

Razvoj modela zasnovanoga na agentima za primjenu u hidraulici okolišnoga i obalnoga inženjerstva

Kulić, Tin

Doctoral thesis / Disertacija

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:237:096059>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Tin Kulić

RAZVOJ MODELA ZASNOVANOGA NA AGENTIMA ZA PRIMJENU U HIDRAULICI OKOLIŠNOGA I OBALNOGA INŽENJERSTVA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.



University of Zagreb
Faculty of Civil Engineering

Tin Kulić

A DEVELOPMENT OF THE AGENT-BASED MODELS FOR THE APPLICATION IN ENVIRONMENTAL AND COASTAL HYDRAULIC ENGINEERING

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Tin Kulić

RAZVOJ MODELA ZASNOVANOGA NA AGENTIMA ZA PRIMJENU U HIDRAULICI OKOLIŠNOGA I OBALNOGA INŽENJERSTVA

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Prof.dr.sc. Goran Lončar

Zagreb, 2024.



University of Zagreb
Faculty of Civil Engineering

Tin Kulić

A DEVELOPMENT OF THE AGENT-BASED MODELS FOR THE APPLICATION IN ENVIRONMENTAL AND COASTAL HYDRAULIC ENGINEERING

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Prof.dr.sc. Goran Lončar

Zagreb, 2024

IZJAVA O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moja doktorska disertacija izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi iste nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Tin Kulić, mag.ing.aedif.

Kulić T.

ZAHVALA

Nekada su riječi premalo za ono što čovjek osjeća na kraju ovakvog životnog poglavlja. Redosljed navođenja ljudi ili grupa, koje su moj put olakšale, jako je teško definirati, zato mi ne zamjerite ako sam nekoga stavio prije, a nekoga kasnije na ovoj listi. Odmah neka se na početku zna da ću biti nimalo služben barem u ovome dijelu teksta.

Iznimna zahvala ide mojim kolegama s posla. Od Zavoda za hidrotehniku, preko kolega s ostalih zavoda, računovodstva, IT službe, spremačica i tako dalje i tako bliže. Ipak, na vrhu ove liste svakako je moja „Prva Savska Bojna“ koja nadilazi ovo formalno „kolega s posla“. Vi ste legendice pa čak i legende. Dosad ste takvi bili i želim da upravo takvi i ostanete.

Iz prethodne kategorije izdvajam svoga mentora, genijalnog tipa i živuću legendu, Sheldona Coopera Zavoda za hidrotehniku, jednog i jedinog profesora Gorana Lončara. Naravno da te neću samo kao mentora pamtiti, već te uistinu smatram prijateljem i čovjekom koji mi je pomogao da se oblikujem u svakom smislu te riječi. Ne mogu izostaviti i svoga stručnog mentora profesora Damira Bekića. Samo ću reći hvala i nadati se da ćemo se koji put još zajedno vraćati iz Štrigove.

E sad, kako se redom prijateljima zahvaliti? Od Strožanca i Splita sve do Zagreba, ima vas jako puno i Bogu hvala na tome. Niste samo iz ovih sela i gradova, ima vas širom Lijepe Naše pa čak i preko granice, ali tko će vas sve nabrojati. Bitno da vas u srcu nosim i da ste tu uz mene. Ipak, moram izdvojiti moga Stolu i svoju zagrebačku obitelj – moja „4 debila u bazenu“ i nije me briga što ovako piše. Nina i Mateo, Nina i Nemeško, Lucija i Klasić, Mirna i Han, Dorica i Domp, Bagi, Barbara, vi jeste i zauvijek ćete biti baš ovo – moja obitelj. U duhu naše ekipe ide jedna rima: *Nikad se ne rastajali, zauvijek se sastajali, zajedno djecu odgajali i mnoge čaše ispijali*. Mislim da je dovoljno prikladna.

Obitelj. Mama, tata, sestra, brat, baka Kata i dida Marin, baka Milica i dida Ante, rodice i rođaci, nećakinje i nećaci, strina, stric, ujo, ujna, valjda nikoga nisam zaboravio. Vi ste tu kao po „defaultu“ pa se podrazumijeva da me uvijek pratite. Ne ne, nikada vas neću gledati kao „default“ vrijednost. Vi ste oni zbog kojih volim i živciram se skoro najviše. Vas prvih dvoje me pratite doslovno oduvijek, vama ne mogu reći dovoljno hvala niti ću ikada to moći jer vi ste oni koji me i dalje guraju. I vjerujte mi, zauvijek ću biti vaš Bibe, čak i s pedeset na leđima. Brat i sestra, to je isto priča za sebe o kojoj bi mogao zaseban doktorat (za svakoga) napisati pa ću samo reći hvala vam i volim vas oboje. Ostali, isto sam vam zahvalan, ali tko će sad to sve pisati...

Koga ostaviti za kraj nego onu zbog koje uistinu volim i postoji? Mojoj Zorici dugujem život i svoj rast u svakom smislu od trenutka otkad sam je upoznao. Nastavi raditi čovjeka od mene, čini mi se da sam na dobrom putu. Sad ispada da nikome ne mogu reći dovoljno hvala, ali ti si uistinu kategorija iznad svih. Znaš najbolje o meni, a doživio si najgore od mene. Trpiš me za što nekad bi bilo dobro da te plate koliko se toga nakupi. Hvala ti do neba i natrag (i još...). Isto toliko te i volim (i još...) i samo nastavimo ovako biti jedno uz drugo.

Svima još jednom zaključno hvala. Sada bi rekao nešto u stilu Gorana Ivaniševića kada je osvojio Wimbledon, ali ipak ću ostati pristojan kao jedan akademski obrazovan građanin. Reći ću samo: „Hvala dragom Bogu!“ Još da doživim da Hajduk postane prvak i to je onda uistinu to. Dotad, idemo dalje za iste pare...

Vaš,
Tiiiiiiiiin

SLUŽBENE ZAHVALE

Ovim se putem želim zahvaliti Hrvatskim vodama, Državnom hidrometeorološkom zavodu, lučkim upravama luka Ploče i Rijeka, Ministarstvu mora, prometa i infrastrukture na dostavljanju traženih podataka te omogućavanju pristupa bazama podataka u Vašem vlasništvu.

Također, želim se zahvaliti DHI Institutu (Hørsholm, Danska) na omogućavanju akademske licence za korištenje DHI MIKE 3 FM, MIKE 21 FM i ECOLab softverskih paketa za vrijeme istraživanja u okviru moje disertacije. Posebna zahvala ide g. Jonasu Brandiju Mortensenu koji je održao petodnevnu edukaciju vezanu uz modeliranje zasnovano na agentima – od razvoja modela do prezentacije rezultata.

Ovo istraživanje financirano je iz sredstava Hrvatske zaklade za znanost u okviru projekta „Razvoj karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“ (DOK 2020-01) i projekta ProtectAS (KK 05.1.1.02.0013).

ACKNOWLEDGEMENTS

The data included in this research were extracted and delivered to the author from the databases of Hrvatske vode, Croatian Meteorological and Hydrological Service, Port of Ploče Authority, Port of Rijeka Authority, Ministry of the Sea, Transport and Infrastructure.

The author is grateful to DHI Hydraulic Institute who enabled the academic licenses for the usage of MIKE 3 FM and ECO Lab modules for conducting the necessary hydrodynamic and agent-based simulations. Also, a special thanks goes to Mr Jonas Brandi Mortensen who was engaged during the 5-day course on the topic of agent-based modelling – from the model development to the final presentation of the obtained results.

This research has been supported by the Croatian Science Foundation (DOK-2020-01) and ProtectAS project (KK 05.1.1.02.0013).

SAŽETAK

Modeliranje zasnovano na agentima (eng. *Agent Based Modelling*, dalje u tekstu: ABM) može se smatrati među inovativnijim pristupima modeliranju prirodnih i društvenih procesa i sustava u kojima se oni odvijaju. ABM kao modelski pristup stavlja fokus na autonomne i interaktivne agente koji predstavljaju određene jedinke s mogućnošću prilagodbe drugim jedinkama ili pak promjenjivom okolišu u kojem se nalaze. Jedna od problematika, koju je moguće sagledati primjenom ABM-a, odnosi se na širenje potencijalno štetnih i invazivnih planktonskih oblika upuštenih brodskim balastnim vodama u lukama Jadranskoga mora. Upravo se ispuštanje balastnih voda ističe kao jedan od najučestalijih puteva unosa invazivnih vrsta u najveći prirodni resurs Republike Hrvatske – Jadransko more. Povoljni geografski položaj Jadranskoga mora kao dijela Sredozemnoga mora najbližega kontinentalnom dijelu Europe utječu na porast pomorskoga prometa i putnika i robe, a dosadašnja su istraživanja pokazala da posljedično dolazi do porasta količine unesene brodske balastne vode. Samim time, u budućnosti se može očekivati i pojačani unos stranih vrsta s potencijalno invazivnim karakterom čije preživljavanje može dovesti do katastrofalnih posljedica za bioraznolikost i gospodarstvo čitavoga priobalnog područja i šire. Ovim su istraživanjem detaljno analizirane karakteristične okolišne situacije pri kojima se javljaju određeni obrasci pronosa modeliranih planktonskih zajednica, odnosno obrasci simuliranoga sekundarnog širenja sadržaja brodske balastne vode ispuštene na određenoj lokaciji unutar luke. Sam pronos analiziran je kroz rezultate numeričkih simulacija združenih kalibriranih i validiranih hidrodinamičkih modela cirkulacije mora i izvornih ABM-a gibanja modeliranih planktonskih frakcija na prostornim domenama širega akvatorijalnog područja luke Ploče i luke Rijeka. U okviru razvijenih ABM-a znanstveni doprinos u odnosu na dosadašnja istraživanja ostvaren je kroz definiranje matematičkih izraza za gibanje planktonskih frakcija vertikalno kroz stupac mora s obzirom na podražaje iz okoliša (3D polje temperature mora i intenzitet svjetlosti na dubini lokacije modelske čestice). Na temelju poveznice na relaciji okolišni uvjeti-obraci pronosa donesen je prijedlog operativnih mjera upravljanja balastnom vodom ukoliko postoji najava uplovljavanja broda koji planira isprazniti balastni tank unutar luke. Operativne mjere odnose se na dojavu plovila o promjeni lokacije ispuštanja ili pak odgodi ispuštanja balastne vode do trenutka nastupanja takvih okolišnih uvjeta da cirkulacija mora neće dovesti do značajnoga sekundarnog raspršenja. Nadalje, u okviru ovoga istraživanja izrađene su smjernice upravljanja brodskim balastnim vodama u koje su integrirane spomenute operativne mjere. Same smjernice opisane su kroz tri faze implementacije (pripremne radnje, operativne mjere, radnje nakon provedbe mjera), a definirane su primarno uzimajući u obzir vladajuće okolišne uvjete u trenutku ispuštanja balastne vode i razdoblju nakon ispuštanja. Pojam okolišnih uvjeta odnosi se na dostupne prognoze meteoroloških, hidroloških i oceanografskih parametara te cirkulaciju mora koja se može očekivati uslijed promjene spomenutih parametara. Kroz smjernice s uključenim operativnim mjerama, donesenima na temelju rezultata simulacija združenog HD modela cirkulacije i ABM-a pronosa, moguće je smanjiti prostorni obuhvat sekundarnog širenja potencijalno invazivnih vrsta unesenih brodskim balastnim vodama.

Ključne riječi: modeliranje zasnovano na agentima, modeliranje cirkulacije mora, upravljanje balastnim vodama, strane vrste, invazivne vrste, okolišni uvjeti, smjernice, operativne mjere

EXTENDED SUMMARY

Almost every scientific or industrial field today longs for an interdisciplinary approach to tackle, analyse and solve the problems at hand. It is clear that many studies designed as a basis for project documentation or any other type of study do not make sense if only the benefit of improving a single part of the observed ecosystem, e.g. through construction measures, is considered. Nowadays, both computational resources as well as modelling techniques and approaches are constantly evolving. Moreover, these resources are the most cost-effective approach for analysing and solving different types of problems. One of these problems is certainly ballast water management and related issues. The discharge of ballast water and the subsequent spread of non-native and potentially invasive species pose a serious threat to the marine environment into which they are introduced. In addition, the above processes can lead to a number of unfavourable consequences for the economy, biodiversity and overall quality of life of a system of which the marine environment is a part.

Among the novel modelling approaches that take into account the interdisciplinarity between research fields, the application of agent-based models (referred to as ABM in the following text) certainly stands out as a tool that can be successfully used for the analysis of various problems. ABM makes it possible to model the dynamics of complex adaptive systems that are characterised by the possibility of self-organisation and create a certain hierarchy between the stakeholders of the modelled system. Such a system consists of autonomous and interactive agents whose behaviour is tracked within the modelled environment. Agents and the environment are two of the three elements that make up any ABM. The third element is the interactions between the agents and the interactions between the agents and the environment. The latter element is represented by the mathematical equations that describe the behaviour of the agents, taking into account the other agents in their environment and the changes in their environment. In general, ABM is applied to topics where it is necessary to take into account the stochasticity of the prevailing processes, objects or individuals that cause changes in the analysed system. These topics therefore range from the analysis of consumer and stock markets to the analysis of ecosystems, biological processes and the modelling of sociological phenomena. As part of this research, ABM has been applied to problems related to coastal engineering. Specifically, ABM has been applied to describe the secondary spread of alien species introduced into harbours via ballast water. An original ABM of planktonic dispersal, coupled with a calibrated 3D hydrodynamic model (hereafter referred to as HD) of sea circulation, was developed to define dispersal patterns as a function of meteorological, hydrological and oceanographic conditions in port areas.

Two Croatian ports (Ploče and Rijeka) were considered in terms of spatial extent, where the field measurements of sea currents and the analysis of available static and dynamic input data were carried out. For each of the areas, a new HD model of the sea current was developed, calibrated and checked against the field measurements. The developed HD models take into account the finite volume method based on the solution of the governing Navier-Stokes equations in the MIKE 3 FM module. A total of four acoustic Doppler current profilers (referred to as ADCPs in the following text) were bottom mounted inside the port area over two measurement periods (two ADCPs per port). The measurements were carried out as part of the project "Development of system for control and protection of ports from introduction of alien species" (ProtectAS) and included the recording of current velocity, sea level dynamics and sea temperature at the depths of the measuring instruments. The time periods of the field measurements correspond to the numerical simulations considered, with the first period being between October 2020

and January 2021 and the second between July and October 2021. The first period is autumn/winter (referred to as A/W in the following text), which covers the oceanographic conditions characterised by the absence of vertical stratification of the sea column. The second period is summer/early autumn (referred to as S/A in the rest of the text), when stratification is present in all parts of the area under consideration. As for the dominant circulation generators, the intense sea currents in both areas are mainly driven by the effect of the wind at the sea-atmosphere boundary. However, for the modelling of the circulation in the port of Ploče area, the effects of the inflow from the Neretva and Baćinska Lakes were taken into account. This was the crucial inclusion of boundary conditions that were neglected in previous studies, especially during the A/W period of the simulation when the highest discharges are expected. Calibration of the HD model was performed for the A/W period and validation for the S/A period by comparing the modelled and measured time series of sea level dynamics as well as the U and V velocity components at different depths and at the locations of the ADCPs. Achieving a satisfactory level of confidence in the HD model ultimately led to the establishment of a solid basis for further analysis of the modelling of the spread of alien species originally introduced into the port area by the ballast water discharge.

The spread of the modelled non-native species after their introduction into the model domains was analysed by coupling the calibrated HD model with an ABM of phyto- and zooplankton movement. In this dissertation, original ABMs were developed to analyse the patterns of horizontal and vertical transport of the modelled plankton fractions that occur as a result of the dynamics of the prevailing meteorological, hydrological and oceanographic conditions. A total of three fractions were modelled, namely diatoms and dinoflagellates (representatives of phytoplankton) and copepods (representatives of zooplankton). The selection of the plankton fractions itself is not random, but one of the results of the ProtectAS project. Based on field samples and laboratory analyses, it was determined that diatoms and dinoflagellates dominate in the phytoplankton samples and copepods in the zooplankton samples in all measurement periods. The movements of the modelled fractions are described by mathematical and logical formulae defined on the basis of previous laboratory studies. ABMs were implemented through the development of MIKE ECO Lab templates with the included ABM Lab module.

Within the developed ABM, a scientific contribution was made compared to previous research by defining mathematical expressions for the movement of plankton fractions vertically through the sea column as a function of environmental stimuli (3D field of sea temperature and light intensity at particle depth). Based on the relationship between the environmental conditions and the current patterns, a proposal is made for operational measures of ballast water management when the arrival of a vessel intending to empty the ballast tank in harbour is announced. The operational measures consist of informing the ship of a change of discharge location or delaying the discharge of ballast water until such environmental conditions occur that the sea circulation does not lead to significant secondary dispersion. In addition, guidelines for the ballast water management of ships have been developed as part of this research, which include the operational measures mentioned above. The guidelines themselves are described in terms of three implementation phases (preparatory measures, operational measures, measures after implementation of the measures) and are primarily determined by taking into account the prevailing environmental conditions at the time of ballast water discharge and the time after discharge based on available forecasts of meteorological, hydrological and oceanographic parameters characterising the circulation field in the port. Through guidelines with operational measures adopted based on the results of simulations of the combined HD circulation model and ABM transport, it is possible to reduce the spatial extent of the secondary spread of potentially invasive species introduced by the ballast water of ships.

Key words: agent-based modelling, sea circulation modelling, ballast water management, non-native species, invasive species, environmental conditions, guidelines, operational measures

Sadržaj

1	UVOD.....	1
2	STANJE ZNANJA PODRUČJA.....	5
2.1	ABM – POLAZIŠTE I OSNOVE, RAZVOJ I PRIMJENA.....	6
2.1.1	Područja primjene ABM-a.....	10
2.2	BALASTNE VODE I ŠETNE VRSTE.....	11
2.2.1	Balastne vode.....	11
2.2.2	Šetne, strane i invazivne vrste.....	16
2.3	MODELIRANJE PRONOSA PLANKTONSKIH OBLIKA.....	21
2.3.1	Važnost hidrodinamičkih modela u modeliranju pronosa morskih organizama u ranom životnom stadiju.....	21
2.3.2	Random walk model.....	22
2.3.3	Fotorezponzivni modeli.....	23
2.3.4	ABM i njegove inačice.....	24
3	PREDMET ISTRAŽIVANJA.....	27
3.1	CILJEVI RADA.....	28
3.2	HIPOTEZA.....	28
3.3	OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS.....	28
4	METODOLOGIJA.....	29
4.1	POSTOJEĆE PODLOGE.....	33
4.1.1	Šire akvatorijalno područje luke Ploče.....	33
4.1.2	Luka Rijeka.....	40
4.2	TERENSKA MJERENJA BRZINE I SMJERA STRUJANJA MORA, DINAMIKE MORSKIH RAZINA I TEMPERATURE MORA.....	44
4.2.1	Razdoblje provedbe i prostorni obuhvat terenskih mjerenja.....	44
4.2.2	Korištena mjerna oprema.....	45
4.3	USPOSTAVA HIDRODINAMIČKIH MODELA CIRKULACIJE MORA.....	47
4.3.1	Vladajuće jednadžbe numeričkoga modela.....	47
4.3.2	Šire akvatorijalno područje luke Ploče.....	52
4.3.3	Luka Rijeka.....	54
4.3.4	Kalibracija i validacija hidrodinamičkih modela.....	55
4.4	USPOSTAVA ABM-A (ODD PROTOKOL).....	56
4.4.1	Svrha i obrasci modela.....	56
4.4.2	Entiteti, varijable stanja i mjerilo modela.....	57
4.4.3	Promatrani procesi i redoslijed odvijanja procesa.....	58
4.4.4	Koncepti razvoja modela.....	58
4.4.5	Pokretanje modela (početni uvjeti).....	59
4.4.6	Ulazni podaci.....	64
4.4.7	Podmodeli.....	65
5	OBRADA PODATAKA I REZULTATI.....	70
5.1	OBRADA I ANALIZA ULAZNIH HIDROLOŠKIH I METEOROLOŠKIH PODATAKA.....	71
5.1.1	Šire akvatorijalno područje luke Ploče.....	71
5.1.2	Luka Rijeka.....	73
5.2	OBRADA I ANALIZA REZULTATA TERENSKIH MJERENJA.....	74
5.2.1	Šire akvatorijalno područje luke Ploče.....	75
5.2.2	Luka Rijeka.....	79
5.3	OBRADA I ANALIZA REZULTATA SIMULACIJA HD MODELA CIRKULACIJE MORA.....	82

5.3.1	Šire akvatorijalno područje luke Ploče.....	82
5.3.2	Luka Rijeka	90
5.4	OBRADA I ANALIZA REZULTATA SIMULACIJA MODELA PRONOSA PLANKTONSKIH ZAJEDNICA.....	98
5.4.1	Šire akvatorijalno područje luke Ploče.....	99
5.4.2	Luka Rijeka	135
6	RASPRAVA	166
6.1	KOLIKO JE VAŽNOST POUZDANOG HD MODELA ZA ANALIZU SEKUNDARNOG RASPRŠENJA PLANKTONSKIH ZAJEDNICA?	167
6.2	IMA LI KORISTI OD PRIMJENE ABM-A ZA ANALIZU PRONOSA PLANKTONSKIH ZAJEDNICA?.....	169
6.3	PRIJEDLOG OPERATIVNIH MJERA SPRJEČAVANJA ŠIRENJA INVAZIVNIH VRSTA I SMJERNICA ISPUŠTANJA BALASTNIH VODA U JADRANSKOM MORU.....	174
7	ZAKLJUČAK.....	182
7.1	PRIJEDLOG BUDUĆEGA ISTRAŽIVANJA	185
	LITERATURA	189
	PRILOZI.....	203

Popis slika

SLIKA 1-1 PRIKAZ BROJA ZNANSTVENIH PUBLIKACIJA U ODGOVARAJUĆEM PODRUČJU ISTRAŽIVANJA – ČLANAKA U ČASOPISIMA, POGLAVLJA U KNJIGAMA, KNJIGA I KONFERENCIJSKIH RADOVA NA TEMELJU KORIŠTENJA SCOPUS TRAŽILICE S POSTAVKAMA 'TITLE-ABS-KEY (AGENT-BASED AND MODEL OR INDIVIDUAL-BASED AND MODEL OR ABM) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "bk"))' OBJAVLJENIH DO 23. LIPNJA 2023.	2
SLIKA 2-1 SHEMATSKI PRIKAZ STRUKTURE ABM-A (PRILAGOĐENO PREMA SIMTWIST PROJECT, 2022).....	7
SLIKA 2-2 SHEMA UPUŠTANJA, ZADRŽAVANJA I ISPUŠTANJA BALASTNIH VODA	11
SLIKA 2-3 KARTA GUSTOĆE PROMETA PLOVILA JADRANSKIM MOREM U RAZDOBLJU OD SRPNJA 2014. DO LIPNJA 2015. (PREUZETO S TOOLS4MSP GEOPLATFORM, 2023.)	12
SLIKA 2-4 KARTA BROJNOSTI ŠTETNIH STRANIH VRSTA PO OBALNOJ REGIJI NA GLOBALNOJ RAZINI (PREUZETO IZ MOLNAR I SUR., 2008.). TAMNIJA CRVENA PODRUČJA UPUĆUJU NA VEĆI BROJ VRSTA KOJI IMAJU VISOKI EKOLOŠKI UTJECAJ. EKOREGIJE U KOJIMA SU PRISUTNE MANJE ŠTETNE VRSTE PRIKAZANE SU TAMNO PLAVOM BOJOM.	17
SLIKA 4-1 LOKACIJE DVIJU NAJPROMETNIJIH LUKA U REPUBLICI HRVATSKOJ (PODLOGA: OPENSTREETMAP, WGS-84 KOORDINATNI SUSTAV).....	30
SLIKA 4-2 POZICIJE POVIJESNIH (2007.-2008.) I RECENTNIH UZORKOVANJA VERTIKALNIH PROFILA TEMPERATURE I SALINITETA MORA (JPG7, CTD-PL1, CTD-PL2, CTD-PL3), MJERENJA BRZINA MORSKIH STRUJA I DINAMIKE MORSKIH RAZINA (ADCP-PL1, ADCP-PL2), DHMZ METEOROLOŠKE POSTAJE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	31
SLIKA 4-3 POZICIJE UZORKOVANJA VERTIKALNIH PROFILA TEMPERATURE I SALINITETA MORA (JPG28), MJERENJA BRZINA MORSKIH STRUJA I DINAMIKE MORSKIH RAZINA (ADCP-RI1, ADCP-RI2), DHMZ METEOROLOŠKE POSTAJE RIJEKA (PODLOGA: GOOGLE SATELIT).....	31
SLIKA 4-4 NAUČIČKE KARTE KORIŠTENE PRI DEFINIRANJU BATIMETRIJE NUMERIČKOG MODELA AKVATORIJA LUKE PLOČE (LIJEVO – JAVNO DOSTUPNA NAUČIČKA KARTA, DESNO – NAUČIČKA KARTA LUČKE UPRAVE PLOČE).....	33
SLIKA 4-5 VREMENSKI NIZOVI 10-MINUTNIH BRZINA (GORE) I SMJERA (DOLJE) VJETRA ZABILJEŽENIH NA M.P. PLOČE U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.	34
SLIKA 4-6 VREMENSKI NIZ SATNE GUSTOĆE DOZRAČENE SOLARNE ENERGIJE U $[W \cdot m^{-2}]$ ZABILJEŽENE NA M.P. DUBROVNIK U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.	34
SLIKA 4-7 VREMENSKI NIZOVI SATNIH PROTOKA I TEMPERATURA RIJEKE NERETVE NA H.P. METKOVIĆ U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.	35
SLIKA 4-8 VREMENSKI NIZ SATNIH PROTOKA IZ BAČINSKIH JEZERA NA H.P. ŠIPAK U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.	35
SLIKA 4-9 VREMENSKI NIZ DNEVNIH PROTOKA IZ BAČINSKIH JEZERA NA H.P. ŠIPAK U RAZDOBLJU OD 1.1.1973. DO 31.12.2021. ...	36
SLIKA 4-10 VERTIKALNI PROFILI A) TEMPERATURE I B) SALINITETA MORA NA POZICIJI JPG7 (SLIKA 4-2) U RAZDOBLJU LISTOPAD 2007.-KOLOVOZ 2008.	37
SLIKA 4-11 VERTIKALNI PROFILI A) TEMPERATURE I B) SALINITETA MORA NA POZICIJI CTD-PL3 (SLIKA 4-2) U RAZDOBLJU LISTOPAD 2020.-KOLOVOZ 2021.	38
SLIKA 4-12 NAUČIČKA KARTA KORIŠTENA PRI DEFINIRANJU BATIMETRIJE NUMERIČKOG MODELA AKVATORIJA LUKE RIJEKA (NAVIONICS, N.D.).....	40
SLIKA 4-13 VREMENSKI NIZOVI 10-MINUTNIH BRZINE (GORE) I SMJERA (DOLJE) VJETRA ZABILJEŽENIH NA M.P. RIJEKA U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.	41
SLIKA 4-14 VREMENSKI NIZ 10-MINUTNE GUSTOĆE DOZRAČENE SOLARNE ENERGIJE U $[W \cdot m^{-2}]$ ZABILJEŽENE NA M.P. RIJEKA U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.10.2021.....	41
SLIKA 4-15 VERTIKALNI PROFILI TEMPERATURE (LIJEVO) I SALINITETA (DESNO) MORA NA POZICIJI JPG28 (SLIKA 4-3) U ČETIRI TERMINA MJERENJA OD LISTOPADA 2020. DO KRAJA KOLOVOZA 2021.	42
SLIKA 4-16 FOTOGRAFIJE ADCP MJERAČA STRUJANJA TIPA WORKHORSE SENTINEL POSTAVLJENOG NA POZICIJI ADCP-PL1 I SENTINEL V20 POSTAVLJENOG NA POZICIJI ADCP-PL2 U LUCI PLOČE – GORE; ADCP MJERAČA STRUJANJA TIPA WORKHORSE MONITOR PRIJE POSTAVLJANJA – DOLJE LIJEVO I POSTAVLJENOGA NA DNU LUKE RIJEKA – DOLJE DESNO	46
SLIKA 4-17 PROSTORNA DOMENA NUMERIČKOG MODELA S PRIKAZOM OTVORENIH GRANICA „MORE“, „BACINSKA“ I „NERETVA“ (REFERENTNI KOORDINATNI SUSTAV UTM-33N).....	52

SLIKA 4-18 PROSTORNA DOMENA NUMERIČKOG MODELA S PRIKAZOM OTVORENIH GRANICA „BAZEN_RIJEKA“ I „BAZEN_SUSAK“ TE SLATKOVODNOG IZVORA $Q_{\text{FIUMARA+LEŠNJAK}}$ U MRTVOM KANAL (REFERENTNI KOORDINATNI SUSTAV UTM-33N)	54
SLIKA 4-19 VREMENSKI NIZ PROTOKA SLATKOVODNOG IZVORA $Q_{\text{FIUMARA+LEŠNJAK}}$ U MRTVOM KANAL U OVISNOSTI O KOLIČINI OBORINE NA M.P. RIJEKA	55
SLIKA 4-20 LOKACIJE UNOSA MODELSKIH ČESTICA ZA ANALIZU PRONOSA PLANKTONSKIH VRSTA NA ŠIREM AKVATORIJALNOM PODRUČJU LUKE PLOČE – PODLOGA GOOGLE SATELIT	59
SLIKA 4-21 LOKACIJE UNOSA MODELSKIH ČESTICA ZA ANALIZU PRONOSA PLANKTONSKIH VRSTA U AKVATORIJU LUKE RIJEKA – PODLOGA GOOGLE SATELIT	60
SLIKA 4-22 PRIMJER UNOSA MODELSKIH ČESTICA U LIJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (SRPANJ-LISTOPAD 2021., LIJEVO) I DETALJ UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TERMINU 3.9.2021. 01:00 U TRAJANJU OD $T_{\text{ISPUŠTANJA}} = 3$ [H]	62
SLIKA 5-1 RUŽA VJETROVA ZA M.P. PLOČE S 4 GLAVNA I 12 SPOREDNIH SMJEROVA (10-MINUTNI PODACI U RAZDOBLJIMA A) 1.10.2020.-1.11.2021., b) 30.10.2020.-8.1.2021., c) 9.7.2021.-15.10.2021.)	72
SLIKA 5-2 RUŽA VJETROVA ZA M.P. RIJEKA S 4 GLAVNA I 12 SPOREDNIH SMJEROVA (10-MINUTNI PODACI U RAZDOBLJIMA A) 1.10.2020.-1.11.2021., b) 9.10.2020.-18.1.2021., c) 3.7.2021.-25.10.2021.)	74
SLIKA 5-3 RUŽA MORSKIH STRUJA U ZIMSKOM (LIJEVO) I LIJETNOM (DESNOM) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL1 I DUBINAMA -10 (DOLJE) I -2 [M] (DOLJE)	75
SLIKA 5-4 RUŽA MORSKIH STRUJA U ZIMSKOM (LIJEVO) I LIJETNOM (DESNOM) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL2 I DUBINAMA -16 (DOLJE), -10 (SREDINA) I -3 [M] (GORE)	76
SLIKA 5-5 VREMENSKI NIZOVI MORSKIH RAZINA DOBIVENA NA LOKACIJI ADCP-PL2 ZA ZIMSKO (GORE) I LIJETNO (DOLJE) RAZDOBLJE MJERENJA	77
SLIKA 5-6 RUŽA MORSKIH STRUJA U ZIMSKOM (LIJEVO) I LIJETNOM (DESNOM) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI1 I DUBINAMA -32 (DOLJE), -16 (SREDINA) I -4 [M] (GORE)	79
SLIKA 5-7 RUŽA MORSKIH STRUJA U ZIMSKOM (LIJEVO) I LIJETNOM (DESNOM) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI2 I DUBINAMA -15 (DOLJE), -9 (SREDINA) I -2,5 [M] (GORE)	80
SLIKA 5-8 VREMENSKI NIZOVI MORSKIH RAZINA DOBIVENA NA LOKACIJI ADCP-RI1 ZA ZIMSKO (GORE) I LIJETNO (DOLJE) RAZDOBLJE MJERENJA	81
SLIKA 5-9 DIJAGRAM RASPRŠENJA I STATISTIČKI POKAZATELJI POUZDANOSTI MODELA KOJI DAJU UVID U ODNOS IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH RAZINA NA LOKACIJAMA ADCP-PL1 (LIJEVO) I ADCP-PL2 (DESNOM) U ZIMSKOM RAZDOBLJU	82
SLIKA 5-10 DIJAGRAM RASPRŠENJA I STATISTIČKI POKAZATELJI POUZDANOSTI MODELA KOJI DAJU UVID U ODNOS IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH RAZINA NA LOKACIJAMA ADCP-PL1 (LIJEVO) I ADCP-PL2 (DESNOM) U LIJETNOM RAZDOBLJU	84
SLIKA 5-11 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA NNE, $V_{\text{MAX}} = 10,9$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], $Q_{\text{METKOVIĆ}} = 161$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], $Q_{\text{ŠIPAK}} = 1,5$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] NA DATUM 21.11.2020. U 5:00	87
SLIKA 5-12 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA W, $V_{\text{MAX}} = 8,3$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], $Q_{\text{METKOVIĆ}} = 91,5$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], $Q_{\text{ŠIPAK}} = 0,0$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] NA DATUM 12.8.2021. U 16:00	88
SLIKA 5-13 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA S, $V_{\text{MAX}} = 14,8$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], $Q_{\text{METKOVIĆ}} = 1016,0$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], $Q_{\text{ŠIPAK}} = 44,4$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] NA DATUM 28.12.2020. U 23:00	89
SLIKA 5-14 DIJAGRAM RASPRŠENJA I STATISTIČKI POKAZATELJI POUZDANOSTI MODELA KOJI DAJU UVID U ODNOS IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH RAZINA NA LOKACIJAMA ADCP-RI1 (LIJEVO) I ADCP-RI2 (DESNOM) U ZIMSKOM RAZDOBLJU	90
SLIKA 5-15 DIJAGRAM RASPRŠENJA I STATISTIČKI POKAZATELJI POUZDANOSTI MODELA KOJI DAJU UVID U ODNOS IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH RAZINA NA LOKACIJAMA ADCP-RI1 (LIJEVO) I ADCP-RI2 (DESNOM) U LIJETNOM RAZDOBLJU	92
SLIKA 5-16 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA ESE, $V_{\text{MAX}} = 7,7$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] NA DATUM 6.12.2020. U 17:00	95
SLIKA 5-17 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA NE, $V_{\text{MAX}} = 12,1$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] NA DATUM 26.12.2020. U 12:00	96
SLIKA 5-18 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA SSW, $V_{\text{MAX}} = 5,7$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] NA DATUM 17.8.2021. U 12:00	97

SLIKA 5-19 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE NA LOKACIJI „LJETNI_VEZ“ UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	100
SLIKA 5-20 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE NA LOKACIJI „TRAJEKTNALUKA“ UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	101
SLIKA 5-21 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE NA LOKACIJI „KONTEJNERSKI_TERMINAL“ UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	102
SLIKA 5-22 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE NA LOKACIJI „KANAL_VLASKA“ UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	103
SLIKA 5-23 UKUPNO PROSJEČNO STANJE BROJNOSTI DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	104
SLIKA 5-24 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „LJETNI_VEZ“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	105
SLIKA 5-25 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „TRAJEKTNALUKA“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	106
SLIKA 5-26 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „KONTEJNERSKI_TERMINAL“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	107
SLIKA 5-27 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „KANAL_VLASKA“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	108
SLIKA 5-28 2D UKUPNO PROSJEČNO STANJE BROJNOSTI DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	109
SLIKA 5-29 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „LJETNI_VEZ“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	110
SLIKA 5-30 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „LJETNI_VEZ“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	111
SLIKA 5-31 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „KONTEJNERSKI_TERMINAL“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	112
SLIKA 5-32 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE NA LOKACIJI „KANAL_VLASKA“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	113
SLIKA 5-33 UKUPNO PROSJEČNO STANJE VERTIKALNO USREDNJENIH BROJNOSTI KOPEPODA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	114
SLIKA 5-34 RELATIVNA UČESTALOST IZNOŠENJA DIJATOMEJA KROZ OTVORENE GRANICE MODELA ZA ZIMSKO (LJEVO) I LJETNO (DESNO) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE S OBZIROM NA POJEDINU LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE PRIKAZANA KAO STUPČASTI DIJAGRAM (GORE) I RUŽA (DOLJE).	116

SLIKA 5-35 RELATIVNA UČESTALOST IZNOŠENJA DINOFLAGELATA KROZ OTVORENE GRANICE MODELA ZA ZIMSKO (LIJEVO) I LJETNO (DESNO) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE S OBZIROM NA POJEDINU LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE PRIKAZANA KAO STUPČASTI DIJAGRAM (GORE) I RUŽA (DOLJE).	117
SLIKA 5-36 RELATIVNA UČESTALOST IZNOŠENJA KOPEPODA KROZ OTVORENE GRANICE MODELA ZA ZIMSKO (LIJEVO) I LJETNO (DESNO) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE S OBZIROM NA POJEDINU LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE PRIKAZANA KAO STUPČASTI DIJAGRAM (GORE) I RUŽA (DOLJE).	118
SLIKA 5-37 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 4.12.2020. 19:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 4.12.2020. U 19:00 DO 5.12.2020. U 19:00	120
SLIKA 5-38 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 26.12.2020. 21:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 26.12.2020. U 21:00 DO 27.12.2020. U 21:00	121
SLIKA 5-39 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 14.07.2021. 15:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 14.7.2021. U 15:00 DO 15.7.2021. U 15:00	122
SLIKA 5-40 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 04.12.2020. 19:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 4.12.2020. U 19:00 DO 5.12.2020. U 19:00	125
SLIKA 5-41 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 26.12.2020. 21:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 26.12.2020. U 21:00 DO 27.12.2020. U 21:00	126
SLIKA 5-42 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 14.07.2021. 15:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 14.7.2021. U 15:00 DO 15.7.2021. U 15:00	127
SLIKA 5-43 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [JEDINKI·M ⁻³] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 04.12.2020. 19:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 4.12.2020. U 19:00 DO 5.12.2020. U 19:00	130
SLIKA 5-44 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [JEDINKI·M ⁻³] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 26.12.2020. 21:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 26.12.2020. U 21:00 DO 27.12.2020. U 21:00	131
SLIKA 5-45 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [JEDINKI·M ⁻³] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 06.08.2021. 09:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 6.8.2021. U 09:00 DO 7.8.2021. U 09:00	132
SLIKA 5-46 LOKACIJE UZORKOVANJA ZOOPLANKTONA I ZONE EKSTRAKCIJE MODELOM DOBIVENIH PROSJEČNIH VERTIKALNO USREDNJENIH BROJNOSTI KOPEPODA U LUCI PLOČE – PODLOGA GOOGLE SATELIT	134
SLIKA 5-47 USPOREDBA IZMJERENIH BROJNOSTI ZOOPLANKTONA I MODELOM DOBIVENIH VERTIKALNO USREDNJENIH BROJNOSTI KOPEPODA NA LOKACIJAMA UZORKOVANJA I PODRUČJU LUKE ZA ZIMSKO (LIJEVO) I LJETNO (DESNO) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE S OBZIROM UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE	135
SLIKA 5-48 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJAMA „BAZENRI-ULAZ“ I „RIBWB“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	136

SLIKA 5-49 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJAMA „BAZENŠU-SREDINA“ I „RIBWS“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT).....	137
SLIKA 5-50 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJI „BAZENRI-SREDINA“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	138
SLIKA 5-51 UKUPNO PROSJEČNO STANJE POVRŠINSKIH (GORE) I VERTIKALNO USREDNjenih (DOLJE) BROJNOSTI DIJATOMEJA ZA LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA (PODLOGA: GOOGLE SATELIT).....	139
SLIKA 5-52 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJAMA „BAZENRI-ULAZ“ I „RIBWB“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	140
SLIKA 5-53 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJAMA „BAZENŠU-SREDINA“ I „RIBWS“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT).....	141
SLIKA 5-54 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJI „BAZENRI-SREDINA“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	142
SLIKA 5-55 UKUPNO PROSJEČNO STANJE POVRŠINSKIH (GORE) I VERTIKALNO USREDNjenih (DOLJE) BROJNOSTI DINOFLAGELATA ZA LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA (PODLOGA: GOOGLE SATELIT).....	143
SLIKA 5-56 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJAMA „BAZENRI-ULAZ“ I „RIBWB“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	144
SLIKA 5-57 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJAMA „BAZENŠU-SREDINA“ I „RIBWS“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT).....	145
SLIKA 5-58 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU ZA ZIMSKO I LJETNO SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA UNOS MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA NA LOKACIJI „BAZENRI-SREDINA“ (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	146
SLIKA 5-59 UKUPNO PROSJEČNO STANJE VERTIKALNO USREDNjenih BROJNOSTI KOPEPODA ZA ZIMSKO (GORE) I LJETNO (DOLJE) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE ZA MODELSKE ČESTICE UNESENE U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA (PODLOGA: GOOGLE SATELIT)	146
SLIKA 5-60 RELATIVNA UČESTALOST IZNOŠENJA DIJATOMEJA KROZ OTVORENE GRANICE MODELA ZA ZIMSKO (LIJEVO) I LJETNO (DESNO) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE S OBZIROM NA POJEDINU LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA PRIKAZANA KAO STUPČASTI DIJAGRAM (GORE) I RUŽA (DOLJE).	148
SLIKA 5-61 RELATIVNA UČESTALOST IZNOŠENJA DINOFLAGELATA KROZ OTVORENE GRANICE MODELA ZA ZIMSKO (LIJEVO) I LJETNO (DESNO) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE S OBZIROM NA POJEDINU LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA PRIKAZANA KAO STUPČASTI DIJAGRAM (GORE) I RUŽA (DOLJE).	149
SLIKA 5-62 RELATIVNA UČESTALOST IZNOŠENJA KOPEPODA KROZ OTVORENE GRANICE MODELA ZA ZIMSKO (LIJEVO) I LJETNO (DESNO) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE S OBZIROM NA POJEDINU LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNU DOMENU LUKE RIJEKA PRIKAZANA KAO STUPČASTI DIJAGRAM (GORE) I RUŽA (DOLJE).	150
SLIKA 5-63 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 28.12.2020. 10:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 28.12.2020. U 10:00 DO 29.12.2020. U 10:00.....	152
SLIKA 5-64 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 25.08.2021. 01:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 25.8.2021. U 01:00 DO 26.8.2021. U 01:00.....	153

SLIKA 5-65 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 28.12.2020. 10:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 28.12.2020. U 10:00 DO 29.12.2020. U 10:00.....	156
SLIKA 5-66 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 25.08.2021. 01:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 25.8.2021. U 01:00 DO 26.8.2021. U 01:00.....	157
SLIKA 5-67 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 28.12.2020. 10:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 28.12.2020. U 10:00 DO 29.12.2020. U 10:00.....	159
SLIKA 5-68 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 25.08.2021. 01:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 25.8.2021. U 01:00 DO 26.8.2021. U 01:00.....	160
SLIKA 5-69 LOKACIJE UZORKOVANJA FITO- I ZOOPLANKTONA I ZONE EKSTRAKCIJE MODELOM DOBIVENIH PROSJEČNIH BROJNOSTI DIJATOMEJA, DINOFLAGELATA I KOPEPODA U LUCI RIJEKA – PODLOGA GOOGLE SATELIT	162
SLIKA 5-70 USPOREDBA IZMJERENIH I MODELOM DOBIVENIH BROJNOSTI (GORE) DIJATOMEJA NA LOKACIJAMA UZORKOVANJA RIBWB I RIBWS TE PODRUČJU LUKE RIJEKA MJERODAVNIH ZA BROJ STANICA VERTIKALNO USREDNJE U STUPCU (LIJEVO) I PRISUTNIH U POVRŠINSKOM SLOJU (DESN) MORA U LJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU	163
SLIKA 5-71 USPOREDBA IZMJERENIH I MODELOM DOBIVENIH BROJNOSTI DINOFLAGELATA NA LOKACIJAMA UZORKOVANJA RIBWB I RIBWS TE PODRUČJU LUKE RIJEKA MJERODAVNIH ZA BROJ STANICA VERTIKALNO USREDNJE U STUPCU (LIJEVO) I PRISUTNIH U POVRŠINSKOM SLOJU (DESN) MORA U LJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU	164
SLIKA 5-72 USPOREDBA IZMJERENIH I MODELOM DOBIVENIH VERTIKALNO USREDNJE NIH BROJNOSTI KOPEPODA NA LOKACIJAMA UZORKOVANJA RIBWB I RIBWS TE PODRUČJU LUKE RIJEKA ZA ZIMSKO (LIJEVO) I LJETNO (DESN) SIMULACIJSKO RAZDOBLJE	165
SLIKA 0-1 GODIŠNJI HOD MAKSIMALNE I SREDNJE BRZINE VJETRA ZA M.P. PLOČE (10-MINUTNI PODACI U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.).....	204
SLIKA 0-2 KRIVULJE RELATIVNE (F) I KUMULATIVNE (F) UČESTALOSTI SATNIH PROTOKA NERETVE ZA RAZDOBLJE SVIBANJ 2015. – PROSINAC 2018. (H.P. METKOVIĆ) S PODJELOM U RAZREDE OD 0 DO 1600 [M ³ ·S ⁻¹] I KORAKOM 50 [M ³ ·S ⁻¹]	205
SLIKA 0-3 KRIVULJE RELATIVNE (F) I KUMULATIVNE (F) UČESTALOSTI DNEVNIH PROTOKA NERETVE NA H.P. METKOVIĆ ZA RAZDOBLJE 1.10.2020.-1.10.2021. S PODJELOM U RAZREDE OD 0 DO 1900 [M ³ ·S ⁻¹] I KORAKOM 50 [M ³ ·S ⁻¹].....	206
SLIKA 0-4 KRIVULJE RELATIVNE (F) I KUMULATIVNE (F) UČESTALOSTI DNEVNIH PROTOKA IZ BAČINSKIH JEZERA NA H.P. ŠIPAK S PODJELOM U RAZREDE OD 0 DO 66 [M ³ ·S ⁻¹] I KORAKOM 2 [M ³ ·S ⁻¹] U RAZDOBLJU 1.1.1973.-31.12.2021.	207
SLIKA 0-5 GODIŠNJI HOD MAKSIMALNE I SREDNJE BRZINE VJETRA ZA M.P. RIJEKA (10-MINUTNI PODACI U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.).....	210
SLIKA 0-6 GRAFIČKO SUČELJE SOFTVERA VELOCITY S PRIKAZOM SIROVIH PODATAKA O BRZINI STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL2 ZA ZIMSKO RAZDOBLJE MJERENJA	211
SLIKA 0-7 USPOREDBA SIROVIH 30-MINUTNIH I USREDNJE NIH 3-SATNIH PODATAKA O VERTIKALNO USREDNJE NOJ U KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA MORA NA POZICIJI ADCP-PL2 ZA ZIMSKO RAZDOBLJE MJERENJA	211
SLIKA 0-8 PROGRESIVNI VEKTOR DIJAGRAM U ZIMSKOM (LIJEVO) I LJETNOM (DESN) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL1 I DUBINAMA -10 [M], -2 [M] TE VERTIKALNO USREDNJE NO	212
SLIKA 0-9 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U ZIMSKOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL1 I DUBINAMA -10 I -2 [M] TE VERTIKALNO USREDNJE NO.....	212
SLIKA 0-10 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U LJETNOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL1 I DUBINAMA -10 I -2 [M] TE VERTIKALNO USREDNJE NO	213
SLIKA 0-11 PROGRESIVNI VEKTOR DIJAGRAM U ZIMSKOM (LIJEVO) I LJETNOM (DESN) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL2 I DUBINAMA -16, -10 I -3 [M] TE VERTIKALNO USREDNJE NO.....	213
SLIKA 0-12 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U ZIMSKOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL2 I DUBINAMA -16, -10 I -3 [M] TE VERTIKALNO USREDNJE NO	214
SLIKA 0-13 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U LJETNOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-PL2 I DUBINAMA -16, -10 I -3 [M] TE VERTIKALNO USREDNJE NO	215

SLIKA 0-14 VREMENSKI NIZOVI TEMPERATURE DOBIVENE NA LOKACIJAMA ADCP-PL1 I ADCP-PL2 ZA ZIMSKO (GORE) I LIJETNO (DOLJE) RAZDOBLJE MJERENJA	216
SLIKA 0-15 PROGRESIVNI VEKTOR DIJAGRAM U ZIMSKOM (LIJEVO) I LIJETNOM (DESNOM) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI1 I DUBINAMA -32, -16 I -4 [M] TE VERTIKALNO USREDNJEANO	217
SLIKA 0-16 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U ZIMSKOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI1 I DUBINAMA -32, -16 I -4 [M] TE VERTIKALNO USREDNJEANO	217
SLIKA 0-17 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U LIJETNOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI1 I DUBINAMA -32, -16 I -4 [M] TE VERTIKALNO USREDNJEANO	218
SLIKA 0-18 PROGRESIVNI VEKTOR DIJAGRAM U ZIMSKOM (LIJEVO) I LIJETNOM (DESNOM) RAZDOBLJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI2 I DUBINAMA -15, -9 I -2,5 [M] TE VERTIKALNO USREDNJEANO	218
SLIKA 0-19 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U ZIMSKOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI2 I -15, -9 I -2,5 [M] TE VERTIKALNO USREDNJEANO.....	219
SLIKA 0-20 VREMENSKI NIZOVI TROSATNIH VEKTORA BRZINE MORSKE STRUJE NA U LIJETNOM RAZDOBLJU NA TEMELJU MJERENJA BRZINA STRUJANJA NA LOKACIJI ADCP-RI2 I DUBINAMA -15, -9 I -2,5 [M] TE VERTIKALNO USREDNJEANO	219
SLIKA 0-21 VREMENSKI NIZOVI TEMPERATURE DOBIVENE NA LOKACIJAMA ADCP-RI1 I ADCP-RI2 ZA ZIMSKO (GORE) I LIJETNO (DOLJE) RAZDOBLJE MJERENJA	220
SLIKA 0-22 USPOREDBA IZMJERENIH I MODELIRANIH VREMENSKIH NIZOVA PROMJENE MORSKE RAZINE NA LOKACIJAMA ADCP-PL1 U ZIMSKOM RAZDOBLJU	221
SLIKA 0-23 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -3 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL1	221
SLIKA 0-24 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -9 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL1	222
SLIKA 0-25 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -3 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL2	223
SLIKA 0-26 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -10 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL2	223
SLIKA 0-27 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -16 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL2	224
SLIKA 0-28 USPOREDBA IZMJERENIH I MODELIRANIH VREMENSKIH NIZOVA PROMJENE MORSKE RAZINE NA LOKACIJAMA ADCP-PL1 U LIJETNOM RAZDOBLJU.....	224
SLIKA 0-29 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -3 [M] ZA LIJETNO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL1	225
SLIKA 0-30 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -9 [M] ZA LIJETNO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL1	226
SLIKA 0-31 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -3 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL2	226
SLIKA 0-32 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -10 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL2	227
SLIKA 0-33 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -16 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-PL2	228
SLIKA 0-34 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA E, $v = 1,3 [M \cdot s^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 196,5 [M^3 \cdot s^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 3,0 [M^3 \cdot s^{-1}]$ NA DATUM 30.10.2020. U 11:00 (POLJE PROSJEČNE CIRKULACIJE U ZIMSKOM RAZDOBLJU).....	229
SLIKA 0-35 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA W, $V_{t50\%,W} = 4,5 [M \cdot s^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 138,5 [M^3 \cdot s^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 0,0 [M^3 \cdot s^{-1}]$ NA DATUM 15.7.2021. U 12:00 (POLJE PROSJEČNE CIRKULACIJE U LIJETNOM RAZDOBLJU)	230
SLIKA 0-36 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetrovnu SITUACIJU IZ SMJERA E, $v = 1,5 [M \cdot s^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 128,5 [M^3 \cdot s^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 0,0 [M^3 \cdot s^{-1}]$ NA DATUM 30.7.2021. U 08:00 (POLJE PROSJEČNE CIRKULACIJE U LIJETNOM RAZDOBLJU).....	231

SLIKA 0-37 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetroVNU SITUACIJU IZ SMJERA NNE, $V_{MAX} = 10,8 [M \cdot S^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 577,6 [M^3 \cdot S^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 54,3 [M^3 \cdot S^{-1}]$ NA DATUM 26.12.2020. U 18:00.....	232
SLIKA 0-38 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetroVNU SITUACIJU IZ SMJERA E, $V_{MAX} = 12,9 [M \cdot S^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 542,5 [M^3 \cdot S^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 46,0 [M^3 \cdot S^{-1}]$ NA DATUM 27.12.2020. U 18:00.....	233
SLIKA 0-39 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetroVNU SITUACIJU IZ SMJERA SW, $V_{MAX} = 10,9 [M \cdot S^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 530,0 [M^3 \cdot S^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 44,2 [M^3 \cdot S^{-1}]$ NA DATUM 28.12.2020. U 00:00.....	234
SLIKA 0-40 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetroVNU SITUACIJU IZ SMJERA E, $V_{MAX} = 4,5 [M \cdot S^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 1243,0 [M^3 \cdot S^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 53,4 [M^3 \cdot S^{-1}]$ NA DATUM 2.1.2021. U 02:00.....	235
SLIKA 0-41 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetroVNU SITUACIJU IZ SMJERA SE, $V_{MAX} = 10,5 [M \cdot S^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 1078,0 [M^3 \cdot S^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 53,6 [M^3 \cdot S^{-1}]$ NA DATUM 2.1.2021. U 19:00.....	235
SLIKA 0-42 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetroVNU SITUACIJU IZ SMJERA SSE, $V_{MAX} = 7,7 [M \cdot S^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 130,6 [M^3 \cdot S^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 0,0 [M^3 \cdot S^{-1}]$ NA DATUM 1.8.2021. U 13:00.....	236
SLIKA 0-43 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE LIJEVO), -10 (DOLJE LIJEVO) I -20 [M] (DOLJE DESNO) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJetroVNU SITUACIJU IZ SMJERA NW, $V_{MAX} = 5,3 [M \cdot S^{-1}]$, $Q_{METKOVIĆ} = 126,0 [M^3 \cdot S^{-1}]$, $Q_{ŠIPAK} = 0,0 [M^3 \cdot S^{-1}]$ NA DATUM 21.8.2021. U 19:00.....	237
SLIKA 0-44 USPOREDBA IZMJERENIH I MODELIRANIH VREMENSKIH NIZOVA PROMJENE MORSKE RAZINE NA LOKACIJAMA ADCP-RI1 (GORE) I ADCP-RI2 (DOLJE) U ZIMSKOM RAZDOBLJU	240
SLIKA 0-45 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -3 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI1.....	240
SLIKA 0-46 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -16 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI1.....	241
SLIKA 0-47 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -30 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI1.....	242
SLIKA 0-48 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -1,5 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI2.....	242
SLIKA 0-49 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -7 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI2.....	243
SLIKA 0-50 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -15 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI2.....	244
SLIKA 0-51 USPOREDBA IZMJERENIH I MODELIRANIH VREMENSKIH NIZOVA PROMJENE MORSKE RAZINE NA LOKACIJI ADCP-RI1 (GORE) U LJETNOM RAZDOBLJU	244
SLIKA 0-52 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -3 [M] ZA LJETNO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI1.....	245
SLIKA 0-53 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -16 [M] ZA LJETNO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI1.....	245
SLIKA 0-54 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -30 [M] ZA LJETNO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI1.....	246
SLIKA 0-55 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -1,5 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI2.....	247
SLIKA 0-56 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -7 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI2.....	247
SLIKA 0-57 USPOREDBA U (GORE) I V (DOLJE) KOMPONENTI BRZINE STRUJANJA NA DUBINI OD -15 [M] ZA ZIMSKO RAZDOBLJE NA POZICIJI ADCP-RI2.....	248

SLIKA 0-58 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJETROVNU SITUACIJU IZ SMJERA NNE, $V_{T50\%} = 1,9 \text{ [M}\cdot\text{S}^{-1}]$ NA DATUM 13.10.2020. U 22:00 (POLJE PROSJEČNE CIRKULACIJE)	249
SLIKA 0-59 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJETROVNU SITUACIJU IZ SMJERA NNE, $V_{T50\%} = 1,9 \text{ [M}\cdot\text{S}^{-1}]$ NA DATUM 22.08.2020. U 1:00 (POLJE PROSJEČNE CIRKULACIJE U LIJETNOM RAZDOBLJU)	250
SLIKA 0-60 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJETROVNU SITUACIJU IZ SMJERA E, $V_{MAX} = 6,7 \text{ [M}\cdot\text{S}^{-1}]$ NA DATUM 4.11.2020. U 11:00	251
SLIKA 0-61 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJETROVNU SITUACIJU IZ SMJERA SSE, $V_{MAX} = 7,5 \text{ [M}\cdot\text{S}^{-1}]$ NA DATUM 5.12.2020. U 13:00	252
SLIKA 0-62 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJETROVNU SITUACIJU IZ SMJERA SSW-S-SSE, $V_{MAX} = 11,6 \text{ [M}\cdot\text{S}^{-1}]$ IZ SMJERA S NA DATUM 28.12.2020. U 16:00	253
SLIKA 0-63 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJETROVNU SITUACIJU IZ SMJERA NNW, $V_{MAX} = 6,1 \text{ [M}\cdot\text{S}^{-1}]$ NA DATUM 19.7.2021. U 04:00	254
SLIKA 0-64 POLJE BRZINE STRUJANJA NA DUBINAMA -0,5 (GORE), -6 (SREDINA) I -15 [M] (DOLJE) I RUŽA VJETRA (GORE DESNO) ZA VJETROVNU SITUACIJU IZ SMJERA ENE, $V_{MAX} = 7,4 \text{ [M}\cdot\text{S}^{-1}]$ NA DATUM 17.8.2021. U 12:00	255
SLIKA 0-65 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA $\cdot\text{L}^{-1}$] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 30.10.2020. 09:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 30.10.2020. U 09:00 DO 31.10.2020. U 09:00	261
SLIKA 0-66 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA $\cdot\text{L}^{-1}$] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 30.10.2020. 09:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 30.10.2020. U 09:00 DO 31.10.2020. U 09:00	262
SLIKA 0-67 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA $\cdot\text{L}^{-1}$] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 15.08.2021. 15:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 15.08.2021. U 15:00 DO 16.08.2021. U 15:00	263
SLIKA 0-68 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DIJATOMEJA KROZ OTVORENU GRANICU "MORE" U ZIMSKOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (25.10.2020.-9.1.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	265
SLIKA 0-69 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DIJATOMEJA KROZ OTVORENU GRANICU "MORE" U LIJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (08.07.2020.-14.10.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	266
SLIKA 0-70 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA $\cdot\text{L}^{-1}$] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 30.10.2020. 09:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 30.10.2020. U 09:00 DO 31.10.2020. U 09:00	270
SLIKA 0-71 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA $\cdot\text{L}^{-1}$] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 30.10.2020. 09:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 30.10.2020. U 09:00 DO 31.10.2020. U 09:00	271
SLIKA 0-72 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [STANICA $\cdot\text{L}^{-1}$] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 15.08.2021. 15:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 15.08.2021. U 15:00 DO 16.08.2021. U 15:00	272
SLIKA 0-73 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DINOFLAGELATA KROZ OTVORENU GRANICU "MORE" U ZIMSKOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (25.10.2020.-9.1.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	274
SLIKA 0-74 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DINOFLAGELATA KROZ OTVORENU GRANICU "MORE" U LIJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (08.07.2020.-14.10.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	275
SLIKA 0-75 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [JEDINKI $\cdot\text{M}^{-3}$] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 30.10.2020. 09:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK	

NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 30.10.2020. U 09:00 DO 31.10.2020. U 09:00	278
SLIKA 0-76 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [JEDINKI·M ⁻³] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 30.10.2020. 09:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 30.10.2020. U 09:00 DO 31.10.2020. U 09:00	279
SLIKA 0-77 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA I ISTALOŽENIH NA DNU IZRAŽENA U [JEDINKI·M ⁻³] 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, G) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 15.08.2021. 15:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. PLOČE (D), PROTOK NA H.P. ŠIPAK (E), PROTOK I TEMPERATURA VODE NA H.P. METKOVIĆ (F) U RAZDOBLJU OD 15.08.2021. U 15:00 DO 16.08.2021. U 15:00	280
SLIKA 0-78 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA KOPEPODA KROZ OTVORENU GRANICU „MORE“ U ZIMSKOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (25.10.2020.-9.1.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	281
SLIKA 0-79 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA KOPEPODA KROZ OTVORENU GRANICU „MORE“ U LJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (08.07.2021.-14.10.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	283
SLIKA 0-80 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 15.10.2020. 12:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 15.10.2020. U 12:00 DO 16.10.2020. U 12:00.....	288
SLIKA 0-81 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 26.10.2020. 02:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 26.10.2020. U 02:00 DO 27.10.2020. U 02:00.....	289
SLIKA 0-82 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 24.12.2020. 00:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 24.12.2020. U 00:00 DO 25.12.2020. U 00:00.....	290
SLIKA 0-83 2D POLJA DIJATOMEJA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 01.01.2021. 18:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 01.01.2021. U 18:00 DO 02.01.2021. U 18:00.....	291
SLIKA 0-84 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DIJATOMEJA KROZ OTVORENE GRANICE „BAZEN_RIJEKA“ I „BAZEN_SUSAK“ U ZIMSKOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (09.10.2020.-9.1.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	293
SLIKA 0-85 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DIJATOMEJA KROZ OTVORENE GRANICE „BAZEN_RIJEKA“ I „BAZEN_SUSAK“ U LJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (02.07.2020.-01.10.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	294
SLIKA 0-86 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 15.10.2020. 12:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 15.10.2020. U 12:00 DO 16.10.2020. U 12:00.....	298
SLIKA 0-87 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 26.10.2020. 02:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 26.10.2020. U 02:00 DO 27.10.2020. U 02:00.....	299
SLIKA 0-88 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 24.12.2020. 00:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 24.12.2020. U 00:00 DO 25.12.2020. U 00:00.....	300
SLIKA 0-89 2D POLJA DINOFLAGELATA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 01.01.2021. 18:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 01.01.2021. U 18:00 DO 02.01.2021. U 18:00.....	301
SLIKA 0-90 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DINOFLAGELATA KROZ OTVORENE GRANICE „BAZEN_RIJEKA“ I „BAZEN_SUSAK“ U ZIMSKOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (09.10.2020.-9.1.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	303
SLIKA 0-91 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA DINOFLAGELATA KROZ OTVORENE GRANICE „BAZEN_RIJEKA“ I „BAZEN_SUSAK“ U LJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (02.07.2020.-01.10.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	304

SLIKA 0-92 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 15.10.2020. 12:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 15.10.2020. U 12:00 DO 16.10.2020. U 12:00.....	307
SLIKA 0-93 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 26.10.2020. 02:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 26.10.2020. U 02:00 DO 27.10.2020. U 02:00.....	308
SLIKA 0-94 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 24.12.2020. 00:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 24.12.2020. U 00:00 DO 25.12.2020. U 00:00.....	309
SLIKA 0-95 2D POLJA KOPEPODA RASPRŠENIH U STUPCU MORA IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹] S PRIKAZOM MODELSKIH ČESTICA ISTALOŽENIH NA DNU 1, 6, 12 I 24 [H] (A, B, C, D) NAKON UNOSA MODELSKIH ČESTICA U TRENUTKU 01.01.2021. 18:00, RUŽA VJETROVA NA M.P. RIJEKA (E) U RAZDOBLJU OD 01.01.2021. U 18:00 DO 02.01.2021. U 18:00.....	310
SLIKA 0-96 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA KOPEPODA KROZ OTVORENE GRANICE „BAZEN_RIJEKA” I „BAZEN_SUSAK” U ZIMSKOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (09.10.2020.-9.1.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	312
SLIKA 0-97 VREMENSKI NIZOVI IZNOŠENJA KOPEPODA KROZ OTVORENE GRANICE „BAZEN_RIJEKA” I „BAZEN_SUSAK” U LJETNOM SIMULACIJSKOM RAZDOBLJU (02.07.2020.-01.10.2021.) TE BRZINE VJETRA S OBZIROM NA LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	313

Popis tablica

TABLICA 2.1 ODD PROTOKOL USPOSTAVE ABM-A PREMA GRIMM I SUR. (2006., 2010., 2020.)	9
TABLICA 2.2 BROJ NOVO UNESENIH STRANIH VRSTA U JADRANSKO MORE OVISNO O PUTU UNOSA ZA RAZDOBLJE 1970.-2017. (EEA, 2021.).....	14
TABLICA 4.1 KOORDINATE POSTAVLJENIH ADCP MJERAČA STRUJANJA I CTD SONDI UNUTAR I IZVAN AKVATORIJA LUKA PLOČE I RIJEKA IZRAŽENE U WGS-84 I HTRS-96 SUSTAVU	32
TABLICA 4.2 BROJNOST ZOOPLANKTONA NA LOKACIJAMA CTD-PL1, CTD-PL2 I CTD-PL3 (SLIKA 4-2) IZRAŽENA U [JEDINKI·M ⁻³] ..	39
TABLICA 4.3 BROJNOST DIJATOMEJA I DINOFLAGELATA U POVRŠINSKOM SLOJU MORA NA LOKACIJAMA RIBWB, RIBWS I JPG28 IZRAŽENA U [STANICA·L ⁻¹].....	43
TABLICA 4.4 KUMULATIVNA BROJNOST DIJATOMEJA I DINOFLAGELATA KROZ STUPAC MORA NA LOKACIJAMA RIBWB, RIBWS I JPG28 IZRAŽENA U [BR.STANICA].....	43
TABLICA 4.5 BROJNOST ZOOPLANKTONA NA LOKACIJAMA RIBWB, RIBWS I JPG28 (SLIKA 4-3) IZRAŽENA U [JEDINKI·M ⁻³]	43
TABLICA 4.6 POSTAVKE MJERENJA ADCP MJERAČA STRUJANJA ZA LIETNO I ZIMSKO RAZDOBLJE U LUKAMA PLOČE I RIJEKA	46
TABLICA 4.7 KARAKTERISTIKE ISPUŠTANJA BALASTNE VODE (PREUZETO IZ CABRINI I SUR., 2019.).....	61
TABLICA 4.8 BROJNOST FRAKCIJA FITOPLANKTONA U BALASTNIM TANKOVIMA NA TERMINE UZORKOVANJA BALASTNE VODE (CABRINI I SUR., 2019.).....	62
TABLICA 4.9 TERMINI UNOSA MODELSKIH ČESTICA U PROSTORNE DOMENE MODELA ŠIREG AKVATORIJALNOG PODRUČJA LUKE PLOČE I LUKE RIJEKA ZA DVA SIMULACIJSKA RAZDOBLJA	63
TABLICA 4.10 REZULTATI UZORKOVANJA PROZIRNOSTI MORA POMOĆU SECCHI DISKA U OKVIRU PROJEKTA „PROGRAM PRAĆENJA STANJA JADRANSKOG MORA“ (NA POSTAJAMA A6 (NERETVANSKI KANAL) I A25 (KVARNERSKI ZALJEV)	64
TABLICA 5.1 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH TEMPERATURA NA LOKACIJAMA ADCP-PL1 I ADCP-PL2	78
TABLICA 5.2 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH TEMPERATURA NA LOKACIJAMA ADCP-PL1 I ADCP-PL2	82
TABLICA 5.3 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-PL1 NA DUBINAMA - 3 I -9 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 31.10.2020.-8.1.2021.....	83
TABLICA 5.4 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-PL2 NA DUBINAMA - 16, -10 I -3 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 31.10.2020.-8.1.2021.....	83
TABLICA 5.5 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-PL1 NA DUBINAMA - 3 I -9 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 9.7.-14.10.2021.....	84
TABLICA 5.6 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-PL2 NA DUBINAMA - 16, -10 I -3 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 9.7.-14.10. 2021.	85
TABLICA 5.7 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-RI1 NA DUBINAMA - 3, -16 I -30 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 10.10.2020.-9.1.2021.....	91
TABLICA 5.8 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-RI2 NA DUBINAMA - 15, -7 I -1.5 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 10.10.2020.-9.1.2021.....	91
TABLICA 5.9 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-RI1 NA DUBINAMA - 3, -16 I -30 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 3.7.-1.10.2021.	92
TABLICA 5.10 OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI IZMJERENIH I MODELIRANIH MORSKIH STRUJA ZA POZICIJU ADCP-RI2 NA DUBINAMA - 15, -7 I -1.5 [M] U VREMENSKOM RAZDOBLJU 3.7.-1.10.2021.....	93
TABLICA 5.11 OZNAKE DOMINANTNIH SMJEROVA VJETRA NA STUPČASTIM DIJAGRAMIMA PRI KOJIMA NASTUPA IZNOŠENJE AGENATA KROZ OTVORENE GRANICE	115
TABLICA 5.12 OZNAKE DOMINANTNIH SMJEROVA VJETRA NA STUPČASTIM DIJAGRAMIMA PRI KOJIMA NASTUPA IZNOŠENJE AGENATA KROZ OTVORENE GRANICE	147
TABLICA 6.1 POSTOTAK ČESTICA IZNESENIH KROZ OTVORENE GRANICE I ISTALOŽENIH NA MODELSKOME DNU S OBZIROM NA POJEDINU MODELIRANU FRAKCIJU U SVAKOM PREDMETNOM PODRUČJU.....	172
TABLICA 6.2 SMJERNICE ZA UPRAVLJANJE BRODSKIM BALASTNIM VODAMA S UKLJUČENIM OPERATIVNIM MJERAMA S OBZIROM NA OKOLIŠNE UVJETE.....	176
TABLICA 6.3 SMJERNICE ZA UPRAVLJANJE BRODSKIM BALASTNIM VODAMA S UKLJUČENIM OPERATIVNIM MJERAMA S OBZIROM NA OKOLIŠNE UVJETE ZA HIPOTETSKU NAJAVU UPLOVLJAVANJA BRODA U LUKU PLOČE.....	178

TABLICA 0.1 RELATIVNA UČESTALOST 10-MINUTNIH BRZINA VJETRA U OVISNOSTI O SMJERU VJETRA I KATEGORIJAMA BRZINA ZA M.P. PLOČE U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.	203
TABLICA 0.2 MAKSIMALNE I PROSJEČNE 10-MINUTNE BRZINE VJETRA [M·S ⁻¹] PO SEKTORIMA S PRIPADNIH 16 SMJEROVA ZA M.P. PLOČE U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.	203
TABLICA 0.3 MAKSIMALNE I SREDNJE BRZINE VJETRA [M·S ⁻¹] PO MJESECIMA ZA M.P. PLOČE U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.	204
TABLICA 0.4 MINIMALNI, SREDNJI I MINIMALNI SATNI PROTOCI I TEMPERATURE PO MJESECIMA ZA H.P. METKOVIĆ U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.	205
TABLICA 0.5 KARAKTERISTIČNE VRIJEDNOSTI PROTOKA IZMJERENIH NA H.P. METKOVIĆ U RAZDOBLJU 1.1.2020.-31.12.2021....	206
TABLICA 0.6 VOLUMEN DOTOKA IZ BAČINSKIH JEZERA PO MJESECIMA NA TEMELJU MJERENJA NA H.P. ŠIPAK I KUMULATIVNA OBORINA, RELATIVNA VLAŽNOST I TEMPERATURA ZRAKA IZMJERENE NA M.P. PLOČE U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.	207
TABLICA 0.7 KARAKTERISTIČNE VRIJEDNOSTI PROTOKA IZMJERENIH NA H.P. ŠIPAK U RAZDOBLJU 1.1.1973.-31.12.2021.	208
TABLICA 0.8 RELATIVNA UČESTALOST 10-MINUTNIH BRZINA VJETRA U OVISNOSTI O SMJERU VJETRA I KATEGORIJAMA BRZINA ZA M.P. RIJEKA U RAZDOBLJU OD 1.10.2020. DO 1.11.2021.	209
TABLICA 0.9 MAKSIMALNE I SREDNJE 10-MINUTNE BRZINE VJETRA [M·S ⁻¹] PO SEKTORIMA S PRIPADNA 4 GLAVNA I 12 SPOREDNIH SMJEROVA ZA M.P. RIJEKA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.	210
TABLICA 0.10 MAKSIMALNE I SREDNJE BRZINE VJETRA [M·S ⁻¹] PO MJESECIMA ZA M.P. RIJEKA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.	210
TABLICA 0.11 OBRASCI TALOŽENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DIJATOMEJA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	258
TABLICA 0.12 OBRASCI RASPRŠENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DIJATOMEJA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	259
TABLICA 0.13 OBRASCI IZNOŠENJA KROZ OTVORENE GRANICE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DIJATOMEJA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA. POVEZANA JE UČESTALOST IZNOŠENJA S DOMINANTNIM VJETROM PRI ČEMU SU IZ 10-MINUTNIH ULAZNIH PODATAKA IZRAČUNATI SATNI KLIZNI SREDNJACI (SMJER I BRZINA), U OBZIR UZETI SMJEROVI I BRZINE 3H PRIJE NASTUPANJA IZNOŠENJA ČESTICA KROZ OTVORENU GRANICU TE SU RAZMOTRENI ISKLJUČIVO VJetrovi ZA KOJE SU SE JAVILE BRZINE PUHANJA > 5,3 [M·S ⁻¹] (90% PERCENTIL SATNO USREDNJNIH BRZINA VJETRA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.).	264
TABLICA 0.14 OBRASCI TALOŽENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DINOFLAGELATA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	267
TABLICA 0.15 OBRASCI RASPRŠENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DINOFLAGELATA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	268
TABLICA 0.16 OBRASCI IZNOŠENJA KROZ OTVORENE GRANICE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DINOFLAGELATA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA. POVEZANA JE UČESTALOST IZNOŠENJA S DOMINANTNIM VJETROM PRI ČEMU SU IZ 10-MINUTNIH ULAZNIH PODATAKA IZRAČUNATI SATNI KLIZNI SREDNJACI (SMJER I BRZINA), U OBZIR UZETI SMJEROVI I BRZINE 3H PRIJE NASTUPANJA IZNOŠENJA ČESTICA KROZ OTVORENU GRANICU TE SU RAZMOTRENI ISKLJUČIVO VJetrovi ZA KOJE SU SE JAVILE BRZINE PUHANJA > 5,3 [M·S ⁻¹] (90% PERCENTIL SATNO USREDNJNIH BRZINA VJETRA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.).	273
TABLICA 0.17 OBRASCI RASPRŠENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA KOPEPODA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA ..	276
TABLICA 0.18 OBRASCI IZNOŠENJA KROZ OTVORENE GRANICE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA KOPEPODA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA. POVEZANA JE UČESTALOST IZNOŠENJA S DOMINANTNIM VJETROM PRI ČEMU SU IZ 10-MINUTNIH ULAZNIH PODATAKA IZRAČUNATI SATNI KLIZNI SREDNJACI (SMJER I BRZINA), U OBZIR UZETI SMJEROVI I BRZINE 3H PRIJE NASTUPANJA IZNOŠENJA ČESTICA KROZ OTVORENU GRANICU TE SU RAZMOTRENI ISKLJUČIVO VJetrovi ZA KOJE SU SE JAVILE BRZINE PUHANJA > 5,3 [M·S ⁻¹] (90% PERCENTIL SATNO USREDNJNIH BRZINA VJETRA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.).	282
TABLICA 0.19 OBRASCI TALOŽENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DIJATOMEJA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	285

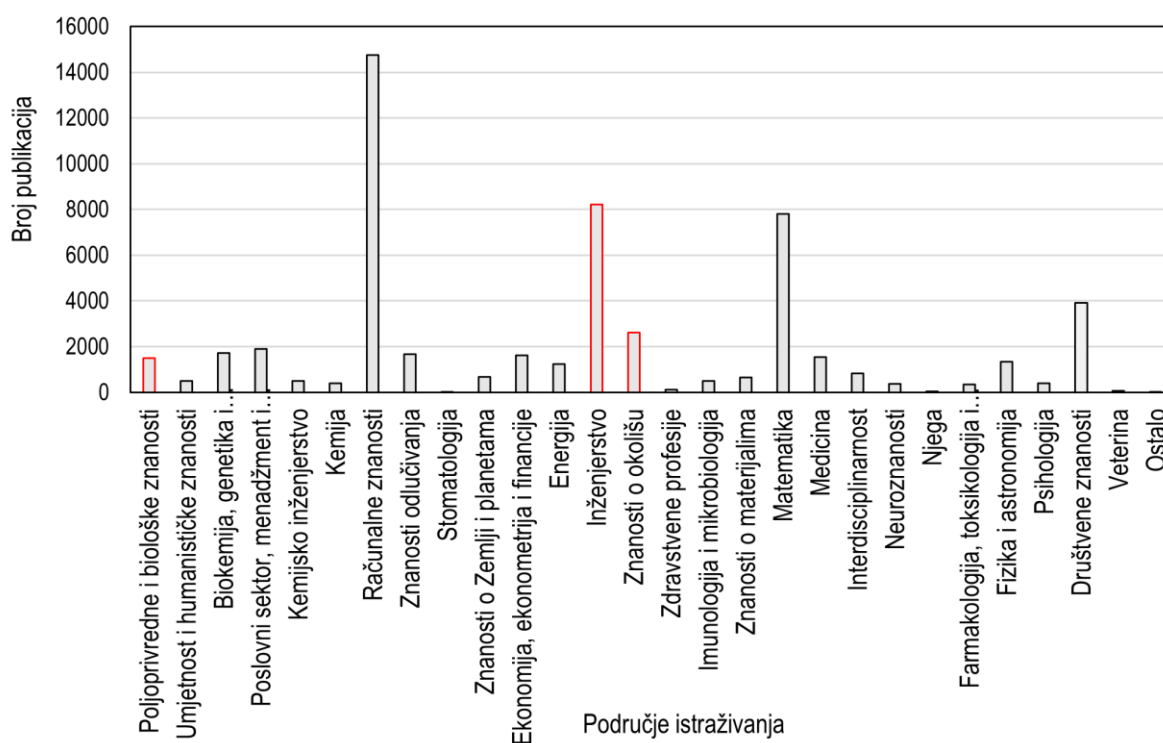
TABLICA 0.20 OBRASCI RASPRŠENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DIJATOMEJA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	286
TABLICA 0.21 OBRASCI IZNOŠENJA KROZ OTVORENE GRANICE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DIJATOMEJA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA. POVEZANA JE UČESTALOST IZNOŠENJA S DOMINANTNIM VJETROM PRI ČEMU SU IZ 10-MINUTNIH ULAZNIH PODATAKA IZRAČUNATI SATNI KLIZNI SREDNJACI (SMJER I BRZINA), U OBZIR UZETI SMJEROVI I BRZINE 3H PRIJE NASTUPANJA IZNOŠENJA ČESTICA KROZ OTVORENU GRANICU TE SU RAZMOTRENI ISKLJUČIVO VJetrovi ZA KOJE SU SE JAVILE BRZINE PUHANJA $> 3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (90% PERCENTIL SATNO USREDNjenih BRZINA VJETRA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.).	291
TABLICA 0.22 OBRASCI TALOŽENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DINOFLAGELATA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	295
TABLICA 0.23 OBRASCI RASPRŠENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DINOFLAGELATA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA	296
TABLICA 0.24 OBRASCI IZNOŠENJA KROZ OTVORENE GRANICE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA DINOFLAGELATA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA. POVEZANA JE UČESTALOST IZNOŠENJA S DOMINANTNIM VJETROM PRI ČEMU SU IZ 10-MINUTNIH ULAZNIH PODATAKA IZRAČUNATI SATNI KLIZNI SREDNJACI (SMJER I BRZINA), U OBZIR UZETI SMJEROVI I BRZINE 3H PRIJE NASTUPANJA IZNOŠENJA ČESTICA KROZ OTVORENU GRANICU TE SU RAZMOTRENI ISKLJUČIVO VJetrovi ZA KOJE SU SE JAVILE BRZINE PUHANJA $> 3,7 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ (90% PERCENTIL SATNO USREDNjenih BRZINA VJETRA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.).	301
TABLICA 0.25 OBRASCI RASPRŠENJA UNUTAR GRANICA PROSTORNE DOMENE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA KOPEPODA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA ..	305
TABLICA 0.26 OBRASCI IZNOŠENJA KROZ OTVORENE GRANICE ZDRUŽENOG MODELA CIRKULACIJE MORA I PRONOSA KOPEPODA S OBZIROM NA VLADAJUĆE OKOLIŠNE UVJETE (SMJER I BRZINU VJETRA) I LOKACIJU UNOSA MODELSKIH ČESTICA. POVEZANA JE UČESTALOST IZNOŠENJA S DOMINANTNIM VJETROM PRI ČEMU SU IZ 10-MINUTNIH ULAZNIH PODATAKA IZRAČUNATI SATNI KLIZNI SREDNJACI (SMJER I BRZINA), U OBZIR UZETI SMJEROVI I BRZINE 3H PRIJE NASTUPANJA IZNOŠENJA ČESTICA KROZ OTVORENU GRANICU TE SU RAZMOTRENI ISKLJUČIVO VJetrovi ZA KOJE SU SE JAVILE BRZINE PUHANJA $> 3,7 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ (90% PERCENTIL SATNO USREDNjenih BRZINA VJETRA U RAZDOBLJU 1.10.2020.-1.11.2021.).	310

1 UVOD

Svjedoci smo sve češćeg spominjanja interdisciplinarnosti u gotovo svim granama znanosti i industrije. Svjesni smo da brojne studije, koje služe za potrebe izrade projektne dokumentacije ili kao podloga za drugu vrstu studije, nemaju smisla ako se u obzir uzima isključivo dobrobit za promatrani ekosustav koja će se ostvariti samo kroz poboljšanje stanja jedinstvenog dijela toga sustava kao što su građevinske mjere. Uzmimo za primjer revitalizaciju rijeke koja prolazi kroz naseljeno područje. Logičan pristup izrade bilo kakve studije u današnje bi vrijeme trebao uzeti u obzir stanje flore i faune, potrebe stanovništva, potencijal urbanističke obnove, pravne aspekte, hidrološke uvjete sliva kojem naselje pripada, hidromorfološke karakteristike promatranog vodotoka i tako dalje. Jednom rečenicom, predloženim bi se rješenjem trebalo ostvariti povezivanje svih dionika promatranog sustava u smislenu cjelinu koji uključuju biološke, hidromorfološke i socio-ekonomske aspekte. Pravi je izazov ostvariti jedan takav cilj uzimajući u obzir znanja koja je potrebno imati i primijeniti ih u izvedivoj varijanti rješenja. Odgovor upravo leži u interdisciplinarnosti te mogućnosti primjene suvremenih alata i metoda kojima se uistinu mogu povezati brojni aspekti u smislenu cjelinu i provesti simulacije raznovrsnih procesa koji se odvijaju u stvarnom svijetu.

