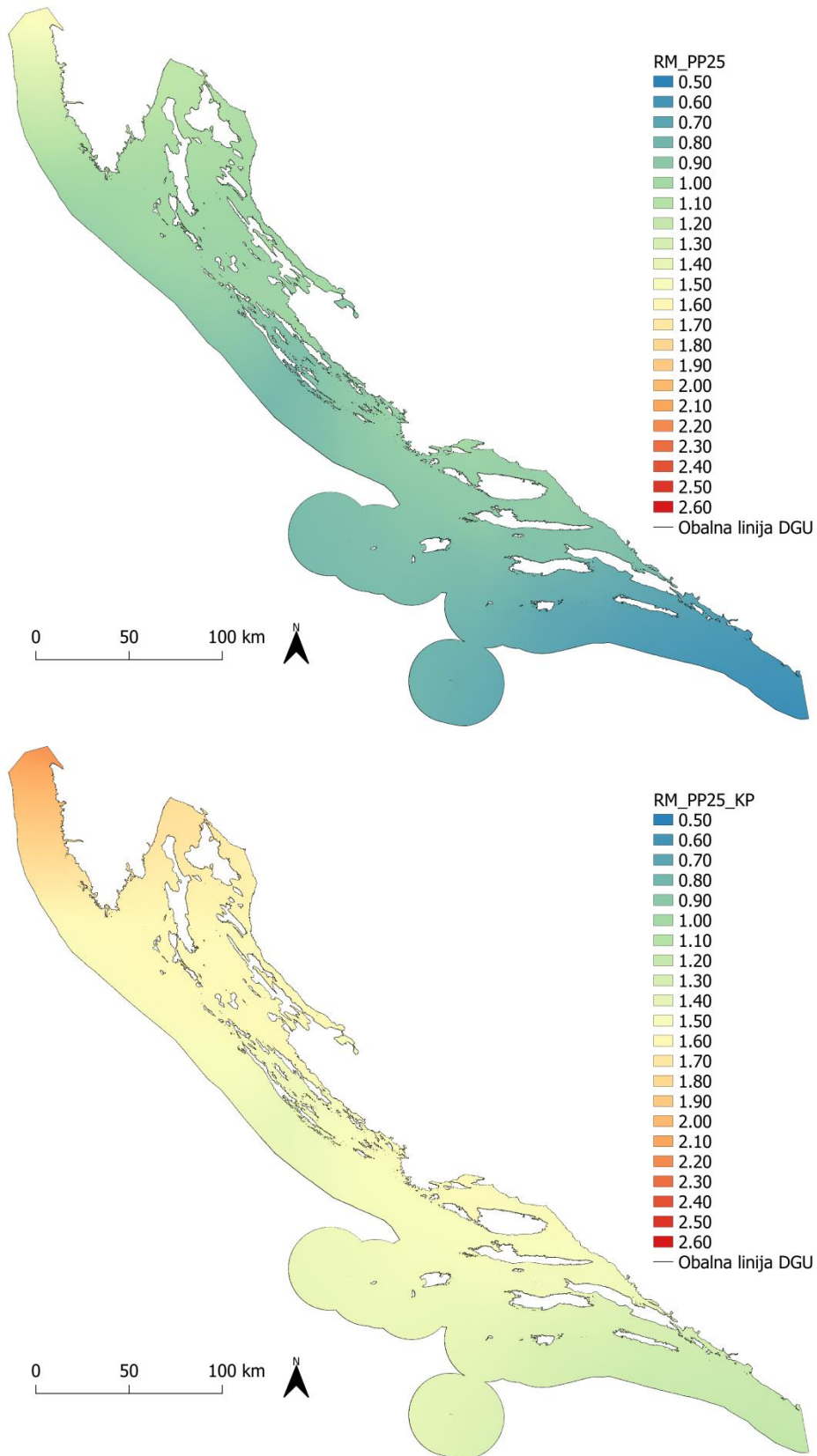
Prostorna i vremenska razlučivost uspostavljenih modela je takova da se rezultati mogu prikazati na karti mjerila 1:25 000, te da je uzet u obzir utjecaj svih otoka vidljivih na Državnoj topografskoj karti mjerila 1:25 000. Rezultati numeričkih modelskih simulacija za usvojene scenarije prezentirani su u GIS sučelju putem odgovarajućih vektorskih i rasterskih slojeva, a koji se ujedno predaju i na elektronskom mediju.

Kratka uputstva za instalaciju korištenih programskih paketa, te rad sa njima dan je u dodatku ovog izvještaja.

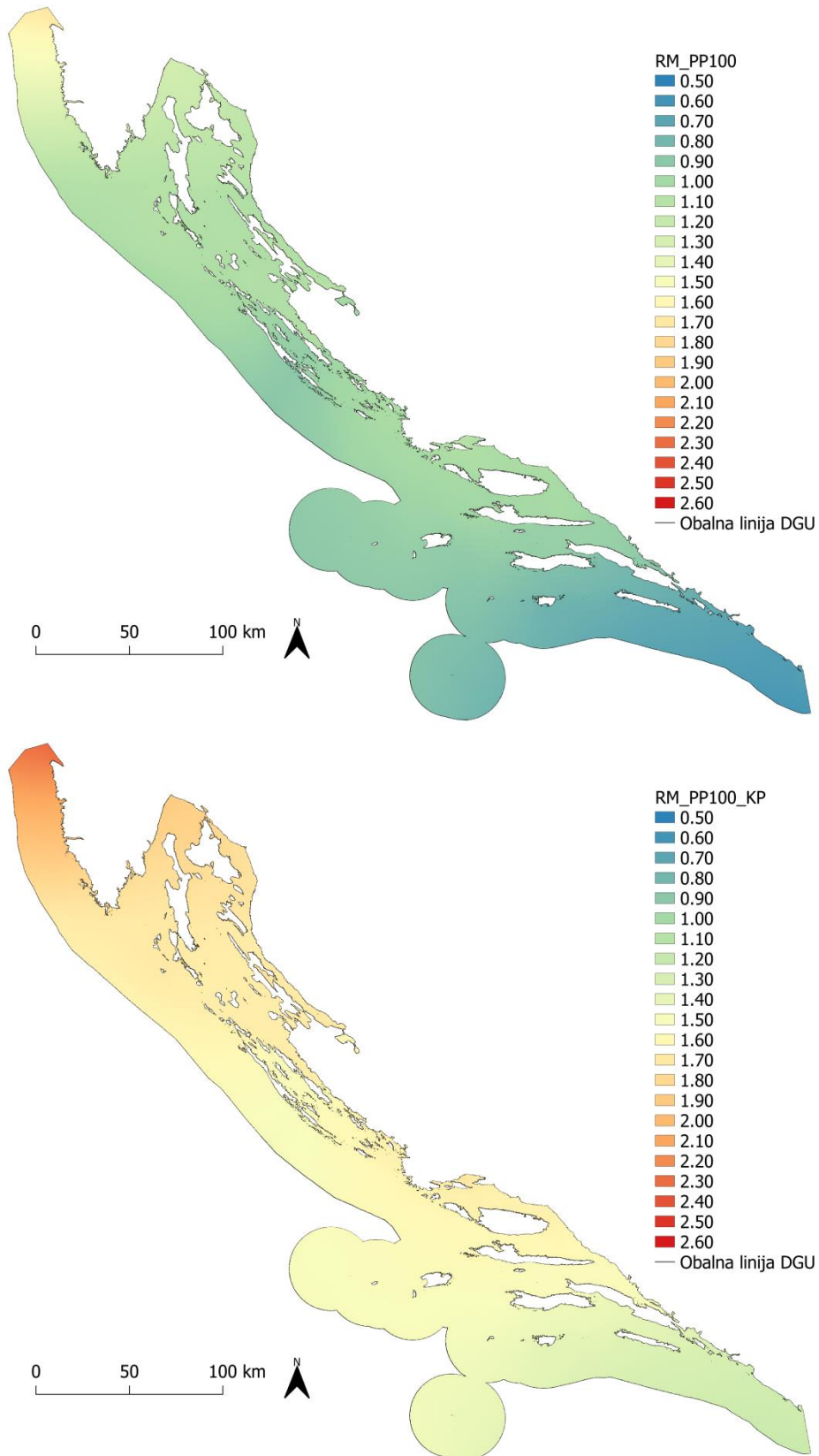
6.1 Rezultati modelskih simulacija (model SCHISM)

Na slikama 6.1 – 6.3 prikazani su primjeri rezultata numeričkih simulacija sa modelom SCHISM u vidu polja morskih razina (referencirano na HVR571), za malu, srednju i veliku vjerojatnost pojavljivanja, ta sa i bez utjecaja klimatskih promjena. Imena rezultatnih datoteka (rastera) sa navodima pripadnog scenarija dana su u sljedećem poglavlju.

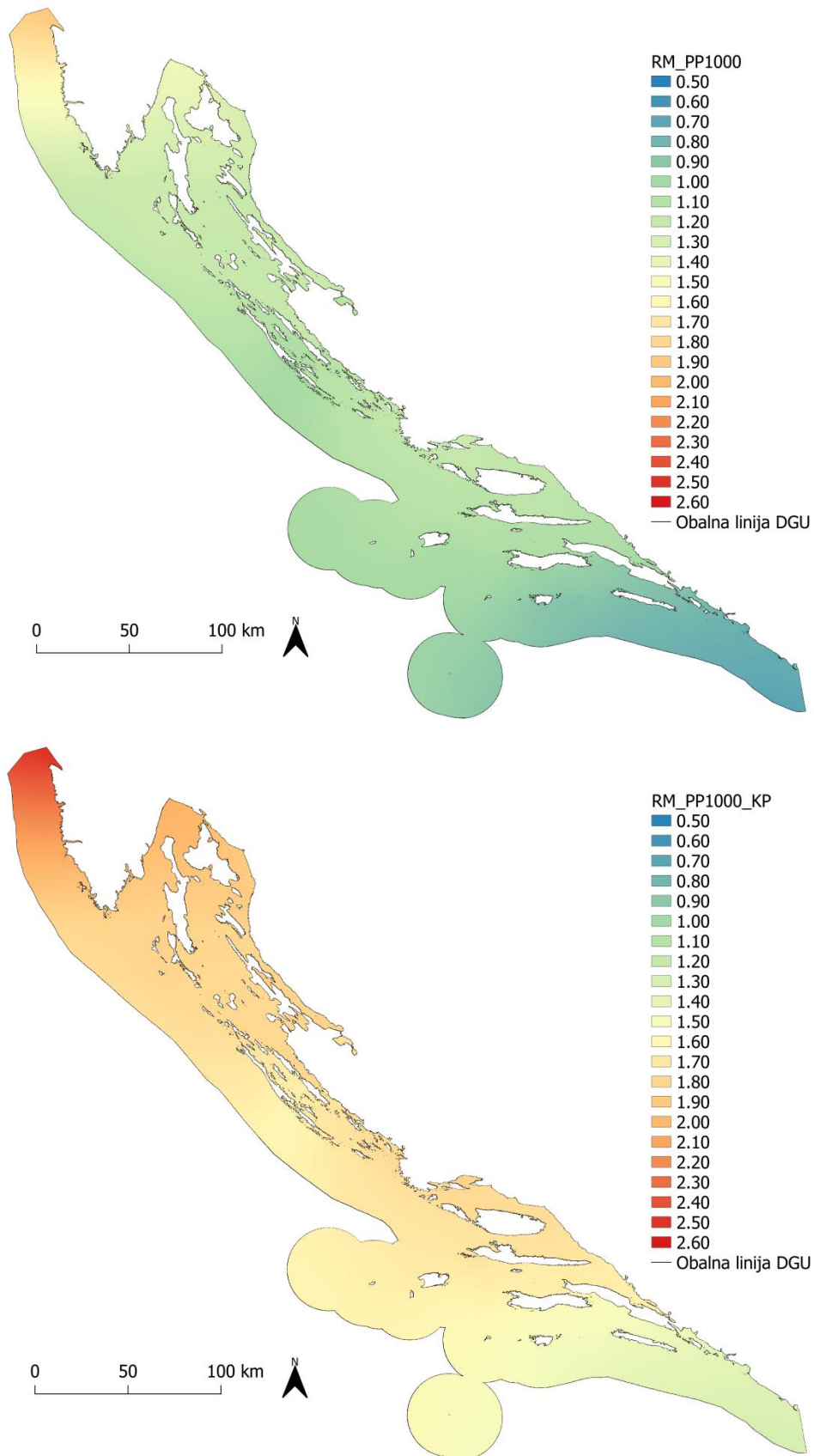
Na slikama 6.4 i 6.5 prikazani su primjeri područja plavljenja pri pojavi ekstremnih razina mora (model SCHISM). Prostorna rezolucija rasterskih slojeva je 5m x 5m. Imena rezultatnih datoteka (rastera) sa navodima pripadnog scenarija dana su u sljedećem poglavlju.



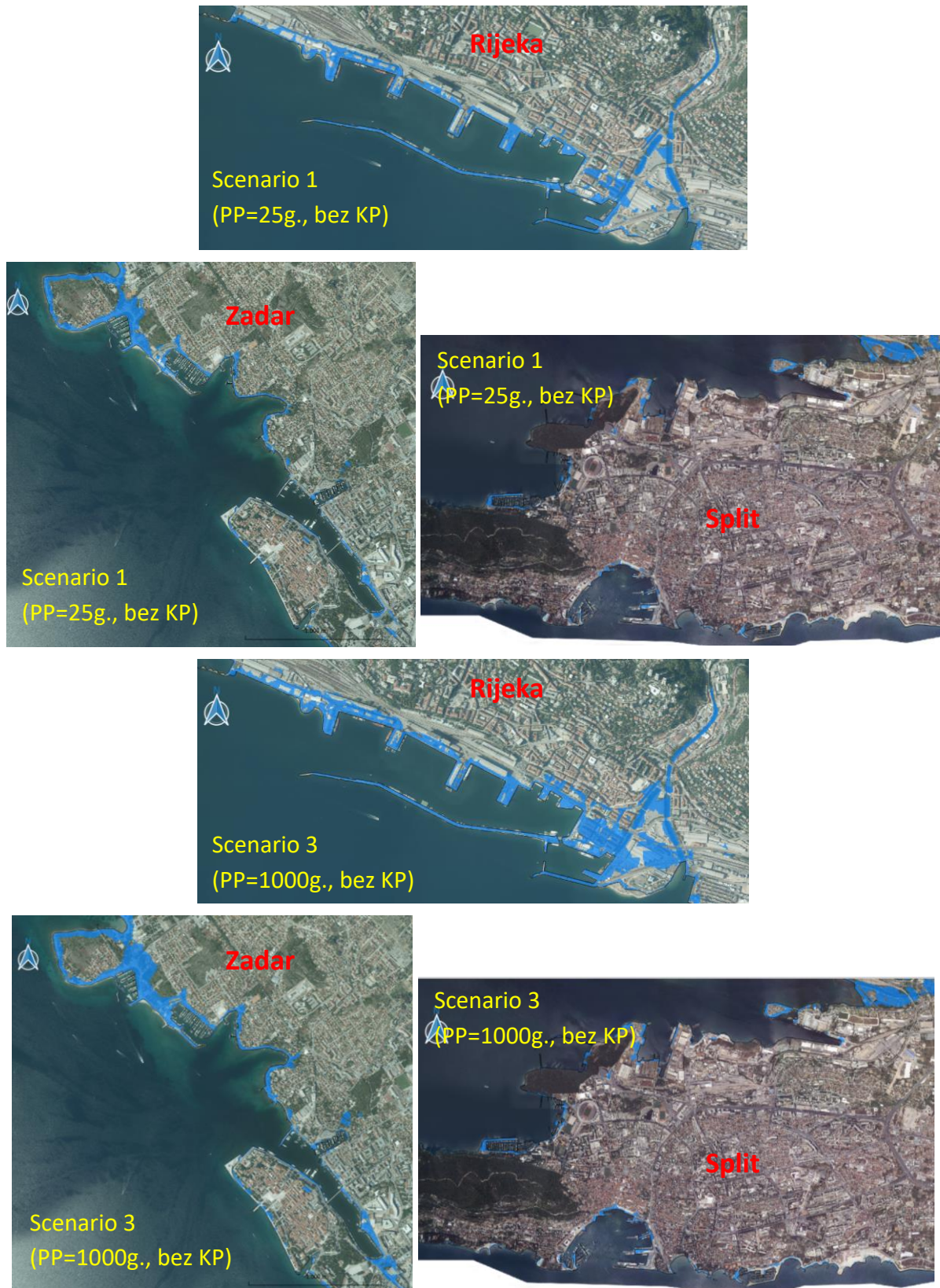
Slika 6.1. Prikaz polja ekstremnih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 1 (gore) i 4 (dole)



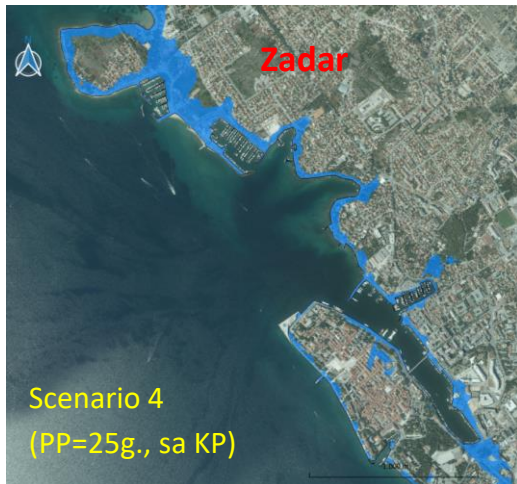
Slika 6.2. Prikaz polja ekstremnih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 2 (gore) i 5 (dole)



Slika 6.3. Prikaz polja ekstremnih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 3 (gore) i 6 (dole)



Slika 6.4. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri ekstremnim razinama mora i bez djelovanja valova (model SCHISM). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 1 i 3



Slika 6.5. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri ekstremnim razinama mora i bez djelovanja valova (model SCHISM). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 4 i 6

6.2 Modelske i rezultatne datoteke (model SCHISM)

Za pokretanje modela SCHISM za 18 usvojenih scenarija koriste se sljedeće datoteke:

Modeli male, srednje i velike vjerojatnosti, sa i bez klimatskih promjena

1. Model poplavlivanja sjevernog Jadrana

param_north.nml
UVP_direct_north.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

2. Model poplavlivanja srednjeg Jadrana

param_middle.nml
UVP_direct_middle.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

3. Model poplavlivanja južnog Jadrana

param_south.nml
UVP_direct_south.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

Ova tri modela služe kao osnova za izračun prostornih raspodjela za male, srednje i velike vjerojatnosti poplavlivanja, sa i bez klimatskih promjena.

Modeli po mjesecima

1. Model poplavlivanja za siječanj

param_jan.nml param.nml
UVP_direct_jan.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

2. Model poplavlivanja za veljaču

param_feb.nml param.nml
UVP_direct_feb.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

3. Model poplavlivanja za ožujak

param_mar.nml param.nml
UVP_direct_mar.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

4. Model poplavlivanja za travanj

param_apr.nml param.nml
UVP_direct_apr.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

5. Model poplavljanja za svibanj
param_may.nml param.nml
UVP_direct_may.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL
6. Model poplavljanja za lipanj
param_jun.nml param.nml
UVP_direct_jun.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL
7. Model poplavljanja za srpanj
param_jul.nml param.nml
UVP_direct_jul.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL
8. Model poplavljanja za kolovoz
param_aug.nml param.nml
UVP_direct_aug.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL
9. Model poplavljanja za rujan
param_sep.nml param.nml
UVP_direct_sep.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL
10. Model poplavljanja za listopad
param_oct.nml param.nml
UVP_direct_oct.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL
11. Model poplavljanja za studeni
param_nov.nml param.nml
UVP_direct_nov.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL
12. Model poplavljanja za prosinac
param_dec.nml param.nml
UVP_direct_dec.nc
pschism_VEPAR_GNU_VL

Ovih dvanaest modela služe kao osnova za izračun prostornih raspodjela ekstremnih razina mora za 5 godišnje razdoblje, po mjesecima.

Rezultati numeričkih simulacija ekstremnih razina mora za 18 usvojenih scenarija bez utjecaja valova prikazani su u sljedećim rasterskim slojevima rezolucije 200m x 200m - datotekama (model SCHISM):

1. RM_PP25.tif (Scenario 1 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
2. RM_PP100.tif (Scenario 2 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
3. RM_PP1000.tif (Scenario 3 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
4. RM_PP25_KP.tif (Scenario 4 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena);
5. RM_PP100_KP.tif (Scenario 5 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena);
6. RM_PP1000_KP.tif (Scenario 6 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena);
7. RM_sij.tif (Scenario 7 – ekstremne razine mora za siječanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja);
8. RM_velj.tif (Scenario 8 – ekstremne razine mora za veljaču tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
9. RM_ozu.tif (Scenario 9 – ekstremne razine mora za ožujak tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
10. RM_tra.tif (Scenario 10 – ekstremne razine mora za travanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
11. RM_svi.tif (Scenario 11 – ekstremne razine mora za svibanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
12. RM_lip.tif (Scenario 12 – ekstremne razine mora za lipanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
13. RM_srp.tif (Scenario 13 – ekstremne razine mora za srpanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
14. RM_kol.tif (Scenario 14 – ekstremne razine mora za kolovoz tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
15. RM_ruj.tif (Scenario 15 – ekstremne razine mora za rujanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
16. RM_lis.tif (Scenario 16 – ekstremne razine mora za listopad tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
17. RM_stu.tif (Scenario 17 – ekstremne razine mora za studeni tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
18. RM_pro.tif (Scenario 18 – ekstremne razine mora za prosinac tijekom 5 godišnjeg razdoblja)

Rezultati numeričkih simulacija strujanja mora pri pojavi ekstremnih razina mora za 18 usvojenih scenarija bez utjecaja valova prikazani su u sljedećim rasterskim slojevima rezolucije 200m x 200m - datotekama (model SCHISM):

1. U_PP25.tif (Scenario 1 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, bez utjecaja KP);
2. U_PP100.tif (Scenario 2 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, bez utjecaja KP);
3. U_PP1000.tif (Scenario 3 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, bez utjecaja KP);
4. U_sij.tif (Scenario 7 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za siječanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja);
5. U_velj.tif (Scenario 8 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za veljaču tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
6. U_ozu.tif (Scenario 9 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za ožujak tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
7. U_tra.tif (Scenario 10 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za travanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
8. U_svi.tif (Scenario 11 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za svibanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
9. U_lip.tif (Scenario 12 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za lipanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
10. U_srp.tif (Scenario 13 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za srpanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
11. U_kol.tif (Scenario 14 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za kolovoz tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
12. U_ruj.tif (Scenario 15 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za rujanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
13. U_lis.tif (Scenario 16 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za listopad tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
14. U_stu.tif (Scenario 17 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za studeni tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
15. U_pro.tif (Scenario 18 – U komponenta strujanja pri ekstremnoj razini mora za prosinac tijekom 5 godišnjeg razdoblja)

Napomena: Datoteke koje se odnose na V (North) komponentu strujanja umjesto oznake „U“ na početku imena datoteke imaju oznaku „V“. Nadalje, polja brzine strujanja pri ekstremnim razinama mora u uvjetima klimatskih promjena usvojena su kao istovjetna poljima strujanja u uvjetima bez klimatskih promjena.

Rezultati područja plavljenja za 18 usvojenih scenarija bez utjecaja valova prikazani su u sljedećim rasterskim slojevima rezolucije **5m x 5m** - datotekama (model SCHISM):

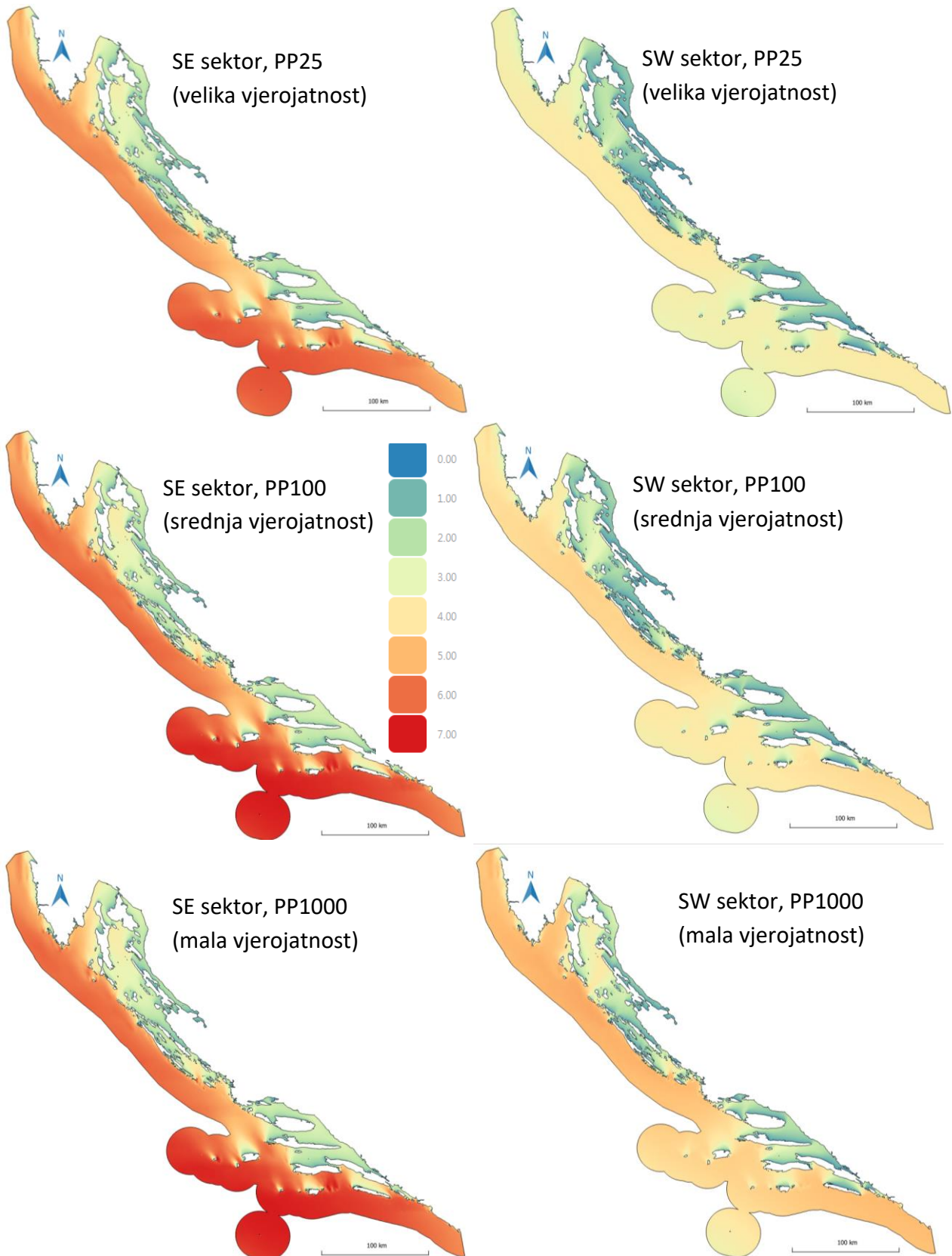
1. PLAV_PP25.tif (Scenario 1 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
2. PLAV_PP100.tif (Scenario 2 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
3. PLAV_PP1000.tif (Scenario 3 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
4. PLAV_PP25_KP.tif (Scenario 4 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena);
5. PLAV_PP100_KP.tif (Scenario 5 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena);
6. PLAV_PP1000_KP.tif (Scenario 6 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena);
7. PLAV_sij.tif (Scenario 7 – ekstremne razine mora za siječanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja);
8. PLAV_velj.tif (Scenario 8 – ekstremne razine mora za veljaču tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
9. PLAV_ozu.tif (Scenario 9 – ekstremne razine mora za ožujak tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
10. PLAV_tra.tif (Scenario 10 – ekstremne razine mora za travanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
11. PLAV_svi.tif (Scenario 11 – ekstremne razine mora za svibanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
12. PLAV_lip.tif (Scenario 12 – ekstremne razine mora za lipanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
13. PLAV_srp.tif (Scenario 13 – ekstremne razine mora za srpanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
14. PLAV_kol.tif (Scenario 14 – ekstremne razine mora za kolovoz tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
15. PLAV_ruj.tif (Scenario 15 – ekstremne razine mora za rujanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
16. PLAV_lis.tif (Scenario 16 – ekstremne razine mora za listopad tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
17. PLAV_stu.tif (Scenario 17 – ekstremne razine mora za studeni tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
18. PLAV_pro.tif (Scenario 18 – ekstremne razine mora za prosinac tijekom 5 godišnjeg razdoblja)

6.3 Rezultati modelskih simulacija (model SWAN)

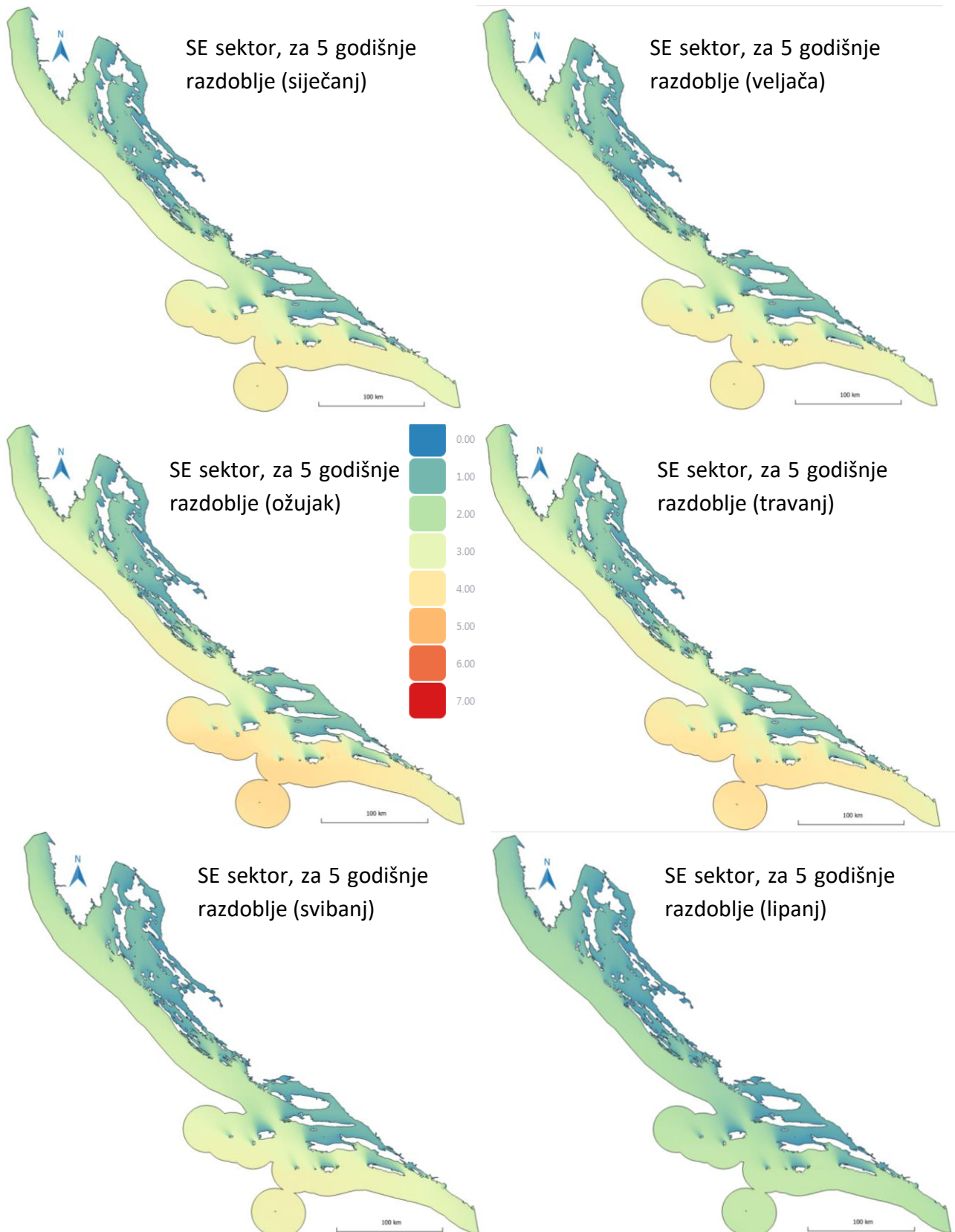
Na slikama 6.6 – 6.9 prikazani su primjeri rezultata numeričkih simulacija sa modelom SWAN u vidu polja značajnih valnih visina H_s , vršnih spektralnih perioda T_p i incidentnog smjera valovanja (rasterski slojevi rezolucije 200m x 200m). Imena rezultatnih datoteka (rastera) sa navodima pripadnog scenarija dana su u sljedećem poglavlju.

Rezultati modela valovanja (SWAN) povezani su sa rezultatima hidrodinamičkog modela ekstremnih razina mora (SCHISM) na način da je temeljem proračunatih vrijednosti H_s i T_p iz modela valovanja (SWAN), te prethodno izrađenog rastera dubina (rezolucija 10m x 10m, prezentirano u drugom izvještaju „Priprema podloga za upravljanje rizicima od poplava mora“), proračunat visinski doseg vala (eng: „run-up“) po metodi Medellin i sur. (2016.). Tako proračunate vrijednosti „run-up“ superponirane se uzduž obalne linije sa proračunatim vrijednostima ekstremnih razina mora iz modela SCHISM. Na ovaj način definirane su ekstremne razine mora (područja plavljenja) za 18 usvojenih scenarija u kojima je uzet u obzir i doprinos valova, a što je izraženo rasterskim slojevima – datotekama sa nazivljem navedenim u sljedećem poglavlju.