Jedan od pristupa, kojim se mogu objediniti analize raznovrsne problematike kako u znanstveno-istraživačkom tako u realnom sektoru, upravo je modeliranje zasnovano na agentima (eng. *Agent-Based Modelling*, dalje u tekstu: ABM). ABM predstavlja relativno nov pristup u modeliranju sustava koji se sastoji od autonomnih i interaktivnih agenata. Terminološki gledano, pretkom ABM-a može se smatrati princip modeliranja zasnovanoga na jedinkama (eng. *Individual-Based Modelling*, dalje u tekstu: IBM) s obzirom na to da agenti predstavljaju određene jedinke s mogućnošću prilagodbe drugim jedinkama ili pak promjenjivom okolišu u kojem se nalaze. Agenti se mogu opisati kao skup podataka i biheviorističkih metoda koji predstavljaju temeljni dio računalno stvorenoga svijeta (Tesfatsion, 2006.). Ovaj pristup omogućuje modeliranje dinamike kompleksnih adaptivnih sustava koje karakterizira mogućnost samoorganizacije pri čemu stvaraju određenu hijerarhiju između dionika sustava. Macal i North (2010.) napominju da ABM-i uključuju biheviorističke modele te se koriste za promatranje posljedica ponašanja i interakcije agenata.

Razvoj ABM alata, dostupnost mikro podataka te stalni napredak računalne tehnologije omogućuju porast primjene ABM-a u raznim disciplinama što je evidentno s grafičkoga prikaza u nastavku (Slika 1-1). Treba napomenuti da je klasifikacija prikazanih znanstvenih područja prevedena s obzirom na podjelu prema korištenom alatu pretraživanja broja publikacija. Na istoj su slici istaknuta četiri područja istraživanja koja su obrađena u sklopu ove disertacije.



Slika 1-1 Prikaz broja znanstvenih publikacija u odgovarajućem području istraživanja – članaka u časopisima, poglavlja u knjigama, knjiga i konferencijskih radova na temelju korištenja SCOPUS tražilice s postavkama 'TITLE-ABS-KEY (agent-based AND model OR individual-based AND model OR abm) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "bk"))' objavljenih do 23. lipnja 2023.

Sami naslov ove disertacije daje uvid u to da će u fokusu rada biti hidrotehnička problematika koja se tiče okoliša te procesa koji se obrađuju u obalnome inženjerstvu. S obzirom na to da su sve pojave, koje će se obraditi ovom disertacijom, usko povezane s morskim ekosustavima, svakako se mogu spominjati u kontekstu problematike upravljanja vodama¹ kojom se bavi vodno gospodarstvo. Ono što je zajedničko svim primjerima primjene ABM-a jest da se uistinu radi o problematici koja se može analizirati i potencijalno riješiti isključivo interdisciplinarnim pristupom.

Na početku drugoga poglavlja dobit će se uvid u činjenicu da je, na temelju opisanih primjera, evidentno kako su mogućnosti primjene ABM-a uistinu beskonačne te da bi se mogao napisati zaseban dokument od više stotina stranica koji se tiče opisivanja područja primjene i samih primjera. U nastavku istoga poglavlja dan je pregled dosadašnjih istraživanja vezanih uz tematiku balastnih voda od samih definicija preko opisivanja zakonske regulative (uglavnom za područje RH) sve do poveznice sa stranim i

¹ „Ciljevi upravljanja vodama su: 1. osiguranje dovoljnih količina zdravstveno ispravne vode za ljudsku potrošnju radi zaštite zdravlja ljudi, 2. osiguranje potrebnih količina vode odgovarajuće kakvoće za različite gospodarske i osobne potrebe, 3. zaštita ljudi i njihove imovine od poplava i drugih oblika štetnog djelovanja voda i 4. postizanje i očuvanje dobrog stanja voda radi zaštite života i zdravlja ljudi, zaštite njihove imovine, zaštite vodnih i o vodi ovisnih ekosustava.“ (Čl.5, St.2, Zakon o vodama, NN 66/2019)

invazivnim vrstama dominantno vezanima uz planktonske zajednice. Također, dobit će se uvid u dosadašnje prijedloge uspostave i načina funkcioniranja sustava potpore pri odlučivanju o mjerama upravljanja brodskim balastnim vodama u lučkim akvatorijima. Preko dosadašnjih istraživanja gibanja planktonskih zajednica razmotrit će se osnovne postavke koje je nužno uzeti u obzir pri modeliranju širenja ovih mikroorganizama upuštenih balastnim vodama. Također, pregledana su dosadašnja istraživanja vezana uz metode modeliranja gibanja fitoplanktona (dijatomeja i dinoflagelata) te zooplanktona (kopepoda i ličinki) gdje su uključeni i primjeri primjene ABM-a. Treće se poglavlje odnosi na opisivanje predmeta istraživanja te isticanje temeljnih stavki ove disertacije – ciljeva rada, hipoteze i očekivanoga znanstvenog doprinosa. Kroz četvrto poglavlje detaljno je predstavljena metodologija korištena u provedenome istraživanju. Opisane su sve podloge (statičke i dinamičke), korištene baze podataka, predmetna područja dviju hrvatskih luka Ploče i Rijeka unutar kojih su provedena terenska istraživanja, uspostavljeni hidrodinamički (dalje u tekstu: HD) modeli cirkulacije mora te modeli pronosa planktonskih zajednica. Kroz opis terenskih istraživanja dan je uvid u korištenu opremu za mjerenje brzina morskih struja, dinamike morskih razina, temperature i saliniteta te prikaz rezultata mjerenja. Procedura razvoja modela cirkulacije mora opisana je kroz vladajuće jednadžbe numeričkoga modela, jasno definiranje granica prostornih domena modela, uspostavu početnih i rubnih uvjeta modela na temelju dostupnih ulaznih podataka i terenskih mjerenja. U istom su poglavlju prezentirane procedure kalibracije i validacije HD modela što je uključilo prezentaciju parametra korištenih za utvrđivanje razine pouzdanosti modela. Posljednja potpoglavlja metodologije odnose se na opis izvorno uspostavljenih ABM-a pronosa fitoplanktona i zooplanktona korištenjem ODD protokola (eng. *Overview, Design concepts, Details*). Upravo se ODD u dosadašnjim istraživanjima istaknuo kao ogledni primjer načina opisivanja i prezentiranja postavki i načina funkcioniranja ABM-a. Izvorni ABM-i obuhvaćaju opis obrazaca gibanja triju planktonskih frakcija– dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda. ABM-i su dani kroz set izvorno definiranih jednadžbi kojima se opisuje vertikalno gibanje planktonskih zajednica s obzirom na podražaje iz HD okruženja (brzinu strujanja, temperatura, prodor sunčeve svjetlosti u stupac mora) čime je postignut značajni doprinos u odnosu na dosadašnja istraživanja. Dosadašnja su se istraživanja fokusirala na pronos planktonskih zajednica morskim okruženjem modelirajući ih kao trasersku otopinu izraženu u jedinici mase po volumenu (koncentraciju) upuštenu na određenoj lokaciji ili pak kao traserske (pasivne) čestice koje su trodimenzionalnim (dalje u tekstu: 3D) prostorom nošene isključivo morskim strujama uz mogućnost tonjenja. Spomenuta izvornost razvijenih modela i dio znanstvenoga doprinosa ostvareni su upravo kroz matematičko formuliranje mogućnosti agenata da svladaju morske struje u vertikalnome smjeru te prilagođavaju brzinu i smjer svoga vertikalnoga gibanja ovisno o okolnoj temperaturi i prodoru sunčeve svjetlosti u stupac mora. Sama metodologija ovoga rada smatra se adekvatnom za rješavanje problematike sekundarnog raspršenja organizama koji se nalaze u brodskoj balastnoj vodi nakon njezinog ispuštanja u lučkim akvatorijima. Uspostavom pouzdanih HD modela združenih s izvornim teoretskim ABM-ima pronosa aktivnih čestica, čiji su obrasci gibanja utvrđeni na temelju dosadašnjih laboratorijskih istraživanja, dobit će se uvid u mogućnost povećanja pouzdanosti pri predviđanju prostornog i vremenskog širenja sadržaja brodske balastne vode u odnosu na prethodne metode. Nadalje, ovim će se radom dati prijedlog operativnih mjera uključenih u okviru smjernica za ispuštanje brodskih balastnih voda. Valja napomenuti da predložene smjernice i pripadajuće operativne mjere ovise o okolišnim parametrima (meteorološki, hidrološki i oceanografski uvjeti) što je utemeljeno na provedenim simulacijama i dobivenim poljima raspršenih i istaloženih modelskih čestica (agenata) za karakteristične okolišne situacije i razdoblja. Upravo se predložene smjernice i operativne mjere mogu uklopiti u sustave potpore pri odlučivanju o mjerama upravljanja brodskim balastnim vodama. Osim toga, razvoj strategija ili čak dopuna

postojećih pravilnika usvojenih u okviru hrvatske zakonske regulative mogu iskoristiti alat razvijen u okviru ove disertacije kako bi se proširila cjelokupna slika komponenti koje je potrebno sagledati u kontekstu upravljanja brodskim balastnim vodama.

2 STANJE ZNANJA PODRUČJA

Sažetak poglavlja

2.1 ABM – polazište i osnove, razvoj i primjena

ABM čine tri elementa – agenti, okoliš i interakcije na relaciji agent-agent i agent-okoliš. Pri uspostavi ABM-a i opisivanju njegovih komponenti preporučuje se korištenje ODD protokola. ABM svoju primjenu pronalazi u područjima analize potrošačkog i burzovnog tržišta preko analiza ekosustava i bioloških procesa sve do modeliranja socioloških fenomena.

2.2 Balastne vode i štetne vrste

Balastne vode predstavljaju najznačajniji put unosa stranih i potencijalno invazivnih vrsta u morski ekosustav, posebice u Jadransko more. 1 [m³] brodske balastne vode može sadržavati do nekoliko milijuna jedinki zooplanktona, fitoplanktona i cista s potencijalno štetnim utjecajem. Štetne vrste narušavaju stabilnost ekosustava u kojem se nalaze, a invazivne vrste su kategorija štetnih. Svaka strana vrsta unesena u određeno područje može postati invazivna ukoliko na bilo koji način narušava stabilnost ekosustava, gospodarstvo ili zdravlje ljudi. Sredozemno more jedno je od najugroženijih po pitanju štetnog djelovanja stranih invazivnih vrsta.

2.3 Modeliranje pronosa planktonskih oblika

Dosadašnja istraživanja upućuju na važnost pouzdanosti HD komponente pri analizi pronosa i modeliranju planktonskih oblika. Važna je komponenta i pristup modeliranju planktonskih oblika za koje su u prethodnim istraživanjima prikazana raznovrsna matematička formulacija gibanja ovih organizama. Prvi pristup je modeliranje gibanja planktonskih oblika pomoću pasivnih modelskih čestica nošenih isključivo djelovanjem okolnoga polja strujanja. Drugi pristup je definiranje modelskih čestica koje imaju mogućnost gibanja konstantnom brzinom prema dnu nakon nastupanja određenih okolišnih uvjeta ili pak postizanja optimalnih vlastitih fizioloških uvjeta (ličinke). Osim navedenih, korišteni su i *random walk* modeli, fotoresponzivni modeli i ABM-i.

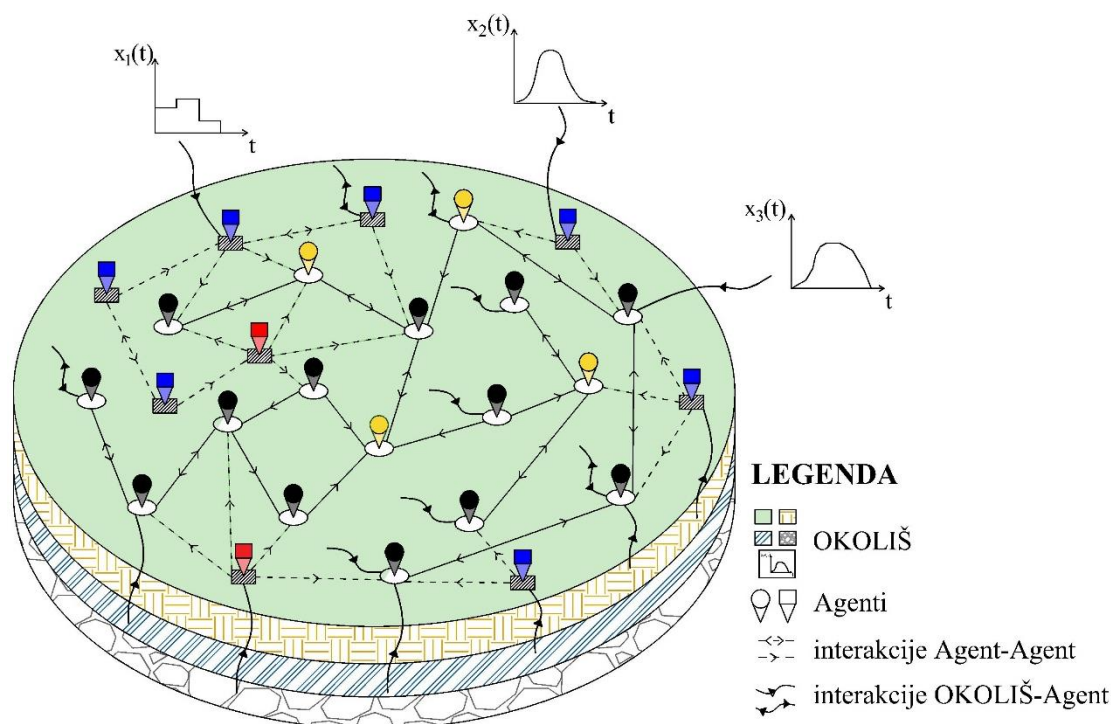
U ovome će se poglavlju dati pregled postojeće literature vezan uz definicije ABM-a, njegovu opću strukturu, korake pri uspostavi te područja njegove primjene uz kratke opise određenih primjera. Nadalje, dat će se pregled dosadašnjih istraživanja vezanih uz tematiku balastnih voda, stranih invazivnih vrsta s fokusom na planktonske zajednice čije je modeliranje pronosa obrađeno ovom disertacijom. Pod pregledom postojeće literature posebna će se pozornost obratiti na matematičku formulaciju analiziranih vladajućih procesa, postojeće modele razvijene u područjima obalnoga i okolišnoga inženjerstva vezanih uz pronos planktonskih zajednica te prezentaciju tih modela. Posljednja je stavka od izuzetne važnosti s aspekta razumijevanja analizirane problematike, procedure uspostave ABM-a i načina funkcioniranja toga modela.

2.1 ABM – polazište i osnove, razvoj i primjena

Grimm i Railsback (2005.), kao jedni od začetnika ekologije zasnovane na jedinkama (eng. *Individual based ecology*), ističu:

- temeljni aksiom da svojstva nekog ekosustava proizlaze iz osobina koje određuju interakcije između jedinki i jedinki sa sustavom te karakteristikama okoliša u kojem se jedinke nalaze,
- da su teorije ovoga pristupa predstavljene modelima ponašanja jedinki koji se mogu iskoristiti za predviđanje ponašanja čitavog sustava,
- da se razvijeni modeli ponašanja trebaju verificirati eksperimentalnim istraživanjima na temelju kojih se može dobiti uvid u njihovu pouzdanost i primjenjivost.

Kako bi se uspostavio ABM, potrebno je definirati tri elementa (Epstein, 2007.; Grimm i Railsback, 2007.; Grimm i sur., 2010.). Prvi element odnosi se na skup analiziranih agenata koji su autonomni uzimajući u obzir druge entitete koji se nalaze unutar simuliranoga okoliša. Drugi element odnosi se na simulirani okoliš unutar kojega se nalaze agenti i odvijaju određene pojave definirane dvama tipovima interakcija i to na relaciji agent-agent i agent-okoliš. Okoliš mogu činiti određeni resursi, pasivni objekti ili nekakva globalna svojstva što će se detaljnije opisati u poglavljima u kojima je dan opis problematike analizirane ovim istraživanjem (poglavlje 4.4). Posljednji, treći element je opisivanje međusobne interakcije agenata te agenata i okoliša u kojem se nalaze. S obzirom na to da je ovaj element nužan kako bi se dobio uvid u očekivani ishod analiziranoga problema, opisivanje svih razmotrenih aspekata interakcije od velike je važnosti. Interakcije nije potrebno opisati, primjerice, određenim organizacijskim strukturama, već se one mogu pojaviti implicitno unutar modela. Ipak, unutar modelskih simulacija zasnovanih na agentima potrebno je barem eksplicitno uzeti u obzir organizacijske strukture. Shematski prikaz strukture ABM-a s pripadajućim elementima dan je u nastavku (Slika 2-1).



Slika 2-1 Shematski prikaz strukture ABM-a (prilagođeno prema SIMTWIST Project, 2022)

U analizi sustava zasnovanih na različitim agentima, upravo okoliš ima ključnu ulogu, stoga se posebna pozornost treba posvetiti njegovom modeliranju. Kroz sagledavanje problematike odozdo prema gore (eng. *bottom-up*) ostvariv je visoki potencijal pri analizi problema u kojima konvencionalno modeliranje i simulacijske paradigme ne daju dovoljno široku sliku što se tiče adekvatnoga opisivanja ključnih stavki realnoga sustava. Postoji nekoliko pristupa modeliranju koji koriste različite simulacijske metode za opis stvarnog problema. Najbolji izbor modelske paradigme ovisi o svojstvima promatranog sustava kao i o konačnom cilju istraživanja. Različite paradigme karakteriziraju različita vremenska (kontinuirano ili diskretno) ili prostorna (makroskopski, mikroskopski) mjerila modelskih elemenata. Srž ABM-a leži u tome da se, umjesto opisivanja globalne fenomenologije, prirodni procesi opisu preko akcije i interakcije višeagentnoga sustava. Pristup odozdo prema gore izuzetno je bitna stavka ABM-a, stoga se ovaj princip modeliranja smatra posebice prikladnim za opisivanje fenomenologije kompleksnoga adaptivnog sustava kao što je morski ekosustav (Epstein, 2007.).

Epstein (2007.) u svome radu navodi pojam pojava fenomena kao nepredvidivih obrazaca ili globalnih bihevioralnih karakteristika koje nije moguće izvesti na temelju vlastitih konstituenata sustava. Stoga, pojava struktura i ponašanje generirani su lokalnom interakcijom entiteta unatoč činjenici da je upravo entitet moguće motriti na globalnoj (makroskopskoj) razini. Upravo ova tvrdnja vodi do toga da entitet nije moguće opisati isključivo na temelju vlastitoga ponašanja. U slučaju ABM-a, entiteti, koji imaju određenu interakciju, prirodno se mogu opisati kao agenti. Generiranje određenoga fenomena s niže razine akcija i interakcija posebice je korisno zbog toga što nam pomaže pri razumijevanju uzročno-posljedične veze njihovih događanja (akcija i interakcija).

Po pitanju doprinosa ABM simulacija konvencionalnim metodama modeliranja izložena su razmatranja Klügl i Bazzan (2012.). Razlike ABM simulacija u odnosu na isključivo makroskopski pristup poprilično su očite s obzirom na to da je potonji zasnovan na ideji čitavog sustava interpretiranoga kao jedan objekt čije je stanje opisano određenim varijablama promjenjivima u vremenu. Makroskopski pristup ima mnogo

prednosti. Primjerice, nakon definiranja seta matematičkih izraza koji opisuju sustav, čitavi model određen je u potpunosti i to na jasan način. Nadalje, rezultat se može jednostavno reproducirati ako je poznat algoritam s odgovarajućim parametrima. S druge strane, matematički alat korišten pri razvoju makroskopskih modela dostupan je manjem broju obučanih ljudi. Također, usvajaju se određene pretpostavke poput prostorne homogenosti i homogenosti između jedinki populacije što nije nužno za opisivanje adaptivnih bihevioralnih i drugih karakteristika jedinki. Ove su pretpostavke prihvatljive u slučaju sustava koji se sastoji od velikog broja jedinki pri čemu je moguće određene razlike svladati uprosječenjem ili u slučaju kada eksplicitno tretiranje heterogenosti između jedinki ne vode značajnijim dobicima. S druge strane, tako usvojene pretpostavke mogu dovesti do pretjeranoga pojednostavljivanja simuliranoga procesa što, u konačnici, dovodi do rezultata simulacije na temelju kojih nije moguće doći do zaključka o ponašanju određenoga sustava. Parunak i sur. (1998.) te Bagni i sur. (2002.) dali su detaljnu usporedbu između ABM simulacija temeljenih na makroskopskoj razini i modela temeljenih na običnim diferencijalnim jednačbama kojima su opisani elementi određenog sustava. Osim usporedbe efikasnosti makroskopskog pristupa i onoga zasnovanog na agentima, autorima navedenih istraživanja nametnulo se pitanje: u čemu je uopće razlika ABM-a i konvencionalnih makroskopskih pristupa u modelskim simulacijama ako su ova dva pristupa zapravo povezana?

Prema Grimmu i Railsbacku (2005.) klasična teorija ekologije zanemaruje pojedine jedinke te njihovu prilagodljivost u ponašanju prema drugim jedinkama i onomu što ih okružuje. Ekosustavi su inače promatrani sa stajališta opisivanja određenih procesa kroz motrenje promjene mase ili koncentracije unutar sustava. Ovako procesno orijentirano modeliranje provodi se opisivanjem toka između određenih komponenata i odgovarajućega procesa. Ovo je valjano uspostavljena i dokazana metoda te je, inače, prvi izbor ako se, primjerice, provode simulacije otopljenih tvari kao što je kisik, razina biološke potrebe za kisikom, onečišćivača, raspodjela fito i zooplanktona. Grimm i Railsback (2005.) dalje navode da se brojni fenomeni ne mogu adekvatno opisati primjenom procesno orijentiranih modela. Primjerice, dobro je poznato da planktonske zajednice, koje su izložene pasivnom pronosu pod utjecajem morskih struja, vertikalno migriraju na dnevnoj bazi kroz stupac vode. U oceanima ova je vertikalna migracija prisutna čak unutar nekoliko stotina metara. Hranjenjem pri površini i ispuštanjem tvari na većim dubinama, plankton može utjecati na transport organske tvari u dublje slojeve. Ako su obrasci strujanja različiti unutar stupca vode, takvi procesi također utječu na razvoj drugih vrsta. ABM-i se, stoga, mogu koristiti pri opisivanju i analiziranju takvih obrazaca reprodukcijom promatranog kretanja jedinki (agenata) kao i rezultirajućih promjena unutar sustava.

Koraci pri uspostavi ABM-a mogu se definirati sukladno ODD protokolu (Grimm i sur., 2006., 2010., 2020.). Spomenuti protokol razvio se iz ranije opisane procedure za definiranje ovakvih modela – PSPC+3 (Grimm i Railsback, 2005.). U sklopu PSPC+3 protokola predviđeno je opisivanje sedam koraka ili elemenata kroz koje se jasno dobije uvid zašto je uspostavljen, kako funkcionira te kako prezentirati rezultate izrađenog ABM-a. ODD protokol zapravo predstavlja revidirani PSPC+3 pri čemu ima istoimene elemente za koje je u nastavku tablično dan skraćeni opis prema Grimm i sur. (2006., 2010., 2020.).

Tablica 2.1 ODD protokol uspostave ABM-a prema Grimm i sur. (2006., 2010., 2020.)

Grupa	R.br.	Element	Opis elementa
Pregled	1.	Svrha i obrasci modela	Jasno definiranje svrhe i obrazaca pokrivenih modelom kako bi se razumjelo koji se problem analizira te koje su komponente razmatranoga procesa uzete u obzir, a koje su zanemarene.
	2.	Entiteti, varijable stanja i mjerilo modela	Opis jedinki promatranoga sustava, hijerarhije modelskih komponenti, abiotičkoga i biotičkoga okoliša, definiranje prostorne i vremenske rezolucije te granica obuhvata modela. Entiteti predstavljaju agente i okoliš. Varijable stanja predstavljaju varijable niže razine kojima je opisan svaki entitet bilo da se radi o jedinki (godina, spol, društveni položaj) ili pak staništu (lokacija, izloženost predatorima, tip tla) promatrane vrste. Ako postoje, potrebno je opisati pomoćne varijable više razine koja se sastoji od staništa ili jedinki. Pod mjerilom modela podrazumijevaju se prostorni obuhvati i diskretizacija promatranog područja te vremenska rezolucija (trajanje simulacije i vremenski korak).
	3.	Promatrani procesi i redoslijed odvijanja procesa	Konceptualni opis procesa, njihovoga učinka na promjene u modelskom sustavu i vremenski redoslijed njihovog odvijanja što je potrebno detaljnije razraditi u posljednjem elementu ODD protokola – podmodeli.
Koncepti razvoja	4.	Koncepti razvoja modela	Popis stavki koje je preporučljivo opisati kako bi se dobio daljnji uvid u tijek razvoja i konačni cilj uspostavljenoga ABM-a: nastanak fenomena proizašlih iz osobina i ponašanja agenata (eng. <i>emergence</i>), adaptacija promjenama tijekom interakcije s drugim agentima i okolišem (eng. <i>adaptation</i>), razina sposobnosti jedinki (eng. <i>fitness</i>), mogućnost predviđanja budućih uvjeta (eng. <i>prediction</i>), senzorička sposobnost jedinki (eng. <i>sensing</i>), interakcije s drugim jedinkama i okolišem (eng. <i>interaction</i>), stohastika (eng. <i>stochasticity</i>), skupine jedinki (eng. <i>collectives</i>), razmatranje rezultata ABM-a (eng. <i>observation</i>).
Detalji	5.	Pokretanje modela (početni uvjeti)	Daje uvid u način na koji su kreirani agenti i okoliš, opis početnih vrijednosti varijabli stanja na početku modelske simulacije i slično.
	6.	Ulazni podaci	Svi ulazni podaci koji se dominantno odnose na okolišne parametre nužne za provedbu modelskih simulacija, opis matematičkih izraza pomoću kojih je određeno gibanje agenta i interakcija na relaciji agent-agent i agent-okoliš.
	7.	Podmodeli	Opis podmodela kojim je potrebno detaljno prezentirati i objasniti sve procese prethodno konceptualno opisane u sklopu pregleda razmotrenih procesa i mjerila primijenjenih unutar modela (treći element ODD protokola).

2.1.1 Područja primjene ABM-a

Generalno, ABM svoju primjenu pronalazi u problematici u kojoj je potrebno u obzir uzeti stohastički karakter vladajućih procesa, objekata ili jedinki koji ima utjecaj na promjene u analiziranom sustavu. Upravo su Abar i sur. (2017.) i Sie Chew (2021.) dali iscrpni pregled područja primjene ABM-a i softverske podrške za modeliranje željenoga problema. Ta se problematika kreće od analize potrošačkoga i burzovnoga tržišta preko analiza ekosustava i bioloških procesa sve do modeliranja socioloških fenomena. Što se pak softverske podrške tiče, isti su autori dali pregled dostupnih alata zajedno s kratkim opisom kompleksnosti korištenja, problematike i procesa koje pokrivaju.

ABM je primjenu pronašao u biomedicini i zdravstvu gdje je analizirano širenje pandemije virusa SARS-CoV2 u Francuskoj (Datta i sur., 2020.) i New Yorku (Hoertel i sur., 2022.). Nadalje, određena istraživanja pokazala su mogućnost primjene ABM-a za logističku problematiku gdje su Heinrichs i sur. (2018.) združili ABM prijevozne potražnje s modelom prometnoga toka za potrebe simuliranja vremena putovanja u različitim prometnim situacijama. U istome sektoru Renna i sur. (2021.) primijenili su ABM za donošenje prijedloga inovativnoga pristupa u zamjeni cestovnoga kombiniranim cestovno-pomorskim prometom što bi se uokvirilo u sustav potpore pri odlučivanju za donošenje odluka institucija nadležnih za prijevoz. U sektoru ekonomije česta je primjena ABM-a od čega valja izdvojiti rad Hamilla i Gilbert (2016.) koji su sveobuhvatnim istraživanjem predstavili teoretsku pozadinu i primjenjivost ovoga principa na, primjerice, stope nezaposlenosti, devizne tečajeve, bankarstvo. Vanfossan i sur. (2020.) proveli su istraživanje u kojem su primijenili ABM za modeliranje umjetnoga tržišta dionica.

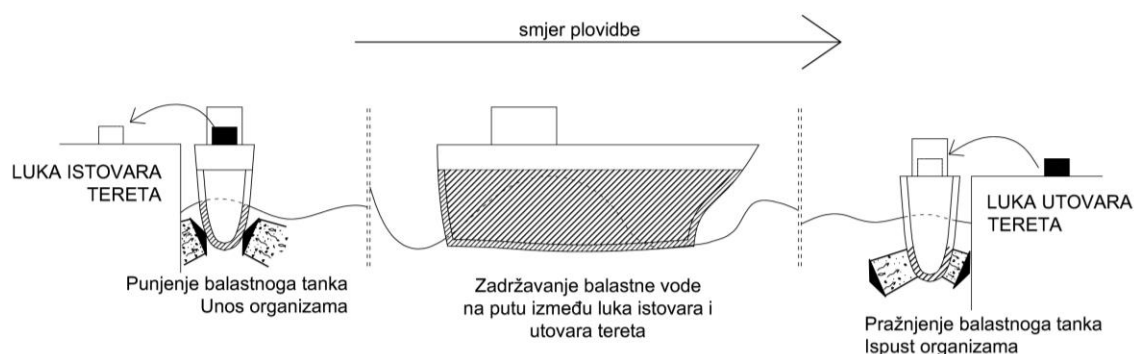
Kada se u obzir uzme tematika okolišnoga inženjerstva te građevinarstvo kao njegov sastavni dio, također se može tvrditi da su mogućnosti primjene ABM-a gotovo neograničene. Upravo će se kroz tematiku vodnoga gospodarstva i s njim povezane sociološke, ekonomske i ekološke problematike dati primjeri primijenjenih ABM-a. Agenti su u ovim primjerima predstavljeni na različite načine, a obuhvatit će se jedinke koje predstavljaju živi svijet pa čak i određene društvene strukture. Thober i sur. (2018.) u svome su radi prezentirali petnaest primjera ABM-a primijenjenih za analize socio-ekoloških sustava pri čemu su promatrali kako klimatske promjene (suše, poplave, količina oborine, porast razine mora i sl.) utječu na ljudske migracije. BenDor i Scheffran (2018.) predstavili su *VIABLE* (eng. *Value and Investments from Agent-Based interaction and Learning in Environmental systems*) modelski pristup koji koristi ABM za modeliranje naprednih aspekata sukoba što uključuje izgradnju institucija, formiranje koalicija, adaptivno učenje i potencijal budućih sukoba uz rješavanje sukoba na temelju dugoročne održivosti strategija dionika sustava. U okviru upravljanja vodama valja izdvojiti nekoliko radova. Prvi se odnosi na analizu vodnih resursa kao kompleksnih adaptabilnih sustava. Dvije su studije demonstrirale primjenjivost upotrebe interaktivnih agenata za simuliranje problema pri planiranju upravljanja vodnim resursima (Zechman Berglund, 2015.). Slično istraživanje proveli su Huber i sur. (2021.) koji su primijenili ABM za analizu vodne bilance u socio-ekološkom sustavu planinskih slivova u Alpama pri čemu je razvijen *Aqua.MORE* model. Agenti u ovome modelu predstavljeni su sustavom vodoopskrbe, lokalnim tijelima nadležnima za upravljanje vodom i potrošačima, a analizirano je ukupno šest scenarija usporedbe potrebe za vodom i dostupnosti vodnih resursa pri čemu su po tri uzeta u obzir bez i tri s utjecajem klimatskim promjena. Yang i sur. (2018.) izradili su ABM za potrebe analize osjetljivosti kućanstava kao agenata u slučaju urbane poplave dok su se Ghoreishi i sur. (2021.) bavili tematikom adaptacije poljoprivrednika i poljoprivrednih površina na suše primjenom ABM-a.

2.2 Balastne vode i štetne vrste

2.2.1 Balastne vode

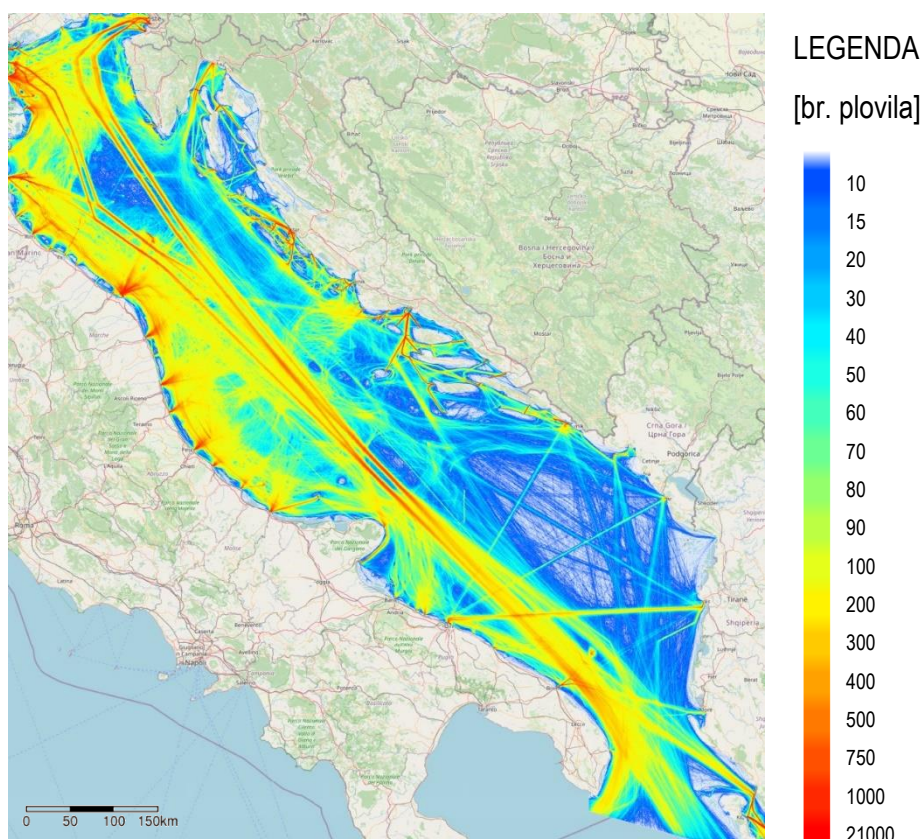
2.2.1.1 Općenito

Balastne vode su vode sa suspendiranim tvarima i organizmima u njoj, upuštene u brodski balastni tank radi postizanja zadovoljavajuće stabilnosti broda na putu između luke istovara i luke utovara tereta (Hrvatski sabor, 2010.) čime predstavljaju jedan od ključnih aspekata sigurne plovidbe. Gollasch i Rosenthal (2009.) istaknuli su da 1 [m³] brodske balastne vode može sadržavati i do nekoliko milijuna jedinki zooplanktona, fitoplanktona i cista o čijem će potencijalno štetnom utjecaju riječ biti nešto kasnije. Shematski prikaz ciklusa upuštanja i ispuštanja balastnih voda dan je u nastavku.



Slika 2-2 Shema upuštanja, zadržavanja i ispuštanja balastnih voda

Na razini Jadranskoga mora, pomorski promet karakteriziraju četiri glavne rute (Slika 2-3) o čemu su diskutirali David i sur. (2019.). Glavna ruta slijedi ujedno glavnu uzdužnu os Jadranskog mora (od Otrantskih vrata prema Tršćanskom zaljevu). Ukupna duljina je nešto više od 400 nautičkih milja pri čemu povezuje luke na sjeveru ovoga akvatorija s Otrantskim vratima. Druga grupa predstavlja poprečne rute koje povezuju istočnu i zapadnu obalu Jadrana. Treća grupa odnosi se na rute uzduž zapadne i istočne obale. Promet zapadnom obalom uglavnom je domaćega karaktera dok promet na istočnoj obali karakterizira međunarodna plovidba. Posljednja, četvrta grupa uključuje različite redovite rute kojima plove kruzeri, jahte, ribarice i ostali manji brodovi. Nadalje, navode da ovim akvatorijem godišnje plovi 22000 brodova pri čemu se najveća grupa odnosi na brodove za opći teret, a slijede ih brodovi za rasuti teret te tankeri za prijevoz kemijskih otopina i nafte. David i sur. (2016.) istražili su obrasce unosa balastnih voda u Jadransko more kako bi se dobio uvid u učestalost dolazaka plovila, profil ispuštanja balastne vode prema tipu plovila i luke donore balastne vode.



Slika 2-3 Karta gustoće prometa plovila Jadranskim morem u razdoblju od srpnja 2014. do lipnja 2015. (preuzeto s Tools4MSP Geoplatform, 2023.)

Povoljan geografski položaj Jadranskoga mora kao dijela Sredozemnoga mora najbližega kontinentalnom dijelu Europe uz turističku atraktivnost istočne obale Jadranskoga mora utječu na porast pomorskoga prometa kako putnika tako i robe (Šobar, 2023.). U istom radu prikazani su podaci Državnoga zavoda za statistiku² koji daju uvid u porast od 10,4% više brodova dospjelih u Republiku Hrvatsku (dalje u tekstu: RH) u 2022. u odnosu na 2021. godinu. Što se prometa robe tiče, u 2022. godini utvrđen je porast od 9,1% (porast od otprilike 2 milijuna tona) u odnosu na 2021. godinu dok je u slučaju prometa putnika ovaj porast iznosio 23,8%.

2.2.1.2 Zakonska regulativa u RH

Po pitanju problematike vezane uz upravljanje balastnim vodama, što se dominantno odnosi na ispuštanje ili uzimanje balastne vode, RH je donosila zakonske mjere od 2007. do 2012. godine.

Prva mjera vezana uz ovu problematiku odnosi se na donošenje Pravilnika o upravljanju i nadzoru vodenog balasta NN 55/07 (Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka, 2007.). Spomenutim pravilnikom utvrđena su načela i postupci upravljanja i nadzora brodskih balastnih voda za područje unutar teritorijalnoga mora i Zaštićenog ekološko-ribolovnog pojasa RH (dalje u tekstu: ZERP). Osim navedenoga, Pravilnikom NN 55/07 definiran je sadržaj obrasca prijave balastnih voda i popis mikroorganizama koji ne smiju biti raspršeni u brodskoj balastnoj vodi koja se ispušta u unutarnjim morskim vodama, teritorijalnom moru i ZERP-u.

² <https://podaci.dzs.hr/2022/hr/29110> (datum zadnjega pristupa: 8. studenoga 2023.)

Nadalje, u travnju 2010. godine donesen je Zakon o potvrđivanju Međunarodne konvencije o nadzoru i upravljanju brodskim balastnim vodama i talozima (dalje u tekstu: BWM konvencija³) iz 2004. godine NN 3/2010 (International Maritime Organization, 2004.; Hrvatski sabor, 2010.) što je ujedno krovni dokument vezan uz problematiku koja se obrađuje ovim radom. Zakon NN 3/2010 u fokus stavlja utjecaj ispuštanja brodskih balastnih voda na morski okoliš, odnosno kontrolu prijenosa štetnih vodnih organizama i patogenih balastnih voda, praćenje stanja, izdavanje svjedodžbi, inspekcije i sl. Također, Zakonom NN 3/2010 definiran sadržaj svjedodžbi i popratnih obrazaca vezanih uz postupke upravljanja i nadzora svih aktivnosti vezanih uz balastne vode kao i odgovarajuća terminologija koju je potrebno koristiti kada se spominje ova problematika.

Posljednji dokument po pitanju zakonske regulative u RH odnosi se na Pravilnik o upravljanju i nadzoru balastnih voda NN 128/2012 (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2012.) koji predstavlja proširenje prethodnoga Pravilnika NN 05/2007 uz napomenu da je terminologija izmijenjena u odnosu na stariji pravilnik.

Osim donesenih pravilnika i zakona, u procesu izrade je Strategija upravljanja balastnim vodama u Republici Hrvatskoj pri čemu je u dosadašnjoj fazi izrađen nacrt. Također, donesen je Program mjera zaštite i upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2017.) koji taksativno navodi buduće korake pri izradi strategija koje će dati prijedloge vezane uz tematiku upravljanja i nadzora balastnih voda u Jadranskome moru.

2.2.1.3 Poveznica balastne vode – unos i širenje stranih vrsta u Jadranskome moru

U nedostatku recentnih istraživanja po pitanju količina unesenih brodskih balastnih voda u Jadransko more, u okviru ovoga poglavlja dat će se uvid u razdoblje od 2005. do 2015. godine. U spomenutom je razdoblju zabilježen rastući trend unosa balastnih voda u hrvatske luke o čemu svjedoči nekoliko izvješća. Podaci prikupljeni između 2005. i 2010. u okviru GloBallast projekta ukazuju na prosječne godišnje količine ispuštene balastne vode između 2,18 i 2,48 milijuna [m³] po pojedinoj luci pri čemu su najznačajnije lokacije unosa luke Rijeka, Split, Šibenik i Ploče (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2011.). Nešto recentniji podaci zabilježeni za iste lokacije unosa u razdoblju od 2014. do 2015. upućuju na porast godišnje količine ispuštene balastne vode koji se kreće između 3,14 i 3,50 milijuna [m³] po luci (Čović Bajramagić, Vukić i Slišković, 2017.). Na temelju prethodno navedenih brojki utvrđeno je da se godišnje u Jadransko more ukupno unese više od 10 milijuna [m³] balastne vode, a, uzimajući u obzir buduće projekte koji bi se trebali odvijati na Jadranskom moru, može se očekivati porast ove količine (David i sur., 2019.).

Molnar i sur. (2008.) u svome su radu istaknuli da je brodski promet dominantni put unosa stranih vrsta u određeni morski ekosustav što je potvrđeno daljnjim istraživanjima. Katsenavakis (2013.) ističe da su upravo ispuštanje balastnih voda i obraštaj brodske oplave primarni putevi unosa stranih vrsta u morski ekosustav. Izvješće Europske agencije za okoliš (EEA, 2021.) daje informaciju da u ukupno 1039 novo unesenih stranih vrsta u Sredozemno more brodski promet sudjeluje s 49,1% udjela za razdoblje 1947.-2017. Podaci o broju novo unesenih stranih vrsta u Jadransko more, dostupni u istom izvješću, prikazani su u nastavku.

³ eng. The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 (BWM Convention) <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx> (datum zadnjega pristupa: 9. travnja 2024.)

Tablica 2.2 Broj novo unesenih stranih vrsta u Jadransko more ovisno o putu unosa za razdoblje 1970.-2017. (EEA, 2021.)

Put unosa		Broj novo unesenih stranih vrsta 1970.-2017.
Pronos slijepih putnika	Ispuštanje balastnih voda	67
	Obraštaj brodske oplata	65
	Ostalo (unutar opreme za jaružanje ili ribolov)	11
Slučajni pronos zagađivača		53
Pronos putem postojećih morskih koridora (npr. Sueski kanal)		7
Migracije iz akvakultura i sl.		16
Namjerno ispuštanje u more		0

Osim primarnoga puta unosa, Galil (2009.) te Cardecchia i sur. (2016.) upućuju na to da sekundarno raspršenje, koje slijedi netom nakon početne introdukcije organizama, primjerice balastnom vodom, također ima značajan utjecaj na pojavu novih stranih vrsta u određenim akvatorijima.

Recentno iscrpno istraživanje Katsenevakisa i sur. (2023.) uključuje pregled najznačajnijih puteva unosa stranih vrsta te metoda operativnih mjera smanjivanja populacija unesenih vrsta (fizičkih, kemijski, biološko-ekoloških i ostalih mjera kroz osvještavanje javnosti o ovoj problematici). U samom je radu posebice istaknut Mediteranski akvatorij za koji se može očekivati niz nepovoljnih utjecaja uslijed širenja invazivnih vrsta otpornih na klimatske promjene s naglaskom na porast temperature.

Činjenice vezane uz porast pomorskoga prometa (diskutirano u poglavlju 2.2.1.1) i, posljedično, porast količine unesenih balastnih voda u luke Jadranskoga mora svakako upućuju na to da se u budućnosti može očekivati nastavak ovoga trenda. Samim time, može se očekivati porast broja stranih vrsta čije će se potencijalno štetno djelovanje raspraviti nešto kasnije. Također, Katsenevakis i sur. (2023.) opominje da je sagledavanje korelacije širenja invazivnih vrsta s klimatskim promjenama, koje nisu vezane uz temperaturu, značajno zanemareno, a kamoli kvantificirano. Između ostaloga, ističe promjene u salinitetu, meteorološke, hidrološke i hidrodinamičke uvjete koji se zanemaruju pri definiranju uzročno-posljedične veze na relaciji klimatske promjene-širenje invazivnih vrsta.

2.2.1.4 Upravljanje brodskim balastnim vodama – sustav potpore pri odlučivanju

Već je u poglavlju 2.2.1.2 obrađena važeća zakonska regulativa u RH gdje su kroz donesene pravilnike i zakone definirana načela, postupci i ostala dokumentacija pomoću koje se upravlja i nadzire količina i sadržaj brodskih balastnih voda. U nastavku ovoga poglavlja naglasak je stavljen na sustave za rano upozorenje i potporu pri odlučivanju o mjerama povezanim s upravljanjem brodskim balastnim vodama. Sama definicija sustava za potporu pri odlučivanju (eng. *Decision Support System*, dalje u tekstu: DSS) vezana je uz problematiku donošenja odluka te olakšavanje čitavoga procesa (David i Gollasch, 2014.). Pri tome, uobičajeno je da DSS čini sustav algoritama koji, na temelju višekriterijske analize, donosi

najmanje nepovoljnu odluku ovisno o cilju koji se želi postići. David i Gollasch (2016.) detaljno su obradili opću strukturu DSS-a vezanoga uz upravljanje brodskim balastnim vodama koji je usklađen s BMW konvencijom. U kontekstu povezanosti donošenja odluka s okolišnim uvjetima istaknuli su isključivo dio koji se odnosi na sadržaj balastnoga tanka u okviru prikupljanja ulaznih podataka vezanih uz biološke podatke iz luka donora balastne vode te drugih okolišnih podataka iz luka donora i primatelja. Vezano uz karakteristike akvatorija, ističe se jedino salinitet kao mjerodavni okolišni parametar. Također, kao dio DSS-a spominje se sustav za rano upozorenje pri donošenju mjera upravljanja brodskom balastnom vodom. Ova komponenta DSS-a opisana je isključivo kroz detektiranje sadržaja balastne vode uzete iz luke donora te definiranje razine rizika za luku u koju se predviđa ispuštanje. Valja napomenuti da se, s aspekta razmatranja okolišnih uvjeta, autori nisu dotaknuli problematike uvjeta cirkulacije u lukama u kojima se planira ispuštanje balastne vode. Magalletti i sur. (2017.) fokus su stavili na analizu procedure upozoravanja plovila u lukama u čijem su akvatoriju utvrđeni kritični biološki uvjeti kao što je izraženi porast koncentracije ili cvjetanje štetnih vodenih organizama i patogena (vidi poglavlje 2.2.1.1). Nadalje, predloženom je procedurom obuhvaćeno upozoravanje nadležnih tijela zaduženih za motrenje okolišnih promjena i javno zdravlje u slučaju utvrđivanja prisutnosti stranih vrsta ili patogena. Valja još jednom napomenuti da je jasno istaknuto da konačni kriterij za ispuštanje ili uzimanje balastne vode mora biti povezan s ustanovljenom prisutnosti poznatih ili potencijalno štetnih organizama i patogena u balastnim vodama, odnosno u akvatoriju.

Kraus i sur. (2019.) dali su prijedlog strategije provedbe nultog stanja luke (eng. *Port Baseline Survey*, dalje u tekstu: PBS) koje daju uvid u inventar vrsta prisutnih u luci i u okolinom području luke uz jasno isticanje prisutnih stranih vrsta primarno unesenih brodskom balastnom vodom. Samu izradu PBS-a autori smatraju temeljem za donošenje budućih odluka vezanih uz upravljanje balastnim vodama unutar luke. Upravo se provedba PBS-a može smatrati dopunom procedure koje su opisali Magalletti i sur. (2017.) s obzirom na to da se preciziraju okolišni i biološki parametri koje je potrebno mjeriti. Također, značajna se nadogradnja očituje kroz sagledavanje sezonske varijacije oceanografskih uvjeta te obrasce cirkulacije mora koja dominantno utječe na transport organizama nakon unosa putem ispuštanja balastne vode u određenu luku.

Ivče i sur. (2022.a, 2022.b) u svojim su radovima obradili tematiku funkcioniranja sustava za rano upozorenje pri odabiru adekvatnoga područja uzimanja balastne vode unutar akvatorija u kojem brod istovara teret. Pri tome, slično kao prethodna istraživanja, odabir lokacije uzimanja definira se s obzirom na kakvoću vode što se tiče prisutnosti štetnih organizama i stranih vrsta na dijelu akvatorija u kojem se plovilo nalazi. Također, autori su diskutirali o ovoj tematici s pozicije nadležnog tijela (npr. lučke uprave) koje šalje upozorenje (Ivče i sur., 2022.a) i primatelja upozorenja, tj. kapetana plovila koji je dužan za implementaciju određenih procedura po pitanju režima uzimanja balastne vode (Ivče i sur., 2022.b).

Katsenevakis i sur. (2023.) u svome radu daju prijedlog unaprjeđenja sustava za rano upozorenje kroz pojačani monitoring invazivnih vrsta te jačanje prekogranične suradnje, a fokus je stavljen na primjenu suvremenih tehnika motrenja (poput eDNA, automatizirano motrenje, građansku znanost, itd.). Osim toga, napominje da je potrebno raditi na brzini prijenosa informacija o uočenim invazivnim vrstama koja bi značajno doprinijela sustavu ranog upozorenja te bržem donošenju odluka ovisno o utvrđenom stanju.

Kraus (2023.) ističe da rana detekcija štetnih vodenih organizama i patogena (eng. *harmful aquatic organisms and pathogens*, dalje u tekstu: HAOP), potencijalno unesenoga brodskom balastnom vodom, može pospešiti brzi odgovor i poduzimanje mjera za njihovo daljnje širenje. Pri tome, svakako je naglasak na dvije komponente kontinuiranoga i adekvatnoga monitoringa luka. Prva se odnosi na rano upozorenje

o prisutnosti i prevenciju daljnjeg širenja HAOP-a ispuštanjem balastne vode ili prirodnom cirkulacijom unutar i izvan promatranoga akvatorija. Druga komponenta podrazumijeva pravovremen odgovor u vidu mjera istrebljivanja ili drugih prikladnih strategija i mjera kojima će se spriječiti raspršenje unesenih vrsta akvatorijem. U ovome je radu zapravo obuhvaćeno sve ranije opisano na ovu tematiku s obzirom na to da su izrađene upute s detaljno opisanim koracima upravljanja brodskim balastnim vodama u lukama, dosad razrađenim metodama za provedbu monitoringa vrsta u lukama, razradom sustava ranoga upozorenja kojim se daje prijedlog izbjegavanja uzimanja balastne vode kako bi se spriječio njihov prijenos u luku utovara tereta. Nadalje, obrađene su mjere odgovora na prisutnost HAOP-a u lukama pri čemu uvjeti morske cirkulacije nisu razmotreni kao faktor koji treba razmotriti prije donošenja konačne odluke. Naposljetku, dan je prijedlog konkretnih mehaničkih, fizikalnih, kemijskih i bioloških mjera kontrole i istrebljenja potencijalno invazivnih vrsta. U završnom osvrtu autorica ističe važnost usvajanja mjera umanjenja ili sprječavanja širenja invazivnih vrsta velika s obzirom na to da razmjeri posljedične štete mogu biti značajni i pogubni za više dionika čitavoga ekosustava.

2.2.2 Štetne, strane i invazivne vrste

2.2.2.1 Općenito

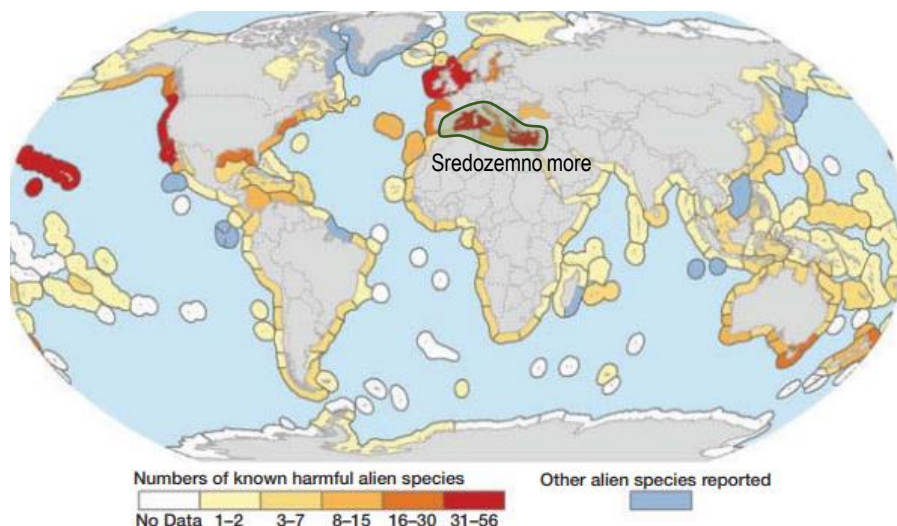
Strane vrste predstavljaju sve jedinke živoga svijeta koje su unesene u ekosustav u kojem se prethodno nisu nalazili. Osim termina „strane“ u RH se često ove vrste spominju s pridjevom alohtone, nezavičajne, introducirane, unesene ili egzotične (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2023.a). U slučaju da strane vrste na određeni način uzrokuju poremećaj u promatranome ekosustavu, onda se za njih kaže da su postale invazivne. Sami poremećaju u ekosustavu i svim dionicima, na koje taj ekosustav utječe, očituju se kroz gospodarske, ekološke, i druge negativne posljedice. Sukladno istraživanjima bioloških osobina najraširenijih višestaničnih stranih vrsta u europskim morima, najrelevantniji mehanizmi koji vode ka uspješnoj kolonizaciji vrste su visoka mogućnost disperzivnog širenja, visoka stopa reprodukcije i ekološka prilagodba (Cardeccia i sur., 2016).

Ranije u poglavlju 2.2.1.4 spomenut je termin HAOP kojim su obuhvaćeni vodeni organizmi ili patogeni koji unosom u more ili bilo koje drugo vodeno tijelo (npr. rijeke i jezera) ugrožavaju okoliš, ljudsko zdravlje, imovinu ili sredstva, narušavaju biološku raznolikost ili ometaju zakonito korištenje takvih područja (Hrvatski sabor, 2010.). Elliot (2003.) u svojoj diskusiji o biološkim zagađivačima i biološkom zagađenju pak tumači utjecaj invazivnih vrsta kao pad ekološke kvalitete nastao kao rezultat promjena bioloških, kemijskih i fizičkih svojstava vodenih ekosustava. Kraus i sur. (2019.) navode da HAOP predstavljaju holoplanktonske vrste kao što su bakterio-, fito- i zooplankton (provode čitavi životni ciklus u pelagijalu u obliku planktona) te meroplankton (životinjske vrste koje su u ranom životnom stadiju jajašca i/ili ličinke, a kasnije makroskopski organizmi poput morske vlasulje, ježinca ili riba). Dominantni mehanizam rasprostriranja planktona upravo je djelovanje morskih struja. Istraživanje potencijalnoga rasprostriranja HAOP-a iz luka prema otvorenom moru provedeno je na temelju raznih tipova informacija koje uključuju činjenice, procjene i izmjerene podatke. Dalje navode da nedostatak podataka o lukama (strujanje, difuzivni i sedimentacijski procesi), koji bi omogućili donošenje pouzdanih zaključaka ili barem znanstveno utemeljenih pretpostavki, upućuju na to da mogući scenariji mogu proizaći samo na temelju principa izučenih pretpostavki.

Pojam invazivne vrste češće se, posebice u RH, povezuje s nekom tipom makroorganizma (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2023.b). Ipak, brojna dosadašnja istraživanja pokazala su prisutnost ovakvih vrsta na mikro skali. Primjerice, istraživanja stranih vrsta planktonskih skupina (holo- i

meroplankton) u svjetskim morima i oceanima pokazala su da predstavnici ovih vrsta pokazuju invazivni karakter čime direktno ili indirektno uzrokuju posljedice u ekosustavu u koji su unesene (Elliot, 2003.; Reid i sur., 2009.; Olenina i sur., 2010.; Telesh, Schubert i Skarlato, 2016.; Macêdo i sur., 2022.). Invazivni karakter stranih vrsta planktonskih zajednica najčešće se manifestira kroz istrebljivanje autohtonih vrsta uspješnijom kompeticijom za hranu ili stanište. Ako se pak promatraju ekonomske posljedice, Macêdo i sur. (2022.) dali su podatak da je kumulativni globalni trošak uslijed invazivnoga djelovanja planktonskih vrsta iznosio čak 5,8 milijardi američkih dolara u razdoblju od 1960. do 2021.

Molnar i sur. (2008.) kartografskim su prikazom ukazali na Sredozemno more kao jedno od najugroženijih po pitanju štetnog djelovanja stranih invazivnih vrsta što je vidljivo s grafičkog prikaza u nastavku.



Slika 2-4 Karta brojnosti štetnih stranih vrsta po obalnoj regiji na globalnoj razini (preuzeto iz Molnar i sur., 2008.). Tamnija crvena područja upućuju na veći broj vrsta koji imaju visoki ekološki utjecaj. Ekoregije u kojima su prisutne manje štetne vrste prikazane su tamno plavom bojom.

Zenetos i sur. (2010.) ističu da je do 2010. godine čak više od četvrtine stranih vrsta zabilježenih u Jadranskom moru pokazalo invazivni ili potencijalno invazivni karakter. Gollasch i sur. (2018.) dali su pregled stranih vrsta u Jadranskom moru pri čemu ističu makrofite kao najzastupljenije. Nadalje, strane vrste (makroalge, rakovi ili mekušci) zastupljenije su u sjevernim predjelima Jadranskoga mora u odnosu na središnji i južni Jadran. Pri tome, ovu pojavu navedeni autori povezuju s utjecajem razvoja akvakultura. U središnjem i južnom Jadranu ističu da su najzastupljeniji rakovi i mnogočetinaši čija se pojava može povezati s unosom brodskih balastnih voda.

Cabrini i sur. (2019.) prezentirali su rezultate uzorkovanja sadržaja balastnih tankova brodova usidrenih u lukama Jadranskoga mora. U obzir su uzete luke donori uglavnom locirane u Jadranskom moru, no razmotrene su i one smještene u Tirenskom, Jonskom, Crnom, istočnom i južnom Sredozemnom moru te u Atlantskom oceanu. U svome su istraživanju istaknuli prisutnost potencijalno toksičnih i stranih planktonskih vrsta u uzorcima balastne vode koja je utvrđena za predstavnike dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda. S obzirom na to da se radi o istraživanju koje je jedino sagledalo stanje u lukama Jadranskoga mora što se tiče sadržaja balastnih tankova, rezultati Cabrinija i sur. (2019.) iskorišteni su kao nit vodilja pri odabiru planktonskih skupina koje će se modelirati te definiranju unosa balastne vode u prostornu modelsku domenu modela razvijenih u okviru ove disertacije (više u poglavlju 4.4.2 i 4.4.5).

Utjecaj planktonskih vrsta na živi svijet obrađen je detaljnije u poglavljima koja slijede.

2.2.2.2 Fitoplankton

2.2.2.2.1 Općenito

Fitoplanktonsku zajednicu dominantno čine fotosintetski aktivne dijatomeje kao primarni proizvođači (autotrofne vrste) te dinoflagelati u koje su uključene autotrofne i heterotrofne vrste. Obje skupine imaju interakciju s cijanobakterijama, virusima, bakterijama i zooplanktonom (Liebich, 2013.). Na fitoplankton utječu brojni meteorološki, oceanografski i biološki parametri kao što su temperatura, salinitet, svjetlost te raspoloživost hranjive tvari (Loebl i sur., 2009.). Pri pojavi optimalnih uvjeta za rast mnoge vrste fitoplanktona cvatu (cvat se definira kao izrazito povećana brojnost stanica jedne vrste u odnosu na uobičajenu brojnost u određenom akvatoriju) što je pojačano eutrofikacijom (Colijn i Beusekom, 2005.). Cvatovi fitoplanktonskih vrsta mogu dovesti do pojave negativnih posljedica koje mogu rezultirati smanjenjem koncentracije kisika u pridnenim slojevima što ugrožava životinjske vrste u tom dijelu vodenog stupca, a cvat toksičnih fitoplanktonskih vrsta i pojava toksina u moru (Hense i Beckmann, 2006.) ima direktno štetan utjecaj na populaciju zooplanktona koji se može proširiti do većih organizama (Turner i Tester, 1997.; Chattopadhyay i sur., 2002.; Demertzioglou i sur., 2022.).

Olenina i sur. (2010.) istaknuli su problematiku kvantifikacije štetnih posljedica nastalih djelovanjem invazivnih fitoplanktonskih vrsta na primjeru analize raspoloživih podataka o brojnosti i raspodjeli invazivnih vrsta te razini utjecaja na autohtone zajednice, staništa i samo funkcioniranje ekosustava. Odabrano je razdoblje od 1980. do 2008. godine za područje Baltičkoga mora pri čemu je utvrđen značajan utjecaj na ekosustav samo jedne invazivne vrste dinoflagelata. Korištena metoda procjene biološkoga onečišćenja u obzir nije uzela vremensku varijabilnost brojnosti fitoplanktona, kratkoročne intervale mjerljivih utjecaja, moguće promjene pozicije fitoplanktona u druge trofičke zone niti kaskadne utjecaje u pelagičkom i bentičkom području. Analiza 30-godišnje dinamike koncentracije dušika i fosfora te međusobnih odnosa fitoplanktona, zooplanktona, makrobekralješnjaka i riba u estuariju San Francisco (Gilbert i sur., 2011.) ukazala je na promjene ovoga ekosustava po pitanju ekološke stehiometrije. Utvrđeno je da promjena koncentracije i omjera raspoloživih nutrijenata imaju najznačajniji utjecaj na biokemijsku dinamiku nutrijenata. Posljedično, ove promjene dovode do poremećaja u samome hranidbenom lancu, a time, u konačnici, na samoga čovjeka. Mozetić i sur. (2019.) proveli su PBS u 12 luka Jadranskoga mora. Na temelju provedenih PBS-a utvrđeno je da je u nekim jadranskim lukama već došlo do prodora stranih invazivnih fitoplanktonskih vrsta.

2.2.2.2.2 Gibanje fitoplanktona

Pri opisivanju obrazaca gibanja fitoplanktona fokus je stavljen na prethodno dvije navedene frakcije – dijatomeje i dinoflagelate.

Dijatomeje spadaju u kategoriju strujom nošenih organizama. Njihov horizontalni pronos uvjetovan je isključivo djelovanjem polja cirkulacije fluida u kojem se nalaze dok u vertikalnom smjeru postoji doprinos gibanju uslijed vlastitoga tonjenja (Margalef, 1978., Lalli i Parsons, 1997.). Upravo su Waite i sur. (1997.) proveli analizu brzina tonjenja za nekoliko vrsta morskih dijatomeja pri čemu je prosječna vrijednost ovoga parametra iznosila $1 \text{ [m} \cdot \text{dan}^{-1}\text{]}$.

S druge strane, dinoflagelati imaju mogućnost gibanja u vertikalnome smjeru pri čemu su poznati obrasci vlastitoga pozicioniranja u stupcu mora s obzirom na raspoloživu količinu nutrijenata, sunčevu svjetlost i prisutnost predatora u svojoj okolini. Bihevioralne reakcije dinoflagelata, koji se prilagođavaju promjenama u svojoj okolini, svakako predstavljaju prednost u odnosu na mogućnosti koje imaju dijatomeje (Olli, 1999.). Po pitanju brzine vertikalnoga gibanja dinoflagelata kao funkcije okolišnih

parametara provedena su brojna istraživanja uglavnom u laboratorijskim uvjetima. Tako su Kamykowsky i McCollum (1986.) analizirali gibanje dinoflagelata pomoću video kamere i dobili su krivulju ovisnosti brzine gibanja o okolnoj temperaturi pri konstantnom intenzitetu svjetlosti. U konačnici, dobiven je izraz koji povezuje brzinu gibanja S_T i okolnu temperaturu fluida T u kojem su se nalazile jedinke dinoflagelata:

$$S_T = S_A (1 - e^{-a(T-T_L)}) (1 - e^{-b(T_H-T)}) \quad (1)$$

gdje S_A predstavlja asimptotsku vrijednost brzine gibanja S_T za ulaznu i silaznu eksponencijalnu krivulju, a i b empirijske koeficijente, T_L i T_H redom minimalnu i maksimalnu temperaturu ispod, odnosno iznad koje se dinoflagelat ne giba. Jednadžba (1) izvedena je za temperature izražene u $^{\circ}\text{C}$, a parametre brzine u $[\text{m}\cdot\text{h}^{-1}]$, a valja napomenuti da je intenzitet svjetlosti bio nepromjenjiv u razdoblju provedbe eksperimentalnoga istraživanja.

Daljnja istraživanja Kamykowskog i sur. (1988.) obuhvatila su analizu vertikalnoga gibanja dinoflagelata uslijed promjene intenziteta svjetlosti što je rezultiralo sljedećim izrazom:

$$S_L = S_M \left(\tanh \left(\frac{\alpha I}{S_M} \right) \right) \quad (2)$$

gdje je S_L brzina vertikalnoga gibanja dinoflagelata u ovisnosti o promjeni intenziteta svjetlosti I izražene u $[\mu\text{Ein}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}]$, S_M asimptotska vrijednost brzine gibanja u ovisnosti o promjeni intenziteta svjetlosti I koja iznosi $109,89 [\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$, α početni nagib krivulje tangensa hiperbolnog jednak $0,55 [\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{Ein}^{-1}]$.

Yamazaki i Kamykowsky (1991.) u analizi vertikalnih trajektorija pokretnog fitoplanktona dali su prijedlog da se ukupna vertikalna brzina gibanja izrazi kao zbroj triju komponenti. Prva komponenta odnosila bi se na utjecaj intenziteta sunčeve svjetlosti, druga na utjecaj okolne temperature, a treća na utjecaj vlastite težine jedinke fitoplanktona. Kamykowsky i sur. (1992.) napravili su korak dalje u odnosu na prethodni rad u svome laboratorijskom istraživanju. Analizirali su brzine gibanja i tonjenja u mirnoj vodi pri konstantnom intenzitetu svjetlosti i temperaturi kako bi se uklonio utjecaj konvekcije fluida na gibanje planktona te se razmotrilo isključivo gibanje inducirano njihovom vlastitom pobudom. Između ostaloga, autori su za ukupno šest različitih vrsta morskog dinoflagelata primijenili Stokesov zakon za analizu tonjenja jedinki:

$$S_G = \frac{2gr^2(\rho_0 - \rho_w)}{9\mu\varphi} \quad (3)$$

gdje je g ubrzanje sile teže, r radijus čestice koja tone, φ faktor oblika čestice, ρ_0 gustoća čestice, ρ_w gustoća mora i μ koeficijent dinamičke viskoznosti mora. S obzirom na to da analizirane jedinke nisu oblika sfere, autori su u obzir uzeli ekvivalentni sferni promjer za pojedinu vrstu dinoflagelata. Gustoće jedinki dinoflagelata varirale su između 1064 i $1090 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$. Rezultati provedenih analiza pokazali su da je prosječna brzina tonjenja analiziranih dinoflagelata iznosila $2 [\text{m}\cdot\text{dan}^{-1}]$.

Općenito, fitoplankton (dijatomeje i dinoflagelati) imaju nekoliko stanja u kojima se nalaze tijekom svoga životnog ciklusa. Osim pelagičkog razdoblja zadržavanje na morskome dnu kao dijela bentičke populacije jedno je od temeljnih stanja u kojem se nalaze određene vrste fitoplanktona u okviru svoga životnog ciklusa (Cloern, 1996.; Sohma i sur., 2022.).

2.2.2.3 Zooplankton

2.2.2.3.1 Općenito

Zooplankton predstavlja temeljnu skupinu organizama koja ima mogućnost oblikovanja dinamike čitavih ekosustava s obzirom na to da direktno sudjeluju u prijenosu energije s predstavnika primarne proizvodnje na mikroskopskoj prema beskralješnjacima i ribama na makroskopskoj razini (Dexter i Bollens, 2020.). Lalli i Parsons (1997.) navode da ovi heterotrofni organizmi svojom veličinom variraju od mikroskopskih do makroskopskih razina, a pojavljuju se kao holoplankton ili meroplankton. Dalje navode da razvoj zooplanktonskih zajednica uvelike ovisi o raspoloživim nutrijentima i okolišnim uvjetima. Također, valja napomenuti da su značajna istraživanja vezana uz mehanizme pronosa i gibanje ličinki morskih organizama (Kingsford i sur., 2002.; Queiroga i Blanton, 2005.; Levin, 2006.; Leis, 2006., 2007.). U svim je navedenim istraživanjima jasno istaknuo da je promjenjivost okolišnih parametara (strujanje fluida, temperatura, salinitet, tlak, svjetlost, itd.) ključ u analizi obrazaca pronosa ličinki čime je ujedno istaknuta kompleksnost bihevioralnih karakteristika organizama čak u ranom životnom stadiju.

Dominantna grupa zooplanktona su kopepodi koji se, osim po pitanju njihove brojnosti, smatraju najodgovornijima za prijenos organske tvari iz plićih u dublje slojeve oceana (Longhurst, 1985.; Fernández de Puelles i sur., 2019.). Njihov invazivni karakter dominantno se očituje kroz nadmetanje s drugim zooplanktonskim vrstama (Bollens i sur., 2011.; Cordell i sur., 2015.). Za druge se pak grupe ova aktivnost odnosi na kompeticiju s planktivornim ribama o čemu će biti riječ u nastavku. Kao mjerodavan primjer razmotrit će se djelovanje želatinoznoga zooplanktona *Mnemiopsis leidyi*. Invazivni karakter ove vrste očitovao se još tijekom 1980-ih godina u Crnom moru, a smatra se da je unesen brodskim balastnim vodama (Shiganova, 1998.). Shiganova (1998.) ističe da ova vrsta istrebljuje riblja jajašca, ličinke i zooplankton što je čini direktnom konkurencijom planktivornim ribama. Pojava *M. leidyi* zabilježena je i u Baltičkom (Schaber i sur., 2011.), Sjevernom (Boersma i sur., 2007.), Sredozemnom (Fuentes i sur., 2010.) pa čak i u Jadranskom moru (Ciglenečki i sur., 2017., Budiša i sur., 2021.).

2.2.2.3.2 Gibanje kopepoda

Tipični ciklus gibanja kopepoda jest dnevna vertikalna migracija (dalje u tekstu: DVM) gdje se ovi mikroorganizmi zadržavaju u dubljim slojevima tijekom dana, a idu prema površini tijekom noći. Pri tome, Simoncelli i sur. (2019.) pokazali su da zooplankton ne boravi direktno na površini, već se uvijek zadržava u slojevima neposredno ispod površine. Drugi tipovi vertikalne migracije odvijaju se na drukčijim vremenskim skalama i povezuju se sa sezonskim (gibanje prema dubljim slojevima za vrijeme zime) i ontogenetskim (starije jedinke imaju tendenciju boravka u dubljim slojevima) promjenama (Forward 1976.; Saiz, 2003.; Ringelberg, 2010.).

Heinle (1969.) je proveo analizu utjecaja temperature na životni ciklus zooplanktona u područjima riječnih estuarija. Utvrđeno je da se do 30 [°C] kopepodi razmnožavaju, a iznad toga se stopa smrtnosti značajno povećava. Samim time, temperaturna se granica može smatrati i granicom do koje se kopepodi uopće gibaju. Osim toga, dao je analizu utjecaja temperaturnih šokova u intervalima od +5 [°C] na život kopepoda. Utvrđeno je da se mogućnost gibanja i razmnožavanja ove vrste zooplanktona smanjuje pri pojavi temperaturnih šokova i početnoj temperaturi >25 [°C]. Osim utjecaja temperature, treba istaknuti da intenzitet sunčeve svjetlosti također značajno utječe na vertikalno pozicioniranje zooplanktona u stupcu mora. Ambler i sur. (1991.) te Lee i sur. (2011.) bavili su se tematikom stope preživljavanja različitih vrsta kopepoda u ovisnosti o intenzitetu svjetlosti. U prvo navedenome istraživanju autori su istaknuli optimalnu vrijednost intenziteta svjetlosti od 0,234 [W·m⁻²] pri kojoj je zabilježena prisutnost oblaka

analiziranog kopepoda u površinskom sloju od 30 [cm]. Lee i sur. (2011.) dobili su da je pri vrijednosti od $0,079 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ zabilježena najveća stopa preživljavanja kada su jedinke analiziranoga kopepoda izložene djelovanju svjetla.

Opći obrazac gibanja kopepoda počiva na principu skoka i tonjenja čestice (eng. *hop-and-sink*). Faza skoka označava impulsno gibanje koje nastaje na temelju potrebe za hvatanjem plijena ili bijega od predatora, a tonjenje razdoblje prepuštanja okolnoj cirkulaciji i djelovanju gravitacije (Henriksen i sur., 2007.; Ringelberg, 2010.). Fazu skoka analizirali su Jiang i Kiorboe (2011.) te Michalec i sur. (2017.) pri čemu je utvrđeno da kopepodi postižu brzine između 3 i 15 $[\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}]$. Također, valja napomenuti da se smjer skoka kopepoda razlikuje ovisno o podražaju iz okoline koji je potaknuo ovo gibanje. Jiang i Kiorboe (2011.) utvrdili su da kopepodi prilikom bijega od predatora imaju tendenciju vertikalnoga skoka (90° gledano u x-z ravnini Kartezijevoga koordinatnog sustava) dok pri kontinuiranom stacionarnom gibanju smjer skoka varira između 30° i 60° . Što se faze tonjenja tiče, oblik tijela zooplanktona nije ni približno usporediv sa sferom, stoga nije moguće primijeniti Stokesov zakon za stacionarno tonjenje sfere (Ringelberg, 2010.; Jiang i Kiorboe, 2011.; Simoncelli i sur., 2019.) kako je to slučaj kod dinoflagelata. Nekoliko istraživanja pokazalo je da se kopepodi u fazi tonjenja gibaju brzinom od približno $0,8 \text{ [mm}\cdot\text{s}^{-1}]$ (Seuront, 2006.; Henriksen i sur., 2007.) dok Ringelberg (2010.) ističe da brzina tonjenja varira između $0,8$ i $2,7 \text{ [mm}\cdot\text{s}^{-1}]$.

2.3 Modeliranje pronosa planktonskih oblika

Valja istaknuti da će se primjerima modela pronosa planktonskih oblika fokus staviti na mehanizme njihovoga transporta koji se odvija kao superpozicija vlastitih mogućnosti gibanja i okolnih djelovanja (npr. strujanje fluida) bez detaljnijega obrađivanja fizioloških aspekata. Također, pri svakom dosadašnjemu pristupu, primijenjenome za potrebe modeliranja pronosa ovakvih organizama, nužno je istaknuti važnost komponente HD modela kojom je opisano okolno polje strujanja mora u kojem se jedinke nalaze. Upravo združivanje HD i biološke komponente u okviru integralnoga pristupa modeliranju ujedno je jedan od prioriteta istraživačkih tijela Europske komisije čiji je konačni cilj istražiti dostupnost i korištenje vodnih resursa u različitim političkim scenarijima koji čine klimatske promjene, promjene u korištenju zemljišta te socio-ekonomske promjene (Stips i sur., 2015.).

2.3.1 Važnost hidrodinamičkih modela u modeliranju pronosa morskih organizama u ranom životnom stadiju

Lacroix i sur. (2009.) navode kako HD modeli predstavljaju temelj modeliranja pronosa morskih organizama u ranom životnom stadiju. Cowen i sur. (2006.) ističu da je, primjerice, određivanje prostornih vjerojatnosti raspršenja (eng. *dispersal kernel*) raznih morskih organizama u ranom životnom stadiju s brojnih potencijalnih lokacija mriještenja isplativo isključivo korištenjem HD modela s prostornom diskretizacijskom mrežom visoke rezolucije. Upravo ovaj aspekt u ukupnom modeliranju pronosa predstavlja kritičnu točku s obzirom na to da pouzdanost HD modela direktno utječe na pouzdanost opisivanja ukupnoga procesa bilo da se radi o modelskim česticama koje predstavljaju žive organizme ili nežive tvari (Jalón-Rojas i sur., 2019.). Osim navedenoga, Vasile i sur. (2018.) istaknuli su izuzetnu važnost odabira dimenzionalnosti modela posebice kada se radi o analizi pronosa modelskih čestica uslijed djelovanja morskih struja. Pri tome, istaknuta je superiornost 3D pristupa u odnosu na 2D modele. Isti su autori istaknuli da je, na temelju validacije HD modela, korisno uputiti na očekivane pogreške koje se mogu javiti pri analizi raspršenja modelskih čestica.

Upravo po pitanju određivanja stupnja pouzdanosti HD modela u područjima šelfa i riječnih estuarija Williams i Esteves (2017.) dali su pregled tipičnih problema vezanih uz dostupnost ulaznih podataka i terenskih mjerenja, definiranja razine pogreške i pouzdanosti uz diskusiju o samim procedurama uspostave modela te njegove kalibracije i validacije. Glavni parametar koji utječe na pouzdanost modela očekivano jest batimetrija korištena za potrebe interpolacije modelskih dubina unutar granica prostorne domene na utvrđenoj diskretizacijskoj mreži. Batimetriju dakako slijedi adekvatno definiranje hrapavosti te pouzdanost ulaznih meteoroloških i oceanografskih podataka korištenih za definiranje početnih i rubnih uvjeta. Također, istaknuta je važnost odabira adekvatnih rubnih uvjeta nametnutih na otvorenim granicama ili pak na čitavoj prostornoj domeni (primjerice djelovanje vjetra na kontaktu atmosfera-more).

Kraus i sur. (2019.) ukazali su da upravo je morska cirkulacija proces koji dominantno utječe na raspršenje mikroorganizama pri čemu su istaknuta dva procesa – površinsko raspršenje koje nastupa neposredno nakon unosa strane vrste balastnom vodom te pridneno raspršenje koje nastaje nakon razdoblja tonjenja i akumulacije mikroorganizama. Potonji rad ukazao je na metodologiju analize raspršenja organizama korištenjem modela cirkulacije mora i pronosa traserskih modelskih čestica podložnih advektivno-disperzivnim procesima.

2.3.2 Random walk model

Jedno od polazišta pri analizi pronosa morskih organizama u ranom stadiju života postavio je Visser (1997.). Naveo je da se ovaj proces može promatrati kao advektivno-disperzivni proces pri čemu je doprinos advekcije opisan kroz utjecaj okolnoga polja strujanja fluida. Doprinos disperzije može se opisati *random walk* modelom. Za konstantni koeficijent difuzije vertikalni pomak Δz može se izraziti pomoću normalne razdiobe s koeficijentom difuzije K kao standardnom devijacijom sukladno sljedećem izrazu:

$$\Delta z = R\sqrt{2K\Delta t} \text{ [m]} \quad (4)$$

gdje parametar z predstavlja dubinu izraženu u [m], R slučajni broj koji se ravna po standardnoj normalnoj razdiobi, K koeficijent difuzije izražen u [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], a Δt vremenski inkrement izražen u [s]. Uzimajući u obzir činjenicu da u morskom okruženju difuzivnost fluida varira u prostoru i vremenu, a samo polje strujanja je trodimenzionalno i turbulentno, doprinos disperzije pri proračunu ukupnoga pomaka promatrane jedinice također je potrebno prilagoditi. Rodean (1996.) upravo je dao prijedlog 3D *random walk* modela. Pod pretpostavkom izotropne turbulencije u horizontalnoj ravnini, može se smatrati da su koeficijenti difuzivnosti K_{11} i K_{22} jednaki u horizontalnoj ravnini dok je u vertikalnom smjeru koeficijent difuzivnosti jednak K_{33} . U konačnici, može se pisati poopćeni oblik pomaka čestice dx_i prema sljedećem izrazu:

$$dx_i = \left[U_i(\vec{x}, t) + \frac{\partial K_{ii}(\vec{x}, t)}{\partial x_i} \right] dt + \sqrt{2K_{ii}(\vec{x}, t)} dt Q_i \quad (5)$$

gdje je dx_i pomak u i -tom smjeru ($i = 1, 2, 3$ općenito za 3D problematiku ili $i = x, y, z$ za Kartezijev koordinatni sustav), U_i brzina u i -tom smjeru, x_i je 3D položaj čestice, t vrijeme, K_{ii} koeficijent turbulentne difuzivnosti, dt vrijednost vremenskoga koraka, a Q_i slučajni broj koji se ravna po standardnoj normalnoj razdiobi. Član kojim je opisana prostorna promjena koeficijenta turbulentne difuzivnosti $\partial K_{ii}(\vec{x}, t) / \partial x_i$ predstavlja korekciju ukupnoga pomaka kojom se uklanja greška nastala uslijed nakupljanja ili razilaženja modelskih čestica (Visser, 1997.).

2.3.3 Fotoresponzivni modeli

Iako se fotosinteza dovodi u funkcionalnu vezu sa sunčevim zračenjem, fotosintetska proizvodnja P vremenski je promjenjiva i pod konstantnim intenzitetom svjetlosti I (Prezelin i Ley, 1980.). Stoga, nije adekvatno promatrati fotosintetsku proizvodnju kao jednostavan stacionaran proces koji je funkcija sunčeve radijacije. Vertikalno miješanje u gornjem slojevima mora i oceana odgovorno je za pronos fitoplanktona čime se javljaju različiti uvjeti intenziteta svjetlosti za svaku stanicu (Nagai i sur., 2003.). Upravo mehanizam miješanja igra važnu ulogu u primarnoj proizvodnji za koju je odgovoran fitoplankton (Lewis i sur., 1984.). Intenzivno vertikalno miješanje ne omogućava stanicama fitoplanktona da se prilagode uvjetima ambijentalnoga intenziteta svjetlosti. Same karakteristike prilagodbe mogu se razlikovati na određenoj dubini ovisno o prethodnom stanju stanica fitoplanktona izloženih svjetlosti te vremenu potrebnom da stanice reagiraju na promjenu intenziteta svjetlosti (Dusenberry i sur., 2000.). Drugi važan fiziološki aspekt je da je potrebno određeno vrijeme pod svjetlom da bi se ostvario puni fotosintetski potencijal u zamućenim vodenim stupcima (Geider i sur. 1996.). Nagai i sur. (2003.) upravo ističu da vremenski odgovori na promjene intenziteta svjetlosti predstavljaju glavne teme u istraživanju fitoplanktona primjenom Lagrangeovog pristupa. Dalje navode da je za potrebe modeliranja pronosa fitoplanktona i popratnih mehanizama prilagodbe promjenama u intenzitetu svjetlosti adekvatna primjena *random walk* modela (vidi poglavlje Random walk model).

Među metodama modeliranja gibanja planktonskih zajednica, koje uključuju njihovu prilagodbu na okolišne podražaje, svakako je potrebno istaknuti fotoresponzivne modele. Začetnicima ovoga principa modeliranja gibanja fitoplanktona mogu se smatrati Denman i Mara (1986.) koji su predstavili model reakcije fitoplanktona na promjene intenziteta sunčeve svjetlosti koji u linearni odnos dovodi stopu proizvodnje (fotosinteze) u ovisnosti o promjeni sunčeve radijacije. Nadogradnja ovome istraživanju svakako je rad Franksa i Marre (1994.) koji su matematički formulirali prilagodbu fitoplanktona promjenama u intenzitetu sunčeve svjetlosti s primjenom u modelu miješanja vertikalnih slojeva fluida uslijed djelovanja vjetra. Nagai i sur. (2003.) dodatno su nadogradili potonji model tako da su združili problem zatvaranja modela turbulencije drugog reda s Lagrangeovim modelom pronosa fitoplanktona. Cilj potonjeg istraživanja jest utvrđivanje utjecaja vremenski promjenjive turbulentne viskoznosti na prilagodljivost fitoplanktona promjenama sunčeve radijacije uz pretpostavku da su jedinice raspršene u površinskom sloju izmiješanom uslijed djelovanja vjetra. Model Denmana i Mare (1986.), koji su koristili Nagai i sur. (2003.), izložen je u nastavku. Pod pretpostavkom da izloženost okolnom intenzitetu svjetlosti I isključivo kontrolira stanični odgovor fitoplanktona, stopa fotosintetske proizvodnje P dana je u ovisnosti o I :

$$P_d = P_{dm} \left(1 - e^{-\frac{I}{E_d}} \right) \quad (6)$$

$$P_l = P_{lm} \left(1 - e^{-\frac{I}{E_l}} \right) \quad (7)$$

gdje su P_d i P_l trenutne, a P_{dm} i P_{lm} maksimalne stope fotosintetske proizvodnje u uvjetima mraka (inhibirane stanice) i svjetla (neinhibirane stanice) izražene u [$\mu\text{g-at-O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{stanica}^{-1}$], redom. Oznaka μg u mjernoj jedinici za fotosintetsku proizvodnju odnosi se na bruto fotosintezu (eng. *photosynthesis gross*). E_d i E_l predstavljaju stope potpune zasićenosti svjetlom za fotosintetsku proizvodnju izražene u [$\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$].

1]. Nadalje, linearni model fotosintetskoga odgovora može se predstaviti primjenom parametra inhibicije $Y \in [0,1]$:

$$P = P_d + Y(P_l - P_d) \quad (8)$$

Promjena Y može se izraziti kao funkcija akumulirane svjetlosti u stanicama fitoplanktona:

$$\frac{\delta Y}{\delta t} = \frac{1}{Y} (X - Y) \quad (9)$$

gdje je γ parametar koji opisuje vrijeme potrebno za odgovor stanice na promjene u intenzitetu svjetlosti. Parametar X , koji poprima vrijednosti između 0 i 1, predstavlja lokalnu potpuno inhibiranu vrijednost (unutar stanice fitoplanktona) pri proizvoljnoj radijaciji i opisan je sljedećim izrazom:

$$X = 1 - e^{-\left(\frac{(I_{PAR} - E_b)}{E_b}\right)^2} \quad (10)$$

Gdje je I_{PAR} intenzitet svjetlosti pri fotosintetskoj aktivnoj radijaciji⁴ (eng. *photosynthetically active radiation*) dok je E_b granična vrijednost intenziteta svjetlosti za inhibiciju.

2.3.4 ABM i njegove inačice

Začetnici primjene Lagrangeovoga pristupa u oceanografiji za potrebe analize prirodnih procesa vezanih uz primarnu proizvodnju i gibanje fitoplanktona upravo su Woods i Onken (1982.). Svakako valja napomenuti da je bitna stavka ovoga modela upravo vertikalna komponenta koja je odgovorna za utjecaj advekcije na gibanje planktona. Turbulencija nije uzeta u obzir pri čemu se samo gibanje planktona promatralo uspostavom 1D modela. Nadogradnja ovoga modela očitovale se svakako u Woodsovom (2005.) istraživanju koji je predstavio model ansambla Lagrangeovih čestica. Ovim modelom autor je opisao kako korištenjem ABM-a može opisati demografske karakteristike svake planktonske populacije na temelju njihovih prošlih stanja, tj. prošlih stanja svake jedinke te populacije. Modeliranje fizičkih procesa, što podrazumijeva uključivanje vertikalne komponente strujanja, dano je 1D modelom koji uključuje svojstva mora (temperatura, salinitet, tlak, gustoća), sunčevo zračenje te utjecaj turbulencije na gibanje planktona. Analizu izdržljivosti dijatomeja i dinoflagelata prilikom vertikalne migracije te fizioloških procesa koji se odvijaju na razini jedinki proveo je Broekhuizen (1999.) primjenom IBM-a. Pri tome, u ovome je slučaju fizičko okruženje modelskih čestica također pojednostavljeno što podrazumijeva promatranje svih procesa isključivo u vertikalnome smjeru (1D model). Značajna je komponenta posljednje navedenoga modela vezana uz promatranje jedne karakteristične modelske čestice kao predstavnika čitave populacije fitoplanktona (tzv. pristup klona, eng. *clone approach*). Upravo ova komponenta primijećena je u nešto kasnijim istraživanjima vezanima uz analizu gibanja morskih organizama u ranom stadiju života.

Među prvim autorima, koji su analizirali pronos morskih organizama u ranom životnom stadiju na stvarnoj prostornoj domeni s uključenim HD modelom cirkulacije oceana, svakako se ističu Cowen i sur. (2006.). Potonji rad dao je uvid u pristup modeliranju prostornoga raspršenja ličinki primjenom IBM-a koji u obzir

⁴ Fotosintetska aktivna radijacija predstavlja dio spektra svjetlosti koje biljke mogu koristiti za fotosintezu. Pri tome, valne duljine svjetlosti variraju između 400 i 700 [nm] (Carruthers i sur., 2001.).

uzima bihevioralne karakteristike organizama (pelagičko razdoblje ličinki, vertikalno i horizontalno gibanje, strategije mriještenja odraslih jedinki).

U nešto novijim istraživanjima, koji modelirane jedinke morskih organizama u ranom životnom stadiju predstavljaju kao agente, autori često obrađuju rezultate združenih HD modela i ABM-a na stvarnim prostornim domenama pri čemu je u većini slučajeva analizirana 3D problematika. Tako su Kimmerr i sur. (2014.) obradili tematiku pronosa zooplanktona u estuariju San Francisco gdje su analizirali raspršenje modelskih čestica na temelju združenoga ABM-a i kalibriranoga 3D HD modela. ABM je uspostavljen za ukupno četrnaest različitih obrazaca gibanja modelskih čestica koje predstavljaju ponašanje populacija kopepoda i epibentosa⁵. Sami obrasci ponašanja obuhvaćaju pasivni mehanizam pronosa (pronos isključivo pod djelovanjem strujanja okolnoga fluida), zatim gibanje uvjetovano plimnim oscilacijama te tonjenje modelskih čestica što upućuje na to da su bihevioralne karakteristike agenata povezane isključivo s HD komponentama modela cirkulacije. Hansen i sur. (2015.) napravili su korak dalje u istraživanju gdje su na prostornoj domeni Sjevernoga mora, Velikog Belta i Baltičkog mora analizirali raspršenje triju vrsta modelskih čestica koje predstavljaju skupine planktona (promatranih kao pasivne čestice), ličinki (promatranih kao pasivne čestice s mogućnošću tonjenja) i riba (kombinacija pasivnoga pronosa ovisnog o i aktivnoga gibanja neovisnog o okolnom polju strujanja). Valja napomenuti da, izuzev opisa, autori nisu jasno istaknuli matematičke formulacije koje daju uvid u obrasce gibanja triju skupina modelskih čestica. Nadalje, za potrebe analize raspršenja modelskih čestica Hansen i sur. (2015.) koristili su združeni 3D kalibrirani HD model baroklinoga strujanja i ABM, a sami cilj rada upravo je išao u smjeru definiranja alata za analizu rizika od širenja stranih invazivnih vrsta u okviru upravljanja balastnim vodama. Također, u ovome je radu korišten princip superjedinke (eng. *superindividual*) pomoću kojeg je jednom modelskom česticom prezentirana čitava populacija modeliranih organizama. Valja napomenuti da je ovaj princip razmatranja modelskih čestica istovjetan ranije spomenutom (Broekhuizen, 1999.) pri čemu je razlika samo u korištenom terminu. Iako nije vezano za morsko okruženje, valja istaknuti rad Wang i sur. (2017.) koji su proveli istraživanje pronosa fitoplanktona u jezeru Taihu (Kina). Sama analiza pronosa uključila je izradu združenoga 3D kalibriranoga HD modela i ABM-a na temelju kojeg je definiran fiziološki odgovor i strategija migracije modelskih čestica koje predstavljaju vrste *Microcystis*. U konačnici, analizirani su scenariji djelovanja vjetrova različitoga intenziteta na raspršenje ili akumulaciju čestica na određenom dijelu prostorne domene te je dan prijedlog metodologije analize obrazaca pronosa kolonija razmatrane vrste u velikim i plitkim jezerima.

Korištenje principa združenoga HD modela i ABM-a značajno je u istraživanjima vezanima uz analizu pronosa ličinki i naseljavanja određenoga područja od interesa. Pastor i sur. (2018.) primijenili su ovaj princip za potrebe analize povezanosti staništa (između mjesta mriještenja i naseljavanja) na prostornoj domeni prijelaznoga područja između Sjevernoga mora, zapadnoga i dijela istočnoga Baltičkog mora. Za devedeset vrsti ličinki definirane su odgovarajuće pasivne modelske čestice izložene isključivo djelovanju advekcije (disperzija zanemarena) pri čemu je naseljavanje područja predstavljeno tonjenjem nastupa nakon što pojedina čestica postigne vrijednost pelagičkoga razdoblja ličinki. Slično je istraživanje prezentirano u radu Pastor i sur. (2021.) gdje je analizirano raspršenje ličinke plave školjke uz isticanje glavnog razdoblja mriještenja te povezanosti staništa primjenom združenoga 3D HD modela i ABM-a na prostornoj domeni Limfjorden (Danska). U konačnici, istraživanjem je dobiven uvid kako analiza povezanosti staništa može poslužiti kao potpora pri odlučivanju o mjestu razvoja nove akvakulture. Posljednje istaknuto istraživanje vezano je uz rad Dyea i sur. (2022.) gdje je primjenom istovjetne

⁵ Epibentos predstavlja sve morske organizme koji žive na tvrdim supstratima i iznad sedimenta morskog dna.

metodologije (združeni HD model i ABM) analizirano raspršenje ličinki kamenica čije je vertikalno gibanje modelirano u ovisnosti o starosti, a stopa preživljavanja modelskih čestica opisana je krivuljom preživljavanja tipa III.

Zaključci prethodnih istraživanja svakako su razmotreni za potrebe razvoja izvornih ABM-a u okviru ovoga istraživanja koji se upravo smatra nadogradnjom dosad razvijenih modela pronosa mikroorganizama u morskom okolišu.

3 PREDMET ISTRAŽIVANJA

Gibanje planktonskih zajednica potrebno je analizirati kroz njihovu mogućnost adaptacije promjenama u okolišu te okolišnim parametrima čija dinamika utječe na modalitete njihovoga gibanja i odabira pozicije u vertikalnom stupcu mora. U horizontalnoj ravnini gibanje ovih organizama dominantno nastaje kao posljedica djelovanja okolnih morskih struja, stoga je pri modeliranju obrazaca njihovoga ukupnog gibanja fokus potrebno staviti na adekvatnu matematičku formulaciju vertikalnoga kretanja. Dosadašnja su istraživanja gibanje planktona u modelskom okruženju uglavnom promatrala kao pasivne čestice koje imaju mogućnost tonjenja ili gibanja prema dnu. Komponenta vertikalnoga gibanja prema površini, koje je inducirano varijacijama u ambijentalnim okolišnim parametrima, nije razmotreno u okviru prethodnih istraživanja.

Ovim su istraživanjem detaljno analizirane karakteristične okolišne situacije pri kojima se javljaju određeni obrasci pronosa modeliranih organizama, odnosno obrasci simuliranoga sekundarnog raspršenja sadržaja brodske balastne vode ispuštene na određenoj lokaciji unutar luke. Sam pronos analiziran je kroz rezultate numeričkih simulacija združenih kalibriranih i verificiranih HD modela cirkulacije mora i izvornih ABM-a gibanja modeliranih planktonskih frakcija na prostornim domenama dvaju luka (Ploče i Rijeka).

Stavljanjem u međuovisnost obrasce pronosa modeliranih planktonskih frakcija (raspršenje u stupcu mora, taloženje i iznošenje van domene modela) i vladajuće meteorološke, hidrološke i oceanografske uvjete koji oblikuju polje cirkulacije, moguće je izraditi smjernice upravljanja brodskim balastnim voda s uključenim mjerama koje je preporučljivo provesti prije, tijekom i nakon ispuštanja. Dosadašnja istraživanja uglavnom su zanemarila parametar uvjeta cirkulacije mora unutar akvatorija u kojem se planira ispuštanje brodske balastne vode, stoga je proizašla potreba da se analizira i ovaj aspekt.

3.1 Ciljevi rada

- 1) Povećanje prognostičke pouzdanosti rezultata modela širenja invazivnih vrsta unutar i izvan luka Rijeka i Ploče na temelju proračunatih karata raspršenja i taloženja modelskih čestica za karakteristične situacije cirkulacije mora.
- 2) Definiranje operativnih mjera za smanjenje širenja invazivnih vrsta u vidu prijedloga manipulacije brodskim balastnim vodama s obzirom na opažane okolišne uvjete kao polazišnih točaka pri izradi idejnih rješenja vezanih uz ovu problematiku.
- 3) Izrada smjernica za ispuštanje balastnih voda kao pomoći sustavu za rano upozorenje protiv širenja invazivnih vrsta u lukama Jadranskog mora.

3.2 Hipoteza

Primjenom modela zasnovanih na agentima združenog s modelom cirkulacije mora moguće je smanjenje širenja invazivnih vrsta izvan lučkih akvatorija na temelju predloženih operativnih mjera i smjernica ispuštanja balastnih voda.

3.3 Očekivani znanstveni doprinos

Znanstveni doprinos po pitanju primjene ABM-a za potrebe analize upravljanja i sekundarnog raspršenja brodskih balastnih voda ispuštenih u prostor lučkog akvatorija očituje se kroz više komponenti navedenih u nastavku.

- Primjena principa ABM-a za analizu dinamike širenja planktonskih zajednica koje se obično tretiraju kao pasivne traserske čestice u modelskom okruženju.
- Izrada dvaju izvornih ABM-a pronosa fito- i zooplanktona koji uključuju opisivanje gibanja modelskih čestica s obzirom na vladajuće okolišne uvjete.
- Prepoznavanje obrazaca pronosa planktonskih zajednica s obzirom na vladajuće meteorološke, hidrološke i oceanografske okolišne uvjete te uključivanje istih u sustave za rano upozorenje i potporu pri odlučivanju o mjerama vezanima uz upravljanje brodskim balastnim vodama.
- Izrada smjernica s prijedlogom operativnih mjera vezanih uz ispuštanje balastnih voda s obzirom na meteorološku, hidrološku i oceanografsku prognozu za analizirani lučki akvatorij.

4 METODOLOGIJA

Sažetak poglavlja

4.1 Postojeće podloge

Opisani su dostupni meteorološki, hidrološki i oceanografski (uključujući hidrografske) podaci. Korištene su javno dostupne online baze podataka, baze podataka lučkih uprava luka Ploče i Rijeka, Državnog hidrometeorološkog zavoda i Hrvatskih voda te mjerenja provedena u okviru ProtectAS i Jadranskog projekta. Opisana su mjerenja brojnosti fitoplanktonskih i zooplanktonskih frakcija provedena tijekom ProtectAS projekta.

4.2 Terenska mjerenja brzine i smjera strujanja mora, dinamike morskih razina i temperature mora

Detaljno je opisana procedura provedbe terenskih mjerenja u okviru ProtectAS projekta. Korištena su ukupno četiri akustična Dopplerova mjerača strujanja (dva u luci Ploče, dva u luci Rijeka) za mjerenje brzine i smjera morskih struja, dinamike morskih razina i temperature mora u jesensko-zimskom (ZIMSKOM) i ljetno-jesenskom (LJETNOM) razdoblju.

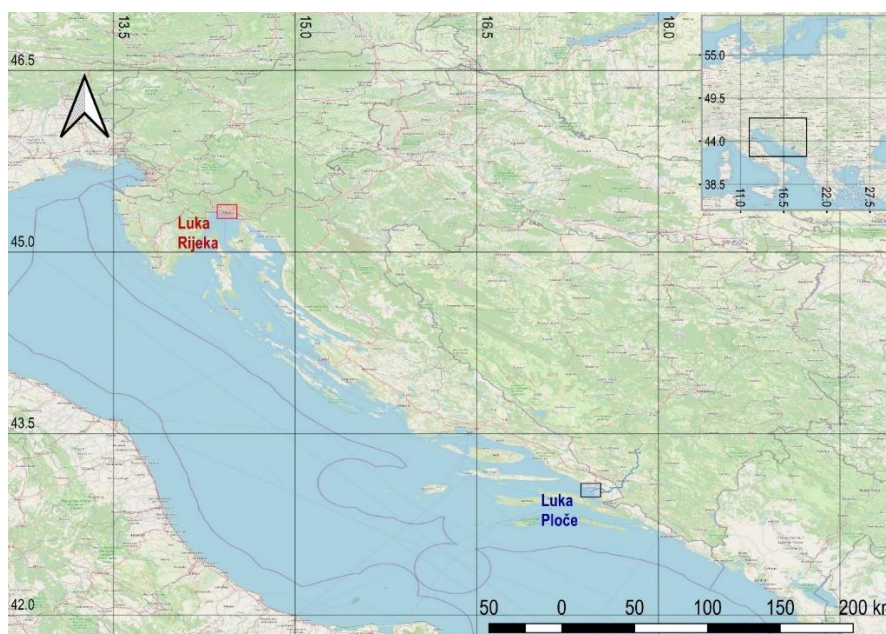
4.3 Uspostava hidrodinamičkih modela cirkulacije mora

Opisani su 3D HD modeli uspostavljeni za analizu cirkulacije mora na širemu akvatorijalnom području luke Ploče i u luci Rijeka. Opisana je procedura kalibracije i validacije rezultata simulacija na temelju provedenih terenskih mjerenja brzina morskih struja i dinamike morskih razina. Simulacije su provedene za ZIMSKO i LJETNO razdoblje.

4.4 Uspostava ABM-a (ODD protokol)

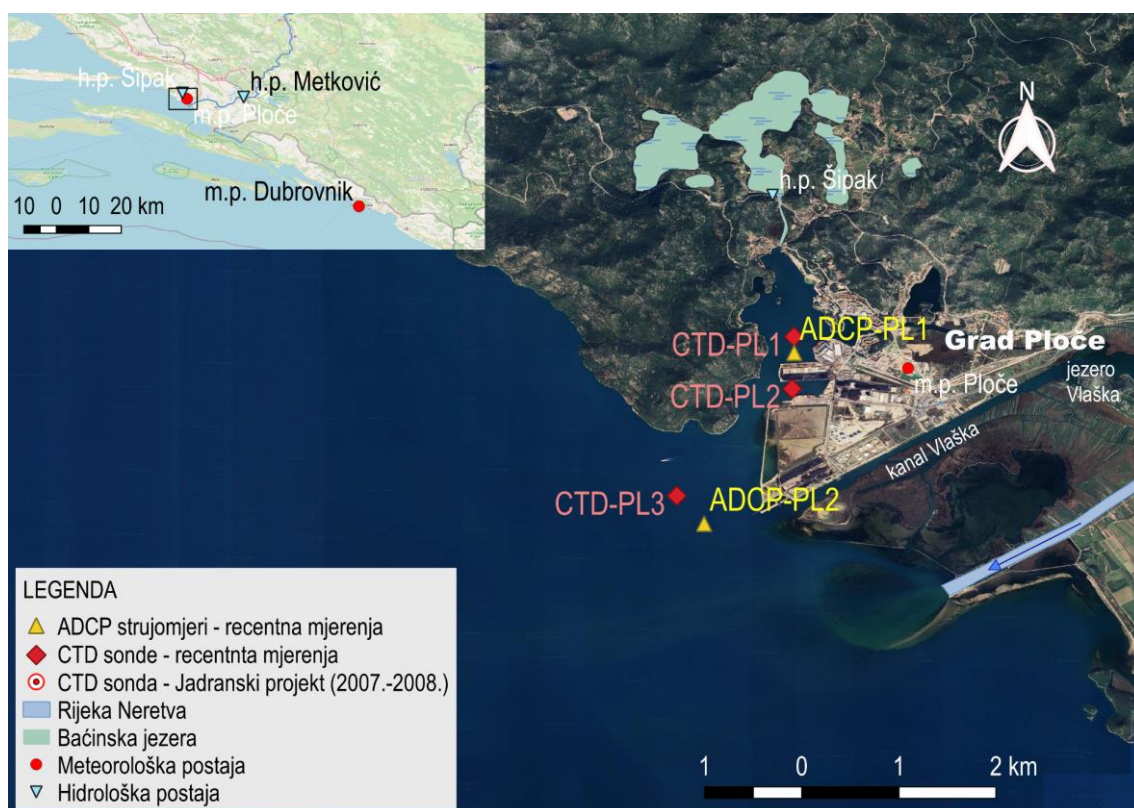
Izvorni ABM-i pronosa fito- i zooplanktona opisani su kroz ODD protokol. Detaljno su razrađene jednadžbe i logičke formulacije na temelju dosadašnjih istraživanja vezanih uz gibanje dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda u HD okruženju. Unaprjeđenje u odnosu na prethodno razvijene modele pronosa planktonskih oblika očituje se kroz modeliranje vertikalnoga gibanja planktona prema površini s obzirom na okolišne podražaje. ABM-i združeni su s HD modelom s ciljem analize obrazaca pronosa modeliranih planktonskih oblika.

Kroz ovo poglavlje dat će se uvid u sve statičke i dinamičke podloge zajedno s jasno istaknutim izvorima i bazama iz kojih su prikupljene. Nadalje, opisat će se provedena terenska mjerenja oceanografskih parametara cirkulacije mora, uspostava HD modela cirkulacije mora s detaljnim opisom vladajućih jednadžbi integriranih u korišteni softver te opis ODD protokola korištenoga za detaljan uvid u komponente ABM-a pronosa triju frakcija planktonskih zajednica. Valja napomenuti da su sve analize provedene za dvije najprometnije luke u Republici Hrvatskoj – Rijeku i Ploče čije su lokacije dane u nastavku.



Slika 4-1 Lokacije dviju najprometnijih luka u Republici Hrvatskoj (podloga: *OpenStreetMap*, WGS-84 koordinatni sustav)

Ključne komponente dvaju predmetnih područja, koje se odnose na raspoložive ulazne podatke i podloge te provedena terenska mjerenja s lokacijama postavljenih uređaja, prikazani su grafički (Slika 4-2, Slika 4-3) i tablično (Tablica 4.1). Spomenuti prikazi daju uvid u lokacije opreme za mjerenje dinamike oceanografskih parametara (temperatura, salinitet, brzina strujanja mora, morske razine) kako u prethodnim razdobljima tako i u recentnoj kampanji mjerenja u okviru ProtectAS projekta. Za područje luke Ploče istaknuta su Baćinska jezera i rijeka Neretva s obzirom na to da je slatkovodni dotok iz ovih dvaju vodnih tijela nužno uključiti pri svim analizama provedenima u okviru ovoga istraživanja. Raspoložive podloge, ulazni podaci, postavke terenskih mjerenja i korištena mjerne oprema detaljno su opisani kroz poglavlja 4.1 i 4.2.



Slika 4-2 Pozicije povijesnih (2007.-2008.) i recentnih uzorkovanja vertikalnih profila temperature i saliniteta mora (JPG7, CTD-PL1, CTD-PL2, CTD-PL3), mjerenja brzina morskih struja i dinamike morskih razina (ADCP-PL1, ADCP-PL2), DHMZ meteorološke postaje Ploče (podloga: Google satelit)



Slika 4-3 Pozicije uzorkovanja vertikalnih profila temperature i saliniteta mora (JPG28), mjerenja brzina morskih struja i dinamike morskih razina (ADCP-RI1, ADCP-RI2), DHMZ meteorološke postaje Rijeka (podloga: Google satelit)

Tablica 4.1 Koordinate postavljenih ADCP mjerača strujanja i CTD sonde unutar i izvan akvatorija luka Ploče i Rijeka izražene u WGS-84 i HTRS-96 sustavu

Luka	Oznaka pozicije uređaja	WGS-84 φ [°]	WGS-84 λ [°]	HTRS96 Em	HTRS96 Nm	Dubina [m]
Ploče	ADCP-PL1	43,0498	17,4258	575422,32	4768191,48	-12,0
	ADCP-PL2	43,0282	17,4144	574519,72	4765781,90	-19,0
	CTD-PL1	43,0518	17,4258	575419,87	4768413,65	-11,0
	CTD-PL2	43,0453	17,4255	575403,39	4767691,33	-11,5
	CTD-PL3	43,0317	17,4109	574230,27	4766167,59	-22,0
Rijeka	ADCP-RI1	45,3274	14,4261	337430,10	5022920,61	-35,5
	ADCP-RI2	45,3228	14,4413	338608,53	5022378,86	-17,0
	JPG28	45,3251	14,3971	335146,20	5022722,22	-57,0

Metode opisane u okviru ovoga poglavlja smatraju se adekvatnima za potrebe raspoznavanja kritičnih okolišnih uvjeta pri kojima dolazi do pronosa potencijalno invazivnih vrsta u neželjena područja prostorne domene ili izvan nje. Samim time, provedba kalibracije i validacije HD modela omogućuje pouzdanu podlogu za provedbu analiza vezanih uz pronos onečišćivača, čestica ili mikroorganizama razmotrenih u okviru ovoga istraživanja. Pouzdano polje cirkulacije mora ključni je aspekt analize pronosa planktonskih zajednica koji je u horizontalnoj ravnini dominantno pod utjecajem morskih struja. Izvorna ABM formulacija, kojom se modelskim česticama (agentima) daje mogućnost raspoznavanja okolišnih uvjeta (temperature i intenziteta svjetlosti) i vlastitoga vertikalnoga gibanja, nadograđuje dosad provedena istraživanja koja se uglavnom fokusiraju na opisivanje gibanja planktona kao traserskih čestica u modelskom okruženju (npr. Hansen i sur., 2015.; vidi poglavlje 2.3.4).

Naposljetku, združivanjem pouzdanoga HD modela i teoretskoga ABM-a utemeljenoga na stvarnim istraživanjima ostvarena je osnova za definiranje određenih operativnih mjera i samih smjernica vezanih uz područja i razdoblje unosa stranog medija u morski okoliš kao što je brodska balastna voda.

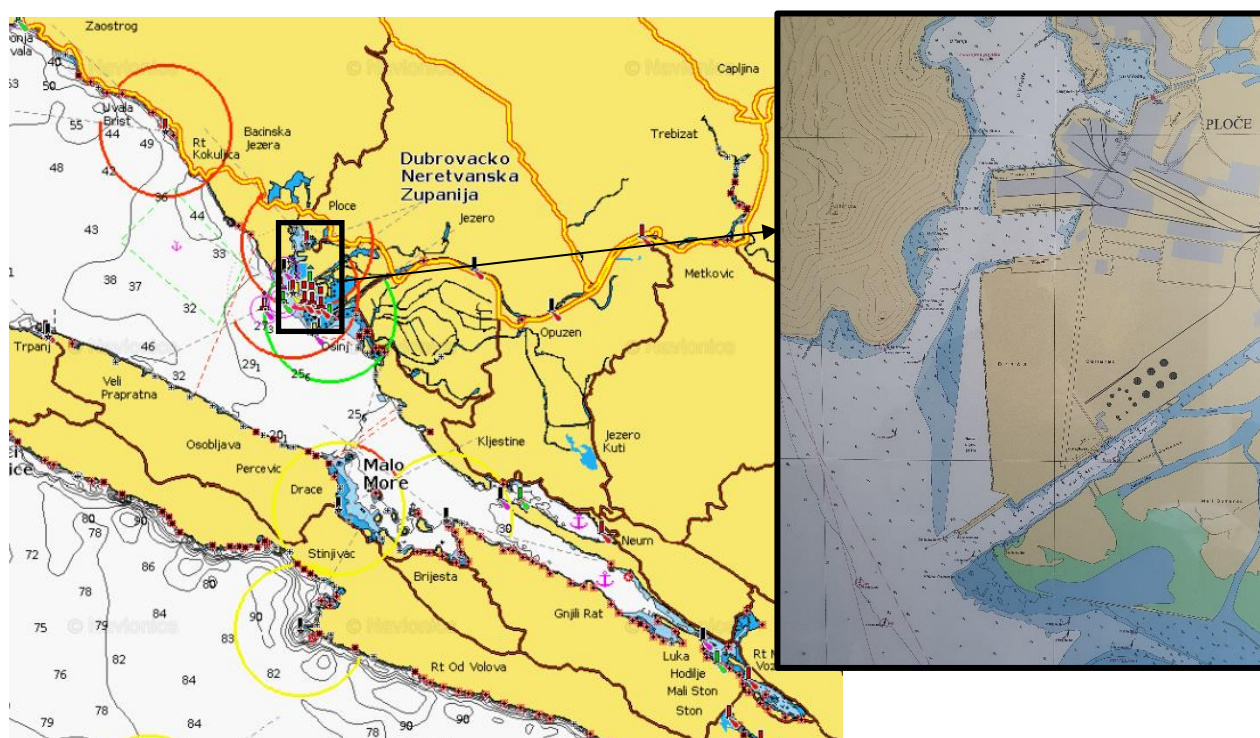
4.1 Postojeće podloge

Ovim će se poglavljem dati uvid u pregled postojećih statičkih i dinamičkih podloga vezanih uz dva predmetna akvatorija. Statičke podloge odnose se na dostupne karte na temelju kojih je moguće definirati batimetriju pojedinoga akvatorija dok se dinamičke odnose na sve meteorološke, hidrološke i oceanografske parametre koji utječu na cirkulaciju mora.

4.1.1 Šire akvatorijalno područje luke Ploče

4.1.1.1 Batimetrijska podloga

Batimetrijska podloga na području akvatorija luke Ploče dobivena je na temelju nautičkih karata koje je dostavila Lučka uprava Ploče dok je izvan granica akvatorija iskorištena javno dostupna nautička karta (Navionics, n.d.). Ove su podloge iskorištene za potrebe definiranja batimetrije 3D HD modela cirkulacije mora na širem akvatorijalnom području luke Ploče kojim je obuhvaćen dio Neretvanskoga kanala, područje Maloga mora sve do Malostonskoga zaljeva (vidi poglavlje 4.3.1.4). U nastavku su prikazane navedene nautičke karte.



Slika 4-4 Nautičke karte korištene pri definiranju batimetrije numeričkog modela akvatorija luke Ploče (lijevo – javno dostupna nautička karta, desno – nautička karta Lučke uprave Ploče)

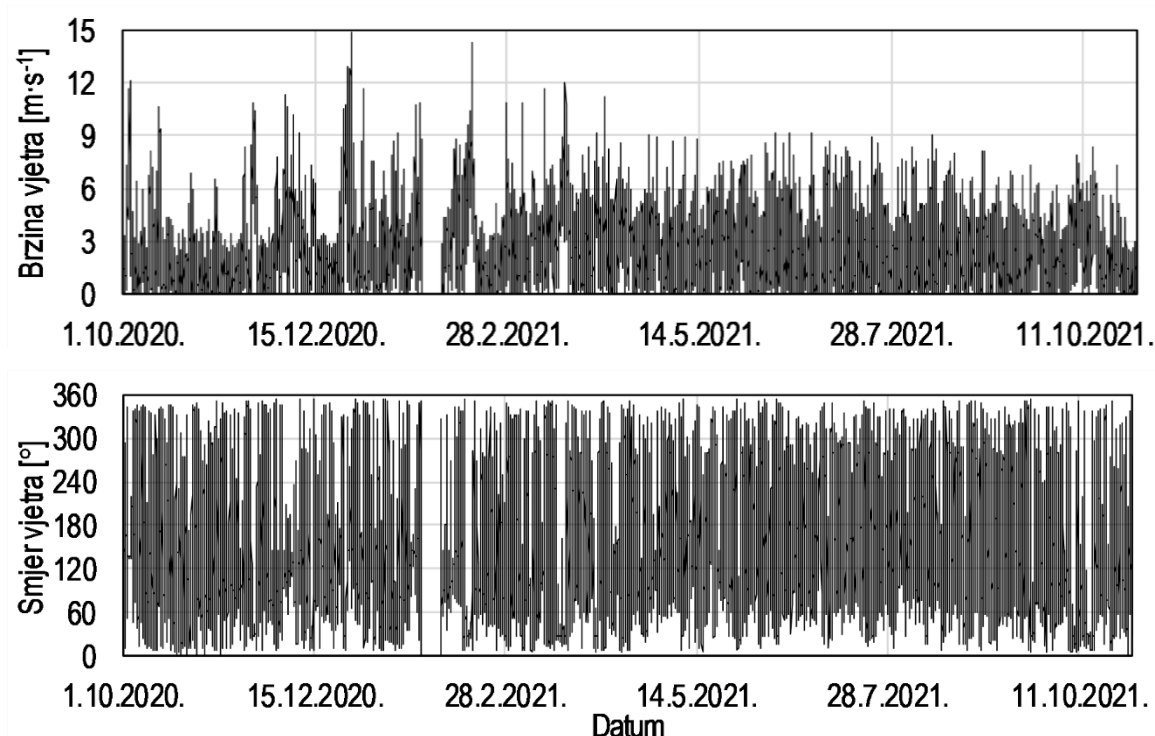
Najveće dubine na dijelu akvatorija, koji je predmet ovoga istraživanja (Slika 4-4, lijevo), prisutne su u na sjeverozapadnom dijelu Neretvanskoga kanala, a najmanje neposredno ispred ušća rijeke Neretve.

4.1.1.2 Meteorološki podaci – djelovanje vjetera i sunčevog zračenja

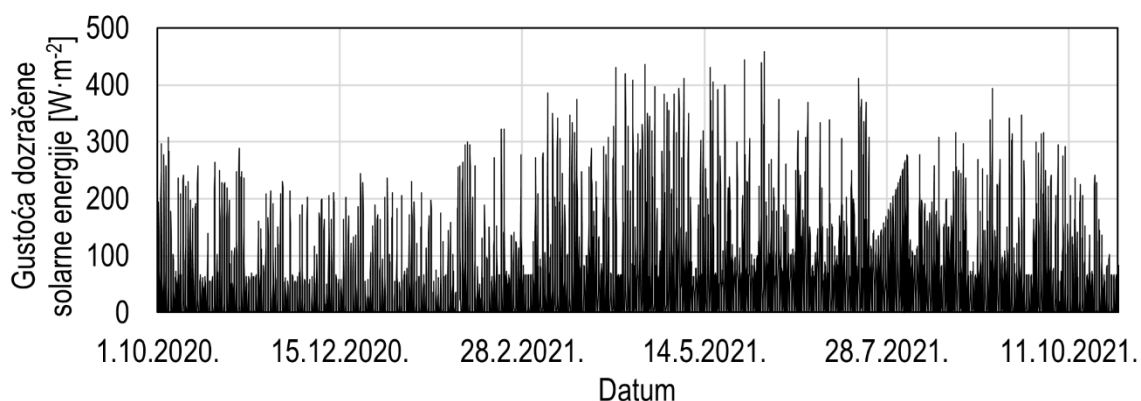
Prijašnja istraživanja o smjeru i brzini vjetera na području luke Ploče obuhvatila su analizu trosatnih podataka iz rezultata numeričkoga atmosferskog modela Aladin-HR za razdoblje 1992.-2001. te satnih podataka zabilježenih na meteorološkoj postaji Poče za razdoblje 1980.-2010. (Ocvirk, 2010.).

Recentni meteorološki podaci analizirani u sklopu ovoga rada odnose se na 10-minutne brzine i smjerove vjetera na meteorološkoj postaji (dalje u tekstu m.p.) Ploče (DHMZ, Slika 4-2) te satnim gustoćama

dozračene solarne energije na m.p. Dubrovnik (DHMZ) u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021. S obzirom na to da se djelovanje sunčevoga zračenja ne bilježi na m.p. Ploče, preuzeti su podaci s m.p. Dubrovnik s obzirom na to da je ova lokacija najbliža predmetnom području što se tiče mjerenja ovoga parametra. U nastavku su dani vremenski nizovi ovih triju parametara za ranije spomenuto razdoblje.



Slika 4-5 Vremenski nizovi 10-minutnih brzina (gore) i smjera (dolje) vjetra zabilježenih na m.p. Ploče u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.



Slika 4-6 Vremenski niz satne gustoće dozračene solarne energije u [W·m⁻²] zabilježene na m.p. Dubrovnik u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.

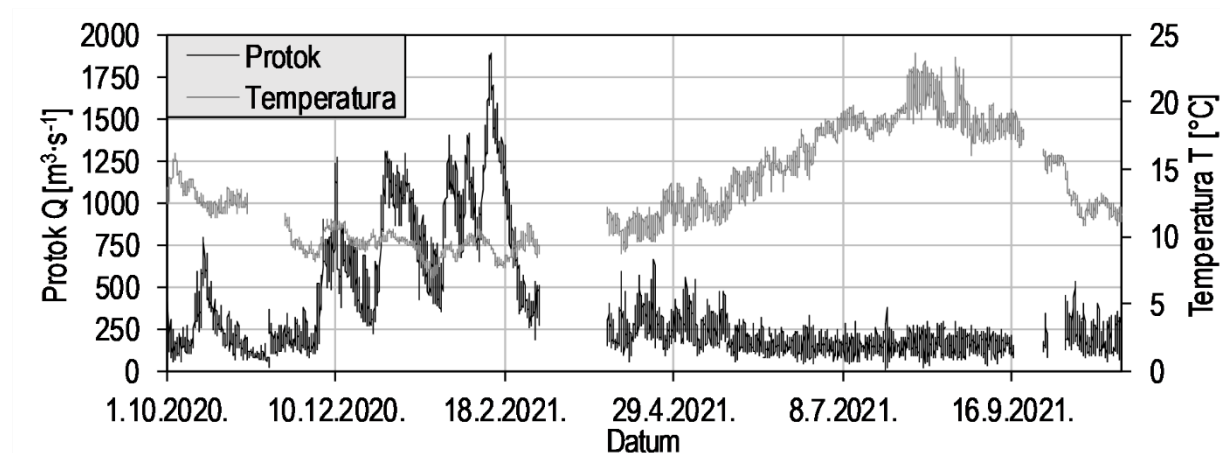
4.1.1.3 Protok i temperatura rijeke Neretve

Neretva je rijeka duga 225 km koja izvire i većim dijelom protječe kroz Bosnu i Hercegovinu (dalje u tekstu: BiH), a manjim kroz RH (22 km) gdje se ulijeva u Jadransko more. Dominantni generatori otjecanja na slivu rijeke Neretve su kiša i manjim dijelom topljenje snijega dok je režim tečenja pod utjecajem intenzivnih hidrotehničkih radova provedenih 50-ih godina prošlog stoljeća i upravljanja radom postojećih hidroelektrana u BiH (Hrvatske vode, 2014.). Kulić i sur. (2020.) i Lončar i sur. (2021.) dali su analizu

dnevni protoka i temperatura rijeke Neretve na hidrološkoj postaji (dalje u tekstu: h.p.) Žitomislići za razdoblje 2007.-2014. godine te na h.p. Metković za razdoblje 2015.-2018. U poglavlju Prilozi prikazana je krivulja relativne i kumulativne učestalosti satnih protoka za razdoblje svibanj 2015. – prosinac 2018.

Na temelju prethodno provedenih analiza ulaznih podataka definirano je razdoblje u kojem je potrebno provesti terenska mjerenja strujanja mora te u kojem će se provesti numeričke simulacije. Uzimajući u obzir termine incidencije minimalnih i maksimalnih protoka utvrđeno je da se maksimalni protoci pojavljuju tijekom zime, ranog proljeća ili kasne jeseni dok su minimalni protoci vezani uz ljetni režim tečenja.

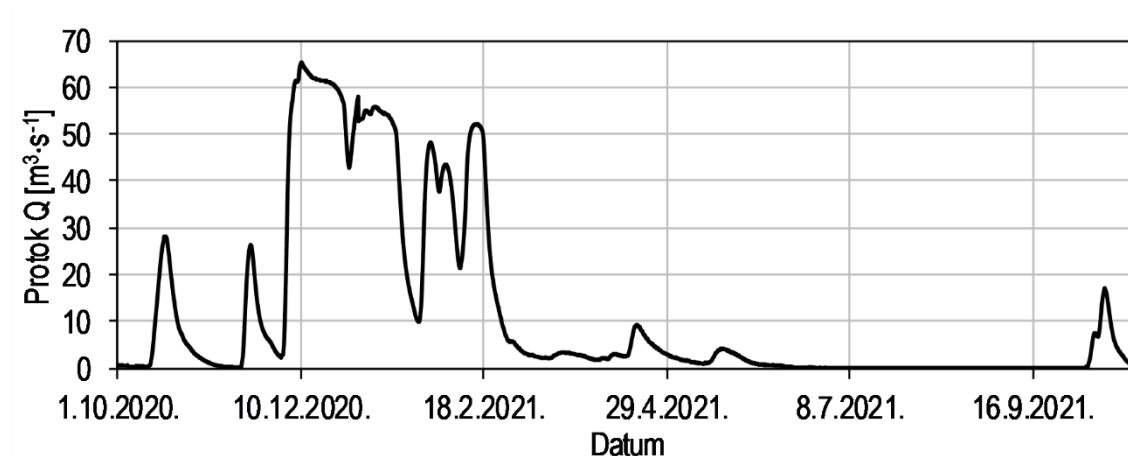
Podaci korišteni za analize u sklopu ovoga istraživanja odnose se na razdoblje od 1.10.2020. do 1.11.2021., a na raspolaganju su satni protoci i temperatura vode izmjereni na hidrološkoj postaji (dalje u tekstu: h.p.) Metković (Hrvatske vode, 2014.). U nastavku su grafički prikazani vremenski nizovi dvaju analiziranih hidroloških parametara s prikazom razdoblja u kojem nedostaju podaci (Slika 4-7).



Slika 4-7 Vremenski nizovi satnih protoka i temperatura rijeke Neretve na h.p. Metković u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.

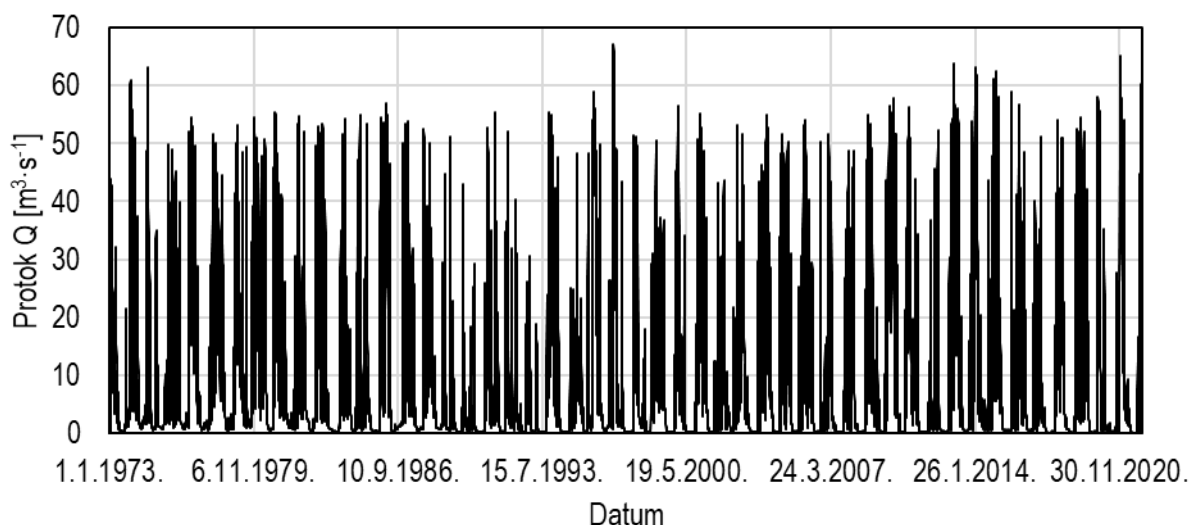
4.1.1.4 Protok iz Baćinskih jezera

Jedan od bitnih generatora strujanja u površinskom sloju jest dotok vode iz Baćinskih jezera u zatvoreni dio akvatorija luke Ploče. Na raspolaganju su satni podaci o protoku na h.p. Šipak (DHMZ) za razdoblje 1.10.2020.-1.11.2021. što je dano grafički u nastavku.



Slika 4-8 Vremenski niz satnih protoka iz Baćinskih jezera na h.p. Šipak u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.

Osim recentnih podataka, u obzir su uzeti dnevni protoci u razdoblju 1.1.1973.-31.12.2021. (DHMZ, n.d.) kako bi se odredile karakteristične vrijednosti ovoga parametra što je prikazano u poglavlju 5.1.1.3.



Slika 4-9 Vremenski niz dnevnih protoka iz Baćinskih jezera na h.p. Šipak u razdoblju od 1.1.1973. do 31.12.2021.

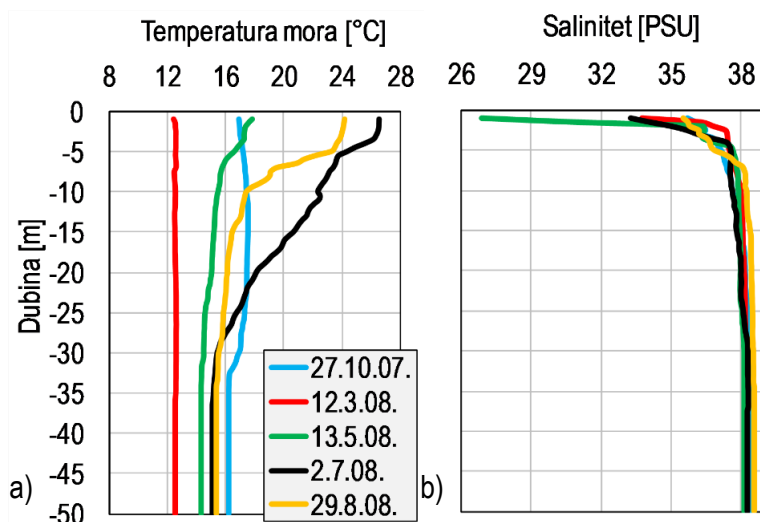
Općenito, dotok iz Baćinskih jezera u Jadransko more najizraženiji je u jesen i zimu, nešto manje u proljeće dok u ljetnom razdoblju gotovo nema dotoka što je dominantno povezano s vodostajem u Baćinskim jezerima i klimatološkim uvjetima (količina oborine, evaporacija, temperatura i vlažnost zraka).

4.1.1.5 Temperatura i salinitet u razdobljima listopad 2007. – kolovoz 2008. i listopad 2020. – kolovoz 2021.

Na raspolaganju su podaci o vertikalnim profilima temperature i saliniteta uzorkovani u sklopu Jadranskog projekta (Andročec i sur., 2009.) u pet termina u razdoblju listopad 2007.-kolovoz 2008., a lokacija JPG7 postavljene CTD sonde prikazana je na preglednoj situaciji predmetnog akvatorija (Slika 4-2).

CTD sonda (eng. **C**onductivity, **T**emperature and **D**epth of seawater) uređaj je koji mjeri električnu vodljivost, temperaturu i dubinu na lokaciji postavljanja. Vodljivost se mjeri pomoću dvaju električnih oscilatora na kojima dolazi do razlike frekvencijskih karakteristika uslijed djelovanja iona u uzorku morske vode. Nadalje, na ovaj se način mjeri otpor uzorka morske vode. Mjerenje temperature CTD sandom funkcionira na principu bilježenja promjene električnog otpora na ugrađenom termometru. Također, uređaj sadrži i senzor tlaka pomoću kojeg je moguće odrediti odgovarajuću dubinu na kojoj je postavljen. U konačnici, salinitet je izračunat iz otpora (dobivenoga preko vodljivosti) i temperature na temelju empirijskih izraza.

Kasno jesensko, zimsko i rano proljetno razdoblje karakterizira odsutnost stratifikacije vertikalnoga profila otvorenoga mora dok je stratificirani profil zabilježen u ljeto i ranu jesen (Slika 4-10). Sukladno navedenome, temperatura mora je nepromjenjiva po vertikali u kasno jesenskom, zimskom i rano proljetnom razdoblju, a najizraženija promjena po dubini prisutna je u ljeto. U kasnom ljetnom razdoblju promjene temperature najizraženije su između -5 i -10 [m]. Veće varijacije saliniteta mogu se uočiti u površinskom sloju mora tijekom godine kao posljedica uzvodne regulacije režima tečenja rijeke Neretve (hidroelektrane u BiH). Na dubini -5 [m] salinitet se pojavljuje u rasponu vrijednosti 35 – 38,2 [PSU] također ovisno o protocima Neretve dok salinitet na dubini većoj od -10 [m] varira unutar 1 [PSU]. Na dubini mora od -10 [m] oscilacije saliniteta su značajno manje izražene.



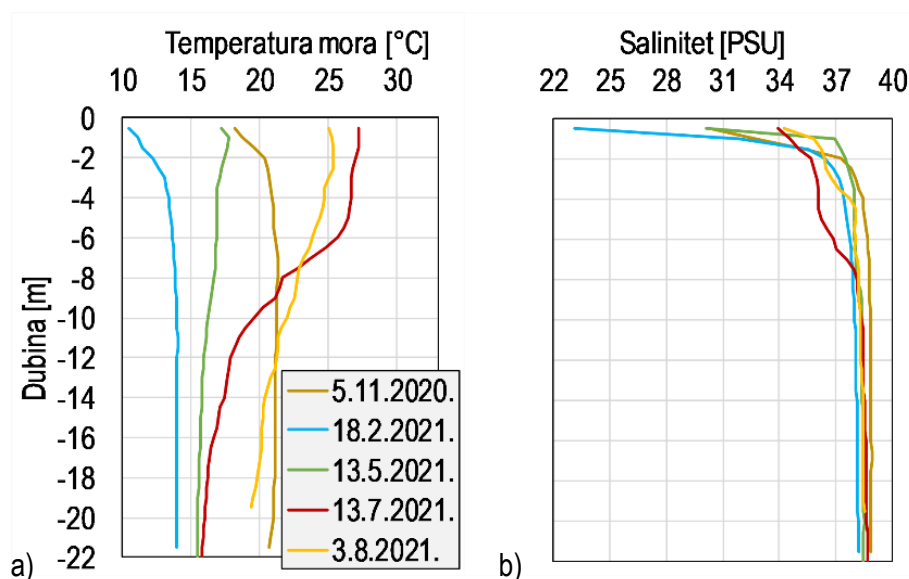
Slika 4-10 Vertikalni profili a) temperature i b) saliniteta mora na poziciji JPG7 (Slika 4-2) u razdoblju listopad 2007.-kolovoz 2008.

Navedena su mjerenja iskorištena za dopunu recentnih terenskih mjerenja temperature i saliniteta te definiranja rubnih uvjeta HD modela cirkulacije mora u predmetnom akvatoriju (vidi poglavlje 4.3.2.1).

Recentna mjerenja vertikalnih profila temperature i saliniteta mora izvršena su u ukupno petnaest termina kroz sve četiri sezone. Ove su aktivnosti bile dio terenskih mjerenja provedenih u okviru projekta „Razvoj sustava kontrole i obrane luka od unosa stranih vrsta“ (ProtectAS) te su preuzeta kao sastavni dio ovoga istraživanja. Pri tome, razmotrena su razdoblja listopad-studen 2020. (četiri termina), veljača (tri termina), travanj-svibanj (četiri termina) i srpanj-kolovoz 2021. (četiri termina).

U nastavku su tablično dane lokacije postavljenih CTD sonde u sklopu provedbe recentnih terenskih mjerenja što je prikazano grafički (Slika 4-2).

Za ovo istraživanje od veće je važnosti samo CTD sonda postavljena na lokaciji CTD-PL3 (Slika 4-2, Tablica 4.1). CTD-PL3 lokacija najbliža je otvorenoj granici HD modela na kojoj je uspostavljen rubni uvjet prostorno i vremenski varijabilnih parametara T [°C] i S [PSU]. Rezultati mjerenja na ovoj lokaciji dani su u nastavku grafički kroz pet vertikalnih profila zbog preglednosti.



Slika 4-11 Vertikalni profili a) temperature i b) saliniteta mora na poziciji CTD-PL3 (Slika 4-2) u razdoblju listopad 2020.-kolovoz 2021.