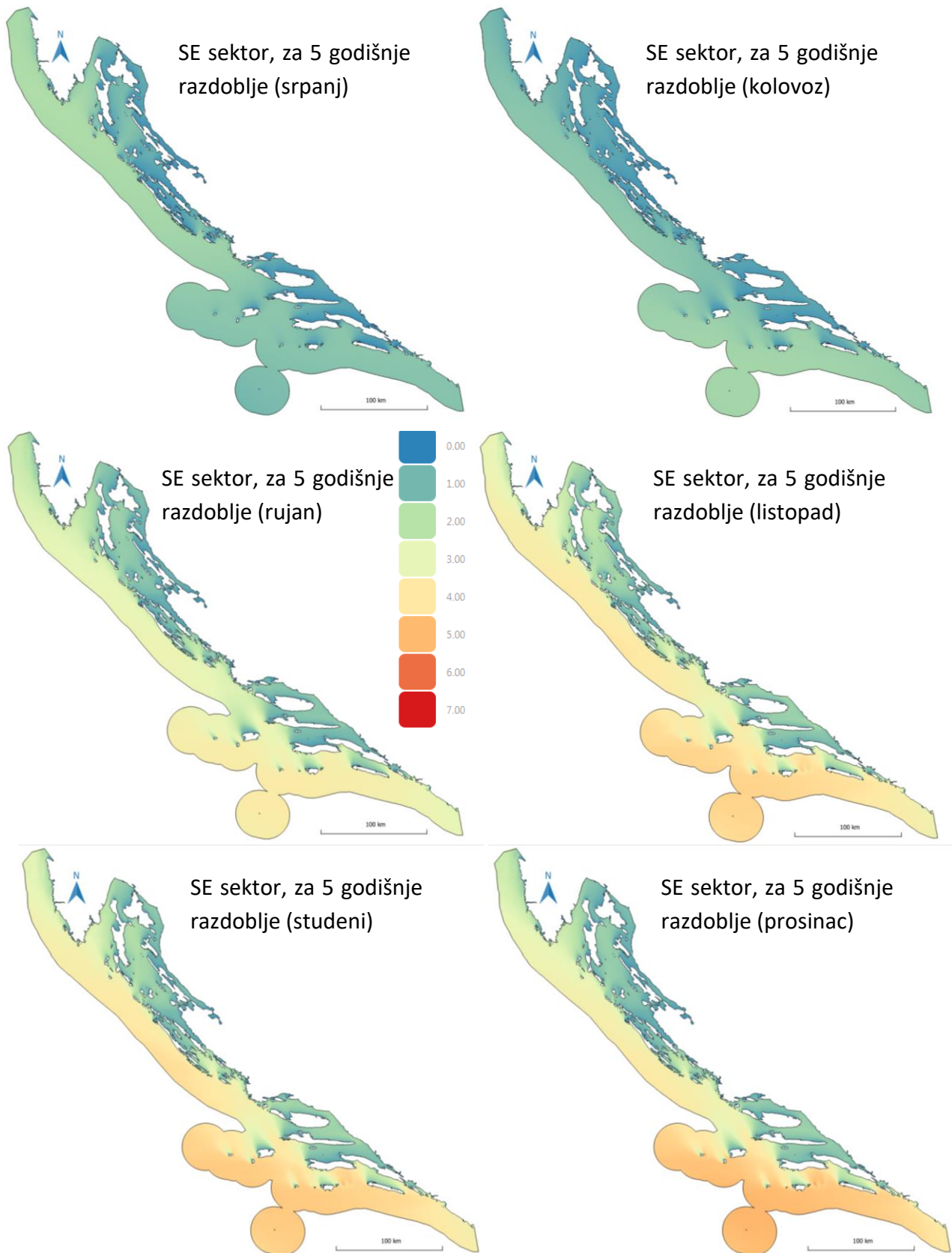
Na slikama 6.10 i 6.11 prikazani su primjeri područja plavljenja pri pojavi ekstremnih razina mora (model SCHISM) i djelovanja valova (model SWAN). Prostorna rezolucija rasterskih slojeva je 5m x 5m). Imena rezultatnih datoteka (rastera) sa navodima pripadnog scenarija dana su u sljedećem poglavlju.



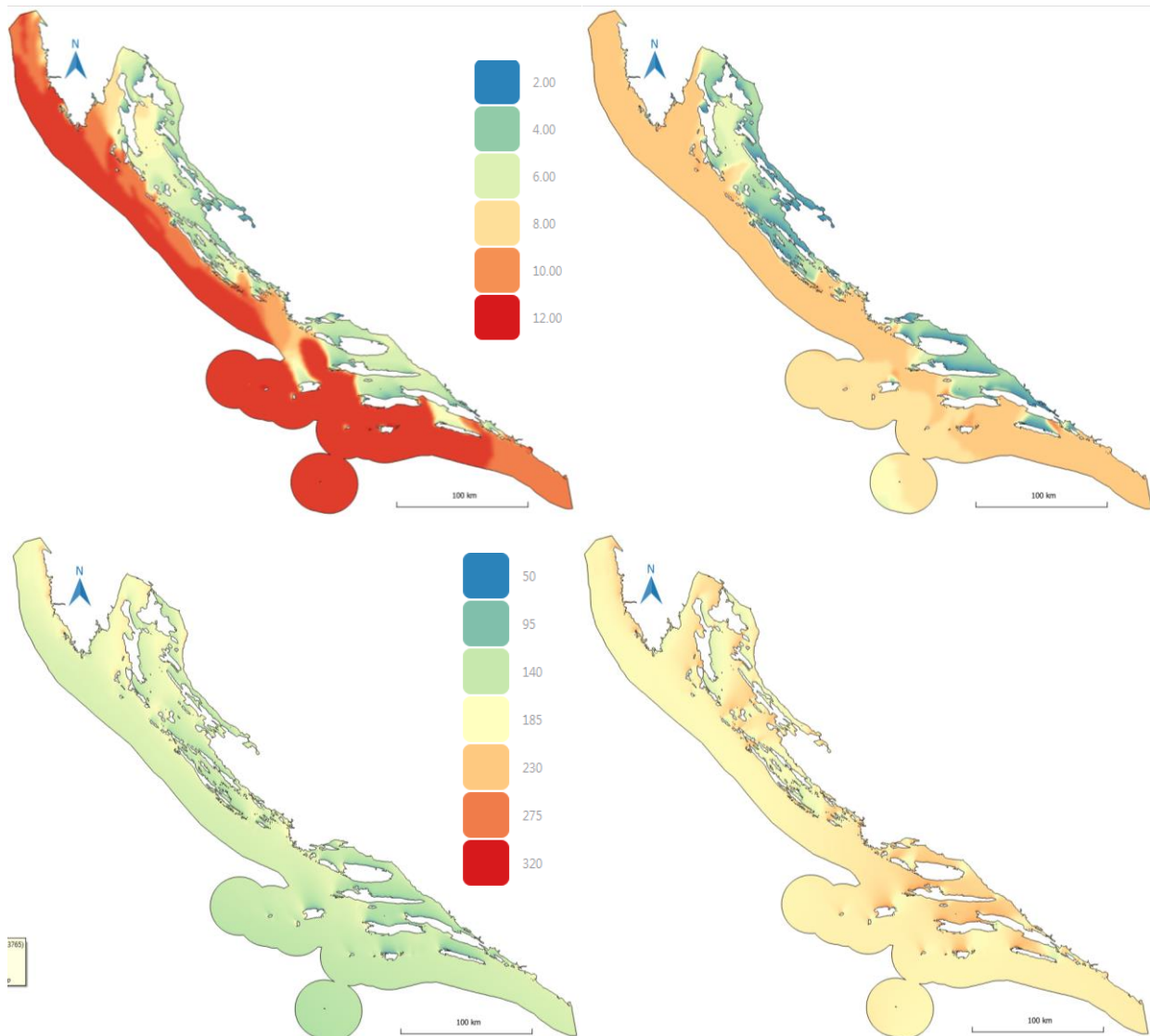
Slika 6.6. Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 1 (gore), 2 (sredina) i 3 (dole) pri valovanju iz SE sektora (lijevo) i SW sektora (desno)



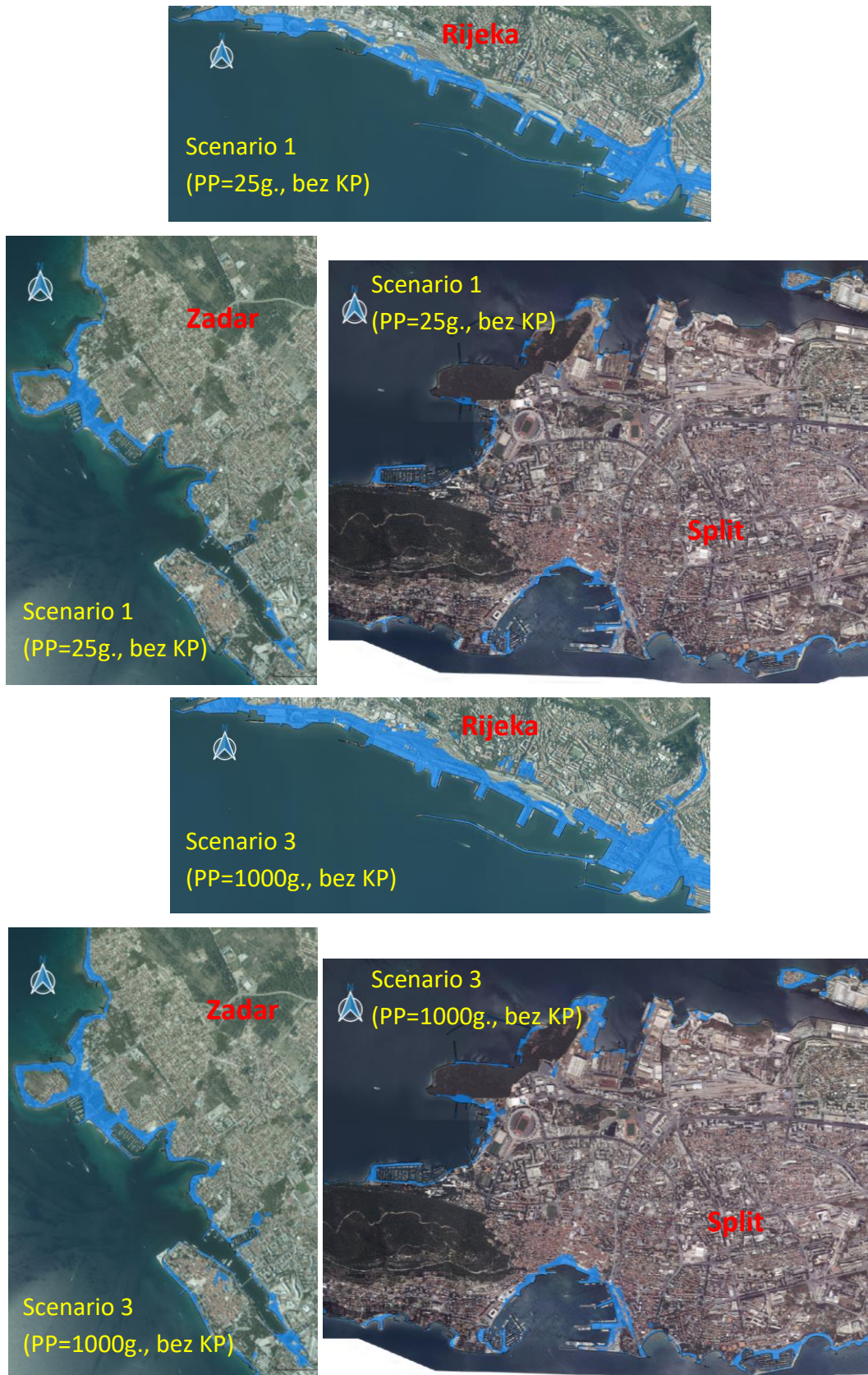
Slika 6.7. Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 7-12 pri valovima iz SE sektora



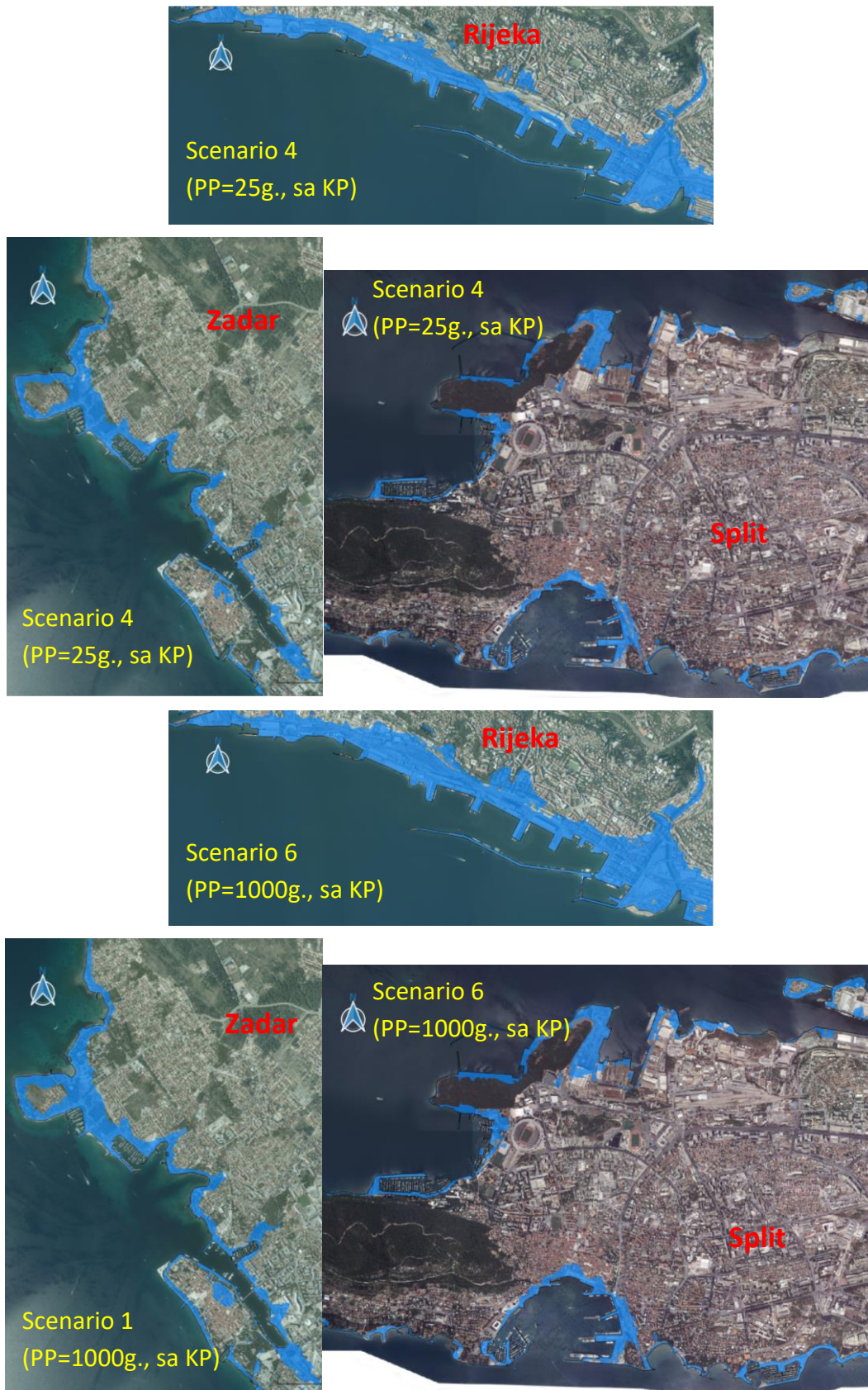
Slika 6.8. Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na usvojene scenarije 12-18 pri valovima iz SE sektora



Slika 6.9. Prikaz polja vršnih spektralnih perioda T_p (gore) i incidentnog smjera valovanja (dole) na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na scenario srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina; lijevo - djelovanje valova iz SE sektora ; desno - djelovanje valova iz SW sektora)



Slika 6.10. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri pojavi ekstremnih razina mora i djelovanja valova (modeli SCHISM + SWAN). Prikaz se odnosi na usvojeni scenario 1 i 3 pri valovima iz SE sektora



Slika 6.11. Prikaz područja plavljenja na obalnom području RH u GIS sučelju (raster 5m x 5m) pri pojavi ekstremnih razina mora i djelovanja valova (modeli SCHISM + SWAN). Prikaz se odnosi na usvojeni scenario 4 i 6 pri valovima iz SE sektora

6.4 Modelske i rezultatne datoteke (model SWAN)

Uspostavljeni modeli SWAN za 18 usvojenih scenarija dani su u vidu sljedećih datoteka:

Modeli male, srednje i velike vjerojatnosti:

1. SE_PP25.swn (vjetar iz sektora SE, povratni period 25 godina);
2. SE_PP100.swn (vjetar iz sektora SE, povratni period 100 godina);
3. SE_PP1000.swn (vjetar iz sektora SE, povratni period 1000 godina);
4. SW_PP25.swn (vjetar iz sektora SW, povratni period 25 godina);
5. SW_PP100.swn (vjetar iz sektora SW, povratni period 100 godina);
6. SW_PP1000.swn (vjetar iz sektora SW, povratni period 1000 godina);

Modeli po mjesecima za 5 godišnje razdoblje:

7. SE_sj.swn (vjetar iz sektora SE, za sječanj);
8. SE_ve.swn (vjetar iz sektora SE, za veljaču);
9. SE_oz.swn (vjetar iz sektora SE, za ožujak);
10. SE_tr.swn (vjetar iz sektora SE, za travanj);
11. SE_sv.swn (vjetar iz sektora SE, za svibanj);
12. SE_li.swn (vjetar iz sektora SE, za lipanj);
13. SE_sr.swn (vjetar iz sektora SE, za srpanj);
14. SE_ko.swn (vjetar iz sektora SE, za kolovoz);
15. SE_ru.swn (vjetar iz sektora SE, za rujan);
16. SE_lis.swn (vjetar iz sektora SE, za listopad);
17. SE_st.swn (vjetar iz sektora SE, za studeni);
18. SE_pr.swn (vjetar iz sektora SE, za prosinac);
19. SW_sj.swn (vjetar iz sektora SW, za sječanj);
20. SW_ve.swn (vjetar iz sektora SW, za veljaču);
21. SW_oz.swn (vjetar iz sektora SW, za ožujak);
22. SW_tr.swn (vjetar iz sektora SW, za travanj);
23. SW_sv.swn (vjetar iz sektora SW, za svibanj);
24. SW_li.swn (vjetar iz sektora SW, za lipanj);
25. SW_sr.swn (vjetar iz sektora SW, za srpanj);
26. SW_ko.swn (vjetar iz sektora SW, za kolovoz);
27. SW_ru.swn (vjetar iz sektora SW, za rujan);
28. SW_lis.swn (vjetar iz sektora SW, za listopad);
29. SW_st.swn (vjetar iz sektora SW, za studeni);
30. SW_pr.swn (vjetar iz sektora SW, za prosinac);

Rezultati numeričkih simulacija sa modelom SWAN (polja značajnih valnih visina H_s , vršnih spektralnih perioda T_p i incidentnog smjera valovanja) dani su u vidu rasterskih slojeva rezolucije 200m x 200m, sa sljedećim imenima datoteka:

Modeli male, srednje i velike vjerojatnosti:

31. Hs_SE_PP25.tif (vjetar iz sektora SE, povratni period 25 godina);
32. Hs_SE_PP100.tif (vjetar iz sektora SE, povratni period 100 godina);
33. Hs_SE_PP1000.tif (vjetar iz sektora SE, povratni period 1000 godina);
34. Hs_SW_PP25.tif (vjetar iz sektora SW, povratni period 25 godina);
35. Hs_SW_PP100.tif (vjetar iz sektora SW, povratni period 100 godina);
36. Hs_SW_PP1000.tif (vjetar iz sektora SW, povratni period 1000 godina);

Modeli po mjesecima za 5 godišnje razdoblje:

37. Hs_SE_sijecanj.tif (vjetar iz sektora SE, za sječanj);
38. Hs_SE_veljaca.tif (vjetar iz sektora SE, za veljaču);
39. Hs_SE_ozujak.tif (vjetar iz sektora SE, za ožujak);
40. Hs_SE_travanj.tif (vjetar iz sektora SE, za travanj);
41. Hs_SE_svibanj.tif (vjetar iz sektora SE, za svibanj);
42. Hs_SE_lipanj.tif (vjetar iz sektora SE, za lipanj);
43. Hs_SE_srpanj.tif (vjetar iz sektora SE, za srpanj);
44. Hs_SE_kolovoz.tif (vjetar iz sektora SE, za kolovoz);
45. Hs_SE_rujan.tif (vjetar iz sektora SE, za rujan);
46. Hs_SE_listopad.tif (vjetar iz sektora SE, za listopad);
47. Hs_SE_studeni.tif (vjetar iz sektora SE, za studeni);
48. Hs_SE_prosinac.tif (vjetar iz sektora SE, za prosinac);
49. Hs_SW_sijecanj.tif (vjetar iz sektora SW, za sječanj);
50. Hs_SW_veljaca.tif (vjetar iz sektora SW, za veljaču);
51. Hs_SW_ozujak.tif (vjetar iz sektora SW, za ožujak);
52. Hs_SW_travanj.tif (vjetar iz sektora SW, za travanj);
53. Hs_SW_svibanj.tif (vjetar iz sektora SW, za svibanj);
54. Hs_SW_lipanj.tif (vjetar iz sektora SW, za lipanj);
55. Hs_SW_srpanj.tif (vjetar iz sektora SW, za srpanj);
56. Hs_SW_kolovoz.tif (vjetar iz sektora SW, za kolovoz);
57. Hs_SW_rujan.tif (vjetar iz sektora SW, za rujan);
58. Hs_SW_listopad.tif (vjetar iz sektora SW, za listopad);
59. Hs_SW_studeni.tif (vjetar iz sektora SW, za studeni);
60. Hs_SW_prosinac.tif (vjetar iz sektora SW, za prosinac);

Napomena: Datoteke koje se odnose na rezultate vršnih spektralnih perioda T_p umjesto oznake „Hs“ na početku imena datoteke imaju oznaku „Tp“, a datoteke koje se odnose na rezultate smjera valovanja umjesto oznake „Hs“ imaju oznaku „smjer“.

Rezultati područja plavljenja za 18 usvojenih scenarija sa utjecajem valova prikazani su u sljedećim rasterskim slojevima rezolucije **5m x 5m** - datotekama (model SCHISM + model SWAN):

61. PLAV_SA_VAL_PP25.tif (Scenario 1 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
62. PLAV_SA_VAL_PP100.tif (Scenario 2 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
63. PLAV_SA_VAL_PP1000.tif (Scenario 3 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena);
64. PLAV_SA_VAL_PP25_KP.tif (Scenario 4 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, sa utjecajem KP);
65. PLAV_SA_VAL_PP100_KP.tif (Scenario 5 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, sa utjecajem KP);
66. PLAV_SA_VAL_PP1000_KP.tif (Scenario 6 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, sa utjecajem KP);
67. PLAV_SA_VAL_sij.tif (Scenario 7 – ekstremne razine mora za siječanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja);
68. PLAV_SA_VAL_velj.tif (Scenario 8 – ekstremne razine mora za veljaču tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
69. PLAV_SA_VAL_ozu.tif (Scenario 9 – ekstremne razine mora za ožujak tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
70. PLAV_SA_VAL_tra.tif (Scenario 10 – ekstremne razine mora za travanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
71. PLAV_SA_VAL_svi.tif (Scenario 11 – ekstremne razine mora za svibanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
72. PLAV_SA_VAL_lip.tif (Scenario 12 – ekstremne razine mora za lipanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
73. PLAV_SA_VAL_srp.tif (Scenario 13 – ekstremne razine mora za srpanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
74. PLAV_SA_VAL_kol.tif (Scenario 14 – ekstremne razine mora za kolovoz tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
75. PLAV_SA_VAL_ruj.tif (Scenario 15 – ekstremne razine mora za rujanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
76. PLAV_SA_VAL_lis.tif (Scenario 16 – ekstremne razine mora za listopad tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
77. PLAV_SA_VAL_stu.tif (Scenario 17 – ekstremne razine mora za studeni tijekom 5 godišnjeg razdoblja)
78. PLAV_SA_VAL_pro.tif (Scenario 18 – ekstremne razine mora za prosinac tijekom 5 godišnjeg razdoblja)

6.5 Rezultati modelskih simulacija (model STREAM-1D)

Modelske simulacije pomoću STREAM 1D modela provedene su za svih deset područja prijelaznih voda te 18 scenarija, s ciljem proračuna maksimalnog prodora slane morske vode. Pritom, razine mora preuzete su iz rezultata modela za procjenu ekstremno visokih razina mora (model SCHISM), a prikazani su u tablici 6.1.

Tablica 6.1 Ekstremne razine mora (u [m n.m.]) na ušćima prijelaznih voda za 18 scenarija

Scenarij	Dragonja	Mirna	Rasa	Rjecina	Zrmanja	Krka	Jadro	Cetina	Neretva	Ombla
maxelev_25	1.55	1.36	1.13	1.15	0.92	0.96	0.98	0.95	0.85	0.64
maxelev_100	1.68	1.48	1.24	1.26	1.01	1.06	1.08	1.04	0.93	0.7
maxelev_1000	1.88	1.66	1.4	1.43	1.14	1.2	1.22	1.17	1.04	0.78
maxelev_cc_25	2.15	1.96	1.73	1.75	1.52	1.56	1.58	1.55	1.45	1.24
maxelev_cc_100	2.28	2.08	1.84	1.86	1.61	1.66	1.68	1.64	1.53	1.3
maxelev_cc_1000	2.48	2.26	2	2.03	1.74	1.8	1.82	1.77	1.64	1.38
maxelev_jan	1.1	0.97	0.78	0.79	0.65	0.66	0.68	0.66	0.6	0.45
maxelev_feb	1.13	0.99	0.81	0.82	0.67	0.68	0.7	0.68	0.61	0.47
maxelev_mar	1.05	0.92	0.74	0.75	0.62	0.63	0.64	0.62	0.57	0.43
maxelev_apr	0.89	0.78	0.61	0.62	0.51	0.51	0.53	0.52	0.48	0.36
maxelev_may	0.87	0.76	0.6	0.61	0.5	0.5	0.52	0.51	0.47	0.36
maxelev_jun	0.8	0.7	0.54	0.55	0.46	0.45	0.47	0.46	0.43	0.33
maxelev_jul	0.74	0.64	0.49	0.49	0.42	0.41	0.42	0.41	0.39	0.3
maxelev_aug	0.77	0.67	0.52	0.52	0.44	0.43	0.45	0.44	0.41	0.31
maxelev_sep	0.83	0.72	0.56	0.57	0.48	0.47	0.49	0.48	0.44	0.34
maxelev_oct	0.95	0.83	0.66	0.67	0.55	0.56	0.58	0.56	0.51	0.39
maxelev_nov	1.08	0.95	0.76	0.77	0.63	0.64	0.66	0.64	0.58	0.44
maxelev_dec	1.18	1.04	0.85	0.86	0.7	0.72	0.73	0.71	0.64	0.49

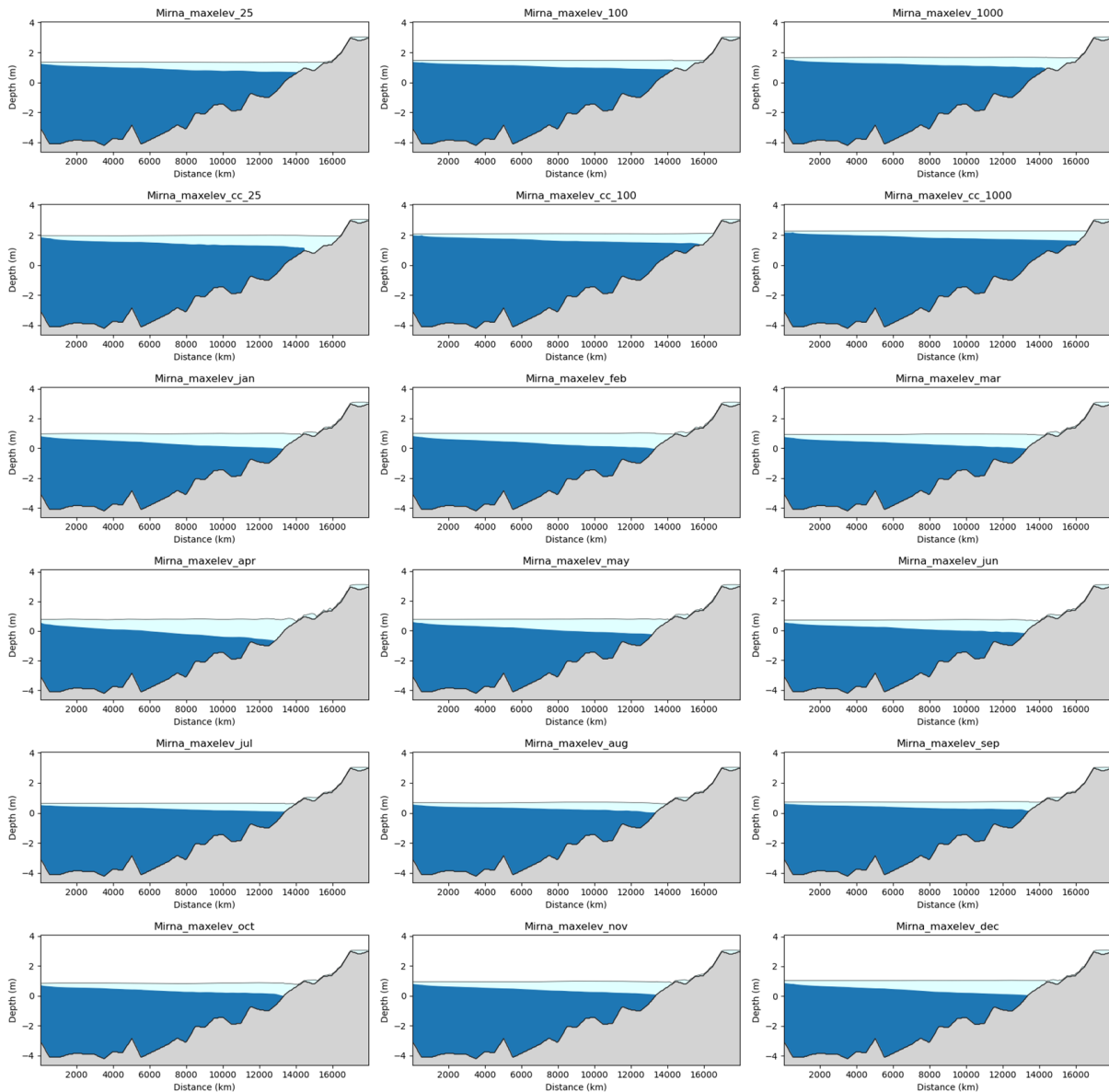
Naziv svakog scenarija ima sljedeće značenje:

<i>maxelev_25</i>	Scenario 1 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena
<i>maxelev_100</i>	Scenario 2 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena
<i>maxelev_1000</i>	Scenario 3 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena
<i>maxelev_cc_25</i>	Scenario 4 – ekstremne razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena
<i>maxelev_cc_100</i>	Scenario 5 – ekstremne razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena
<i>maxelev_cc_1000</i>	Scenario 6 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa

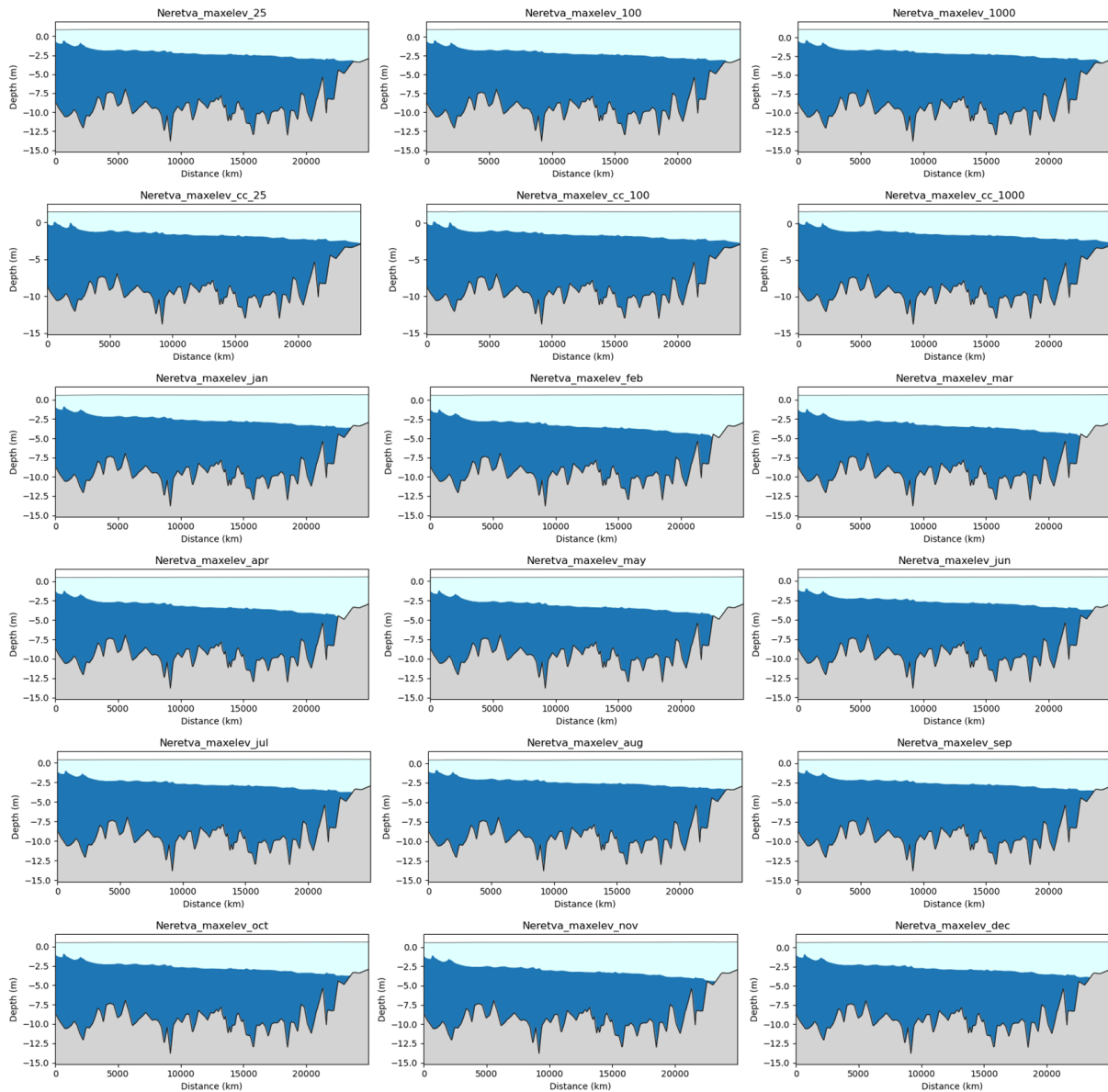
<i>maxelev_jan</i>	Scenarij 7 – ekstremne razine mora za siječanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_feb</i>	Scenarij 8 – ekstremne razine mora za veljaču tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_mar</i>	Scenarij 9 – ekstremne razine mora za ožujak tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_apr</i>	Scenarij 10 – ekstremne razine mora za travanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_may</i>	Scenarij 11 – ekstremne razine mora za svibanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_jun</i>	Scenarij 12 – ekstremne razine mora za lipanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_jul</i>	Scenarij 13 – ekstremne razine mora za srpanj tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_aug</i>	Scenarij 14 – ekstremne razine mora za kolovoz tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_sep</i>	Scenarij 15 – ekstremne razine mora za rujan tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_oct</i>	Scenarij 16 – ekstremne razine mora za listopad tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_nov</i>	Scenarij 17 – ekstremne razine mora za studeni tijekom 5 godišnjeg razdoblja
<i>maxelev_dec</i>	Scenarij 18 – ekstremne razine mora za prosinac tijekom 5 godišnjeg razdoblja

Na slikama 6.12 i 6.13 prikazan je dio rezultata simulacijskih proračuna utjecaja ekstremnih razina mora na prijelazne vode u obliku uzdužnih profila pridnenog sloja slane morske vode i površinskog sloja slatke vode na rijeci Mirni i Neretvi. Nazivi iznad slika označavaju rijeku i skraćeni naziv scenarija koji je prethodno detaljnije opisan.

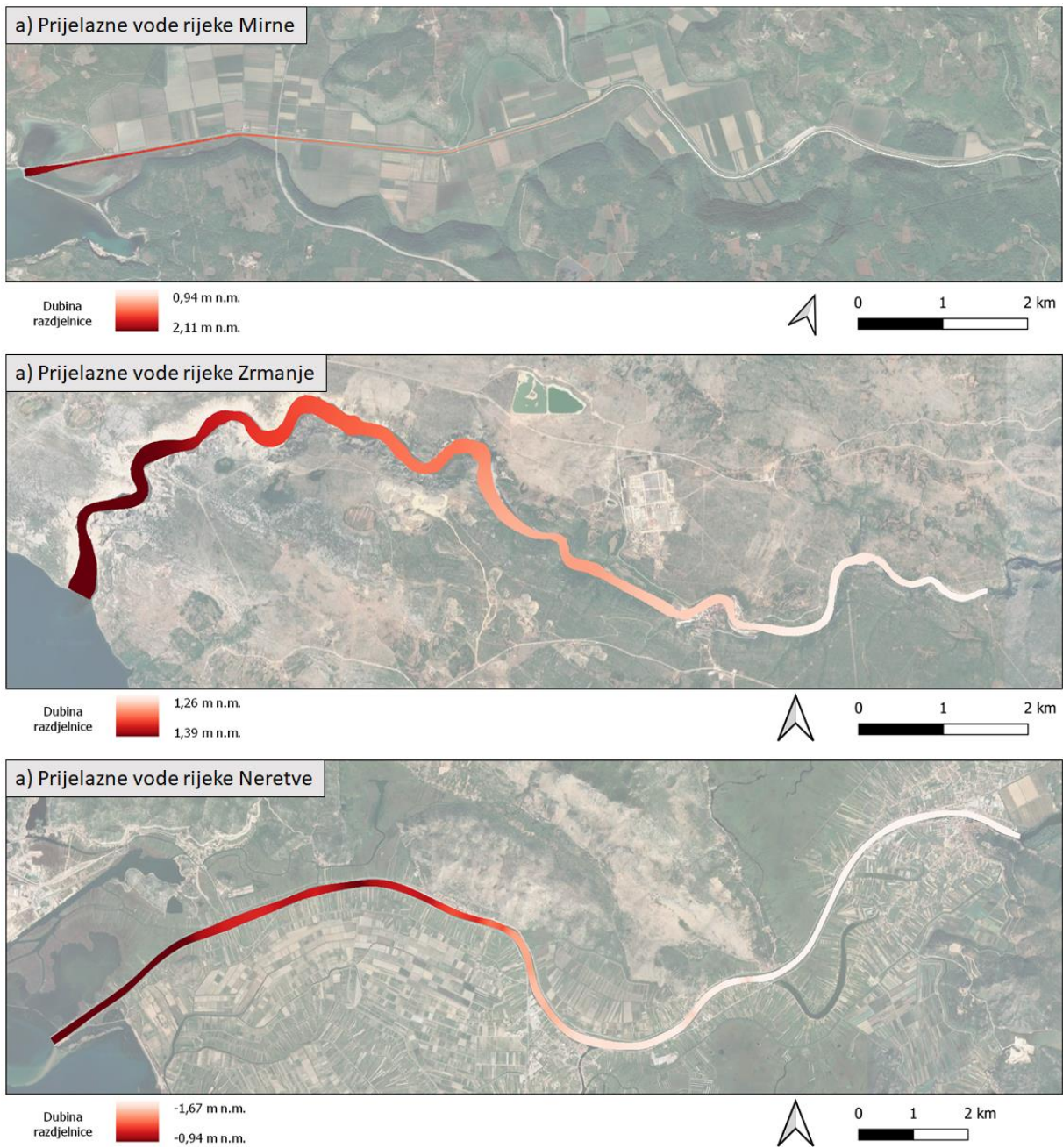
Prikazani rezultati – jednodimenzijski profili (slike 6.12 i 6.13) - su potom transformirani iz krivolinijskih koordinata (uzduž centralne linije vodotoka) u Kartezijev koordinatni sustav (HTRS96) te interpolirani po tlocrtnoj površini prijelaznih voda kako bi se generirao raster rezolucije 5 m koji opisuje dubinu razdjelnice između slojeva slane i slatke vode. Primjer generiranih prostornih rezultata prikazan je na slici 6.14 za rijeke Mirnu, Zrmanju i Neretvu te za povratni period 1000 godina uz utjecaj klimatskih promjena.



Slika 6.12. Rezultati proračuna za područje prijelaznih voda rijeke Mirne prema 18 scenarija, uzdužni profili (tamno plava boja – sloj slane morske vode, svjetlo plava boja – sloj slatke vode).



Slika 6.13. Rezultati proračuna za područje prijelaznih voda rijeke Neretve prema 18 scenarija, uzdužni profili (tamno plava boja – sloj slane morske vode, svjetlo plava boja – sloj slatke vode).



Slika 6.14. Rezultati procjene utjecaja ekstremnih razina mora na prijelazne vode za povratni period 1000 godina uz utjecaj klimatskih promjena ($max_elev_cc_1000$) – prostorna raspodjela dubine razdjelnice između slojeva slane i slatke vode na rijekama: a) Mirni, b) Zrmanji i c) Neretvi.

6.6 Modelske i rezultatne datoteke (model STREAM 1-D)

Uspostavljeni modeli i rezultati simulacijskih proračuna priloženi su u 180 mapa koje imaju naziv u obliku *RIJEKA_SCENARIJ*, gdje *RIJEKA* označava naziv deset prijelaznih voda, a *SCENARIJ* skraćeni naziv 18 prethodno opisanih proračunskih scenarija. Unutar svake od ovih mapa nalaze se datoteke potrebne za pokretanje proračuna u STREAM 1D modelu te podmapa *RESULTS*. U podmapi *RESULTS* nalaze se datoteke s rezultatima proračuna opisanog u prethodnom poglavlju te datoteke koje su rezultat transformacije jednodimenzijskih profila iz krivolinijskog u Kartezijev koordinatni sustav. Transformirane datoteke su dane u tekstualnom obliku naziva:

- *RIJEKA_SCENARIJ_surface_points.csv* – tablica s X, Y i Z koordinatama interpoliranih točaka slobodne površine na području prijelaznih voda,
- *RIJEKA_SCENARIJ_interface_points.csv* – tablica s X, Y i Z koordinatama interpoliranih točaka razdjelnice između površinskog sloja slatke vode i pridnenog sloja slane vode,

vektorskom obliku naziva:

- *RIJEKA_SCENARIJ_surface_poly.shp* – poligon slobodne površine prijelaznih voda,
- *RIJEKA_SCENARIJ_interface_poly.shp* – poligon razdjelnice između površinskog sloja slatke vode i pridnenog sloja slane vode

te u rasterskom obliku naziva:

- *RIJEKA_SCENARIJ_interface_5m.tif* – raster rezolucije 5m u kojem su dane dubine razdjelnice između površinskog sloja slatke vode i pridnenog sloja slane vode

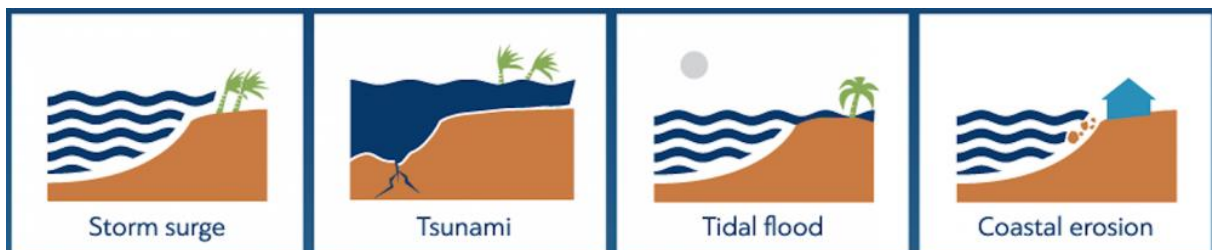
S obzirom da je u okviru ovog projekta generirano 5 datoteka za svako područje prijelaznih voda (10 rijeka) i za svaki od 18 scenarija, što čini ukupno 900 datoteka, umjesto popisa svih pojedinačnih datoteka, prethodno je dan samo opis datoteka s različitim tipom i oblikom rezultata.

(prazna stranica)

7 Katalog mjera za smanjenje rizika od poplava uzrokovanih morem

7.1 Uvod

Rizik od poplava na obalnom području je raznolik, a definiranje odgovarajućih mjera za ublažavanje posljedica mora razmotriti sve opasnosti i njihove potencijalne štetne posljedice. Na poplavne rizike na obalnom području dominantno utječu olujni uspori i prateći vjetrovni valovi. Ekstremna stanja atmosfere i jake kiše formiraju bujične i blatne tokove na obali a koji se često dešavaju istovremeno s jakim južnim vjetrovima i valovima. Superponiranje ovih dviju pojava na kontaktu obale i mora uzrokuje sve češće poplave obalnog područja. Obalnim područjima također prijete opasnost i od riječnih poplava (u prijelaznim područjima) te od pluvijalnih poplava, ali opasnost od poplava uzrokovanih morem načelno ima ekonomski najveće potencijalne štete. Podizanje razine mora multiplicira poplavne rizike na obali. Rekordne razine mora posljednjih godina pokazatelj su promjena koje se odvijaju i koje će se nastaviti u budućem razdoblju, pa se u narednim desetljećima očekuje povećanje učestalosti, trajanja i intenziteta poplavlivanja obalnih područja.



Slika 7.1. Primjeri nekih vrsta poplava i opasnosti na obalnom području

Poplave mora imaju štetne posljedice na zdravlje ljudi, okoliš, kulturno nasljeđe i ekonomsku aktivnost. U analizi potencijalnih posljedica poplava mora sagledana je ugroženost stanovništva i gospodarskih djelatnosti (luke, lučka infrastruktura, veći industrijski kompleksi, marikultura), zatim negativni utjecaji zasljanjivanja uslijed visoke razine mora te potencijalni transport zagađenja i naplavina na obalnim područjima. Katalog mjera za smanjenje rizika od poplava mora određen je nakon analize opasnosti i potencijalnih štetnih posljedica poplava na obalnom području uz uključivanje domaćih i međunarodnih iskustava primjene različitih mjera zaštite od poplava od mora.

7.2 Analiza potencijalnih štetnih posljedica

7.2.1 Analiza posljedica uslijed poplava mora

Poplave na obalnim područjima imaju utjecaj na sigurnost i zdravlje ljudi, a posebice u slučaju velikih brzina vode u gusto naseljenim područjima. Poplave mora mogu biti štetne i opasne za gospodarske objekte i industrijska postrojenja na obali, za plovidbu i lučke operacije, a potencijalno mogu oštetiti obalne građevine (obalne prometnice, pristaništa, rive, šetališta). Oluje i valovi uz porast razine mora mogu prouzročiti štete na izgrađenoj i na neizgrađenoj obalnoj liniji. Uz plavljenje morem dešava se erozija i gubitak pojedinih dijelova obale, posebice kod onih dijelova obale koji su otvoreni djelovanju valova i koji nisu na kamenoj podlozi (pješčane obale, sprudovi, nasute obale) što može rezultirati dugoročno nepovoljnim morfološkim promjenama obale.



Slika 7.2. Primjer nekih štetnih posljedica uslijed poplava mora

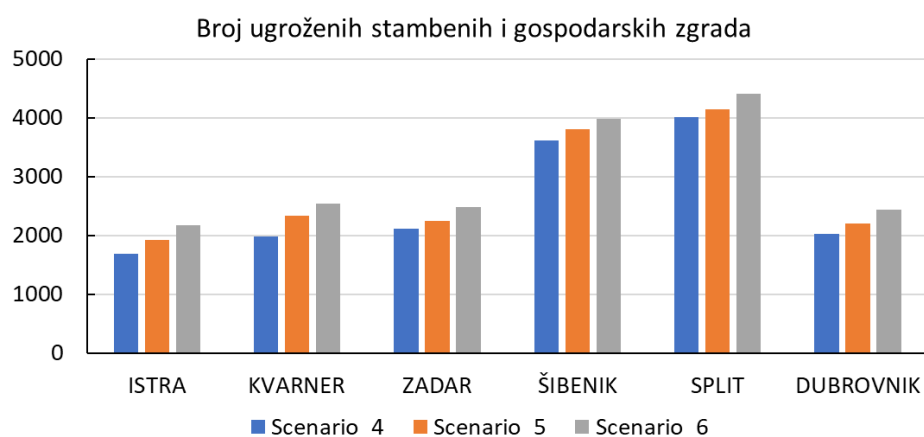
Meteorološki poremećaji zajedno s utjecajima ekstremnih plima i oseka uključeni su u modeliranje 18 osnovnih scenarija, a čiji su modelski rezultati na hrvatskom obalnom području prikazani u izvještaju „Definiranje planskih parametara za upravljanje rizicima od poplava mora“. U analizi su korišteni rezultati dosega poplava za scenarije velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klimatskih promjena (Scenario 4, 5 i 6).

Analiziran je broj ugroženih stambenih i gospodarskih zgrada za tri scenarija (Scenario 4, 5 i 6) po županijama (Tablica 7.1). Pokazuje se da je na obali ukupno ugrožene brojne stambene i gospodarske zgrade, odnosno 15.436, 16.671 i 18.015 zgrada za modelske scenarije 4, 5 i 6. Najviše ugroženih zgrada je u splitsko-dalmatinskoj i šibensko-kninskoj županiji s rasponom između 3611 i 4413 zgrada, dok je najmanje ugroženih zgrada u istarskoj županiji. Rezultati pokazuju da nema značajnih razlika ni u broju ugroženih zgrada (Tablica 7.1) niti u poplavnim površinama (Tablica 7.2) između tri analizirana scenarija, a što potvrđuje relativno uzak inundacijski pojas karakterističan za istočnojadransku obalu.

Doseg poplave ograničen je strmim nagibom terena duž cijele obale, a najveći dosezi pokazuju se u području prijelaznih voda, obalnih močvara i plaža. Relativno velike poplavne

površine nalaze se u dolinama Mirne i Raše, a kao najveće poplavno područje izdvaja se dolina Neretve sa značajnim dosegom poplave u zaobalje već pri velikoj vjerojatnosti pojave (Slika 7.3). Veći dosezi poplava pokazuju se na nižim dijelovima obala i plaža (uvala Klimno na Krku, uvala Lopar i Supetarska draga na Rabu, Blato kod Gajca te Malo i Veliko Blato kod Povljana na Pagu, Zablacé kod Šibenika, Blata kod Trogira). Prema veličini poplavnog područja izdvaja se nekoliko urbanih područja (Umag, Vodice, Murter, Pirovac, Stobreč, Omiš) i nekoliko gospodarskih zona (uvala Bregdetti u Zadru, marina Sukošan, ušće Jadrá u Splitu).

Tablica 7.1. Ugrožene stambene i gospodarske zgrade za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klimatskih promjera (Scenario 4, 5 i 6) po županijama



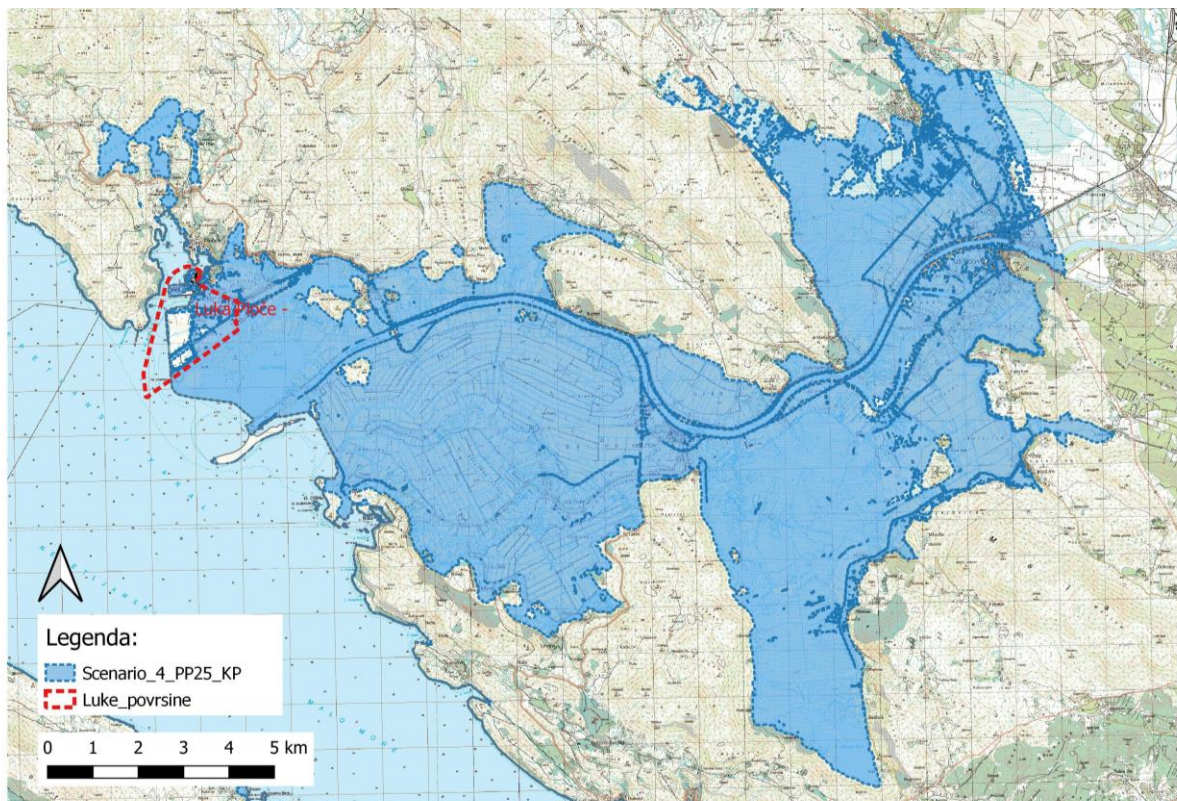
Modelirani scenario	Istarska županija	Primorsko-goranska županija	Zadarska županija	Šibensko-kninska županija	Splitsko-dalmatinska županija	Dubrovačko - neretvanska županija
Scenario_4 PP25_KP	1693	1978	2121	3611	4003	2030
Scenario_5 PP100_KP	1929	2334	2250	3811	4142	2205
Scenario_6 PP1000_KP	2167	2535	2481	3982	4413	2437

Vizualni pregled dosega poplave pokazuje da nema značajnih razlika u njihovim površinama u lučkim područjima između tri analizirana scenarija. Ipak, broj ugroženih lučkih, industrijskih i seveso objekata se povećava sa smanjenjem vjerojatnosti pojave (Tablica 7.2). Broj ugroženih lučkih i infrastrukturnih objekata u lukama (između 72 i 121 objekata) potvrđuje relativno veliku izgrađenost na obalom području. Najveći broj potencijalno ugroženih lučkih, industrijskih i seveso objekata nalazi se u luci Ploče (ugroženi su terminali za rasuti, generalni i tekući teret, postrojenje za prikupljanje krutoga i tekućega brodskog otpada) te luka Rijeka (ugroženi su terminali za generalni teret i žitarice na zapadnom dijelu luke te kontejnerski

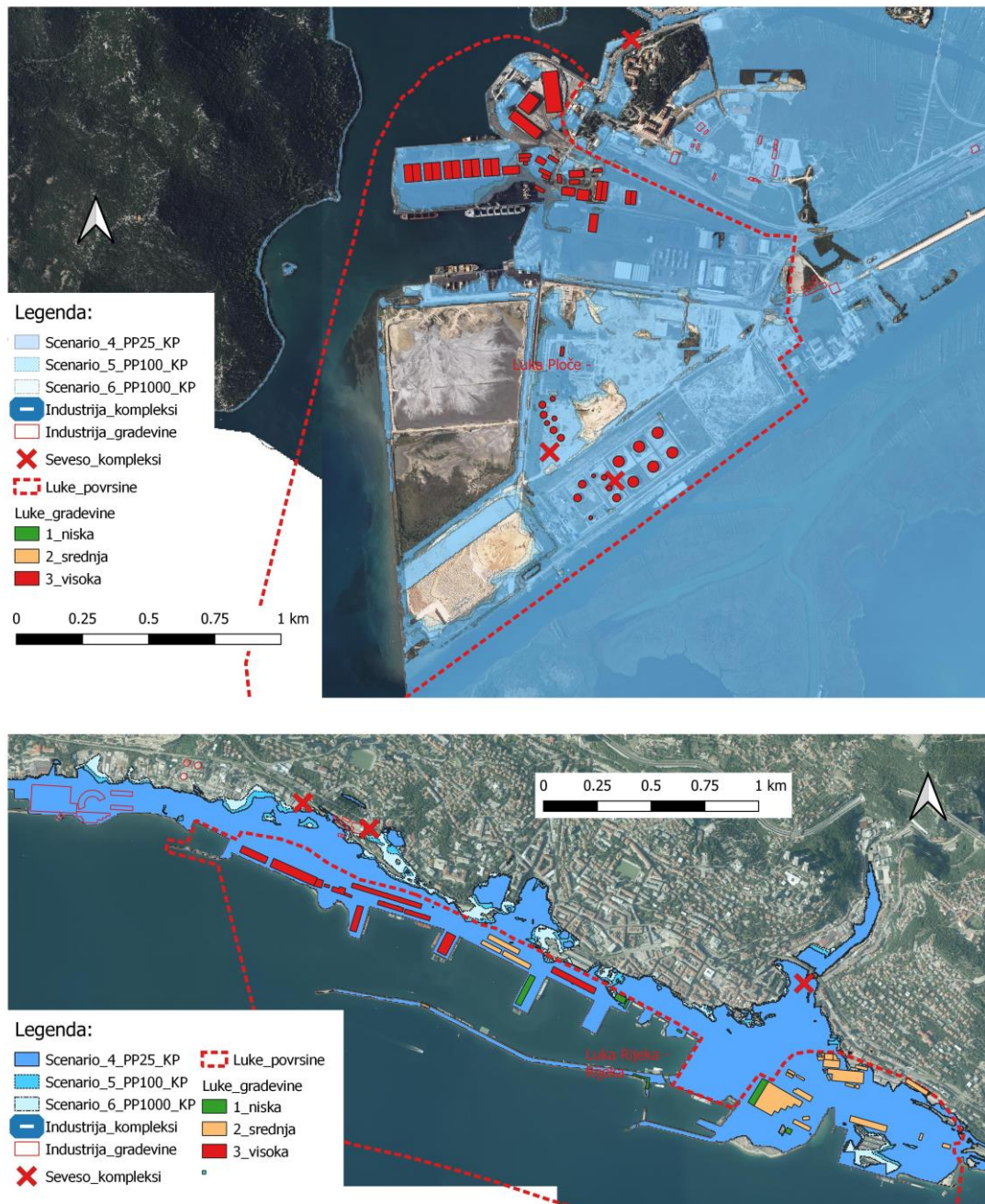
terminal na istočnom dijelu) (Slika 7.4). Rezultati sugeriraju da je područje TE Plomin ugroženo, ali rezultate na tom području treba uzeti s rezervom zbog općenito relativno nepouzdanih geodetskih podloga. Manji broj ugroženih objekata pokazuje se u lukama Zadar i Pula (Slika 7.5). U ostalim dijelovima luke Rijeka (Raša, Bakar, Omišalj) i u luci Šibenik nema ugroženih objekata, dok su u luci Split i Dubrovnik ugroženi tek putnički terminali.

Tablica 7.2. Ugrožene površine i objekti za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klimatskih promjera (Scenario 4, 5 i 6)

Modelirani scenario	Poplavna površina [km ²]	Lučki i infrastrukturni objekti u lukama	Infrastrukturni objekti izvan luka	Seveso objekti
Scenario_4 PP25_KP	252,3	72	96	14
Scenario_5 PP100_KP	260,1	109	104	18
Scenario_6 PP1000_KP	270,9	121	141	23



Slika 7.3. Doseg poplave mora za veliku vjerojatnost pojave s utjecajem klim. promjera (Scenario 4) u dolini Neretve



Slika 7.4. Ugroženost lučkih, industrijskih i seveso objekata za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klim. promjera (Scenario 4, 5 i 6) - luke Ploče i Rijeka

Duž obalnog područja nalaze se različiti objekti u kojima se skladište potencijalno štetne i opasne tvari po okoliš i prirodu. Uslijed visokih razina mora može doći do prodora vode i transporta zagađenja u okoliš te ugroze stanovništva i ekoloških šteta. Analiza pokazuje je za 14 seveso objekata duž obale postoji velika vjerojatnost poplave (scenario 4), vidi Tablica 7.2. Nadalje, komunalna infrastruktura, posebice mješoviti kanalizacijski odvodni sustavi, u opasnosti su za vrijeme ekstremnih događaja a uslijed preopterećenosti sustava i nemogućnosti rada obalnih ispusta može doći do zagađenja obalnih područja sanitarnim

otpadnim vodama. Nerijetko se događa da uslijed poplava mora te pluvijalnih i riječnih poplava dolazi do nekontroliranog ispiranja i transporta zagađenja i naplavina u vodne resurse i obalno područje.

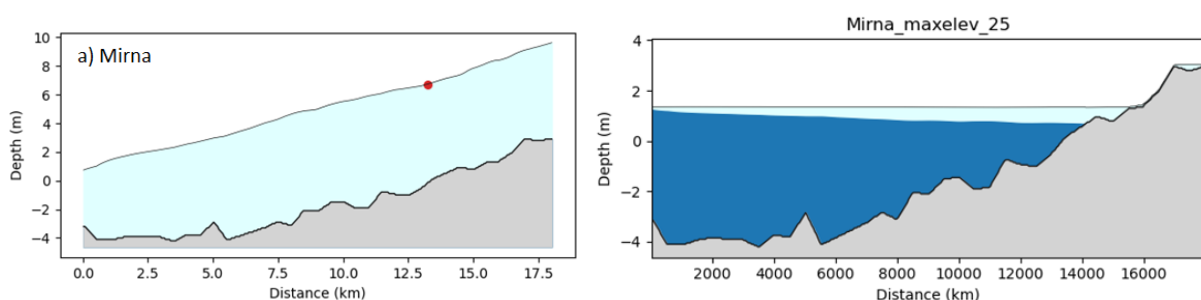


Slika 7.5. Ugroženost lučkih, industrijskih i seveso objekata za poplave mora velike, srednje i male vjerojatnosti pojave s utjecajem klim. promjera (Scenarij 4, 5 i 6) - luke Zadar i Pula

Potrebno je napomenuti da postoje lokacije na kojima se bilježe više razine mora od onih dobivenih ovdje opisanim analizama. Takve lokacije su dominantno karakterizirane određenim tipom batimetrije i obalne linije – prvenstveno se radi o izduženim relativno uskim zaljevima ljevkastog oblika, kao što su primjerice Malostonski zaljev, Velolučki zaljev na otoku Korčuli te Starigradski zaljev na otok Hvaru. U ovakvim se zaljevima najviše razine mora bilježe uslijed pojave izraženog zaljevskog seša, odnosno oscilacija razine mora na periodima duljine od nekoliko minuta do nekoliko desetaka minuta. Oscilacije razine mora na ovim periodima nije moguće analizirati korištenjem satnih nizova razine mora kakvi su nam bili dostupni te se predlaže takvu analizu izraditi u okviru narednih iteracija UPRIMO projekta.

7.2.2 Analiza utjecaja zaslanjenja uslijed visokih razina mora

Porast saliniteta u Jadranskom moru značajan je u posljednje vrijeme i smatra se dominantno posljedicom smanjenog riječnog dotoka i oborina te pojačanog isparavanja na površini mora. Jedan od važnijih posljedica je povećanje prodora morske vode u priobalne vodonosnike. Unutar projekta MoST ¹ razmatra se prodor morske vode u priobalne vodonosnike s ciljem boljeg razumijevanja fizičkih procesa koji upravljaju razmjenom kontinentalne i morske vode i radi definiranja prikladnih mjera prilagodbe. Visoke razine mora dovode do dodatnog prodora morske vode prema podzemnim vodama i zaslanjivanja tala, a što dugoročno negativno utječe na vodoopskrbu, poljoprivrednu proizvodnju i strukturu tala. Rezultati izrađenog modela za prijelazne vode (izvještaj 5, poglavlje 4) pokazuju da je dubina slanog klina na ušću relativno mala (manje od -0.5 m) za analizirane scenarije (18 scenarija). Male dubine vode slanog klina prisutne su kod svih prijelaznih voda s relativno malim dotokom $Q_{t95\%}$ iz zaobalja (slučaj Mirne, Raše, Rječine, Zrmanje). U takvim uvjetima (mala dubina slanog klina) prodor klina uzvodno za vrijeme visokih razina mora može se ublažiti jedino potpunim odvajanjem prijelaznih voda od mora.



Slika 7.6. Rezultati dubina vode za Mirnu za kalibraciju modela (lijevo) i za scenarijo 1 (tamno plava – slana morska voda, svjetlo plava – slatka voda).

¹ Interreg projekt MoST <https://www.italy-croatia.eu/web/most>

7.3 Katalog mjera za smanjenje rizika od poplava

Očekivane promjene i potencijalne štetne posljedice poplava na obalnom području mogu se ublažiti ovisno o prilagodljivosti obalne infrastrukture i sinergijskom učinku različitih mjera. Pri definiranju kataloga mjera razmotren je cjelokupni ciklus upravljanja rizicima od poplava. Mjere su grupirane u četiri (4) ključna tipa mjera prema smjernicama Europske komisije *User Guide to the Floods Directive Reporting Schemas v6.0* iz 2014. godine², kako slijedi:

- *M2x: Preventivne mjere* podrazumijevaju provođenje aktivnosti u cilju smanjenja ili sprječavanja ugroženosti receptora od štetnog djelovanja mora. Jedan od načina prevencije je sprečavanje novih gradnji u poplavnim područjima (obalni odmak) ili izmještanje postojećih građevina.
- *M3x: Mjere obrane od poplava* odnose se na otklanjanje djelovanja mora na području, a uglavnom sadrže kombinaciju različitih građevinskih (infrastrukturnih) i negrađevinskih mjera te mjera zelene infrastrukture. Pod utjecajem raznih promjena u čovjekovoj okolini, naglasak je na čim većoj primjeni mjera zelene infrastrukture, kao na primjer morske livade, zatravnjene plaže itd.
- *M4x: Mjere pripravnosti* odnose se na aktivnosti koje pripremaju stanovništvo na opasnost od poplava, kao na primjer povećanjem svijesti na opasnost od poplava ili slanjem ranog upozorenja na opasnost od poplava kako bi se mjere mogle pravovremeno i učinkovito poduzeti.
- *M5x: Mjere oporavka i revizije nakon poplavnog događaja* uključuju primjenu vlastitih i tuđih iskustava kojima će se područje brže i lakše oporaviti od šteta nakon poplavnog događaja, kao na primjer poboljšanjem dostupnosti usluga oporavka (privremeni smještaj, medicinska pomoć nakon poplavnog događaja).



Slika 7.7. Prikaz različitih skupina mjera zaštite od poplava mora

²

https://cdr.eionet.europa.eu/help/Floods/Floods_603_2016/resources/User%20Guide%20to%20the%20Floods%20schema%20v6.0.pdf

Pri definiranju mjera usuglašen je tip, vrsta i oznaka mjera s mjerama prikazanima u *Nacrtu Plana upravljanja vodnim područjima 2022.-2027.* iz siječnja 2022. godine (u daljnjem tekstu PUV-22)³. Vrste i oznake mjera iz PUV-22 prikazane su tablično (Tablica 7.3).

Tablica 7.3. Vrste mjera i njihove oznake

Oznaka	Vrsta mjere
A	Administrativne mjere provedbe - Izdavanje dozvola
E	Edukacija
ID	Informacijski sustavi i digitalizacija
IN	Inspekcija i nadzor
M	Monitorinzi - praćenje stanja
OP	Okoliš i priroda
PP	Programsko planska dokumentacija
RI	Razvojne investicijske mjere - Ulaganje u saniranje, rekonstrukciju, razvoj (kapitalna ulaganja)
SI	Studijske i istraživačke mjere
T	Tehnička dokumentacija
V	Vodiči, preporuke i smjernice
Z	Donošenje, izmjena i dopuna zakona i propisa

Pri sagledavanju mjera također su sagledane postojeće i nove mjere unutar dokumenta „Program mjera zaštite i upravljanje morskim okolišem i obalnim područjem Republike Hrvatske“ objavljenim od strane Ministarstva zaštite okoliša i energetike iz 2017. godine (u daljnjem tekstu ODMS-17). Predloženi skup mjera je u skladu s mjerama 3.9.5. i 3.9.6. iz ODMS-17, odnosno odgovara ključnom tipu mjera „KTM39 - Mjere prilagodbe klimatskim promjenama, zaštite od nadiranja mora, ranog uzbunjivanja i obavještanja“.