U jesenskom razdoblju (listopad-studenj 2020.) najizraženije varijacije u temperaturi i salinitetu prisutne su u površinskom sloju do dubine od -4 [m], a prema većim se dubinama zadržavaju približno konstantne vrijednosti ovih dvaju parametara ($T \approx 21$ [°C], $S \approx 38,8$ [PSU]). U zimskom razdoblju vertikalni profil ovih dvaju parametara (18.2.2021.) poprima sličan oblik kao za prethodnu sezonu, međutim veći slatkovodni dotok iz Neretve uzrokuje značajniji pad saliniteta do dubine od -2,0 [m] u ovome terminu mjerenja. Također, ove dvije sezone karakterizira manja površinska temperatura u odnosu na dublje slojeve. Nadalje, proljetno razdoblje (travanj-svibanj) karakteriziraju male varijacije u temperaturi pri čemu se ovaj parametar smanjuje od dubine -1,0 [m] nadalje. Salinitet raste s vrijednosti 30 [PSU] na -0,5 [m] do 37 [PSU] na -1,0 [m] dubine, a prema većim dubinama varira unutar 1,5 [PSU]. Srpanjski termin (13.7.2021.) ukazuje na prisutnost termokline između -5 i -10 [m] dubine (pad temperature s 26 na 19,5 [°C]) dok se haloklina proteže od -5 do -8 [m] (porast saliniteta s 35,8 do 38,1 [PSU]). Ova razlika u temperaturi i salinitetu smanjuje se u kolovozu pri čemu se varijacije smanjuju, a oblikom se približava jesenskome vertikalnom profilu.

Manji salinitet u površinskom sloju (dubina od -0,5 [m]) u jesenskom i zimskom razdoblju dominantno je uzrokovan dotokom slatke vode iz rijeke Neretve i Baćinskih jezera dok ljeti salinitet manji od 37 [PSU] proteže do dubine od -7,0 [m] kada je ova razlika prisutna zbog zagrijavanja površinskoga sloja i njegovoga vertikalnog miješanja s dubljim slojevima. Ako se u obzir uzme da je izračunat prosječni salinitet mora 38 [PSU], onda se na temelju mjerenja može utvrditi da se prodor slatkovodnog klina rijeke Neretve proteže do dubine od -5,5 [m] pa čak i do većih dubina u slučaju koincidencije sa značajnim dotokom iz Baćinskih jezera. Najizraženija promjena saliniteta zabilježena je do dubine od -1,5 [m] pri protocima većim od $1300 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ dok je za manje protoke ova promjena najizraženija unutar površinskog sloja do -1,0 [m].

4.1.1.6 Uzorkovanje zooplanktona

U okviru ProtectAS projekta provedeno je uzorkovanje zooplanktona kroz sve četiri sezone na lokacijama CTD-PL1, CTD-PL2 i CTD-PL3 (Slika 4-2). Navedena mjerenja obuhvatila su uzorkovanja brojnosti kroz stupac mora na spomenutim lokacijama. Brojnost u stupcu mora predstavlja ukupan broj jedinki detektiran prilikom uzorkovanja mrežom potegom od dna do površine na danoj lokaciji. Obrada sirovoga uzorka iz mreže uključila je taksonomsku identifikaciju uz korištenje binokularne lupe za brojanje jedinki zooplanktona (sukladno Maškarić, 2024.). U konačnici, dobiven je broj jedinki zooplanktona u m³ mora [jedinki·m³] što je prikazano u nastavku s obzirom na sezonu i termin uzorkovanja.

Tablica 4.2 Brojnost zooplanktona na lokacijama CTD-PL1, CTD-PL2 i CTD-PL3 (Slika 4-2) izražena u [jedinki·m³]

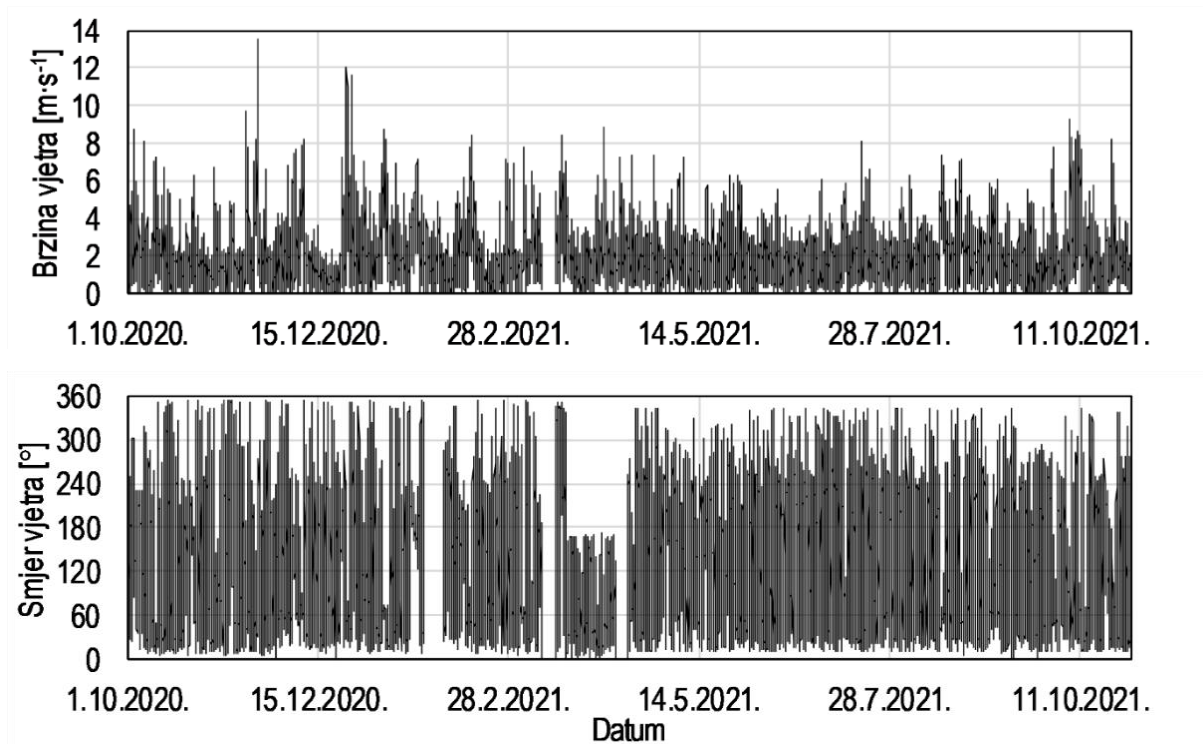
Brojnost zooplanktona [jedinki·m ³]		Lokacija uzorkovanja		
Sezona	Termin uzorkovanja	CTD-PL1	CTD-PL2	CTD-PL3
jesen	29.10.2020.	15597	17186	9698
	4.11.2020.	19836	23290	15787
	12.11.2020.	16259	19510	9904
	19.11.2020.	20796	18247	15024
zima	27.1.2021.	12363	11571	19862
	4.2.2021.	7679	7452	16259
	10.2.2021.	9519	12693	24735
	18.2.2021.	16128	16736	18862
proljeće	29.4.2021.	8169	7519	925
	6.5.2021.	12650	10415	3469
	13.5.2021.	5893	4082	2313
	20.5.2021.	13308	10042	20855
ljet	13.7.2021.	8218	8105	19530
	22.7.2021.	8754	13315	10560
	27.7.2021.	9565	11616	4355
	3.8.2021.	10544	11253	6727

4.1.2.1 Batimetrija luke Rijeka

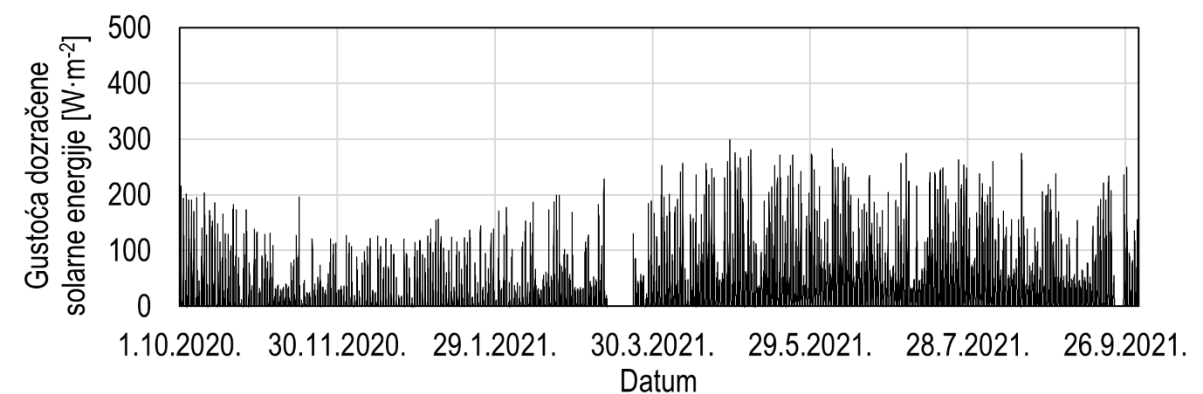
Najveće dubine na dijelu akvatorija prisutne su na samome ulazu u bazen Rijeka uz Zagrebačko pristanište gdje dosežu -40 [m] dok je najpliće područje u Mrtvom kanalu.

4.1.2.2 Meteorološki podaci – djelovanje vjeta i sunčevog zračenja

Za ovo su područje na raspolaganju isključivo recentni meteorološki podaci o 10-minutnim brzinama i smjerovima vjeta te gustoći dozračene solarne energije koji su bilježeni na m.p. Rijeka (Slika 4-3) u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021. U nastavku su dani vremenski nizovi ovih triju parametara.



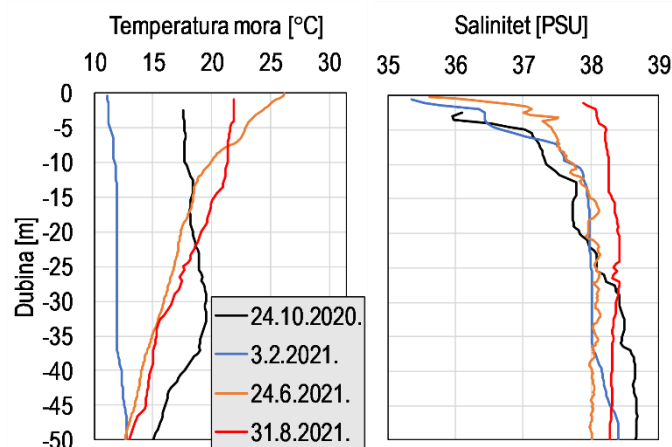
Slika 4-13 Vremenski nizovi 10-minutnih brzine (gore) i smjera (dolje) vjeta zabilježenih na m.p. Rijeka u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.



Slika 4-14 Vremenski niz 10-minutne gustoće dozračene solarne energije u [W·m⁻²] zabilježene na m.p. Rijeka u razdoblju od 1.10.2020. do 1.10.2021.

4.1.2.3 Temperatura i salinitet u razdoblju listopad 2020. – kolovoz 2021.

U ovome će se poglavlju dati uvid u recentna mjerenja vertikalnih profila temperature i saliniteta CTD sandom na lokaciji JPG28 jugozapadno od luke Rijeka (Slika 4-3) u razdoblju od listopada 2020. do kolovoza 2021. U nastavku su grafički dana četiri vertikalna profila po pojedinom godišnjem dobu za navedeno razdoblje.



Slika 4-15 Vertikalni profili temperature (lijevo) i saliniteta (desno) mora na poziciji JPG28 (Slika 4-3) u četiri termina mjerenja od listopada 2020. do kraja kolovoza 2021.

U jesenskom razdoblju (listopad 2020.) najizraženije varijacije u temperaturi zabilježene su na dubinama između -30 i -50 [m], a prema manjim se dubinama vertikalni profil ukazuje na manje izražene varijacije. Vertikalni profil saliniteta ukazuje na prisutnost halokline na dubini od -3 do -13 [m] odakle salinitet raste do -35 [m], a prema većim dubinama zadržava približno konstantnu vrijednost. U zimskom terminu mjerenja (3.2.2021.) vertikalni profil temperature ukazuje na približno konstantnu vrijednost temperature na svim dubinama (odsustvo stratifikacije) dok salinitet poprima najnižu vrijednost na površini, zatim jednoliko raste do -10 [m] odakle poprima približno konstantnu vrijednost kako dubina raste. Ova dva termina mjerenja karakterizira manja površinska temperatura u odnosu na dublje slojeve. Nadalje, početak ljeta (24.6.2021.) karakteriziraju najznačajnije varijacije saliniteta u sloju do -4 [m] odakle jednoliko raste do dubine -15 [m], a prema većim dubinama poprima približno konstantnu vrijednost. Temperatura jednoliko opada od površine sve do najvećih dubina pri čemu je najveći gradijent temperature prisutan od površine do -10 [m] dubine. Ljetno razdoblje karakterizirano je približno konstantnim salinitetom po čitavome vertikalnom profilu što vrijedi i za temperaturu mora do dubine -15 [m]. Na dubinama većim od -15 [m] temperatura opada jednoliko.

4.1.2.4 Uzorkovanje fito- i zooplanktona

Terenska mjerenja dviju fitoplanktonskih frakcija (dinoflagelata i dijatomeja) dostupna su u ljetnim terminima uzorkovanja isključivo za prostornu domenu luke Rijeka i to na lokacijama RlbwB, RlbwS i JPG28 (vidi Slika 4-3). Brojnost dijatomeja i dinoflagelata bilježena je za površinski sloj u terminima 19.8., 26.8., 31.8. i 8.9.2021. te je izražena u broju ukupno detektiranih stanica u litri uzorka [stanica⁻¹]. S druge strane, kumulativna brojnost kroz stupac mora na spomenutim lokacijama temelji se na procjeni prilikom mikroskopske identifikacije vrsta (sukladno Kraus, 2024.), a izražena je brojem ukupno detektiranih stanica. Kumulativna brojnost predstavlja ukupan broj stanica pojedine frakcije detektiran prilikom uzorkovanja mrežom potegom od dna do površine na danoj lokaciji. U nastavku su dani podaci o brojnosti dviju fitoplanktonskih frakcija za dvije ranije opisane metode detekcije.

Tablica 4.3 Brojnost dijatomeja i dinoflagelata u površinskom sloju mora na lokacijama RlbwB, RlbwS i JPG28 izražena u [stanica·l⁻¹]

Površinska brojnost [stanica·l ⁻¹]		Lokacija uzorkovanja		
Frakcija	Termin uzorkovanja	RlbwB	RlbwS	JPG28
Dijatomeja	19.8.2021.	/	29010	28410
	26.8.2021.	2490	22010	720
	31.8.2021.	7640	18300	1320
	8.9.2021.	650	4540	3030
Dinoflagelat	19.8.2021.	/	2030	2150
	26.8.2021.	1420	940	280
	31.8.2021.	230	980	1880
	8.9.2021.	2880	5160	80

Tablica 4.4 Kumulativna brojnost dijatomeja i dinoflagelata kroz stupac mora na lokacijama RlbwB, RlbwS i JPG28 izražena u [br.stanica]

Kumulativna brojnost [br.stanica]		Lokacija uzorkovanja		
Frakcija	Termin uzorkovanja	RlbwB	RlbwS	
Dijatomeja	19.8.2021.	360	1700	360
	26.8.2021.	320	1310	1750
	31.8.2021.	300	300	1260
	8.9.2021.	1430	290	190
Dinoflagelat	19.8.2021.	90	60	290
	26.8.2021.	230	150	250
	31.8.2021.	120	250	0
	8.9.2021.	230	150	220

Uzorkovanje zooplanktona provedeno je istovjetno ranije opisanome u poglavlju 4.1.1.6 osim razlike u terminima u pojedinoj sezoni. U nastavku su dani podaci o ukupnoj brojnosti zooplanktona na trima lokacijama uzorkovanja izraženi u [jedinki·m⁻³].

Tablica 4.5 Brojnost zooplanktona na lokacijama RlbwB, RlbwS i JPG28 (Slika 4-3) izražena u [jedinki·m⁻³]

Brojnost zooplanktona [jedinki·m ⁻³]		Lokacija uzorkovanja		
Sezona	Termin uzorkovanja	RlbwB	RlbwS	JPG28
jesen	24.10.2020.	20706	13631	14607
	2.11.2020.	3816	10786	5491
	9.11.2020.	6120	6555	6866
	17.11.2020.	21104	11903	9038
zima	21.1.2021.	7941	15303	5332
	11.2.2021.	11008	14268	14270
	18.2.2021.	20478	6595	7117
	21.2.2021.	15764	13880	8300
proljeće	29.4.2021.	16213	12245	8837

Brojnost zooplanktona [jedinki·m ⁻³]		Lokacija uzorkovanja		
Sezona	Termin uzorkovanja	RIbwB	RIbwS	JPG28
ljetno	10.5.2021.	12067	19395	11933
	18.5.2021.	22359	17444	18215
	27.5.2021.	34777	38328	16246
	19.8.2021.	131327	44429	8940
	26.8.2021.	15987	15671	9852
	31.8.2021.	15852	15401	11626
	8.9.2021.	24679	12423	14849

4.2 Terenska mjerenja brzine i smjera strujanja mora, dinamike morskih razina i temperature mora

Ovim će se poglavljem dati uvid u opće značajke provedenih terenskih mjerenja na područjima dvaju luka – Ploča i Rijeke. Pod općim značajkama elaborirat će se o odabranim razdobljima provedbe mjerenja te odabranim lokacijama na koje će mjerna oprema biti postavljena. Mjerenja brzine strujanja mora, dinamike morskih razina i temperature mora na dubinama postavljene mjerne opreme provedena su u okviru ProtectAS projekta te su iskorištena su za uspostavljanje i kalibraciju HD modela opisanoga kasnije. Osim toga, dat će se uvid mjernu opremu korištenu za mjerenje brzina morskih struja, dinamike morskih razina i temperature mora te softverske pakete korištene za potrebe obrade izmjerenih podataka.

4.2.1 Razdoblje provedbe i prostorni obuhvat terenskih mjerenja

Na temelju obrađenih podataka o generatorima strujanja na području luke Ploče (vjetar, slatkovodni dotok iz Neretve i Baćinskih jezera, gradijentske struje uslijed prostornih razlika u temperaturi i salinitetu), utvrđeno je da će se mjerenja brzina morskih struja provesti za dva razdoblja – jesensko/zimsko razdoblje kako bi se obuhvatili oceanografski uvjeti okarakterizirani odsustvom vertikalne stratifikacije stupca mora, odnosno ljetno/jesensko razdoblje u kojem je stratifikacija prisutna na svim dijelovima predmetnoga akvatorija. Za ovo je područje značajan utjecaj dvaju slatkovodnih dotoka (Neretva i Baćinska jezera) koji imaju oblikuju strujanje mora u površinskom i potpovršinskom sloju. Posebice je njihov utjecaj izražen u kasno jesenskom/zimskom razdoblju u kojem se očekuju najveći protoci. Stoga, lokacije postavljanja uređaja za mjerenje brzine strujanja mora odabrane su tako da se dobije uvid u morske struje u zatvorenom dijelu luke gdje je značajan utjecaj dotoka iz Baćinskih jezera, odnosno na otvorenom dijelu akvatorija u kojem se očituje utjecaj režima tečenja rijeke Neretve na morske struje.

Nova terenska istraživanja na predmetnim akvatorijima odnose se na mjerenje brzina morske struje, promjene morske razine i temperature na dvjema lokacijama ADCP-PL1 i ADCP-PL2. Na preglednoj su situaciji prikazane spomenute lokacije (Slika 4-2). ADCP-PL1 odnosi se na lokaciju u zatvorenom dijelu luke, a ADCP-PL2 na lokaciju na otvorenom dijelu zapadno od terminala za rasuti teret (ušća kanala Vlaška). Osim lokacija novih uređaja, na istom su grafičkom prikazu dane lokacije CTD sonde za potrebe prijašnjih i recentnih mjerenja vertikalnih profila temperature i saliniteta. Tablično su dane koordinate postavljenih mjerača strujanja u WGS-84 i HTRS96 referentnim sustavima (Tablica 4.1).

Odabir razdoblja mjerenja u luci Rijeke sličan je prethodno opisanome za akvatorij luke Ploče. Razmotrena su dva razdoblja oceanografskih uvjeta – prijelazno razdoblje između jeseni i zime okarakterizirano odsustvom vertikalne stratifikacije te razdoblje između ljeta i jeseni u kojem je vertikalni stupac mora stratificiran na promatranom području. Nova terenska istraživanja u akvatoriju luke Rijeke

odnose se na mjerenje brzina morske struje, dinamike morskih razina i temperature mora na dvjema lokacijama ADCP-RI1 i ADCP-RI2 prikazanima na preglednoj situaciji na početku poglavlja (Slika 4-3). Na istom je grafičkom prikazu dana lokacija CTD sonde na kojoj su uzorkovani vertikalni profili temperature i saliniteta. Osim grafičkog prikaza, tablično su dane koordinate lokacija ADCP-RI1 i ADCP-RI2 u WGS-84 i HTRS96 referentnim sustavima (Tablica 4.1).

4.2.2 Korištena mjerna oprema

Mjerenja brzina strujanja i promjene razine mora provedena su uz pomoć dva ADCP mjerača strujanja (eng. **A**coustic **D**oppler **C**urrent **P**rofiler) koja su instalirana na odgovarajuća postolja i položena na dno. Navedeni uređaji mjere vertikalni profil brzina odašiljanjem snopa zraka u stupac mora na principu Dopplerovog efekta. Nadalje, u postavkama mjerenja uređaju je potrebno definirati diskretizaciju vertikalnog profila, tj. broj ćelija (eng. *bin*) na koji će podijeliti stupac mora. Za svaku pojedinu ćeliju ADCP usrednjava brzinu strujanja te je zapisuje interno. Uređaj detektira razliku u frekvenciji poslanog i povratnog zvučnog signala reflektiranog od suspendiranih čestica u stupcu mora. Odnos pomaka u frekvenciji poslanog i povratnog signala može se prikazati putem sljedećeg izraza:

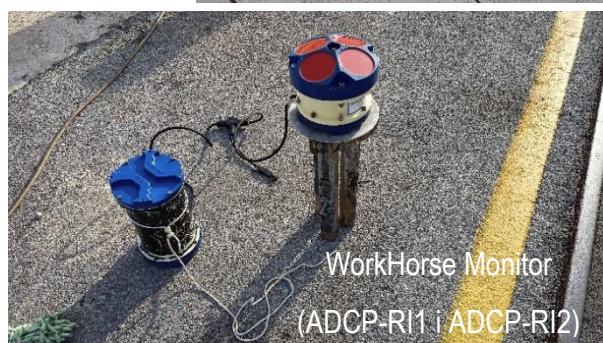
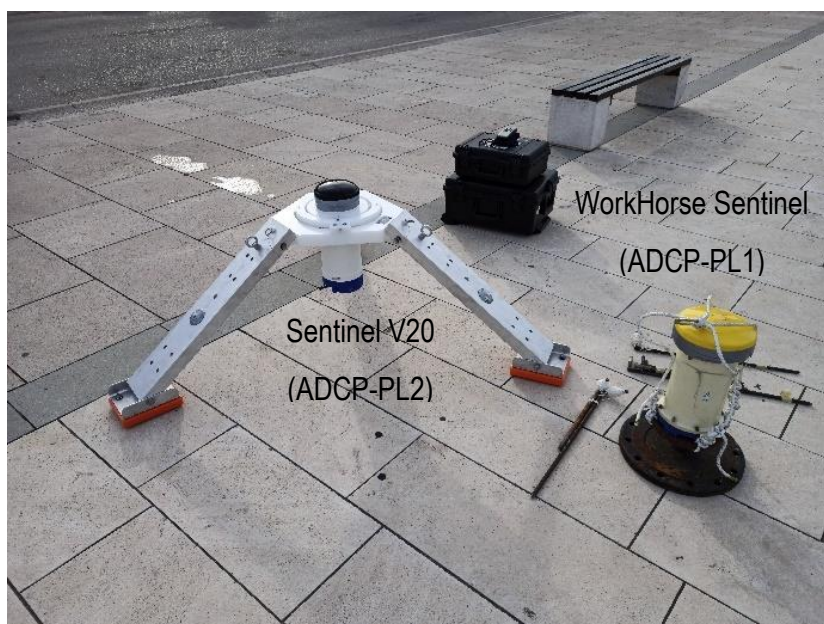
$$\Delta f_a = 2f_a \frac{v_c}{c_a} \quad (11)$$

gdje je Δf_a pomak u frekvenciji povratnog vala, f_a frekvencija poslanog zvučnog vala, v_c brzina medija u koji je signal poslan, c_a brzina zvuka unutar medija.

U luci Ploče (Slika 4-2) na lokaciji ADCP-PL1 postavljen je mjerac strujanja tipa WorkHorse Sentinel proizvođača Teledyne RDI Instruments radne frekvencije 1200 [kHz] dok je na poziciji ADCP-PL2 bio postavljen uređaj SentinelV20 istoga proizvođača, a radne frekvencije 1000 [kHz]. U nastavku su dane fotografije korištenih mjerača strujanja instaliranih na postoljima (Slika 4-16-gore), a tablično su navedene postavke mjerenja (Tablica 4.6). Mjerenja su provedena u dva razdoblja – od 30.10.2020. do 8.1.2021., 9.7.2021. – 15.10.2021.

U luci Rijeka postavljena su dva ADCP mjerača strujanja (lokacije ADCP-RI1 i ADCP-RI2, Slika 4-3) tipa WorkHorse Monitor istoga proizvođača, radne frekvencije 600 [kHz]. Fotografije uređaja i postavke mjerenja dane su u nastavku (Slika 4-16, Tablica 4.6), a sama mjerenja provedena su također u dva razdoblja – od 9.10.2020. do 18.1.2021. i od 3.7.2021. do 25.10.2021.

Zbog preglednosti u nastavku teksta razdoblje mjerenja od listopada 2020. do siječnja 2021. navodit će se kao *zimsko* dok će se razdoblje od srpnja do listopada 2021. navoditi kao *ljetno* razdoblje za obje luke. Također, valja napomenuti da svi navedeni uređaji imaju integrirane senzore temperature i tlaka pomoću kojih se bilježe promjene razine mora i temperature mora na dnu postavljenoga uređaja. Sama učestalost zapisivanja ovih parametara u integriranu memoriju uređaja istovjetna je onome što je definirano za ADCP mjerače strujanja.



Slika 4-16 Fotografije ADCP mjerača strujanja tipa WorkHorse Sentinel postavljenog na poziciji ADCP-PL1 i Sentinel V20 postavljenog na poziciji ADCP-PL2 u luci Ploče – gore; ADCP mjerača strujanja tipa WorkHorse Monitor prije postavljanja – dolje lijevo i postavljenoga na dnu luke Rijeka – dolje desno

Tablica 4.6 Postavke mjerenja ADCP mjerača strujanja za ljetno i zimsko razdoblje u lukama Ploče i Rijeka

Luka	PLOČE				RIJEKA			
Pozicija	ADCP-PL1		ADCP-PL2		ADCP-RI1		ADCP-RI2	
Razdoblje mjerenja	Zimsko	Ljetno	Zimsko	Ljetno	Zimsko	Ljetno	Zimsko	Ljetno
Veličina ćelije [cm] (eng. <i>cell size</i>)	100	50	100	50	100	50	100	50
Razmak snimanja [min]	30	30	30	30	30	30	30	30
Razdoblje uzorkovanja [min] (eng. <i>ensemble interval</i>)	10	10	10	12	10	12	10	12
Frekvencija uzorkovanja [Hz] (eng. <i>ping interval</i>)	1	1	1	1	1	1	1	1
Točnost mjerenja (ovisi o vrsti uređaja)	0,25 [cm·s ⁻¹]		0,30 [cm·s ⁻¹]		0,30 [cm·s ⁻¹]			

4.3 Uspostava hidrodinamičkih modela cirkulacije mora

Istovjetno odabiru termina mjerenja brzina morskih struja, definirana su simulacijska razdoblja koja će se obuhvatiti modelom cirkulacije. Zbog jednostavnijega opisa, jesensko/zimsko razdoblje navodit će se kao ZIMSKO, a ljetno/jesensko kao LJETNO simulacijsko razdoblje. ZIMSKO simulacijsko razdoblje za analizu cirkulacije na širem akvatorijalnom području luke Ploče razmotreno je od 31.10.2020. do 8.1.2021. dok je za luku Rijeka razmotreno vremensko razdoblje između 10.10.2020. i 9.1.2021. LJETNO simulacijsko razdoblje za luku Rijeka traje od 3.7. do 1.10.2021., a za šire akvatorijalno područje luke Ploče od 9.7. do 14.10.2021. Sve simulacije kao i uspostava modela provedena je pomoću MIKE 3 FM softverskoga paketa, verzija 2021 koji je razvio Danski hidraulički institut (DHI, 2021a). Korištena je radna stanica s 12-jezgrenim procesorom tipa AMD Ryzen 5900X. Trajanje simulacije u LJETNOM simulacijskom razdoblju iznosilo je ukupno 120, a u ZIMSKOM 105 [h] za domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče. Simulacije HD modela cirkulacije na domeni luke Rijeka trajale su 150 [h] za oba razdoblja.

U ovom će se poglavlju dati opis vladajućih jednadžbi numeričkoga modela, metoda diskretizacije prostorne domene modela, uspostave početnih i rubnih uvjeta.

4.3.1 Vladajuće jednadžbe numeričkoga modela

Vladajuće jednadžbe strujanja tekućine opisat će se s obzirom na procedure koje koristi hidrodinamički modul softverskoga paketa MIKE 3 FM. Sami modeli baziraju se na traženju numeričkoga rješenja Reynoldsovim usrednjavanjem Navier-Stokesovih jednadžbi za nestišljive tekućine uz usvajanje Boussinesqove pretpostavke o hidrostatskoj raspodjeli tlaka u vertikalnome smjeru. Pri tome, u obzir su uzete jednadžbe toka plitkog fluida (eng. *shallow water equations*) koje su izvedene iz Navier-Stokesovih uz usvajanje osnovne pretpostavke da je vertikalna dimenzija prostorne domene značajno manja od horizontalne. Vremenska integracija provodi se primjenom poluimplicitnog pristupa gdje se horizontalni parametri tretiraju eksplicitno, a vertikalni implicitno.

4.3.1.1 Jednadžbe toka plitkog fluida

Prva jednadžba, koja opisuje zakon očuvanja mase u 3D polju, odnosi se na jednadžbu kontinuiteta danu sljedećim izrazom:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (12)$$

Dinamičke jednadžbe, kojima je opisan zakon očuvanja količine gibanja u horizontalnoj ravnini, dane su s:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fu - \frac{g\partial\eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial p}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{t,v} \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s(S) \quad (13)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fv - \frac{g\partial\eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial p}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{t,v} \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s(S) \quad (14)$$

Vrijeme je označeno simbolom t ; Kartezijeve koordinate slovima x , y , z ; trenutno nadvišenje razine vodnoga lica iznad srednje normalne dubine označeno je s η ; trenutna ukupna dubina dana je s $h = \eta + d$ pri čemu d označava srednju normalnu dubinu vode; u , v i w označavaju komponente brzine strujanja u x , y i z smjeru, redom, $f = 2\Omega \sin\phi$ predstavlja Coriolisov parametar pri čemu je Ω kutna brzina zemljine

revolucije, a ϕ geografska širina; ρ gustoća vode; s_{xx} , s_{xy} , s_{yx} i s_{yy} su komponente tenzora naprezanja; $v_{t,v}$ kinematski koeficijent turbulentne viskoznosti u vertikalnom smjeru; p_a atmosferski tlak, ρ_0 referentna gustoća vode. S predstavlja iznos toka unesenog kroz točkaste izvore s odgovarajućim brzinama u_s i v_s brzine u x i y smjerovima, redom. Komponente horizontalnoga posmičnoga naprezanja F_u , F_v opisani su izrazima za gradijente naprezanja koji su dani s:

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2v_{t,H} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,H} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (15)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,H} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2v_{t,H} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (16)$$

gdje $v_{t,H}$ predstavlja kinematski koeficijent turbulentne viskoznosti u horizontalnoj ravnini (x i y smjerovi).

Rubni uvjeti na površini ($z = \eta$) i na dnu ($z = -d$) za brzine u , v i w redom su dani s:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_{t,V}} (\tau_{sx}, \tau_{sy}) \quad \text{za } z = \eta \quad (17)$$

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_{t,V}} (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad \text{za } z = -d \quad (18)$$

gdje su komponente posmičnoga naprezanja na kontaktu atmosfera more uslijed djelovanja vjetra dani s τ_{sx} , τ_{sy} , a τ_{bx} , τ_{by} komponente naprezanja na dnu. Komponente posmičnoga naprezanja pri dnu nastalo kao posljedica trenja tekućine i dna dane su s:

$$\tau_{bx} = \rho_0 c_f u_{bx} |u_{bx}| \quad (19)$$

$$\tau_{by} = \rho_0 c_f u_{by} |u_{by}| \quad (20)$$

gdje su u_{bx} , u_{by} brzine pri dnu u x i y smjerovima na udaljenosti Δz od dna, c_f koeficijent trenja pri čemu je usvojena pretpostavka važenja logaritamskoga profila od dna do Δz i dan je s:

$$c_f = \frac{1}{\left(\frac{1}{\kappa \ln \left(\frac{\Delta z}{z_0} \right)} \right)^2} \quad (21)$$

gdje je z_0 karakteristična duljina za hrapavost dna, a κ von Kármánova konstanta.

Površinsko posmično naprezanje nastalo kao posljedica djelovanja vjetra na površinu vode opisano je izrazom:

$$\tau_{sx} = \rho_a C_D U_{wX} |U_{wX}| \quad (22)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_D U_{wY} |U_{wY}| \quad (23)$$

Gdje je C_D koeficijent povlačenja vjetra, a U_{wX} , U_{wY} komponente brzine vjetra u x i y smjeru redom.

Ukupna dubina h dobiva se iz kinematskog rubnog uvjeta na površini ako je određeno polje brzina rješavanjem jednadžbi (12)-(14) pri čemu se vertikalnom integracijom lokalne jednadžbe kontinuiteta dobiva:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS + \hat{P} - \hat{E} \quad (24)$$

gdje su $\hat{P}$ rata oborine, $\hat{E}$ rata evaporacije, a $\bar{u}$ i $\bar{v}$ vertikalno usrednjene komponente horizontalne brzine strujanja u x i y smjeru, redom:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (25)$$

Jedno od osnovnih polazišta ovih jednadžbi jest da su izvedene za nestišljivu tekućinu što podrazumijeva da gustoća ρ ne ovisi o tlaku p već je dana kao funkcija temperature T i saliniteta S . Pri tome, koristi se UNESCO (1981.) jednadžba koja je važeća za raspon saliniteta $S \in [0, 42]$ [PSU] i temperature $T \in [-2, 40]$ [°C].

4.3.1.2 Jednadžba pronosa za temperaturu i salinitet

Za potrebe proračuna promjene temperature T i saliniteta S (skalarna polja) korištene su jednadžbe difuznoga pronosa:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{t,v} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s \quad (26)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} + \frac{\partial wS}{\partial z} = F_S + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{t,v} \frac{\partial S}{\partial z} \right) + S_s \quad (27)$$

gdje su F_T , F_S članovi horizontalne turbulentne difuzije za T i S , $D_{t,v} = v_{t,v}/\sigma_T$ koeficijent turbulentne difuzije za vertikalni smjer s Prandtlovim brojem σ_T . Valja napomenuti da je, s obzirom na to da je za zatvaranje modela turbulencije u vertikalnom smjeru primijenjena k- ϵ formulacija (Rodi, 1987.), usvojena vrijednost $\sigma_T = 0,9$ kao empirijske konstante k- ϵ modela. $\hat{H}$ intenzitet izvora putem toplinske izmjene s atmosferom, a T_s i S_s temperatura i salinitet uneseni izvorom. F_T , F_S dani su jednadžbama:

$$F_T = \frac{\partial T}{\partial x} \left(D_{t,h} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial T}{\partial y} \left(D_{t,h} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (28)$$

$$F_S = \frac{\partial S}{\partial x} \left(D_{t,h} \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial S}{\partial y} \left(D_{t,h} \frac{\partial S}{\partial y} \right) \quad (29)$$

gdje je $D_{t,h} = v_{t,h}/\sigma_T$ koeficijent turbulentne difuzije za horizontalni smjer.

Rubni uvjeti za T i S na površini ($z = \eta$) i dnu ($z = -d$) definirani su prema sljedećim izrazima:

$$D_{t,h} \frac{\partial T}{\partial z} = v \frac{Q_{UK}}{\rho_0 c_p} + T_p \hat{P} - T_e \hat{E}, \quad \frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad \text{za } z = \eta \quad (30)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad \text{za } z = -d \quad (31)$$

gdje je Q_{UK} ukupni površinski tok topline, a c_p specifični toplinski kapacitet vode jednak $4217 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$.

4.3.1.3 Zatvaranje modela turbulencije – k- ϵ formulacija i Smagorinsky koncept

Zatvaranje modela turbulencije temelji se na k- ϵ formulaciji (Rodi, 1987.) u vertikalnome smjeru i Smagorinsky koncept (Smagorinsky, 1993.) u horizontalnome smjeru. Simbol k označava parametar turbulentne kinetičke energije, a ϵ disipaciju ovoga parametra.

U vertikalnom smjeru k- ϵ model definiran je s:

$$v_{t,V} = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (32)$$

gdje je c_μ empirijska konstanta k - ε modela koja iznosi 0,09.

Za potrebe proračuna k i ε koriste se odgovarajuće jednadžbe pronosa:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial uk}{\partial x} + \frac{\partial vk}{\partial y} + \frac{\partial wk}{\partial z} = F_k + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{t,V}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P + B - \varepsilon \quad (33)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial u\varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial v\varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial w\varepsilon}{\partial z} = F_\varepsilon + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{t,V}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P + c_{3\varepsilon} B - c_{2\varepsilon} \varepsilon \quad (34)$$

gdje su F_k , F_ε članovi horizontalne turbulentne difuzije za k i ε , $\sigma_k = 1$, $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $c_{1\varepsilon} = 1,44$, $c_{2\varepsilon} = 1,92$, $c_{3\varepsilon} = 0$ empirijske konstante k - ε modela. Nadalje, P predstavlja proizvodnju k uslijed djelovanja posmičnoga naprezanja, B proizvodnju k uslijed uzgonskoga djelovanja. F_k i F_ε dani su s:

$$F_k = \frac{\partial k}{\partial x} \left(D_{k,H} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial k}{\partial y} \left(D_{k,H} \frac{\partial k}{\partial y} \right) \quad (35)$$

$$F_\varepsilon = \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \left(D_{\varepsilon,H} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \left(D_{\varepsilon,H} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) \quad (36)$$

gdje su $D_{k,H} = v_{k,H}/\sigma_k$ i $D_{\varepsilon,H} = v_{\varepsilon,H}/\sigma_\varepsilon$ koeficijenti horizontalne difuzije k i ε . Proizvodnja k uslijed djelovanja posmičnoga naprezanja P i uzgonskoga djelovanja B dani su s:

$$P = v_{t,V} \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) \quad (37)$$

$$B = - \frac{v_{t,V}}{\sigma_T} N^2 \quad (38)$$

gdje je N Brunt-Väisälä frekvencija izražena s:

$$N^2 = - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (39)$$

Rubni uvjeti za k i ε na površini ($z = \eta$) definirani su u ovisnosti o površinskom posmičnom naprezanju uslijed djelovanja vjetra $U_{\tau s}$ prema sljedećim izrazima:

$$k = \frac{1}{\sqrt{c_\mu}} U_{\tau s}^2, \quad \varepsilon = \frac{U_{\tau s}^2}{\kappa \Delta z_s} \quad \text{za } U_{\tau s} > 0 \quad (40)$$

$$\frac{\partial k}{\partial z} = 0, \quad \varepsilon = \frac{k \sqrt{c_\mu}^3}{a \kappa h} \quad \text{za } U_{\tau s} = 0 \quad (41)$$

gdje je $a = 0,07$ empirijski određena konstanta, Δz_s vertikalna udaljenost od površine na kojoj je važeći rubni uvjet prema jednadžbama (40) i (41).

Na dnu ($z = -d$) vrijede sljedeći rubni uvjeti za k i ε :

$$k = \frac{1}{\sqrt{c_\mu}} U_{\tau b}^2, \quad (42)$$

$$\varepsilon = \frac{U_{tb}^2}{k\Delta z_b} \quad (43)$$

gdje je Δz_b vertikalna udaljenost od površine na kojoj je primijenjen rubni uvjet.

U horizontalnome smjeru kinematski koeficijent turbulentne viskoznosti $\nu_{t,H}$ određen je primjenom Smagorinsky koncepta (Smagorinsky, 1993.):

$$\nu_{t,H} = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (44)$$

gdje je c_s konstanta, l karakteristična duljina vrtloga, a S_{ij} rata posmične deformacije određena s:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (45)$$

gdje $i, j = 1, 2$ pri čemu vrijedi da je $x_1 = x$, $x_2 = y$, $u_1 = u$ i $u_2 = v$.

4.3.1.4 Courant-Friedrichs-Lewy formulacija

Numerička stabilnost HD modela počiva na odabiru adekvatne veličine diskretizacijskoga elementa proračunske mreže i vremenskoga koraka simulacije. Upravo se ovo poglavlje odnosi na drugu komponentu vezanu uz stabilnost, a to je procedura odabira adekvatnog vremenskog koraka simulacije. Promjenjivi vremenski korak proračuna u vremenskoj integraciji jednadžbi plitke vode (vidi poglavlje 4.3.1.1) određuje se tako da Courant-Friedrichs-Lewy broj (dalje u tekstu: CFL_{HD}) poprima vrijednosti manje od kritične vrijednosti od $CFL_{HD,max}$. Jednadžba za izračun CFL_{HD} -a u svakome elementu diskretizacijske mreže dana je u nastavku za rješavanje Navier Stokesovih jednadžbi:

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |y|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \leq CFL_{HD,max} \quad (46)$$

gdje je Δt vremenski korak, Δx i Δy karakteristična mjerila duljine u Kartezijevim x i y smjerovima, redom, h ukupna dubina vode. Za potrebe provedbe nužnih simulacija vremenski korak je varirao između 0,01 i 30 s te kritična vrijednost CFL_{max} od 0,8.

Istovjetno je provedena kontrola numeričke stabilnosti pri rješavanju jednadžbi difuznoga pronosa (vidi poglavlje 4.3.1.2) gdje je CFL_{AD} za Kartezijev koordinatni sustav dan s:

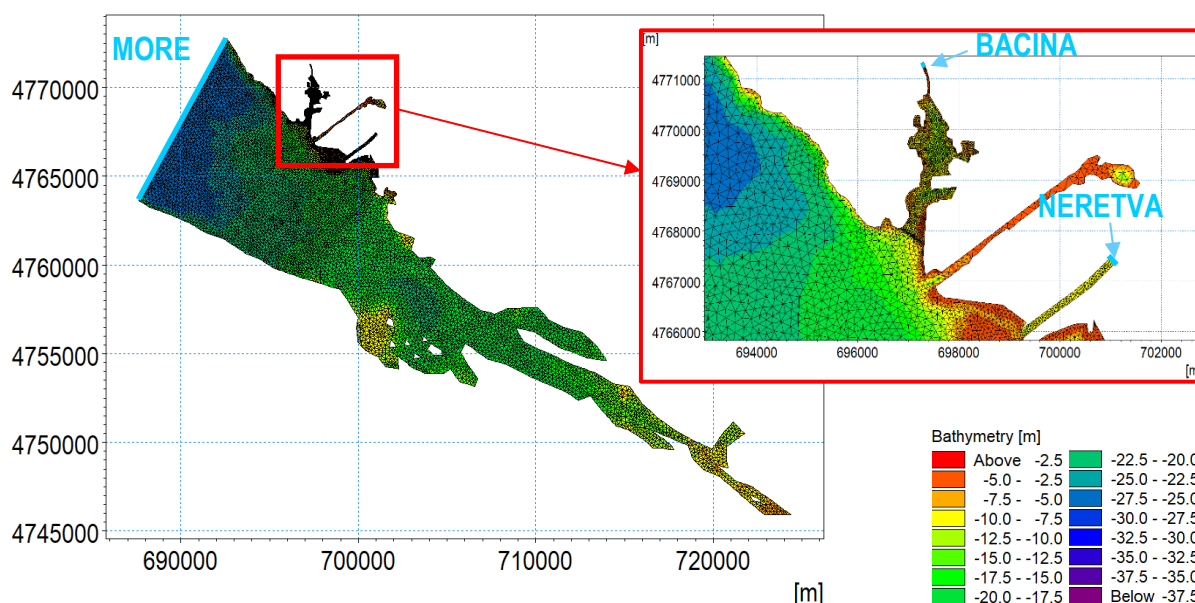
$$CFL_{AD} = |u| \frac{\Delta t}{\Delta x} + |y| \frac{\Delta t}{\Delta y} \leq CFL_{AD,max} \quad (47)$$

gdje $CFL_{AD,max}$ predstavlja kritičnu vrijednost CFL_{AD} -a koja iznosi 0,8. Vremenski korak proračuna ovoga seta jednadžbi također je postavljen kao varijabilan između 0,01 i 30 [s].

4.3.2 Šire akvatorijalno područje luke Ploče

4.3.2.1 Prostorna domena

Prostorna domena HD modela cirkulacije mora na širem akvatorijalnom području luke Ploče obuhvaća dio Neretvanskog kanala i Malostonski zaljev, a zasnovana je na mreži konačnih volumena. Model je prostorno diskretiziran nestrukturiranom mrežom trokutnih elemenata (ukupno 253514 mokrih ćelija). Batimetrijska podloga na području akvatorija luke Ploče dobivena je na temelju nautičkih karata koje je dostavila Lučka uprava Ploče dok je izvan granica akvatorija iskorištena javno dostupna nautička karta (Slika 4-4). U numeričkim čvorovima mreže, koji nemaju definiranu dubinu, primijenjena je bilinearna interpolacija kako bi se dobio podatak o batimetriji. Prostorni korak između numeričkih čvorova, koji su smješteni u težištima konačnih elemenata, kreće se između 150 [m] na području najvećih i 9 [m] na području najmanjih dubina (Slika 4-17). U vertikalnom smjeru korišten je σ -z koordinatni sustav pri čemu su definirana ukupno 2 σ sloja do dubine -2 [m] i 21 z sloj varijabilne debljine do područja najvećih dubina.



Slika 4-17 Prostorna domena numeričkog modela s prikazom otvorenih granica „MORE“, „BACINSKA“ i „NERETVA“ (referentni koordinatni sustav UTM-33N)

4.3.2.2 Početni i rubni uvjeti

Početni uvjeti definirani su za potrebe inicijalizacije simulacije kao konstantna razina mora preuzeta iz mjerenja pomoću ADCP-a (poglavlje 5.2.1.1) i 3D polja temperature i saliniteta prostorno homogena u pojedinom horizontalnom sloju određena na temelju dostupnih vertikalnih profila saliniteta iz povijesnih i recentnih mjerenja (poglavlje 4.1.1.5).

Na otvorenoj granici „MORE“ nametnuta je dinamika morskih razina prikazana u poglavlju 5.2.1 (Slika 5-5) te polja temperature i saliniteta na temelju dobivenih vertikalnih profila prikazanih u poglavlju 4.1.1.5 (Slika 4-10, Slika 4-11). Valja napomenuti da su, s obzirom na to da su na poziciji CTD-PL3 profili T [°C] i S [PSU] uzorkovani do dubine -22 [m], za veće dubine iskorištena mjerenja provedena u sklopu „Jadranskog projekta“ (Andročec i sur., 2009.) koja su prilagođena recentno dobivenim mjerenjima. Prilagodba vrijednosti temperature i saliniteta na dubinama većima od -22 [m] provedena je tako da se najdublja izmjerena vrijednost ovih dvaju parametara u danim terminima ekstrapolira prema obliku

vertikalnih profila ovih dvaju parametara uzorkovanih u razdoblju listopad 2007.-kolovoz 2008. (približno konstantne vrijednost na svim većim dubinama, Slika 4-10). Također, valja napomenuti da je promjena temperature u vremenu dodatno prilagođena vremenskim nizovima ovoga parametra zabilježenoga senzorima ADCP strujomjera na danim dubinama za odgovarajuće razdoblje mjerenja (Slika 0-14).

Nadalje, na otvorenim granicama „NERETVA“ i „BACINSKA“ definirani su vremenski nizovi protoka (Slika 4-7, Slika 4-8) pri čemu je primijenjena linearna interpolacija kako bi se popunila razdoblja u kojima ovaj parametar nije zabilježen (odnosi se samo na protok Neretve). Na otvorenoj granici „NERETVA“ definiran je vremenski niz temperature vode zabilježen na h.p. Metković (Slika 4-7) dok je za granicu „BACINSKA“ usvojena konstantna vrijednost temperature od 10 [°C] za ZIMSKO, a 20 [°C] za LJETNO simulacijsko razdoblje. Na objema slatkovodnim otvorenim granicama usvojen je konstantni salinitet od 0 [PSU]. Na granici mora i atmosfere nametnuto je prostorno homogeno i nestacionarno polje vjetra (10-min srednjaci zabilježeni na m.p. Ploče, Slika 4-5).

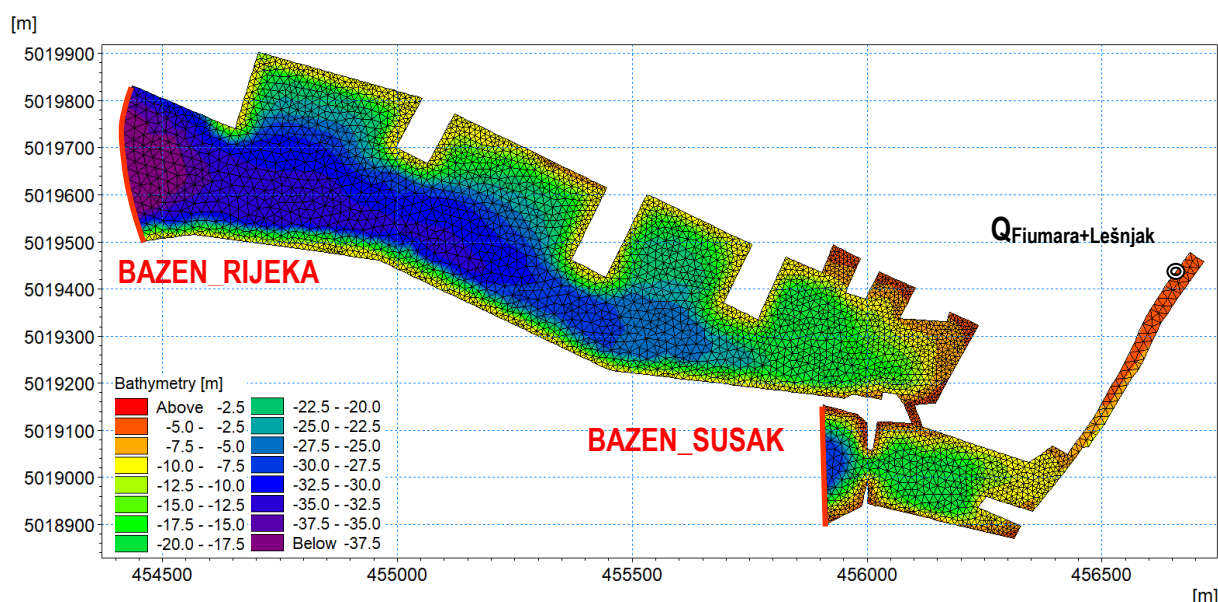
Na otvorenim granicama „BACINSKA“ i „NERETVA“ (protok kao rubni uvjet) te za djelovanje vjetra primijenjeno je zagrijavanje modela u trajanju od 2 [h]. Zagrijavanje podrazumijeva linearni porast od 0 do tražene vrijednosti određene u vremenskim nizovima za protok i brzinu vjetra koji su prethodno definirani kao rubni uvjeti.

Kao i ostali hidrološki parametri, protok s h.p. Šipak razmotren je za potrebe uspostavljanja HD modela cirkulacije mora na predmetnom akvatoriju. Ranija istraživanja nisu uzela u obzir ovaj element u sklopu modeliranja cirkulacije mora na ovome području (Lončar i sur., 2021.; Ferrarin i sur., 2021.). Nakon recentnih terenskih mjerenja, ispostavilo se da je nužno uzeti u obzir i dotok iz Baćinskih jezera s obzirom na to da, pri značajnijim protocima, površinsko strujanje mora dominantno je pod utjecajem ovoga elementa.

4.3.3 Luka Rijeka

4.3.3.1 Prostorna domena

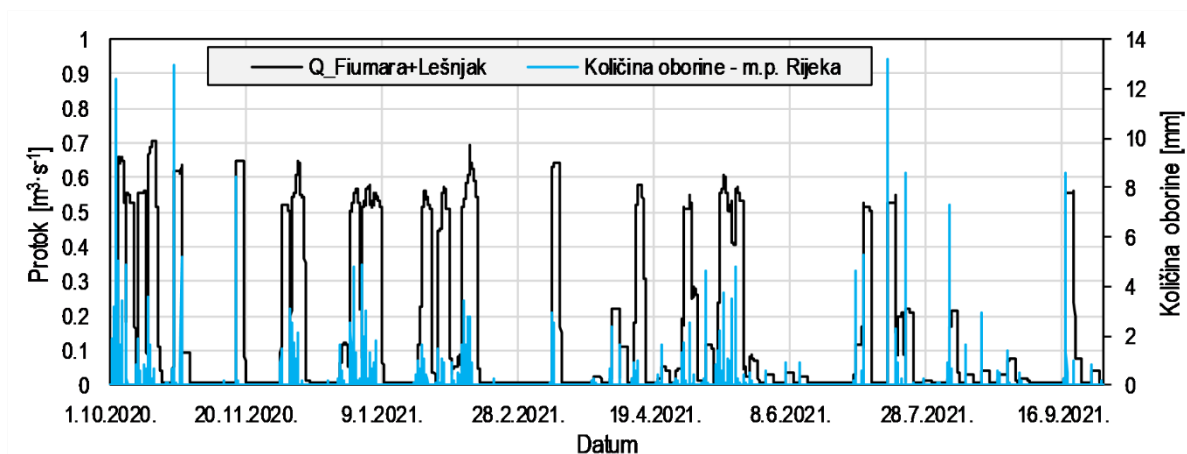
Prostorna domena HD modela luke Rijeka obuhvaća zatvoreni dio akvatorija (bazene Rijeka i Sušak). Model je prostorno diskretiziran nestrukturiranom mrežom trokutnih elemenata (ukupno 87350 mokrih ćelija). Batimetrijska podloga na području predmetnog akvatorija dobivena je na temelju javne nautičke karte (Slika 4-12). Na području Mrtvog kanala korištena je batimetrija prikazana u sklopu separata izrađenog na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci (Rubinić i sur., 2016.). U numeričkim čvorovima mreže, koji nemaju definiranu dubinu, primijenjena je bilinearna interpolacija kako bi se dobio podatak o batimetriji. Prostorni korak između numeričkih čvorova, koji su smješteni u težištima konačnih elemenata, kreće se između 17 [m] na području najvećih i 3 [m] na području najmanjih dubina (Slika 4-18). U vertikalnom smjeru korišten je kombinirani σ -z koordinatni sustav pri čemu su definirano ukupno 2 σ i 24 z sloja varijabilne debljine do područja najvećih dubina.



Slika 4-18 Prostorna domena numeričkog modela s prikazom otvorenih granica „BAZEN_RIJEKA“ i „BAZEN_SUSAK“ te slatkovodnog izvora $Q_{\text{Fiumara+Lešnjak}}$ u Mrtvom kanal (referentni koordinatni sustav UTM-33N)

4.3.3.2 Početni i rubni uvjeti

Na otvorenim granicama „BAZEN_RIJEKA“ i „BAZEN_SUSAK“ nametnuta je dinamika morskih razina prikazana u poglavlju 5.2.2.1 te polja temperature i saliniteta prikazana u poglavlju 4.1.2.3 (Slika 4-15). Polja temperature i saliniteta definirana su kao ravninski rubni uvjet konstantan u horizontalnom, a varijabilan u vertikalnom smjeru sukladno mjerenjima. Slatkovodni izvor u Mrtvom kanalu $Q_{\text{Fiumara+Lešnjak}}$ modeliran je kao vremenski niz protoka u ovisnosti o podacima o količini oborine izmjerenima na m.p. Rijeka što je prikazano u nastavku.



Slika 4-19 Vremenski niz protoka slatkovodnog izvora $Q_{\text{Fiumara+Lešnjak}}$ u Mrtvom kanal u ovisnosti o količini oborine na m.p. Rijeka

Za ovaj je slatkovodni izvor usvojena konstantna temperatura od 10 [°C] za ZIMSKO, odnosno 16 [°C] za LJETNO simulacijsko razdoblje, a salinitet iznosi 0 [PSU] tijekom obaju simulacijskih razdoblja. Vrijednost protoka u ovisnosti o oborini definirana je na temelju separata (Rubinić i sur., 2016.).

Na granici mora i atmosfere nametnuto je homogeno nestacionarno polje vjetra (10-min srednjaci zabilježeni na m.p. Rijeka, Slika 5-2).

Valja napomenuti da je za djelovanje vjetra primijenjeno zagrijavanje modela u trajanju od 2 [h].

4.3.4 Kalibracija i validacija hidrodinamičkih modela

Kalibracija uspostavljenoga 3D HD modela podrazumijeva promjenu ranije opisanih modelskih parametara dok se ne postigne zadovoljavajuća pouzdanost. U sklopu ovoga istraživanja mijenjani su Smagorinsky koeficijent, hrapavost dna te koeficijent povlačenja vjetra koja je analizirana kroz usporedbu vremenskih nizova izmjerenih i modelom dobivenih rezultata U i V komponenti brzine strujanja na različitim dubinama o čemu će detaljnije biti riječ u poglavlju 5.3. Osim usporedbe vremenskih nizova, prikazana je usporedba triju osnovnih statističkih parametara izmjerenih i modeliranih rezultatnih brzina strujanja – maksimalna i srednja brzina te standardna devijacija. Postupak kalibracije proveden je za ZIMSKO dok je validacija modela provedena za LJETNO simulacijsko razdoblje za oba akvatorija.

Valja napomenuti da je pri izračunu statističkih pokazatelja pouzdanosti HD modela u obzir uzeta i točnost mjerenja korištenih ADCP strujomjera koja je istaknuta u poglavlju 4.2.2 (Tablica 4.6)

U okviru analize pouzdanosti HD modela za parametar morske razine izračunati su Pearsonov koeficijent korelacije (R), korekcijski indikator HH koji su opisali Hanna i Heinold (1985.), normalizirana pogreška ($NBIAS$) i normalizirani korijen srednjeg kvadrata pogreške ($NRMSE$) čije su formule redom dane u jednadžbama (48)-(51):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2][\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]}} \quad (48)$$

$$HH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i O_i}}} \quad (49)$$

$$NBIAS = \frac{\bar{P} - \bar{O}}{\bar{O}} \quad (50)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n O_i^2}}} \quad (51)$$

gdje $i=0, 1, 2, \dots, n$ predstavlja broj vremenskih koraka simulacije, P_i predstavlja i -tu vrijednost procijenjene (modelske) vrijednosti, O_i predstavlja i -tu vrijednost izmjerenog parametra, a povlaka iznad simbola za procijenjene, odnosno izmjerene vrijednosti označavaju the srednje vrijednosti čitavog skupa podataka te se označavaju s $\bar{P}$, odnosno $\bar{O}$, redom. HH se koristi pri kvantificiranju disperzijskih pogrešaka jer je nepristran prema simulacijama s negativnim pogreškama što je u suprotnosti s $NRMSE$ i varijantama potonjeg statističkog pokazatelja (Mentaschi i sur., 2013.). Za oba statistička pokazatelja (HH i $NRMSE$) veće vrijednosti ukazuju na veće disperzijske pogreške i obratno kada se uspoređuju izmjereni podaci s rezultatima modela. Također, oba pokazatelja su ne-negativni pri čemu savršeno slaganje između izmjerenih i modeliranih podataka vrijedi kada iznose 0.

4.4 Uspostava ABM-a (ODD protokol)

U ovome će se poglavlju dati uvid u sve korake uspostave ABM-a sukladno ranije opisanome ODD protokolu (vidi poglavlje 2.1). Sve numeričke simulacije kao i uspostava ABM-a provedena je pomoću MIKE 3 FM i MIKE ECOLab softverskih paketa koje je razvio Danski hidraulički institut (DHI, 2021b). Valja napomenuti da je svaki ABM izvorni model dok je pomoću korištenih softverskih alata definiran niz matematičkih jednadžbi i logičkih formulacija na temelju dosadašnjih istraživanja vezanih uz gibanje planktonskih zajednica u hidrodinamičkom okruženju. Na početku svakoga potpoglavlja navedeno je objašnjenje elementa ODD protokola istovjetno ranije opisanome (Tablica 2.1).

4.4.1 Svrha i obrasci modela

Jasno definiranje svrhe i obrazaca pokrivenih modelom kako bi se razumjelo koji se problem analizira te koje su komponente razmatranog procesa uzete u obzir, a koje su zanemarene.

Izvorni ABM-i uspostavljeni su sa svrhom analize širenja planktonskih zajednica, povezivanje njihovoga pronosa i taloženja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete i obrasce cirkulacije mora. Pri tome, fokus je stavljen upravo na matematičku formulaciju mehanizama gibanja i pronosa modelskih čestica unutar i izvan granica prostorne domene u ovisnosti o okolišnim uvjetima. Proces razmnožavanja i odumiranja zanemareni su u ABM formulaciji razvijenoj u okviru ove disertacije. Dosadašnja su istraživanja Hansena i sur. (2015.) i Dyea i sur. (2022.) pri modeliranju gibanja planktonskih oblika naglasak stavila na dominantno odumiranje modelskih čestica. Hansen i sur. (2015.) definirali su isključivo stopu mortaliteta bez stope rasta čime se broj agenata isključivo smanjuje tijekom simulacije. Dye i sur. (2022.) su u obzir uzeli krivulju preživljavanja tipa III koju karakterizira visoka stopa odumiranja u ranim, a manja u kasnim životnim razdobljima. Stoga, pristup zanemarivanja stope odumiranja smatra se najmanje povoljnim scenarijem s aspekta mogućnosti preživljavanja modeliranih planktonskih frakcija i, posljedično, njihovoga

raspršenja u bilo koji dio prostornih domena modela ili izvan njih. Pronos modelskih čestica analizirao se združivanjem HD modela s ABM-om. Sve simulacije provedene su na podlozi prethodno verificiranih rezultata HD modela (tzv. „offline“ način provedbe simulacija).

4.4.2 Entiteti, varijable stanja i mjerilo modela

Opis jedinki promatranoga sustava, hijerarhije modelskih komponenti, abiotičkog i biotičkog okoliša, definiranje prostorne i vremenske rezolucije te granica obuhvata modela. Entiteti predstavljaju agente i okoliš. Varijable stanja predstavljaju varijable niže razine kojima je opisan svaki entitet bilo da se radi o jedinki (godina, spol, društveni položaj) ili pak staništu (lokacija, izloženost predatorima, tip tla) promatrane vrste. Ako postoje, potrebno je opisati pomoćne varijable više razine koja se sastoji od staništa ili jedinki. Pod mjerilom modela podrazumijevaju se prostorni obuhvati i diskretizacija promatranog područja te vremenska rezolucija (trajanje simulacije i vremenski korak).

U okviru modeliranja pronosa planktonskih zajednica obuhvaćene su sljedeće frakcije opisane kao aktivne modelske čestice u modelskom okruženju (dalje u tekstu: agenti):

- Fitoplankton
 1. Dijatomeja
 2. Dinoflagelat
- Zooplankton
 1. Kopepodi

Ukupno su razvijena dva ABM predložka – jedan za modeliranje pronosa fitoplanktonskih frakcija, a drugi za modeliranje pronosa kopepoda.

Nadalje, usvojen je princip superjedinke (eng. *superindividual*) za potrebe opisivanja gibanja i procesa vezanih uz prethodno navedene frakcije s obzirom na vremenske i prostorne promjene okolišnih uvjeta (Scheffer i sur. 1995.; Hansen i sur., 2015.). Ovaj princip razmatra jednu modelsku česticu koja predstavlja veći broj jedinki dok definirana koncentracija unesenih čestica odgovara iznosu koji je važeći za veći broj jedinki. Upravo su agenti, uneseni u prostornu domenu pojedinoga modela, definirani kao superjedinke.

U okviru ABM predložka za modeliranje pronosa fitoplanktona definirane su ukupno tri varijable stanja i to *Phyto_type*, *Mass* i *Settled*. Varijabla stanja *Phyto_type* definira vrstu fitoplanktona koji se modelira pri čemu vrijednost 0 označava dijatomeju, a 1 dinoflagelat. *Mass* predstavlja ukupnu masu unesenih mikroorganizama definiranih na temelju izmjerenih podataka o koncentracijama pojedine frakcije u balastnim tankovima prikazanim u radu Cabrinija i sur. (2019.) što je detaljnije obrađeno kroz element Pokretanje modela (početni uvjeti). Ranije je već istaknuto da je zadržavanje određenih vrsta fitoplanktona u području morskog sedimenta sastavni dio njegovoga životnog ciklusa (Cloern, 1996.; Sohma i sur., 2022.) što je također uključeno u modelsku formulaciju koja opisu obrasce gibanja dijatomeja i dinoflagelata. Sve modelske čestice, koje predstavljaju fitoplanktonske frakcije, jednako su sposobne za taloženje na morskome dnu. Taloženje je opisano kroz posljednju varijablu stanja *Settled*. Vrijednost 0 daje informaciju agentu da je raspršen u stupcu mora, a 1 označava taloženje na modelskome dnu. Pri tome, svi su agenti jednako sposobni za taloženje na morskome dnu.

ABM pronosa kopepoda sadrži ukupno jednu varijablu stanja *Mass* koja je istovjetno definirana kao za ranije opisani predložak. Agenti, koji predstavljaju kopepode, nemaju mogućnost taloženja u okviru modelske formulacije, već su tijekom cijelog simulacijskog razdoblja raspršeni u stupcu mora.

Okoliš je predstavljen rezultatima HD modela (3D polja brzine strujanja, temperature i saliniteta) te vertikalnom raspodjelom sunčeve svjetlosti u stupcu mora određenom na temelju mjerenja na meteorološkim postajama DHMZ-a i eksponencijalnog Lambert-Beerovog zakona zamiranja svjetlosti.

Pronos modelskih čestica analizirao se združivanjem HD modela s ABM-om na području koje odgovara prostornim domenama modela cirkulacije pojedinoga akvatorija (Slika 4-17, Slika 4-18). Također, diskretizacija prostorne domene u horizontalnom i vertikalnom smjeru istovjetna je ranije opisanome za modele cirkulacije (poglavlja 4.3.2.1 i 4.3.3.1).

Simulacijska razdoblja, koja su uzeta u obzir u sklopu analize pronosa planktonskih zajednica, istovjetna su onima razmotrenima u sklopu analize cirkulacije mora u dvjema lukama. Sukladno tome, kasnojesensko/zimsko razdoblje (listopad 2020. – siječanj 2021.) navodit će se kao ZIMSKO, a ljetno/jesensko (srpanj-listopad 2021.) kao LJETNO simulacijsko razdoblje. Usvojen je vremenski korak od 30 [s].

4.4.3 Promatrani procesi i redoslijed odvijanja procesa

Konceptualni opis procesa, njihovog učinka na promjene u modelskom sustavu i vremenski redoslijed njihovog odvijanja što je detaljnije potrebno razraditi u posljednjem elementu ODD protokola – podmodeli.

U nastavku je dan opis funkcioniranja ABM-a za svaki pojedini vremenski korak simulacije.

Za ABM pronosa fitoplanktona simulacije su provedene prema sljedećem redoslijedu:

- 1) definiranje HD uvjeta na temelju provedenih simulacija (podloga za „offline“ provedbu ABM simulacija);
- 2) provedba procesa advekcije i disperzije u modelskom okruženju;
- 3) unos agenata u prostornu domenu (1 agent-1 superjedinka frakcije) s odgovarajućom vrijednosti *Mass* varijable stanja;
- 4) odabir vladajućih jednadžbi ovisno o varijabli *Phyto_type* kojima će se opisivati daljnje gibanje agenta;
- 5) određivanje pozicije agenta u vertikalnome smjeru pomoću varijable *Settled*;
- 6) odabir odgovarajućih jednadžbi na temelju kojih agent raspoznaje okolišne uvjete, počinje i završava svoje gibanje na početku i kraju vremenskog koraka simulacije.

Za ABM pronosa kopepoda proces je istovjetan ranije opisanome izuzev koraka broj 4) i 5) s obzirom na to da je u okviru modeliranja pronosa zooplanktona razmotrena jedna frakcija te ovi agenti nemaju mogućnost taloženja.

4.4.4 Koncepti razvoja modela

Popis stavki koje je preporučljivo opisati kako bi se dobio daljnji uvid u tijek razvoja i konačni cilj uspostavljenog ABM-a: nastanak fenomena proizašlih iz osobina i ponašanja agenata (eng. emergence), adaptacija promjenama tijekom interakcije s drugim agentima i okolišem (eng. adaptation), razina sposobnosti jedinki (eng. fitness), mogućnost predviđanja budućih uvjeta (eng. prediction), senzorička sposobnost jedinki (eng. sensing), interakcije s drugim jedinkama i okolišem (eng. interaction), stohastika (eng. stochasticity), skupine jedinki (eng. collectives), razmatranje rezultata ABM-a (eng. observation).

Gibanje agenata odvija se kao kombinacija djelovanja:

- okolnoga polja strujanja izraženog u, v i w komponentama brzina struja u x, y i z smjeru, redom (deterministička komponenta, interakcija na relaciji agent-okoliš);
- horizontalnu i vertikalnu komponentu turbulentne disperzije (stohastička komponenta);
- polja gravitacije, odnosno vlastitoga tonjenja čestica (komponenta implementirana kroz ABM formulaciju);
- promjene smjera i brzine vertikalnoga gibanja (komponenta implementirana kroz ABM formulaciju) na temelju senzoričkih sposobnosti agenata u kontekstu raspoznavanja

1. promjena u temperaturi okoliša (3D polje dobiveno HD modelom, interakcija na relaciji agent-okoliš),
2. intenziteta svjetlosti na dubini čestice određenog na temelju meteoroloških mjerenja i Lambert-Beerovog zakona zamiranja sunčeve svjetlosti u stupcu mora (vidi Slika 4-14 i Slika 4-6, jednađžbe (52) i (53), interakcija na relaciji agent-okoliš).

Valja napomenuti da agenti, koji predstavljaju fitoplankton, svoje gibanje prestaju u trenutku dodira modelskoga dna dok modelske čestice kopepoda čitavo simulacijsko razdoblje provode raspršene u stupcu mora. Također, interakcije na relaciji agent-agent nisu definirane u okviru razvijenih ABM-a niti su u obzir uzete stope razmnožavanja ili odumiranja. Kroz razvijene predloške ABM-a sve su čestice promatrane kao aktivne uz razliku u komponentama koje čine ukupni vektor gibanja agenata. Agenti, kojima su opisane dijatomeje, gibanje u vertikalnom smjeru ostvaruju kroz tonjenje uslijed djelovanja gravitacije i djelovanje vertikalne komponente struje mora dok je u horizontalnoj ravnini njihovo gibanje inducirano dominantno djelovanjem okolnoga polja strujanja. Dodatna komponenta, kojom je u obzir uzeta aktivnost ovih modelskih čestica, opisana je kroz modeliranje turbulentne disperzije na razini agenta pomoću *random walk* modela u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Uz navedene komponente gibanja u 3D prostoru, izrazi korišteni za opisivanje gibanja dinoflagelata i kopepoda dodatno uključuju matematičku formulaciju vlastitih sposobnosti ovih frakcija pri suprotstavljanju gibanju struji mora u vertikalnome smjeru (mogućnost gibanja prema površini uslijed podražaja iz okoliša).

4.4.5 Pokretanje modela (početni uvjeti)

Kako su kreirani agenti i okoliš, koje su početne vrijednosti varijabli stanja na početku modelske simulacije i slično.

Na preglednim situacijama predmetnih akvatorija istaknute su lokacije unosa modelskih čestica u prostorne domene pojedinoga modela što je dano u nastavku.



Slika 4-20 Lokacije unosa modelskih čestica za analizu pronosa planktonskih vrsta na širem akvatorijalnom području luke Ploče – podloga Google satelit



Slika 4-21 Lokacije unosa modelskih čestica za analizu pronosa planktonskih vrsta u akvatoriju luke Rijeka – podloga Google satelit

Usvojena je pretpostavka da se agenti ispuštaju u prostornu domenu u kojima nema prethodno raspršenih agenata. Iako ova pretpostavka nije točna, jasnije će se dobiti uvid u pronos novo upuštenih agenata s obzirom na lokacije na kojima se unose u modelsko okruženje.