³ <https://www.voda.hr/hr/planska-razdoblja/plansko-razdoblje-2022-2027>

Tablica 7.4. Mjere za smanjenje rizika od poplava mora

Ključni tip mjera	Oznaka tipa	Skupina mjera	Opis	Vrsta mjere
Preventivne mjere	M21	Izbjegavanje	<ol style="list-style-type: none"> Uspješnije sankcioniranje nelegalnih gradnji u obalnom području. Formiranje obalnog odmaka pri izradi prostorno - planske dokumentacije kroz uvođenje posebne razine zaštite obalnog područja u kojem su neke ili sve vrste gradnji značajno ograničene. Otkup zemljišta na obalnom području za potrebe privremenog skladištenja vode i izgradnju budućih sustava obrane od poplava. Reguliranje obveze redovitog praćenja, analize i izvješćivanja stanja na zaštićenim obalnim područjima. 	A PP
	M22	Izmještanje	<ol style="list-style-type: none"> Izmještanje postojećih objekata iz poplavnog područja (obalni odmak) na područja smanjenog rizika od poplava. 	RI PP
	M23	Smanjenje	<ol style="list-style-type: none"> Povećati otpornosti postojećih i novih građevina na poplavu (korištenje vodootpornih materijala, oblaganje podova i zidova za lakše čišćenje nakon poplave, izmještanje elektro instalacija na dovolju visinu). 	SI T
	M24	Ostale preventivne mjere	<ol style="list-style-type: none"> Razviti mehanizme poticanja odabira tehničkih rješenja koja osiguravaju očuvanje, obnovu i proširenje područja koja imaju mogućnost zadržati poplavne vode poput prirodnih retencija i močvara (u skladu s PUVp-22). Razviti mehanizme poticanja odabira tehničkih rješenja koja uzimaju u obzir pozitivne efekte ograničenja korištenja zemljišta i odgovarajućih administrativnih mjera sprečavanja onečišćenja vode i tla opasnim tvarima pri nailasku poplavnih voda. 	A RI
Obrana od poplava	M31	Građevinske mjere	<ol style="list-style-type: none"> Izgradnja, rekonstrukcija i održavanje objekata obrane od poplava (obalni nasip, obali zid, proširenje i podizanje obale, višenamjenski nasip, ustave, mobilne barijere). Izgradnja, rekonstrukcija i održavanje prirodnih i zaštitnih objekata za ublažavanje hidrodinamičkog opterećenja (močvare, proširenje obale, umjetni grebeni, prostori za skladištenje vode) Izgradnja, rekonstrukcija i održavanje prirodnih i umjetnih objekata za smanjenje rizika od poplava i eroziju obale (valobran, lukobran, pera, dohranjivanje plaža). Integralni sustavi oborinske odvodnje u urbanim sredinama (razdjelni sustavi odvodnje, retencijska jezera/bazeni). Izdizanje/izmještanje prometne i kritične infrastrukture (kanali). Rekonstrukcija postojećih komunalnih sustava i građevina. 	SI T

Ključni tip mjera	Oznaka tipa	Skupina mjera	Opis	Vrsta mjere
	M32	Mjere zelene infrastrukture	<ul style="list-style-type: none"> 15. Obnova livada morske cvjetnice. 16. Izgradnja pješčanih dina uz sadnju i prekrivanje biljnim materijalom. 17. Pomorsko grmlje za zaštitu obala. 18. Izgradnja grebena kamenica. 19. Integralni sustavi oborinske odvodnje u urbanim sredinama (upojni bunari, propusne površine, infiltracijski rovovi, filter trake i jarci, kišni vrtovi) 	SI T
	M33	Sprečavanje prodora slane vode	<ul style="list-style-type: none"> 20. Ustave na kanalu/estuariju. 	SI T
	M34	Ostale mjere	<ul style="list-style-type: none"> 21. Definirati mjere obrane o poplava koje su u skladu s ostalim aktivnostima i prostornim planovima na obalnom području. 	SI T
Pripravnost	M41	Prognoziranje i upozorenje na poplave	<ul style="list-style-type: none"> 22. Povećanje broja mareografa na obali i na otvorenom moru s daljinskom dojavom podataka. 23. Opremanje postojećih mareografa s daljinskom dojavom podataka. 24. Smanjenje intervala mjerenja i dojave razina mora na mareografima (1, 5 ili 10 minuta). 25. Razvoj i implementacija sustava prognoziranja i ranog upozorenja na poplave mora. 26. Sustav upozoravanja i obavještanja uskladiti sa susjednim državama. 	ID M
	M42	Planiranje odziva na izvanredne događaje	<ul style="list-style-type: none"> 27. Novelirati planove upravljanja sustavima obrane od poplava i planove operativne obrane od poplava (u skladu s PUV-22). 28. Povećanje operativnih kapaciteta hitnih službi (Ijudstvo, zapovjedno osoblje, osposobljenost, materijalna sredstva, logistika) 29. Povećanje spremnosti i uvježbanosti odgovornih (čelnici tijela izvršne vlasti, jedinica lokalne samouprave, stožera civilne zaštite, koordinatora, vatrogasaca) 30. Uspostava sustava redovite edukacije javnosti o pitanjima upravljanja rizicima od poplava osobito na područjima pod rizikom od poplava mora (u skladu s PUV-22). 31. Redovite edukacije javnosti o aktivnostima tijekom poplavnog događaja (u skladu s PUV-22). 	E ID PP
	M43	Javna svijest i pripravnost	<ul style="list-style-type: none"> 32. Informiranje javnosti o stanju sustava obrane od poplava mora na području. 33. Uspostava sustava redovite edukacije javnosti o pitanjima uvođenja koncepta „život uz poplave“, uz obuku stanovništva za aktivno sudjelovanje tijekom operativne obrane od poplava mora (u skladu s PUV-22). 34. Uspostava sustava redovite edukacije javnosti o pitanjima razumijevanja potrebe ograničenja korištenja zemljišta i ostalih aktivnosti na površinama ugroženim poplavama. 	E ID V

Ključni tip mjera	Oznaka tipa	Skupina mjera	Opis	Vrsta mjere
	M44	Ostale mjere pripravnosti	35. Redovito praćenje, analize i izvješćivanja stanja građevina i sustava obrane od poplava mora. 36. Unapređivanje metodologije prikupljanja podataka o poplavnim štetama uključujući podatke o receptorima rizika od nadležnih institucija (u skladu s PUVp-22).	ID
Oporavak i revizija	M51	Individualni i društveni oporavak	37. Opremljenost službi dovoljnim brojem pumpi i cijevi. 38. Obnova sustava obrane od poplava. 39. Rekonstrukcija oštećene infrastrukture i njeno čišćenje. 40. Rekonstrukcija zgrada i objekata i njihovo čišćenje. 41. Kratkoročna i dugoročna psihološka pomoć unesrećenima. 42. Procjena šteta i unesrećenih i njihova evidencija. 43. Naknada šteta ugroženima nakon poplava. 44. Izrada programa povratka stanovništva.	OP V
	M52	Oporavak okoliša	45. Razviti sustav za praćenje onečišćenja okoliša. 46. Sanirati onečišćenja nastala za vrijeme događaja.	M OP
	M53	Ostalo	47. Regulirati obvezu redovitog praćenja, analize i izvješćivanja podataka o poplavnim događajima i učinkovitosti poduzetih mjera zaštite od poplava.	IN
Ostalo	M61	Upravljanje u kriznim situacijama	48. Razviti plan upravljanja u slučaju poplava mora u cilju zaštite ljudi i imovine tijekom događaja. 49. Osigurati materijale za hitnu sanaciju sustava obrane od poplava (folije, mobilne barijere). 50. Izraditi planove sigurnih evakuacijskih putova i prostora okupljanja. 51. Opremiti službe dovoljnim brojem opreme i tehnike za traženje i spašavanje preživjelih.	PP T

7.3.1 Primjeri rješenja pojedinih mjera

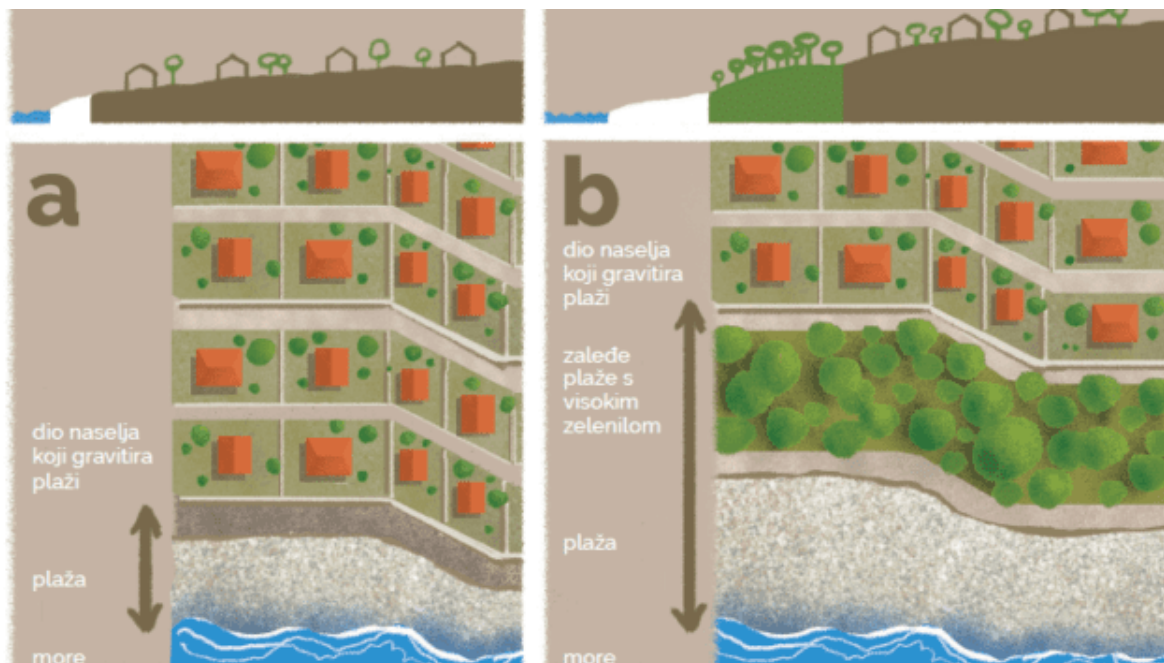
7.3.1.1 Obalni odmak

Obalni odmak zaštitno je područje u kojem su neke ili sve vrste gradnji zabranjene ili značajno ograničene. Osigurava se smanjenjem broja građevina (stambene zgrade, infrastruktura, poslovni prostori) na području ugroženom poplavama. Najčešće se definira određenom udaljenošću od obalne linije (najviša razina mora ili trajna linija vegetacije). Glavni učinci obalnog odmaka su zaštita stanovništva od poplava mora i obalne erozije, podrška obalnom gospodarstvu te očuvanje bioraznolikosti i održavanje prirodnih funkcija plaža. Nadalje, obalni odmak osigurava otvorene javne prostore i pristup obali, a čime se omogućava razvoj turizma, gospodarsko korištenje plaža i rekreativne aktivnosti.

Prethodna analiza mogućnosti primjene, troškova i koristi obalnog odmaka na hrvatskoj obali kao mjera prilagodbe otpornosti obalnih područja uslijed podizanja razine mora (Lincke et

al., 2020) ⁴ pokazala je potencijal značajnog smanjenja šteta ako bi se obalni odmak primijenio samo za buduće gradnje na obali ili ako bi se kombinirao s izmiještanjem postojećih građevina i/ili s dodatnom izgradnjom sustava obrane od poplava. Realizacija obalnog odmaka, posebno ako se provodi zajedno s rekonstrukcijom morskog dna i/ili rekonstrukcijom močvara, također stvara potencijal za nova staništa, močvare i drugu vegetaciju, a što može ublažiti djelovanje valova. Postoje i druge koristi od realizacije obalnog odmaka povezane s dodatnim uslugama ekosustava, poput održavanja kvalitete vode i omogućavanje prirodnih ciklusa erozije i akrecije, zadržavajući tako bilancu nanosa. Na kraju, obalni odmak može imati višenamjensku ulogu i biti dio politike EU-a u dijelu koji se odnosi na promicanje uporabe zelene infrastrukture temeljene na prirodi, poboljšanje okolišnih uvjeta i ublažavanje negativnih posljedica izgrađenog okoliša u gradovima.

Kako je obalno područje vrlo atraktivno za različite aktivnosti, praktična primjena ove mjere ima relativno dosta ograničenja i mora se usuglasiti s jedinicama lokalne samouprave na strateškoj razini kao dugogodišnja (trajna) mjera.



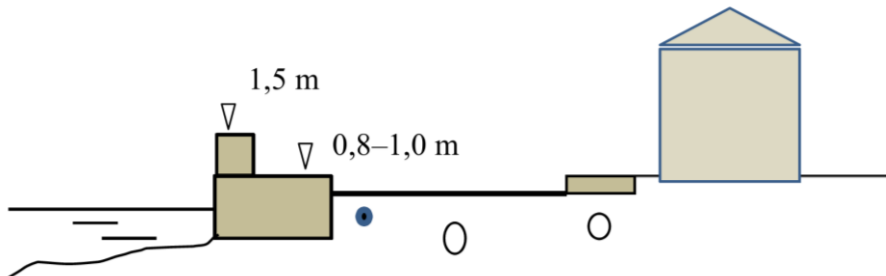
Slika 7.8. Shematski prikaz osiguranja obalnog odmaka (preuzeto sa <https://adriadapt.eu/hr/adaptation-options/obalni-odmak/>)

7.3.1.2 Izgradnja/rekonstrukcija obalnog nasipa/zida

Svrha obalnih nasipa i zidova je čvrsta i dugotrajna zaštita obala od poplava mora. Kod planiranja izgradnje (rekonstrukcije) obalnih zidova važno je uzeti u obzir oblikovanje,

⁴ Lincke, D., Wolff, C., Hinkel, J. et al. The effectiveness of setback zones for adapting to sea-level rise in Croatia. *Reg Environ Change* 20, 46 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01628-3>

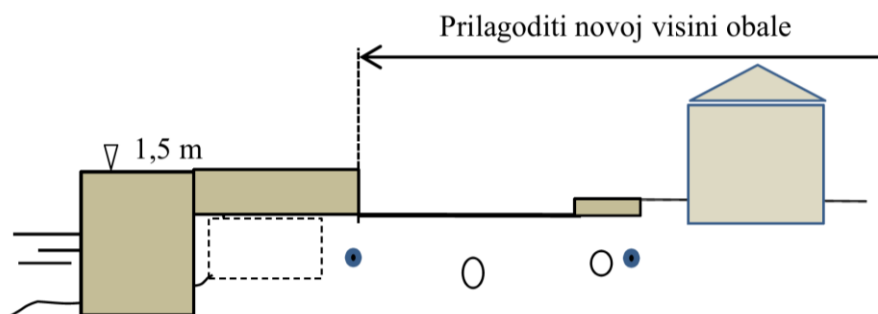
čvrstoću i trajnost konstrukcije koja mora dugoročno spriječiti zapljuskivanje priobalnog prostora, biti otporna na ekstremna djelovanja morskih struja i valova te osigurati sigurno korištenje prostora iza zida uz korištenje održivih materijala za minimiziranje troškova održavanja. Također treba paziti na mogućnost podlokavanja konstrukcije i povećanje erozije plaža te predvidjeti mjere ublažavanja negativnih učinaka.



Slika 7.9. Izgradnja obalnog zida (preuzeto iz Plana upravljanja obalnim područjem grada Kaštela)

7.3.1.3 Proširenje i podizanje obale

Stvaranjem novog prostora u smjeru mora smanjuju se rizici od morskih oluja na obali i u zaleđu. Proširenje obalnog područja učinkovito je na izgrađenim područjima gdje nedostaju javne površine u blizini rive, ali se ne preporuča na prirodnim obalama jer se tim i sličnim gradnjama pogoršavaju okolišne i krajobrazne karakteristike obala. Posebnu pažnju treba posvetiti utjecajima na obalne i morske ekosustave u fazi izvođenja. Proširenje obale može se kombinirati s nasipavanjem plaža.



Slika 7.10. Proširenje i podizanje obale (preuzeto iz Plana upravljanja obalnim područjem grada Kaštela)

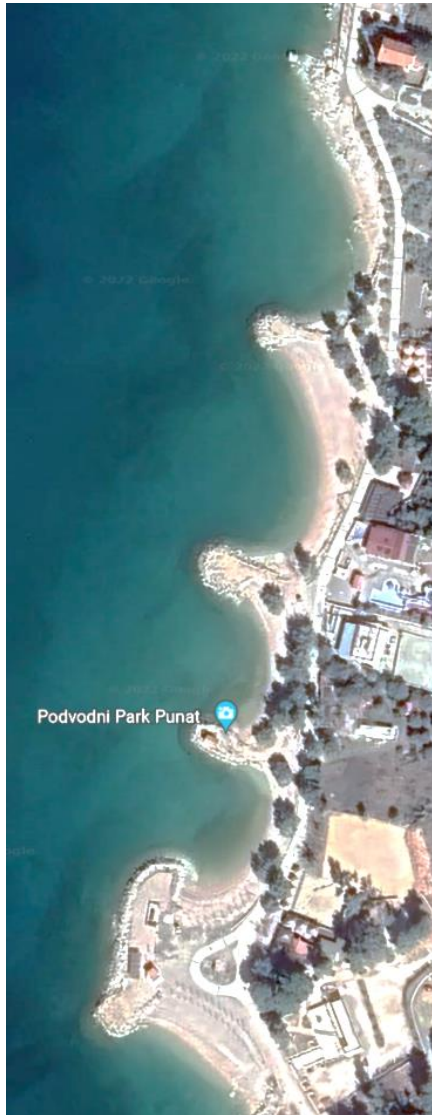


Slika 7.11. Primjer proširenja obale na Žnjanu u Splitu, gore 1968., dolje 2019. (izvor DGU)

7.3.1.4 Pera

Pera su obalne konstrukcije formirane nasipavanjem materijala na morsko dno obično okomito na obalnu liniju do određene dubine. Svrha pera je ublažavanje djelovanja valova i morskih struja na obalu i smanjenje horizontalnog transporta nanosa duž obale, a smanjenjem hidrodinamičkog djelovanja omogućava se formiranje plaža na branjem području. Učinak pera ovisi o duljini pera, sastavu i količini morskog sedimenta, smjeru i veličini djelovanja valova i morskih struja. Poželjno ih je kombinirati zajedno s nasipavanjem obale za povećanje učinka.

GoogleEarth



DGU - stanje 1968.



DGU - stanje 2020.



Slika 7.12. Primjer izgradnje pera te formiranje plaže i obalnog područja uz vidljivu urbanizaciju zaleđa na području Punta-Buka na otoku Krku (izvor DGU i GoogleEarth)

7.3.1.5 Valobran

Valobran je obično nasuta građevina na morskom dnu, često paralelna s obalnom linijom, koja služi da smanjenje energije valova i zaštitu obalnog područja. Mogu biti uronjeni ili izronjeni. Izronjene valobrane nalazimo duž zapadne (talijanske) obale Jadranskog mora, gdje su primjeri Porto Garibaldi s 74 valobrana unutar 9 km obale ili Pescara (Abruzzo) s 243 lukobrana koji štite 23 km obalnog područja. Na hrvatskoj strani primjer je valobran/lukobran Kaše u Dubrovniku (Slika 7.14).



Slika 7.13. Primjer valobrana ispred Porto Garibaldi na talijanskoj obali (izvor GoogleEarth)



Slika 7.14. Valobran/lukobran Kaše u Dubrovniku (izvor Bracodbk, Wikipedia)

7.3.1.6 Plimne ustave

U slučaju olujnih uspora, plimne ustave mehaničkim zatvaranjem zapornica izoliraju obalno područje od ostalog mora, a u ostalim uvjetima otvorenim zapornicama omogućavaju prirodnu dinamiku mora i pomorski promet. Postavljaju se na morsko dno i najčešće služe zaštiti urbanih područja i infrastrukture s potencijalno visokim štetama od poplava. Često se kombiniraju s drugim mjerama zaštite (nasipi, obalni zidovi). Plimne ustave podrazumijevaju značajne troškove izgradnje i održavanja pa su relativno rijetke. Najpoznatiji primjer na

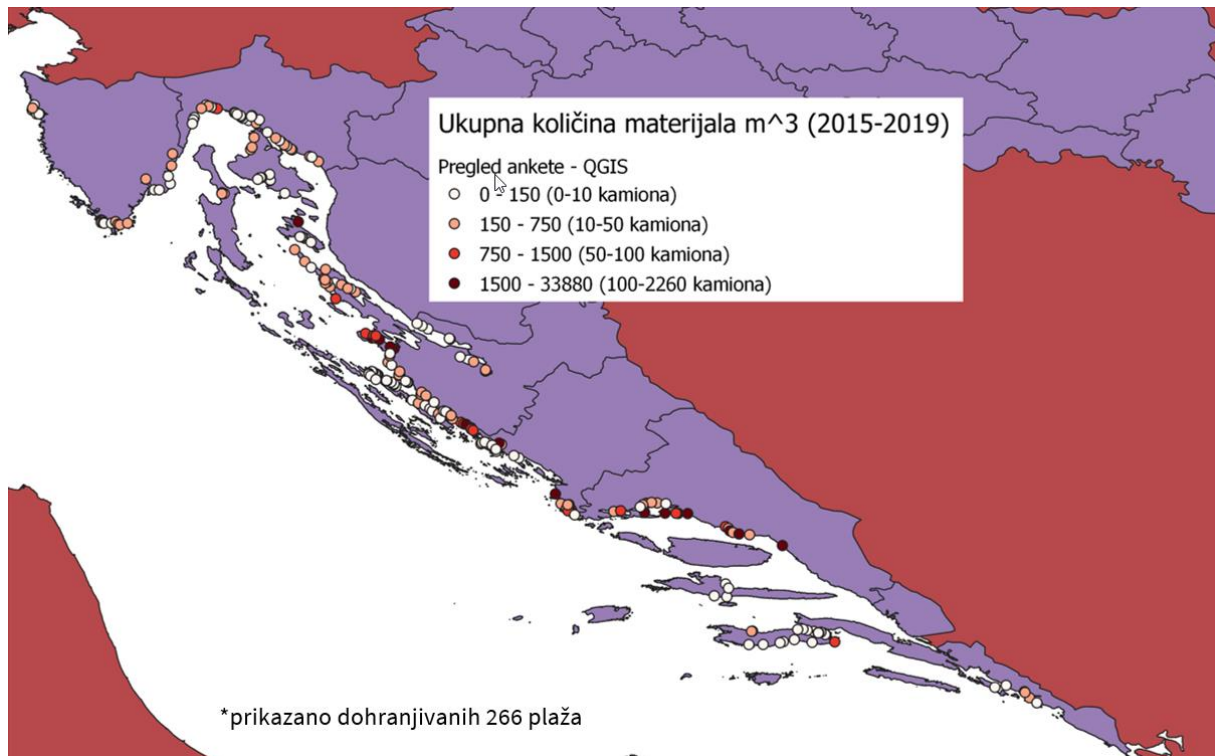
Jadranu su ustave ispred Venecije (sustav „Mose“) koje čine najveću konstrukciju ovog tipa. Na hrvatskoj obali plimne ustave ne postoje, uglavnom zbog relativno malih oscilacija plime, a eventualni potencijal za njihovu izgradnju bi bili gradovi u Sjevernom Jadranu.



Slika 7.15. Sustav ustava „Mose“ ispred Venecije (izvor www.mosevenezia.eu)

7.3.1.7 Dohranjivanje plaža

Dohranjivanje plaža je umjetno postavljanje pijeska/šljunka na erodiranu obalu kako bi se ublažile posljedice obalne erozije, a priobalno područje zaštitilo od olujnih udara. Osim zaštite protiv erozije i poplava, cilj dohranjivanja najčešće je održavanje plaža. Tehnike dohranjivanja obuhvaćaju: dohranjivanje plaže, dohranjivanje stražnjeg žala (dio plaže koji je pod utjecajem valova isključivo u vrijeme ekstremno visokih plima ili jakih oluja), dohranjivanje obalnog lica (potopljeni žal), (Climate-ADAPT, 2015). Aktivnosti dohranjivanja potrebno je pažljivo planirati obzirom na materijal nanosa. Sitniji nanos može dovesti do zagušenja morskih staništa nanosom i povećati mutnoću, a nekontrolirano dohranjivanje često neprimjerenim nanosom i/ili češće građevinskim materijalom trajno uništava livade i morski ekosustav. Dohranjivanje plažna može se koristiti zajedno s drugim mjerama. Jedan od ciljeva projekta Beachex (<http://grad.hr/beachex/>) je definirati tehničku podršku za potrebe dugoročnog dohranjivanja i nasipavanja plaža u Hrvatskoj s minimalnim utjecajem na okoliš. Budući da se u Hrvatskoj dohranjuje oko 370 plaža, potencijal ove mjere i za potrebe zaštite od poplava na obalom području je velik.



Slika 7.16. Lokacije dohranjivanja plaža (preuzeto s <http://grad.hr/beachex/>)

7.3.1.8 Obnova livada morske cvjetnice

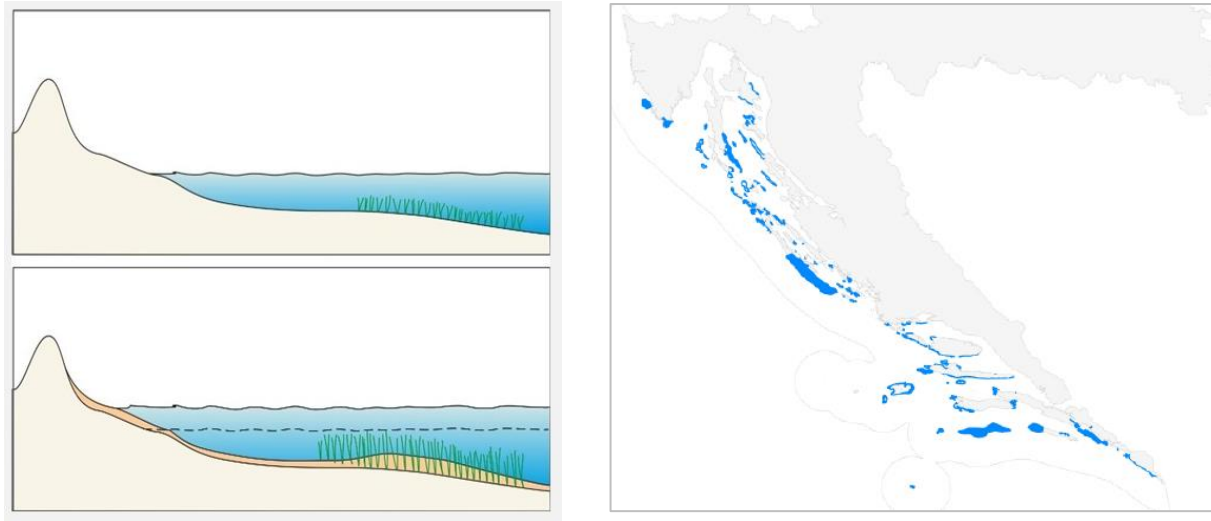
Za ublažavanje erozije i posljedično smanjenje rizika od poplava, značajnu ulogu mogu imati livade morske cvjetnice. U Jadranu su prisutne četiri vrste morske cvjetnice, od kojih je najrasprostranjenija posidonija (*Posidonia oceanica*). Istraživanja su pokazala značajan utjecaj livada na sprečavanje transporta nanosa (do 85%)⁵ zbog ublažavanja hidrodinamičkih djelovanja valova (oko 15%) i usporavanja pridnenih morskih struja (oko 65%)⁶. Smanjenjem transporta nanosa stabilizira se morsko dno i smanjuje se dubina mora, a valovi se udaljavaju od obale, čime se ublažava erozija plaža za vrijeme oluja. Nedavna ispitivanja pokazala su da je visina valova u predjelima prekrivenima gustim livadama morskih cvjetnica 10-20 % niža u usporedbi s golim morskim dnom (phys.org)⁷. Morske cvjetnice također imaju važnu ulogu u ublažavanju klimatskih promjena. Imaju značajan potencijal sekvestracije ugljika, kako vlastitom biomasom, tako i filtriranjem sitnog organskog materijala iz okolne morske vode. Zbog niza pozitivnih učinaka, veliki je potencijal primjene livada posidonije na hrvatskoj obali

⁵ E. Gacia, C.M. Duarte: Sediment Retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* Meadow: The Balance between Deposition and Resuspension, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol 52, 4 (2001), pp 505-514, <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0753>.

⁶ Contti Neto N., Pomeroy A., Lowe R., Ghisalberti M.: Seagrass Meadows Reduce Wind-Wave Driven Sediment Resuspension in a Sheltered Environment. *Frontiers in Marine Science*, 8 (2022), DOI: 10.3389/fmars.2021.733542

⁷ <https://phys.org/news/2016-06-seagrass-crucial-weapon-coastal-erosion.html>

kao mjera obrane od poplava mora, ublažavanja erozije plaža i prilagodbe klimatskim promjenama.



Slika 7.17. Zaštićene livade posidonije unutar Natura 2000 mreže (izvor RAC/SPA 2014) ⁸

7.3.1.9 Integralni sustav oborinske odvodnje u urbanim sredinama

Integralna rješenja zaštite od pluvijalnih i bujičnih poplava u urbanim sredinama odnose se na koncept „zadržavanja vode na mjestu nastanka“, a podrazumijeva kombinaciju različitih tehničkih rješenja povećanja infiltracije i zadržavanja oborinskih voda za ublažavanje površinskog otjecanja za vrijeme nevremena. Za provođenje navedenog koncepta mogu se koristiti različite mjere zelene infrastrukturne.

- *Razdjelni sustavi odvodnje*

Razdjelni sustav odvodnje predstavlja odvojeno prikupljanje i transport sanitarnih i oborinskih voda putem zasebnih cjevovoda/kanala. Kod razdjelnog sustava, oborinske vode se odvojeno prikupljaju, odvede i ispuštaju u prirodu i pritom ne opterećuju sanitarni sustav odvodnje. Na ovaj način smanjuje se rizik od plavljenja podrumskih prostorija i javnih površina. Također, smanjuje se i rizik od zagađenja uslijed izlivanja sanitarnih voda iz mješovitog sustava odvodnje do kojih može doći prilikom visokih razina mora i intenzivnih oborina.

- *Retencijska jezera/bazeni*

Retencijska jezera i bazeni su prirodne ili umjetne depresije pokrivene vegetacijom s povremenom ili trajnom vodom namijenjene za kontrolirano zadržavanje vode i usporavanje

⁸ RAC/SPA - UNEP/MAP, 2014. Monitoring protocol for Posidonia oceanica beds. By Guala I, Nikolic V, Ivesa L, Di Carlo G, Rajkovic Z, Rodic P, Jelic K. Ed. RAC/SPA - MedMPAnet Project, Tunis.

površinskog otjecanja. Mogu biti s propusnom i nepropusnom podinom. Retencijski bazeni mogu značajno smanjiti rizik od poplave (NWRM, 2015). Nadalje, nanos i ostala onečišćenja koji se nalaze u vodi mogu biti filtrirani, apsorbirani u okolno tlo ili biokemijski razgrađeni, u vrijeme dok se voda zadržava u jezeru/bazenu, pa se mogu koristiti i za zaštitu od zagađenja i naplavina za vrijeme nevremena.

- *Upojni bunari*

Upojni bunari su pravokutni ili kružni iskopi, ispunjeni šljunkom ili lomljenim kamenom i obloženi ciglom ili polietilenskim prstenovima, a služe za smanjenje količina površinskih voda/mora na način da zadržavaju i infiltriraju vodu/mora u podzemlje (NWRM, 2015). Omogućavaju zaštitu od poplava oborinskih voda i mora te zaštitu od zagađenja područja za vrijeme nevremena.

- *Propusne površine*

Propusne površine su konstruirane na način da omoguće infiltraciju u tlo i/ili kontrolirano zadržavanje oborinskih voda i mora. Propusne površine smanjuju količinu površinskog otjecanja i smanjuju rizik pluvijalnih poplava i poplava mora.

- *Infiltracijski rovovi*

Infiltracijski rovovi su plitki iskopi ispunjeni šljunkom ili lomljenim kamenom koji transportiraju površinsku vodu/mora i omogućavaju njenu infiltraciju u okolno tlo. Uz smanjenje otjecanja omogućavaju i uklanjanje onečišćenja i nanosa iz vode/mora, iako im to nije primarna namjena. Zbog toga se preporuča prethodna predobrada vode u kojem će se nanos istaložiti prije ulaska voda u rovove (NWRM,2015).

- *Filter trake i jarci*

Filter trake i jarci su blago nagnuti, ozelenjeni trakasti dijelovi zemlje koji omogućavaju usporavanje toka i infiltraciju oborinske vode. Konstruirane su na način da putem bilja uspore tok, a budući da pojačavaju taloženje onečišćenih čestica mogu se koristiti kao mjera za zaštitu od zagađenja za vrijeme nevremena.

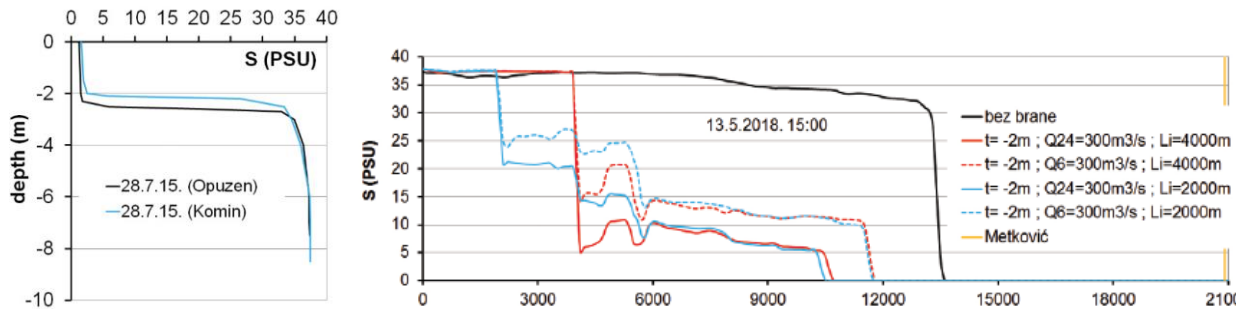
- *Kišni vrtovi*

Kišni vrtovi su relativno malih površina koji se koriste za uređenje vrtova oko nekretnina. Imaju veliki kapacitet skladištenja i infiltracije vode, što smanjuje količine voda na površini.

7.3.1.10 Ustave na kanalu/estuariju

Ustavne na kanalu ili estuariju mogu formirati potpuno ili djelomično odvajanje dvaju vodnih tijela (mora i estuarija) ovisno o razini izdizanja ustave. Pregrada s ustavom priprema se na području delte Neretve. Istraživanja na rijeci Neretvi pokazala su da je vertikalna promjena

saliniteta nagla i odvija se u uskom području dubina, između -2,0 i -3,0 m dubine (Agronomski fakultet u Zagrebu, 2018) ⁹. Rezultati istraživanja (Lončar et al., 2020) ¹⁰ prikazala su mogućnost i učinkovitost različitih režima rada ustave u smanjenju prodora slanog klina uzvodno. Podizanje ustave na kraju estuarija Neretve do -2,0 m dubine pri dotocima manjim od 300 m³/s može osigurati značajno smanjiti uzvodno prodiranje slanog klina.



Slika 7.18. Promjena saliniteta na Neretvi po dubini (lijevo, izmjereno) i duž toka Neretve na dubini od -8,0 m za različite režime rada ustave (desno, modelske simulacije) (izvor Lončar et al., 2020)

Rezultati izrađenog modela za prijelazne vode (izvještaj 5, poglavlje 4) pokazuju da je dubina slanog klina na ušću relativno mala (manje od -0.5 m) za proračunske scenarije (18 scenarija) za prijelazne vode s relativno malim dotokom iz zaobalja (slučaj Mirne, Raše, Rječine, Zrmanje), vidi Slika 7.6. U takvim uvjetima male dubine slanog klina, prodor klina uzvodno za vrijeme visokih razina mora može se ublažiti jedino potpunim zatvaranjem ustave na kraju estuarija. Rješenje s ustavom treba se kombinirati s izgradnjom uspornih i obalnih nasipa uz implementaciju upravljačkog sustava za nadzor i dinamičku kontrolu rada ustave te suradnju s centrom za prognozu poplava mora. Potpuno zatvaranje ustave za vrijeme visokih razina mora organizacijski je jednostavnije kod vodotoka koji nemaju vodnog prometa (Mirna, Raša, Rječina, Zrmanja). Potrebno je ispitati troškove i koristi ovakvog rješenja za njegovu primjenu na više potencijalnih lokacija duž obale.

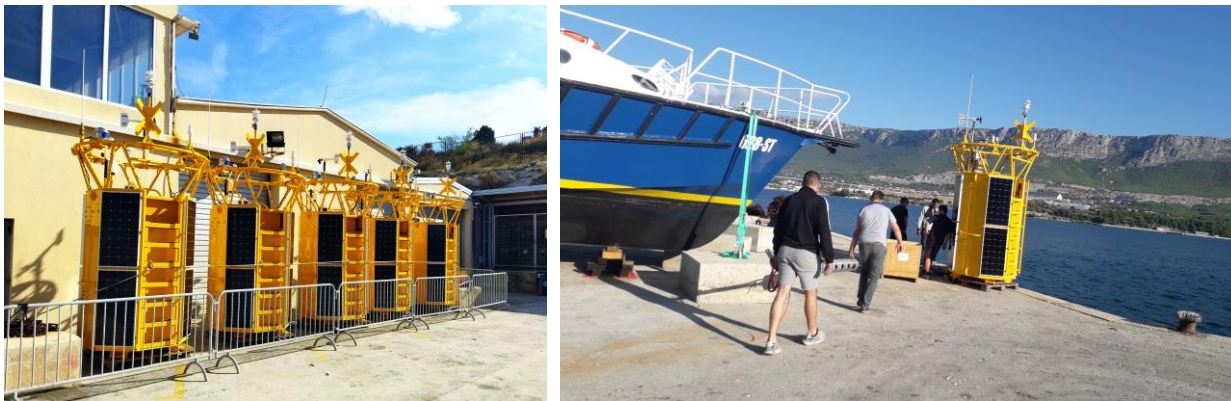
7.3.1.11 Sustav prognoza i ranog upozorenja na poplave mora

Sustav prognoza i ranog upozorenja važan je element u holističkom pristupu zaštite od poplava. Za potpunu učinkovitost, sustav ranog upozorenja mora aktivno uključiti stanovništvo i zajednice u razumijevanje opasnosti te im omogućiti informativne i edukacijske kampanje za jačanje svijesti o rizicima. Također, potrebni su učinkoviti kanali

⁹ Agronomski fakultet u Zagrebu (2018.): Monitoring tala u dolini rijeke Neretve – petogodišnje izvješće za Hrvatske vode, Zagreb.

¹⁰ Goran Lončar, Nino Krvavica, Hrvoje Gotovac, Dijana Oskoruš, Tin Kulić: Numerička analiza djelovanja brane na sprječavanje prodora slane vode duž korita rijeke Neretve. Hrvatske vode, 28 (2020), pp 113-124.

širenja ranog upozorenja. Usporedo sa sustavom ranog upozorenja treba osigurati opremljenost, pripravnost i uvježbanost službi za krizna stanja (lokalna vlast, civilna zaštita, vatrogasci, hitna pomoć) za omogućavanje pravodobnog djelovanja. Na europskoj razini služba Copernicus za upravljanje u hitnim situacijama (Copernicus EMS) za sad pokriva samo riječne poplave na velikih vodotocima (sustav European Flood Awareness System, EFAS). Meteoalarm od 2009. godine pruža najrelevantnije informacije potrebne za pripremu za ekstremne vremenske prilike (jake oluje s grmljavinom, morske mijene, jaku kišu s rizikom od poplave) koje se očekuju diljem Europe, a od 2016. godine u funkciji je Meteoalarm za obalna upozorenja. Na lokalnoj i regionalnoj razini, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) osigurava sustave prognoza (ALADIN) i ranog upozorenja za prirodne opasnosti (upozorenja o lošim vremenskim uvjetima, jakom vjetru, mogućnosti grmljavinskih oluja, intenzivnim oborinama). Međutim, sustav prognoza i ranog upozorenja za poplave mora nije razvijen. Sustav se treba razvijati zajedno s postavljanjem više pučinskih mareografa (mjernih plutača) s daljinskom dojavom podataka. Kroz projekt METMONIC, u planu je postavljanje pet (5) meteorološko-oceanografskih plutača na području Jadrana (Kvarner, Blitvenica, Viški kanal, Palagruža, Molunat).



Slika 7.19. Priprema za postavljanje meteorološko-oceanografskih plutača na području Jadrana (izvor Stjepan Ivatek-Šahdan, 2022) ¹¹.

7.3.1.12 Mobilne barijere

Mobilne protupoplavne barijere je sustav barijera koji se postavljaju prije i/ili tijekom poplave a povlače se nakon poplave. Dostupni su brojni mobilni tipovi barijera i proizvoda, a mogu se grupirati u:

- Prethodno ugrađene ili s određenom pripremom.

¹¹ Stjepan Ivatek-Šahdan: METMONIC - modernizacija sustava za praćenje stanja atmosfere i mora neophodnih za pravovremeno izdavanje upozorenja na opasne meteorološke pojave. Svjetski meteorološki dan i Svjetski dan voda Zagreb, 25. ožujak 2022.

- Mobilne modularne barijere. Jedinice koje se donose i postavljaju na mjesto, izgrađuju a potom uklanjaju, kao što su box barijere.
- Pasivni sustavi s automatskim izdizanjem i povlačenjem s obzirom na razinu vode (bez ljudske intervencije ili električne energije).



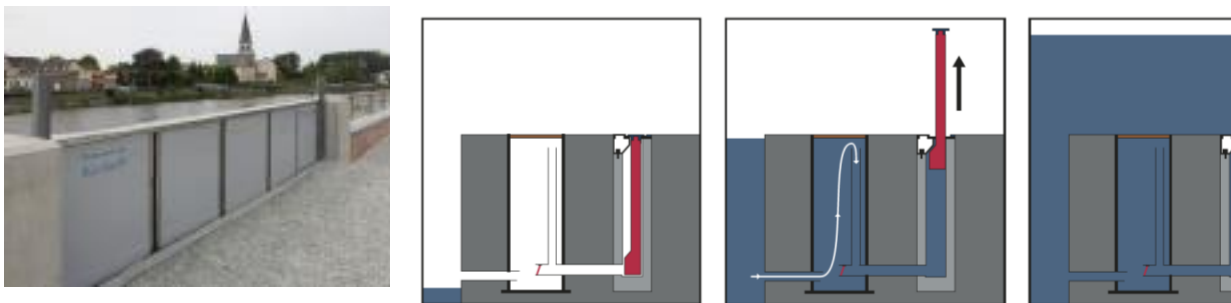
Slika 7.20. Primjer prethodno ugrađenih mobilnih barijera, lagane konstrukcije s ručnim izdizanjem (izvor Presray)



Slika 7.21. Primjer pločastih zapornica s prethodnom pripremom za postavljanje (izvor Presray)



Slika 7.22. Primjer mobilnih modularnih krutih barijera (izvor AquaFence)



Slika 7.23. Primjer pasivnog sustava s automatskim izdizanjem i povlačenjem (izvor www.floodcontrolinternational.com)

7.4 Zaključno o katalogu mjera

Opasnost od poplava na obalnom području uključuje utjecaje porasta razine mora, olujne valove, pluvijalne i bujične poplave, zatim prodor slane vode u zaobalje te transport zagađenja i naplavina za vrijeme visokih razina mora. Analiza je pokazala da je utjecaj poplava mora u Hrvatskoj značajan ako se ne poduzmu mjere prilagodbe. Za veliku vjerojatnost pojave (scenarij 4) ukupno je ugroženo 15.436 stambenih i gospodarskih zgrada, 72 lučka i industrijska objekta u lukama, 96 industrijskih objekata izvan luka, 14 seveso postrojenja te je poplavljeno 252,3 km² obalnog područja. Područja s najvećim očekivanim štetama od poplava mora su najveća poplavna područja i područja oko gradova s najvećim brojem ugroženih stanovnika. Najveći broj ugroženih stanovnika od poplava mora je na području Kaštelanskog zaljeva (Split, Solin, Kaštela, Trogir) i Šibenika (Šibenik, Vodice, Murter), a među ugrožene poplavne površine su doline Mirne i Raše. Budući da su u luci Ploče svi ugroženi objekti visoke klase osjetljivosti (klasa 3) uz veliko poplavno područje u dolini Neretve može se konstatirati da cijelu neretvansku dolinu treba uključiti u primarna područja za definiranje mjera zaštite od poplava mora zbog potencijalno velikih šteta, zagađenja mora i transporta onečišćenja iz luke u okolno područje te dodatnog zasljanjanja

voda i tala u zaobalju. Rješenje zaštite od poplava luke Ploče treba definirati zajedno s mjerama obrane od poplava na Neretvi te mjerama za ublažavanje zaslanjivanja toka Neretve i okolnih podzemnih vodonosnika i tala.

Prethodne i ove analize pokazale su da na obalnim područjima Mediterana i Hrvatske prevladava degradiran okoliš uzrokovan ogromnim pritiskom naselja s pratećim urbanim i gospodarskih sadržajima sa štetnim utjecajima na ekosustave (Ciampa et al., 2021)¹². Rezultati analiza su pokazali da će kod prilagodbe klimatskim promjenama za Republiku Hrvatsku veliki problem predstavljati dužobalni razvoj, odnosno izuzetno dugačka i uska obala. Do sada se zaštita od poplavlivanja mora uglavnom vodila potražnjom za sigurnošću. Troškovi zaštite od poplavlivanja mora uglavnom su izuzetno visoki i pitanje je tko će snositi troškove implementacije i održavanja sustava. Imajući u vidu navedeno, od velike je važnosti osiguranje obalnog odmaka, jer se njime uz prevenciju zaštite od poplava mora i prilagodbu klimatskim promjenama donose i značajne druge ekološke i ekonomske koristi kroz vrijedan dodatni prostor za rekreaciju i aktivnosti na plaži. Međutim, implementacija obalnog odmaka može postati sporno pitanje, jer općine vrlo nerado mijenjaju svoje planove, a obalni odmak se smatra "gubitkom" potencijala za gradnju na atraktivnom zemljištu. U tom smislu treba iskoristiti druge postojeće pristupe, kao što su putevi prilagodbe (Haasnoot i sur. 2013.) koji bi se mogli kombinirati s *modeliranjem nazadovanja* kako bi se pronašla robusna i prihvatljiva dugoročna rješenja na obalnom području.

Nadalje, iskustva iz različitih izgrađenih mjera zaštite od poplava mora na Mediteranu (Ciampa et al., 2021) pokazala su da se razvoj i primjena rješenja treba odvijati u bliskoj suradnji sa svim dionicima, ali da se trenutačni angažman dionika ne odvija u potpunosti (na razinama koordinacije i pri odlučivanju). Različiti su mehanizmi za uključivanje dionika u procese donošenja odluka, ali su potrebni participativni integrativni pristupi tijekom analize i predlaganja potencijalnih rješenja. Takav participativni pristup omogućava postizanje ravnoteže između očuvanja prirode, tržišnih uvjeta, potreba dionika i prioriteta donositelja odluka, a što rezultira razvojem inovativnih i dugoročno održivih rješenja otpornosti obalnih područja i gradova na poplave mora.

Kako bi se stvorili preduvjeti za učinkovito smanjenje rizika i poboljšanje otpornosti obalnih područja na poplave mora, potreban je sinergijski učinak različitih strateških (nacionalnih), regionalnih i lokalnih mjera:

- Prioritetno je potrebno povećati pouzdanost podloga za bolju procjenu opasnosti te povećati saznanja o razumijevanju posljedica za bolju procjenu sveukupnog utjecaja poplava.

¹² Ciampa, F.; Seifollahi-Aghmiuni, S.; Kalantari, Z.; Ferreira, C.S.S. Flood Mitigation in Mediterranean Coastal Regions: Problems, Solutions, and Stakeholder Involvement. *Sustainability* (2021), 13, 10474. <https://doi.org/10.3390/su131810474>

- Potrebno je bolje razumijevanje kapaciteta sustava kao odgovor na krizne situacije.
- U okviru postojećih prostornih i razvojnih planova treba uključiti sveukupni utjecaj opasnosti od poplava mora te prilagoditi planove intervencija i kapacitiranje interventnih jedinica (vatrogasci, hitna zdravstvena pomoć, itd.), koji imaju zadatak djelovati kod pojave događaja s visokom razinom rizika.
- Kroz razvojne planove treba predvidjeti i zaštitu obalni pojas (obalni odmak) te predvidjeti rekonstrukciju postojećih i izgradnju novu obalnih gradnji i infrastrukture kao i izgradnju integralnih sustava odvodnje oborinskih voda u urbaniziranim područjima na način da se prilagode na povećanje opasnosti u budućnosti.
- Predviđene razine mora potrebno je uključiti pri rekonstrukciji postojećih obalnih građevina (rive, obale, lukobrani, luke, marine, kanalizacijski odvodni sustavi) kao i kod planiranja novih gradnji (obalna naselja, infrastrukturni objekti, turistički kompleksi), a koje je potrebno izmjestiti/predvidjeti na dovoljnu udaljenost i visinu, odnosno na područje koje nije izloženo za predviđeni doseg poplava mora.
- Potrebno je osigurati sprječavanje prodora mora u slatkovodne vodne resurse, posebice na otocima.
- Nužno je donošenje i implementacija mjera za zaštitu kulturnih dobara i lokaliteta koji se nalaze uz samu obalu i na maloj nadmorskoj visini da bi se očuvalo povijesno naslijeđe koje bitno utječe na turizam.

(prazna stranica)

8 Prijedlog budućih istraživanja

Na osnovu prikupljenih informacija i rezultata u prethodno izloženim poglavljima a u cilju poboljšanja vodnog gospodarstva u područjima upravljanja rizicima od poplava i upravljanja vodnim područjem te imajući u vidu ciljeve, sadržaj i mjere Planova upravljanja rizicima od poplava te Planova upravljanja vodnim područjima daju se prijedlozi za poboljšanje geoprostornih podataka i monitoringa mora te buduća i planirana istraživanja i aktivnosti u narednim iteracijama UPRIMO projekta.

8.1 Nadopuna geoprostornih podataka

Izrađene analize, modeli i dosezi poplave mora kao i analiza štetnih posljedica mora, izrađeni su temeljem trenutno dostupnih podataka. Primjenom novih tehnologija, poput daljinskih istraživanja, mutisenzorskog zračnog snimanja, satelitskih snimaka u velikoj prostornoj rezoluciji, fotogrametrije bazirane na bespilotnim letjelicama (engl. UAV-based photogrammetry) moguće je prikupiti pouzdane prostorne podatke visoke rezolucije. Geoprostorni podaci mogu biti u formi rastera (digitalni modela terena i dubina), vektora (zgrade, lučka infrastruktura, objekti u moru) i u obliku atributa (karakteristike morskog dna). Za pouzdanije rezultate narednih koraka UPRIMO projekta predlaže se nadopuna geoprostornih podataka, kako slijedi:

1. Izrada detaljne batimetrije priobalnog područja i prijelaznih voda do dubine -15,0 m.
 - Predlaže izrada detaljne batimetrije priobalnog pojasa mora i dubina korita rijeka korištenjem satelitskih snimaka visoke (10 m) i vrlo visoke (3,0-0,5 m) prostorne rezolucije. Kombinacijom multispektralnih satelitskih snimaka i strojnog (dubokog) učenja moguće je izraditi vrlo pouzdan model dubina do oko -15,0 m (Monteys i dr. 2015, Evagorou i dr. 2019, Bergsma i dr. 2019, Li i dr. 2019). Metodologija ovisi o prostornoj i spektralnoj rezoluciji satelitskih snimaka, stoga je važna upotreba snimaka prikupljenih najnovijim satelitskim snimcima i tehnologijama daljinskih istraživanja. Za potrebe razvoja modela i ocjene pouzdanosti dubina moguće je koristiti postojeće batimetrijske izmjere luka i priobalnog pojasa.
 - U području prijelaznih voda, novije batimetrijske snimke u vidu poprečnih presjeka korita u HTRS96 i HVR571 sustavu jedinu su dostupne za rijeke Dragonju i Neretvu. Predlaže se provesti batimetriske snimke (poprečni presjeci korita) za preostalih osam područja prijelaznih voda.

2. Izrada katastra postojećih objekata u moru do dubine -15,0 m.
 - Predlaže se izrada katastra objekata u moru do dubine -15,0 m kojim će se definirati njihov položaj te dubina (lukobrani, pera, valobrani, infrastruktura, itd). Katastar se može izraditi kombinacijom ronjenja, besposadnih podmornica, višesnopnih dubinomjera, satelitskih snimaka i strojnog (dubokog) učenja.
3. Izrada detaljnog modela terena do razine +10,0 m n.m.
 - Pouzdane podatke o terenu i objektima na terenu moguće je dobiti iz LiDAR snimaka, a koje će za područje Hrvatske biti dostupne kroz projekt *Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa*¹³. Navedenim projektom prikupit će se podaci u dvije razine:
 - Razina 1 - približno 70% teritorija snimit će se gustoćom od 4 točke/m² (izvan urbanih područja), a 30% većom gustoćom od 8 točaka/m² (urbana područja),
 - Razina 2 – snimanje približno 4.100 km nasipa s gustoćom od 20 točaka/m², što će omogućiti izradu modela nasipa visoke točnosti.
 - U narednim koracima UPRIMO projekta za modeliranje poplava mora i prijelaznih područja kao i za procjenu poplavnih šteta preporuča se korištenje digitalnog modela reljefa (DMR) dobivenog iz LiDAR snimaka.
4. Izrada katastra postojećih objekata na obali do razine +10,0 m n.m.
 - Predlaže se formiranje pouzdanije baze prostornih podataka o objektima na obali iz novih LiDAR snimaka. Novi katastar će sadržavati objekte infrastrukture, obalne i lučke objekte, komunalne objekte, obalne zidove i nasipe. Predlaže se korištenje LiDAR i aerofotogrametrijskih snimaka uz definiranje prostorne i visinske pozicije objekata.
5. Mapiranje karakteristika morskog dna.
 - Predlaže se izrada karata tipova morskog dna kojima će se poboljšati pouzdanost modela valne dinamike i plavljenja u priobalnim područjima. Kartiranje tipova morskog dna možete se dobiti ronjenjem ili korištenjem besposadnih podmornica. Upotrebom višesnopnih dubinomjera potpomognutim metodama strojnog i dubokog učenja moguće je vrlo brzo i točno kartirati tip morskog dna (Frederick i dr. 2020, Trzcinska i dr. 2020, Ciu 2021b).

¹³ Projekt Multisenzorskog zračnog snimanja Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa

<https://dgu.gov.hr/UserDocsImages//dokumenti/Djelokrug/EU%20projekti//Multisenzorsko%20zra%C4%8Dno%20snimanje%20Republike%20Hrvatske%20za%20potrebe%20procjene%20smanjenja%20rizika%20od%20katastrofa.pdf>

8.2 Uspostava, razvoj i nadopuna monitoringa mora

Rezultati UPRIMO projekta temelje se na mjerenjima razine mora iz perioda 1991.-2020. na hrvatskim mareografskim postajama i modeliranju situacija u kojima je zabilježena ekstremna razina mora. Za poboljšanje rezultata numeričkih modela predlaže se nadopuna monitoringa, kako slijedi:

1. Održati kontinuitet i unapređenje postojećih mareografskih postaja i mjerenja.
 - Za što precizniju informaciju o epizodama ekstremnih razina mora i određivanje događaja male vjerojatnosti pojave nužno je nastaviti s mareografskim mjerenjima na postojećim mareografskim postajama.
 - Sadašnja mjerenja provode se u inkrementima od 1 h. Predlaže se unapređenje monitoringa na mareografskim postajama uz vremenski inkrement mjerenja od 1 min, a što bi omogućilo praćenje i modeliranje meteoroloških tsunamija (šćiga) na Jadranu.
2. Nadopuniti podatke o razinama mora s mareografskih postaja Instituta za oceanografiju i ribarstvo te s plutača od DHMZ-a (projekt METMONIC).
 - Mreža mareografskih postaja korištenih u ovom projektu je ravnomjerno raspoređena ali samo duž kopnenog dijela hrvatske obale Jadrana tako da nema niti jedne postaje na hrvatskim otocima.
 - U budućim istraživanjima predlaže se korištenje podataka s novo postavljenih mareografskih postaja Instituta za oceanografiju i ribarstvo (Split) i s planiranih oceanografskih plutača DHMZ-a. U razdoblju 2017.-2021., Institut za oceanografiju i ribarstvo postavio je pet mareografa na hrvatskim otocima: Mali Lošinj na o. Lošinj, Vela Luka na o. Korčuli, Stari Grad na o. Hvaru, Vis na o. Visu i Sobra na o. Mljetu, s kojih su podaci javno dostupni. Unutar projekta METMONIC, DHMZ predviđa postavljanje pet meteorološko-oceanografskih plutača na području Jadrana (Kvarner, Blitvenica, Viški kanal, Palagruža, Molunat).
3. Prostorno mjerenje razine mora u blizu realnom vremenu upotrebom daljinskih istraživanja i radarskih satelitskih snimaka misije Copernicus.
 - Upotrebom novih satelitskih snimaka Sentinel misija moguće je razviti model za prostorno mjerenje razine mora na području cijelog Jadrana u blizu realnom vremenu (Peng i Deng 2020, Chen i dr. 2020). Pristup navedenim satelitskim snimcima potpuno je besplatan. Predlaže se razvoj i implementacija sustava prostornog monitoringa razine mora u blizu realnom vremenu, a koji će biti integralni dio sustava ranog upozorenja od poplave mora

za područje cijelog Jadrana. Implementacija autonomnog sustava znatno će unaprijediti razinu spremnosti i mogućnost pravovremenog odgovora na krizna stanja na moru i kopnu.

4. Unapređenje monitoringa vodostaja na prijelaznima vodama.

- Monitoring vodostaja uspostavljen je na svih deset područja prijelaznih voda, ali na malom broju postaja. Predlaže se postavljanje dodatnih hidroloških postaja na svim područjima prijelaznih voda. Predlaže se minimalno tri postaje po području: dvije postaje unutar područja prijelaznih voda (na ušću i pri kraju dosega uspora mora) te jednu postaju izvan utjecaja uspora mora.
- Predlaže se smanjenje vremenskog inkrementa zapisa vodostaja s postojećih 60 minuta na 15 minuta, kako bi se omogućila pouzdanija analiza olujnih uspora i velikih voda te njihove propagacije duž priobalnih voda.
- Nužno je provesti geodetsko mjerenje kota nule vodomjera na svim postojećim hidrološkim postajama priobalnih rijeka prema HVRS71 sustavu.

5. Unapređenje monitoringa protoka na prijelaznima vodama.

- Monitoring protoka djelomično je uspostavljen na područjima prijelaznih voda, ali isti treba unaprijediti. Na svim priobalnim vodotocima, osim rijeke Neretve, protok se procjenjuje iz protočne krivulje ali na postajama koje su neadekvatno pozicionirane. Postaje se nalaze ili predaleko od ušća rijeke te na taj način ne pružaju potpunu informaciju o količinama vode koje protječu područjima prijelaznih voda ili su smještene preblizu ušća, odnosno pod utjecajem su uspora mora, pri čemu nije moguće jednoznačno definirati protočnu krivulju. Napredak u tom smislu je sustav monitoringa na rijeci Neretvi u okviru kojega su kod Metkovića postavljena tri ultrazvučna mjerača brzine vode iz kojih je moguće dobiti pouzdanu informaciju o protoku. Međutim, čak i na rijeci Neretvi, izmjereni protoci kod Metkovića nisu mjerodavni pri malim protocima (Krvavica i sur., 2021.).
- Predlaže se unaprijediti sustav mjerenja protoka u priobalnim vodotocima koji će se temelji na izravnom mjerenju vodostaja i površinskih brzina vode u kombinaciji s matematičkim modeliranjem i strojnim učenjem.

6. Unapređenje monitoringa temperature i saliniteta na prijelaznima vodama.

- Monitoring temperature i saliniteta vode uspostavljen je jedino na rijeci Neretvi, a isti je neophodan za potrebe procjene duljine prodora slane morske vode te pouzdanije kalibracije i validacije numeričkih modela.
- Predlaže se uspostava monitoringa temperature i saliniteta vode na svim prijelaznim vodama, kako slijedi:

- monitoring temperature i saliniteta pri dnu korita na više lokacija unutar područja prijelaznih voda, kako bi se pružio uvid u razdoblja tijekom kojih slana vode prodire uzvodnije od mjernih postaja,
 - monitoring vertikalnog profila temperature i saliniteta na minimalno dvije lokacije unutar svakog područja prijelaznih voda (na ušću i odabranim uzvodnim lokacijama) uz postavljanje više mjernih uređaja po vertikali, a što bi omogućilo uvid u promjene vertikalnog profila temperature i saliniteta, odnosno dubine razdjelnice između slojeva slane i slatke vode.
7. Razvoj sustava za prostorni monitoring površinskog saliniteta mora i prijelaznih voda.
- Za prostorni monitoring površinske slanosti mogu se koristiti multispektralni satelitski snimci (Liu i dr. 2015, Zhao i dr. 2017, Gašparović i Singh 2020) te kartirati slanost mora i prijelaznih voda u dnevnim inkrementima i odgovarajućoj prostornoj rezoluciji (10 m, 30 m, 100 m ili 250 m).
 - Predlaže se razviti sustav monitoringa površinske slanosti koji će se primijeniti za svaki novo dostupni snimak i na taj način dnevno kartirati površinsku slanost mora i prijelaznih voda. Točkasta uzorkovanja na postajama mogu se koristiti za razvoj i kalibraciju modela. Isto tako, razvijeni model moguće je primijeniti za arhivske snimke (npr. Landsat satelitske misije) i kartirati slanost Jadrana u proteklih 40-ak godina na godišnjem, polugodišnjem i mjesečnom nivou (Tran i dr. 2019).
8. Razvoj sustava za monitoring onečišćenja i ostalih fizikalno-kemijskih parametara mora
- Multispektralni satelitski snimci omogućavaju razvoj sustava za automatsko praćenje fizikalno-kemijskih parametara mora (Gholizadeh i dr. 2016, Zhang i dr. 2017, Akbari i dr. 2017). Predlaže se razvoj sustava za automatsko praćenje onečišćenja mora i priobalni voda kojima će se omogućiti uspješnija implementacija zaštite od onečišćenja i brža sanacija šteta. Satelitske snimke omogućavaju sustavu praćenje mora u vremenskoj rezoluciji od 1 dana i u prostornoj rezoluciji od 3 m na nivou cijelog Jadrana (Park i dr. 2019). Na mikrolokacijama moguće je raditi monitoring onečišćenja u rezoluciji do 5 cm upotrebom bespilotnih letjelica (Matsui i dr. 2021).

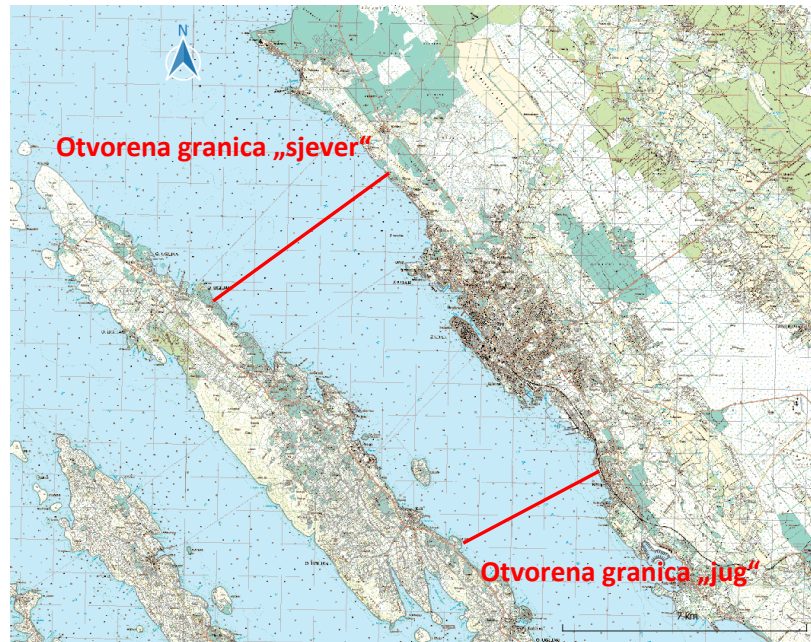
8.3 Prijedlog daljnjeg razvoja modela valne dinamike i plavljenja

Dobiveni rezultati modeliranja valnog generiranja i valnih deformacija u ovom projektu interpretirani su kroz tri osnovna podatka o valovima: značajna valna visina (H_s), vršna spektralna perioda (T_p) i incidentni smjer valovanja. Podaci su prezentirani u rasterskoj mreži rezolucije 200 m x 200 m za cijelo područje teritorijalnog mora RH. Obzirom da je postignut zadovoljavajući stupanj sličnosti sa podacima iz prethodno izrađenih vjetrovalnih klima za dubokovodna područja na nizu lokacija, u nastavku se daje kritički osvrt primarno na rezultate poplavnih površina.

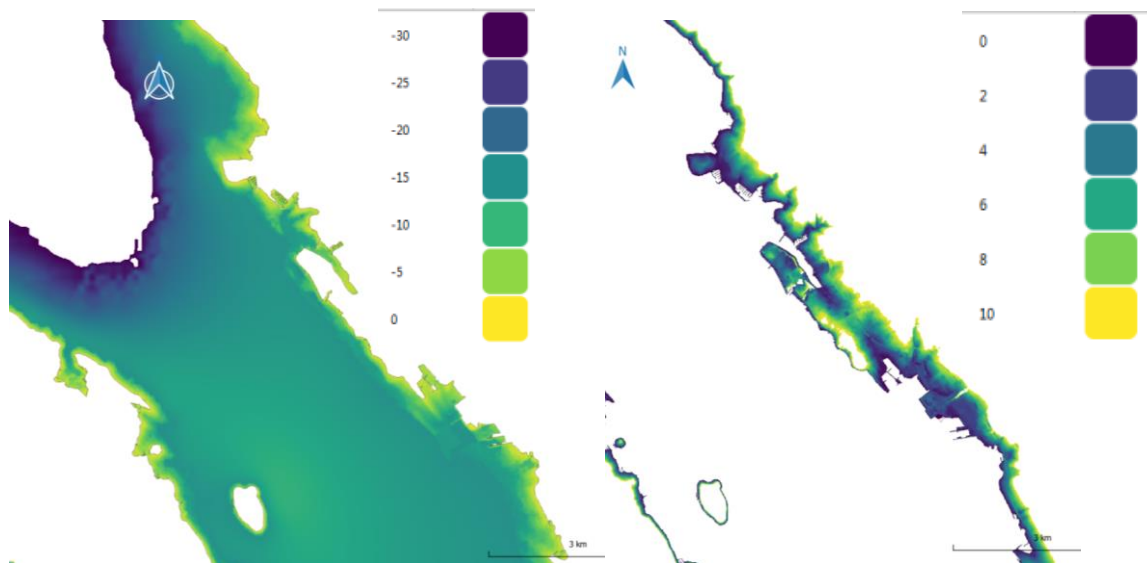
U numeričkom modelu valnog generiranja i valnih deformacija prostorni korak proračunske mreže je varijabilan, a u zoni obalne linije je u rasponu od 50 m do 200 m. Shodno navedenom, dobiveni rezultati numeričkih simulacija (H_s , T_p i incidentni smjer) ne prepoznaju utjecaj geometrijskih detalja vezanih uz obalne gradnje (visine školjera valobrana ili obalnih zidova, uronjeni valobranski ekrani, kanalski propusti valobrana ...), kao ni detalje nagiba dna mora i terena u zoni same obale crte, u kojoj se pojavljuju i intenzivne promjene valnih visina usljed oplicavanja, refrakcije, difrakcije i loma valova. Navedeni procesi imaju utjecaj na konačni doseg vala u smislu poplavne površine te ih je moguće uključiti u daljnjem unapređenju modela.

Međutim, bez obzira na razvoj računalnih resursa, zasigurno neće biti moguće uspostaviti model valovanja u prostornoj rezoluciji podataka 2-5 m (s kojom bi se obuhvatili svi lokalni procesi valnih deformacija) za cijelo područje jadranskog bazena. Zbog toga se predlaže **uspostava niza lokalnih modela na području određenog broja anglomeracija** od primarnog značaja. Za rubne uvjete takvih lokalnih modela valnih deformacija (H_s , T_p i incidentni smjer) moguće je korištenje rezultata modelskih simulacija iz provedbe ovog projekta.

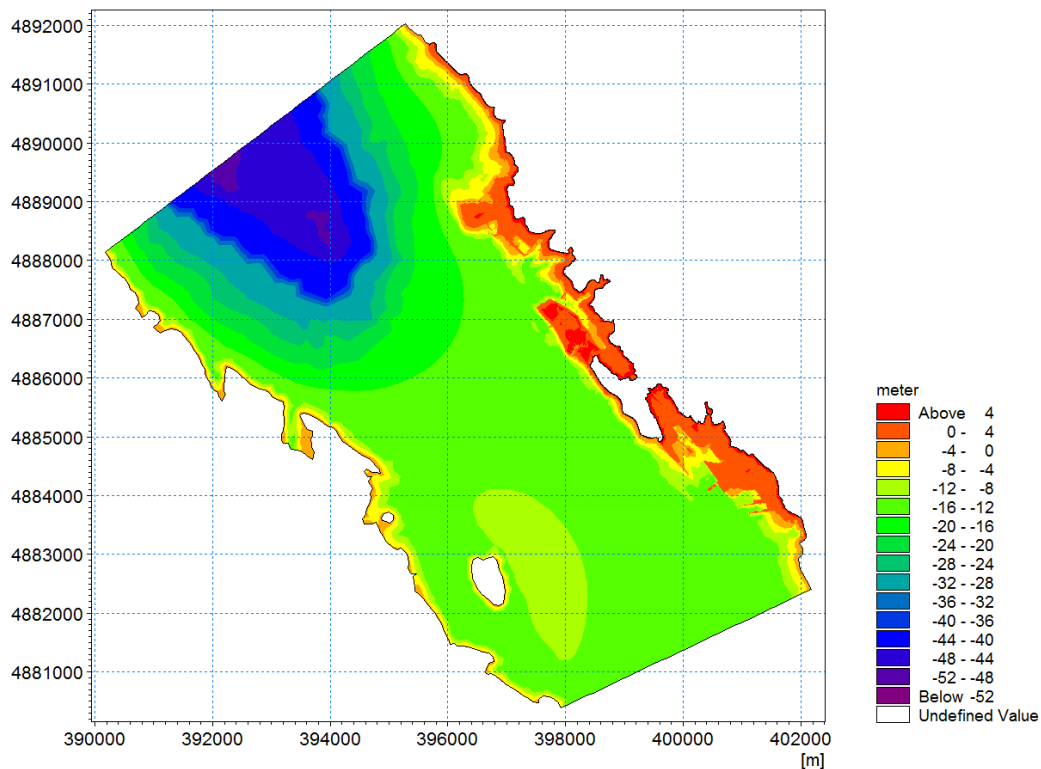
Kako bi se jasnije prezentirao navedeni prijedlog za daljnji razvoj modela valnih deformacija i plavljenja obale u nastavku se daje primjer za područje grada Zadra (Slika 8.1). Prikazan je scenarij povratnog perioda 100 godina uz utjecaj klimatskih promjena. Na kontaktu mora i atmosfere djeluje homogeno i stacionarno polje vjetra s brzinom 19,4 m/s (također povratni period od 100 godina) i smjerom SE (135°). Na otvorenoj granici „jug“ (Slika 8.1) koriste se ekstrahirani podaci iz rezultata ovog projekta ($H_s = 1,7$ m ; $T_p = 4,5$ s ; incidentni smjer 155°). Za dubinu mora i visinu terena također se koriste podaci prikupljeni u okviru ovog projekta (rasterska rezolucija 10 m x 10 m za dubine i 5 x 5m za visine, vezano uz HVR571, Slika 8.2). Nadalje, mirna razina mora postavljena je na +1.67 m.nm (iz rezultata ovog projekta).