Lokacije unosa modelskih čestica definirane su s obzirom na poznate pozicije zadržavanja brodova ili pozicija na kojima je očekivano ispuštanje balastne vode na području pojedinog analiziranog akvatorija. Za luku Ploče odabrane su lokacije na zatvorenom dijelu prostorne domene „Trajektna_luka“, „Kontejnerski_terminal“ i „Kanal_Vlaska“ (Slika 4-20) dok su za luku Rijeka u bazenu Rijeka odabrane lokacije „BazenRI_ulaz“, „BazenRI_sredina“ i „RlbwB“ te u bazenu Sušak lokacije „RlbwS“ i „Susak_sredina“ (Slika 4-21). Na svim je lokacijama pretpostavljeno da se unos balastne vode odvija na dubini od -2,5 [m]. Na otvorenim granicama modela nema unosa modelskih čestica koje predstavljaju tri razmotrene frakcije planktonskih zajednica. Pri odabiru lokacija unosa razmotrene su postojeće lokacije terminala i privezišta za brodove na kojima je osiguran dovoljan gaz dok je na ostalim lokacijama razmotreno područje akvatorija s dubinom većom ili jednakom dubinama postojećih privezišta na kojima ima dovoljno prostora za nesmetano manevriranje broda.

Količina balastne vode određena na temelju podataka o ukupnom mjesečnom volumenu u [m³] te broju ispuštanja za dani mjesec⁶. Za razdoblje 2014.-2020. izračunati su mjesečni prosjeci količine ispuštene balastne vode te je pretpostavljen kapacitet balastne pumpe od 5000 [m³·h⁻¹].

⁶ Preuzeto iz CIMIS baze podataka za vrijeme trajanja ProtectAS projekta (<https://mmpi.gov.hr/more-86/vts-hrvatska/cimis-hrvatski-integrirani-pomorski-informacijski-sustav/16553>).

Tablica 4.7 Karakteristike ispuštanja balastne vode (preuzeto iz Cabrini i sur., 2019.)

Mjesec	Ispuštanje BW	Volumen ispuštene BW		kapacitet pumpe	$t_{\text{ispuštanja}}$	T_{BW}	S_{BW}
	br. ispuštanja u mjesecu	$\text{m}^3 \cdot \text{mjesec}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{dan}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	h	°C	PSU
Siječanj	7	77920	10909	5000	3	13,0	36,3
Veljača	7	53872	7856		2	11,7	36,2
Ožujak	8	75998	9672		2	15,1	36,2
Travanj	5	50578	9569		2	17,8	36,3
Svibanj	7	70054	10660		3	20,3	36,3
Lipanj	5	60747	11812		3	23,0	36,4
Srpanj	5	55281	10749		3	23,2	36,9
Kolovoz	7	62073	9245		2	22,4	37,7
Rujan	7	83881	12233		3	21,0	37,8
Listopad	6	63842	10900		3	19,1	37,1
Studen	8	88362	11454		3	17,1	36,8
Prosinac	7	56675	8096		2	15,1	36,5

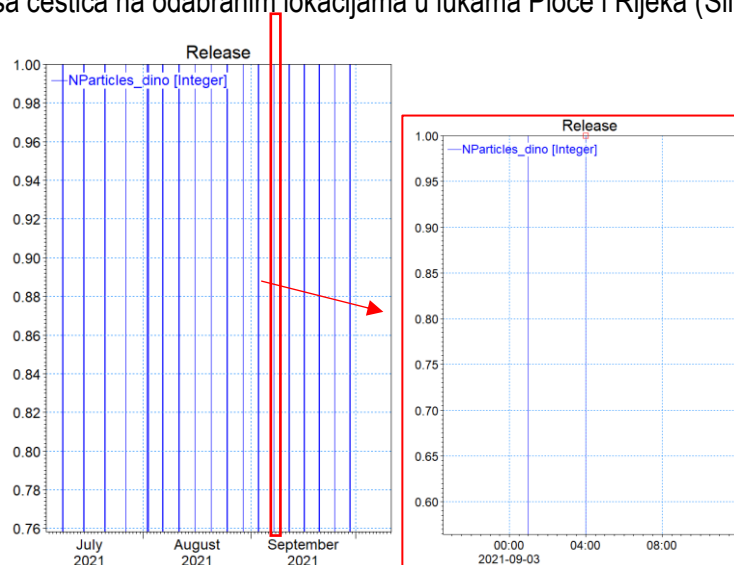
Brojnost čestica izračunata je na temelju podataka o brojnosti organizama u luci Rijeka na postaji RIbWB (Slika 4-21). Za prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na pojedinoj je lokaciji pretpostavljen unos 1 modelske čestice svakih 30 [s] (svaki vremenski korak simulacije) tijekom ispuštanja balastne vode označenim s $t_{\text{ispuštanja}}$ (Tablica 4.7) za fitoplanktonske frakcije, odnosno 1 čestice svakih 150 [s] (svaki peti vremenski korak simulacije). Za ovo predmetno područje u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju ukupno je uneseno po 5418 modelskih čestica za svaku od fitoplanktonskih frakcija te 1097 čestica koje predstavljaju kopepode. Nadalje, u LJETNOM razdoblju uneseno je po 6019 modelskih čestica koje predstavljaju dijatomeje i dinoflagelate, odnosno 1219 čestica koje predstavljaju kopepode. U slučaju unosa modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka, frekvencija unosa predstavnika fitoplanktonskih frakcija je 1 čestica na svakih 120 [s] dok se za kopepode unosi 1 čestica svakih 180 [s]. Pri tome, ukupno je uneseno 3200, odnosno 2959 modelskih čestica za svaku od fitoplanktonskih frakcija u ZIMSKOM, odnosno LJETNOM simulacijskom razdoblju, redom. U slučaju unosa modelskih čestica koje predstavljaju kopepode, ukupno je u ZIMSKOM razdoblju uneseno 2140, a u LJETNOM 1979 čestica. Opisane frekvencije unosa te ukupan broj modelskih čestica definirani su različito za pojedinu vrstu agenta i prostornu domenu zbog ograničenosti procesorskih mogućnosti radne stanice korištene za provedbu numeričkih simulacija.

Učestalost i trajanje ispuštanja unutar pojedinog mjeseca simulacije definirano je ranije tablično (Tablica 4.7), a prvo ispuštanje nastupa sedam dana nakon početka simulacije. Brojnost ćelija u $[\text{stanica} \cdot \text{l}^{-1}]$ za fitoplankton, odnosno u $[\text{jedinki} \cdot \text{m}^{-3}]$ za zooplankton pri pojedinom ispuštanju za odgovarajući termin interpolirana je prema sljedećim vrijednostima.

Tablica 4.8 Brojnost frakcija fitoplanktona u balastnim tankovima na termine uzorkovanja balastne vode (Cabrin i sur., 2019.)

Termin uzorkovanja	Dijatomeja	Dinoflagelat	Zooplankton
	stanica·l ⁻¹		jedinki·m ⁻³
23.7.2015	7149	58	0
7.9.2015.	43956	39	32662
14.9.2015.	8752	8	0
15.9.2015.	6905	6	0
16.9.2015.	17504	15	278
30.9.2015.	8169	7	0
24.11.2015.	1215	1	495
24.11.2015.	12991	13	1237
9.12.2015.	1207	10	55
13.1.2016.	3158	6	5388
20.1.2016.	0	0	945

Zbog nedostatka ulaznih podataka vezanih uz brojnost pojedine planktonske frakcije, unos modelskih čestica i odgovarajućih koncentracija definiran je istovjetno za Rijeku i Ploče. U nastavku je prikazan primjer unosa čestica u luku Rijeka u LJETNOM simulacijskom razdoblju (srpanj-listopad 2021.). Također, dani su termini unosa čestica na odabranim lokacijama u lukama Ploče i Rijeka (Slika 4-20, Slika 4-21).



Slika 4-22 Primjer unosa modelskih čestica u LJETNOM simulacijskom razdoblju (srpanj-listopad 2021., lijevo) i detalj unosa modelskih čestica u terminu 3.9.2021. 01:00 u trajanju od $t_{\text{ispuštanja}} = 3$ [h]

Tablica 4.9 Termini unosa modelskih čestica u prostorne domene modela šireg akvatorijalnog područja luke Ploče i luke Rijeka za dva simulacijska razdoblja

ZIMSKO		LJETNO	
Luka Ploče	Luka Rijeka	Luka Ploče	Luka Rijeka
30.10.2020. 09:00	15.10.2020. 12:00	14.7.2021. 15:00	8.7.2021. 18:00
3.11.2020. 06:00	20.10.2020. 19:00	20.7.2021. 16:00	14.7.2021. 19:00
7.11.2020. 03:00	26.10.2020. 02:00	26.0.2021. 17:00	20.7.2021. 20:00
11.11.2020. 00:00	31.10.2020. 09:00	1.8.2021. 18:00	26.7.2021. 21:00
14.11.2020. 21:00	4.11.2020. 06:00	6.8.2021. 09:00	1.8.2021. 22:00
18.11.2020. 18:00	8.11.2020. 03:00	11.8.2021. 00:00	6.8.2021. 13:00
22.11.2020. 15:00	12.11.2020. 00:00	15.8.2021. 15:00	11.8.2021. 04:00
26.11.2020. 12:00	15.11.2020. 21:00	20.8.2021. 06:00	15.8.2021. 19:00
30.11.2020. 09:00	19.11.2020. 18:00	24.8.2021. 21:00	20.8.2021. 10:00
4.12.2020. 19:00	23.11.2020. 15:00	29.8.2021. 12:00	25.8.2021. 01:00
9.12.2020. 05:00	27.11.2020. 12:00	2.9.2021. 21:00	29.8.2021. 16:00
13.12.2020. 15:00	1.12.2020. 22:00	7.9.2021. 06:00	3.9.2021. 01:00
18.12.2020. 01:00	6.12.2020. 08:00	11.9.2021. 15:00	7.9.2021. 10:00
22.12.2020. 11:00	10.12.2020. 18:00	16.9.2021. 00:00	11.9.2021. 19:00
26.12.2020. 21:00	15.12.2020. 04:00	20.9.2021. 09:00	16.9.2021. 04:00
31.12.2020. 07:00	19.12.2020. 14:00	24.9.2021. 18:00	20.9.2021. 13:00
4.1.2021. 15:00	24.12.2020. 00:00	29.9.2021. 03:00	24.9.2021. 22:00
8.1.2021. 23:00	28.12.2020. 10:00	4.10.2021. 10:00	29.9.2021. 07:00
	1.1.2021. 18:00		
	6.1.2021. 02:00		

4.4.6 Ulazni podaci

Svi ulazni podaci koji se dominantno odnose na okolišne parametre nužne za provedbu modelskih simulacija, opis matematičkih izraza pomoću kojih je određeno gibanje agenta i interakcija na relaciji agent-agent i agent-okoliš.

Okoliš je predstavljen rezultatima HD modela (3D polja brzine strujanja, temperature i saliniteta) te vertikalnom raspodjelom sunčeve svjetlosti u stupcu mora određenom na temelju mjerenja na meteorološkim postajama DHMZ-a i eksponencijalnog Lambert-Beerovog zakona zamiranja svjetlosti. Intenzitet svjetlosti na kontaktu atmosfera-more za prostornu domenu modela luke Rijeka opisan je 10-minutnim vrijednostima gustoće dozračene solarne energije izražene u $[W \cdot m^{-2}]$ izmjerenima na m.p. Rijeka (Slika 4-14). Za prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče intenzitet svjetlosti na kontaktu atmosfera-more opisan je istim meteorološkim parametrom dostupnim u satnoj rezoluciji na m.p. Dubrovnik (Slika 4-6).

Proračun lokalnog intenziteta svjetlosti I_z na dubini modelske čestice z [m] vrši se na temelju eksponencijalnog Lambert-Beerovog zakona, a dan je prema sljedećem izrazu:

$$I_z = I_0 e^{-kz} [W \cdot m^{-2}] \quad (52)$$

gdje je I_0 intenzitet svjetlosti na kontaktu atmosfera-more (Slika 4-6, Slika 4-14), k koeficijent svjetlosnog zamiranja opisan jednadžbom:

$$k = \frac{2,3}{SD} [W \cdot m^{-2}] \quad (53)$$

gdje je SD dubina Secchi diska izražena u [m] preuzeta iz rezultata projekta „Program praćenja stanja Jadranskog mora“ što je prikazano tablično u nastavku za pojedinu lokaciju i datum u kojem su provedena uzorkovanja prozirnosti mora.

Tablica 4.10 Rezultati uzorkovanja prozirnosti mora pomoću Secchi diska u okviru projekta „Program praćenja stanja Jadranskog mora“ (na postajama A6 (Neretvanski kanal) i A25 (Kvarnerski zaljev))

Oznaka postaje	Geografska širina (WGS-84)	Geografska dužina (WGS-84)	Datum uzorkovanja	SD [m]
A6	43° 2' 0,17" N	17° 19' 42,28" E	17.3.	4
			24.5.	11
			29.8.	20
			28.11.	6
A25	45° 14' 56,00" N	14° 24' 58,00" E	28.3.	14
			8.5.	11
			28.8.	26

Vrijednosti dobivene uzorkovanjem na postaji A6 usvojene su za model pronosa aktivnih čestica na širem akvatorijalnom području luke Ploče dok su vrijednosti s postaje A25 usvojeni za model pronosa u luci Rijeka. Valja napomenuti da su, u kontekstu razdoblja provedbe modelskih simulacija, vrijednosti SD [m] linearno interpolirani između datuma uzorkovanja.

Agente predstavljaju upravo modelske čestice korištene za potrebe opisivanja obrazaca gibanja fitoplanktonskih frakcija i kopepoda. Interakcije na relaciji agent-okoliš predstavljene su matematičkim jednadžbama i logičkim formulacijama što će se detaljnije opisati u nastavku za pojedinu frakciju.

4.4.7 Podmodeli

Opis podmodela kojim je potrebno detaljno prezentirati i objasniti sve procese prethodno konceptualno opisane u sklopu pregleda razmotrenih procesa i mjerila primijenjenih unutar modela (treći element ODD protokola).

Aktivne modelske čestice, koje su primijenjene za modeliranje pronosa razmotrenih planktonskih frakcija, gibanje ostvaruju pod utjecajem vanjskih okolišnih parametara, polja gravitacije (tonjenje) i vlastite mogućnosti gibanja s obzirom na promjene okolišnih parametara (bihevioristička komponenta). Upravo posljednja komponenta gibanja ove čestice značajno razlikuje od pasivnih. Aktivne čestice imaju sposobnost prilagodbe okolnom strujanju i promjene vlastite vertikalne brzine s obzirom na promjene okolne temperature (dobivene HD modelom) i intenziteta sunčeve svjetlosti na dubini na kojoj se modelska čestica nalazi. Ovaj kognitivni aspekt vezan uz adaptabilno biheviorističko ponašanje dinoflagelata i kopepoda matematički je formuliran uspostavom izvornoga ABM-a.

4.4.7.1 Dijatomeje

Modelske čestice definirane za potrebe analize pronosa dijatomeja gibanje ostvaruju dominantno kroz vanjske okolišne utjecaje (deterministička komponenta) i djelovanje polja gravitacije (vlastito tonjenje). U modelsku je formulaciju uključena i stohastička komponenta kroz koju je uključen utjecaj vlastitih mogućnosti gibanja čestica te uključivanje gibanja koje se odvija na skali manjoj od elementa proračunske mreže. Horizontalno gibanje čestica definirano je kroz sumu determinističke komponente strujanja iz rezultata HD modela i stohastičke komponente uslijed turbulentne disperzije na prostornoj skali manjoj od prostorne razlučivosti proračunske mreže. Doprinos turbulentne disperzije definiran je kao slučajni i neovisan Markovljev proces (Gardiner, 1985.) koji se proračunava metodom slučajnoga koraka kroz rješavanje Langevinove nelinearne jednadžbe (Kloeden i Platen, 1999.):

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{A}(\vec{x}, t) + \mathbf{B}(\vec{x}, t) \vec{\xi}(t) \quad (54)$$

gdje je $\vec{x}$ trenutna prostorna koordinata čestice (x , y ili z), $\vec{A}(\vec{x}, t)$ vektor determinističke komponente polja strujanja, $\mathbf{B}(\vec{x}, t)$ tenzor disperzije koji predstavlja stohastičku komponentu, $\vec{\xi}(t)$ vektor slučajnoga broja između 0 i 1.

Jednadžba (54) ekvivalentna je sljedećoj stohastičkoj diferencijalnoj jednadžbi:

$$d\vec{x} = \vec{A}(\vec{x}, t) + \mathbf{B}(\vec{x}, t) d\vec{W}(t) \quad (55)$$

gdje je $d\vec{W}(t)$ slučajni Wienerov proces sa srednjom vrijednosti 0 i varijancom jednakom vremenskom koraku dt .

Nepoznate vrijednosti $\vec{x}$ i $\mathbf{B}(\vec{x},t)$ poračunavaju se iz Fokker-Planck jednadžbe (Kloeden i Platen, 1999.) dane u nastavku:

$$d\vec{x} = \begin{pmatrix} u(\vec{x},t) \\ v(\vec{x},t) \\ w(\vec{x},t) \end{pmatrix} dt + \begin{bmatrix} \sqrt{2D_x} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{2D_y} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2D_z} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} \sqrt{dt} \quad (56)$$

gdje su Z_1 , Z_2 i Z_3 neovisni slučajni brojevi s normalnom raspodjelom oko srednje vrijednosti i jediničnom varijancom, D_x , D_y i D_z koeficijenti disperzije u x, y i z smjeru. Koeficijenti turbulentne disperzije, kojima je opisana stohastička komponenta gibanja agenata, za smjer i brzinu gibanja u trima smjerovima definirani su faktorima proporcionalnosti u vertikalnom smjeru (usvojeno 0,1) i horizontalnom smjeru (usvojeno 1,0).

Zbog jednostavnosti prikaza brzina gibanja agenata u horizontalnom (x, y) smjeru označavat će se s $\vec{u}(\vec{x},t)_{\text{agent}}$, a uključuje zbroj determinističke i stohastičke komponente koje su ranije opisane jednadžbama (55) i (56). Istovjetno horizontalnim komponentama, $\vec{w}(\vec{x},t)_{\text{dia}}$ predstavlja brzinu gibanja u vertikalnome (z) smjeru pri čemu ovaj parametar poprima pozitivnu vrijednost kada se agent giba prema površini, a negativan kada se giba prema modelskome dnu. Indeks „dia“ odnosi se na agente kojima je opisano gibanje dijatomeja u modelskome okruženju.

Horizontalna brzina gibanja agenata opisana je sljedećom jednadžbom:

$$\frac{d\vec{x}_{\text{agent}}}{dt} = \text{move}_H \cdot \vec{u}(\vec{x},t)_{\text{agent}} \quad (57)$$

gdje $\frac{d\vec{x}_{\text{agent}}}{dt}$ predstavlja konačnu brzinu gibanja agenta, a move_H je parametar prikazan logičkom formulacijom koja agentu dopušta ili ne dopušta gibanje u horizontalnome smjeru. Potonji član jednadžbe – move_H definiran je s:

$$\text{move}_H = \begin{cases} 0, & \text{Settled} = 1 \\ 1, & \text{inače} \end{cases} \quad (58)$$

gdje *Settled* predstavlja varijablu stanja agenta koja opisuje je li agent dotakao modelsko dno ili ne (opisano ranije u poglavlju 4.4.2). Ovim je izrazom definirana ranije usvojena pretpostavka da agent prekida svoje gibanje prilikom doticaja s modelskim dnom. *Settled* varijabla računa se svaki vremenski korak simulacije te je opisana s:

$$\frac{d(\text{Settled})}{dt} = \begin{cases} 1, & \text{Settled} = 0 \text{ i } \text{settle}_{\text{success}} = 1 \\ 0, & \text{inače} \end{cases} \quad (59)$$

gdje je $\text{settle}_{\text{success}}$ predstavlja parametar koji daje informaciju je li agent dotakao modelsko dno ili ne u trenutnom vremenskom koraku simulacije te je dan sljedećom jednadžbom:

$$\text{settle}_{\text{success}} = \begin{cases} 1, & z_{\text{agent}} = z_{\text{seabed}} \\ 0, & \text{inače} \end{cases} \quad (60)$$

gdje se z_{dia} odnosi na z-koordinatu agenta, a z_{seabed} dubinu modelskoga dna.

U vertikalnome smjeru ukupna brzina gibanja proračunata je prema sljedećem izrazu:

$$\frac{dz_{dia}}{dt} = \vec{w}(\vec{x}, t)_{dia} - \vec{w}_{dia, G} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (61)$$

gdje je $\vec{z}_{dia}$ trenutna vertikalna koordinata čestice (z-smjer), $\vec{w}(\vec{x}, t)_{dia}$ zbroj vektora determinističke (dobivene HD modelom) i stohastičke (opisano jednačbama (54)-(56)), a $w_{dia, G}$ brzina tonjenja dijatomeja usvojena kao konstantna vrijednost od 0,000016 [m·s⁻¹] ili 1 [m·dan⁻¹] prema Waite i sur. (1997.).

4.4.7.2 Dinoflagelati

Gibanje agenata, koji predstavljaju dinoflagelate, u horizontalnoj je ravnini definirano istovjetno ranije opisanome za dijatomeje u poglavlju 4.4.7.1 (jednačbe (54)-(60)). Značajna razlika u odnosu na prethodno modeliranu frakciju očituje se kroz opisivanje gibanja u vertikalnome smjeru s obzirom na to da dinoflagelati imaju značajno veće vlastite sposobnosti gibanja. Ukupna vertikalna brzina gibanja čestica određena je prema sljedećem izrazu:

$$\frac{dz_{dino}}{dt} = \vec{w}(\vec{x}, t)_{dino} + \vec{w}(t)_{dino, I} + \vec{w}(t)_{dino, T} - \vec{w}_{dino, G} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (62)$$

gdje je $\vec{z}_{dino}$ trenutna vertikalna koordinata čestice (z-smjer), $\vec{w}(\vec{x}, t)_{dino}$ zbroj vektora determinističke (dobivene HD modelom) i stohastičke (opisano jednačbama (54)-(56)) komponente vertikalne brzine strujanja, $\vec{w}(t)_{dino, I}$ brzina vertikalnog gibanja u ovisnosti o intenzitetu svjetlosti I na dubini čestice, $\vec{w}(t)_{dino, T}$ brzina vertikalnog gibanja u ovisnosti o okolnoj temperaturi fluida (na temelju HD model), $\vec{w}_{dino, G}$ brzina tonjenja usvojena kao konstantna vrijednost od 0,000023 [m·s⁻¹] ili 2 [m·dan⁻¹] prema Kamykowsky i sur. (1992.). Koeficijenti turbulentne disperzije, kojima je opisana stohastička komponenta gibanja agenata, definirani su istovjetno kao za dijatomeje. Indeks „dino“ označava da se radi o aktivnoj modelskoj čestici koja opisuje gibanje dinoflagelata.

Iznos brzine vertikalnog gibanja u ovisnosti o intenzitetu svjetlosti na dubini čestice $w(t)_{dino, I}$ dana je sljedećim izrazom (Kamykowsky i sur., 1988.):

$$w(t)_{dino, I} = S_{A, I} \cdot \tanh\left(\frac{\alpha I_z}{S_{A, I}}\right) \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (63)$$

gdje je $S_{A, I}$ asimptotska vrijednost brzine gibanja u ovisnosti o intenzitetu svjetlosti koja iznosi 0,00011 [m·s⁻¹], α početni nagib krivulje tangensa hiperbolnog koji iznosi $2,514 \cdot 10^{-6}$ [m·s⁻¹·m²·W⁻¹] te I_z intenzitet sunčeve svjetlosti na dubini čestice z izražen u [W·m⁻²]. Konstante $S_{A, I}$ i α preuzete su iz istraživanja Kamykowskog i sur. (1988.).

Brzina vertikalnog gibanja u ovisnosti o okolnoj temperaturi na dubini čestice $w(t)_{dino, T}$ dana je sljedećim izrazom (Kamykowsky i sur., 1986.):

$$w(t)_{dino, T} = S_{A, T} \cdot [1 - e^{-a(T_{HD} - T_L)}] \cdot [1 - e^{-b(T_H - T_{HD})}] \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (64)$$

gdje je $S_{A, T}$ asimptotska vrijednost brzine gibanja u ovisnosti o okolnoj temperaturi izražena u [m·s⁻¹], a i b empirijski određeni koeficijenti u [°C⁻¹], T_{HD} okolna temperatura dobivena HD modelom, T_L i T_H donja i gornja granica temperature u okolini čestica ispod, odnosno iznad koje dinoflagelat pokazuje karakteristike pasivnoga kretanja (tonjenje). Članovi jednačbe (64) s desne strane, izuzev T_{HD} , modelirani su kao jednoliko raspodijeljene slučajne varijable na temelju podataka dostupnih za različite pomorske dinoflagelate obuhvaćene istraživanjem Kamykowskog i sur. (1986.).

4.4.7.3 Kopepodi

Analiza pronosa kopepoda provedena je istovjetno prethodno opisanoj za dinoflagelate. U okviru uspostave modela pronosa zooplanktona razmotreni su te matematički formulirani mehanizmi gibanja kopepoda kao najbrojnije grupe ove planktonske zajednice (vidi poglavlje 2.2.2.3). Također, usvojeno je da ove modelske čestice nemaju sposobnost naseljavanja dna, tj. tijekom cijeloga simulacijskog razdoblja raspršene su u stupcu mora.

Za razliku od modeliranja dinoflagelata, u okviru opisivanja gibanja zooplanktona u obzir nije uzet utjecaj temperature. Heinle (1969.) je proveo analizu utjecaja temperature na životni ciklus zooplanktona u područjima riječnih estuarija. Utvrđeno je da se do 30 [°C] kopepodi razmnožavaju, a iznad toga se stopa smrtnosti značajno povećava. Osim toga, dao je analizu utjecaja temperaturnih šokova u intervalima od +5 [°C] na život kopepoda. Utvrđeno je da se mogućnost gibanja i razmnožavanje ove vrste zooplanktona smanjuje pri pojavi temperaturnih šokova i početnoj temperaturi >25 [°C]. Na temelju dostupnih terenskih mjerenja pomoću CTD sonde i ADCP-a utvrđeno je da u razdoblju simulacije nije došlo do izraženijih temperaturnih šokova, a temperature nisu prešle 30 [°C], stoga je utjecaj ovoga parametra zanemaren u okviru analize pronosa kopepoda.

Gibanje modelskih čestica u horizontalnoj ravnini određeno je istovjetno ranije opisanome za fitoplanktonske frakcije. Ukupna brzina u horizontalnoj ravnini dobivena je kao suma determinističke komponente strujanja iz rezultata HD modela i stohastičke komponente uslijed turbulentne disperzije na prostornoj skali manjoj od prostorne razlučivosti proračunske mreže. U vertikalnome smjeru gibanje je određeno slično ranije opisanome za dinoflagelate, no značajna je razlika u činjenici da kopepodi ostvaruju značajno veće brzine gibanja. Ukupna vertikalna brzina gibanja agenata, koji predstavljaju kopepode, određena je prema sljedećem izrazu:

$$\frac{dz_{kop}}{dt} = \vec{w}(\vec{x}, t)_{kop} + \vec{w}(t)_{kop, DVM} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (65)$$

gdje je $\vec{z}_{kop}$ trenutna vertikalna koordinata čestice (z-smjer), $\vec{w}(\vec{x}, t)_{kop}$ zbroj vektora determinističke (dobivene HD modelom) i stohastičke (opisano jednadžbama (54)-(56)), $\vec{w}(t)_{kop, DVM}$ brzina vertikalnog gibanja kojom opisuje vlastito gibanje kopepoda tijekom dnevne vertikalne migracije (dalje u tekstu: DVM). Koeficijenti turbulentne disperzije, kojima je opisana stohastička komponenta gibanja agenata, za smjer i brzinu gibanja u trima smjerovima definirani su faktorima proporcionalnosti u vertikalnom smjeru (usvojeno 0,2) i horizontalnom smjeru (usvojeno 0,5). Pri izračunu $\vec{w}(t)_{kop, DVM}$ usvojen je opći obrazac gibanja zooplanktona koji počiva na principu skoka i tonjenja čestice (eng. *hop-and-sink*). Faza skoka označava impulsno gibanje zooplanktona koje nastaje na temelju potrebe za hvatanjem plijena ili bijega od predatora, a tonjenje razdoblje prepuštanja okolnoj cirkulaciji i djelovanju gravitacije (Henriksen i sur., 2007.; Ringelberg, 2010.). Indeks „kop“ označava da se radi o aktivnoj modelskoj čestici koja opisuje gibanje kopepoda.

Iznos brzine vertikalnog gibanja tijekom DVM-e $w(t)_{kop, DVM}$ dana je sljedećim izrazom:

$$w(t)_{kop, DVM} = \begin{cases} w_{kop, G}, C_{DVM} > 0 \\ 0, C_{DVM} = 0 \\ C_{DVM} \cdot w_{kop, hop}, C_{DVM} < 0 \end{cases} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (66)$$

gdje je C_{DVM} koeficijent DVM-e na temelju kojeg je čestici definirano giba li se prema površini ili prema dnu, $w_{kop, G}$ brzina gibanja čestice tijekom faze tonjenja usvojena kao konstantna vrijednost od 0,0008

[m·s⁻¹] (Seuront, 2006.; Henriksen i sur., 2007.), $w_{kop,hop}$ brzina gibanja čestice tijekom faze skoka izražena u [m·s⁻¹]. Koeficijent C_{DVM} računa se u ovisnosti o intenzitetu svjetlosti I_z na dubini čestice z prema sljedećem izrazu:

$$C_{DVM} = \begin{cases} -1, I_z < I_{optimalno} & \text{if } z < -0,5 \text{ [m]} \\ -1, I_z < I_{optimalno} & \text{if } z > -0,5 \text{ [m]} \\ 0, I_z = 0 & \\ -1, I_z > I_{optimalno} & \end{cases} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (67)$$

Pri čemu $C_{DVM} = 1$ označava gibanje čestice prema površini (pozitivan z smjer), $C_{DVM} = -1$ gibanje prema dnu (negativan z smjer), a $C_{DVM} = 0$ prepuštanje čestice cirkulaciji mora. S obzirom na to da su ranija istraživanja pokazala da oblak zooplanktona ne boravi direktno na površini (Simoncelli i sur., 2019.), definirana je granična vrijednost dubine od -0,5 [m] kako bi se osiguralo zadržavanje planktona u potpovršinskom sloju bez doticaja s površinom. $I_{optimalno}$ definiran je kao konstanta od 0,156 [W·m⁻²], a označava prosječnu vrijednost optimalnog intenziteta svjetlosti pri kojem je utvrđena najveća stopa preživljavanja različitih kopepoda (Ambler i sur., 1991.; Lee i sur., 2011.).

Iznos brzine gibanja čestice tijekom faze skoka $w_{kop,hop}$ određena je kao umnožak normalno raspodijeljenih slučajnih varijabli iznosa i smjera skoka prema sljedećem izrazu:

$$w_{kop,hop} = N(\overline{w_{kop,hop}}, \sigma_{w_{kop,hop}}) \cdot \sin(N(\overline{\varphi_{kop,hop}}, \sigma_{\varphi_{kop,hop}})) \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (68)$$

gdje je $\overline{w_{kop,hop}}$ srednja vrijednost usvojena u iznosu od 0,07 [m·s⁻¹], $\sigma_{w_{kop,hop}}$ standardna devijacija brzina gibanja tijekom faze skoka usvojena u iznosu od 0,005 [m·s⁻¹] kako bi se pri provedbi modelskih simulacija zadovoljio raspon brzina skoka kopepoda između 0,03 i 0,15 [m·s⁻¹] zabilježen u prethodnim istraživanjima (Jiang i Kiorboe, 2011.; Michalec i sur., 2017.). Nadalje, $\overline{\varphi_{kop,hop}}$ i $\sigma_{\varphi_{kop,hop}}$ predstavljaju srednju vrijednost od 60° i standardnu devijaciju od 5° povezane sa smjerom skoka kopepoda kako bi se tijekom modelskih simulacija zadovoljio raspon od 30° do 90° sukladno ranijim istraživanjima (Jiang i Kiorboe, 2011.). Upravo su Jiang i Kiorboe (2011.) utvrdili da kopepodi prilikom bijega od predatora imaju tendenciju vertikalnoga skoka (90° gledano u x-z ravnini Kartezijevoga koordinatnog sustava) dok pri kontinuiranom gibanju smjer skoka varira između 30° i 60°.

5 OBRADA PODATAKA I REZULTATI

Sažetak poglavlja

5.1 Obrada i analiza ulaznih hidroloških i meteoroloških podataka

Prikazani su rezultati dijela statističke analiza ulaznih hidroloških (protoci Neretve i iz Baćinskih jezera) i meteoroloških podataka (smjerovi i brzine vjetra na m.p. Ploče i m.p. Rijeka). Za analizu dominantnih smjerova i učestalosti vjetra dane su ruže vjetrova. Ostali grafički i tablični prikazi dani su u Prilozima. Statistička obrada podataka o protocima dana je opisno u ovome poglavlju dok su grafički i tablični prikazi također dani u Prilozima.

5.2 Obrada i analiza rezultata terenskih mjerenja

Za obje su luke prikazane ruže morskih struja i dinamika morskih razina, a preostali grafički i tablični prikazi dani su u Prilozima. Najveće brzine strujanja javljaju se u površinskim i potpovršinskim slojevima mora, a smanjuju se povećanjem dubine. Istaknuti najučestaliji smjerovi strujanja mora javljaju se dominantno zbog djelovanja meteoroloških i hidroloških veličina te oblika pojedinoga akvatorija. Za oba su akvatorija prikazani rezultati mjerenja temperature mora.

5.3 Obrada i analiza rezultata simulacija HD modela cirkulacije mora

Kalibracija modela provedena je na temelju usporedbe rezultata simulacije s terenskim mjerenjima u ZIMSKOM, a validacija u LJETNOM razdoblju. Istaknuta su polja strujanja na prostornim domenama dvaju modela vezana uz prikaz intenzivne i prosječne cirkulacije mora. Situacije intenzivne cirkulacije očekuju se pri pojavi intenzivnoga vjetra i značajnoga slatkovodnog dotoka, a prosječne pri pojavi prosječnih okolišnih uvjeta.

5.4 Obrada i analiza rezultata simulacija modela pronosa planktonskih zajednica

Izrađeni su prikazi 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i ukupno istaloženih agenata unutar domene te prosječne brojnosti raspršenih i istaloženih agenata unutar domene 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa. Analiziran je utjecaj smjera intenzivnog vjetra na iznošenje agenata kroz otvorene granice modela. Uspoređene su uzorkovane i modelirane brojnosti triju planktonskih frakcija (dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda).

5.1 Obrada i analiza ulaznih hidroloških i meteoroloških podataka

5.1.1 Šire akvatorijalno područje luke Ploče

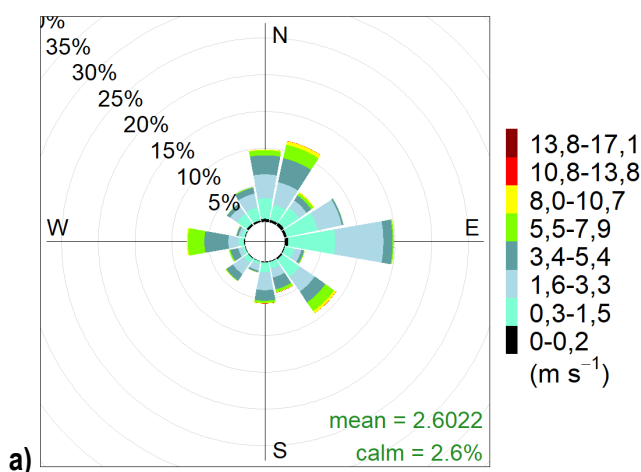
Na temelju analize recentnih podataka o vjetru na m.p. Ploče utvrđeno je da su u razdoblju 1.10.2020.-1.10.2021. prisutni uobičajeni obrasci vezani uz dinamiku ovoga meteorološkog parametra utvrđeni u sklopu ranijih istraživanja (poglavlje 4.1.1.2). Istovjetan je zaključak kada se analiziraju protoci zabilježeni na h.p. Metković i h.p. Šipak što se tiče učestalosti pojave određenih karakterističnih vrijednosti te vrijednosti ove hidrološke veličine s obzirom na razdoblje godine (poglavlja 4.1.1.3 i 4.1.1.4). Stoga, u okviru provedenih analiza opravdanim se smatralo povezivanje određenih karakterističnih okolišnih uvjeta (djelovanje vjetra i slatkovodni dotok), zabilježenih između 1.10.2020. i 1.11.2021., s očekivanom morskom cirkulacijom u ovome akvatoriju. Obradeni ulazni podaci iskorišteni su za potrebe dopune recentnih terenskih mjerenja, definiranja rubnih uvjeta i okolišnih uvjeta nametnutih na prostornoj domeni novo izrađenoga HD modela cirkulacije na području šireg akvatorija luke Ploče što je detaljnije opisano u poglavlju 4.3.2.1.

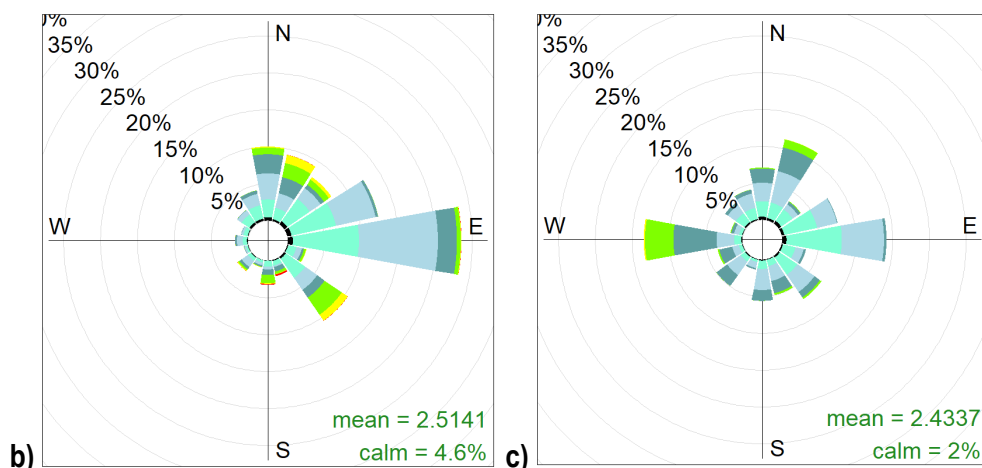
Redom su prikazani rezultati obrade 10-minutnih podataka o smjeru i brzini vjetra s m.p. Ploče (DHMZ), satnih protoka i temperatura rijeke Neretve izmjerenih na h.p. Metković (Hrvatske vode) te satnih protoka iz Baćinskih jezera s h.p. Šipak (DHMZ).

5.1.1.1 Vjetar

Na temelju podataka iz modela Aladin-HR (Ocvirk, 2010.) utvrđeno je da situacije pojave maksimalnih brzina vjetra iz sektora sa središnjim smjerovima N, NE, E, S, SW nastupaju tijekom zimskoga razdoblja. S druge strane, za smjerove SE i W maksimalne brzine vjetra pojavljuju se u jesenskom razdoblju (početkom listopada). Podaci s m.p. Ploče ukazuju na vjetrove sjeveroistočnog kvadranta (NNE, NE, ENE) kao najučestalije, a slijede ih vjetrovi W i WSW smjera koji su uglavnom vezani za obalnu cirkulaciju koja je izražena posebno u ljetnim mjesecima. Nadalje, vjetrovi iz smjera SE, SSE, S idući su po učestalosti te su povezani s prolascima ciklona preko južnog Jadrana. Najintenzivniji vjetrovi mogu se očekivati iz smjerova SE i NNE (olujno jugo i olujna bura) dok prosječne brzine vjetrova variraju neznatno tokom godine.

Analiza podataka o vjetru u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021. obuhvatila je izradu tablice kontingencije (Tablica 0.1) za različite smjerove i kategorije brzine te ruže vjetrova (Slika 5-1, korišten R paket „openair“, Carslaw i Ropkins, 2012.). Također, izrađen je prikaz godišnjeg hoda maksimalne i srednje brzine vjetra po mjesecima za navedeno razdoblje (Slika 0-1).





Slika 5-1 Ruža vjetrova za m.p. Ploče s 4 glavna i 12 sporednih smjerova (10-minutni podaci u razdobljima a) 1.10.2020.-1.11.2021., b) 30.10.2020.-8.1.2021., c) 9.7.2021.-15.10.2021.)

Pregledom recentnih podataka o vjetru s meteorološke postaje Ploče, može se utvrditi da u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021. po učestalosti dominiraju vjetrovi sjeveroistočnog kvadranta (NNE, NE, ENE) s 25,78% (Slika 5-1, Tablica 0.1), a slijede vjetrovi jugoistočnog kvadranta (ESE, SE, SSE) s 16,69%, istočni vjetar E s 15,11% i tramontana (N) s 10,61%. U promatranom razdoblju prisutni su uglavnom slabi vjetrovi (manje od 3 Beauforta, 69,58%) od čega se tišine javljaju u 6,10% vremena. Rijetka je pojava umjereno jakih vjetrova (5 [Bf], 1,46%) pri čemu se ističu NNE i SE smjerovi vjetra te jakih vjetrova (6 [Bf], 0,13%) gdje se ističu NNE i SSE sektori. Vrlo jaki vjetrovi (7 [Bf]) jugo-oštro (S) i bura (NNE) pojavili su se po jednom u promatranom razdoblju. U prosjeku (Tablica 0.2) najveće su brzine pri puhanju zapadnjaka (W) od 4,3 [m·s⁻¹], zatim juga (SE, SSE) 3,2 [m·s⁻¹] dok za puhanja bure (NNE) iznose 3,6 [m·s⁻¹]. Zabilježene maksimalne brzine vjetra od 14,8 [m·s⁻¹] pojavile su se za jugo-oštro (S) dok je za vrijeme bure (NNE) zabilježeno 14,3 [m·s⁻¹]. Potonje smjerove slijedi istočni vjetar (E) s 12,9 [m·s⁻¹], jugo (SSE) s 12,8 [m·s⁻¹], zapadnjak (W) s 11,6 [m·s⁻¹] i sjeveroistočni vjetar (NE) s 11,1 [m·s⁻¹]. Maksimalne brzine puhanja kao i najveći srednjaci prisutni su u zimskom i proljetnom razdoblju (Slika 0-1, Tablica 0.3).

5.1.1.2 Protok i temperatura rijeke Neretve

Radi preglednosti svi tablični i grafički prikazi vezani uz satne podatke o protoku i temperaturi rijeke Neretve dani su u poglavlju Prilozi.

Prvi dio analize recentnih satnih podataka o protoku i temperaturi rijeke Neretve odnosi se na tablični prikaz minimuma, srednjaka i maksimuma dvaju hidroloških veličina po mjesecima za razdoblje 1.10.2020.-1.11.2021. (Tablica 0.4).

Prosječni protok u promatranom razdoblju iznosi 364,6 [m³·s⁻¹], a maksimalni protok od 1889,8 [m³·s⁻¹] zabilježen je sredinom veljače 2021. Maksimalni protoci zabilježeni su u kasnu jesen i u zimu (prosinac 2020., siječanj i veljača 2021.), a minimalni u ljetnim mjesecima (srpanj i kolovoz 2021.). Prosječna temperatura vode rijeke Neretve iznosila je 13,4 [°C] dok je maksimalna od 23,6 [°C] zabilježena u kolovozu 2021. Minimalne temperature očekivano se javljaju u zimskim mjesecima (siječanj i veljača 2021.), a maksimalne u ljetnim (srpanj, kolovoz i rujan 2021.).

Za ovu su lokaciju izrađene i krivulje relativne i kumulativne učestalosti protoka rijeke Neretve koje su analizirane u prethodnim istraživanjima (Slika 0-2) i na temelju recentnih mjerenja (Slika 0-3) pri čemu se može uočiti sličnost ovih dvaju krivulja.

5.1.1.3 Protok iz Baćinskih jezera

Istovjetno prethodnome poglavlju, svi rezultati analize ulaznih podataka vezanih uz dotok iz Baćinskih jezera dani su u poglavlju Prilozi. Početni dio rezultata obrade satnih protoka na h.p. Šipak u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021. odnosi se na tablični prikaz volumena dotoka iz Baćinskih jezera i kumulativne oborine na m.p. Ploče po mjesecima (Tablica 0.6).

Na temelju pregleda satnih protoka iz Baćinskih jezera može se utvrditi da je prosječni protok iz Baćinskih jezera u danom razdoblju iznosio $11,5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$, a maksimalni $65,5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ te je zabilježen u prvoj polovici prosinca 2020 (Slika 4-8).

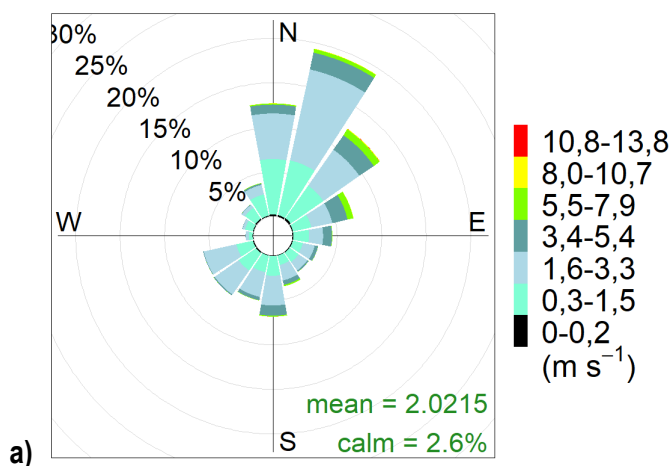
Također, provedena je analiza trajanja i učestalosti dnevnih protoka za razdoblje 1973.-2021. (Slika 4-9) u kojem su javno dostupni podaci za ovu hidrološku veličinu (DHMZ, n.d.) pri čemu je izvršena podjela u 33 razreda po $2 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$. Slika 0-4 daje uvid u krivulje relativne i kumulativne učestalosti, a Tablica 0.7 vrijednosti karakterističnih protoka za razdoblje dostupnih dnevnih protoka.

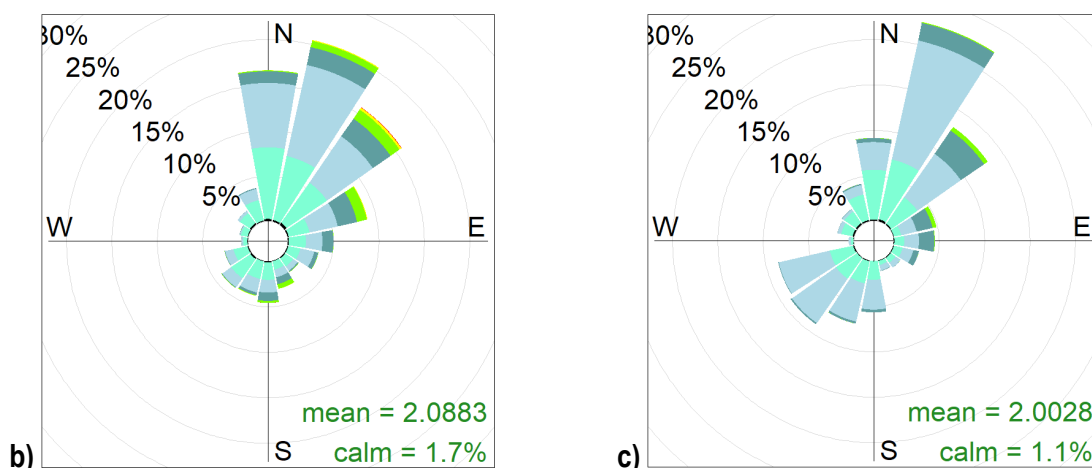
5.1.2 Luka Rijeka

Iz baze podataka DHMZ-a preuzeti su, obrađeni i analizirani podaci kojima su definirani okolišni uvjeti na području luke Rijeka značajni za uspostavu HD modela cirkulacije mora. Pri tome, valja napomenuti da se vjetar ističe kao parametar koji dominantno generira intenzivnu cirkulaciju na području odabrane prostorne domene. Nadalje, na temelju analize recentnih podataka o vjetru na m.p. Rijeka utvrđeno je da su u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021. prisutni uobičajeni obrasci vezani uz dinamiku ovoga meteorološkog parametra. Stoga, u okviru provedenih analiza opravdanim se smatralo povezivanje određenih karakterističnih vjetrovnih situacija, zabilježenih u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021., s očekivanom morskom cirkulacijom u luci Rijeka. Obrađeni ulazni podaci iskorišteni su za potrebe definiranja okolišnih uvjeta nametnutih na prostornoj domeni novo uspostavljenoga HD modela cirkulacije na području luke Rijeka što je detaljnije opisano u poglavlju 4.3.3.

5.1.2.1 Vjetar

Za m.p. Rijeka izrađena je tablica kontingencije (Tablica 0.8) za različite smjerove i kategorije brzine te ruže vjetrova (Slika 5-2, korišten R paket „openair“, Carslaw i Ropkins, 2012.). Također, dan je prikaz godišnjeg hoda maksimalne i srednje brzine vjetra po mjesecima za navedeno razdoblje (Slika 0-5, Tablica 0.10).





Slika 5-2 Ruža vjetrova za m.p. Rijeka s 4 glavna i 12 sporednih smjerova (10-minutni podaci u razdobljima a) 1.10.2020.-1.11.2021., b) 9.10.2020.-18.1.2021., c) 3.7.2021.-25.10.2021.)

Pregledom recentnih podataka o vjetru s meteorološke postaje Rijeka, može se utvrditi da u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021. po učestalosti dominiraju vjetrovi sjeveroistočnog kvadranta (NNE, NE, ENE) sa 79,28%, a slijede tramontana (N) s 26,60%, vjetrovi jugoistočnog kvadranta (ESE, SE, SSE) s 19,20% i jugo-oštro (S) s 14,01 % (Slika 5-2, Tablica 0.8). U promatranom razdoblju prisutni su uglavnom slabi vjetrovi (manje od 3 Beauforta, 86,50%) od čega se tišine javljaju u 3,30% vremena. Rijetka je pojava umjereno jakih i jakih vjetrova (5 i 6 [Bf], 0,19%) pri čemu se iz sjeveroistočnog kvadranta generiraju najintenzivniji vjetrovi. Srednjaci brzine (Tablica 0.9) iznose pri puhanju sjeveroistočnih vjetrova (NNE, NE, ENE) između 2,2 i 2,8 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], zatim jugoistočnih (ESE, SE, SSE) 1,6 i 2,3 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] dok za puhanja vjetra jugo-oštro (S) iznosi 2,2 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Zabilježene maksimalne brzine vjetra od 13,5 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] pojavile su se za vrijeme NE dok je za vrijeme juga-oštro (S) zabilježeno 11,6 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Potonje smjerove slijede preostali vjetrovi sjeveroistočnog kvadranta (NNE i ENE) s 10,7 i 10,4 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], jugo (SSE) s 9,9 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], SSW vjetar s 9,8 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], tramontana (N) s 8,9 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] i NNW vjetar s 8,4 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Maksimalne brzine puhanja kao i najveći srednjaci zabilježeni su u studenom i prosincu 2020. godine (Slika 0-5, Tablica 0.10). Osim kasnog jesenskog i zimskog, značajno je i proljetno razdoblje po pitanju pojave najintenzivnijih vjetrova.

5.2 Obrada i analiza rezultata terenskih mjerenja

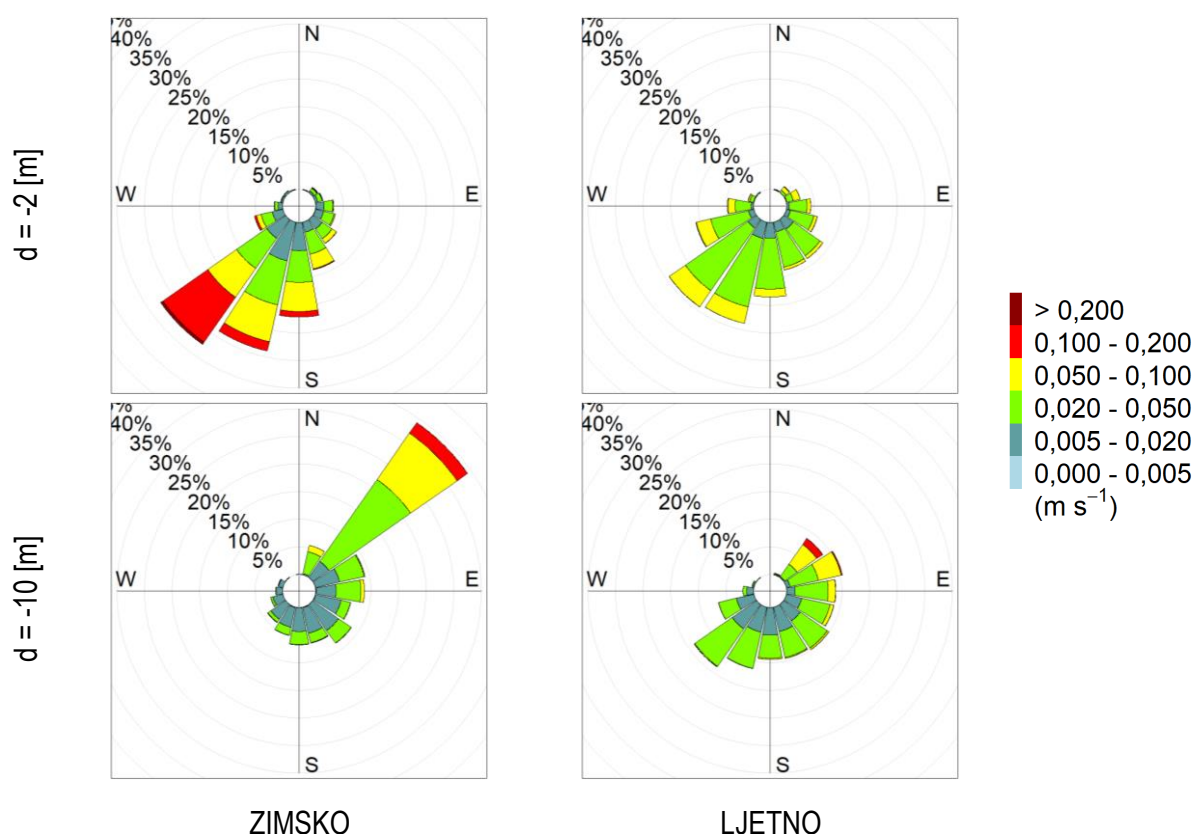
Sirove datoteke sa strujomjera WorkHorse Sentinel (ekstenzija datoteka *.000) i Sentinel V20 (ekstenzija *.pd0) uvezene su u softver Velocity (Slika 0-6). Također, jedna od funkcionalnosti softvera je izvoz izmjerenih podataka o brzini strujanja u tri dimenzije te podataka zabilježenih ugrađenim senzorima (temperatura, tlak) u opći format datoteke koji je povoljan za daljnju obradu i analize (*.csv ili *.txt).

Kako bi se uklonio visokofrekventni signal, sirovi polusatni podaci usrednjeni su primjenom trosatnog kliznog srednjaka (Domijan i sur., 2005.) što je prikazano na primjeru vertikalno usrednjene U komponente brzine strujanja mora (Slika 0-7). Identičan postupak primijenjen je i za ostale mjerene parametre koji su potrebni za analize provedene u okviru ovoga istraživanja (V komponenta, smjer i ukupna brzina strujanja).

5.2.1 Šire akvatorijalno područje luke Ploče

5.2.1.1 Morske struje i promjene morske razine

Rezultati mjerenja na dvjema lokacijama prikazani su preko ruže strujanja, progresivnog vektor dijagrama i vremenskih nizova vektora brzina za dvije dubine na ADCP-PL1 (-10 [m] kao pridneni i -2 [m] kao potpovršinski sloj), odnosno tri dubine mjerenja na ADCP-PL2 (-16 [m] kao pridneni, -10 [m] kao središnji i -3 [m] kao potpovršinski sloj). Za progresivne vektor dijagrame i vremenske nizove vektora dani su i prikazi izračunati iz vertikalno usrednjenih trosatnih vrijednosti mjerenih parametara. Ruža strujanja dana je za 4 glavna i 12 sporednih smjerova (jednakovrijedno prikazu ruže vjetrova danom u poglavlju 5.1.1.1). Radi preglednosti, progresivni vektor dijagram i vremenski nizovi vektora brzina dani su u Prilozima.

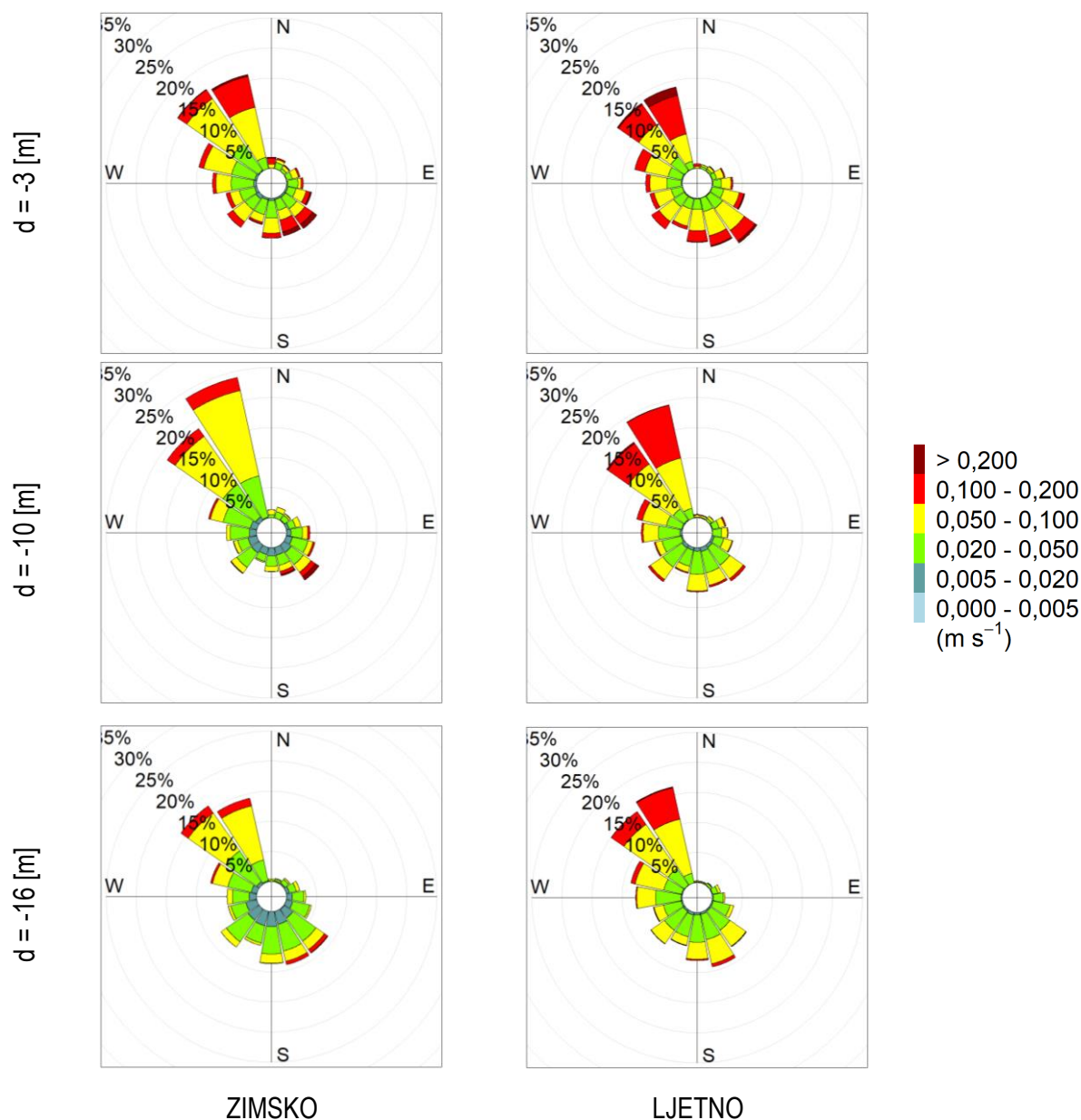


Slika 5-3 Ruža morskih struja u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL1 i dubinama -10 (dolje) i -2 [m] (dolje)

Rezultati mjerenja strujanja mora na lokaciji ADCP-PL1 (Slika 4-2) u zimskom razdoblju ukazuju na najveće brzine u potpovršinskom sloju u iznosu od $21,4 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ dok u pridnenom dosežu maksimalnu vrijednost od $15,7 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$. Nadalje, dobivene su prosječne brzine od $5,1$ i $3,1 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ dok standardne devijacije iznose $4,0$ i $2,3 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ za potpovršinski i pridneni sloj, redom. Kao dominantni smjer strujanja u zimskom razdoblju u potpovršinskom sloju ističe se SW po učestalosti i intenzitetu. U pridnenom po učestalosti i intenzitetu dominantan je smjer NE (Slika 5-3, Slika 0-8, Slika 0-9). Dominantni generator intenzivnog strujanja u ovome razdoblju mjerenja je dotok slatke vode iz Baćinskih jezera koji uzrokuje iznošenje vodene mase prema otvorenom moru u površinskom sloju što u pridnenom sloju uzrokuje strujanje u suprotnom smjeru.

U ljetnom razdoblju maksimalna brzina u potpovršinskom sloju iznosi $11,7 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ dok je u pridnenom postignuto $16,1 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ pri čemu valja napomenuti da su u ljetnom razdoblju na datoj lokaciji zabilježene

nešto veće brzine strujanja na većim dubinama u odnosu na zimsko. Prosječne brzine iznose 2,6 i 3,3 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$], a standardne devijacije 1,2 i 2,3 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] u potpovršinskom i pridnenom sloju, redom. Po učestalosti ističe se SW smjer u potpovršinskom i pridnenom sloju. Što se tiče intenziteta, dominantan smjer u potpovršinskom sloju je SW, a u pridnenom NE (Slika 5-3, Slika 0-8, Slika 0-10). U ovome su razdoblju zabilježene značajnije varijacije smjera strujanja u odnosu na zimsko razdoblje pri čemu se veće brzine javljaju u dubljim slojevima na danoj lokaciji.



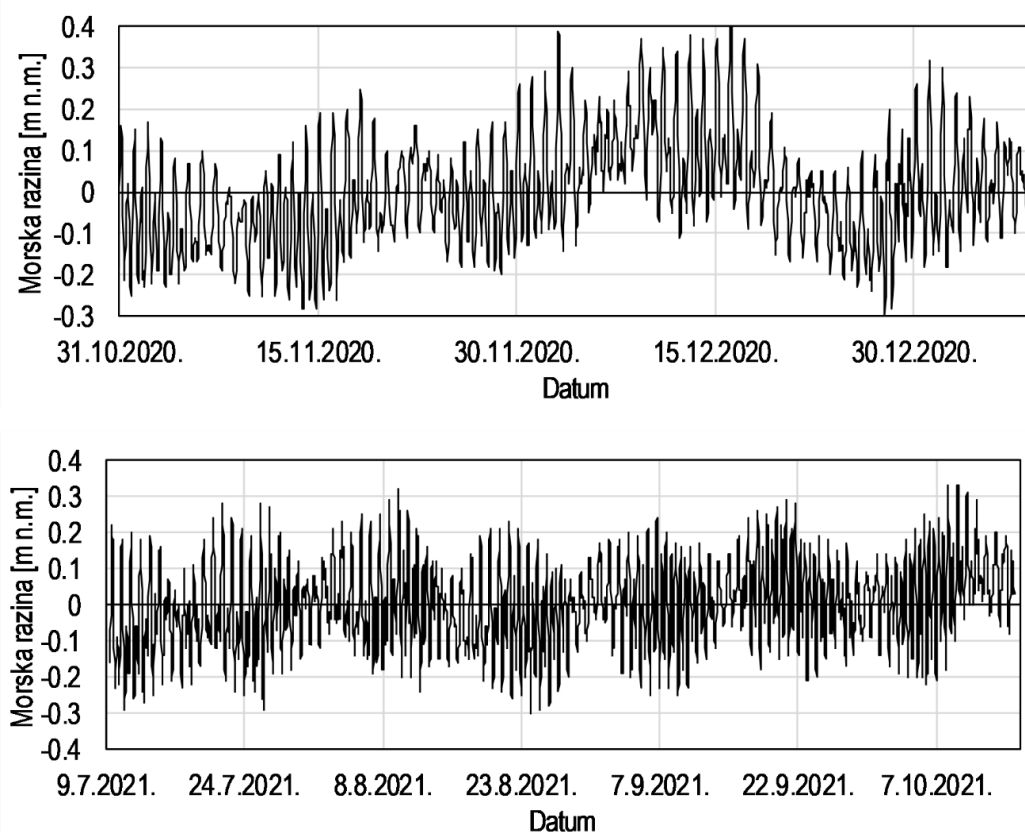
Slika 5-4 Ruža morskih struja u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL2 i dubinama -16 (dolje), -10 (sredina) i -3 [m] (gore)

Rezultati mjerenja strujanja mora na lokaciji ADCP-PL2 (Slika 4-2) u zimskom razdoblju ukazuju na najveće brzine u potpovršinskom sloju u iznosu od 36,5 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] dok u i pridnenom dosežu maksimalne vrijednosti od 31,0 i 20,1 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$], redom. Nadalje, dobivene su prosječne brzine od 7,2, 5,2 i 4,4 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] dok standardne devijacije iznose 4,7, 3,6 i 2,8 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] za potpovršinski, središnji i pridneni sloj, redom. Kao dominantni smjer strujanja u zimskom razdoblju u svim slojevima ističe se NW po učestalosti, a SE po intenzitetu (Slika 5-4, Slika 0-11, Slika 0-12). Najveće brzine strujanja zimskom razdoblju javljaju se

kao posljedica dotoka iz rijeke Neretve uslijed upravljanja hidroelektranama u BiH i pojave vrlo jakog juga i bure (Slika 5-1, Slika 0-1, Slika 4-7).

U ljetnom razdoblju maksimalne brzine iznose u potpovršinskom sloju 27,8 [cm·s⁻¹], središnjem 17,2 [cm·s⁻¹] i pridnenom 16,4 [cm·s⁻¹]. Prosječne brzine iznose 6,4, 5,1 i 3,9 [cm·s⁻¹], a standardne devijacije 3,9, 3,2 i 2,4 [cm·s⁻¹] u potpovršinskom, središnjem i pridnenom sloju, redom. Po učestalosti i intenzitetu dominantan je NW smjer svim slojevima (Slika 5-4, Slika 0-11, Slika 0-13). U ovome razdoblju javljaju se manji protoci rijeke Neretve koja utječe na strujanje u površinskom sloju do -1,0 [m] dubine. Također, uslijed pojave nestabilnosti vodnog stupca i značajnih varijacija u gustoći mora i temperaturi, u ljetnom razdoblju izraženije su gradijentske struje u odnosu na zimsko pri čemu imaju značajan doprinos u stvaranju cirkulacije mora na ovome području.

Osim brzina strujanja u nastavku je prikazana promjena morskih razina za dva razdoblja mjerenja koja su bilježena pomoću senzora tlaka ugrađenog u ADCP. Ovaj je podatak iskorišten za definiranje rubnog uvjeta na otvorenoj granici numeričkog modela cirkulacije mora na predmetnom akvatoriju. S obzirom na to da je razlika između podataka dobivenih na strujomjeru ADCP-PL2 u odnosu na ADCP-PL1 zanemariva, vremenski nizovi morskih razina dani su samo za prvo navedenu lokaciju.



Slika 5-5 Vremenski nizovi morskih razina dobivena na lokaciji ADCP-PL2 za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) razdoblje mjerenja

5.2.1.1 Temperatura i salinitet

U ovome će se poglavlju dati rezultati analize temperature mora mjerene na lokacijama dvaju mjerača strujanja postavljenih u luci Ploče (Slika 4-2). U ovome će se poglavlju dati uvid u rezultate statističke obrade podataka o temperaturama mora mjenima na lokacijama dvaju mjerača strujanja. Vremenski

nizovi, na temelju kojih su izračunate vrijednosti maksimalne, srednje i minimalne temperature, dani su u Prilozima (Slika 0-14).

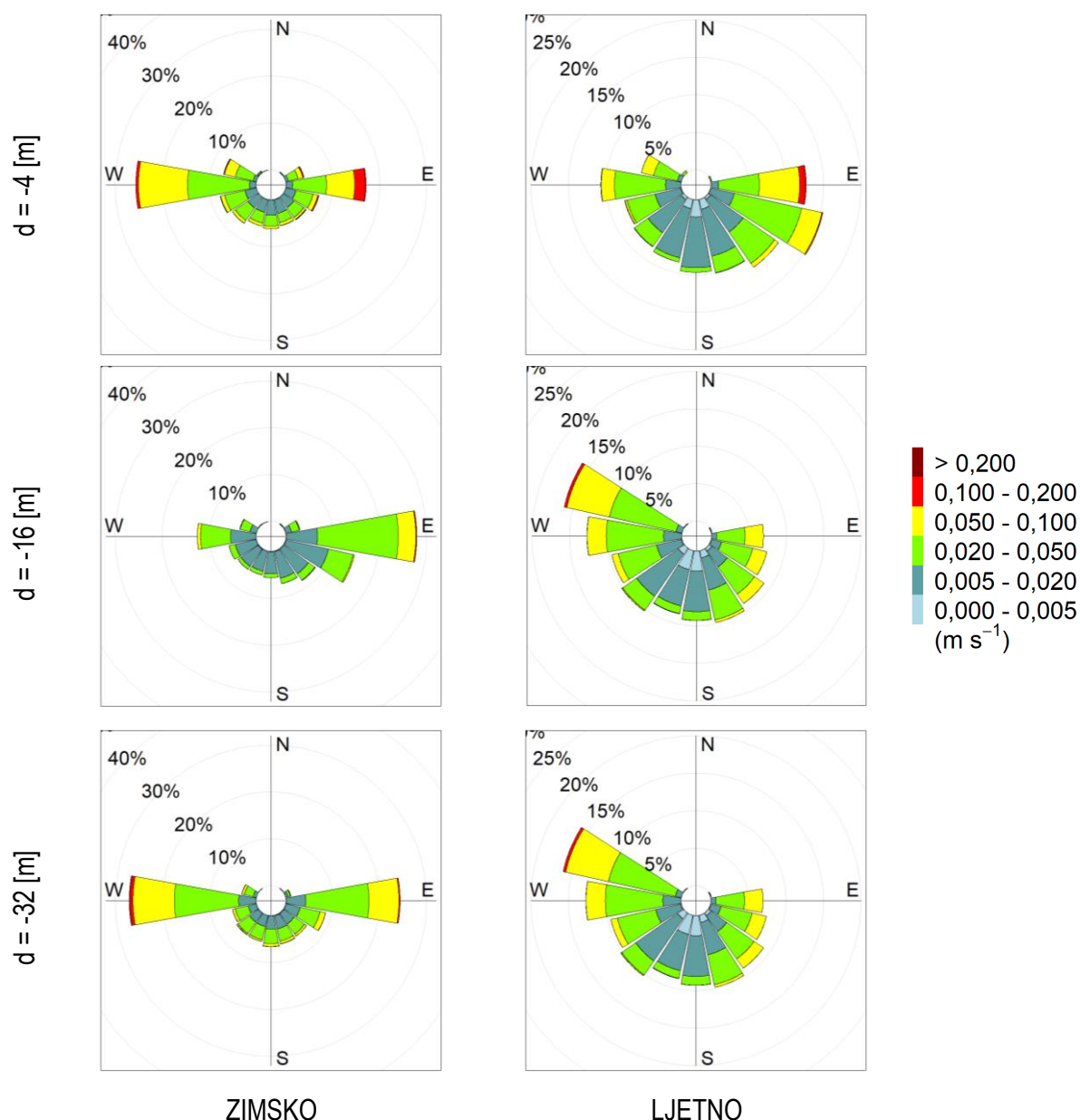
Tablica 5.1 Osnovni statistički parametri izmjerenih temperatura na lokacijama ADCP-PL1 i ADCP-PL2

TEMPERATURA [°C]	ZIMSKO		LJETNO	
	ADCP-PL1	ADCP-PL2	ADCP-PL1	ADCP-PL2
MAKSIMUM	21,4	21,3	24,6	23,1
SREDNJA VRIJEDNOST	18,7	18,5	19,2	20,1
MINIMUM	15,7	15,5	15,9	16,9

5.2.2 Luka Rijeka

5.2.2.1 Morske struje i promjene morske razine

Rezultati mjerenja na dvjema lokacijama prikazani su preko ruže strujanja, progresivnog vektora i vremenskih nizova vektora za tri dubine na ADCP-RI1 (-32 [m] kao pridneni, -16 [m] kao središnje i -4 [m] kao potpovršinski sloj), i ADCP-RI2 (-15 [m] kao pridneni, -10 [m] kao središnji i -2,5 [m] kao potpovršinski sloj) uz prikaz vertikalno usrednjenih trosatnih vrijednosti mjerenih parametara. Ruža strujanja dana je za 4 glavna i 12 sporednih smjerova.