Slika 8.1. Akvatorij obuhvaćen prostornom domenom lokalnog numeričkog modela valnih deformacija na području grada Zadra



Slika 8.2. Dubine mora (lijevo, raster 10m x 10m) i visine terena (desno, raster 5m x 5m) prema podlogama izrađenim u sklopu ovog projekta

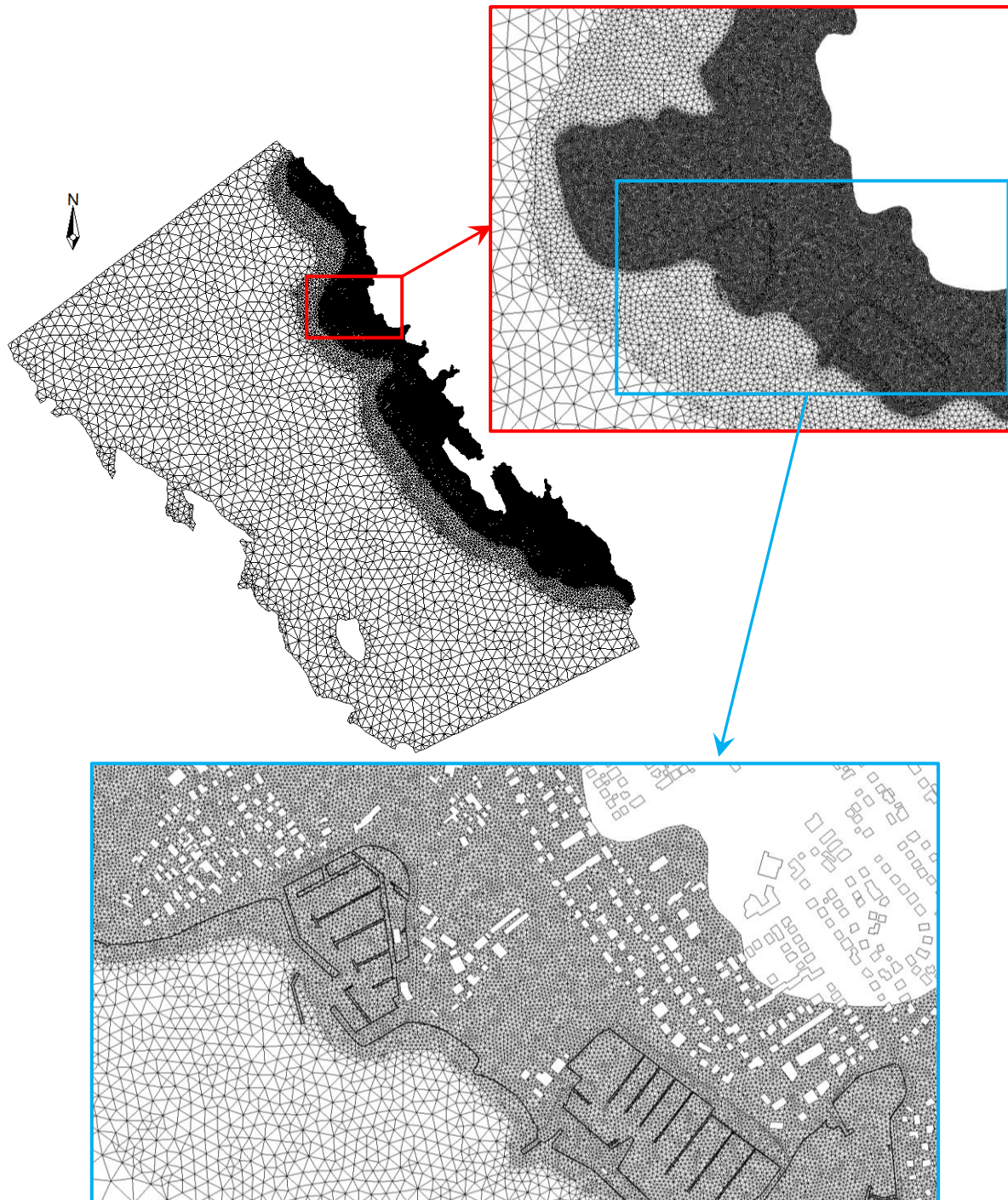


Slika 8.3. Prostorna domena modela valnog generiranja i valnih deformacija za područje grada Zadra

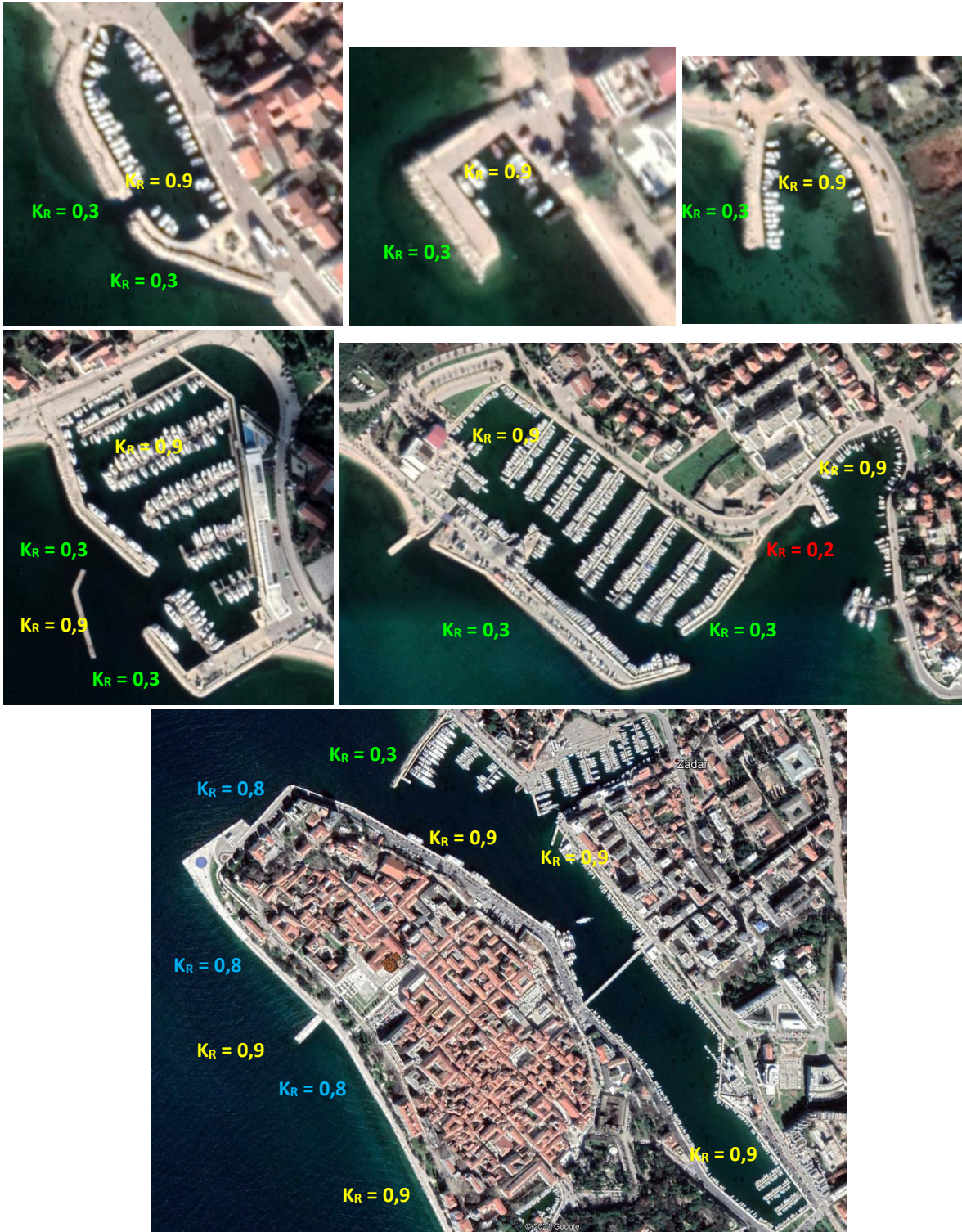
Proračunska mreža je varijabilnog prostornog koraka, od 200 m na većim dubinama do 2 m u području obalne linije i na kopnu do visine +5 m.nm. (Slika 8.3, Slika 8.4). Proračunska mreža ima cca 180000 numeričkih čvorova (Napomena: potrebno najmanje 30 GB RAMa za provedbu simulacija, proračunsko vrijeme cca 30 sati sa Intel procesorom I9, 12 kora).

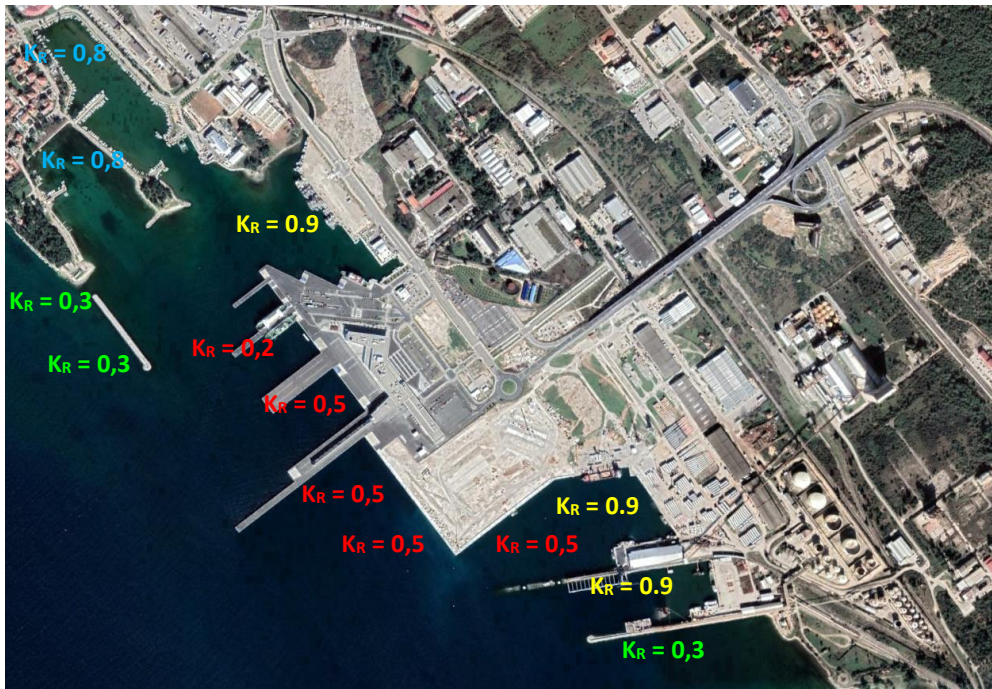
Implementacija željenog stupnja refleksije od obalne crte i refleksije od lukobranskih konstrukcija u prostornoj domeni numeričkog modela definirana je sa odgovarajućim koeficijentima refleksije. Slika 8.5 prikazuje primijenjena (usvojena) refleksijska svojstva obalne crte na lokacijama postojećih luka i marina. Preostali dio obalne crte, koji nije prikazan na slici, tretiran je kao slabo reflektivan, s pripadnim koeficijentom refleksije $K_r = 0,1$, dok je sam rub modelske domene na mjestima nadmorskih visina > 0 tretiran sa koeficijentom refleksije $K_r = 0$.

Na slikama (Slika 8.6, Slika 8.7) prikazani su rezultati provedene numeričke simulacije u vidu polja značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) s pripadnim izolinijama i u vidu polja dubina mora s pripadnim izolinijama.

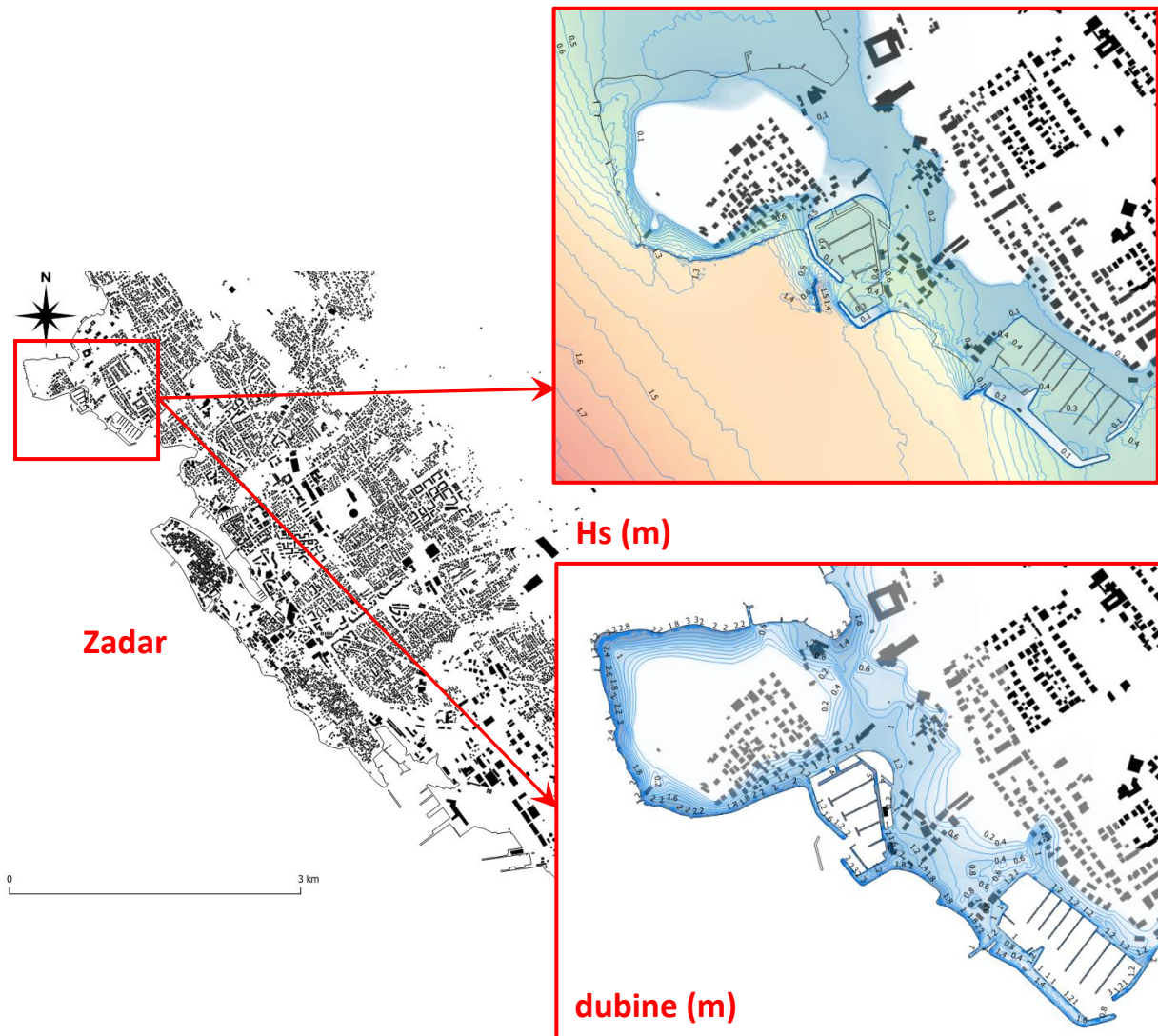


Slika 8.4. Proračunska mreža na prostornoj domeni modela valnog geneiranja i valnih deformacija za područje grada Zadra

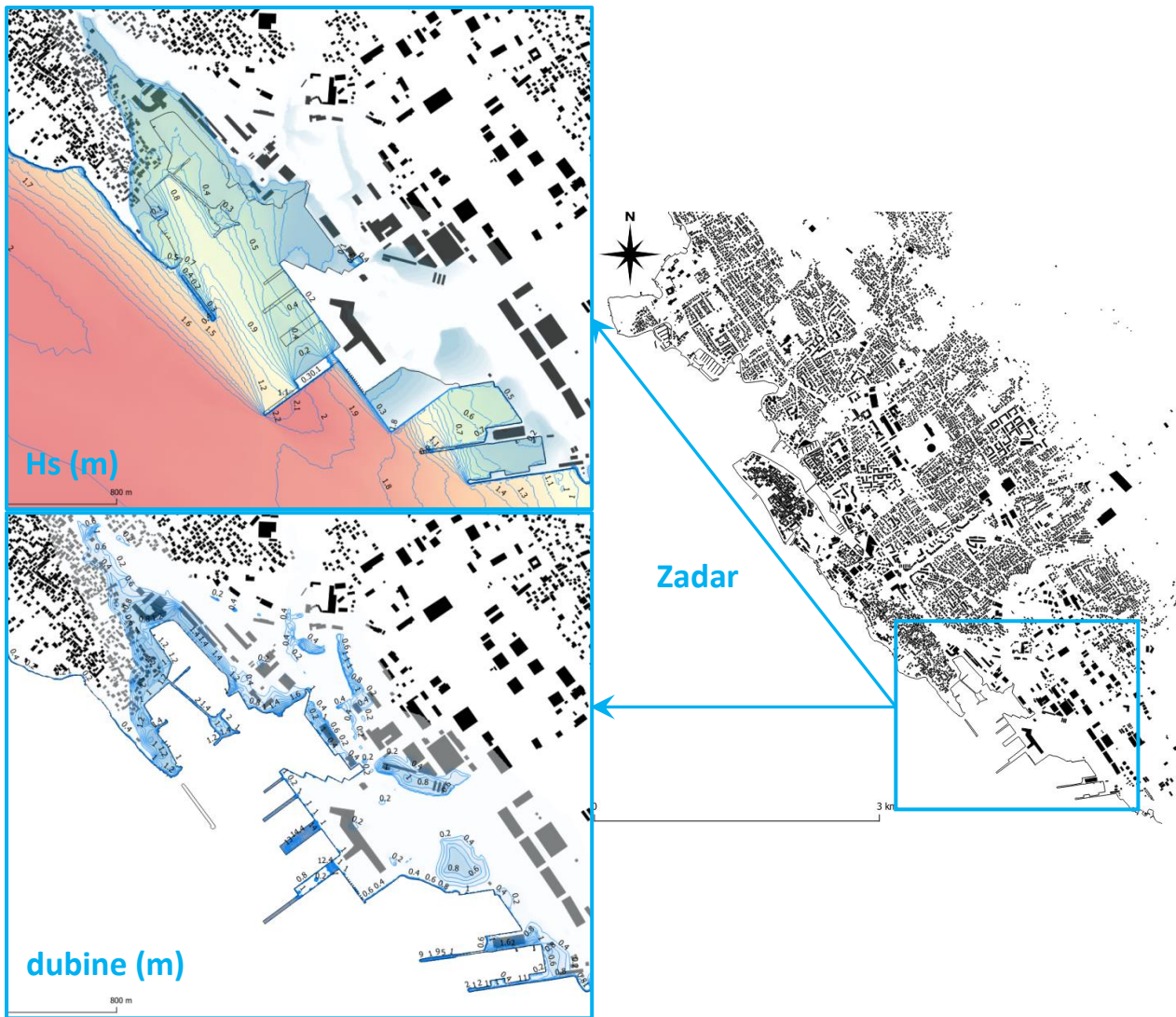




Slika 8.5. Refleksijsko-transmisijka svojstva uzduž obalne crte predmetnog akvatorija



Slika 8.6. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama, i polje dubina mora sa pripadnim izolinijama (scenario PP = 100g. s utjecajem KP)



Slika 8.7. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama, i polje dubina mora sa pripadnim izolinijama (scenario PP = 100g. s utjecajem KP)

8.4 Prijedlog ostalih analiza i istraživanja

1. Nadopuna i unapređenje atmosferskog modela.

- Za potrebe Projekta dostupni su bili rezultati prognostičkog atmosferskog modela (ALADIN) Državnog hidrometeorološkog zavoda u prostornoj rezoluciji (2x2 km) ali samo za razdoblje 2012.-2020. godina, pa je broj situacija i modelskih simulacija ekstremnih razina mora bio ograničen.
- U narednim koracima UPRIMO projekta preporuča se redovita novelacija modelskih simulacija svakih 6 godina uz korištenje dodatnih (budućih) situacija s ekstremnim razinama mora. Također, preporuča se korištenje reanalize atmosferskog modela (pouzdaniji od prognostičkog modela) od onog trenutka kad takav model postane dostupan.

2. Unapređenje oceanografskog modela

- Pouzdanost oceanografskog modela dominantno je vezana uz pouzdanost atmosferskog forsiranja, ali i uz pouzdanost batimetrijskih podataka. Predlaže se redovita novelacija oceanografskog modela svakih 6 godina u korištenje pouzdanijih batimetrskih podataka, podataka iz dodatnog monitoringa razina mora i novih podataka iz atmosferskog modela.

3. Analizirati utjecaj visoko-frekventnih oscilacija razine mora na ekstremno visoke razine mora.

- Najviša poznata razina mora na Jadranu nije se desila uslijed proučavanih olujnih uspora unutar ovog Projekta već zbog meteorološkog tsunamija. Meteorološki tsunamiji (šćige) su relativno česta i razorna pojava na Jadranu, a javljaju se u periodima od nekoliko minuta do nekoliko desetaka minuta (najčešće između 10 do 40 minuta). U Veloj Luci je 21. lipnja 1978. godine unutar 7-8 minuta razina mora narasla za čak ~3,0 m. U posljednjih osamdesetak godina opaženo je petnaest slučajeva većih meteoroloških tsunamija na četrnaest lokacija, a najčešće u Veloj Luci (o. Korčula), u Starom Gradu (o. Hvar) i na otoku Istu ¹⁴.
- Kod budućih istraživanja ekstremnih razina mora na Jadranu, predlaže se analiza i modeliranje visokih razina mora uslijed meteoroloških tsunamija. Za to istraživanje potrebno je osigurati mareografske podatke s inkrementom od 1 min te podatke iz atmosferskog modela (vjetar na 10 m i srednji tlak na razini mora) istog inkrementa (1 minuta) za forsiranje oceanografskog modela. U slučaju nedostatka rezultata atmosferskog modela odgovarajuće vremenske

¹⁴ Leder N., Domijan N., Mihanović H., Mlinar M., Čupić S., Lakoš M., Filipović V., Orlić M., Pasarić M. i Međugorac I.: Poplave mora na probalnim područjima, Hrvatski hidrografski institut, Split, 2013.

rezolucije, procjene opasnosti mogu se izraditi i korištenjem idealiziranih simulacija.

4. Nadopuna ekstremnih razina mora novim maregrafskim podacima.

- Klimatske promjene utječu na porast srednje razine mora, a median procjena porasta srednje razine za Jadransko more iznosi ~60 cm do 2100. godine. Predlaže se redovito osvježanje proračuna srednjih i ekstremnih razina mora svakih 6 godina uz korištenje nadopunjenih vremenskih nizova s mareografa.
- Sinoptičko (atmosfersko) forsiranje je dodatni element koji određuje ekstremne razine mora, a koji je također pod utjecajem klimatskih promjena. U slučaju više događaja u atmosferi koji formiraju ekstremne razine mora, oni će se pozitivno superponirati na izdizanje srednje razine mora. Kako bi se ocijenio utjecaj i promjenjivost sinoptičkog (atmosferskog) forsiranja, predlaže se provedba redovitih analiza svakih 6 godina uz korištenje nadopunjenih vremenskih nizova s mareografskih postaja i oceanografskih plutača.

5. Modeliranje opasnosti u priobalnim područjima od složenih poplava

- Modeliranje poplava mora u području prijelaznih voda u Projektu provedeno je samo za ekstremne razine mora (uz standardne pokazatelje malih voda s kopna za procjenu prodora saliniteta). Područja prijelaznih voda i urbana područja ugrožena su kako od olujnih uspora i vjetrovnih valoka tako i od velikih riječnih dotoka i intenzivnih oborina. Isključivanje kombinacije dva ili više uzroka, koji se mogu dogoditi istovremeno ili uzastopce, može podcijeniti opasnost od poplava na nekom području (Bevacqua i sur., 2019; Bermúdez i sur., 2019).
- U narednim analizama UPRIMO projekta, predlaže se za područja prijelaznih voda i za veća urbana područjima provesti proračun opasnosti od složenih poplava. U izračun opasnosti od složenih poplava treba uključiti rad sustava za obranu od poplava kao i rad sustava za odvodnju oborinskih voda pri različitim kombinacijama i vjerojatnostima događaja, kao na primjer:
 - ekstremni olujni uspor i umjerene oborine,
 - istovremena pojava olujnog uspora i jakih oborina u zaobalju (koja može povećati razinu vode u priobalnim rijekama i uzrokovati poplave),
 - umjereni olujni uspor koji ne uzrokuje poplavu, ali može spriječiti slobodno istjecanje oborinskih voda.
- Metodologiju i izračun opasnosti od sploženih poplava potrebno je prvo definirati na nacionalnoj razini te je zatim primijeniti za analizu rizika za najugroženija obalna područja.

(prazna stranica)

9 Literatura

Arabelos, D. N., Papazachariou, D. Z., Contadakis, M. E., Spatalas, S. D. (2011.): A new tide model for the Mediterranean Sea based on altimetry and tide gauge assimilation, *Ocean Science*, 7, str. 429-444.

Bednorz, E., Polrolniczak, M., Tomczyk, M. A. (2021.): Regional circulation patterns inducing coastal upwelling in the Baltic Sea, *Theoretical and Applied Climatology*, 144, str. 905-916.

Bekić, D., Halkijević, I., Gilja, G., Lončar, G., Potočki, K., Carević, D. (2019): Primjeri trendova u sustavima gospodarenja vodama pod utjecajem naprednih tehnologija, *Građevinar* 71 (10), str. 833-842 doi:10.14256/JCE.2728.2019.

Bekić, D., Bašić, K., Kulić, T., Bunić, D., Sekovanić, L., Šlehta, T., Tošić, I. (2019): Operativni sustav „MuraDrava-FFS“ kao pomoć pri upravljanju dravskim hidroelektranama za vrijeme velikih voda, *Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode*, str. 133-142.

Berbić, J., Ocvirk, E., Carević, D., Lončar, G. (2017.): Application of neural networks and support vector machine for significant wave height prediction, *Oceanologia*, 59 (3), str. 331-349

Bermúdez, M., Cea, L. and Sopelana, J., 2019. Quantifying the role of individual flood drivers and their correlations in flooding of coastal river reaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 33(10), pp.1851-1861.

Bevacqua, E., Maraun, D., Hobæk Haff, I., Widmann, M. and Vrac, M., 2017. Multivariate statistical modelling of compound events via pair-copula constructions: analysis of floods in Ravenna (Italy). *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6), pp.2701-2723.

Bevacqua, E., Maraun, D., Voudoukas, M.I., Voukouvalas, E., Vrac, M., Mentaschi, L. and Widmann, M., 2019. Higher probability of compound flooding from precipitation and storm surge in Europe under anthropogenic climate change. *Science advances*, 5(9), pp.eaaw5531.

Bhuiyan, M. J. A. N., & Dutta, D. (2012). Assessing impacts of sea level rise on river salinity in the Gorai river network, Bangladesh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 219-227.

Bretschneider, C., L. (1952.): The generation and decay of wind waves in deep water, *Trans. Am. Geophys. Union*, 33(3), str. 381-389.

Brzović, N. (1999.): Factors affecting the Adriatic cyclone and associated windstorms, *Contributions to Atmospheric Physics*, str. 72, 51-65.

Brzović, N., Strelec-Mahović, N. (1999.): Cyclonic activity and severe jugo in the Adriatic, *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 24, str. 653-657.

Bubalo, M, Janekovic, I, Orlić, M. (2018.): Chrystal and Proudman resonances simulated with three numerical models, *Ocean Dynamics*, 68, 497-507.

- Cai, H., Savenije, H. H., & Toffolon, M. (2012). A new analytical framework for assessing the effect of sea-level rise and dredging on tidal damping in estuaries. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9).
- Carrasco, A. R., Ferreira, Ó., & Roelvink, D. (2016). Coastal lagoons and rising sea level: A review. *Earth-Science Reviews*, 154, 356-368.
- Cavaleri, L. (2000.): The oceanographic tower Acqua Alta — activity and prediction of sea states at Venice, *Coastal Engineering*, 39(1), str. 29-70.
- Cavaleri, L., Malanotte-Rizzoli (1981.): Wind wave prediction in shallow water: Theory and application, *Journal of Geophysical Research*, 86 (C11), str. 10961-10973.
- Cavaleri, L., Bajo, M., Barbariol, F., Bastianini, M., Benetazzo, A., Bertotti, L., Chiggiato, J., Davolio, S., Ferrarin, C., Magnusson, L., Papa, A., Pezzutto, P., Pomaro, A., Umgiesser, G. (2019): The October 29, 2018 storm in Northern Italy – An exceptional event and its modeling, *Progress in Oceanography*, 178, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.102178>.
- Cavaleri, L., Bajo, M., Barbariol, F., Bastianini, M., Benetazzo, A., Bertotti, L., Chiggiato, J., Ferrarin, C., Trincardi, F., Umgiesser, G. (2020.): The 2019 flooding of Venice and its implications for future predictions, *Oceanography*, 33, 42-49. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.105>
- Chen, Y., Qiao, S., Zhang, G., Xu, Y. J., Chen, L., & Wu, L. (2020). Investigating the potential use of Sentinel-1 data for monitoring wetland water level changes in China's Momoge National Nature Reserve. *PeerJ*, 8, e8616.
- Chen, W. B., Liu, W. C., & Hsu, M. H. (2015). Modeling assessment of a saltwater intrusion and a transport time scale response to sea-level rise in a tidal estuary. *Environmental Fluid Mechanics*, 15(3), 491-514.
- Chua, V. P., & Fringer, O. B. (2011). Sensitivity analysis of three-dimensional salinity simulations in North San Francisco Bay using the unstructured-grid SUNTANS model. *Ocean Modelling*, 39(3-4), 332-350.
- Cordoneanu, E., Geleyn, J.F. (1998.): Application to local circulation above the Carpathian-Black Sea area of a NWP-type meso-scale model, *Contributions to Atmospheric Physics*, 71, str. 191-212.
- Courtier, P.C., Freydier, J.F., Geleyn, F., Rochas, M. (1991.): The ARPEGE project at METEO-FRANCE, *Proceedings from the ECMWF workshop on numerical methods in atmospheric models*, str. 193-231.
- Couasnon, A., Eilander, D., Muis, S., Veldkamp, T.I., Haigh, I.D., Wahl, T., Winsemius, H. and Ward, P.J., 2019. Measuring compound flood potential from river discharge and storm surge extremes at the global scale and its implications for flood hazard. *Natural Hazards and Earth System Sciences*
- Courty, L. G., Soriano-Monzalvo, J. C., & Pedrozo-Acuña, A. (2019). Evaluation of open-access global digital elevation models (AW3D30, SRTM, and ASTER) for flood modelling purposes. *Journal of Flood Risk Management*, 12, e12550.
- Cui, X., Liu, H., Fan, M., Ai, B., Ma, D., & Yang, F. (2021b). Seafloor habitat mapping using multibeam bathymetric and backscatter intensity multi-features SVM classification framework. *Applied Acoustics*, 174, 107728.

Cui, X., Yang, F., Wang, X., Ai, B., Luo, Y., & Ma, D. (2021a). Deep learning model for seabed sediment classification based on fuzzy ranking feature optimization. *Marine Geology*, 432, 106390.

Degnan, J. J. (2016). Scanning, multibeam, single photon lidars for rapid, large scale, high resolution, topographic and bathymetric mapping. *Remote Sensing*, 8(11), 958.

Denamiel, C., Šepić, J., Ivanković, D., Vilibić, I. (2019.): The Adriatic Sea modelling suite: Evaluation of the meteotsunami forecast component, *Ocean Modelling*, 135, str. 71-93.

Dević, T., Šepić, J., Koračin, D. (2021): The northern and the eastern Adriatic Sea floods: connecting the extreme sea levels to cyclone pathways, *EGU21-8201 vPICO*, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-8201.html>

Diesing, M., Mitchell, P., & Stephens, D. (2016). Image-based seabed classification: what can we learn from terrestrial remote sensing?. *ICES Journal of Marine Science*, 73(10), 2425-2441.

Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike

Donelan, M.,A. (1977.): *A simple numerical model for wave and wind stress prediction*, National Water Research institute manuscript, Berlington, Canada, 28 str.

Dyer, K. R. (1973.). *Estuaries: a physical introduction*.

Ervin, D. A., Bekić, D., Glasson, L. (2007): Vulnerability of two estuaries to flooding and salinity intrusion, *Water Science and Technology-Water Supply* 7 (2), pp 125-136, doi:10.2166/ws.2007.047.

Evagorou, E., Mettas, C., Agapiou, A., Themistocleous, K., & Hadjimitsis, D. (2019). Bathymetric maps from multi-temporal analysis of Sentinel-2 data: The case study of Limassol, Cyprus. *Advances in Geosciences*, 45, 397-407.

Fernandez-Montblanc, T., Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Ciavola, P. (2020.): A Pan-European high resolution storm surge hindcast, *Environment International*, 135, 105367.

Frederick, C., Villar, S., & Michalopoulou, Z. H. (2020). Seabed classification using physics-based modeling and machine learning. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 148(2), 859-872.

Ganguli, P. and Merz, B., 2019. extreme coastal Water Levels exacerbate fluvial flood Hazards in northwestern europe. *Scientific reports*, 9(1), pp.1-14.

Geyer, W. R., & MacCready, P. (2014.). The estuarine circulation. *Annual review of fluid mechanics*, 46, 175-197.

Gašparović, M., & Singh, S. K. (2020). Spatio-temporal salinity monitoring of the ghaghara river using landsat time-series imagery and multiple regression analysis. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 43.

Gernez, P., Palmer, S. C., Thomas, Y., & Forster, R. (2021). remote sensing for aquaculture. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1258.

GFZ (2004.): *Studija vjetrovalne klime za grad Rovinj*, Zagreb.

GFZ (2007.): *Izrada matematičkog i fizikalnog modela valovanja i strujanja za gradsku Luku Split - Elaborat vjetrovalne klime*, Zagreb.

GFZ (2007.): *Vjetrovalna klima i numerička analiza deformacije valova u akvatoriju lučice Komiža za potrebe SUO*, Zagreb.

GFZ (2010.): *Studija vjetrovalne klime i režima strujanja mora za projekt Mala blata – Zablacé*, Zagreb.

GFZ (2011.): *Vjetrovalna klima za dubokovodno područje ispred lučice Kuje*, Zagreb.

GFZ (2018.): *Studija vjetrovalne klime i valnih deformacija za potrebe uređenja akvatorija uvale Kupari*, Zagreb.

GFZ, IZOR-Split, IRB-CIM-Rovinj, HHI-Split (2009.): *Ministarstvo zaštite okoliša prostornog uređenja i graditeljstva - Projekt zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području, IBRD 7226/HR, dio C1: Jačanje sustava za nadzor kakvoće priobalnih voda, konzultantske usluge za MZOPUG/M-C-1, Program praćenja stanja Jadranskog mora - Konačno izvješće*

Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), 1298.

Griffith-Charles, C., & Sutherland, M. (2020). 3D cadastres for densely occupied informal situations: Necessity and possibility. *Land use policy*, 98, 104372.

Haddout, S., & Maslouhi, A. (2018). One-Dimensional hydraulic analysis of the effect of sea level rise on salinity intrusion in the Sebou estuary, Morocco. *Marine Geodesy*, 41(3), 270-288.

Hansen, D. V., & Rattray Jr, M. (1966.). New dimensions in estuary classification 1. *Limnology and oceanography*, 11(3), 319-326.

He, W., Zhang, J., Yu, X., Chen, S., & Luo, J. (2018). Effect of runoff variability and sea level on saltwater intrusion: a case study of Nandu River Estuary, China. *Water Resources Research*, 54(12), 9919-9934.

Hendry, A., Haigh, I., Nicholls, R., Winter, H., Neal, R., Wahl, T., Joly-Laugel, A. and Darby, S., 2019. Assessing the characteristics and drivers of compound flooding events around the UK coast. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, pp.3117-3139.

Hong, B., & Shen, J. (2012). Responses of estuarine salinity and transport processes to potential future sea-level rise in the Chesapeake Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 104, 33-45.

Hooijer, A., & Vernimmen, R. (2021). Global LiDAR land elevation data reveal greatest sea-level rise vulnerability in the tropics. *Nature communications*, 12(1), 1-7.

van den Hurk, B., van Meijgaard, E., de Valk, P., van Heeringen, K.J. and Gooijer, J., 2015. Analysis of a compounding surge and precipitation event in the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 10(3), p.035001.

Hydroexpert (2005.): *Studija vjetrovne i valne klime ispred luke Zadar – Gaženica*, Zagreb.

Hydroexpert (2007.): *Trajektno pristanište Perna - Analiza hidrodinamičkih karakteristika s vjetrovalnom klimom, kritičnim smjerovima i projektnim valovima*, Zagreb.

Hydroexpert (2010.): *Luka nautičkog turizma "Marina-Novi Vinodolski" maritimna studija: Knjiga 1: Studija valne klime*, Zagreb.

Hydroexpert (2012.): *Studija vjetrovalne klime i matematički model morskih valova za novu marinu Terra Istriana Umag*, Zagreb.

Hydroexpert (2012.): *Studiju i prognoza dugoročne vjetrovalne klime za dubokovodno područje ispred luke Senj*, Zagreb.

Hydroexpert (2012.): *Studija deformacija valova u akvatoriju luke Rab numeričkom analizom*, Zagreb.

Hydroexpert (2013.): *Wind and wave climate Port of Rijeka – Zagreb pier*, Zagreb.

Hydroexpert (2016.): *Studija dinamike mora za akvatorij Mošćenička Draga*, Zagreb.

Hydroexpert (2017.): *Studija i modeliranje dinamike mora za postojeće i projektno stanje proširenja luke Susak*, Zagreb.

Hydroexpert (2018.): *Analiza valnih deformacija za potrebe uređenja i dogradnje luke Krk*, Zagreb.

Hydroexpert (2018.): *Studija vjetrovalne klime i valnih deformacija za potrebe izgradnje trajektnog pristaništa Mrtvaška*, Zagreb.

Hercbach, H., Janssen, P., A., E. (1999.): *Improvement of the short-fetch behavior in the Wave Ocean Model (WAM)*, J. Atmos and Ocean Tech., 16, str. 884-892.

Holthuijsen, L., N., Booij, Herbers, T., H. (1989.): *A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents*, Coastal Engineering, 13, str. 23-54.

Holthuijsen, L.H. (2007.): *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge University Press, 387 str.

Hrvatske vode (2019.): *Prethodna procjena rizika od poplava 2018. - Plan upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. - Upravljanje rizicima od poplava*, Hrvatske vode, 165 str.

Ivatek-Sahdan, S., Tudor, M. (2004.): *Use of high-resolution dynamical adaptation in operational suite and research impact studies*, Meteorol. Z., 13, str. 99-108.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 str.

Janeković, I., Bobanović, J., Kuzmić, M. (2003.): *The Adriatic Sea M2 and K1 tides by 3D model and data assimilation*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 57(5-6), str. 873-885.

Janeković, I., Mihanović, H., Vilibić, I., Tudor, M. (2014.): *Extreme cooling and dense water formation estimates in open and coastal regions of the Adriatic Sea during the winter of 2012*, Journal of Geophysical Research, 119, str. 3200–3218.

Janssen, P., A., E., M. (1989.): Wave induced stress and drag of airflow over sea waves, *Journal of Physical Oceanography*, 19, str. 745-754.

Janssen, P., A., E., M. (1991.): Quasi-linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting, *Journal of Physical Oceanography*, 21, str. 1631-1642.

Janssen, P., A., E., M. (1992): Experimental evidence of the effect of surface waves on the airflow, *Journal of Physical Oceanography*, 22, str. 1600-1604.

Janssen, P., A., E., M. (1998): On the effect of ocean waves on the kinetic energy balance and consequences for the initial dissipation technique, *Journal of Physical Oceanography*, 30, str. 1743-1756.

Johnson, H., K. (1998.): On modeling wind-waves in shallow and fetch limited areas using method of Holthuijsen, Booij and Herbers, *Journal of Coastal Research*, 14(3), 917-932.

Johnson, H., K., Kofoed-Hansen (2000.): Influence of bottom friction on sea surface roughness and its impact on shallow water wind wave modeling, *Journal of Physical Oceanography*, 30, str. 1743-1756.

Kahma, K., K., Calkoen, C., J., (1992.): Reconciling discrepancies in the observed growth of wind – generate waves, *Journal of Physical Oceanography*, 22(12), str. 1389-1405.

Katalinić, M. (2019): Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 131 str.

Kew, S.F., Selten, F.M. and Hazeleger, W., 2013. The simultaneous occurrence of surge and discharge extremes for the Rhine delta. *Natural hazards and earth system sciences*, 13(8), p. 2017.

Kirwan, M. L., Guntenspergen, G. R., D'Alpaos, A., Morris, J. T., Mudd, S. M., & Temmerman, S. (2010). Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. *Geophysical research letters*, 37(23).

Komolafe, A. A., Adegboyega, S. A. A., & Akinluyi, F. O. (2015). A review of flood risk analysis in Nigeria. *American journal of environmental sciences*, 11(3), 157.

Krvavica, N. (2016). One-dimensional numerical model for layered shallow water flow in highly stratified estuaries (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering in Rijeka).

Krvavica, N., Lončar, G., Oskoruš, D., Ružić, I. (2021.b) Prilog unapređenju sustava hidroloških mjerenja prijelaznih voda: Hidraulička i spektralna analiza protoka na rijeci Neretvi. *Hrvatske Vode*, 29 (118), 255-274.

Krvavica, N., Mofardin, B., Ružić, I., Ožanić, N. (2012.). Mjerenje i analiza zaslanjivanja na ušću Rječine. *Građevinar*, 64(11.), 923-933.

Krvavica, N. (2016.): Jednodimenzijski numerički model uslojenog toka plitkih voda u izrazito uslojenim ušćima, Doktorski rad, Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka.

Krvavica, N., Travaš, V., Ožanić, N. (2016.). A field study of interfacial friction and entrainment in a microtidal salt-wedge estuary. *Environmental fluid mechanics*, 16(6), 1223-1246.

Krvavica, N., Kožar, I., Travaš, V., Ožanić, N. (2017.a). Numerical modelling of two-layer shallow water flow in microtidal salt-wedge estuaries: Finite volume solver and field validation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65(1), 49-59.

Krvavica, N., Travaš, V., Ožanić, N. (2017.b). Salt-wedge response to variable river flow and sea-level rise in the Microtidal Rječina River Estuary, Croatia. *Journal of coastal research*, 33(4), 802-814.

Krvavica, N., Ružić, I. (2020.). Assessment of sea-level rise impacts on salt-wedge intrusion in idealized and Neretva River Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 234, 106638.

Krvavica, N., Gotovac, H., Lončar, G. (2021.a). Salt-wedge dynamics in microtidal Neretva River estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 43, 101713.

Komen, G., J., Cavaleri, M., Donelan, K., Hasselman, S., Hasselman, K., Janssen, P., A., E., M. (1994.): *Dynamic of modeling of ocean surface waves*, Cambridge university press, Cambridge, 532 str.

Kuang, C., Chen, W., Gu, J., Zhu, D. Z., He, L., & Huang, H. (2014). Numerical Assessment of the Impacts of Potential Future Sea-Level Rise on Hydrodynamics of the Yangtze River Estuary,

Kumbier, K., Carvalho, R.C., Vafeidis, A.T., Woodroffe, C.D., 2018. Investigating compound flooding in an estuary using hydrodynamic modelling: a case study from the Shoalhaven River, Australia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 18, pp.463–477.

Kušpilić, G., Precali, R. (2010.): *biološka kakvoća prijelaznih voda – klasifikacija prijelaznih voda (ekološki status)*. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Centar za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković.

Lamb., H. (1932): *Hydrodynamic*, 6th edn, Dover publications, New York, pp738.

Lavaud, L., Bertin, X., Martins, K., Arnaud, G., Bouin, M. (2020.): The contribution of short-wave breaking to storm surges: The case Klaus in the Southern Bay of Biscay, *Ocean Modelling*, 156, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2020.101710>

Leitão, J. P., & De Sousa, L. M. (2018). Towards the optimal fusion of high-resolution Digital Elevation Models for detailed urban flood assessment. *Journal of Hydrology*, 561, 651-661.

Li, J., Knapp, D. E., Schill, S. R., Roelfsema, C., Phinn, S., Silman, M., ... & Asner, G. P. (2019). Adaptive bathymetry estimation for shallow coastal waters using Planet Dove satellites. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111302.

Li, M., Chen, Z., Finlayson, B., Wei, T., Chen, J., Wu, X., ... & Wang, M. (2015). Water diversion and sea-level rise: potential threats to freshwater supplies in the Changjiang River estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 156, 52-60.

Lian, J.J., Xu, K. and Ma, C., 2013. Joint impact of rainfall and tidal level on flood risk in a coastal city with a complex river network: a case study of Fuzhou City, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(2), p.679.

Liu, M., Liu, X., Liu, D., Ding, C., & Jiang, J. (2015). Multivariable integration method for estimating sea surface salinity in coastal waters from in situ data and remotely sensed data using random forest algorithm. *Computers & geosciences*, 75, 44-56.

Liu, Z., Wang, H.V., Zhang, Y., Magnusson, L., Loftis, J.D., Forrest, D. (2020.): Cross-scale modeling of storm surge, tide, and inundation in Mid-Atlantic Bight and New York City during Hurricane Sandy, 2012, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 233, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106544>.

Ljubenkovi, I., & Vranješ, M. (2012.). Numerički model uslojenog tečenja-primjer zaslanjivanja korita rijeke Neretve (2004.). *Građevinar*, 64(02.), 101-112.

Ljubenkovi, I. (2013.). Zaslanjivanje ušća rijeke Jadro—mjerenje i hidrodinamičko modeliranje. *Hrvatske vode*, 21(85), 225-234.

Ljubenkovi, I. (2015.). Hydrodynamic modeling of stratified estuary: case study of the Jadro River (Croatia). *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(1), 29-37.

Lončar, G., Leder, N., Duplančić Leder, T., Carević, D. (2019a.): Wave Energy Disbalance as Generator of Extreme Wave Occurrence in Semi-Enclosed Coastal Waters (Example of Rijeka Bay—Croatia), *J. Mar. Sci. Eng.*, 7, 420, 15 str.

Lončar, G., Krvavica, N., Gotovac, H., Oskoruš, D., & Kulić, T. (2020.). Numerička analiza djelovanja brane na sprječavanje prodora slane vode duž korita rijeke Neretve. *Hrvatske vode*, 28(112), 113-124.

Lončar, G., Šreng, Ž., Miličević, H., Ostojić, S. (2019b.): Increase of wave height due to transition in wind direction – example: Rijeka bay, *Electronic journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek - e-GFOS*, 18, str. 57-70

Lončar, G., Carević, D., Ocvirk, E., (2011.): Numerical and physical modelling studies for the port of Split”, *Proceedings of the institution of civil engineers-maritime engineering*, 164 (3), str. 95-114

Lončar, G., Ocvirk, E., Andročec, V. (2010a.): Usporedba modeliranih i mjerenih površinskih vjetrovnih valova”, *Građevinar*, 62(3), str. 45-55.

Lončar, G., Ocvirk, E., Kunštek, D. (2010b.): Numerical analysis of significant wave height of 5-year return period in the southern Adriatic, *Tehnički vjesnik*, 17 (4), str. 389-395.

Lončar, G., Ocvirk, E., Andročec, V. (2010c.): Analiza generiranja površinskih vjetrovnih valova u kanalskom području istočnog Jadrana, *Hrvatske vode*, 18 (72), str. 117-128.

Lozano, C. J., Candela, J. (1995.): The M2 tide in the Mediterranean Sea: Dynamic analysis and data assimilation, *Oceanologia Acta*, 18, str. 419-441.

Mahgoub, M., Hinkelmann, R., & La Rocca, M. (2015). Understanding the behaviour of gravity currents in tideless estuaries and considering the impact of sea level rise within the Nile Estuary. *Journal of Coastal Research*, 31(3), 714-722.

Marcos, M., Tsimplis, M. N., Shaw, A. G. P. (2009.): Sea level extremes in southern Europe, *Journal of Geophysical Research*, 114, C01007.

Markham, B. L., & Helder, D. L. (2012). Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review. *Remote Sensing of Environment*, 122, 30-40.

Matsui, K., Shirai, H., Kageyama, Y., & Yokoyama, H. (2021). Improving the resolution of UAV-based remote sensing data of water quality of Lake Hachiroko, Japan by neural networks. *Ecological Informatics*, 62, 101276.

Medellín, G., Brinkkemper, J.A., Torres-Freyermuth, A., Appendini, C.M., Mendoza, E.T., Salles, P. (2016.): Run-up parameterization and beach vulnerability assessment on a barrier island: a downscaling approach, *Nat. Hazards Earth Syst.*, 16, str. 167–180.

Medvedev, I. P., Vilibić, I., Rabinovich, A. B. (2020): Tidal resonance in the Adriatic Sea: Observational Evidence, *Journal of Geophysical Research – Oceans*, 125, e2020JC016168, <https://doi.org/10.1029/2020JC016168>.

Međugorac, I. (2018): Izuzetno visoki vodostaji u sjevernom Jadranu i nagib morske razine u smjeru istok-zapad, *Doktorski rad*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, 105 str.

Međugorac, I., Pasarić, M., Orlić, M. (2015): Severe flooding along the eastern Adriatic coast: the case of 1 December 2008, *Ocean Dynamics*, 65, str. 817-830.

Međugorac, I., Pasarić, M., Pasarić, Z., Orlić, M. (2016): Two recent storm-surge episodes in the Adriatic, *International Journal of Safety and Security Engineering*, 6(3), str. 589–596.

Međugorac, I., Orlić, M., Janeković, Pasarić, Z., Pasarić, M. (2018): Adriatic storm surges and related cross-basin sea-level slope, *Journal of Marine Systems*, 181, str. 79-90.

Miles, O., M.: (1957.): On the generation of surface waves by shear flows, *Journal of Fluid Mechanics*, 3, str. 185-204.

Moftakhari, H.R., Salvadori, G., AghaKouchak, A., Sanders, B.F. and Matthew, R.A., 2017. Compounding effects of sea level rise and fluvial flooding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(37), pp.9785-9790.

Moftakhari, H., Schubert, J.E., AghaKouchak, A., Matthew, R.A. and Sanders, B.F., 2019. Linking statistical and hydrodynamic modeling for compound flood hazard assessment in tidal channels and estuaries. *Advances in water resources*, 128, pp.28-38.

Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N., & Ghazali, A. H. B. (2017). Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1080-1102.

Monteys, X., Harris, P., Caloca, S., & Cahalane, C. (2015). Spatial prediction of coastal bathymetry based on multispectral satellite imagery and multibeam data. *Remote Sensing*, 7(10), 13782-13806.

Nazarnia, H., Nazarnia, M., Sarmasti, H., & Wills, W. O. (2020). A systematic review of civil and environmental infrastructures for coastal adaptation to sea level rise. *Civil engineering journal*, 6(7), 1375-1399.

Noh, S. J., Lee, J. H., Lee, S., Kawaike, K., & Seo, D. J. (2018). Hyper-resolution 1D-2D urban flood modelling using LiDAR data and hybrid parallelization. *Environmental Modelling & Software*, 103, 131-145.

Ocvirk, E. (2010.): *Disertacija*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 229 str.

Olbert, A.I., Comer, J., Nash, S. and Hartnett, M., 2017. High-resolution multi-scale modelling of coastal flooding due to tides, storm surges and rivers inflows. A Cork City example. *Coastal Engineering*, 121, pp.278-296.

Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, Sebesvari, Z. (2019.): *Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities*. U: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (urednici.)].

Othmani, A., Bejaoui, B., Chevalier, C., Elhmaidi, D., Devenon, J. L., Aleya, L. (2017.): High-resolution numerical modelling of the barotropic tides in the Gulf of Gabes, eastern Mediterranean Sea (Tunisia), *Journal of African Earth Sciences*, 129, str. 224–232.

Paprotny, D., Morales-Nápoles, O. and Jonkman, S.N., 2018a. HANZE: a pan-European database of exposure to natural hazards and damaging historical floods since 1870. *Earth System Science Data*, 10(1), pp.565-581.

Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Nápoles, O. and Jonkman, S.N., 2018b. Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. *Nature communications*, 9(1), pp.1985.

Park, S. H., Jung, H. S., Lee, M. J., Lee, W. J., & Choi, M. J. (2019). Oil spill detection from PlanetScope satellite image: application to Oil spill Accident near Ras Al Zour area, Kuwait in august 2017. *Journal of coastal Research*, 90(SI), 251-260.

Pasarić, M., Orlić, M. (2001.): Long-term meteorological preconditioning of the North Adriatic coastal floods, *Continental Shelf Research*, 21, str. 263-278.

Pasarić, M., Pasarić, Z., Orlić, M. (2000.): Response of the Adriatic Sea level to the air pressure and wind forcing at low frequencies (0.01–0.1 cpd), *Journal of Geophysical Research*, 105, str. 11423-11439.

Phillips, O., M. (1957.): On the generation of waves by turbulent wind, *Journal of Fluid Mechanics*, 2, str. 417-445.

Peng, F., & Deng, X. (2020). Validation of Sentinel-3A SAR mode sea level anomalies around the Australian coastal region. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111548.

Perini, L., Calabrese, L., Lorito, S., & Luciani, P. (2015, February). Coastal flood risk in Emilia-Romagna (Italy): the sea storm of February 2015. In *Coastal and Maritime Mediterranean Conference*, Edition (Vol. 3, pp. 225-230).

Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. (NN 66/2016)

Polli, S. (1959.): *La propagazione delle maree nell'Adriatico*. IX Convegno della Associazione Geofisica Italiana, Associazione Geofisica Italiana, Roma, 1959, str. 1–11.

Prandle, D., & Lane, A. (2015). Sensitivity of estuaries to sea level rise: vulnerability indices. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 160, 60-68.

Projekt BEACHEX (2019.-2022.): Održiva gradnja plaža – gradnja novih i povećanje kapaciteta postojećih plaža (HRZZ, šifra projekta: PZS-2019-02-3081), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Lancaster Environment Centre - Lancaster University.

Pugh, D.T. (1996.): Tides, surges and mean sea-level (reprinted with corrections), Chichester, UK. John Wiley & Sons, Ltd., 486 str.

Rice, K. C., Hong, B., & Shen, J. (2012). Assessment of salinity intrusion in the James and Chickahominy Rivers as a result of simulated sea-level rise in Chesapeake Bay, East Coast, USA. *Journal of Environmental Management*, 111, 61-69.

Ross, A. C., Najjar, R. G., Li, M., Mann, M. E., Ford, S. E., & Katz, B. (2015). Sea-level rise and other influences on decadal-scale salinity variability in a coastal plain estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 157, 79-92.

Sammari, C., Koutitonsky, V. G., & Moussa, M. (2006.): Sea level variability and tidal resonance in the Gulf of Gabes, Tunisia, *Continental Shelf Research*, 26(3), 338–350.

Serafin, K.A., Ruggiero, P. and Parker, K., 2019. What's streamflow got to do with it? A probabilistic simulation of the competing oceanographic and fluvial processes driving extreme along-river water levels. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp.19.

Seneviratne, S.I., Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang, 2012: Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp.109-230.

Shaha, D. C., Cho, Y. K., & Kim, T. W. (2013). Effects of river discharge and tide driven sea level variation on saltwater intrusion in Sumjin River estuary: an application of finite-volume coastal ocean model. *Journal of Coastal Research*, 29(2), 460-470.

Shchepetkin, A.F., McWilliams, J. C. (2005.): The Regional Oceanic Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate ocean model, *Ocean Modelling*, 9, str. 347-404.

Shchepetkin, A.F., McWilliams, J. C. (2009.): Korekcije i komentari na "Ocean forecasting in terrain-following coordinates: formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system" (Haidvogel i sur., *Journal of Computational Physics*, 227, str. 3595–3624.), *Journal of Computational Physics*, 228, str. 8985-9000.

Sopelana, J., Cea, L. and Ruano, S., 2018. A continuous simulation approach for the estimation of extreme flood inundation in coastal river reaches affected by meso-and macrotides. *Natural Hazards*, 93(3), pp.1337-1358.

Stanev, E.V., Grashorn, S. & Zhang, Y. (2017.): Cascading ocean basins: numerical simulations of the circulation and interbasin exchange in the Azov-Black-Marmara-Mediterranean Seas system, *Ocean Dynamics*, 67, 1003-1025.

Svensson, C. and Jones, D.A., 2004. Dependence between sea surge, river flow and precipitation in south and west Britain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8 (5), pp.973-992.

Sverdrup, H., V., Munk, W., H. (1946.): Empirical and theoretical relations between wind, sea and swell, *Trans. Am. Geophys. Union*, 27, str. 823-827.

Šepić, J., Vilibić, I., Strelec Mahović, N. (2012.): Northern Adriatic meteorological tsunamis: Observations, links to the atmosphere, and predictability, *Journal of Geophysical Research*, 117, C02002, doi: 10.1029/2011JC007608.

Šepić, J., Međugorac, I., Janeković, I., Dunić, N., Vilibić, I. (2016.): Multi-meteotsunami event in the Adriatic Sea generated by atmospheric disturbances of 25-26 June 2014, *Pure and Applied Geophysics*, 173(12), str. 4117-4138.

Šepić, J., Pasarić, M., Međugorac, I., Vilibić, I., Karlović, M., Mlinar, M. (2021.): Climatology and process-oriented analysis of the Adriatic sea-level extremes, *EGU21-4090 vPICO*.

Tawn, J. A. (1992.): Estimating probabilities of extreme sea-levels, *Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)*, 41(1), str. 77-93.

Tawn, J. A., Vassie, J. M. (1989.): Extreme sea levels: the joint probabilities method revisited and revised, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 2(87), str. 429-442.

Thomson, R. E., Emery, W. J. (2014.): *Data analysis methods in physical oceanography*, 3. izdanje, 728 str., New York: Elsevier.

Tian, R. (2019). Factors controlling saltwater intrusion across multi-time scales in estuaries, Chester River, Chesapeake Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 223, 61-73.

Tran, T. V., Tran, D. X., Myint, S. W., Huang, C. Y., Pham, H. V., Luu, T. H., & Vo, T. M. (2019). Examining spatiotemporal salinity dynamics in the Mekong River Delta using Landsat time series imagery and a spatial regression approach. *Science of the total environment*, 687, 1087-1097.

Trincardi, F., Barbanti, A., Bastianini, M., Benetazzo, L., Cavaleri, L., Chiggiato, J., Papa, A., Pomaro, A., Sclavo, M., Tosi, L., Umgiesser, G. (2016.): The 1966 flooding of Venice: What time taught us for the future, *Oceanography*, 29(4), str. 178-186.

Trzcinska, K., Janowski, L., Nowak, J., Rucinska-Zjadacz, M., Kruss, A., von Deimling, J. S., ... & Tegowski, J. (2020). Spectral features of dual-frequency multibeam echosounder data for benthic habitat mapping. *Marine Geology*, 427, 106239.

Tsimplis, M. N., Blackman, D. (1997.): Extreme sea-level distribution and return periods in the Aegean and Ionian Seas, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44(1), str. 79-89.

Tsimplis, M. N., Proctor, R., Flather, R. A. (1995.): A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 100(C8), 16223-16239.

- Tsz Yeung Leung, A., Stronach, J., & Matthieu, J. (2018). Modelling Behaviour of the Salt Wedge in the Fraser River and Its Relationship with Climate and Man-Made Changes. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(4), 130.
- van Maanen, B., & Sottolichio, A. (2018). Hydro-and sediment dynamics in the Gironde estuary (France): sensitivity to seasonal variations in river inflow and sea level rise. *Continental Shelf Research*, 165, 37-50.
- Uuemaa, E., Hughes, A. O., & Tanner, C. C. (2018). Identifying feasible locations for wetland creation or restoration in catchments by suitability modelling using light detection and ranging (LiDAR) digital elevation model (DEM). *Water*, 10(4), 464.
- Vilibić, I., Šepić, J. (2009.): Destructive meteotsunamis along the eastern Adriatic coast: Overview, *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, str. 904-917.
- Vilibić, I., Šepić, J., Rabinovich, A. B., Monserrat, S. (2016a.): Modern approaches in meteotsunami research and early warning, *Frontiers in Marine Science*, 3:57, doi: 10.3389/fmars.2016.00057.
- Vilibić, I., Mihanović, H., Janeković, I., Šepić, J. (2016b.): Modelling the formation of dense water in the northern Adriatic: sensitivity studies, *Ocean modelling*, 101, str. 17-29.
- Vilibić, I., Mihanović, J., Janeković, I., Denamiel, C., Poulain, P.-M., Orlić, M., Dunić, N., Dadić, V., Pasarić, M., Muslim, S., Gerin, R., Šepić, J., Mauri, E., Kokkini, Tudor, M., Kovač, Džoić, T. (2018.): Wintertime dynamics in the coastal northeastern Adriatic Sea: the NadEx 2015 experiment, *Ocean Science*, 14, str. 237-258.
- Vilibić, I., Šepić, J., Pasarić, M., Orlić, M. (2017.): The Adriatic Sea: A long-standing laboratory for sea level studies, *Pure and Applied Geophysics*, 174, str. 3765-3811.
- Vojtek, M., & Vojteková, J. (2016). Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1973-1992.
- Vousdoukas, M. I., L. Mentaschi, E. Voukouvalas, M. Verlaan, Feyen, L. (2017.): Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts, *Earth's Future*, 5, str. 304–323.
- Wahl, T., Jain, S., Bender, J., Meyers, S.D. and Luther, M.E., 2015. Increasing risk of compound flooding from storm surge and rainfall for major US cities. *Nature Climate Change*, 5(12), pp.1093-1097.
- Ward, P.J., Couasnon, A., Eilander, D., Haigh, I.D., Hendry, A., Muis, S., Veldkamp, T.I., Winsemius, H.C. and Wahl, T., 2018. Dependence between high sea-level and high river discharge increases flood hazard in global deltas and estuaries. *Environmental Research Letters*, 13(8), p.084012.
- White, J. C., Woods, M., Krahn, T., Papisodoro, C., Bélanger, D., Onafrychuk, C., & Sinclair, I. (2021). Evaluating the capacity of single photon lidar for terrain characterization under a range of forest conditions. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112169.
- Wierzbicki, D., Matuk, O., & Bielecka, E. (2021). Polish cadastre modernization with remotely extracted buildings from high-resolution aerial orthoimagery and airborne LiDAR. *Remote Sensing*, 13(4), 611.

Wu, W., McInnes, K., O'grady, J., Hoeke, R., Leonard, M. and Westra, S., 2018. Mapping dependence between extreme rainfall and storm surge. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(4), pp.2461-2474.

Yang, Z., Wang, T., Voisin, N., & Copping, A. (2015). Estuarine response to river flow and sea-level rise under future climate change and human development. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 156, 19-30.

Zhang, X., Hegerl, G., Seneviratne, S., Stewart, R., Zwiers, F. and Alexander, L., 2014. WCRP grand challenge: Understanding and predicting weather and climate extremes. Tech. rep., World Climate Research Program, White Paper.

Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016a.): Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, str. 64-81.

Zhang, Y., Priest, G.R., Allan, J., Stimely, L. (2016b.) Benchmarking an unstructured-grid model for tsunami current modeling, *Pure and Applied Geophysics*, 173, doi: 4075-4087.

Zhang, Y., Giardino, C., & Li, L. (2017). Water optics and water colour remote sensing. *Remote Sensing*, 9(8), 818.

Zhao, J., Temimi, M., & Ghedira, H. (2017). Remotely sensed sea surface salinity in the hyper-saline Arabian Gulf: Application to landsat 8 OLI data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 187, 168-177.

Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B.J., Seneviratne, S.I., Ward, P.J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D.N., Leonard, M., Wahl, T. and Zhang, X., 2018. Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), pp.469-477.

10 Prilozi

10.1 Prilog 1 - Kratka uputstva za instalaciju i korištenje modela SCHISM, modela SWAN i modela STREAM-1D

10.1.1 Model SCHISM

Model radi u linux okruženju. Na elektronskom mediju je priložen direktorij „SELFE“. Potrebno je otvoriti command window. U command windowu je potrebno doći u direktorij „/SELFE/schism/src“ te napisati naredbe:

`make clean`

`make pschism`

Kao rezultat ovoga kreirat će se exe datoteka „pschism_VEPAR_GNU_VL“. Ova datoteka nalazi se u „/SELFE/schism/src“ direktoriju.

U poddirektoriju „/SELFE/schism“ priložen je pripadni User manual u vidu pdf datoteke pod nazivom „SCHISM_v5.9-Manual.pdf“.

Za pokretanje modela potrebno je otići u „SELFE/VEPAR1“ direktorij.

Modelu su za uspješno provođenje potrebni:

- exe datoteka
- batimetrijske datoteke (diffmax.gr3, diffmin.gr3, drag.gr3, hgrid.gr3)
- datoteka s atmosferskim forsiranjem (UVP_direct.nc)
- datoteka s rubnim uvjetima (bctides.in)
- datoteka s koordinatama postaja za koje će se ispisivati detaljni vremenski nizovi (station.in)
- konfiguracijska datoteka (param.nml)

Sve potrebne datoteke, osim exe datoteke, nalaze se na elektronskom mediju. Exe datoteku je, kako je već navedeno, potrebno kompajlirati, tako da radi na dostupnom računalu. Za uspješnu provedbu modelskih simulacija potrebno je u konfiguracijskoj datoteci (param.nml) promijeniti početno vrijeme simulacije (kako bi plimne oscilacije bile korektno reproducirane), sukladno ispod priloženoj slici.

```
! Starting time
start_year = 2000 !int
start_month = 1 !int
start_day = 1 !int
start_hour = 0 !double
utc_start = 8 !double

!-----
! Coordinate option: 1: Cartesian; 2: lon/lat (hgrid.gr3=hgrid.ll in this case,
! and orientation of element is outward of earth)
! Notes for lon/lat: make sure hgrid.ll and grid in sflux are consistent in
! longitude range!
!-----
ics = 2 !Coordinate option
```

Nadalje, potrebno je modelu zadati odgovarajuću datoteku s atmosferskim forsiranjem. Ako, primjerice, želimo model forsirati sa situacijom iz Prosinca 2019, potrebno je prije pokretanja modela napisati naredbu:

```
cp UVP_direct_October_2018.nc UVP_direct.nc
```

Na elektronskom mediju su priložene *.nc datoteke za sve odrađene simulacije. Ove datoteke su dobivene iz datoteka outputa ALADIN modela koje su bile priložene s prethodnim izvještajem (datoteke tipa „HR22_20121019_06+10“).

Naposljetku, model se pokreće sa:

```
mpirun -np XY ../SELFE/schism/src/pschism_VEPAR_GNU_VL X1Y1 > log &
```

gdje je XY broj jezgri koje se koriste u slučaju vrtnje modela na više jezgri, X1Y1 broj dodatnih procesa.

Rezultati modela spremaju se u direktorij „SELFE/VEPAR1/outputs/“

Vremenski nizovi po postajama zapisani su u datotekama staout_X, gdje X ide od 1 do 9; i to ovim redom:

staout_1 – razina mora

staout_2 – tlak zraka

staout_3 – x-komponenta brzine vjetra

staout_4 – y-komponenta brzine vjetra

staout_5 – temperatura

staout_6 – salinitet

staout_7 – x-komponenta morske struje

staout_8 – y-komponenta morske struje

staout_9 – z-komponenta morske struje

Prostorna polja zapisana su u datotekama out2d_X.nc, gdje X ide od 1 do 4 (za simulaciju trajanja 10 dana).

Polja maksimalnih razina i struja zapisana su u datotekama maxelev_XY (elevacije) i maxdahv_XY (struje), gdje XY ide od 1 do broja korištenih jezgri. Ova polja je prije daljnje

analize potrebno objediniti. Objedinjenje se vrši u direktoriju „SELFE/VEPAR1/“ upisivanjem naredbe:

[staza/SELFE/ schism/src/Utility/Combining_Scripts/combine_gr3](#)

(gdje “staza” predstavlja stazu do direktorije SELFE; a skriptu combine_gr3 je potrebno prethodno kompajlirati za izvođenje na dostupnom računalu)

Nakon čega je potrebno odgovoriti na upit „Input file name“ sa:

(1) Ako želimo kombinirati maksimalne razine mora

[maxelev](#)

te na upit „Input # of scalar fields“: sa

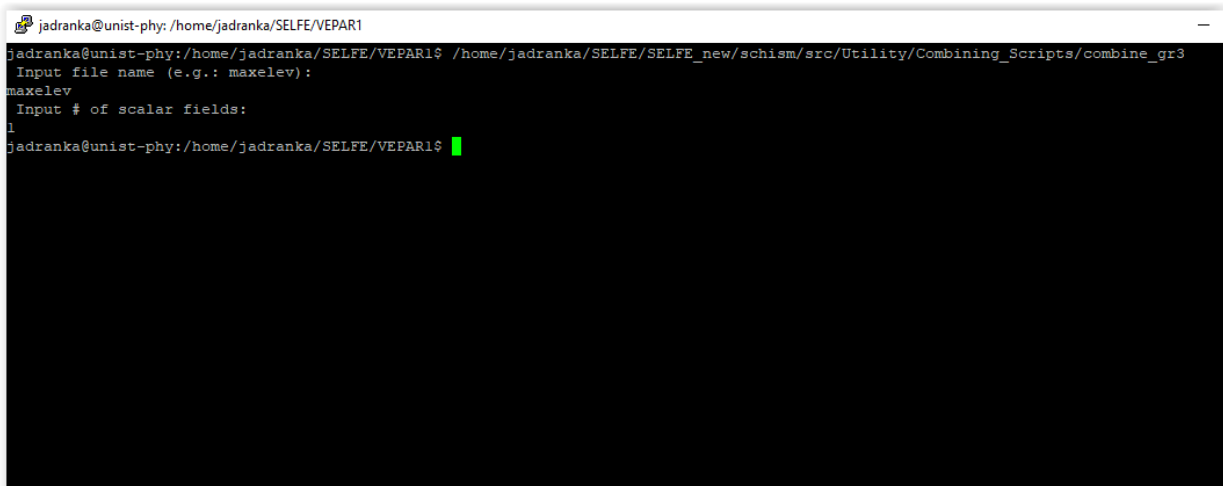
1

(2) Ako želimo kombinirati maksimalne struje

[maxdahv](#)

te na upit „Input # of scalar fields“: sa

3



```
jadranka@unist-phy: /home/jadranka/SELFE/VEPAR1
jadranka@unist-phy: /home/jadranka/SELFE/VEPAR1$ /home/jadranka/SELFE/SELFE_new/schism/src/Utility/Combining_Scripts/combine_gr3
Input file name (e.g.: maxelev):
maxelev
Input # of scalar fields:
1
jadranka@unist-phy: /home/jadranka/SELFE/VEPAR1$
```

Ovim se dobivaju sve potrebne izlazne datoteke koje se kasnije mogu obrađivati odgovarajućim programima, primjerice MATLAB-om. Potrebni kodovi za obrađivanje datoteka u MATLAB-u nalaze se u direktoriju /SELFE/VEPAR1/Vis_Matlab/

Ako će se za prikaz podataka koristiti MATLAB, potrebno je u MATLAB-u ući u direktorij “SELFE/VEPAR1/Vis_Matlab/”.