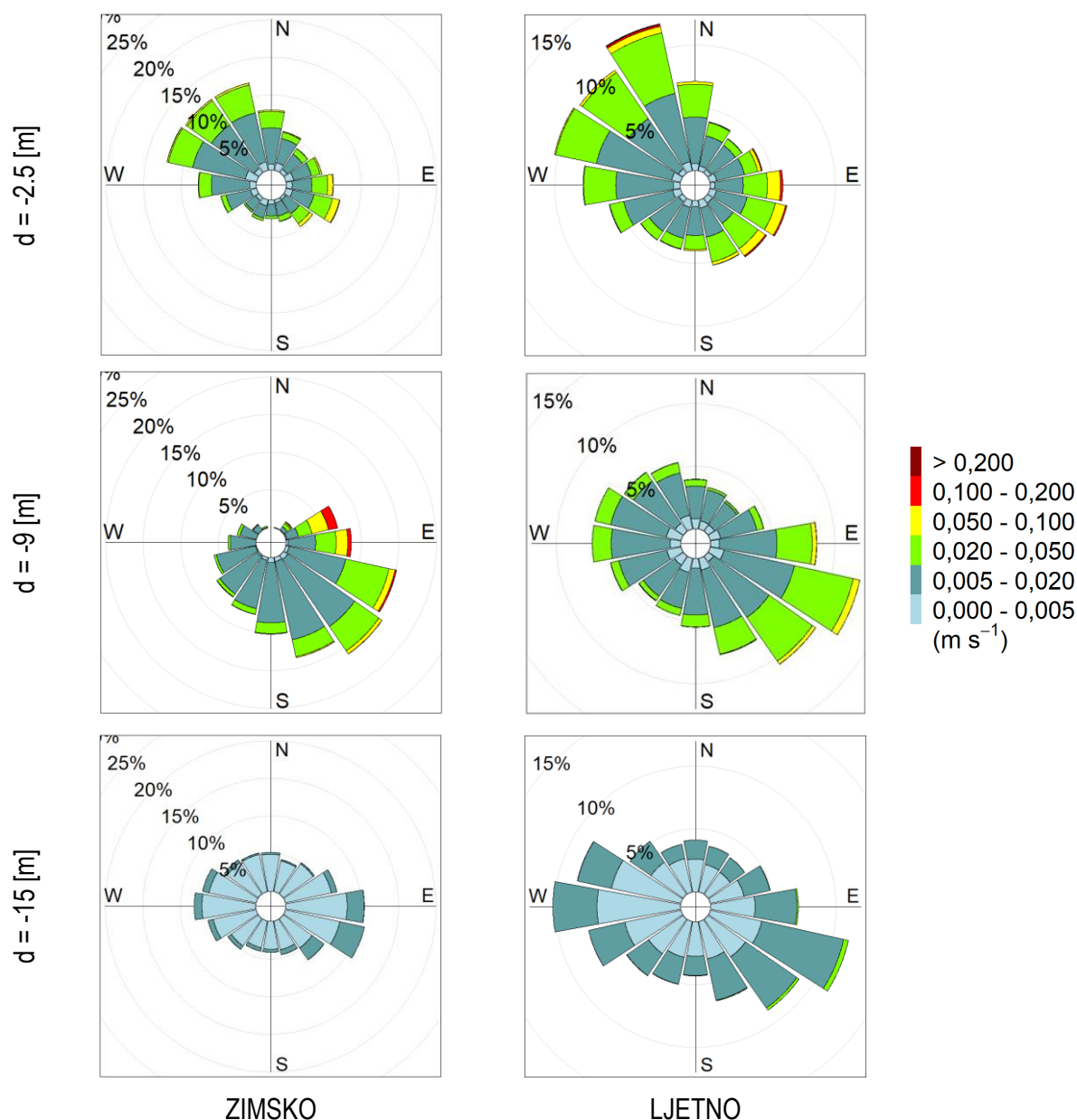


Slika 5-6 Ruža morskih struja u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-RI1 i dubinama -32 (dolje), -16 (sredina) i -4 [m] (gore)

Rezultati mjerenja strujanja mora na lokaciji ADCP-RI1 (Slika 4-3) u zimskom razdoblju ukazuju na najveće brzine u potpovršinskom sloju u iznosu od 21,6 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$], u središnjem 8,3 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] dok u pridnenom dosežu maksimalnu vrijednost od 21,9 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]. Nadalje, dobivene su prosječne brzine od 4,1, 1,5 i 3,5 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] te standardne devijacije od 2,8, 1,2 i 2,2 [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] u potpovršinskom, središnjem i

pridnom sloju, redom. Kao dominantni smjer strujanja u zimskom razdoblju u potpovršinskom i pridnom sloju ističu se E i W po učestalosti i intenzitetu. U središnjem sloju po učestalosti i intenzitetu dominantan je smjer E (Slika 5-6, Slika 0-15, Slika 0-16).

U ljetnom razdoblju maksimalna brzina u potpovršinskom sloju iznosi $21,5 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$, u središnjem $12,1 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ te u pridnom $12,1 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$. Prosječne brzine iznose $2,7$, $2,1$ i $2,9 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$, a standardne devijacije $2,2$, $1,5$ i $2,1 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ u potpovršinskom, središnjem i pridnom sloju, redom. Po učestalosti i intenzitetu u potpovršinskom i središnjem sloju ističe se E i ESE dok u pridnom dominira W i WNW smjer (Slika 5-6, Slika 0-15, Slika 0-17).



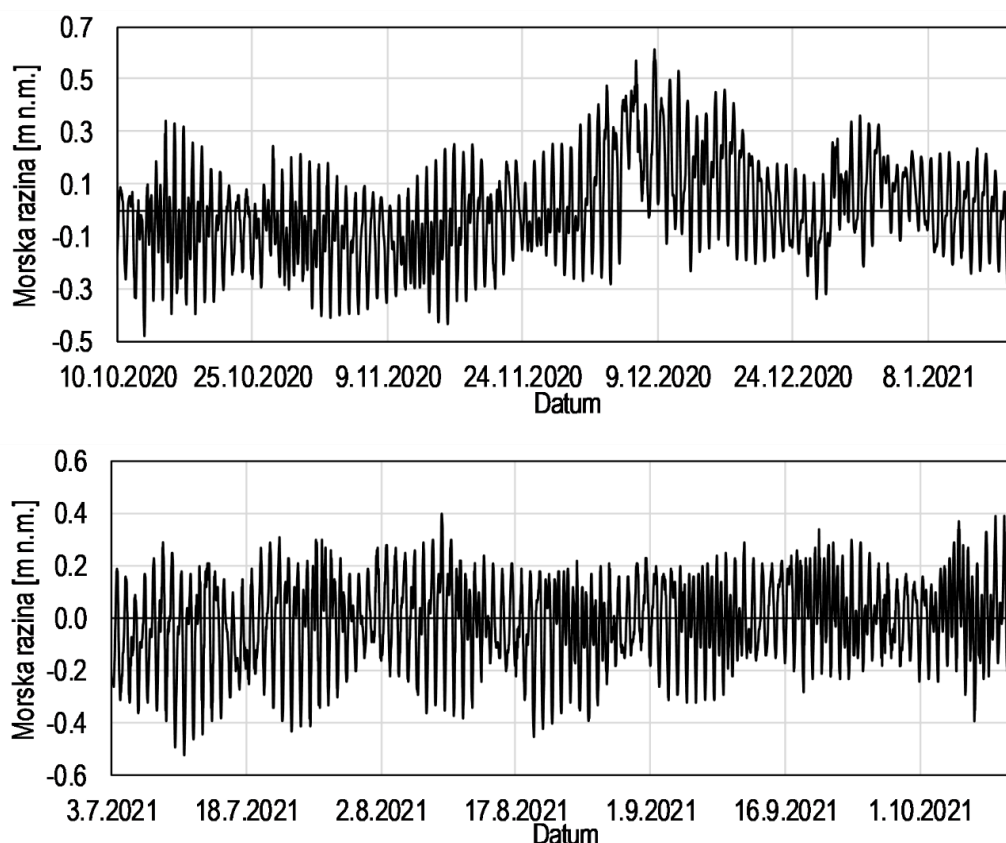
Slika 5-7 Ruža morskih struja u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-RI2 i dubinama -15 (dolje), -9 (sredina) i -2,5 [m] (gore)

Rezultati mjerenja strujanja mora na lokaciji ADCP-RI2 (Slika 4-3) u zimskom razdoblju ukazuju na najveće brzine u središnjem sloju u iznosu od $20,0 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$, zatim u potpovršinskom od $14,5 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$ dok u pridnom dosežu maksimalnu vrijednost $1,9 \text{ [cm}\cdot\text{s}^{-1}]$. Nadalje, dobivene su prosječne brzine od $1,8$,

2,1 i 0,3 [cm·s⁻¹] te standardne devijacije od 1,0, 2,3 i 0,2 [cm·s⁻¹] u potpovršinskom, središnjem i pridnom sloju, redom. Kao dominantni smjer strujanja u zimskom razdoblju u potpovršinskom sloju ističe se SW i W po učestalosti dok po intenzitetu dominira SE smjer. U središnjem sloju po učestalosti dominira SE dok se po intenzitetu ističe NE. U pridnom sloju dominira SE smjer po učestalosti i intenzitetu (Slika 5-7, Slika 0-18, Slika 0-19).

U ljetnom razdoblju maksimalne brzine u potpovršinskom sloju iznosi 10,9 [cm·s⁻¹], u središnjem 6,2 [cm·s⁻¹] te u pridnom 3,6 [cm·s⁻¹]. Prosječne brzine iznose 2,1, 1,6 i 0,5 [cm·s⁻¹], a standardne devijacije 1,2, 0,8 i 0,4 [cm·s⁻¹] u potpovršinskom, središnjem i pridnom sloju, redom. Po učestalosti i intenzitetu u potpovršinskom sloju ističe se WNW dok u središnjem i pridnom dominira ESE smjer (Slika 5-7, Slika 0-18, Slika 0-20).

Osim brzina strujanja u nastavku je prikazana promjena morskih razina za dva razdoblja mjerenja koja su bilježena pomoću senzora tlaka ugrađenog u ADCP. Ovaj je podatak iskorišten za definiranje rubnog uvjeta na otvorenoj granici numeričkog modela cirkulacije mora u predmetnom akvatoriju o čemu će riječ biti nešto kasnije. S obzirom na to da je razlika između podataka dobivenih na strujomjeru ADCP-RI1 u odnosu na ADCP-RI2 zanemariva, vremenski nizovi morskih razina dani su samo za prvo navedenu lokaciju.



Slika 5-8 Vremenski nizovi morskih razina dobivena na lokaciji ADCP-RI1 za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) razdoblje mjerenja

5.2.2.2 Temperatura i salinitet

U ovome će se poglavlju dati uvid u rezultate statističke obrade podataka o temperaturama mora mjerenima na lokacijama dvaju mjeraca strujanja (Tablica 4.1). Vremenski nizovi, na temelju kojih su izračunate vrijednosti maksimalne, srednje i minimalne temperature, dani su u Prilozima (Slika 0-21).

Tablica 5.2 Osnovni statistički parametri izmjerenih temperatura na lokacijama ADCP-PL1 i ADCP-PL2

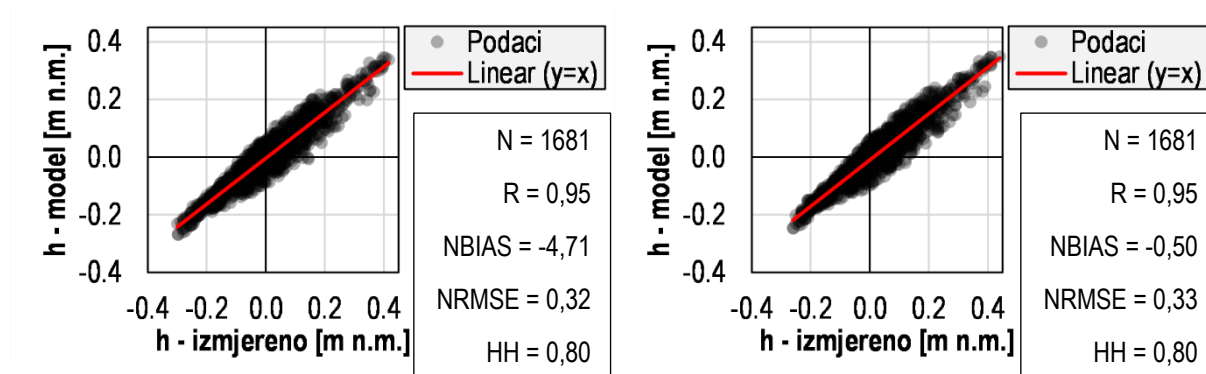
TEMPERATURA [°C]	ZIMSKO		LJETNO	
	ADCP-RI1	ADCP-RI2	ADCP-RI1	ADCP-RI2
MAKSIMUM	19,8	21,4	18,2	23,9
SREDNJA VRIJEDNOST	16,3	16,4	15,4	19,1
MINIMUM	13,0	12,6	13,4	16,7

5.3 Obrada i analiza rezultata simulacija HD modela cirkulacije mora

5.3.1 Šire akvatorijalno područje luke Ploče

5.3.1.1 Kalibracija HD modela

Rezultati modelskih simulacija, u kontekstu kalibracije, analizirani su na pozicijama mjerenja brzina struja, tj. ADCP-PL1 i ADCP-PL2 (vidi Slika 4-2) za ZIMSKO razdoblje. Na poziciji ADCP-PL1 u obzir su uzete dubine -3 i -9 [m] dok su u slučaju ADCP-PL2 prikazani rezultati na dubinama -16, -10 i -3 [m]. Tablično je prikazana usporedba maksimalne, srednje vrijednosti te standardne devijacije brzina strujanja dok su za parametar morske razine zajedno s dijagramom raspršenja dani statistički pokazatelji pouzdanosti R, NBIAS, NRMSE, HH modeliranih u odnosu na izmjerene vrijednosti. Usporedba vremenskih nizova izmjerenih i modelom dobivenih rezultata vezanih uz promjenu razine mora, U i V komponenti brzine strujanja na spomenutim dubinama dani su u Prilozima (Slika 0-22, Slika 0-23 – Slika 0-27).



Slika 5-9 Dijagram raspršenja i statistički pokazatelji pouzdanosti modela koji daju uvid u odnos izmjerenih i modeliranih morskih razina na lokacijama ADCP-PL1 (lijevo) i ADCP-PL2 (desno) u ZIMSKOM razdoblju

Tablica 5.3 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-PL1 na dubinama -3 i -9 [m] u vremenskom razdoblju 31.10.2020.-8.1.2021.

	ADCP-PL1 na dubini -3 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	10,2	13,1
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,2	2,1
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,7	1,9
	ADCP-PL1 na dubini -9 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	7,2	9,7
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,7	1,5
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,2	1,1

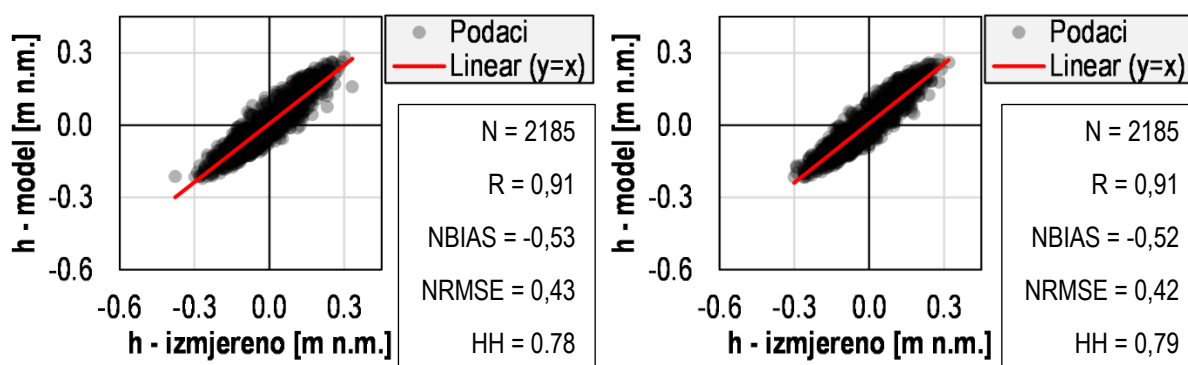
Tablica 5.4 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-PL2 na dubinama -16, -10 i -3 [m] u vremenskom razdoblju 31.10.2020.-8.1.2021.

	ADCP-PL2 na dubini -3 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	35,0	42,6
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	7,2	5,5
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	4,6	4,1
	ADCP-PL2 na dubini -10 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	30,5	30,8
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	5,2	5,6
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,6	4,7
	ADCP-PL2 na dubini -16 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	19,8	19,4
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	4,4	3,8
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,8	3,4

Po završetku kalibracije usvojeni su sljedeći modelski parametri. Koeficijenti turbulentne disperzije za skalarna polja temperature i saliniteta definirani su faktorima proporcionalnosti u vertikalnom smjeru (usvojeno 0,1) i horizontalnom smjeru (usvojeno 1,0). Faktori proporcionalnosti u horizontalnom i vertikalnom smjeru za polja k i ε usvojeni su s vrijednostima 1 (k) i 1,3 (ε), redom. Hrapavost dna i Smagorinsky koeficijent u modelu su usvojeni kao prostorno homogeni s vrijednostima 0,005 [m] i 0,28, redom. U modelskim simulacijama za koeficijent povlačenja vjetra usvojena je vrijednost 0,00245 (Wu, 1994.).

5.3.1.2 Validacija HD modela

Validacija HD modela provedena je za LJETNO simulacijsko razdoblje, a rezultati su prikazani istovjetno onome što je prezentirano u prethodnom poglavlju (5.3.1.1). Grafički je dana usporedba vremenskih nizova izmjerenih i modelom dobivenih morskih razina, U i V komponenti strujanja za različite dubine na lokacijama ADCP-PL1 i ADCP-PL2 (poglavlje Prilozi, Slika 0-28, Slika 0-29 – Slika 0-33) te osnovni statistički parametri vezani uz resultantne brzine strujanja (Tablica 5.5, Tablica 5.6). Istovjetno prikazu rezultata kalibracije, za morske će se razine dati se statistički pokazatelji pouzdanosti modela R, NBIAS, NRMSE, HH uz dijagram raspršenja modeliranih u odnosu na izmjerene vrijednosti.



Slika 5-10 Dijagram raspršenja i statistički pokazatelji pouzdanosti modela koji daju uvid u odnos izmjerenih i modeliranih morskih razina na lokacijama ADCP-PL1 (lijevo) i ADCP-PL2 (desno) u LJETNOM razdoblju

Tablica 5.5 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-PL1 na dubinama -3 i -9 [m] u vremenskom razdoblju 9.7.-14.10.2021.

	ADCP-PL1 na dubini -3 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [cm·s ⁻¹]	11,6	11,8
SREDNJA BRZINA [cm·s ⁻¹]	2,6	3,3
STANDARDNA DEVIJACIJA [cm·s ⁻¹]	1,7	2,4
	ADCP-PL1 na dubini -9 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [cm·s ⁻¹]	7,3	6,7
SREDNJA BRZINA [cm·s ⁻¹]	1,8	2,1
STANDARDNA DEVIJACIJA [cm·s ⁻¹]	1,1	1,3

Tablica 5.6 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-PL2 na dubinama -16, -10 i -3 [m] u vremenskom razdoblju 9.7.-14.10. 2021.

	ADCP-PL2 na dubini -3 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	27,8	24,8
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	6,4	7,4
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,9	4,2
	ADCP-PL2 na dubini -10 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	17,2	21,7
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	5,1	4,5
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,2	3,1
	ADCP-PL2 na dubini -16 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	16,4	13,4
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,9	2,7
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,4	1,8

Na lokaciji ADCP-PL1 u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (kalibracija) za obje dubine (-3 i -9 [m]) model daje veće maksimalne brzine u odnosu na mjerenje dok su srednja brzina i standardna devijacija približno jednake (Tablica 5.3). U LJETNOM razdoblju (validacija, Tablica 5.5) na dubini -3 [m] maksimalne brzine su približno jednake dok srednja brzina i standardna devijacija veće za izmjerene vrijednosti u odnosu na modelirane. Na dubini -9 [m] model u ovome simulacijskom razdoblju daje veće maksimalne vrijednosti u odnosu na mjerenja dok su srednja brzina i standardna devijacija približno jednake. Rezultati dobiveni u ZIMSKOM razdoblju na lokaciji ADCP-PL2 (Tablica 5.4) ukazuju na veće vrijednosti modelom dobivene maksimalne brzine na dubini -3 [m] u odnosu na izmjerene vrijednosti dok je na -10 i -16 [m] dobiveno manje odstupanje. Nadalje, modelom dobivena srednja brzina najpouzdanija je za dubinu -10 [m] dok na dubinama -3 i -16 [m] model podcjenjuje ovaj statistički parametar u odnosu na mjerenja. Standardna devijacija modelom dobivenih rezultata manja je na dubinama -16 i -3 [m] dok je na -10 [m] veća u odnosu na ovaj parametar izračunat za izmjerene brzine. U LJETNOM simulacijskom razdoblju (Tablica 5.6) model daje manje maksimalne i srednje brzine na dubinama -16 i -3 [m] dok na dubini -10 [m] ovi statistički parametri poprimaju veće vrijednosti u odnosu na mjerenja. Standardna devijacija modeliranih rezultata manja je na dubini -16 [m], približno jednaka na dubini -10 [m] te veća na dubini -3 [m] u odnosu na mjerenja brzine strujanja. U konačnici, može se utvrditi da je pouzdano simuliran smjer strujanja ovisno o dominantnom generatoru gibanja morske mase (plimne oscilacije, promjena morske razine, vjetar, slatkovodni dotok).

5.3.1.3 Polja strujanja za karakteristične situacije

U nastavku su izdvojene karakteristične situacije u dvama simulacijskim razdobljima za koje će se dati polja strujanja dobivena HD modelom cirkulacije mora u širem akvatorijalnom području luke Ploče. Karakteristične su situacije podijeljene na one intenzivne i prosječne cirkulacije mora.

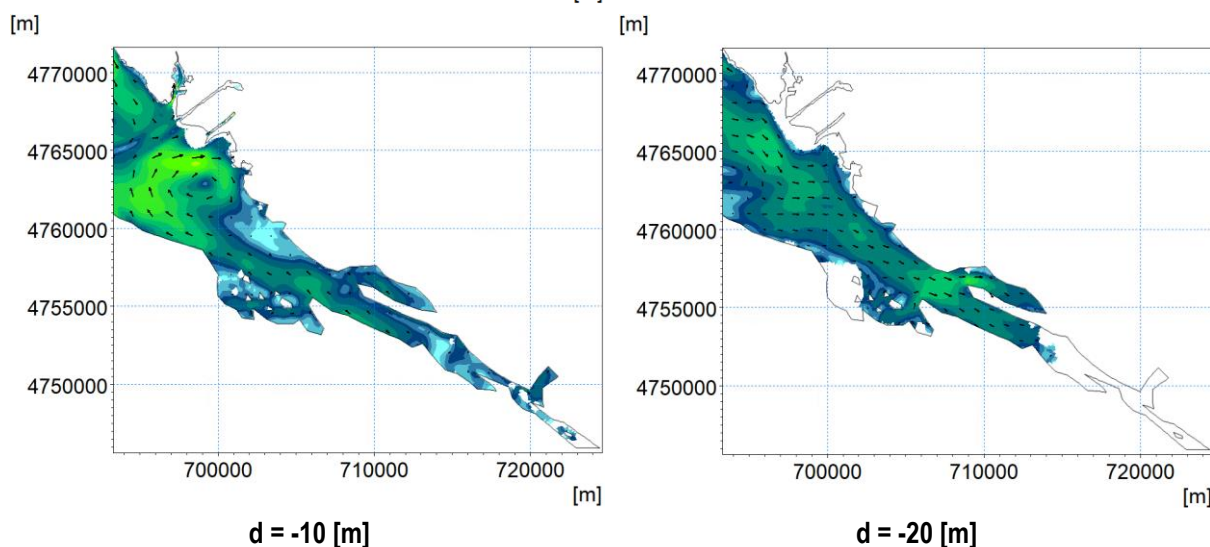
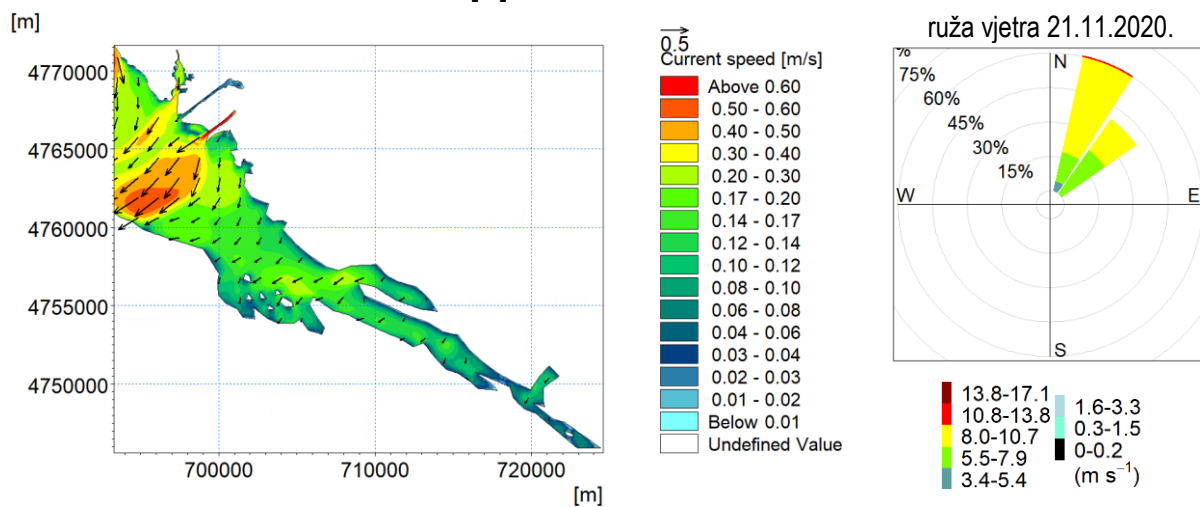
Intenzivne situacije cirkulacije mora odnose se na razdoblja u kojima je došlo do pojave intenzivnoga vjetrova i/ili značajnog dotoka rijeke Neretve i/ili iz Baćinskih jezera, a karakterizira ih rijetka pojavnost tijekom godine. Generalno, u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju očekuju se i intenzivniji vjetrovi i veći protoci dok je u LJETNOM vjetar dominantni generator intenzivne cirkulacije unutar analizirane prostorne domene. Sama metoda odabira situacija intenzivne cirkulacije mora provedena je vizualno na temelju pregleda rezultata simulacije te uvida u strujanje u površinskome modelskom sloju. Upravo je u ovome sloju najizraženiji utjecaj vjetrova i slatkovodnoga dotoka. Odabir je uključio trenutke simulacije u kojima je strujanje u ovome modelskom sloju približno istoga smjera na čitavoj prostornoj domeni modela.

Osim intenzivnih, razmotrene su situacije prosječne cirkulacije mora koja se javlja uslijed prosječnih okolišnih uvjeta u pojedinom razdoblju simulacije. Upravo se ove situacije mogu očekivati u većem dijelu godine. Pri analizi prosječnih okolišnih uvjeta za oba su razdoblja simulacije uzete vrijednosti medijana okolišnih parametara u razdoblju dostupnih ulaznih podataka. Djelovanje prosječnoga vjetrova definirano je medijanom brzine najučestalijeg vjetrova izmjerene na m.p. Ploče (smjer E, Slika 5-1, Tablica 0.8) koji je za razdoblje 1.10.2020.-1.11.2021. jednak $v_{t50\%,E} = 1,6 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$. Nadalje, utjecaj slatkovodnoga dotoka rijeke Neretve približno odgovara medijanu protoka zabilježenom na h.p. Metković u ranije spomenutom razdoblju i jednak je $Q_{\text{Metković},t50\%} = 212,4 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$. Posljednji parametar odnosi se na odabir protoka iz Baćinskih jezera koji približno odgovara medijanu protoka na h.p. Šipak u $Q_{\text{Šipak},t50\%} = 2,1 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ izračunatom za razdoblje 1.1.1973.-31.12.2021. Za LJETNO su razdoblje prosječna polja cirkulacije mora, osim za vjetar iz smjera E, dodatno prikazana za drugi najučestaliji vjetar (smjer W) s medijanom od $v_{t50\%,W} = 4,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ izračunatim za navedeno razdoblje dostupnih ulaznih podataka (1.10.2020.-1.11.2021.). Valja napomenuti da je u ovome razdoblju dotok iz Baćinskih jezera zanemariv dok su protoci na h.p. Metković reda veličine ranije spomenutoga medijana. U okviru pojedinoga simulacijskog razdoblja izdvojena su i u poglavlju Prilozi prikazana polja modelirane prosječne cirkulacije mora u trenutku pojave ranije opisanih prosječnih okolišnih uvjeta.

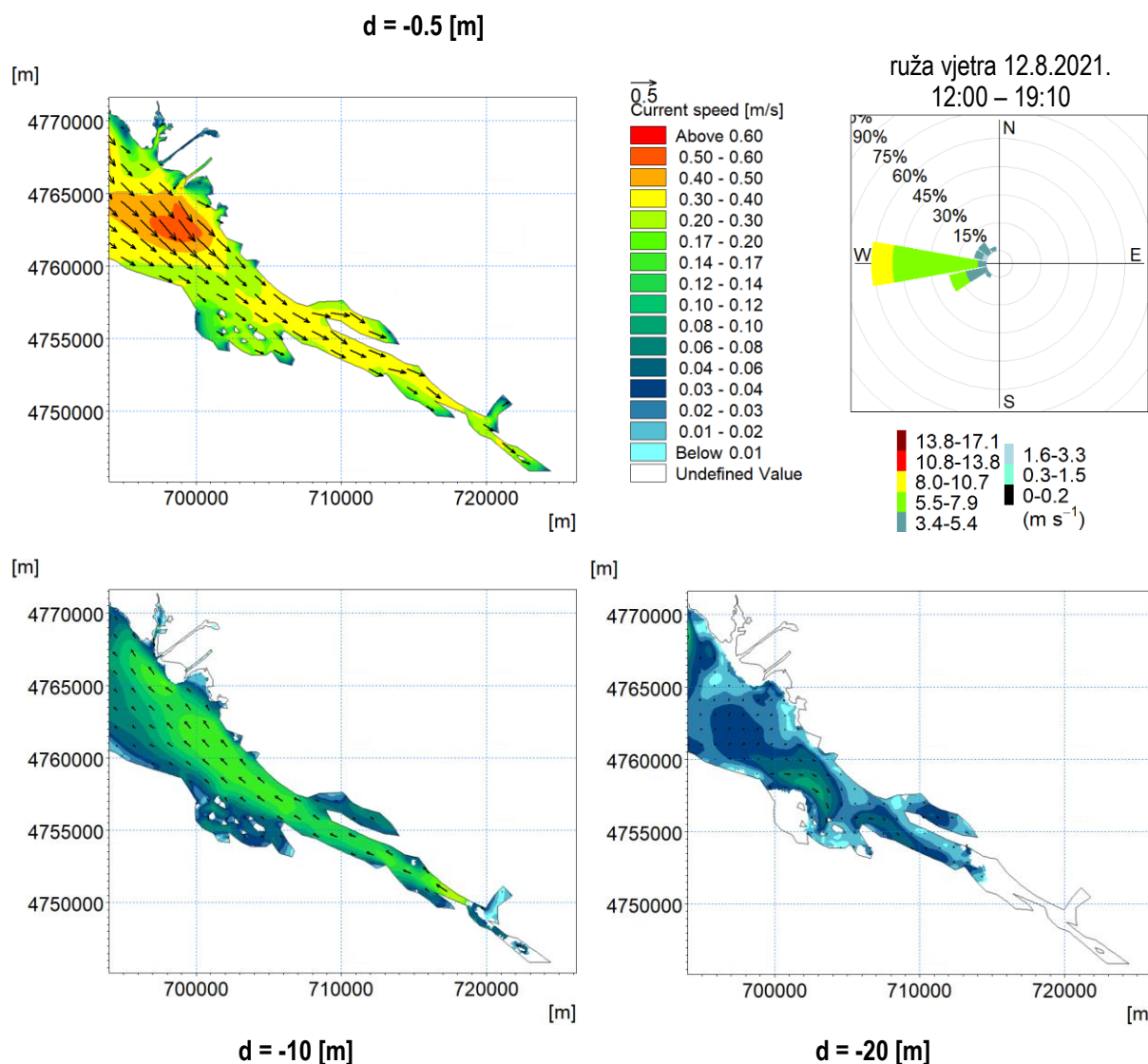
Za oba tipa karakterističnih situacija polja strujanja prikazana su za površinski modelski sloj (dubina -0,5 [m]), središnji sloj (dubina -10 [m]) i pridneni sloj (dubina -20 [m]). U nastavku ovoga poglavlja izdvojene su dvije situacije intenzivne cirkulacije mora bez značajnoga slatkovodnog dotoka. Prva situacija intenzivne cirkulacije odnosi se na ZIMSKO razdoblje simulacije i vezana je uz djelovanje NNE-NE vjetrova s maksimalnom brzinom puhanja od $10,9 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ (Slika 5-11). Druga se situacija polja intenzivne cirkulacije, bez prisustva značajnoga slatkovodnog dotoka, odnosi na djelovanje W vjetrova u LJETNOM simulacijskom razdoblju s brzinom puhanja od $8,3 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ (Slika 5-12). Također, izdvojeno je polje intenzivne cirkulacije mora koje se javlja u slučaju koincidencije intenzivnoga vjetrova i značajnoga slatkovodnog dotoka. Dan je prikaz cirkulacije mora za tri modelska sloja za vrijeme S-SSE vjetrova s maksimalnom brzinom puhanja $14,8 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, protoka iz Baćinskih jezera od $44,4 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ i rijeke Neretve od $1016,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ (Slika 5-13). Sve ostale izdvojene situacije intenzivne i prosječne cirkulacije mora dane su u Prilozima (vidi C.I.iii).

5.3.1.3.1 Situacije intenzivne cirkulacije mora – polja strujanja za dominantno djelovanje vjetra bez značajnoga slatkovodnog dotoka

$d = -0.5$ [m]



Slika 5-11 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera NNE, $v_{\max} = 10,9$ [m·s⁻¹], $Q_{\text{Metković}} = 161$ [m³·s⁻¹], $Q_{\text{Šipak}} = 1,5$ [m³·s⁻¹] na datum 21.11.2020. u 5:00



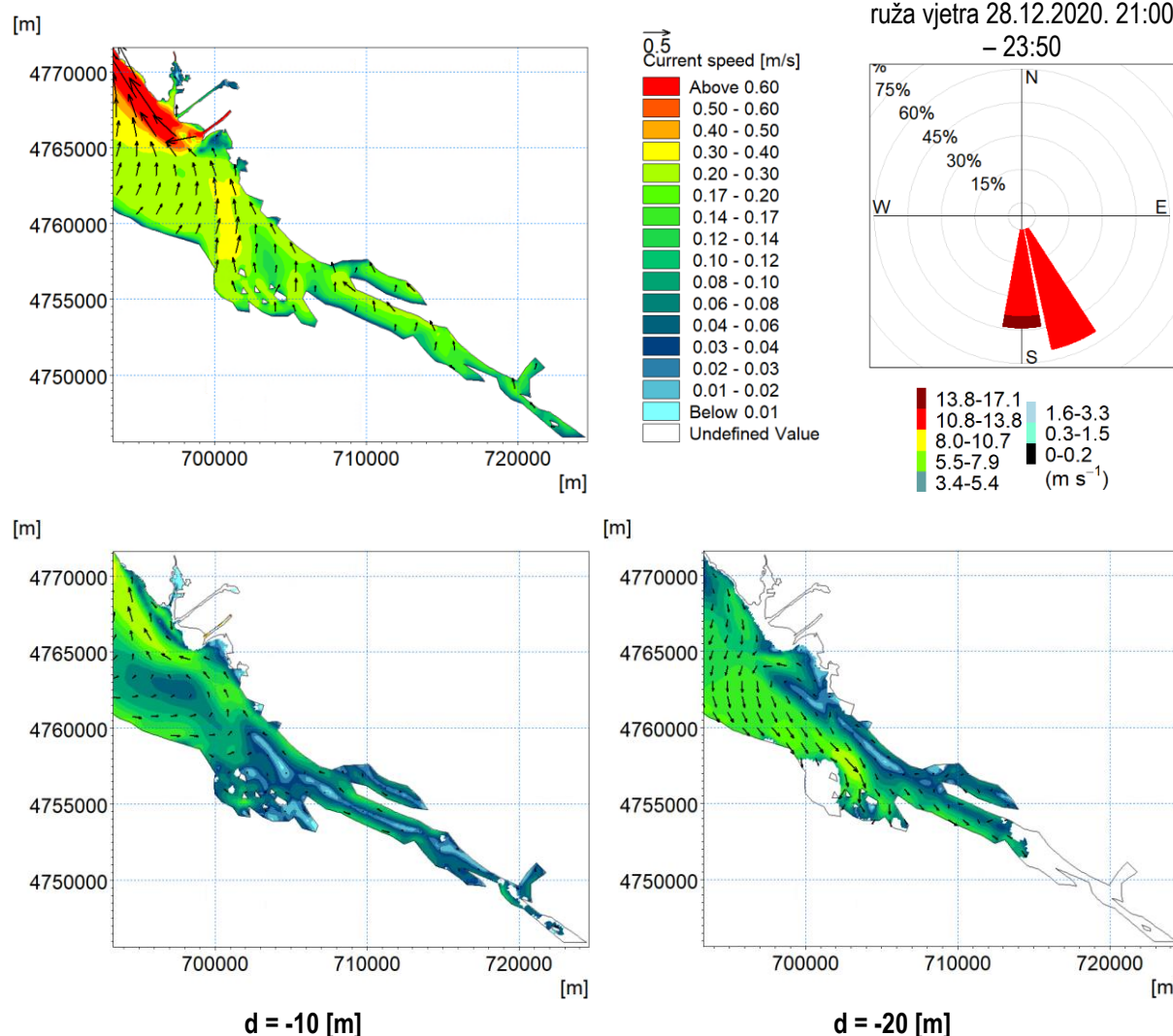
Slika 5-12 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera W, $v_{\max} = 8,3 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 91,5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 0,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 12.8.2021. u 16:00

Slika 5-11 daje uvid u obrazac strujanja na različitim dubinama na prostornoj domeni koje se javlja pri djelovanju NNE-NE vjetra. Upravo je NNE (uz SSE) jedan od dva smjera za koje se u ZIMSKOM razdoblju mogu očekivati najveće brzine puhanja i, posljedično, najveće brzine strujanja mora u predmetnom akvatoriju. Istovjetna nit vodilja uzeta je u obzir pri izdvajanju W vjetra za koji se mogu očekivati najveće brzine puhanja i strujanja mora u LJETNOM razdoblju.

Utvrđeno je da se izdvojene situacije mogu smatrati važećima za pojavu brzina vjetra približno jednakih ili većih od 90%-tnog percentila koji iznosi $5,3 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ (gledano za sve smjerove). Također, na temelju pregleda dinamike cirkulacije mora utvrđeno je da je vjetar dominantan okolišni parametar koji utječe na smjer intenzivnoga strujanja na čitavoj domeni. Detaljan opis utjecaja pojedinoga smjera intenzivnoga vjetra na formiranje polja strujanja dan je u Prilozima (vidi C.I.iii-3).

5.3.1.3.2 Situacija intenzivne cirkulacije mora – polja strujanja pri koincidenciji djelovanja vjetra i značajnoga slatkovodnog dotoka

$d = -0.5$ [m]



Slika 5-13 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera S, $v_{max} = 14,8$ [$m \cdot s^{-1}$], $Q_{Metković} = 1016,0$ [$m^3 \cdot s^{-1}$], $Q_{Šipak} = 44,4$ [$m^3 \cdot s^{-1}$] na datum 28.12.2020. u 23:00

Što se tiče utjecaja slatkovodnoga dotoka, dinamika protoka na h.p. Metković dominantno je pod utjecajem režima upravljanja hidroelektranama u BiH o čemu ovisi i pojavnost velikih protoka. Generalno, utjecaj dotoka iz rijeke Neretve povećava brzine strujanja pri djelovanju vjetrova iz smjerova ENE, E, ESE, SE, SSE i S (Slika 5-13, Slika 0-38, Slika 0-40, Slika 0-41). Pri pojavi ostalih smjerova vjetar značajno nadvladava djelovanje značajnoga slatkovodnog dotoka što je posebice izraženo za intenzivni SW vjetar (Slika 0-39) pri čemu se u području neposredno W od ušća javljaju manje brzine strujanja u odnosu na ostale analizirane situacije intenzivne cirkulacije.

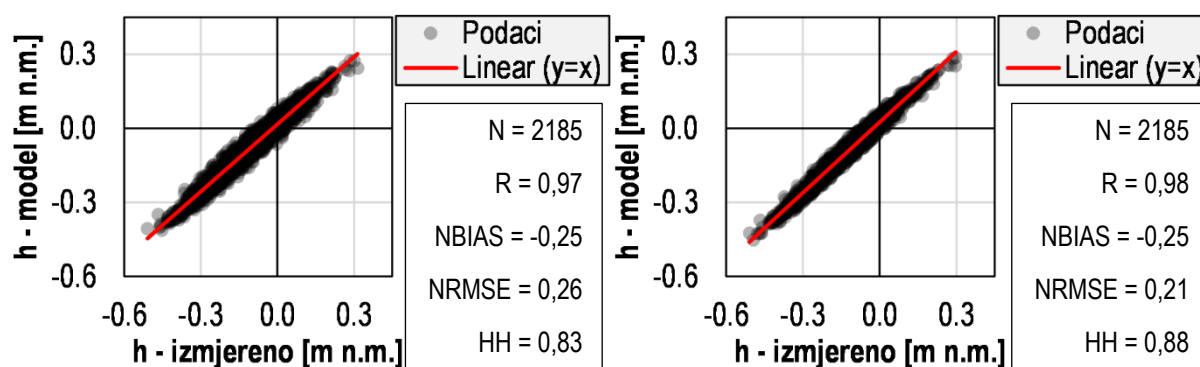
Sličan je obrazac prisutan i pri analizi strujanja u površinskom sloju kada se promatra utjecaj dotoka iz Baćinskih jezera na cirkulaciju mora u području od ušća kanala prema Neretvanskome kanalu. U slučaju koincidencije s vjetrom iz smjera N, NNE, NE i ENE dolazi do povećanja brzina strujanja u površinskom sloju ovoga dijela domene i iznošenja morske mase prema otvorenome moru. Pri pojavi SSW, S, SSE vjetra može očekivati pojačano unošenje morske mase u površinskom sloju prema ušću kanala iz

Bačinskih jezera. Pri pojavi vjetra iz ostalih smjerova slatkovodni dotok dominira u formiranju strujanje površinskog sloja u SSW smjeru (prema otvorenom moru) ukoliko je protok na h.p. Šipak veći ili jednak $10,6 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$. Istovjetno ranije opisanome, ostali obrasci cirkulacije mora nastale kao posljedica koincidencije intenzivnoga vjetra i značajnoga slatkovodnog dotoka opisani su u poglavlju Prilozi (vidi C.I.iii).

5.3.2 Luka Rijeka

5.3.2.1 Kalibracija hidrodinamičkog modela

Rezultati modelskih simulacija u kontekstu kalibracije modela analizirani su za lokacije mjerenja brzina struja, tj. ADCP-RI1 i ADCP-RI2. Na lokaciji ADCP-RI1 u obzir su uzete dubine -3, -16 i -30 [m] dok su u slučaju ADCP-RI2 prikazani rezultati na dubinama -15, -7 i -1,5 [m]. Usporedba vremenskih nizova izmjerenih i modelom dobivenih morskih razina, U i V komponenti brzine strujanja na spomenutim dubinama dane su grafički u Prilozima (Slika 0-44, Slika 0-45 – Slika 0-50). Tablično su u nastavku prikazane maksimalne, srednje te standardne devijacije izmjerenih i modelom dobivenih brzina strujanja. Za parametar morske razine prikazat će se statistički pokazatelji pouzdanosti modela R, NBIAS, NRMSE, HH uz dijagram raspršenja modelskih rezultata u odnosu na mjerenja.



Slika 5-14 Dijagram raspršenja i statistički pokazatelji pouzdanosti modela koji daju uvid u odnos izmjerenih i modeliranih morskih razina na lokacijama ADCP-RI1 (lijevo) i ADCP-RI2 (desno) u ZIMSKOM razdoblju

Tablica 5.7 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-RI1 na dubinama -3, -16 i -30 [m] u vremenskom razdoblju 10.10.2020.-9.1.2021.

	ADCP-RI1 na dubini -3 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	14,1	17,7
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,3	2,6
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,9	2,2
	ADCP-RI1 na dubini -16 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	8,3	10,7
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,5	1,5
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,2	1,1
	ADCP-RI1 na dubini -30 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	16,4	16,5
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,7	3,3
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,4	2,6

Tablica 5.8 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-RI2 na dubinama -15, -7 i -1.5 [m] u vremenskom razdoblju 10.10.2020.-9.1.2021.

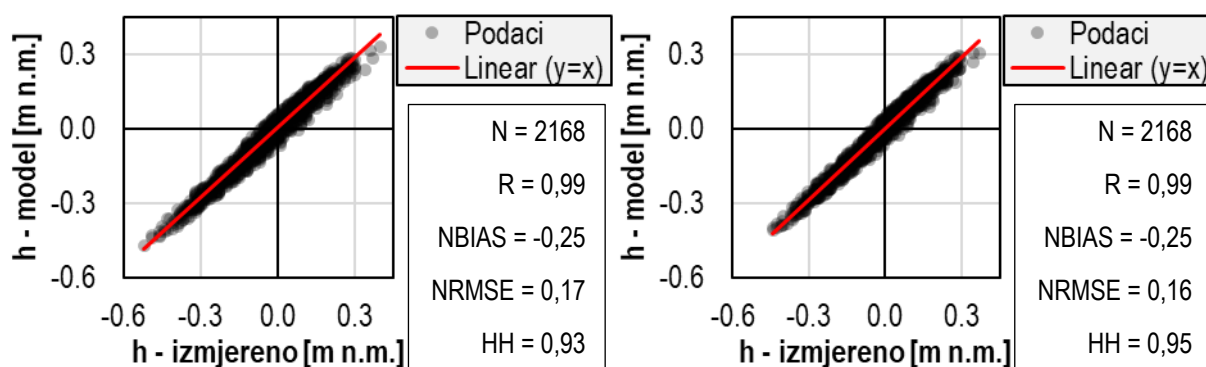
	ADCP-RI2 na dubini -1,5 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	7,7	8,0
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,3	1,6
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,1	0,9
	ADCP-RI2 na dubini -7 [m]	
	mjereno	modelirano
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,2	3,3
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,5	0,5
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,4	0,5
	ADCP-RI2 na dubini -15 [m]	
	mjereno	modelirano
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,9	1,7
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,3	0,2
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,2	0,2

Po završetku kalibracije modela usvojeni su sljedeći modelski parametri. Koeficijenti turbulentne disperzije za skalarna polja temperature i saliniteta definirani su faktorima proporcionalnosti u vertikalnom smjeru (usvojeno 0,9) i horizontalnom smjeru (usvojeno 0,12). Faktori proporcionalnosti u horizontalnom vertikalnom smjeru za polja k i ε usvojeni su s vrijednostima 1 (k) i 1,3 (ε), redom. Hrapavost dna i Smagorinsky koeficijent u modelu su usvojeni kao prostorno homogeni s vrijednostima 0,001 [m] i 0,2. U

modelskim simulacijama za koeficijent povlačenja vjetra usvojena je vrijednost 0,003 što se u ranijim istraživanjima pokazala kao adekvatna vrijednost za manje zatvorene bazene (Paugan i sur., 2021.).

5.3.2.2 Validacija hidrodinamičkog modela

Validacija 3D HD modela provedena je za LJETNO simulacijsko razdoblje, a rezultati su prikazani istovjetno onome što je prezentirano u poglavlju 5.3.1.1. Grafički je dana usporedba vremenskih nizova izmjerenih i modelom dobivenih U i V komponenti strujanja za različite dubine na lokacijama ADCP-RI1 i ADCP-RI2 (Slika 0-51, Slika 0-52-Slika 0-57) te osnovni statistički parametri vezani uz rezultantne brzine strujanja (Tablica 5.9, Tablica 5.10).



Slika 5-15 Dijagram raspršenja i statistički pokazatelji pouzdanosti modela koji daju uvid u odnos izmjerenih i modeliranih morskih razina na lokacijama ADCP-RI1 (lijevo) i ADCP-RI2 (desno) u LJETNOM razdoblju

Tablica 5.9 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-RI1 na dubinama -3, -16 i -30 [m] u vremenskom razdoblju 3.7.-1.10.2021.

	ADCP-RI1 na dubini -3 [m]	
	mjereno	modelirano
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	24,4	22,7
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,3	4,4
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,2	3,4
	ADCP-RI1 na dubini -16 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	11,5	14,8
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,3	2,3
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,7	1,9
	ADCP-RI1 na dubini -30 [m]	
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	12,7	18,9
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,2	3,3
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,2	2,5

Tablica 5.10 Osnovni statistički parametri izmjerenih i modeliranih morskih struja za poziciju ADCP-RI2 na dubinama -15, -7 i -1.5 [m] u vremenskom razdoblju 3.7.-1.10.2021.

ADCP-RI2 na dubini -1.5 [m]		
	Mjereno	modelirano
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	14,0	8,5
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,0	2,3
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,7	1,3
ADCP-RI2 na dubini -7 [m]		
	Mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,2	3,8
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,6	0,7
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,4	0,6
ADCP-RI2 na dubini -15 [m]		
	mjerenje	model
MAKSIMALNA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,6	1,2
SREDNJA BRZINA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,5	0,3
STANDARDNA DEVIJACIJA [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,4	0,2

Pregledom dobivenih rezultata modela može se utvrditi da su na lokacijama ADCP-RI1 i ADCP-RI2 dobiveni zadovoljavajući rezultati (Slika 0-45-Slika 0-57, Tablica 5.7-Tablica 5.10). Usporedbom vremenskih nizova izmjerenih i modeliranih U i V komponenti brzina strujanja može se utvrditi da je adekvatno simuliran trend koji se javlja u mjerenjima što, u konačnici, dovodi do zaključka da je pouzdano simuliran smjer strujanja.

Na lokaciji ADCP-RI1 u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (kalibracija) model daje veće maksimalne brzine u potpovršinskom i središnjem sloju (-3 i -16 [m]) dok su u pridnenom sloju dobivene približno jednake izmjerenim vrijednostima. U LJETNOM razdoblju (validacija) dobivene su manje modelirane maksimalne brzine na dubini -3 [m] dok na dubinama -16 i -30 [m] model daje veće vrijednosti u odnosu na mjerenja. Značajnije razlike srednje brzine primijećene su za pridneni sloj (-30 [m]) u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju dok u potpovršinskom (-3 [m]) i središnjem (-16 [m]) nema značajnih razlika što se ovoga statističkog parametra tiče. Standardne devijacije modeliranih i izmjerenih brzina strujanja približno su jednake na svim analiziranim dubinama. Nadalje, u validacijskom razdoblju najveća razlika modelom dobivene srednje brzine u odnosu na mjerenja prisutna je za potpovršinski sloj gdje model precjenjuje ovaj statistički parametar. U središnjem i pridnenom sloju dobivene su približno jednake vrijednosti. Standardne devijacije modeliranih ne odstupaju značajno u odnosu na izmjerene brzine na svim dubinama za LJETNO simulacijsko razdoblje.

Rezultati dobiveni u ZIMSKOM razdoblju na lokaciji ADCP-RI2 ukazuju na veće vrijednosti modelom dobivene maksimalne brzine na dubini -1,5 [m] u odnosu na izmjerene vrijednosti dok su na -7 i -15 [m] dobivene približno jednake vrijednosti. Nadalje, najpouzdanija vrijednost srednje brzine dobivene na temelju modelskih rezultata ostvarena je na dubini -7 [m]. Na dubini -1,5 [m] model daje veću, a na -15 [m] manju srednju brzinu strujanja u odnosu na mjerenja. Standardna devijacija modelom dobivenih

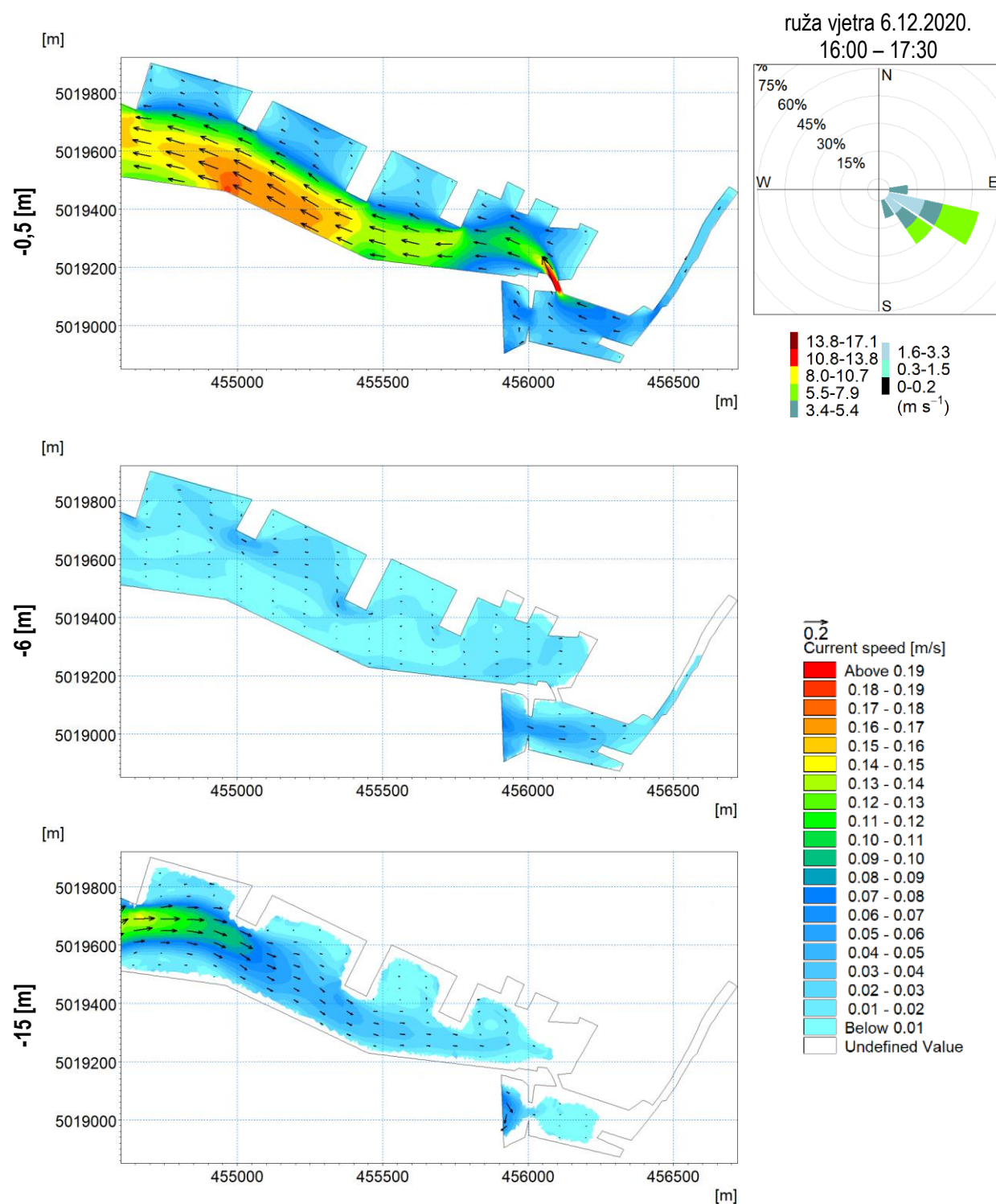
rezultata približno je jednaka za sve dubine u odnosu na ovaj parametar izračunat za izmjerene brzine strujanja. U LJETNOM simulacijskom razdoblju model daje značajno manje maksimalne brzine u potpovršinskom (-1,5 [m]) i pridnom sloju (-15 [m]) dok su veće brzine ostvarene u središnjem sloju (-7 [m]) u odnosu na mjerenja. Srednja brzina dobivena na temelju rezultata simulacija približno je jednaka za sve dubine u odnosu na mjerenja pri čemu model daje nešto veće vrijednosti u potpovršinskom i središnjem, odnosno manje u pridnom sloju. Standardna devijacija modelskih brzina strujanja veća je u potpovršinskom manja je u potpovršinskom i pridnom sloju dok je u središnjem nešto veća u odnosu na izmjerene vrijednosti.

5.3.2.3 Polja strujanja za karakteristične situacije

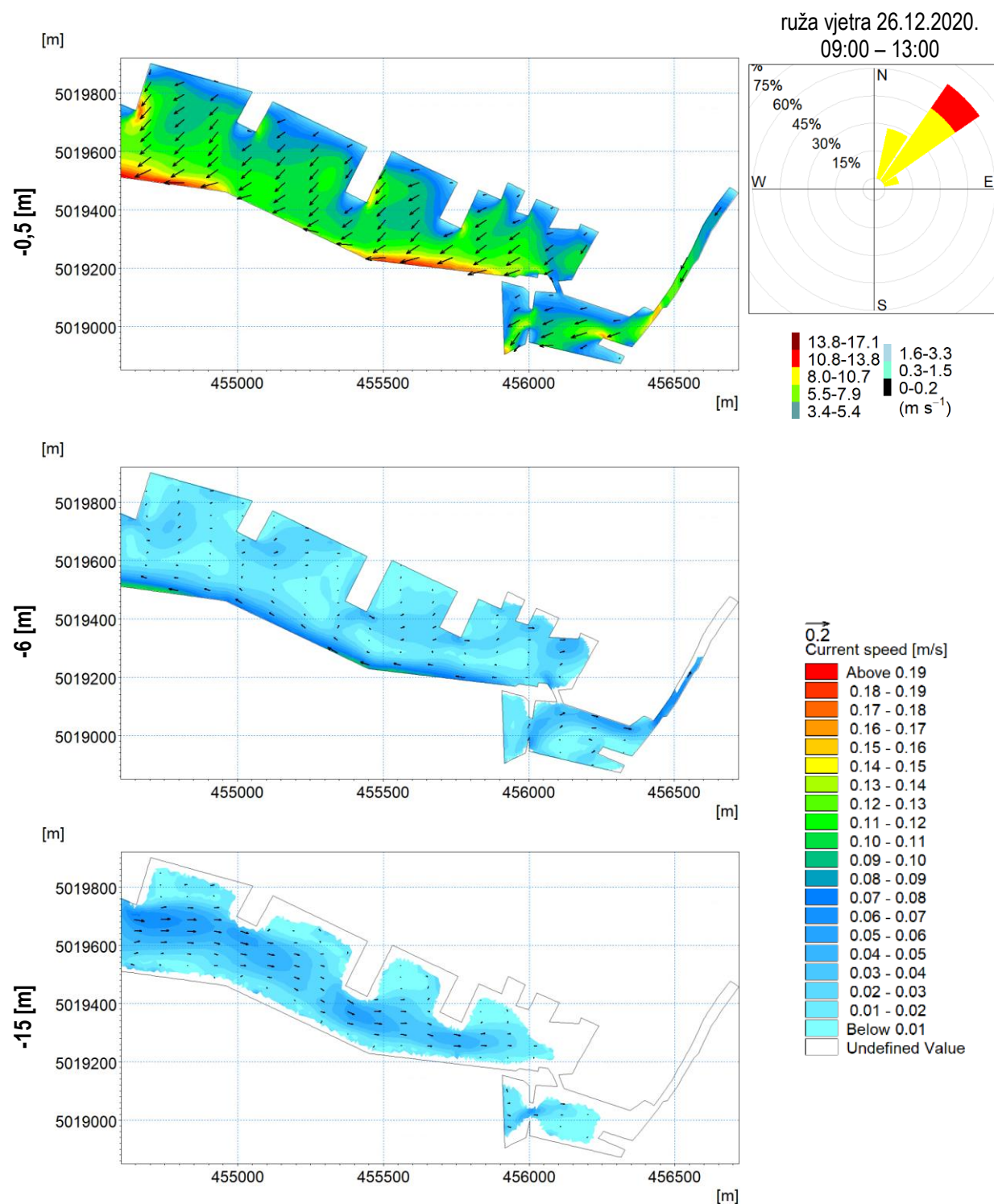
Istovjetno ranije opisanome pristupu za šire akvatorijalno područje luke Ploče, za ovu su prostornu domenu također izdvojene određene karakteristične situacije polja cirkulacije u dvama simulacijskim razdobljima. Pri tome, osnovna podjela podrazumijeva situacije intenzivne i prosječne cirkulacije mora.

U ovome je poglavlju prikazan dio situacija intenzivne cirkulacije mora koja se javlja kao posljedica djelovanja intenzivnoga vjetera. Situacije prosječne cirkulacije mora prikazane su u poglavlju Prilozi, a vezane su uz prosječne okolišne uvjete. Za domenu luke Rijeka prosječni okolišni uvjeti obuhvaćeni su djelovanjem najučestalijeg vjetera (smjer NNE) brzinom koja odgovara medijanu ovoga parametra $v_{t50\%} = 1,9 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ u razdoblju dostupnih ulaznih podataka (1.10.2020-1.11.2021., vidi poglavlje 4.1.2.2).

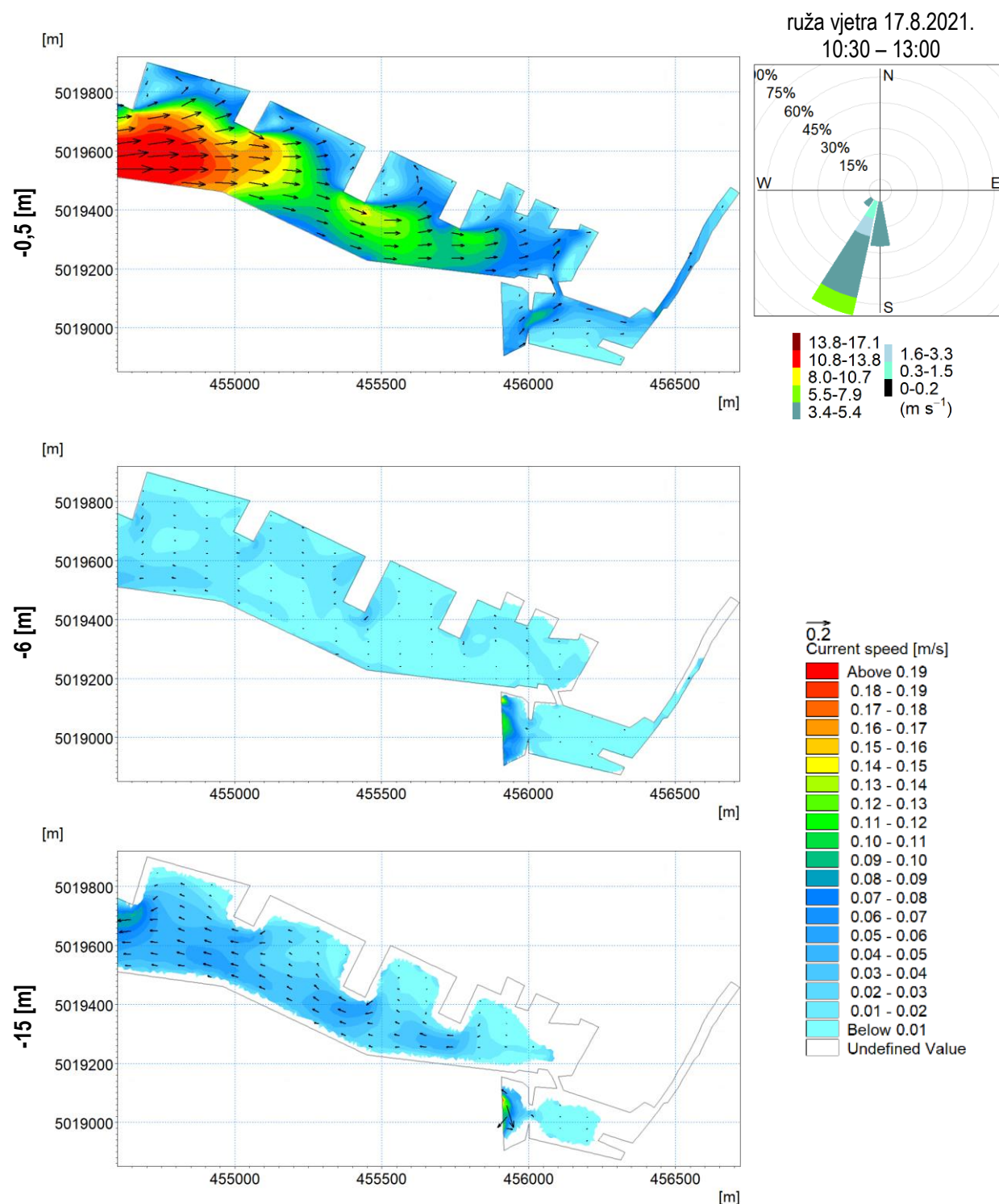
Polja strujanja prikazana su na dubinama -0,5, -6 i -15 [m], a valja napomenuti da su, osim polja prosječne cirkulacije (Slika 0-58), istaknute situacije najučestalijega i najintenzivnijega vjetera (smjer NNE, Slika 5-17) te ESE-SE (Slika 5-16) vjetera za ZIMSKO razdoblje. U LJETNOM simulacijskom razdoblju u ovome su poglavlju izdvojena polja cirkulacije mora za djelovanje vjetera iz smjera SSW (Slika 5-18), a u poglavlju Prilozi dan je prikaz za smjer NNW (Slika 0-63).



Slika 5-16 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera ESE, $v_{\max} = 7,7 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 6.12.2020. u 17:00



Slika 5-17 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera NE, $v_{\max} = 12,1$ [m·s⁻¹] na datum 26.12.2020. u 12:00



Slika 5-18 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera SSW, $v_{\max} = 5,7$ [m·s⁻¹] na datum 17.8.2021. u 12:00

Utvrđeno je da se i za ovu prostornu domenu izdvojene situacije mogu smatrati mjerodavnima po pitanju obrasca cirkulacije u slučaju pojave brzina vjetra približno jednakih ili većih od 90%-tnog percentila koji iznosi 3,7 [m·s⁻¹] (gledano za sve smjerove). Osim toga, na temelju pregleda dinamike cirkulacije mora utvrđeno je da je vjetar dominantan okolišni parametar koji utječe na smjer intenzivnoga strujanja na čitavoj domeni. Detaljan osvrt na obrasce prosječne i intenzivne cirkulacije mora s obzirom na djelovanje vjetra iz različitih smjerova dan je u poglavlju Prilozi (vidi C.II.iii-1 i C.II.iii-2).

5.4 Obrada i analiza rezultata simulacija modela pronosa planktonskih zajednica

Rezultati simulacija združenog HD modela cirkulacije mora i ABM-a pronosa planktonskih zajednica prezentirani su u sljedeće tri kategorije u ovome poglavlju:

- 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i ukupno istaloženih agenata unutar domene (poglavlje 5.4.1.1 za šire akvatorijalno područje luke Ploče, 5.4.2.1 za luku Rijeka),
- utjecaj smjera intenzivnoga vjetra na iznošenje agenata kroz otvorene granice modela (poglavlje 5.4.1.2 za šire akvatorijalno područje luke Ploče, 5.4.2.2 za luku Rijeka),
- 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i istaloženih agenata unutar domene 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa (poglavlje 5.4.1.3 za šire akvatorijalno područje luke Ploče, 5.4.2.3 za luku Rijeka).

Dodatni opis dobivenih rezultata i izrade grafičkih prikaza dan je na početku svakoga potpoglavlja u nastavku. Potpoglavlja su formirana odvojeno za prostorne domene širega akvatorijalnog područja luke Ploče i luke Rijeka prema gore navedenim kategorijama prezentacije rezultata. Za svaku kategoriju redom su prikazani rezultati modelskih simulacija pronosa dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda.

U poglavlju Prilozi dani su komentari vezani uza zabilježene obrasce taloženja i raspršenja unutar domene te iznošenja kroz otvorene granice modela koji se razlikuju s obzirom na lokaciju na kojoj su agenti uneseni (Tablica 0.11-Tablica 0.26). Također, u istom su poglavlju prezentirane ostale izdvojene situacije pronosa čestica 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa u prostorne domene te vremenski nizovi iznošenja kroz otvorene granice s obzirom na vladajuće okolišne uvjete za pojedinu lokaciju unosa modelskih čestica (Slika 0-65-Slika 0-97).

Ovim je poglavljem obuhvaćena usporedba terenskih uzorkovanja planktonskih frakcija koja su provedena u okviru ProtectAS projekta (Kraus, 2024.; Maškarić, 2024.) s rezultatima simulacija združenog HD i ABM modela. Terenska uzorkovanja dijatomeja i dinoflagelata dostupna su samo za luku Rijeka u ljetnim terminima (Tablica 4.3, Tablica 4.4) te su uspoređena s modeliranim brojnostima dobivenima u LJETNOM simulacijskim razdoblju. Detaljan opis procedure određivanja izmjerenih i modeliranih brojnosti te dobivenih rezultata dan je u poglavljima 5.4.2.4.1 (dijatomeje) i 5.4.2.4.2 (dinoflagelati). Za obje luke modelom dobivene brojnosti kopepoda uspoređene su s raspoloživim podacima o uzorkovanju zooplanktona u ZIMSKOM i LJETNOM razdoblju (Tablica 4.2 – lokacije CTD-PL1, CTD-PL2 i CTD-PL3, Tablica 4.5 – lokacije RIbwB i RIbwS). Detaljan opis procedure određivanja izmjerenih i modeliranih brojnosti kopepoda s prikazom dobivenih rezultata dan je u poglavljima 5.4.1.4 za luku Ploče, odnosno 5.4.2.4.3 za luku Rijeka.

5.4.1 Šire akvatorijalno područje luke Ploče

5.4.1.1 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i ukupno istaloženih agenata unutar domene

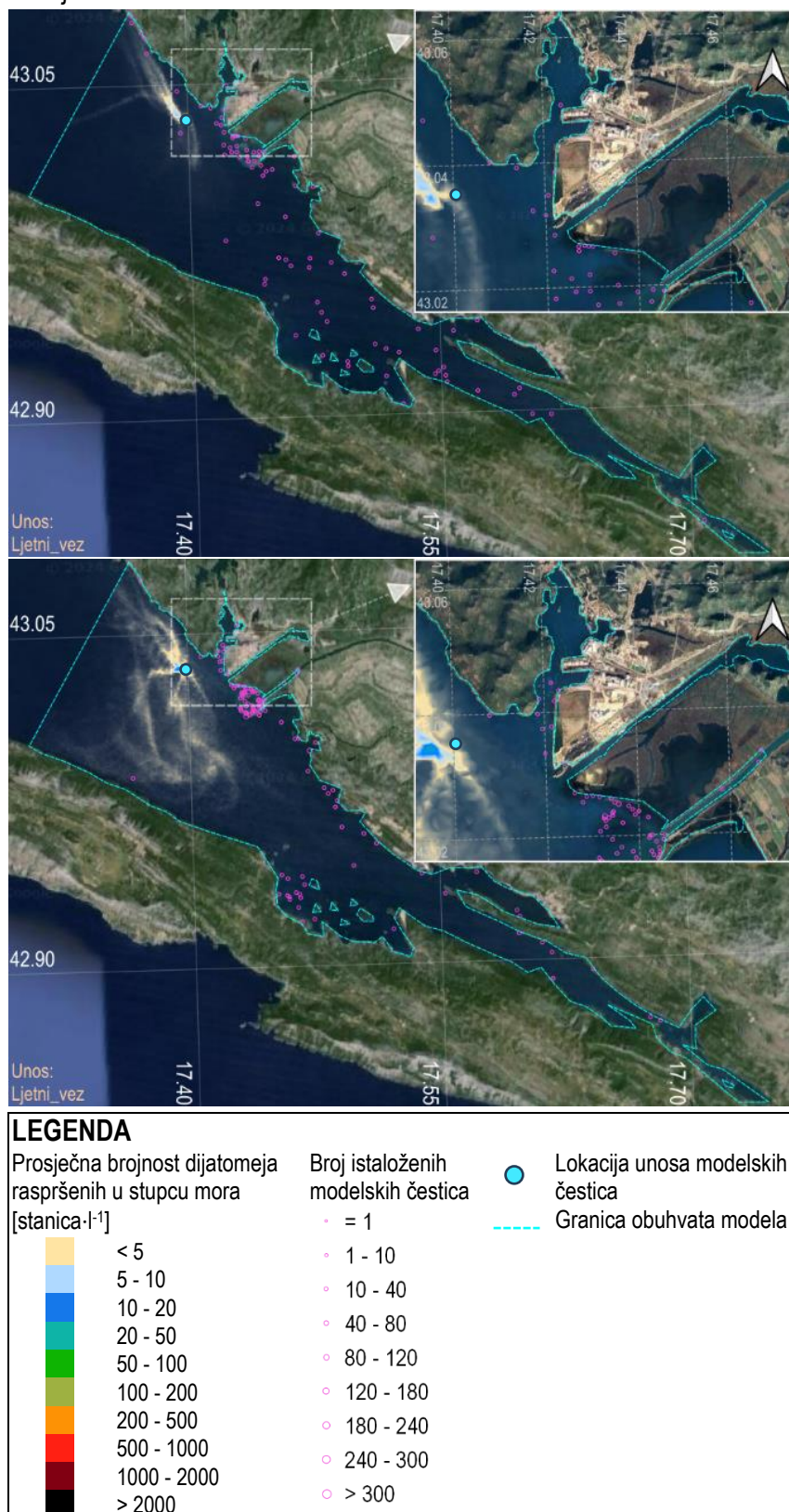
Karte modelskih čestica raspršenih u stupcu mora prikazane su kao 2D polja za sve tri modelirane planktonske frakcije, a prikazi istaloženih čestica izrađene su samo za dinoflagelate i dijatomeje. Na ovaj se način može dobiti uvid u prostornu raspodjelu čestica unesenih na ranije prikazanim lokacijama (Slika 4-20 i Slika 4-21) koja je važeća prilikom cirkulacije mora u pojedinom simulacijskom razdoblju (ZIMSKO ili LJETNO). Navedeni su prikazi od velike koristi upravo s aspekta povezivanja unosa na određenoj lokaciji i sekundarnoga raspršenja čestica s vladajućim okolišnim uvjetima (vjetar, slatkovodni dotok i sl.). 2D polja predstavljaju prosječno stanje brojnosti modeliranih planktonskih frakcija raspršenih u stupcu mora. Prosječna stanja brojnosti izračunata su u dva koraka te obuhvaćaju prostorna i vremenska usrednjavanja rezultata simulacija 3D polja združenog HD i ABM modela:

1. izračun vertikalno usrednjenih brojnosti u svakoj modelskoj ćeliji pojedine modelske domene kako bi se dobilo 2D polje za svaki vremenski korak simulacije (prostorno usrednjavanje, za šire akvatorijalno područje luke Ploče i luku Rijeka),
2. izračun prosječnog 2D polja u razdoblju trajanja pojedine simulacije (vremensko usrednjavanje, ZIMSKO i LJETNO).