Ilustrativni primjer kako dobiti slike je dan u skripti “plot_grid_output.m” koja se pokreće unošenjem naredbe:

[plot_grid_output](#)

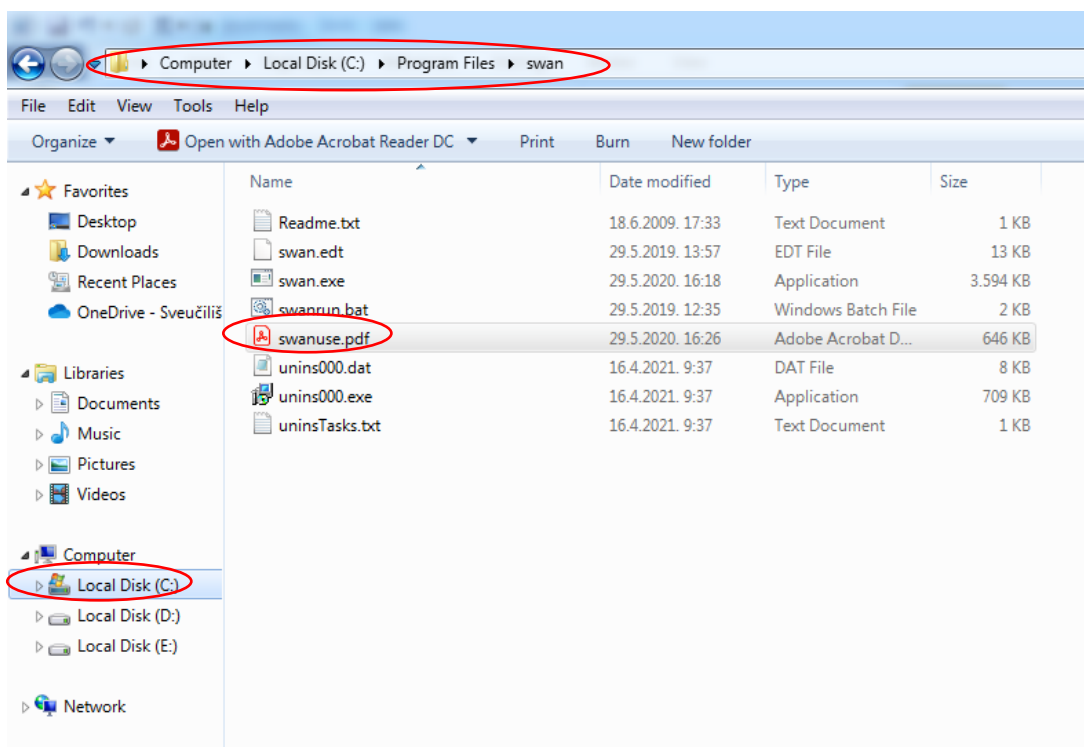
u komandnom prozoru MATLAB-a.

Napominjemo da će izvršavanje MATLAB koda rezultirati slikama za cijelu domenu modela, a ne samo za hrvatske teritorijalne vode.

10.1.2 Model SWAN

Na elektronskom mediju je priložena instalacijska datoteka „setup-SWAN-41.31A-omp.exe“. Nakon aktiviranja te datoteke program će se instalirati na particiji C, a u direktoriju „Program Files“ kreirati će se poddirektorij „swan“. U poddirektoriju „swan“ naći će se i pripadni User manual u vidu pdf datoteke pod nazivom „swanuse.pdf“.

Za paralelan rad na svim procesorima računala potrebno je u poddirektorij (folder) „swan“ dodatno uložiti i datoteku „libiomp5md.dll“, a koju isporučujemo zajedno sa modelima.



Generalno , model radi u stacionarnom ili nestacionarnom modu, te koristi strukturirane proračunske mreže (regularne – pravokutne ćelije sa konstantnim duljinama stranica ΔX i ΔY ; „Curvilinear“ – poligonske ćelije približno pravokutnog oblika sa varijabilnim duljinama stranica ΔX i ΔY) ili nestrukturirane proračunske mreže (trokutne ćelije). Maksimalni broj ćelija je 500 000.

Model se uspostavlja pisanjem odgovarajućih naredbi u nekom od programa za tekstualno procesiranje (NotePad, WordPad, Word ...). Tekstualnoj datoteci sa naredbama na kraju se treba promijeniti ekstenzija u „swn“.

Na elektronskom mediju, u direktoriju „SWAN_UNSTUCT“, poddirektorij „Modeli_UNSTRUCT“ priložene su datoteke modela (tzv. „Control files“).

U nastavku je dan prikaz tekstualnog dijela kontrolne datoteke sa ekstenzijom „swn“ (model) i komentarima uloge pojedine naredbe. Za proširenje spoznaje korisnik se upućuje na pripadni „User manual“ u vidu pdf datoteke pod nazivom „swanuse.pdf“ (direktorij „swan“). Prikaz je dan za slučaj primjene nestrukturirane proračunske mreže (trokutni elementi) sa kojom je pokriveno cijelo područje Jadrana.

\$ ime projekta i broja simulacije, nebitno ali se mora upisati

PROJ " " " "

\$ ako želimo povećanje razine mora za npr. 0.3m (DIFOLT = 0m)

SET LEVEL 0.30

\$ ako zelimo postaviti Nautičku konvenciju za vjetar i valove

SET NAUTICAL

\$ za izbor stacionarnosti i dimenzionalnosti modela

MODE STATIONARY TWODIMENSIONAL

\$ izbor vrste proračunske mreže (strukturirana ili nestrukturirana)

\$ za triangularnu mrežu samo CGRID UNSTRUC

\$ diskretizacija spektralne domene nakon naredbe "CIRCLE"

\$ 360 stupnjeva u 72 dijela (5°), min f (0.05 Hz), max f (1 Hz) i broj "binova"

CGRID UNSTRUC CIRCLE 72 0.05 1.00 32

\$ za slučaj UNSTRUC proračunske mreže (Adcirc, Triangle ili Easymesh)

\$ odabrano Adcirc (jedna datoteka sa mrežom i dubinama u čvorovima)

\$ odgovarajuća datoteka „fort.14“ je priložena u direktoriju „Modeli UNSTRUCT“

READGRID UNSTRUC ADCIRC

\$ za učitavanje nehomogenog 2D polja vjetra

\$ polje vjetra je u ovom slučaju definirano na regularnoj mreži (oznaka REGULAR)

\$ Koordinate ishodišta regularne mreže za polje vjetra u HTRS su 162584.0 i 4436320.0

\$ Rotacija regularne mreže za polje vjetra je 0.0 (upisano nakon koordinata ishodišta)

\$ Broj ćelija regularne mreže za polje vjetra je 5 u X i 5 u Y smjeru (nakon 0.0)

\$ Duljina stranice ćelije regularne mreže u X smjeru je 129723.6 m

\$ Duljina stranice ćelije regularne mreže u Y smjeru je 134708.4 m

INPGRID WIND REGULAR 162584.0 4436320.0 0.0 5 5 129723.6 134708.4

\$ „txt“ datoteke sa poljima vjetra dane su u direktoriju „Modeli UNSTRUCT“

\$ Iza WIND daje se koeficijent skaliranja vrijednosti brzine vjetra u datoteci (usvojeno 1)

\$ nakon imena datoteke sa poljem vjetra oznaka 1 ukazuje da se podaci učitavaju redoslijedno, počevši od gornjeg lijevog ruba

\$ nakon toga oznaka 0 ukazuje da u datoteci polja vjetra nema „header“ linija

READINP WIND 1. 'ime_datoteke_vjetra.txt' 1 0 FREE

\$ deklariranje početnih uvjeta (default – prema Kahma and Calkoen (1992))

INITIAL DEFAULT

\$ izbor generacije modela valnog generiranja (izbor je 3 → 3. generacija)

\$ za autora formulacije „white capping“ procesa odabire se Janssen,

\$ usvajaju se parametri 2.5 i 0.5 (default 4.5 i 0.5)

GEN3 JANSSEN 2.5 0.5

\$ izbor elemenata fizike procesa

\$ ako je prethodno naveden GEN3, automatski se uzima WIND, WCAP, QUAD

\$ ako nešto želimo izbaciti potrebno je napisati npr. OFF QUAD

\$ utjecaj loma valova induciranog plićinom uzima se naredbom BREAKING,

\$ a default parametri su $\alpha = 1$; $\gamma = 0.73$

\$ utjecaj trenja sa dnom uzima se naredbom FRICTION (nije uzeto u obzir)

\$ utjecaj turbulentne disipacije uzima se naredbom TURBULENCE (nije uzeto u obzir)

\$ utjecaj „set-up“ uzima se naredbom SETUP (samo sa strukturiranim mrežama !)

\$ utjecaj „obstacle“ uzima se naredbom OBSTACLE (nije uzeto u obzir)

\$ utjecaj difrakcije uzima se naredbom DIFFRACTION (nije uzeto u obzir)

\$ utjecaj trijada uzima se naredbom TRIADS (nije uzeto u obzir)

BREAKING CONSTANT 1.0 0.73

\$ izbor proračunskih parametara i uvjeta konvergencije (99.5 – točnost ; STAT-broj iteracija)

NUMERIC STOPC 0.005 0.01 0.005 99.5 STAT 50 0.0 DIRIMPL 0.5

\$ izbor forme izlaznih rezultata (broj decimala i broj ispisa rezultata u jednom redu)

\$ broj decimala je difoltno 4 (obično premalo); broj rezultata u jednom redu je difoltno 6

\$ za broj decimala je odabrano 8

\$ za broj rezultata u jednom redu je odabrano 1

OUTPUT OPTIONS BLOCK 8 LEN 1

\$ izlazna – rezultatna datoteka sa koordinatama X,Y, te Hs, Tp i smjerom valova

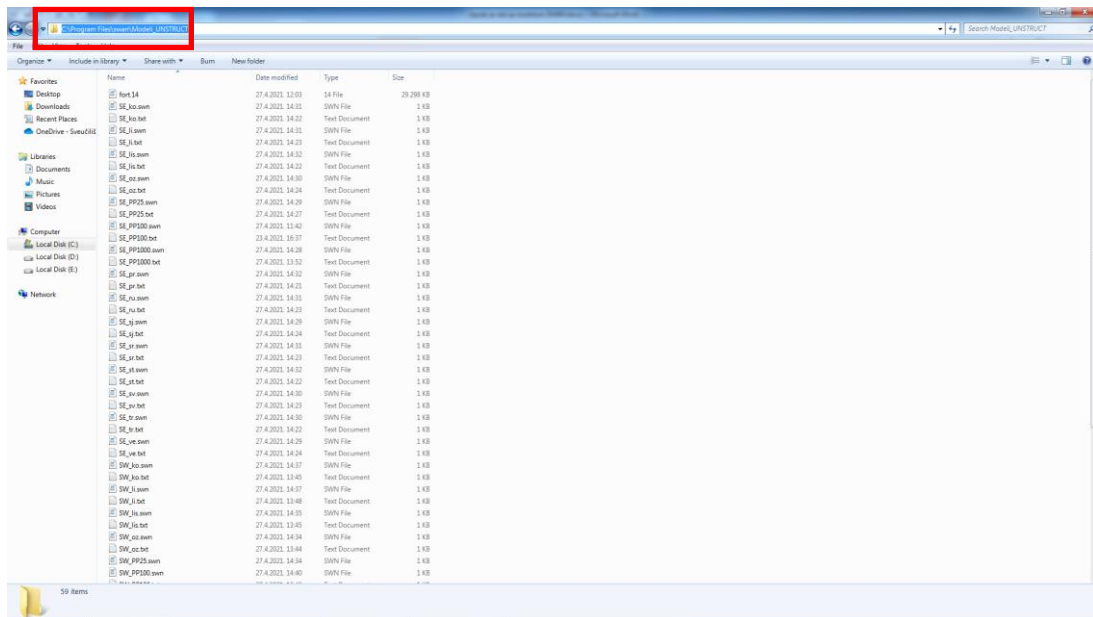
BLOCK 'COMPGRID' NOHEADER 'Ime_rezultatne_datoteke.dat' XP YP HS RTP DIR

COMPUTE

STOP

Na elektronskom mediju, u direktoriju „SWAN_UNSTRUCT“, poddirektorij „Modeli_UNSTRUCT“, priložene su i datoteke u kojima se nalaze podaci o odgovarajućim poljima vjetra (Wx i Wy komponente brzine vjetra)

Kako bi se proveli proračuni za prethodno uspostavljene modele (tzv. „Control files“) potrebno je u direktorij „swan“ kopirati direktorij „Modeli_UNSTRUCT“. Za aktiviranje proračuna potrebno je otvoriti „Command prompt“, i to kao „Run as Administrator“. Sa „copy“ se kopira lokacija sa kompjutera na kojoj se nalazi direktorij sa SWAN modelima (tzv. „Control files“ - „IME_MODELA.swn“ datoteke).



U „Command prompt“ prozoru se upisuje „cd i razmak“, te se kopira (paste) prethodno kopirana putanja (C:\Program Files\swan\Modeli_UNSTRUCT). Nakon toga treba dodatno upisati:

swanrun Ime_modela (Pazi ! bez dodatne ekstenzije „swn“).

Nakon pritiska na Enter pokreće se modelska simulacija.

```

Administrator: Command Prompt - swanrun SE_li
Microsoft Windows [Version 10.0.19043.1165]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\WINDOWS\system32>cd C:\Program Files\swan\SWAN_UNSTRUCT\Modeli_vjetar_UNSTRUCT
C:\Program Files\swan\SWAN_UNSTRUCT\Modeli_vjetar_UNSTRUCT>swanrun SE_li

SWAN is preparing computation

Number of threads during execution of parallel region = 4

iteration 1
not possible to compute accuracy, first iteration

iteration 2
accuracy OK in 14.52 % of wet grid points ( 99.50 % required)

iteration 3
accuracy OK in 0.01 % of wet grid points ( 99.50 % required)

iteration 4
accuracy OK in 4.22 % of wet grid points ( 99.50 % required)

iteration 5
accuracy OK in 2.41 % of wet grid points ( 99.50 % required)

iteration 6
accuracy OK in 3.36 % of wet grid points ( 99.50 % required)

iteration 7

```

Nakon provedbe proračuna u direktoriju „Modeli_UNSTRUCT“ kreirati će se rezultatne datoteke „Ime_modela.dat“.

Obzirom na specifičnosti formata izlaznih datoteka (rezultata proračuna), a za lakšu daljnju manipulaciju podacima i prikaz u GIS sučelju ili nekom drugom post-procesing sučelju, dodatno je napravljena i programska skripta u Pythonu (priložena datoteka u folderu „SWAN_UNSTRUCT“ pod nazivom „obrada_rezultata_SWAN_UNSTRUCT.py“). Primjenom priložene Python skripte na izlaznu - rezultatnu datoteku iz modela SWAN („Ime_modela.dat“) generiraju se dvije nove datoteke. Prva je „txt“ formata, koja ima „header“ u prvoj liniji te nastavno prikazane rezultate u 5 kolona: X, Y koordinata proračunskog čvora (HTRS96), Hs (m), Tp (s), smjer valovanja (⁰). Vrijednosti u kolonama odijeljene su zarezom. Druga je „xyz“ formata, bez „header“ linije, sa nastavno prikazanim rezultatima u 5 kolona: X, Y koordinata proračunskog čvora (HTRS96), Hs (m), Tp (s), smjer valovanja (⁰). Vrijednosti u kolonama odijeljene su samo mjestom razmaka.

Dobivene datoteke „txt“ se uvlače u GIS preglednik kao „Delimited text“, te se konvertiraju u točkaste vektorske slojeve. Iz točkastih vektorskih slojeva se kreiraju rasterski slojevi sa prostornim korakom od 200m u X i 200m u Y smjeru (TIN interpolacija), pojedinačno za polja Hs, Tp i smjera valovanja. Iz dobivenih rastera za Hs, Tp i smjer valovanja se dodatno ekstrahiraju („klipaju“) samo oni rezultati koji pripadaju teritorijalnom moru RH, a što se radi primjenom vektorskog sloja „More.shp“. Na kraju se rasteri „Tp“ podvrgavaju dodatnoj obradi filtracije sa alatom „Resampling filter“ (za „scale factor“ usvojena je vrijednost 10).

10.1.3 Model STREAM-1D

10.1.3.1 Instalacija STREAM 1D računalnog programa

Računalni program STREAM-1D priložen je na elektronskom mediju u mapi „STREAM-1D“, podmapa „STREAM-1D_model“. Ovaj program je također javno dostupan i na GitHub platformi s koje se može slobodno preuzeti i instalirati na osobno računalo (<https://github.com/NKrvavica/STREAM1D>). Ovaj računalni program (komprimirana datoteka) sastoji se od sljedećih Python datoteka:

- *stream.py*
- *stream_geometry.py*
- *swe_two_steady.py*
- *roe.py*
- *analytic_eig.py*
- *interfacial_friction.py*

Sve navedene datoteke potrebno je raspakirati u osnovni direktorij (primjerice *D:/VEPAR/Programi/Stream1d/*). S obzirom da je bitno da se python skripte i proračunske datoteke nalaze u istom direktoriju ne preporuča se program instalirati u „*C:/Program Files/*“,

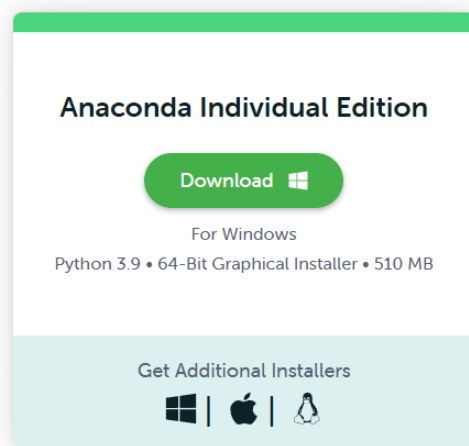
već u neki direktorij u kojem korisnik ima sve potrebne dozvole za kreiranje i brisanje novih poddirektorija i datoteka.

10.1.3.2 Preuvjeti za pokretanje STREAM-1D računalnog programa

Za pokretanje STREAM-1D programa potrebno je prvo instalirati Python programski jezik, verzija 3.6 ili novija. Preporuča se Python instalirati preko Anaconda platforme (<https://www.anaconda.com/>), Individual Edition (Slika 4.1.).

Za pokretanje STREAM-1D program potrebno je instalirati sljedeće python pakete: **numpy**, **scipy**, **numba** i **pandas**. Navedeni paketi instaliraju se pomoću Anaconda Navigatora ili iz prozora komandne linije (*Anaconda prompt*) pomoću naredbi:

```
conda install numpy
conda install scipy
conda install numba
conda install pandas
```



Slika 4.1 Dio web stranice anaconda.com za instalaciju besplatne verzije Anaconda Individual Edition (www.anaconda.com).

U slučaju da Python programski jezik nije instaliran u okviru Anaconda platforme, navedene pakete moguće je instalirati pomoću sljedećih naredbi iz prozora komandne linije (Command prompt):

```
pip install numpy
pip install scipy
pip install numba
pip install pandas
```

10.1.3.3 Pokretanje proračuna i postavke STREAM-1D modela

Proračunska simulacija pomoću STREAM-1D modela pokreće se na sljedeći način:

1. Prvo treba otvoriti prozor komandne linije – *Anaconda Prompt* (ako je instalirana Anaconda) ili *Command prompt (cmd.exe)*.
2. Nakon toga treba otvoriti direktorij u kojem je instaliran STREAM-1D program, odnosno direktorij u kojem se nalazi datoteka *stream.py* te ostale python skripte (primjerice D:/VEPAR/Programi/Stream1d/).
3. STREAM-1D pokreće se sljedećom naredbom:

```
python stream.py ime_direktorija
```

Pritom *ime_direktorija* treba zamijeniti s imenom direktorija svakog pojedinog proračunskog scenarija.

Direktorij *ime_direktorija* sadrži nekoliko tekstualnih datoteka za svaku pojedinu simulaciju/proračun. Za svaki proračun potrebno je kreirati novi poddirektorij proizvoljnog naziva (obično u obliku *imeRijeke_scenarij*). U okviru ovog projekta generirano je 18 direktorija za deset područja prijelaznih voda, što ukupno čini 180 proračunskih direktorija, koji se prilažu na elektronskom mediju.

Svaki proračunski direktorij treba obvezno sadržavati sljedeće datoteke:

- *input_1.txt* (osnovni parametri proračuna)
- *width_profiles* (podaci o poprečnim profilima korita rijeke)
- *initial.txt* (početni uvjet)
- *boundary.txt* (postavke rubnih uvjeta)
- *BC_h2_start.txt* (nizvodni rubni uvjet)
- *BC_q1_end.txt* (uzvodni rubni uvjet)

U nastavku se daje primjer sadržaja datoteke *Input_1.txt* s osnovnim parametrima proračuna uz opis u zagradi (zagrade nisu sastavni dio datoteke).

```
g = 9.8           (ubrzanje sile teže, [m s-2])
r = 0.973        (relativna razlika gustoće)
whichfric = 1    (tip trenja, 1 – Manning, 2 – Darcy Weisbach)
twolayer = 1     (tip proračuna, 0 – jednoslojni sustav, 1 – dvoslojni sustav)
n = 0.021        (Manningov koeficijent hrapavosti, [s m-1/3])
fi_eq = 9        (jednadžba trenja među slojevima, def. u interfacial_friction.py)
vis = 1e-06      (koeficijent kinematičke viskoznosti, [m2s-1])
```

`lstart = 0` (nizvodni rub domene modela u odnosu na ušće, [m])
`lend = 25000` (uzvodni rub domene modela u odnosu na ušće, [m])
`dx = 50` (prostorni korak, [m])
`T = 432000` (ukupno trajanje simulacije, [s])
`dt = 0.9` (CFL broj < 1)
`t_rec = 3600` (vremenski korak u kojem se snimaju rezultati, [s])
`solver = 12` (tip numeričkog solvera, preporuča se uvijek koristiti 12)
`initial = 0` (tip početnog uvjeta, ne mijenjati)

Datoteka *width_profiles* sadrži informacije o poprečnim profilima sljedećeg oblika:

```

15.047154 -8.700000 1.000000
15.047154 -8.600000 8.319917
15.047154 -8.500000 9.599361
15.047154 -8.400000 17.883539
15.047154 -8.300000 24.652019
...
  
```

Ova datoteka sadrži tri stupca odvojena tipkom *Tab*. U prvom stupcu nalazi se udaljenost od ušća u metrima, u drugom stupcu vertikalna koordinata u [m n.m.], dok se u trećem stupcu nalazi širina korita u [m].

Datotekom *initial.txt* definiran je početni uvjet za proračun, a datoteka sadrži četiri redka s podacima o uzdužnom profilu protoka i dubine slojeva slane i slatke vode. Sadržaj datoteke je preopširan za prikaz u okviru ovog dokumenta.

Datotekom *boundary.txt* definirani su rubni uvjeti za proračun, a datoteka ima sljedeći sadržaj:

```

h1_start = 4
h2_start = 11
q1_start = 0
q2_start = 0
h1_end = 0
h2_end = 0
q1_end = 1
q2_end = 0
  
```

Ovim podacima definiran je tip rubnog uvjeta za, redom: visinu gornjeg sloja na nizvodnom rubu domene, visinu donjeg sloja na nizvodnom rubu, protok gornjeg sloja na nizvodnom rubu, protok donjeg sloja na nizvodnom rubu, visinu gornjeg sloja na uzvodnom rubu, visinu donjeg sloja na uzvodnom rubu, protok gornjeg sloja na uzvodnom rubu te protok donjeg

sloja na uzvodnom rubu. Gore dani prikaz je primjer postavke rubnih uvjeta kada zadajemo ukupnu dubinu oba sloja na nizvodnom rubu te protok u gornjem sloju na uzvodnom rubu.

Datotekom *BC_h2_start.txt* definirana je vremenska serija razine slobodnog vodnog lica na nizvodnom rubu domene (u ovom slučaju razina mora na ušću):

```
0      0.6
433000 0.6
```

U prvom stupcu definirano je vrijeme u [s], dok su u drugom stupcu zadane razine slobodnog vodnog lica u [m n.m.]. Stupci su razmaknuti tipkom *Tab*.

Datotekom *BC_q1_end.txt* definirana je vremenska serija protoka u gornjem sloju na uzvodnom rubu domene:

```
0      -175.5
433000 -175.5
```

U prvom stupcu definirano je vrijeme u [s], dok su u drugom stupcu navedeni protoci rijeke u [m^3s^{-1}]. Stupci su razmaknuti tipkom *Tab*. S obzirom da je prostorna domena modela postavljena na način da se ušće nalazi na stacionaži +0,0 m te da stacionaža raste u uzvodnom smjeru, protok slatke vode (koja teče prema ušću) poprima negativne vrijednosti. U tom smislu, sve vrijednosti protoka dane u rezultatima modela imaju isti predznak neovisno o sloju u kojem se nalaze (negativne vrijednost protoka – uzvodni smjer, pozitivne vrijednosti protoka – nizvodni smjer).

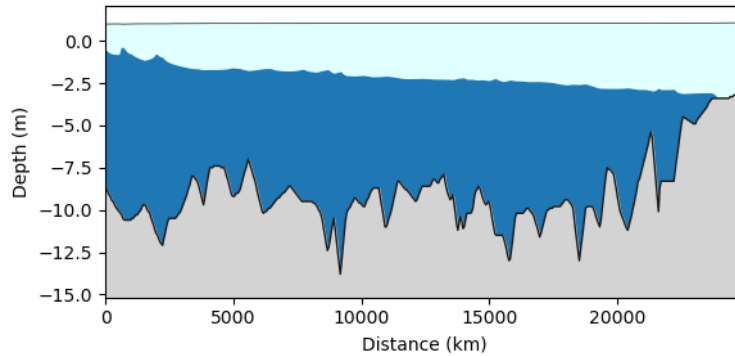
10.1.3.4 Rezultati STREAM-1D modela

Rezultati proračuna za svaki pojedini vodotok nalaze se u pripadnim podmapama, primjerice sa putanjom E:\VEPAR\STREAM-1D\STREAM-1D_rezultati\Cetina_maxelev_25\RESULTS.

- *b.csv* niz dubina dna duž korita rijeke, [m n.m.]
- *H1.csv* tablica s debljinama gornjeg sloja, [m]
- *H2.csv* tablica s debljinama donjeg sloja, [m]
- *Q1.csv* tablica s protocima u gornjem sloju, [m^3s^{-1}]
- *Q2.csv* tablica s protocima u donjem sloju, [m^3s^{-1}]
- *TIME.csv* niz vremenskih koraka, [s]
- *U1.csv* tablica s brzinama u gornjem sloju, [m s^{-1}]
- *U2.csv* tablica s brzinama u donjem sloju, [m s^{-1}]
- *x.csv* niz prostornih koraka, [m]
- *initial.txt* zapis svih hidrauličkih parametara u završnom vremenskom koraku u datoteci koja se može koristiti kao početni uvjet za drugu simulaciju

Svi hidraulički parametri (H , Q , U) dani su u obliku tablice gdje stupci predstavljaju prostornu domenu, a redovi vremensku domenu.

Pored prethodno opisanih tekstualnih datoteka s rezultatima proračuna, u glavnom direktoriju nalazi se i slika u PNG formatu koja prikazuje rezultat proračuna u obliku uzdužnog profila oba sloja u završnom vremenskom koraku (slika 4.2).



Slika 4.2 Primjer rezultata proračuna na rijeci Neretvi– uzdužni profil oba sloja u završnom vremenskom koraku, siva boja predstavlja korito, tamno plava boja donji sloj morske vode, a svijetlo plava boja gornji sloj slatke vode.

10.2 Prilog 2 - Izvještaj o održanoj radionici i tečaju za korištenja modela za upravljanje rizicima od poplava mora

10.2.1 Sadržaj tečaja

Dana 14.4.20220. godine u prostorijama Hrvatskih voda u Zagrebu održana je radionica i tečaj za djelatnike Hrvatskih voda za korištenje modela upravljanja rizicima od poplava mora.

Tečaj je u ime Hrvatskih voda otvorio je i vodio doc.dr.sc. Danko Biondić, voditelj projekta od strane Naručitelja.

Od strane izvršitelja tečaj su vodili prof.dr.sc. Goran Ločar sa Sveučilišta u Zagrebu, Građevinski fakultet (ovlaštenik za vođenje projekta od strane Izvršitelja) i doc.dr.sc. Nino Krvavica sa Sveučilišta u Rijeci, Građevinski fakultet.

Tečaj se sastojao od četiri cjeline:

- Uvod u tečaj
- Uspostava modela za procjenu ekstremnih vjetrovnih valova
- Uspostava modela za procjenu utjecaja ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode
- Diskusija

Prije tečaja instalirane su sve potrebne modelske datoteke na lokalno računalo Hrvatskih voda.

Na tečaju je prisustvovalo 25 sudionika.

Nakon završenog tečaja i korisne diskusije, zaključeno je da je model ispunio očekivanja Naručitelja i da je tečaj vrlo uspješno proveden.

10.2.2 Dnevni red tečaja

PROJEKT UNAPRIJEDNJA NEGRAĐEVINSKIH MJERA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA U REPUBLICI HRVATSKOJ – VEPAR
 POTPROJEKT B - Unaprjeđenje studijskih i modelskih osnova za upravljanje rizicima od poplava
 UGOVOR O USLUGAMA Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR),

USPOSTAVA MODELA ZA UPRAVLJANJE RIZICIMA OD POPLAVA MORA
TEČAJ KORIŠTENJA MODELA
DNEVNI RED
Zagreb, 14.04.2022.

11:00 – 11:10	Uvod u tečaj (doc.dr.sc. Danko Biondić, Hrvatske vode)
11:10 – 12:40	Uspostava modela za procjenu ekstremnih vjetrovnih valova (prof.dr.sc. Goran Lončar) <ul style="list-style-type: none"> • Instalacija modela SWAN • Prethodno pripremljene datoteke za primjenu modela SWAN • Upute za korištenje modela SWAN Rezultati modela SWAN i njihova obrada (priprema) za prezentaciju u QGIS sučelju
12:40 – 13:00	Pauza
13:00 - 14:30	Uspostava modela za procjenu utjecaja ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode (doc.dr.sc. Nino Kravica) <ul style="list-style-type: none"> • Preduvjeti za pokretanje STREAM-1D računalnog programa • Instalacija modela STREAM 1D • Prethodno pripremljene datoteke za primjenu modela STREAM-1D • Pokretanje proračuna i postavke STREAM-1D modela • Rezultati modela STREAM-1D i njihova priprema za prezentaciju u QGIS sučelju
14:30 – 15:00	Diskusija

"PROJEKT UNAPRIJEDNJA NEGRAĐEVINSKIH MJERA UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA U REPUBLICI HRVATSKOJ" - VEPAR
 Ukupni iznos projekta (s PDV-om): 250.100.545,00 HRK | EU sredstva: 212.585.463,25 HRK | Razdoblje provedbe projekta: 01.08.2014. - 31.08.2023.
 Fond: Europski fond za regionalni razvoj

10.2.3 Odabrane slike s tečaja







Br.	Ime i prezime	Tvrtka	Telefon	E - mail	Potpis
10	Bojana Ulesaric	HN	01 6309-683	wkucen@onda.hr	
11	DANKO BRONDIĆ	HEVTSKE VODE	01 6309 323	danko_brondic@voda.hr	
12	TONISLAV NOVČEŽ	HEVTSKE VODE	058/938-2103	tnovce@voda.hr	
13	MARIJA SILVARIJA	—	05	marija.silvarija@voda.hr	
14	SKOBODAN OBRADOVIĆ	HRVATSKE VODE	099 3405 288	sobradovic@voda.hr	
15	DARKO BARBARIĆ	HRVATSKE VODE	01 6307582	darko.barbaric@voda.hr	
16	DAVA ŠPARIĆ	HRVATSKE VODE	0307380	dava.sparic@voda.hr	
17	NINO KAVANICA	GRABUŠKI AKVADUK	0915152857	nino.kavica@voda.hr	
18	Goeran Lovcsez	GRAB. FAKULTET ZAGREB	0992199049	golanlovce@voda.hr	
19	SANIJA POLIĆ	HJ	098404497	sanija.polic@voda.hr	
20	MARIJA BARBARIĆ	HRVATSKE VODE	01 6307 482	marija.barbaric@voda.hr	
21	KREŠIMIR LOŽIŠIĆ	HRVATSKE VODE	01/6307774	kresimir.lozic@voda.hr	
22	NATAŠA GECAN	HRVATSKE VODE	01/6307311	natasa.gecan@voda.hr	

Smanjimo rizike od poplaval!

Izjava o sigurnosti: Podpisom ove liste, suglasno/sna sam da se moji podaci prikupljeni u okviru uspjeha provedbe projekta, kontrole, implementiranja i revizije projekta namijenjena nagrađivanim mjerama upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj, Zastita opasnih podataka u RH te nadzor nad prikupljenim obradom i korištenjem osobnih podataka u vezi s obradom osobnih podataka i o slobodnom kretanju takvih podataka te o stvaranju zvanj snage Direktive 95/46/EZ (Opća uredba o zaštiti podataka) i Zakonom o provedbi Opće uredbelNN 42/18).

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj. Sadržaj materijala isključivo je odgovornost Hrvatskih voda.