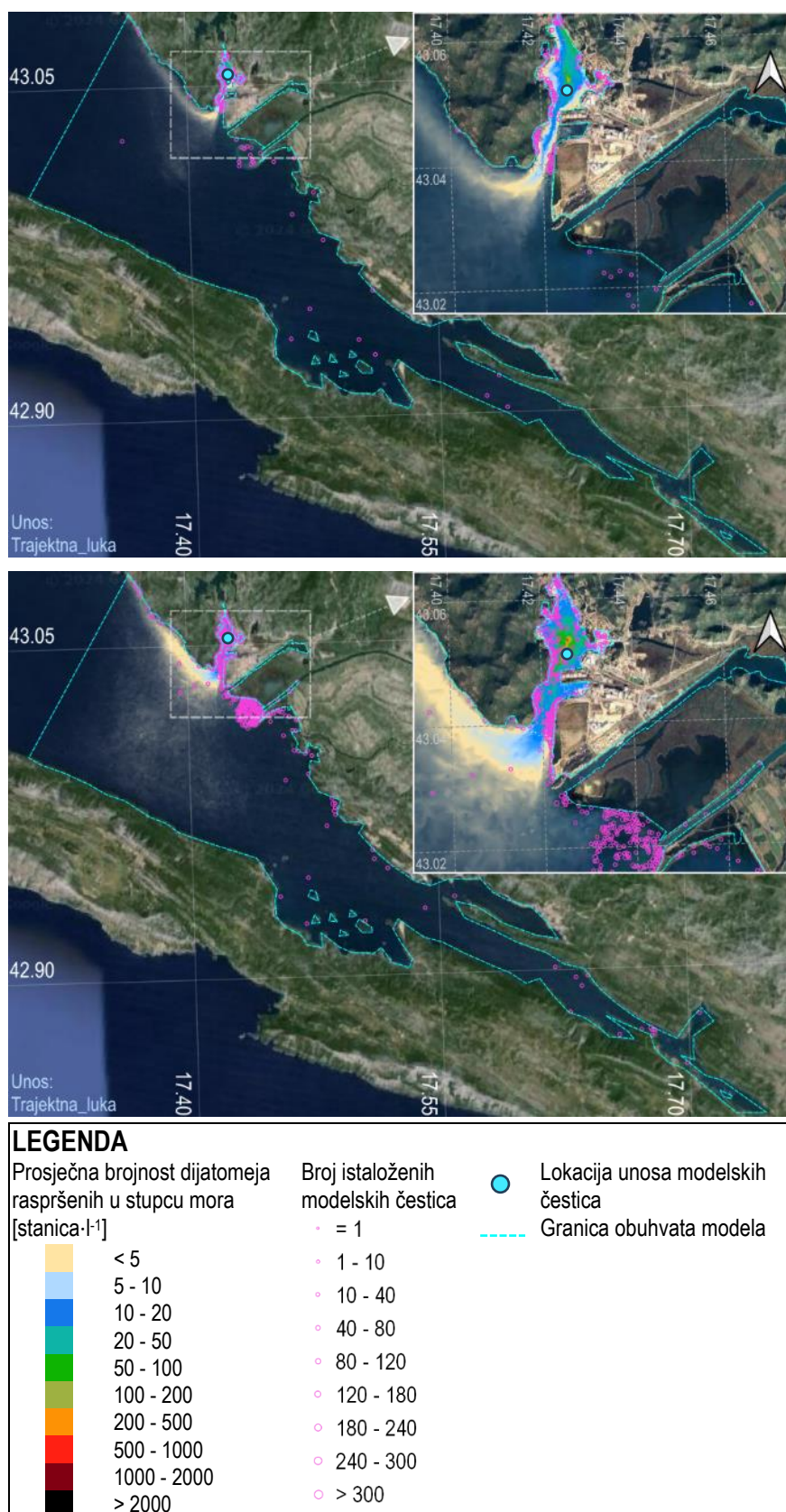
Za prikaz ukupno istaloženih agenata na modelskom dnu ekstrahiran je zadnji vremenski korak pojedine simulacije.

Naposljetku, za svaku pojedinu domenu i simulacijsko razdoblje izračunato je ukupno prosječno stanje raspršenih agenata. Ovi prikazi također su dani kao 2D polja dobivena zbrojem prethodno izračunatih 2D polja prostorno i vremenski usrednjenih modeliranih brojnosti raspršenih čestica unesenih na pojedinoj lokaciji unutar domene (Slika 4-20).

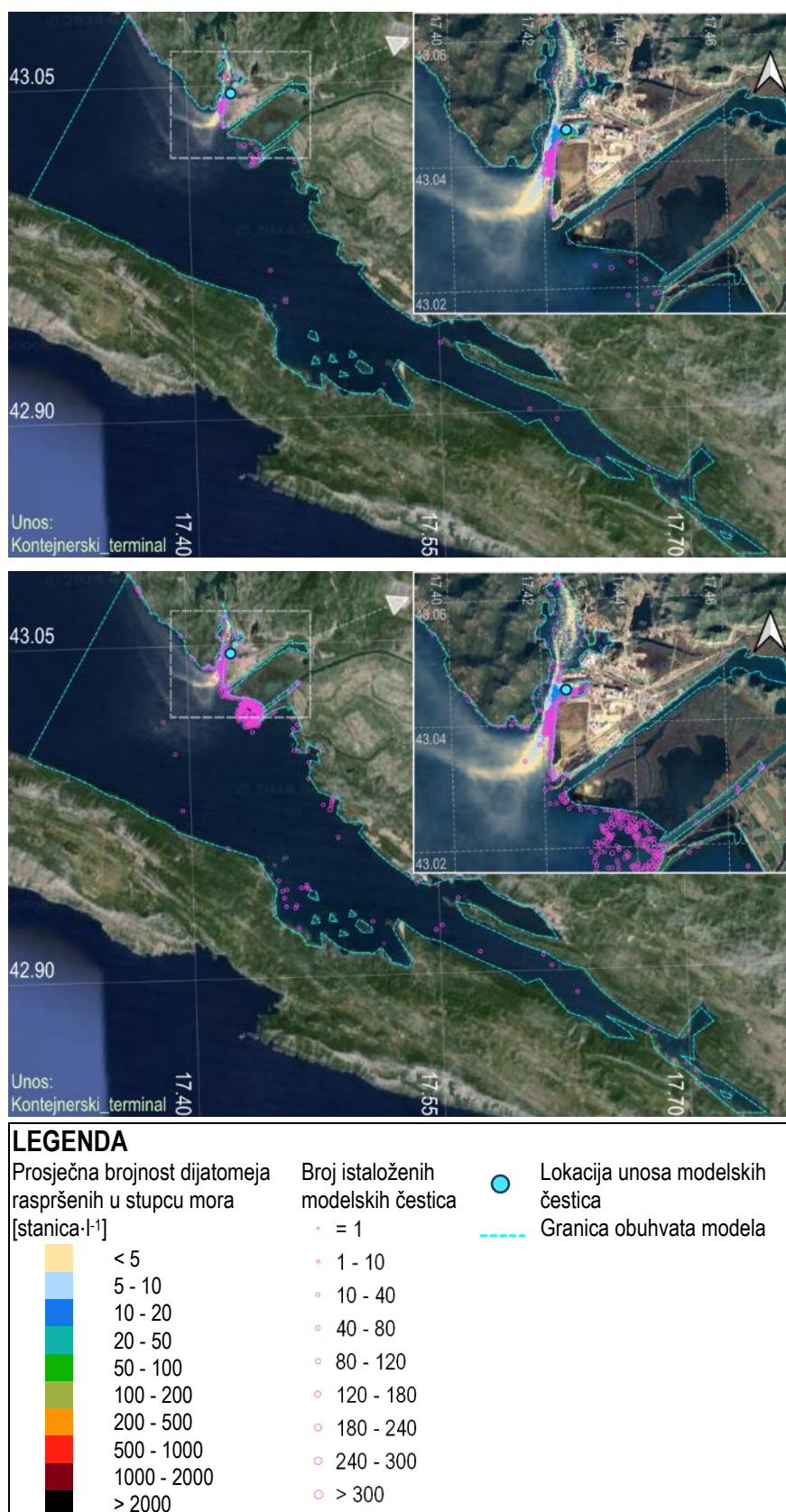
5.4.1.1.1 Dijatomeje



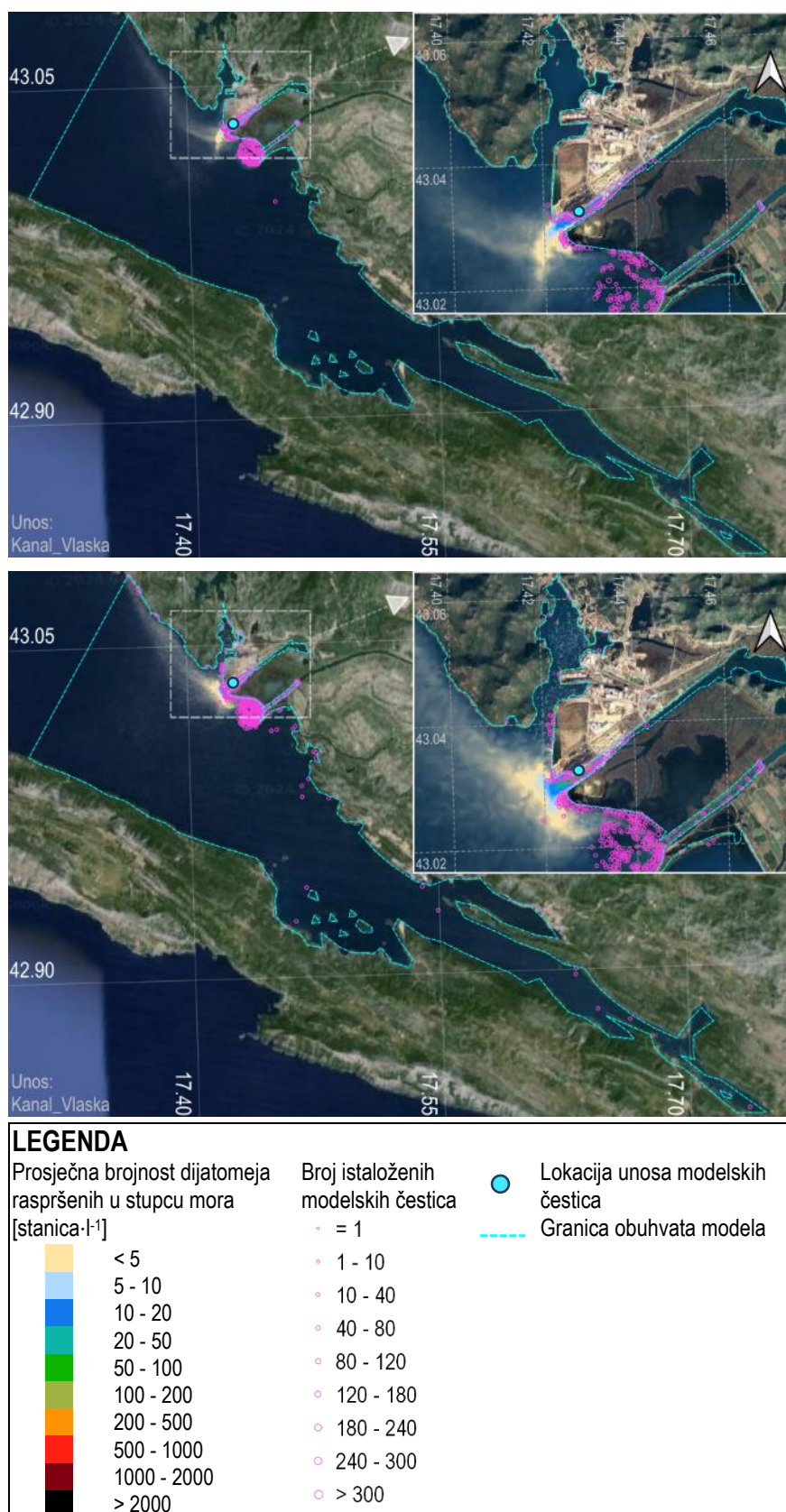
Slika 5-19 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene na lokaciji „Ljetni_vez“ unosa modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (podloga: Google satelit)



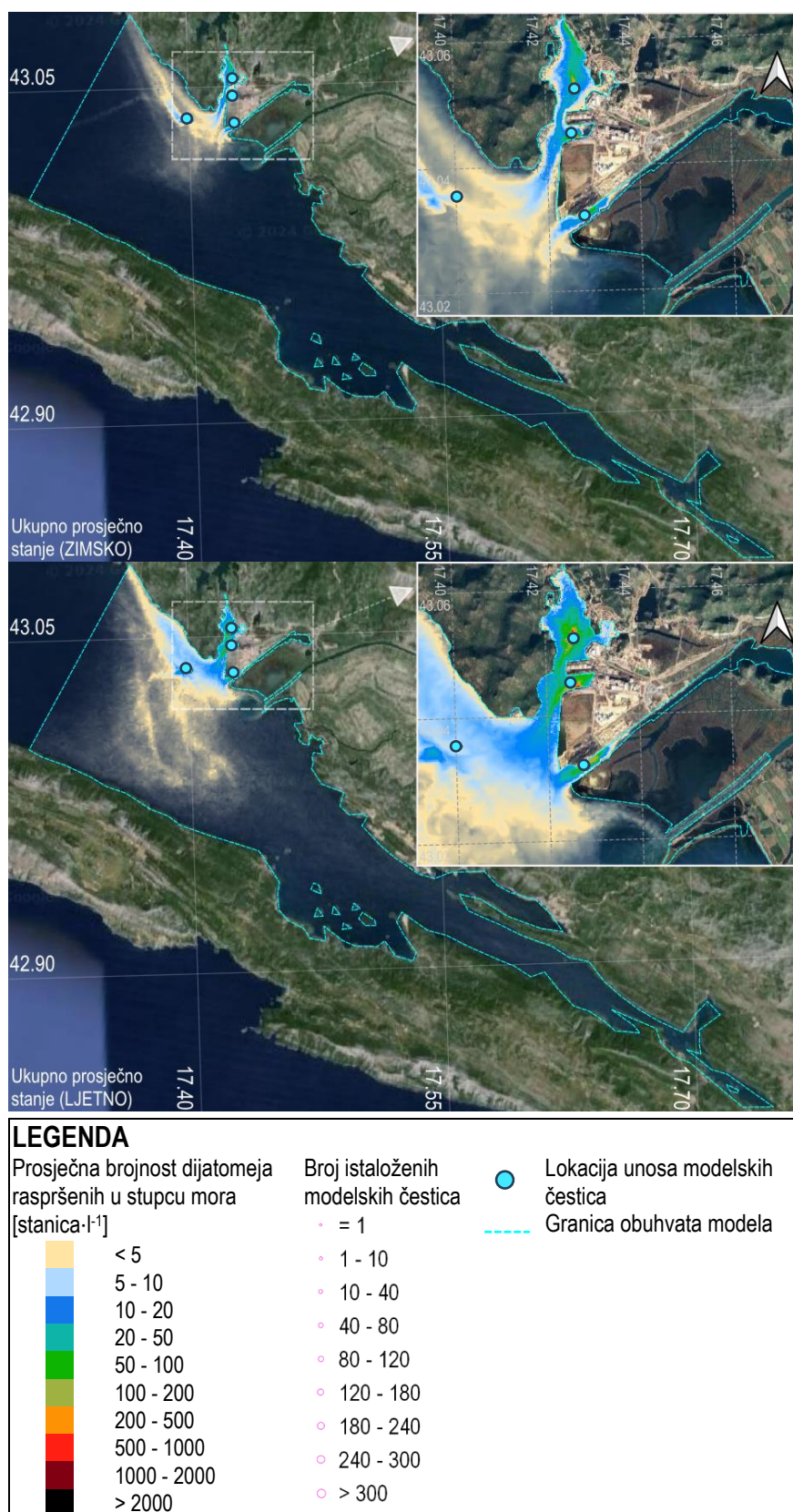
Slika 5-20 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene na lokaciji „Trajektna_luka“ unosa modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (podloga: Google satelit)



Slika 5-21 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene na lokaciji „Kontejnerski_terminal“ unosa modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (podloga: Google satelit)



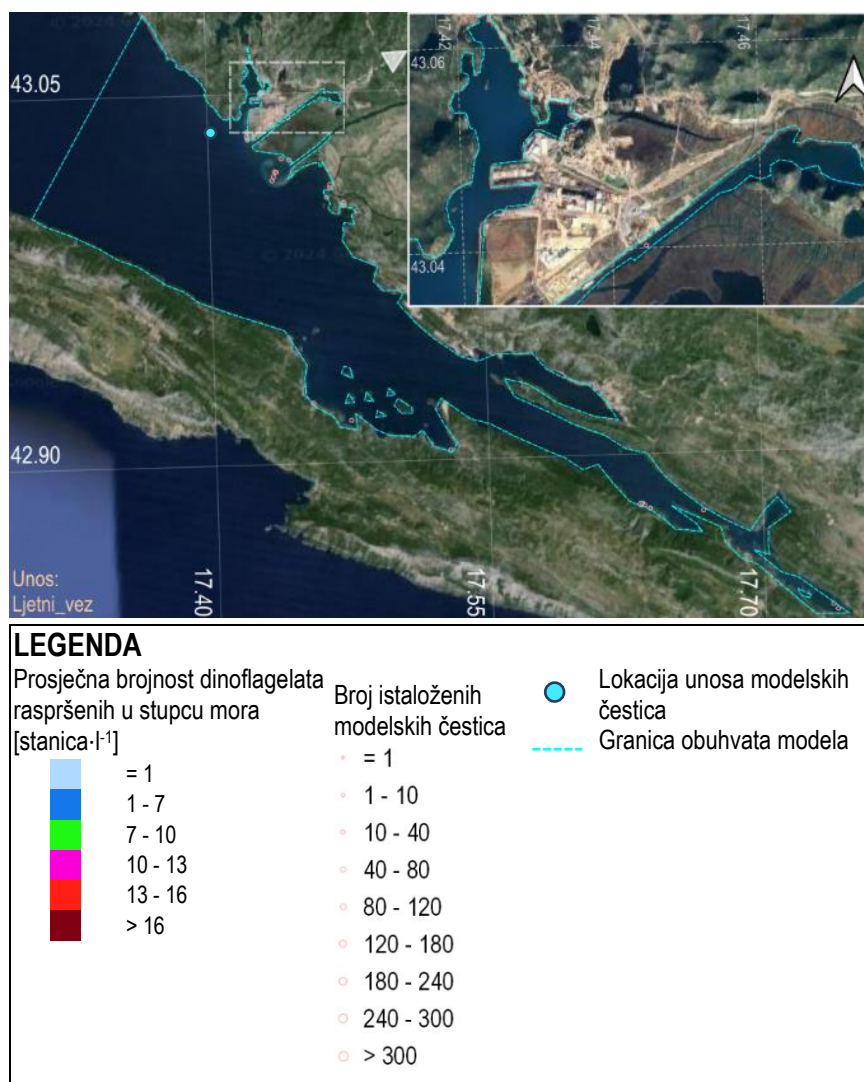
Slika 5-22 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene na lokaciji „Kanal_Vlaska“ unosa modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (podloga: Google satelit)



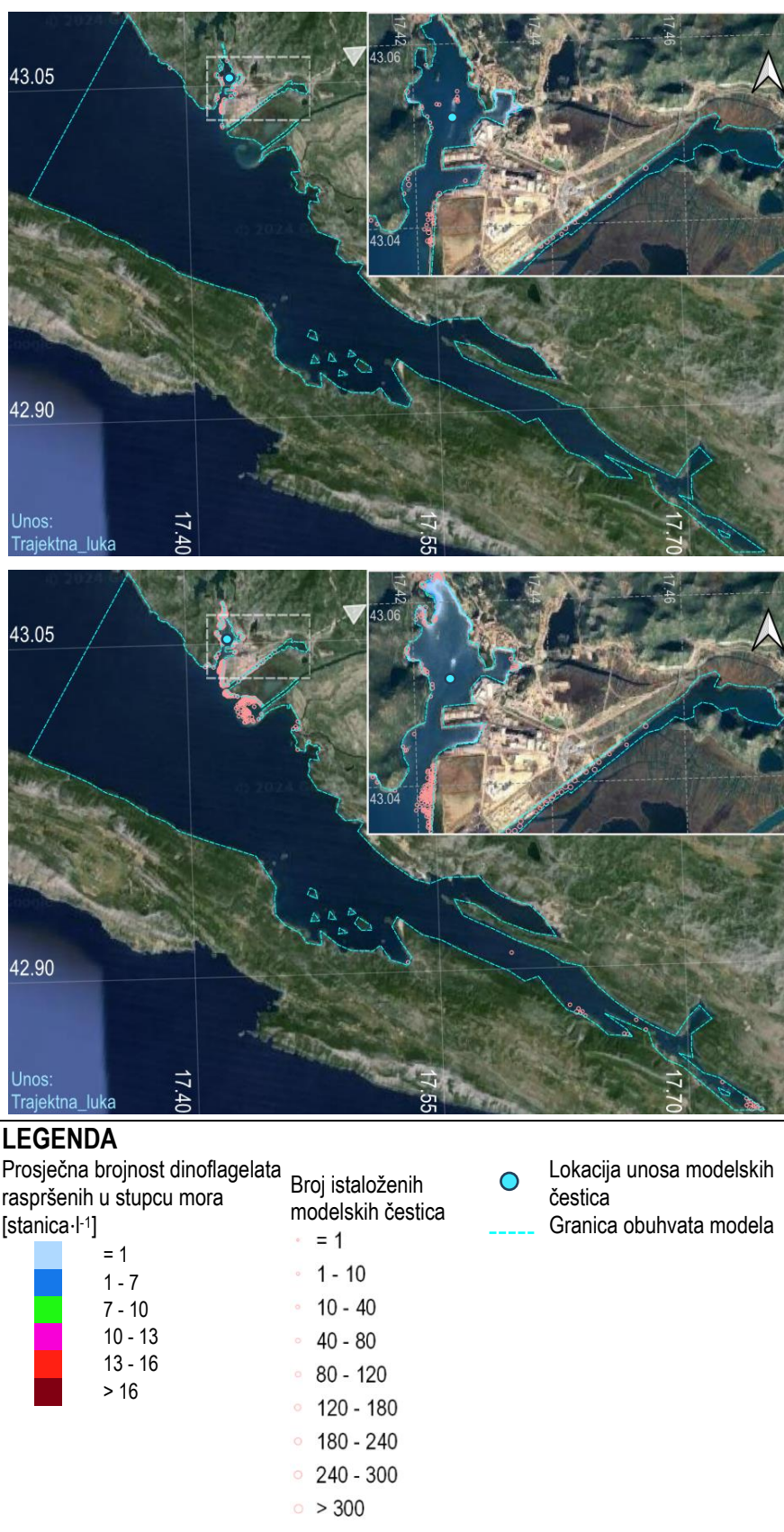
Slika 5-23 Ukupno prosječno stanje brojnosti dijatomeja raspršenih u stupcu mora za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (podloga: Google satelit)

5.4.1.1.2 Dinoflagelati

Karte dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na modelskom dnu za unos na lokaciji „Ljetni_vez“ nisu prikazane. Prosječna brojnost dinoflagelata poprima vrijednosti manje od 1 [stanica·l⁻¹] dok taloženja na modelskom dnu unutar granica prostorne domene nema. Iznošenje nastupa gotovo trenutno nakon unosa modelskih čestica na lokaciji „Ljetni_vez“ u uvjetima karakterističnima za ZIMSKO razdoblje.



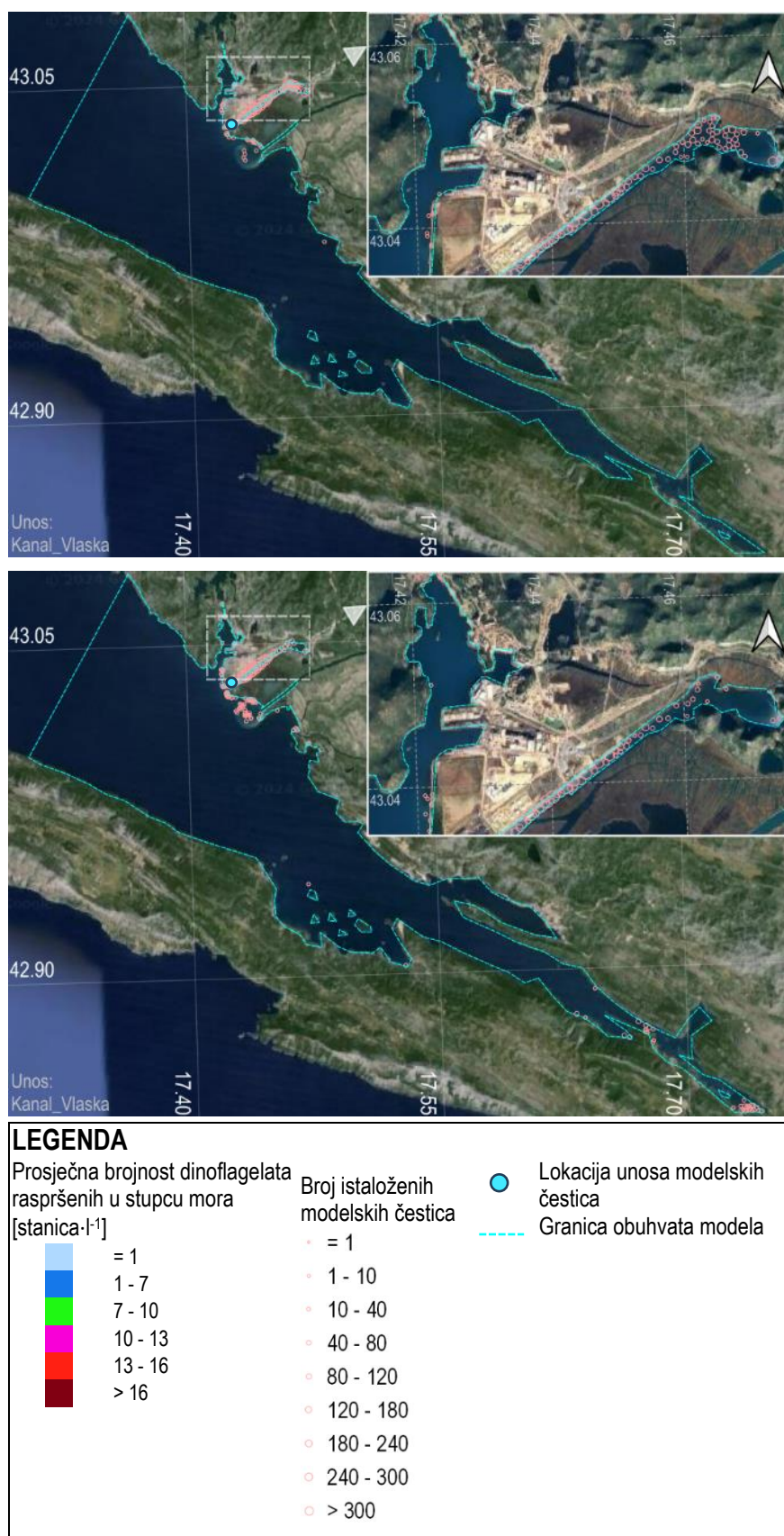
Slika 5-24 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Ljetni_vez“ (podloga: Google satelit)



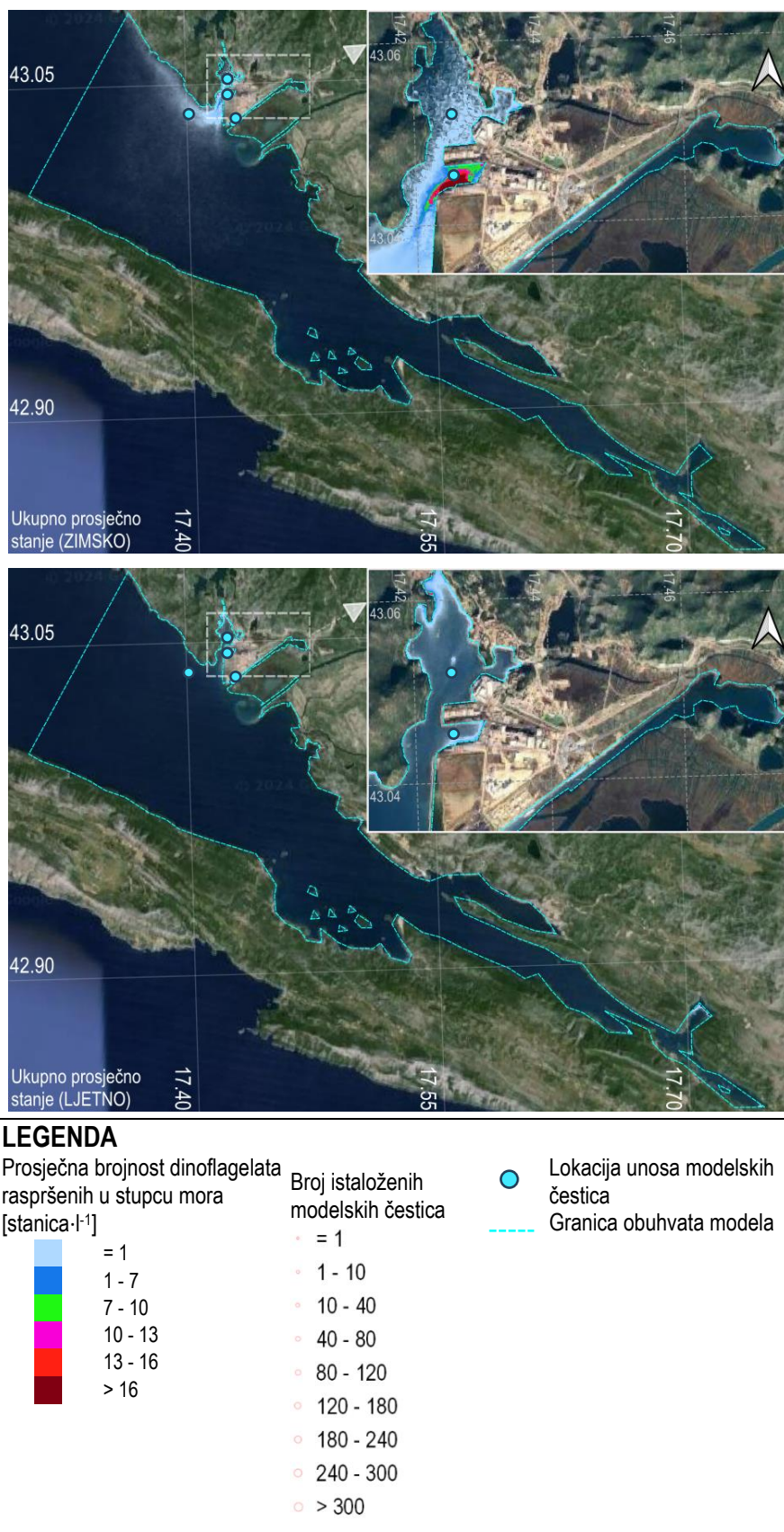
Slika 5-25 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Trajektna_luka“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-26 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Kontejnerski_terminal“ (podloga: Google satelit)

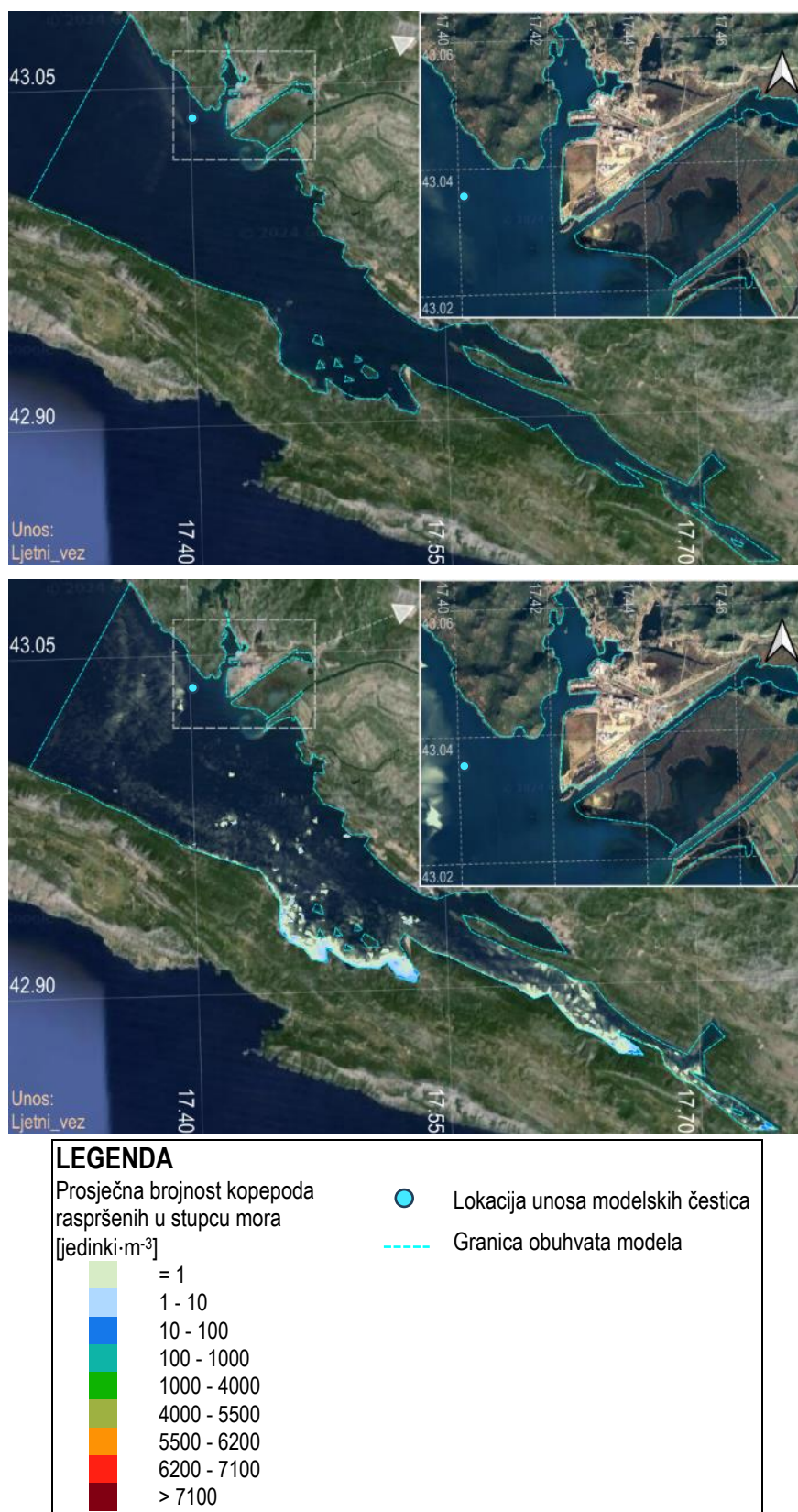


Slika 5-27 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Kanal_Vlaska“ (podloga: Google satelit)

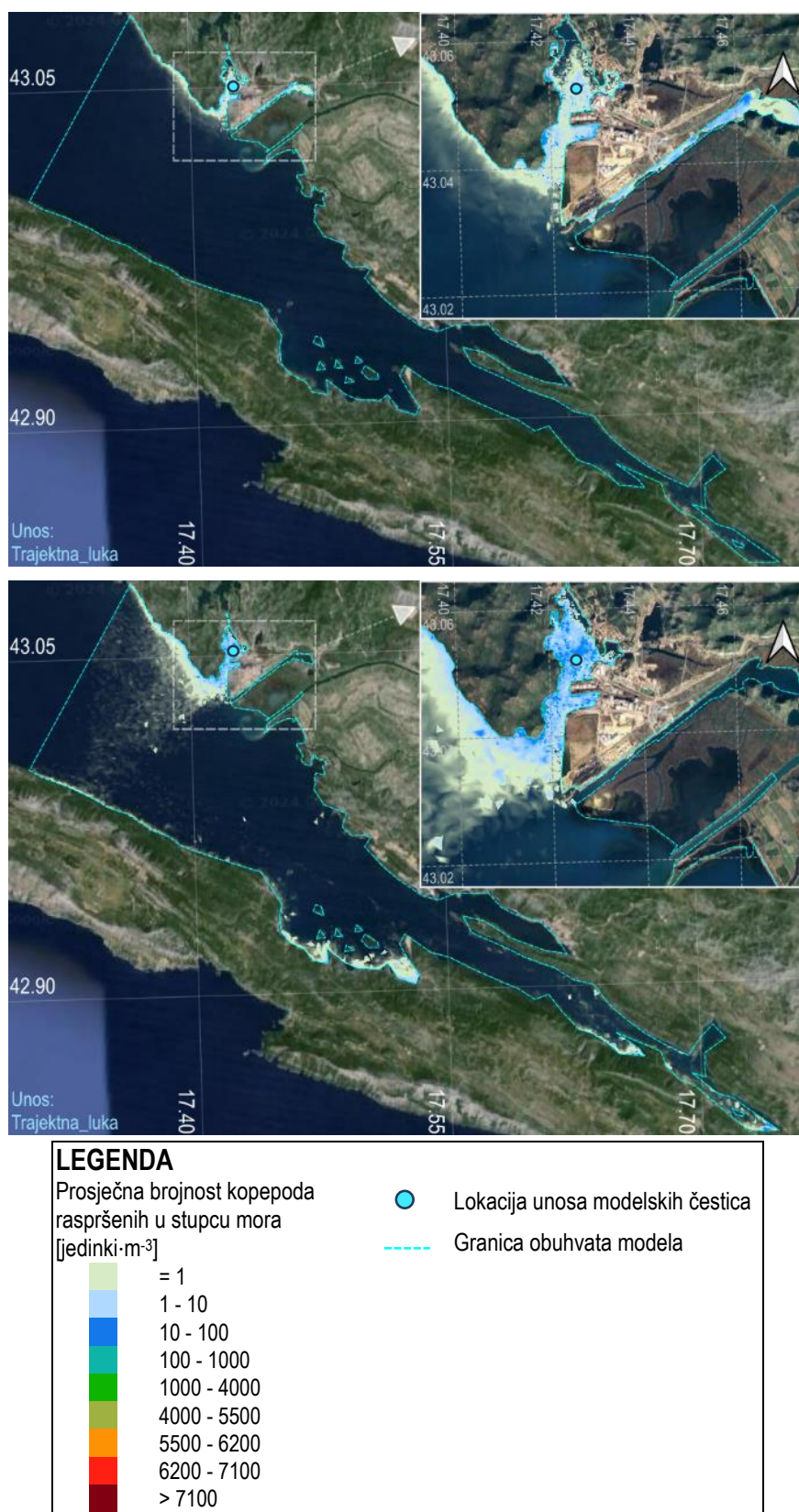


Slika 5-28 2D ukupno prosječno stanje brojnosti dinoflagelata raspršenih u stupcu mora za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (podloga: Google satelit)

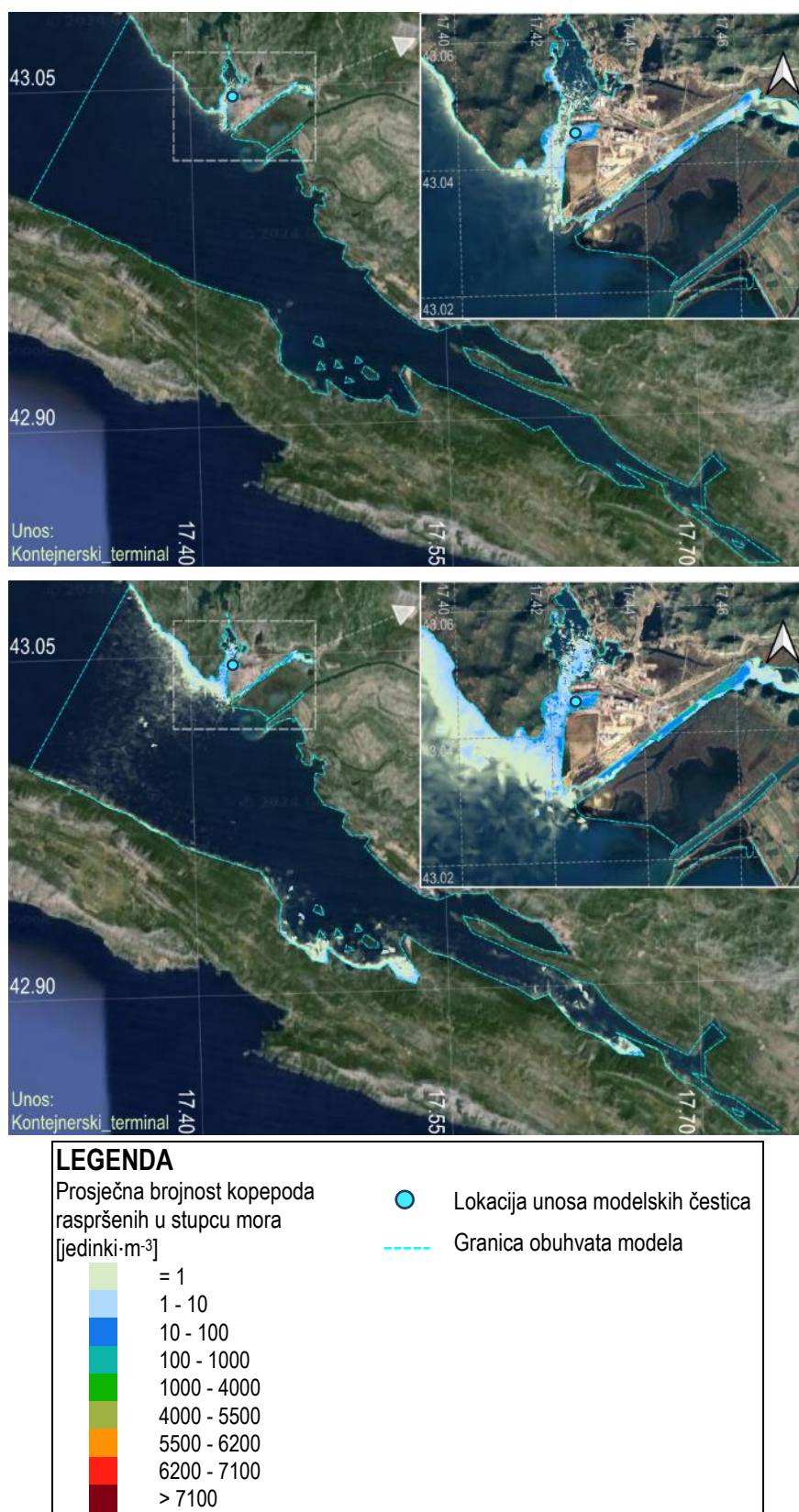
5.4.1.1.3 Kopepodi



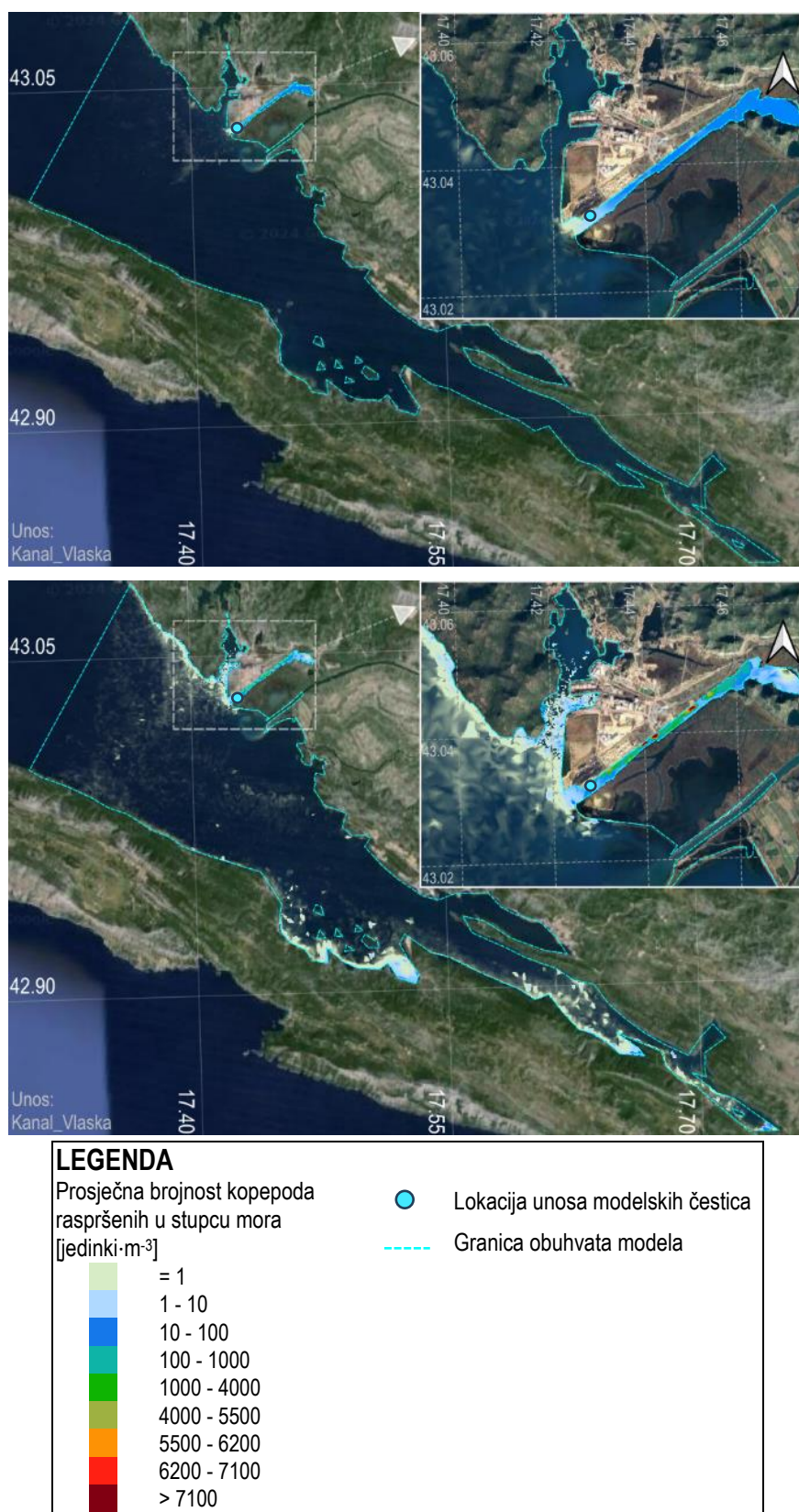
Slika 5-29 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Ljetni_vez“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-30 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Ljetni_vez“ (podloga: Google satelit)

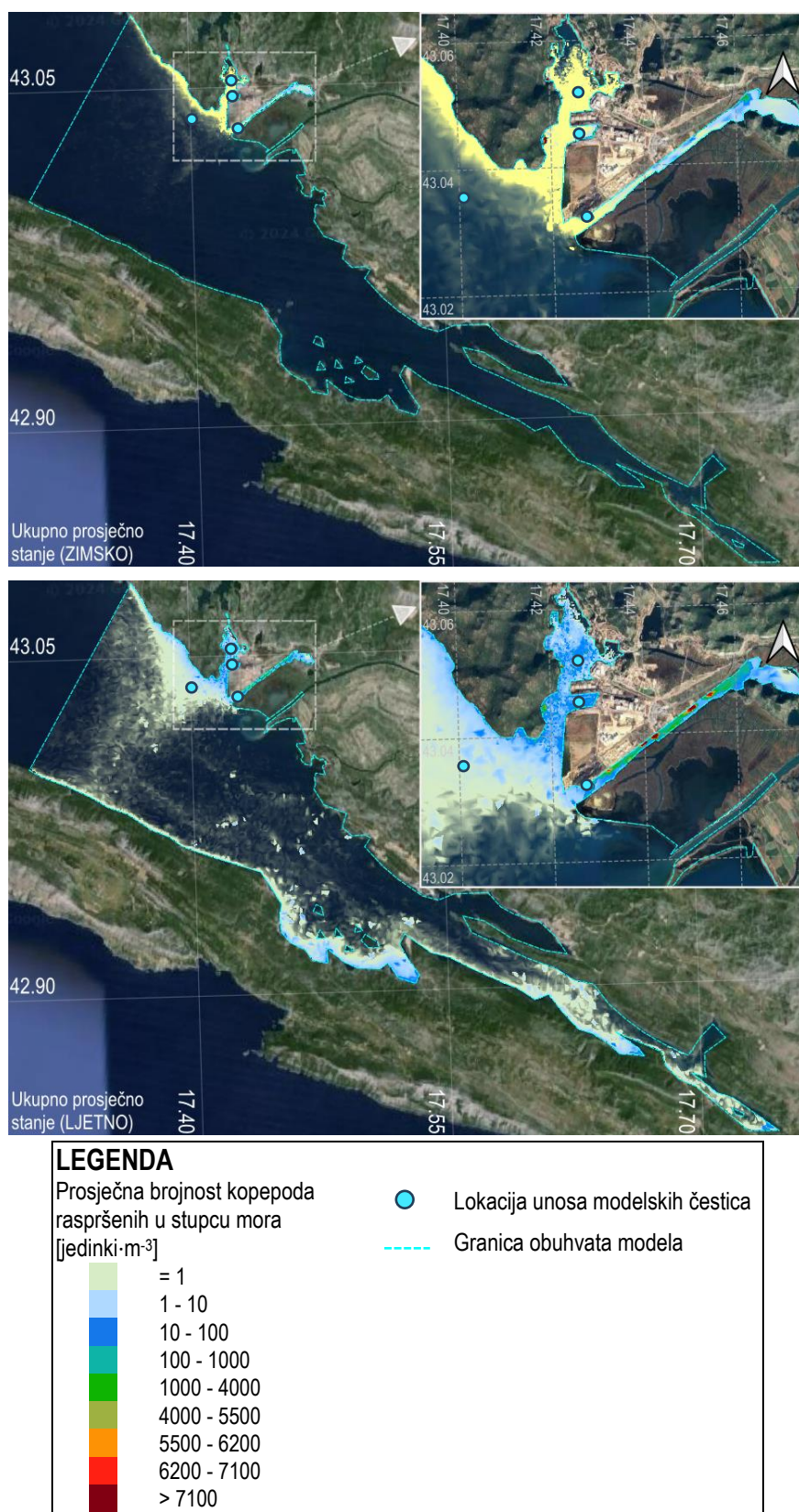


Slika 5-31 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Kontejnerski_terminal“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-32 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče na lokaciji „Kanal_Vlaska“ (podloga: Google satelit)

Ukupno prosječno stanje brojnosti kopepoda prikazano je u nastavku, a dobiveno je za zbrojem ranije prikazanih 2D polja vertikalno usrednjenih brojnosti kopepoda za svako pojedino razdoblje simulacije.



Slika 5-33 Ukupno prosječno stanje vertikalno usrednjenih brojnosti kopepoda za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (podloga: Google satelit)

Prikazana ukupna prosječna stanja vertikalno usrednjenih modeliranih brojnosti kopepoda iskorišteni su za usporedbu s terenskim uzorkovanjima brojnosti zooplanktona što je prezentirano u poglavlju 5.4.1.4.

5.4.1.2 Utjecaj intenzivnog vjetra na iznošenje agenata kroz otvorene granice

Za svaku modeliranu planktonsku frakciju prikazat će se stupčasti dijagram i ruža učestalosti iznošenja kroz otvorene granice modela u ovisnosti o dominantnom smjeru vjetra i lokaciji unosa agenata u prostornu domenu. Valja napomenuti da su razmotrene situacije iznošenja agenata u kojima brzina vjetra prelazi 90%-tni percentil izračunat za razdoblje dostupnih podataka na m.p. Ploče od 1.10.2020. do 1.11.2021. Za šire akvatorijalno područje luke Ploče u obzir su uzete situacije iznošenja agenata u kojima je brzina vjetra veća od $5,3 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$. Pri tome, nakon detekcije vjetra brzine veće od navedene, bilježi se učestalost odgovarajućega smjera. Ostale situacije iznošenja agenata pri djelovanju vjetra brzine manje od $5,3 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ nisu uzete u obzir pri ovome proračunu.

Na stupčastim dijagramima odgovarajućom su bojom uokvireni smjerovi djelovanja vjetra za koje je utvrđena najveća učestalost iznošenja agenata ovisno o lokaciji unosa. Detaljnije objašnjenje dano je tablično u nastavku.

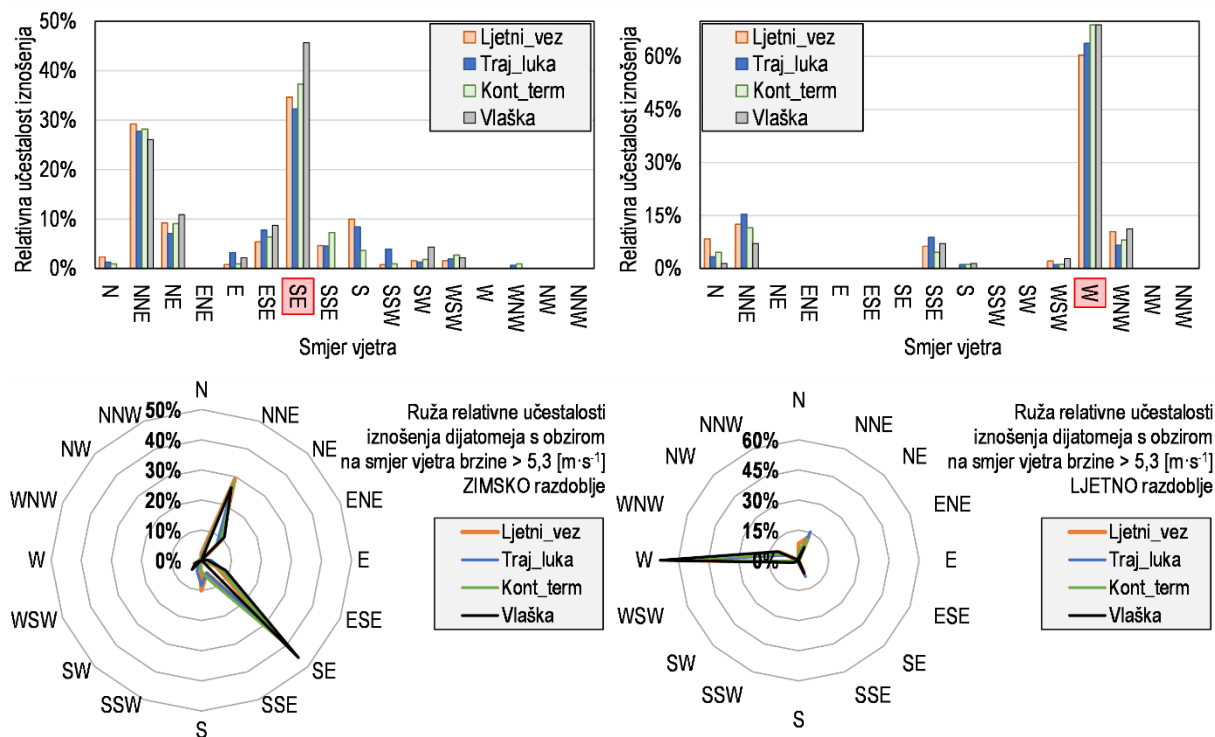
Tablica 5.11 Oznake dominantnih smjerova vjetra na stupčastim dijagramima pri kojima nastupa iznošenje agenata kroz otvorene granice

Oznaka dominantnog smjera	Opis
SE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „Ljetni_vez“.
NNE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „Trajektna_luka“.
SE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „Kontejnerski_terminal“.
ESE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „Kanal_Vlaska“.
W	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na svim, dvjema ili više različitih lokacija.

Prikazi su dani u nastavku za sve tri modelirane frakcije zasebno.

5.4.1.2.1 Dijatomeje

U nastavku su prikazani stupčasti dijagram i ruža učestalosti iznošenja dijatomeja kroz otvorene granice modela u ovisnosti o dominantnom smjeru vjeta i lokaciji unosa aktivnih modelskih čestica u prostornu domenu.

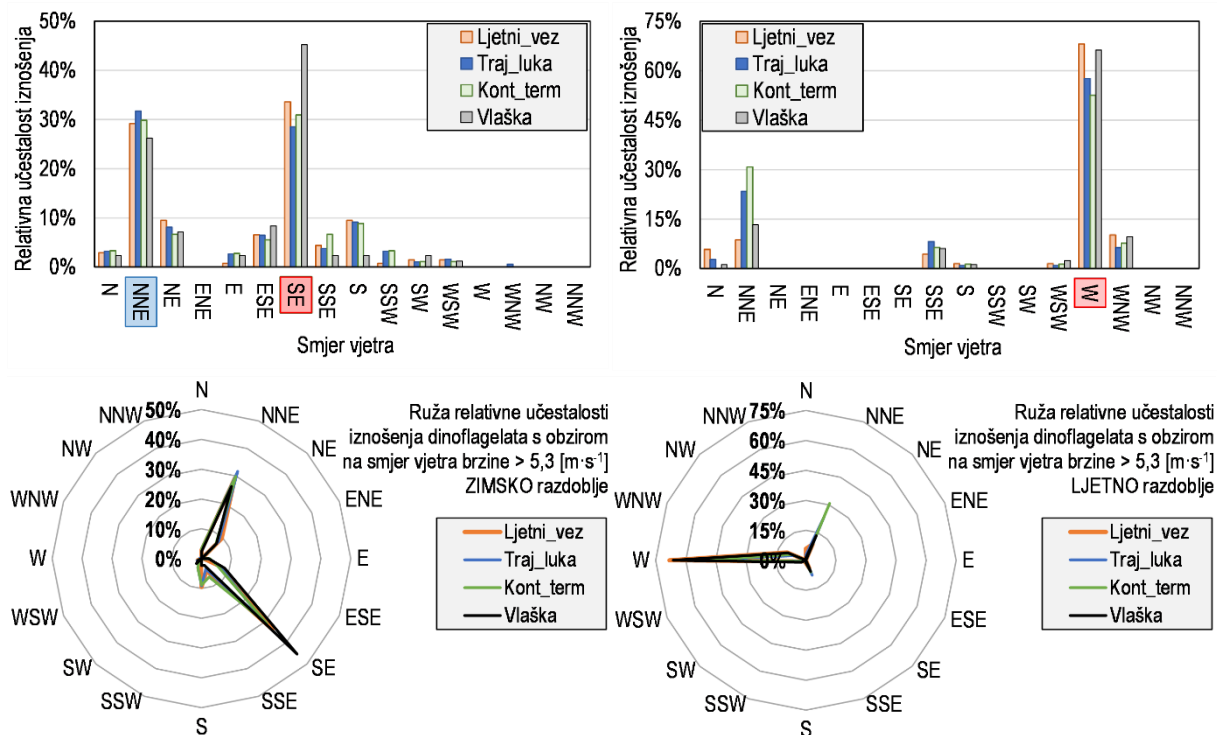


Slika 5-34 Relativna učestalost iznošenja dijatomeja kroz otvorene granice modela za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje s obzirom na pojedinu lokaciju unosa modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče prikazana kao stupčasti dijagram (gore) i ruža (dolje).

Na temelju dobivenih prikaza u ZIMSKOM se razdoblju ističu SE i NNE kao dominantni smjerovi intenzivnih vjetrova pri čijoj pojavi dolazi do iznošenja kroz otvorene granice modela (Slika 5-34, lijevo). U LJETNOM simulacijskom razdoblju ističe se W smjer (Slika 5-34, desno). Navedeni smjerovi dominiraju pri iznošenju agenata neovisno o lokaciji unosa.

5.4.1.2.2 Dinoflagelati

U nastavku su prikazani stupčasti dijagram i ruža učestalosti iznošenja dinoflagelata kroz otvorene granice modela u ovisnosti o dominantnom smjeru vjetra i lokaciji unosa aktivnih modelskih čestica u prostornu domenu.

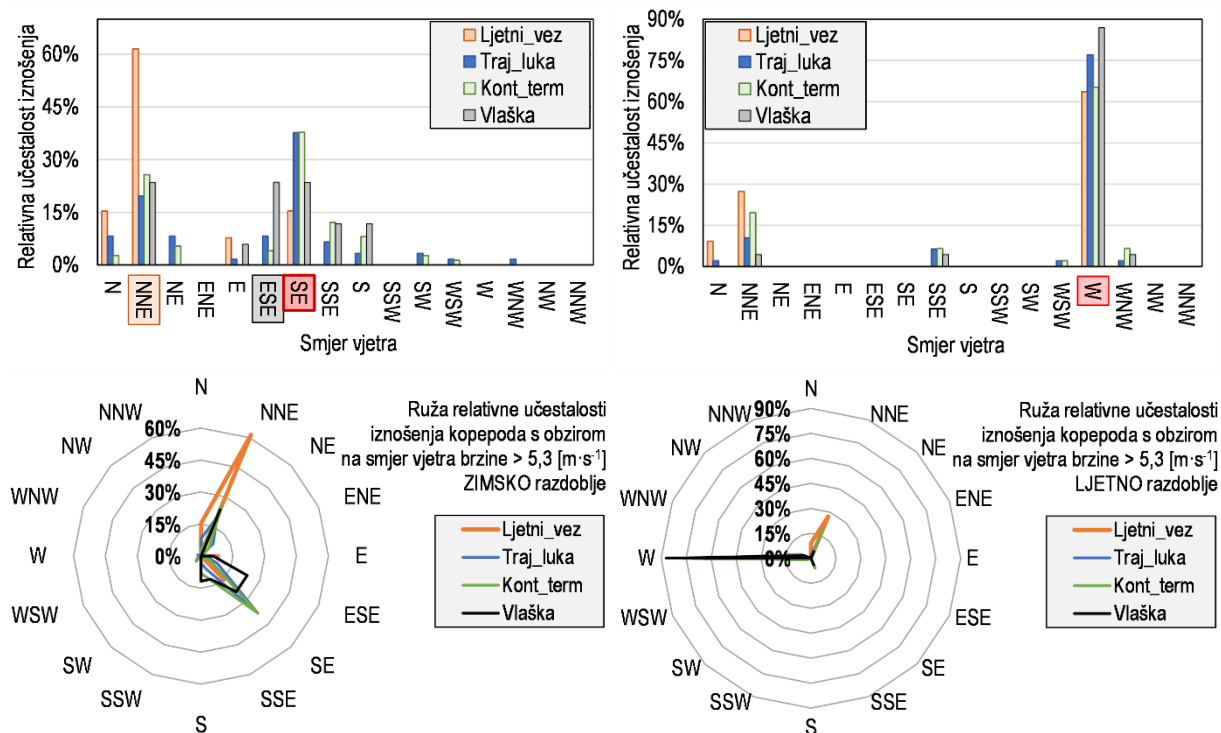


Slika 5-35 Relativna učestalost iznošenja dinoflagelata kroz otvorene granice modela za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje s obzirom na pojedinu lokaciju unosa modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče prikazana kao stupčasti dijagram (gore) i ruža (dolje).

Na temelju dobivenih prikaza u ZIMSKOM se razdoblju ističu SE i NNE kao dominantni smjerovi intenzivnih vjetrova pri čijoj pojavi dolazi do iznošenja kroz otvorene granice modela (Slika 5-35, lijevo). Valja napomenuti da je iznošenje agenata unesenih na lokaciji „Trajektna_luka“ najučestalije pri pojavi intenzivnog NNE vjetra. Za unos na ostalim trima lokacijama najveća učestalost iznošenja agenata prisutna je za vrijeme intenzivnog SE vjetra. U LJETNOM simulacijskom razdoblju ističe se W smjer intenzivnoga vjetra (Slika 5-35, desno) pri iznošenju agenata neovisno o lokaciji unosa.

5.4.1.2.3 Kopepodi

U nastavku su prikazani stupčasti dijagram i ruža učestalosti iznošenja kopepoda kroz otvorene granice modela u ovisnosti o dominantnom smjeru vjetra i lokaciji unosa aktivnih modelskih čestica u prostornu domenu.



Slika 5-36 Relativna učestalost iznošenja kopepoda kroz otvorene granice modela za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje s obzirom na pojedinu lokaciju unosa modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče prikazana kao stupčasti dijagram (gore) i ruža (dolje).

Na temelju dobivenih prikaza u ZIMSKOM se razdoblju ističe SE kao dominantan smjer intenzivnoga vjetra pri čijoj pojavi dolazi do iznošenja agenata kroz otvorene granice modela u slučaju unosa na lokacijama „Trajektna_luka“ i „Kontejnerski_terminal“ (Slika 5-36, lijevo). Nadalje, iznošenje agenata unesenih na lokaciji „Ljetni_vez“ najučestalije je pri pojavi intenzivnoga NNE vjetra. Za unos agenata na lokaciji „Kanal_Vlaska“ najveća učestalost iznošenja prisutna je za vrijeme intenzivnog ESE vjetra. U LJETNOM simulacijskom razdoblju ističe se W smjer intenzivnog vjetra (Slika 5-36, desno) pri iznošenju agenata neovisno o lokaciji unosa.

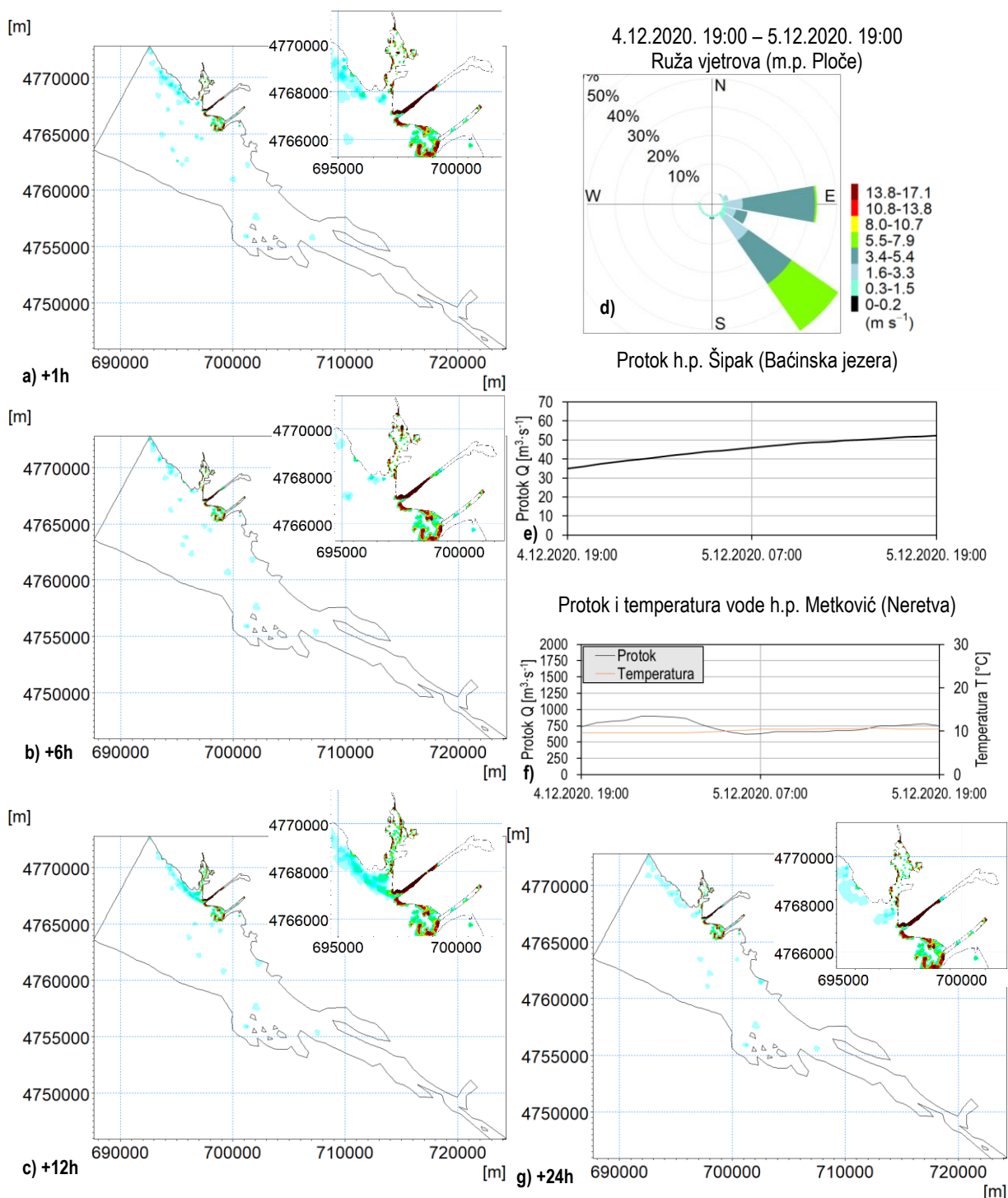
5.4.1.3 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i istaloženih agenata unutar domene 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa

U okviru ovoga poglavlja istaknuta su vertikalno usrednjena 2D polja raspršenih i polja istaloženih agenata 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa u prostorne domene modela. Za obje domene 2D poljem raspršenih agenata predstavljena je prosječna prostorna brojnost modelirane planktonske frakcije u stupcu mora za razmotreni trenutak simulacije. Zbog razlučivosti prikaza polje istaloženih agenata dodano je 2D polju raspršenih čestica čime je dobiven uvid u brojnost pojedine modelirane planktonske frakcije u području sedimenta. Pri tome, izdvojena su razdoblja koincidencije unosa modelskih čestica sa situacijama intenzivne cirkulacije mora koje su definirane istovjetno ranije opisanome u 5.3.1.3 i prezentirane u poglavlju 5.3.1.3.2. Za šire akvatorijalno područje luke Ploče ovi su prikazi izrađeni za:

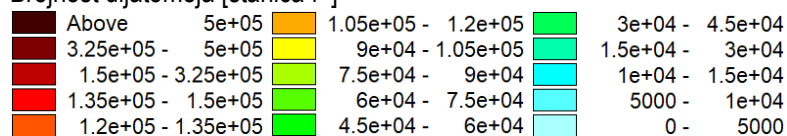
- čestice istovremeno unošene na lokacijama „Trajektna_luka“ i „Kanal_Vlaska“ (Slika 4-20),
- dvije situacije raspršenja u ZIMSKOM razdoblju
 1. vjetar dominantno iz N i NNE smjera, $Q_{\text{Šipak}} = 35-50 \text{ [m}^3\cdot\text{s]}$, $Q_{\text{Metković}} = 600-900 \text{ [m}^3\cdot\text{s]}$ (Slika 5-38, Slika 5-41, Slika 5-44);
 2. vjetar dominantno iz SE i E smjerova, $Q_{\text{Šipak}} = 45-55 \text{ [m}^3\cdot\text{s]}$, $Q_{\text{Metković}} = 300-600 \text{ [m}^3\cdot\text{s]}$ (Slika 5-37, Slika 5-40, Slika 5-43),
- jednu situaciju raspršenja u LJETNOM razdoblju
 1. vjetar dominantno iz W smjera, $Q_{\text{Šipak}} = 0 \text{ [m}^3\cdot\text{s]}$, $Q_{\text{Metković}} = 0-250 \text{ [m}^3\cdot\text{s]}$ (Slika 5-39, Slika 5-42, Slika 5-45).

Valja napomenuti da su za kopepode dana isključivo 2D polja raspršenja unutar prostorne domene s obzirom na to da je usvojena pretpostavka da ovi agenti nemaju sposobnost naseljavanja modelskoga dna.

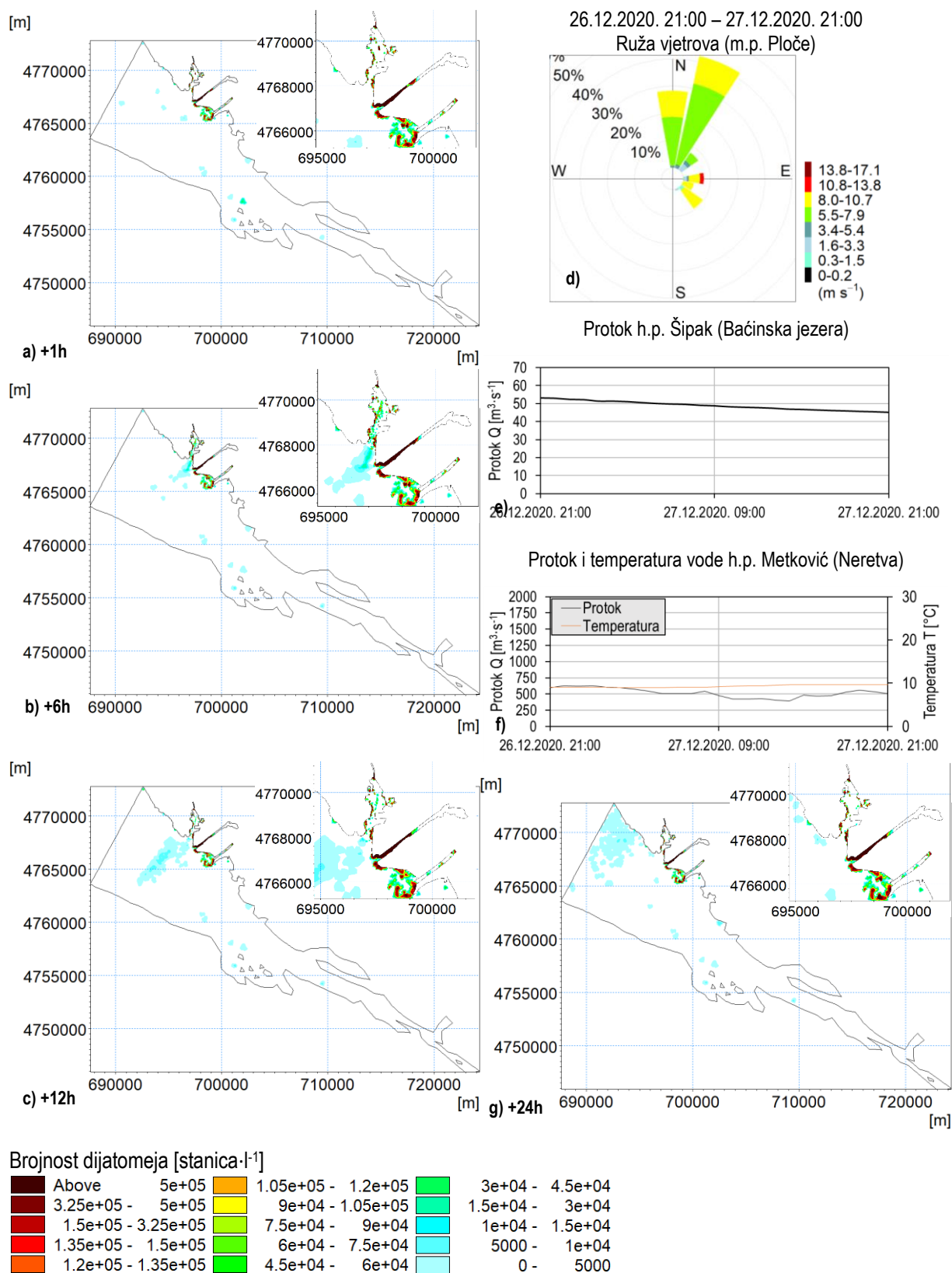
5.4.1.3.1 Dijatomeje



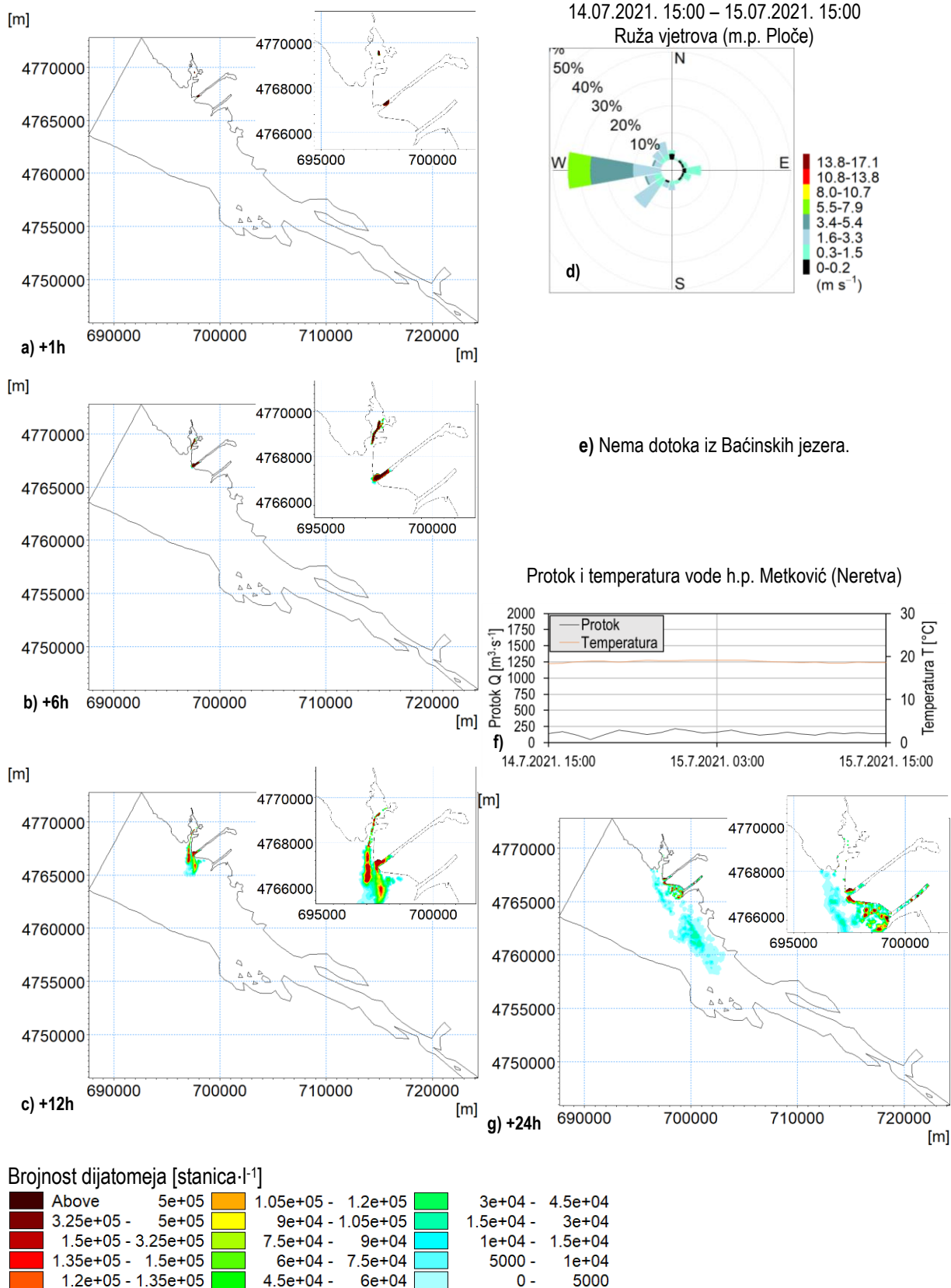
Brojnost dijatomeja [stanica $\cdot\text{l}^{-1}$]



Slika 5-37 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica $\cdot\text{l}^{-1}$] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 4.12.2020. 19:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 4.12.2020. u 19:00 do 5.12.2020. u 19:00



Slika 5-38 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 26.12.2020. 21:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 26.12.2020. u 21:00 do 27.12.2020. u 21:00



Slika 5-39 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 14.07.2021. 15:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 14.7.2021. u 15:00 do 15.7.2021. u 15:00

U okviru analize pronosa dijatomeja u ZIMSKOM se razdoblju za uvjete prosječne cirkulacije mora generirane prosječnim okolišnim uvjetima (Slika 0-65 d-f, vjetar E brzine $\leq 3,5$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], protok iz Baćinskih jezera $\leq 3,0$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] i protok Neretve ≤ 250 [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]) može očekivati sljedeće. Čestice unesene u zatvorenom dijelu luke na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 4-20) ostat će u ovome dijelu domene 24 [h] nakon unosa (Slika 0-65 a-c i g) pri čemu se može očekivati izraženije taloženje u okolini ušća kanala iz Baćinskih jezera. Općenito, pri ovakvim okolišnim uvjetima i cirkulaciji mora može se očekivati i taloženje unutar svih zona s manjim brzinama strujanja (uvale zapadno i istočno od lokacije unosa). Pri sličnim uvjetima uz povećani protok iz Baćinskih jezera ($Q_{\text{Šipak}} \geq 10,0$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]) dolazi do iznošenja prema otvorenom moru gotovo svih čestica otprilike 24 [h] nakon njihova unosa u domenu (Slika 0-66 a-c, g). Na lokaciji „Kanal_Vlaska” (Slika 4-20) tijekom prosječnih okolišnih uvjeta pronos čestica sa slabijim vlastitim mogućnostima gibanja (dijatomeja) odvija se dominantno pod utjecajem plimnih oscilacija. U slučaju pojave oseke iznošenje čestica u otvoreno more nastupa gotovo trenutno u slučaju koincidencije s trenutkom unosa (Slika 0-65 a, b). U slučaju plime u trenutku unosa čestica može se očekivati njihovo zadržavanje ili pronos u smjeru NE (prema unutrašnjosti kanala, Slika 0-66 a). Pri takvim uvjetima izraženo je taloženje čestica u okolini lokacije unosa. Nakon iznošenja čestica u SW smjeru uz prisustvo ranije opisanih prosječnih okolišnih uvjeta može se očekivati njihov pronos Neretvanskim kanalom u smjeru NW (Slika 0-65 g).

Vjetar iz smjera SE brzine $v \geq 5,5$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] uzrokuje takvu cirkulaciju da se agenti-dijatomeje u zatvorenom dijelu pronose u smjeru N otprilike 6 [h] nakon unosa na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 5-37 a, b) nakon čega dolazi do iznošenja čestica prema otvorenom moru uslijed djelovanja velikog protoka iz Baćinskih jezera $Q_{\text{Šipak}} > 35$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] (Slika 5-37 a, b). Iznošenje čestica na lokaciji „Kanal_Vlaska” nastupa prilikom djelovanja oseke pri čemu se uslijed djelovanja SE vjetra i većega protoka Neretve ($Q_{\text{Metković}} \approx 800$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]) spaja s raspršenim česticama unesenih na lokaciji „Trajektna_luka” i njihovoga daljnjeg pronosa u NW smjeru uz istočnu obalu Neretvanskoga kanala (Slika 5-37 c, g).

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \geq 5,5$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] iz smjera N, NNE, NE, E, koji koincidiraju s velikim protocima iz Baćinskih jezera (Slika 5-38 d, f), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja pri čemu gotovo sve čestice napuštaju ovaj dio domene otprilike 12 [h] nakon njihova unosa na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 5-38 a, b). Čestice unesene na lokaciji „Kanal_Vlaska” pokazuju iste obrasce pronosa kao što je ranije opisano za prosječne okolišne uvjete uz dominantne okolišne generatore u vidu plimnih oscilacija. Nakon iznošenja čestica u otvoreno more, pri ovim se uvjetima vjetra i slatkovodnoga dotoka može očekivati proširenje iznesenih čestica po širini čitavoga Neretvanskog kanala (nakon iznošenja iz zatvorenih dijelova domene) te daljnji pronos u smjeru NW (Slika 5-38 c, g).

Taloženje čestica u ZIMSKOM razdoblju simulacije odvija se uglavnom u zatvorenim dijelovima akvatorija dominantno uz obalnu liniju te na području neposredno SW-W od ušća rijeke Neretve. Na području SE od transeka između ušća Neretve i zapadne obale kanala (gledano u smjeru osi Neretve) prema Malostonskom zaljevu rijetko dolazi do pronosa dijatomeja, a time i mogućnosti taloženja. Ova je pojava primijećena za vrijeme puhanja vjetra iz smjera SE u trajanju od 3 dana pri čemu je došlo do pronosa dijatomeja u pridnenom sloju i, u konačnici, taloženja na ovome dijelu domene.

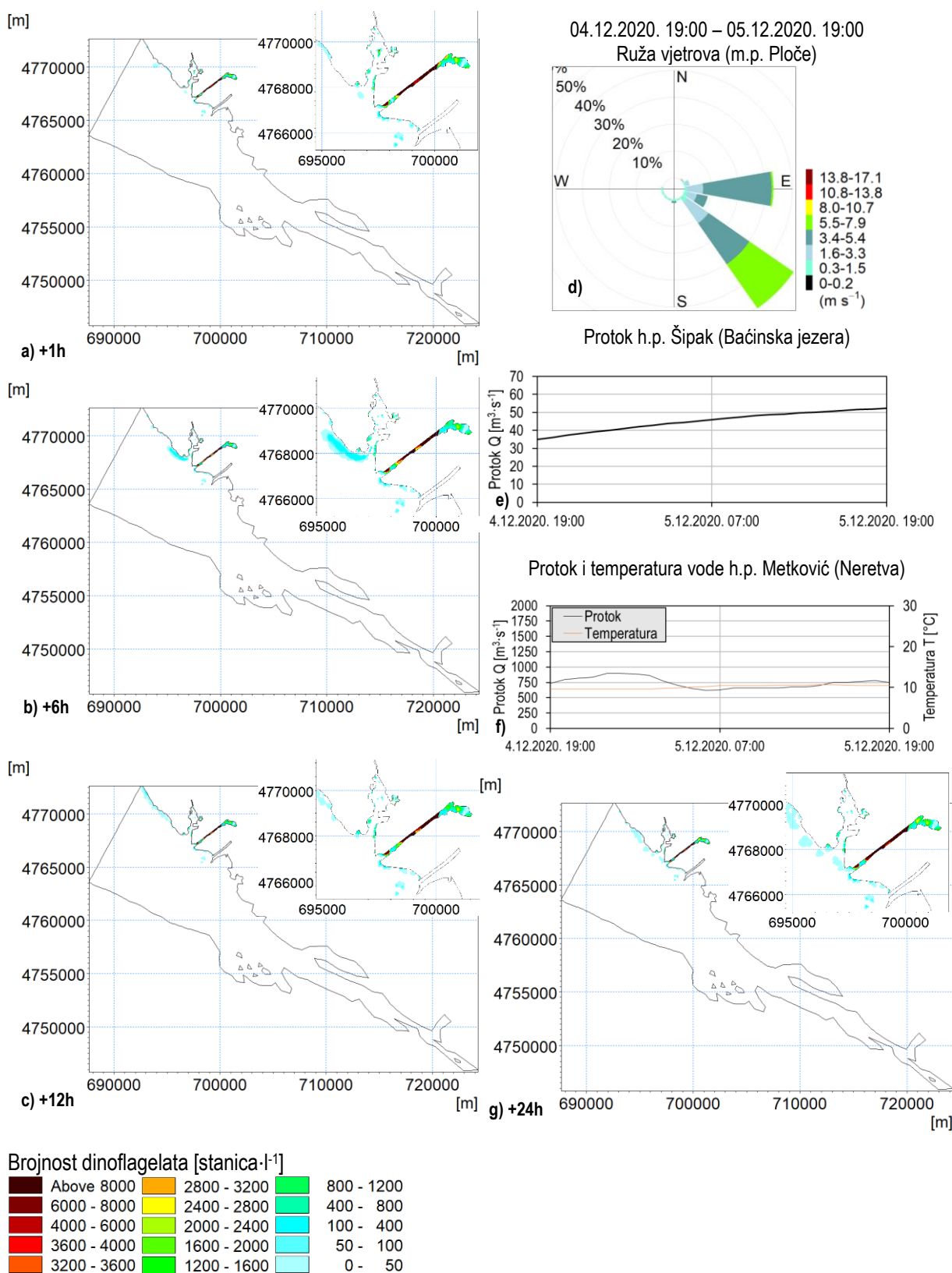
U LJETNOM je razdoblju karakteristično odsustvo protoka iz Baćinskih jezera te manji protoci Neretve $Q_{\text{Metković}} < 260$ [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], stoga vjetar predstavlja dominantni generator intenzivne cirkulacije mora, a time i pronosa dijatomeja. Izdvojene su dvije karakteristične vjetrovne situacije. Prva se odnosi na vjetar W smjera maksimalne brzine $v \geq 5,5$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] (Slika 5-39 d) koji uzrokuje iznošenje čestica unesenih na

objema lokacijama od samoga trenutka unosa. Do spajanja čestica iznesenih s pojedine lokacije dolazi otprilike 12 [h] nakon unosa te njihova daljnjeg pronosa prema SE dijelu Neretvanskoga kanala (Slika 5-39 a, b).

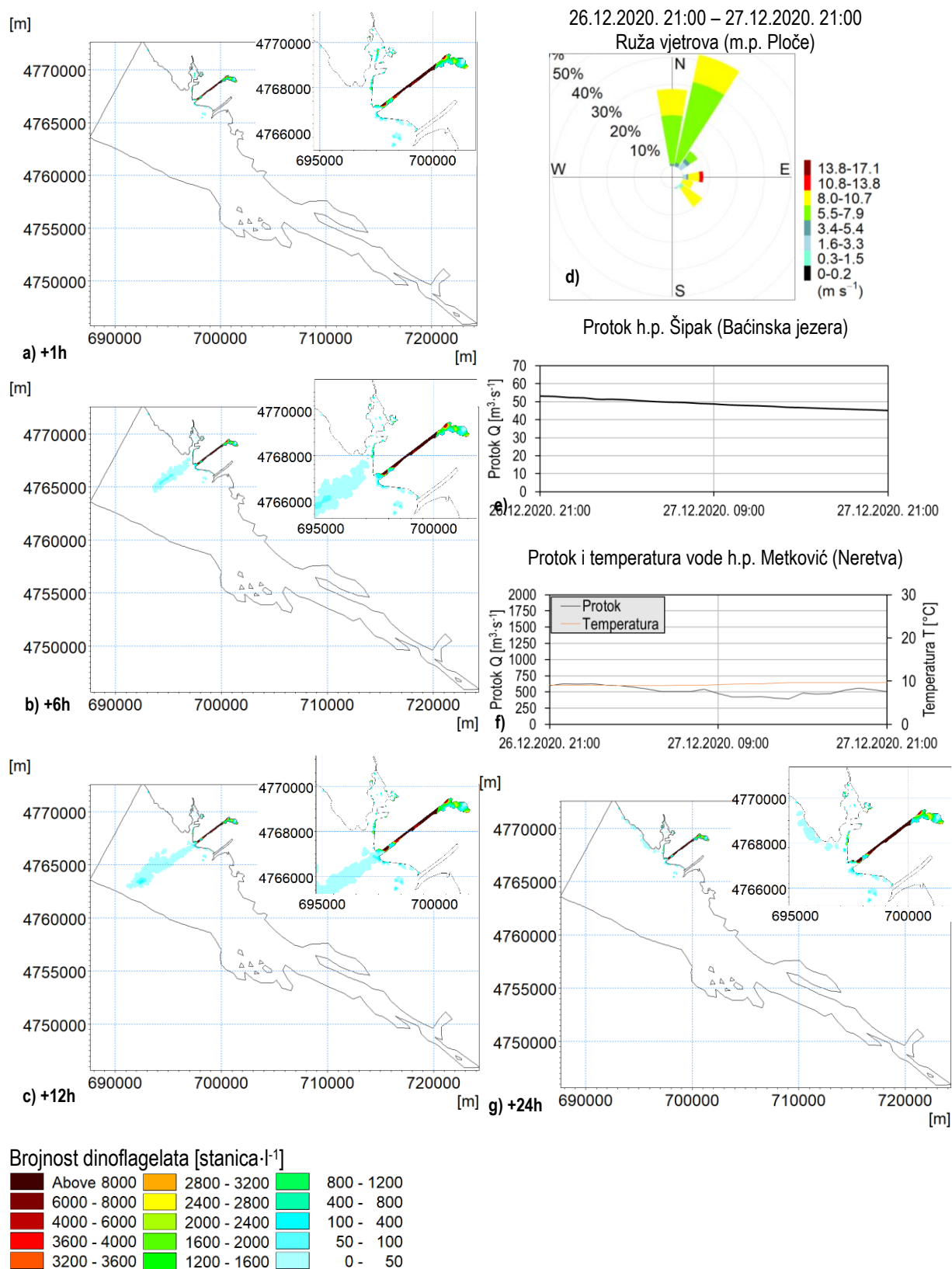
Uslijed djelovanja prosječnoga vjetra (dominantan smjer E s brzinama $< 3,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, Slika 0-67 d) u kombinaciji s vjetrom iz smjera S u ovom se razdoblju može očekivati iznošenje čestica prema otvorenome moru i to 12 [h] nakon unosa na lokaciji „Trajektna_luka”, odnosno 6 [h] nakon unosa na lokaciji „Kanal_Vlaska” (Slika 0-67 a-c). Karakteristično je da je u trenutku unosa prisutna oseka čija je pojava već ranije opisana kao dominantni uzročnik iznošenja čestica s lokacije „Kanal_Vlaska”.

Taloženje čestica u LJETNOM razdoblju odvija se uglavnom istovjetno kao i za ZIMSKO razdoblje što se tiče zatvorenih dijelova akvatorija. Značajna je razlika u tome što je prisutan učestaliji pronos u smjeru SE zbog česte pojave vjetra iz smjera W. Shodno tome, u LJETNOM se razdoblju može očekivati pronos prema SE dijelu Neretvanskoga kanala te, u konačnici, taloženje čestica na ovome dijelu prostorne domene.

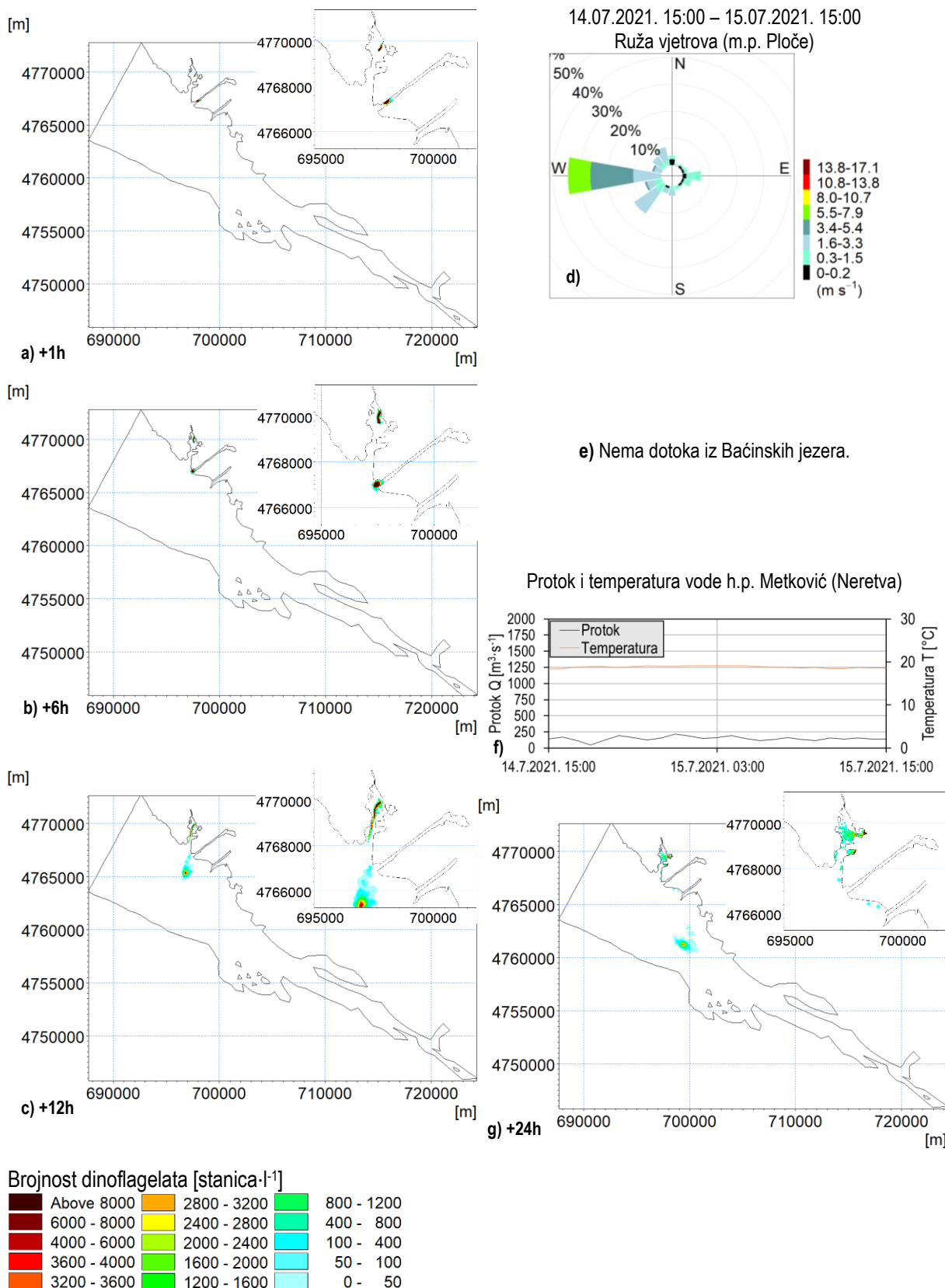
5.4.1.3.2 Dinoflagelati



Slika 5-40 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica-l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 04.12.2020. 19:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 4.12.2020. u 19:00 do 5.12.2020. u 19:00



Slika 5-41 2D polja dinoflagelata raspoređenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 26.12.2020. 21:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 26.12.2020. u 21:00 do 27.12.2020. u 21:00



Slika 5-42 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 14.07.2021. 15:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 14.7.2021. u 15:00 do 15.7.2021. u 15:00

U okviru analize pronosa dinoflagelata u ZIMSKOM se razdoblju za uvjete prosječne cirkulacije mora generirane prosječnim okolišnim uvjetima (Slika 0-70 d-f) može očekivati sljedeće. Čestice unesene u zatvorenom dijelu luke na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 4-20) iznose se izvan ovoga dijela domene prema otvorenom moru 24 [h] nakon unosa (Slika 0-70 g) pri čemu taloženje u ovome razdoblju nije zabilježeno. Valja napomenuti da, za razliku od pronosa dijatomeja, dolazi do pronosa aktivnih čestica u područje domene ispred kontejnerskoga terminala (Slika 0-70 a-c). Općenito, pri ovakvim okolišnim uvjetima i cirkulaciji mora ipak se može očekivati i taloženje unutar zona s manjim brzinama strujanja (uvale zapadno i istočno od lokacije unosa, u trajektnoj luci, ispred kontejnerskog terminala). Ipak, taloženje u ovome dijelu domene nastupa značajno kasnije u odnosu na dijatomeje zbog sposobnosti ovih čestica da se dulje zadrže raspršenima u stupcu mora. Pri sličnim uvjetima uz povećani protok iz Baćinskih jezera ($Q_{\text{Šipak}} \geq 10.0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]})$ u odnosu na dijatomeje očekivano dolazi do značajnijega iznošenja prema otvorenom moru gotovo svih čestica otprilike 12 [h] nakon njihova unosa u domenu (Slika 0-71 c, g). Na lokaciji „Kanal_Vlaska” (Slika 4-20) tijekom prosječnih okolišnih uvjeta zamjetljiva je značajna razlika u odnosu na pronos dijatomeja. Aktivne su čestice, zbog svoje mogućnosti duljega zadržavanja u stupcu mora, podložnije djelovanju drugih okolišnih parametara osim plimnih oscilacija. Pri tome se može očekivati za prosječne okolišne uvjete pronos u smjeru NE kroz kanal sve do jezera Vlaška (Slika 0-70 a-c, g; Slika 0-71 a-c, g). Osim oko mjesta unosa, izraženo je taloženje aktivnih čestica NE od mjesta unosa, a može se očekivati taloženje čak i u jezeru Vlaška. Nakon iznošenja čestica u SW smjeru uz prisustvo ranije opisanih prosječnih okolišnih uvjeta može se očekivati njihov pronos Neretvanskim kanalom u smjeru NW (Slika 0-70 g; Slika 0-71 g).

U slučaju pojave vjetra iz smjera SE brzine $v \geq 5,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ i velikog protoka iz Baćinskih jezera $Q_{\text{Šipak}} > 35 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$, zbog prisutnosti čestica dominantno u površinskom sloju dolazi do trenutnog iznošenja čestica nakon unosa na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 5-40 a, b). Nakon iznošenja u otvoreno more čestice se dalje pronose u smjeru NW uz istočnu obalu Neretvanskoga kanala (Slika 5-40 c, g) što nastaje kao posljedica koincidencije vjetra iz smjera SE i većeg protoka Neretve ($Q_{\text{Metković}} \approx 800 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$). Iznošenje čestica unesenih na lokaciji „Kanal_Vlaska” nastupa prilikom pojave vjetra iz smjera E (otprilike 18 [h] nakon unosa), a pronos Neretvanskim kanalom odvija se istovjetno prethodno opisanome (Slika 5-40 c, g).

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \geq 5,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ iz smjera N, NNE, NE, E, koji koincidiraju s velikim protocima iz Baćinskih jezera (Slika 5-41 d, f), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja pri čemu gotovo sve čestice napuštaju ovaj dio domene otprilike 6 [h] nakon njihova unosa na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 5-41 a, b). Do iznošenja čestica unesenih na lokaciji „Kanal_Vlaska” dolazi nešto kasnije i to otprilike 12 [h] nakon unosa na ovoj lokaciji. Nakon iznošenja čestica iz zatvorenih dijelova luke u otvoreno more, pri ovim se uvjetima vjetra i slatkovodnoga dotoka može očekivati pronos prema zapadnoj obali i raspršenje po polovici širine Neretvanskog kanala te daljnji pronos u smjeru NW (Slika 5-41 c, g).

Taloženje dinoflagelata u ZIMSKOM razdoblju simulacije odvija se uglavnom jednoliko raspodijeljeno u zatvorenim dijelovima akvatorija te na području neposredno SW od ušća rijeke Neretve manje izraženo u odnosu na taloženje dijatomeja.

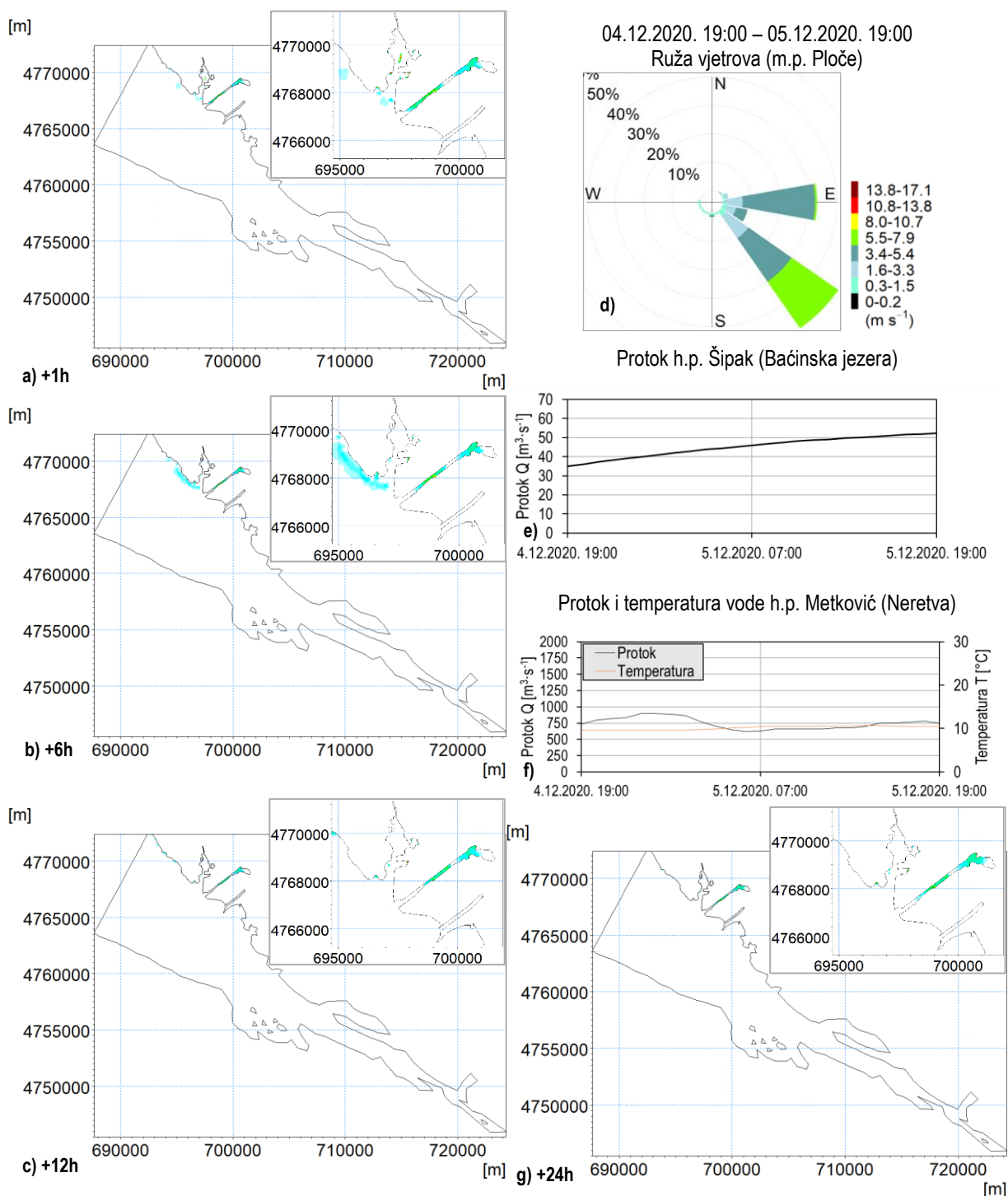
U LJETNOM je razdoblju karakteristično odsustvo protoka iz Baćinskih jezera te manji protoci Neretve $Q_{\text{Metković}} < 260 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$, stoga vjetar predstavlja dominantni generator intenzivne cirkulacije mora, a time i pronosa aktivnih čestica. U slučaju pojave vjetra iz W smjera maksimalne brzine $v \geq 5,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ (Slika

5-42 d) može se očekivati zadržavanje čestica unesenih na lokaciji „Trajektna_luka” unutar zatvorenoga dijela luke u svojoj okolini. Čestice unesene na lokaciji „Kanal_Vlaska” gotovo trenutno se iznose prema otvorenome moru te dalje pronose prema SE dijelu Neretvanskoga kanala (Slika 5-42 a-c, g).

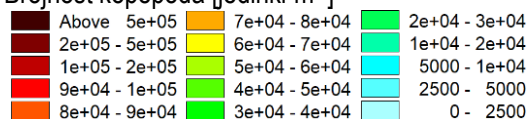
Uslijed djelovanja prosječnoga vjetra (dominantan smjer E s brzinama $< 3,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, Slika 0-72 d) u kombinaciji s vjetrom iz smjera S u ovom se razdoblju može očekivati zadržavanje čestica unutar zatvorenoga dijela domene nakon unosa na lokaciji „Trajektna_luka” te grupiranja oko ušća kanala iz Baćinskih jezera. Nakon unosa na lokaciji „Kanal_Vlaska” (Slika 0-72 a-c) može se očekivati djelomično iznošenje čestica prema otvorenome moru (uslijed djelovanja vjetra iz smjera E) što slijedi daljnji pronos dijelom prema lokaciji „Trajektna_luka”, a dijelom u smjeru NW uz istočnu obalu Neretvanskoga kanala.

Taloženje čestica u LJETNOM razdoblju odvija se uglavnom istovjetno kao i za ZIMSKO razdoblje što se tiče zatvorenih dijelova akvatorija. Značajna je razlika u tome što je prisutan učestaliji pronos u smjeru SE zbog česte pojave vjetra iz smjera W. Shodno tome, u LJETNOM se razdoblju može očekivati pronos prema SE dijelu Neretvanskoga kanala te, u konačnici, taloženje čestica na ovome dijelu prostorne domene.

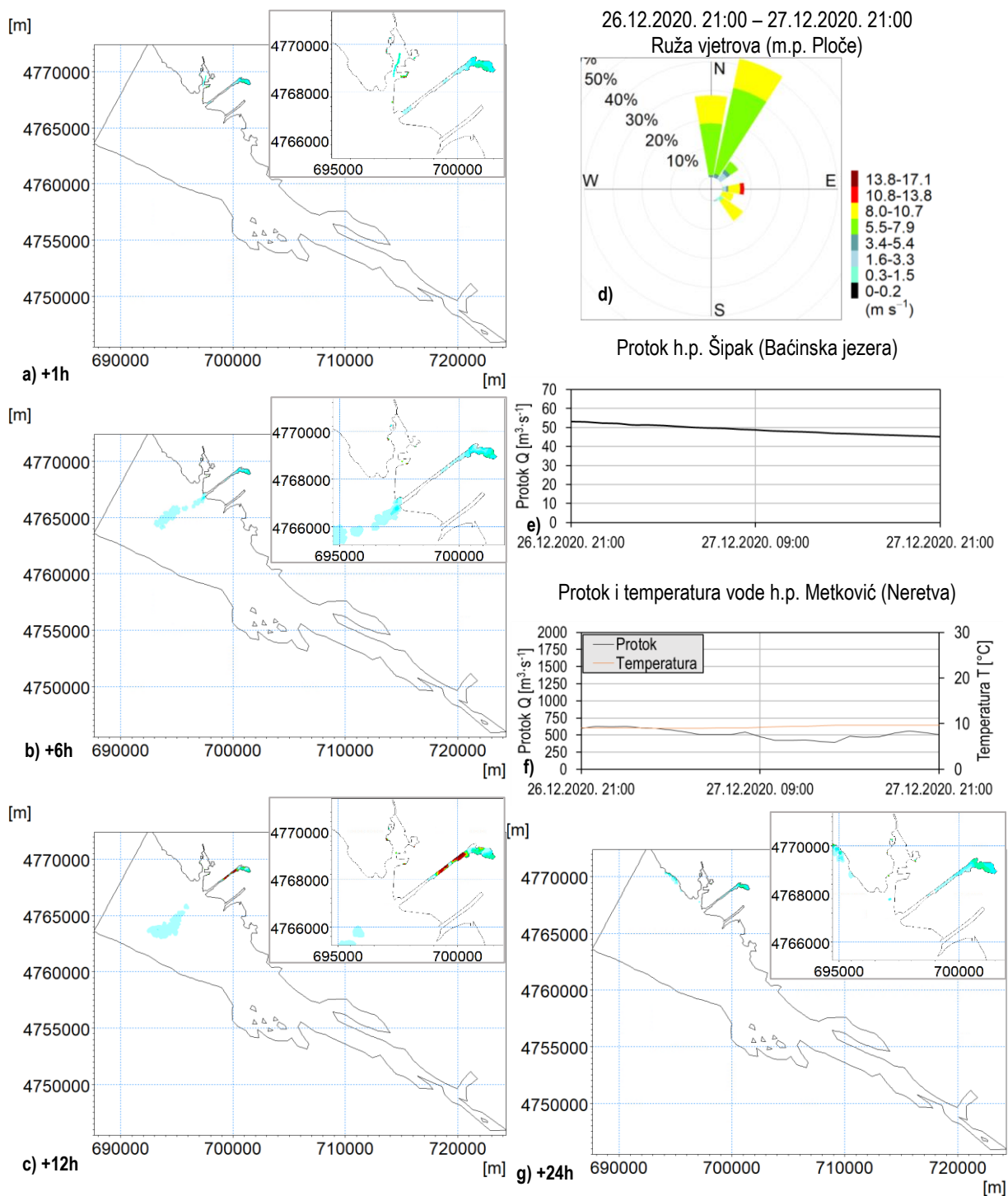
5.4.1.3.3 Kopepodi



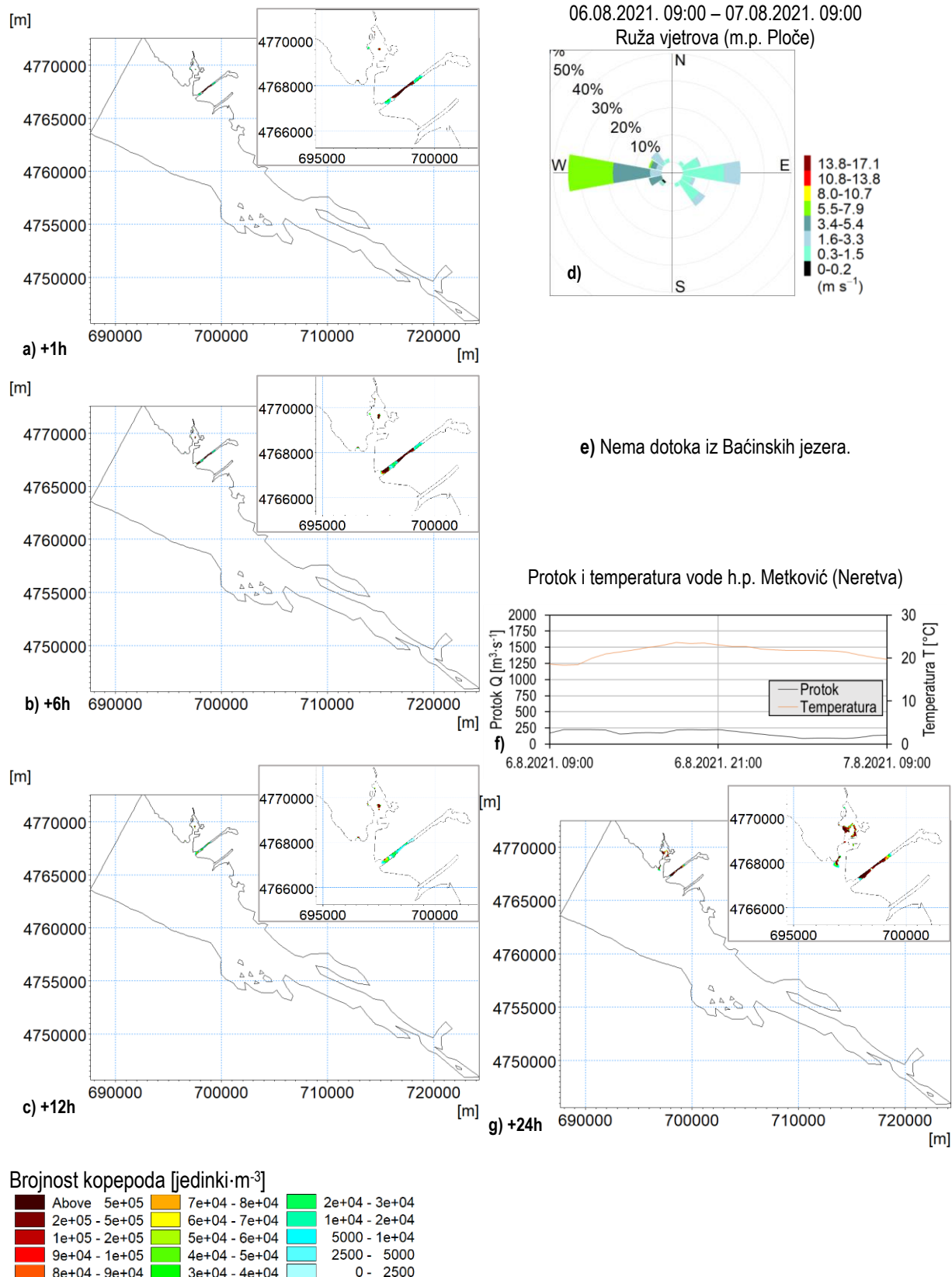
Brojnost kopepoda [jedinki·m⁻³]



Slika 5-43 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [jedinki·m⁻³] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 04.12.2020. 19:00, ruža vjetрова na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 4.12.2020. u 19:00 do 5.12.2020. u 19:00



Slika 5-44 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [jedinki·m⁻³] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 26.12.2020. 21:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 26.12.2020. u 21:00 do 27.12.2020. u 21:00



Slika 5-45 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [jedinki·m⁻³] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 06.08.2021. 09:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 6.8.2021. u 09:00 do 7.8.2021. u 09:00

U okviru analize pronosa kopepoda kao aktivnih čestica u ZIMSKOM se razdoblju za uvjete prosječne cirkulacije mora generirane prosječnim okolišnim uvjetima (Slika 0-75 d-f) može očekivati sljedeće. Čestice unesene u zatvorenom dijelu luke na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 4-20) iznose se izvan ovoga dijela domene prema otvorenom moru 24 [h] nakon unosa (Slika 0-75 g). Pri sličnim uvjetima uz povećani protok iz Baćinskih jezera ($Q_{\text{Šipak}} \geq 10,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$) u odnosu na dijatomeje očekivano dolazi do značajnijega iznošenja prema otvorenom moru gotovo svih čestica otprilike 12 [h] nakon njihova unosa u domenu (Slika 0-76 c, g). Na lokaciji „Kanal_Vlaska” (Slika 4-20) tijekom prosječnih okolišnih uvjeta dolazi do sličnih obrazaca pronosa kao što je dobiveno pri analizi pronosa dinoflagelata (vidi poglavlje D.I.ii) gdje se pronos aktivnih čestica odvija uglavnom unutar kanala Vlaška bez iznošenja prema otvorenome moru (Slika 0-75 a-c, g; Slika 0-76 a-c, g). Nakon iznošenja čestica u SW smjeru uz prisustvo ranije opisanih prosječnih okolišnih uvjeta može se očekivati njihov pronos Neretvanskim kanalom u smjeru NW (Slika 0-75 g; Slika 0-76 c, g).

U slučaju pojave vjetrova iz smjera SE brzine $v \geq 5,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ i velikog protoka iz Baćinskih jezera $Q_{\text{Šipak}} > 35 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$, zbog prisutnosti čestica dominantno u površinskom sloju dolazi do trenutnog iznošenja čestica nakon unosa na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 5-43 a, b). Nakon iznošenja u otvoreno more čestice se dalje pronose u smjeru NW uz istočnu obalu Neretvanskoga kanala (Slika 5-43 c, g) što nastaje kao posljedica koincidencije vjetrova iz smjera SE i većeg protoka Neretve ($Q_{\text{Metković}} \approx 800 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$). Na lokaciji unosa „Kanal_Vlaska” ne dolazi do iznošenja čestica u Neretvanski kanal te se pronos odvija dominantno u smjeru NE-SW tijekom cijeloga razmotrenog razdoblja (Slika 5-43 a-c, g).

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \geq 5,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ iz smjera N, NNE, NE, E, koji koincidiraju s velikim protocima iz Baćinskih jezera (Slika 5-44 d, f), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja pri čemu gotovo sve čestice napuštaju ovaj dio domene otprilike 6 [h] nakon njihova unosa na lokaciji „Trajektna_luka” (Slika 5-41 a, b). Do iznošenja čestica unesenih na lokaciji „Kanal_Vlaska” dolazi nešto kasnije i to otprilike 12 [h] nakon unosa na ovoj lokaciji te spajanja s prethodno iznesenim česticama. Nakon iznošenja čestica iz zatvorenih dijelova luke u otvoreno more, pri ovim se uvjetima vjetrova i slatkovodnoga dotoka može očekivati pronos prema zapadnoj obali i raspršenje po sredini Neretvanskog kanala te daljnji pronos u smjeru NW (Slika 5-44 c, g).

U LJETNOM je razdoblju karakteristično odsustvo protoka iz Baćinskih jezera te manji protoci Neretve $Q_{\text{Metković}} < 260 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$, stoga vjetar predstavlja dominantni generator intenzivne cirkulacije mora, a time i pronosa aktivnih čestica. Zbog nedostatka ulaznih podataka za srpanj (Tablica 4.8) odabran je drugi termin karakteristične situacije u odnosu na analizu pronosa dijatomeja i dinoflagelata. U slučaju pojave vjetrova iz W smjera maksimalne brzine $v \geq 5,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ (Slika 5-45 d) može se očekivati zadržavanje čestica u okolini lokacije unosa „Trajektna_luka” unutar zatvorenoga dijela luke. Čestice unesene na lokaciji „Kanal_Vlaska” pronose se prema istome obrascu kako je ranije objašnjeno, tj. naizmjenično u smjeru NE-SW te nije primijećeno njihovo iznošenje u Neretvanski kanal (Slika 5-45 a-c, g).

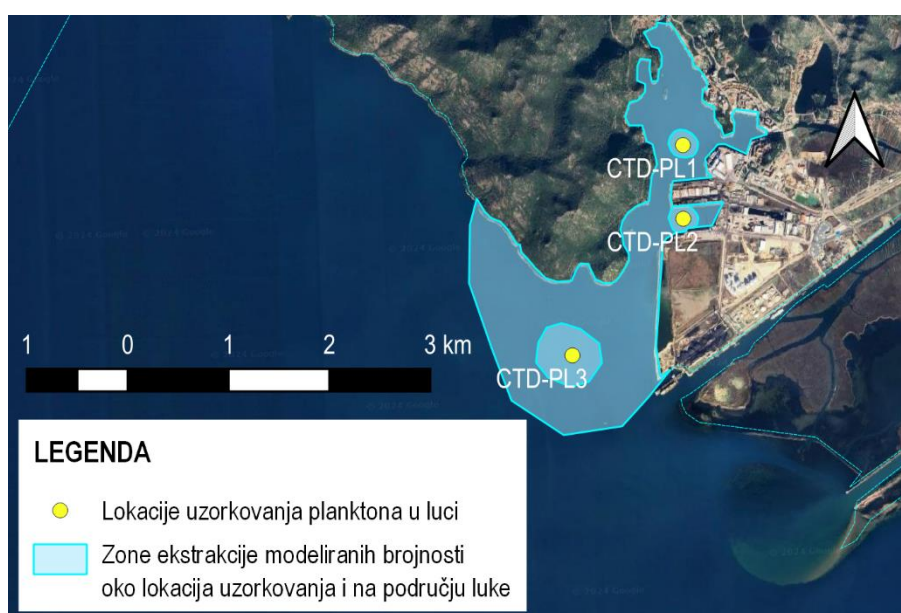
Uslijed djelovanja prosječnoga vjetrova (dominantni smjer E s brzinama $< 3,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$, Slika 0-72 d) u kombinaciji s vjetrom iz smjera S u ovom se razdoblju može očekivati zadržavanje čestica unutar zatvorenih dijelova domene nakon unosa na lokaciji „Trajektna_luka”. Unutar prvih 6 [h] nakon unosa na ovoj lokaciji utvrđen je pronos čestica prema otvorenome moru koji se privremeno zaustavlja na transektu zatvorenoga dijela i Neretvanskoga kanala. Ovu pojavu slijedi zadržavanje u zaljevu uz transekt Nakon unosa na lokaciji „Kanal_Vlaska” (Slika 0-72 a-c) može se očekivati djelomično iznošenje čestica prema

otvorenome moru (uslijed djelovanja vjetrova iz smjera E) što slijedi daljnji pronos dijelom prema lokaciji „Trajektna luka”, a dijelom u smjeru NW uz istočnu obalu Neretvanskoga kanala.

5.4.1.4 Usporedba izmjerenih brojnosti zooplanktona i modeliranih brojnosti kopepoda

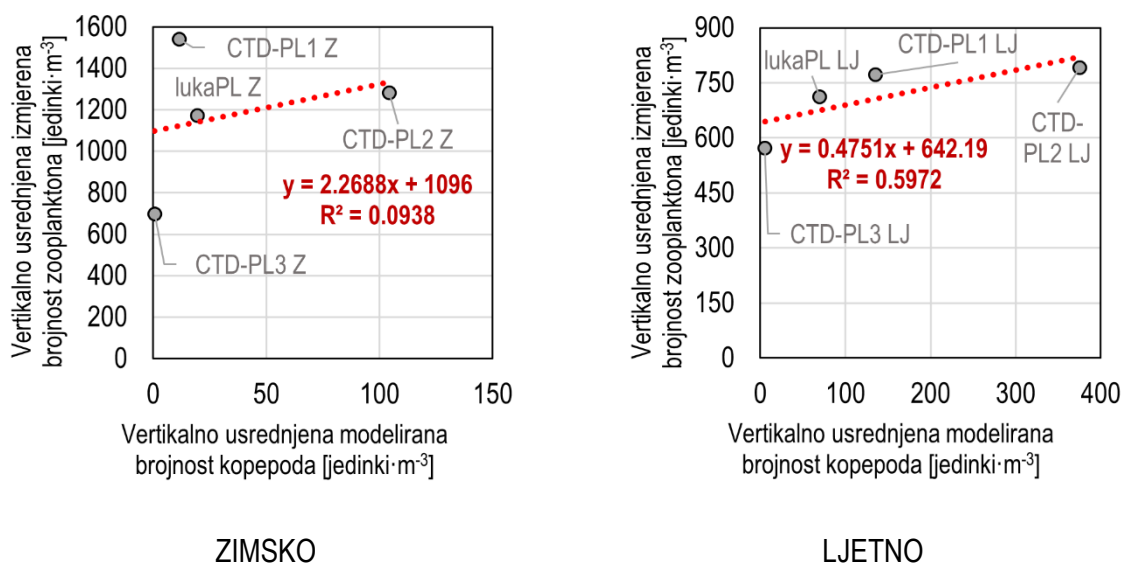
Uzorkovanje zooplanktona provedeno je za sve četiri sezone na lokacijama CTD-PL1, CTD-PL2 i CTD-PL3 u luci Ploče. Za usporedbu s vertikalno usrednjenim modeliranim vrijednostima kopepoda, izmjerene kumulativne brojnosti zooplanktona na CTD-PL1, CTD-PL2 i CTD-PL3 podijeljene su s odgovarajućim dubinama na pojedinoj lokaciji uzorkovanja ($d_{\text{CTD-PL1}} = -12$ [m], $d_{\text{CTD-PL2}} = -14$ [m], $d_{\text{CTD-PL3}} = -18$ [m]). Prosječno stanje u lukama izračunato je kao srednja vrijednost brojnosti zabilježenih na trima lokacijama uzorkovanja. Naposljetku, provedeno je vremensko usrednjavanje uzorkovanih brojnosti tako da se izračuna prosjek vrijednosti dobivenih u jesensko-zimskim i ljetnim terminima uzorkovanja. U okviru ZIMSKOG razdoblja za šire akvatorijalno područje luke Ploče u obzir su uzeti termini 29.10., 4.11., 12.11. i 19.11.2020. te 27.1.2021. dok su za LJETNO razmotreni termini uzorkovanja 13.7., 22.7., 27.7. i 3.8.2021.

Prosječne modelirane brojnosti kopepoda u pojedinom simulacijskom razdoblju određene su na temelju ranije opisanih 2D polja ukupnoga prosječnog stanja brojnosti (pogavlje 5.4.1.1.3, Slika 5-33). Nadalje, određene su zone ekstrakcije unutar prostorne domene modela koje se smatraju mjerodavnima za usporedbu s terenskim mjerenjima (Slika 5-46). Unutar granica zona ekstrakcije izračunate su srednje vrijednosti odgovarajućih brojnosti modeliranih kopepoda kroz pojedino simulacijsko razdoblje te uspoređene odgovarajućim prosjecima terenski uzorkovanih brojnosti zooplanktona u jesensko-zimskim odnosno ljetnim terminima.



Slika 5-46 Lokacije uzorkovanja zooplanktona i zone ekstrakcije modelom dobivenih prosječnih vertikalno usrednjenih brojnosti kopepoda u luci Ploče – podloga Google satelit

U nastavku je prikazana usporedba rezultata združenog 3D HD modela cirkulacije mora i ABM-a pronosa kopepoda s raspoloživim terenskim uzorkovanjima zooplanktona. Izuzetno je važno naglasiti da se daje usporedba izmjerenih brojnosti zooplanktona i modeliranih brojnosti kopepoda (najzastupljeniji predstavnici zooplanktona). Ovim radom nije obuhvaćeno modeliranje svih predstavnika zooplanktona. Kroz ove će se prikaze za pojedino simulacijsko razdoblje dobiti uvid u pouzdanost združenog modela u kontekstu opisivanja odgovarajuće prostorne razdiobe modeliranih planktonskih frakcija.



Slika 5-47 Usporedba izmjerenih brojnosti zooplanktona i modelom dobivenih vertikalno usrednjenih brojnosti kopepoda na lokacijama uzorkovanja i području luke za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje s obzirom unos modelskih čestica u prostornu domenu šireg akvatorijalnog područja luke Ploče

Prethodni prikazi upućuju na to da ne postoji korelacija u ZIMSKOM razdoblju između uzorkovanih i modeliranih brojnosti (Slika 5-47, lijevo). Također, za ovo razdoblje nije zadovoljavajuće utvrđen red veličine brojnosti izražene u [jedinki·m⁻³]. U LJETNOM pak razdoblju postoji određena korelacija gdje je $R^2 \approx 0,60$. (Slika 5-47, desno) Također, modelirana brojnost kopepoda reda je veličine brojnosti uzorkovanih zooplanktona na trima lokacijama (CTD-PL1, CTD-PL2, CTD-PL3). Nužno je napomenuti da u okviru modelskih simulacija početno stanje raspršenja kopepoda nije uzeto u obzir, odnosno u trenutku unosa agenata u modelsku domenu ne postoji drugi parametar kojim bi se opisala prisutnost drugih agenata ili brojnost modeliranih kopepoda. Također, na trima lokacijama unutar luke Ploče uzorkovan je ukupni zooplankton dok je u okviru modelskih simulacija promatrano isključivo gibanje kopepoda bez ostalih grupa zooplanktona.

5.4.2 Luka Rijeka

5.4.2.1 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i ukupno istaloženih agenata unutar domene

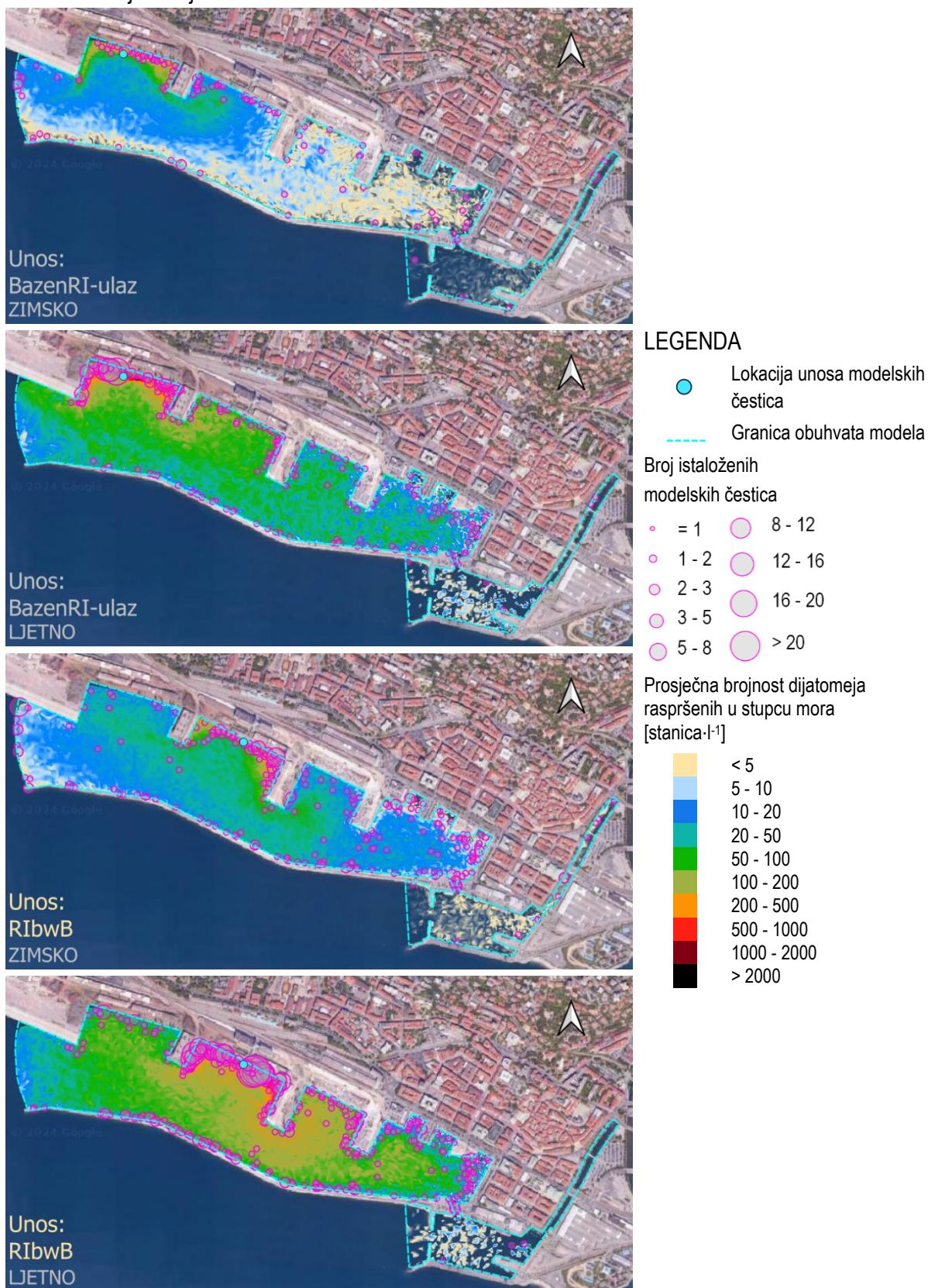
Istovjetno ranije opisanome za šire akvatorijalno područje luke Ploče (poglavlje 5.4.1.1), određena su 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i ukupno istaloženih agenata unutar domene u luci Rijeka.

Prosječne brojnosti raspršenih agenata triju modeliranih frakcije izračunate su primjenom prostornoga i vremenskog usrednjavanja za svako pojedino simulacijsko razdoblje.

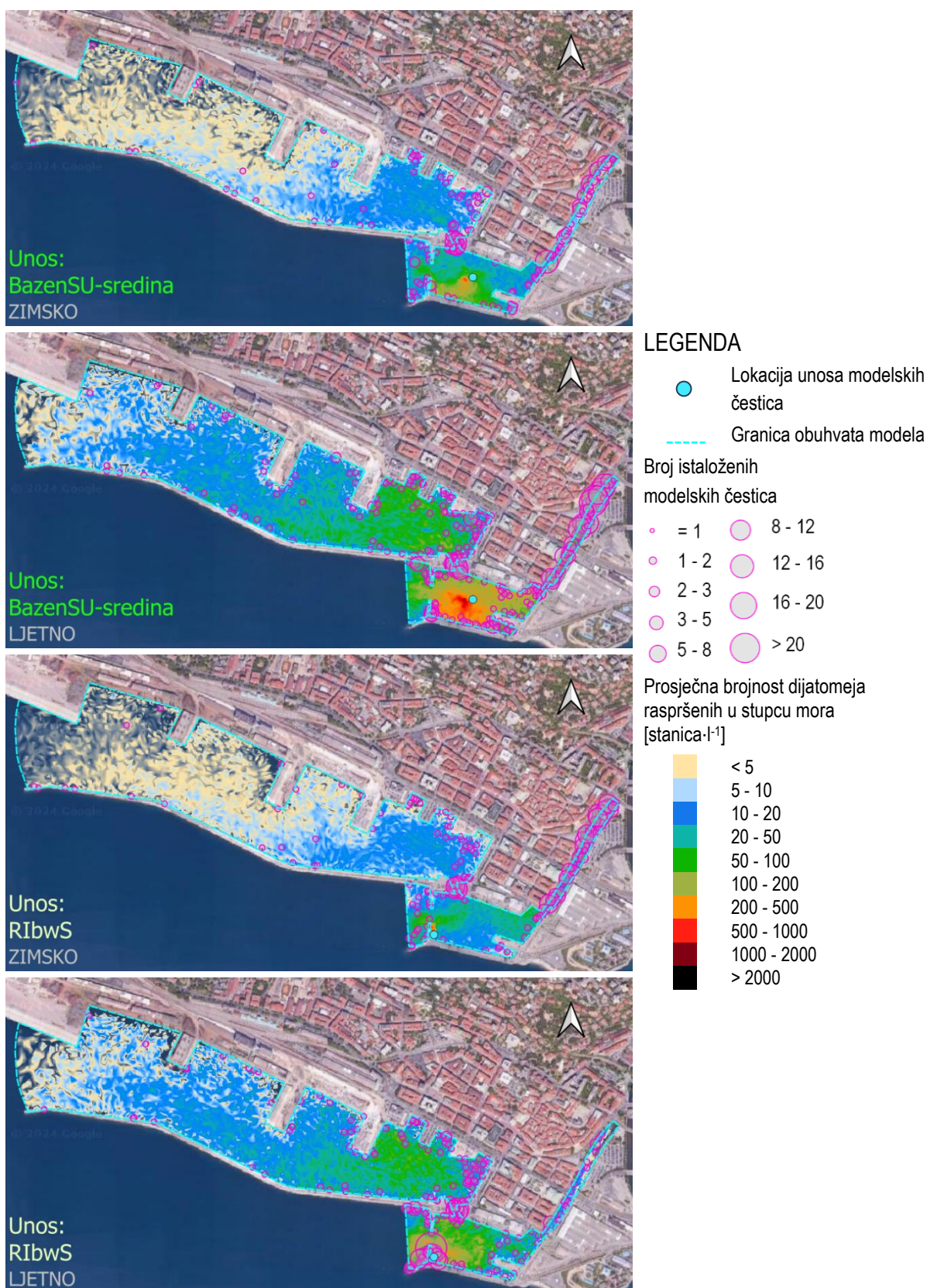
2D polja ukupno istaloženih agenata na modelskom dnu određena su ekstrakcijom zadnjega vremenskog koraka rezultata simulacije u pojedinom razdoblju. Pri tome, istaknute su dubine na kojima je došlo do taloženja agenata.

Naposljetku, za svaku pojedinu domenu i simulacijsko razdoblje izračunato je ukupno prosječno stanje raspršenih agenata. Ovi prikazi također su dani kao 2D polja dobivena zbrojem prethodno izračunatih 2D polja prostorno i vremenski usrednjenih modeliranih brojnosti raspršenih čestica unesenih na pojedinoj lokaciji unutar domene luke Rijeka (Slika 4-21).

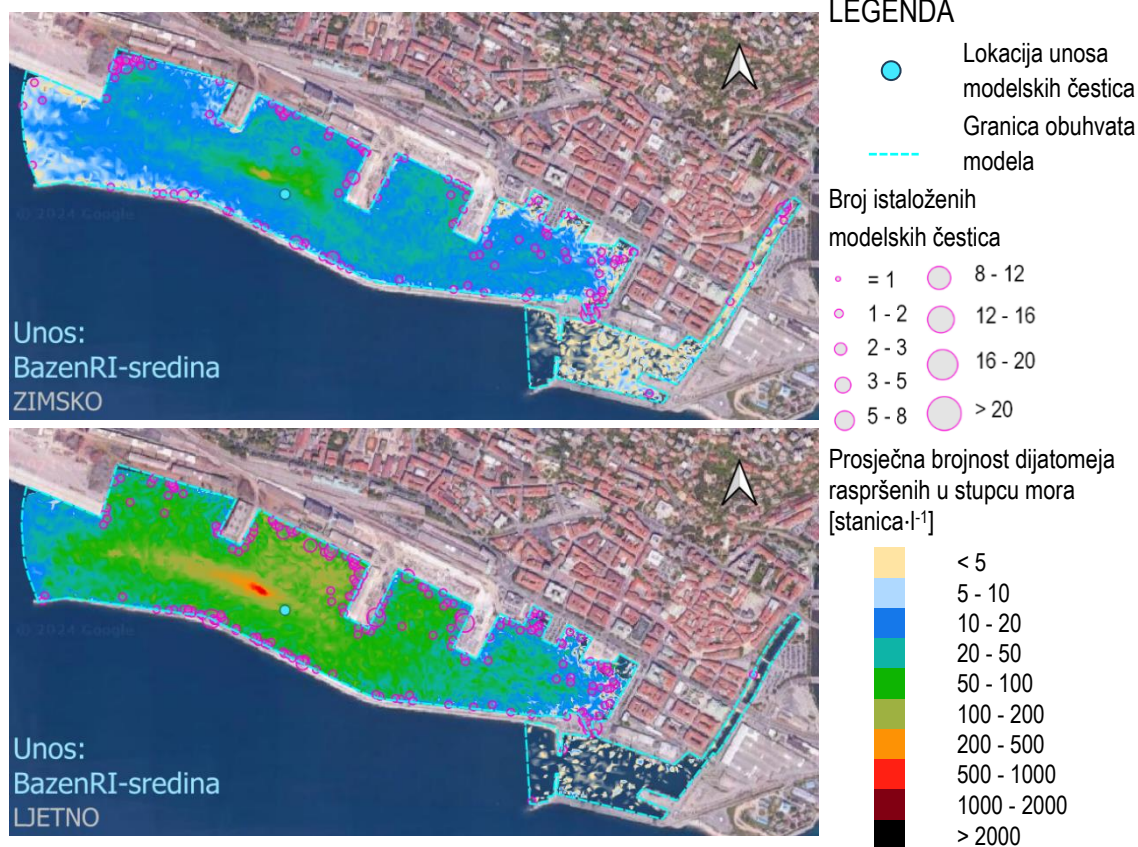
5.4.2.1.1 Dijatomeje



Slika 5-48 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokacijama „BazenRI-ulaz“ i „RIbwB“ (podloga: Google satelit)

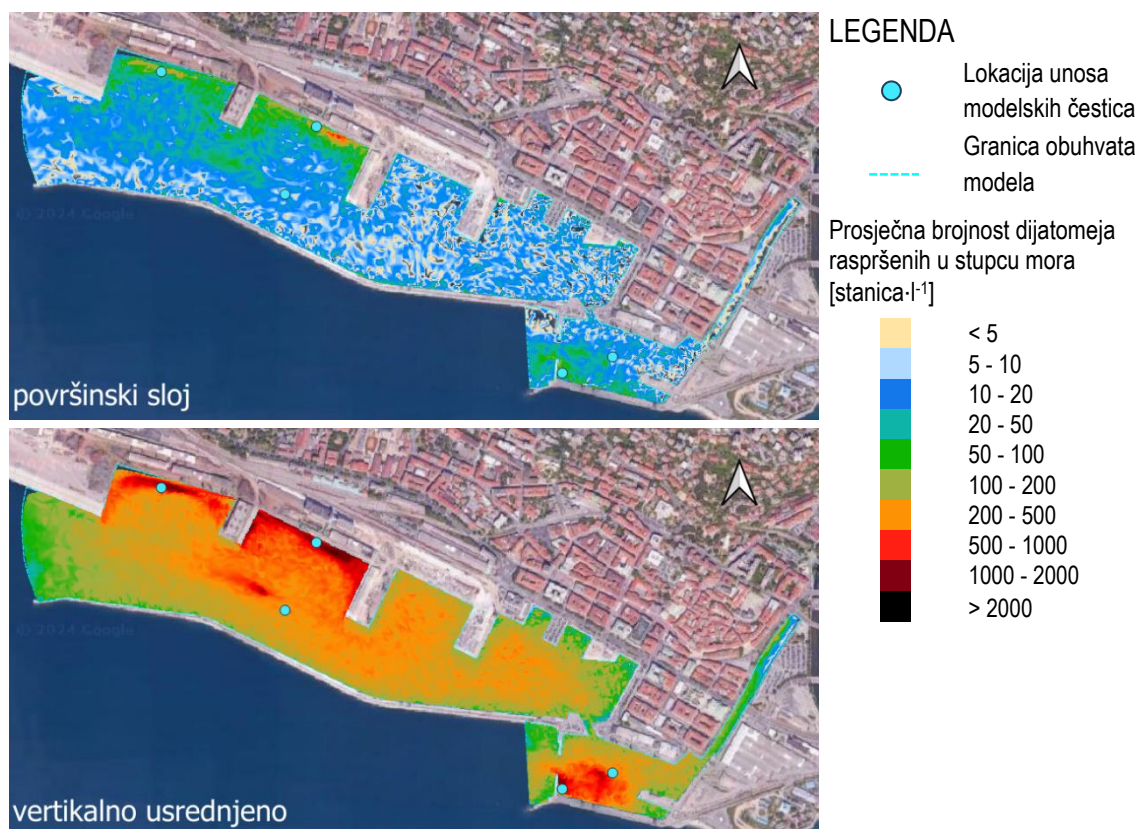


Slika 5-49 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokacijama „BazenSU-sredina“ i „RlbwS“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-50 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokaciji „BazenRI-sredina“ (podloga: Google satelit)

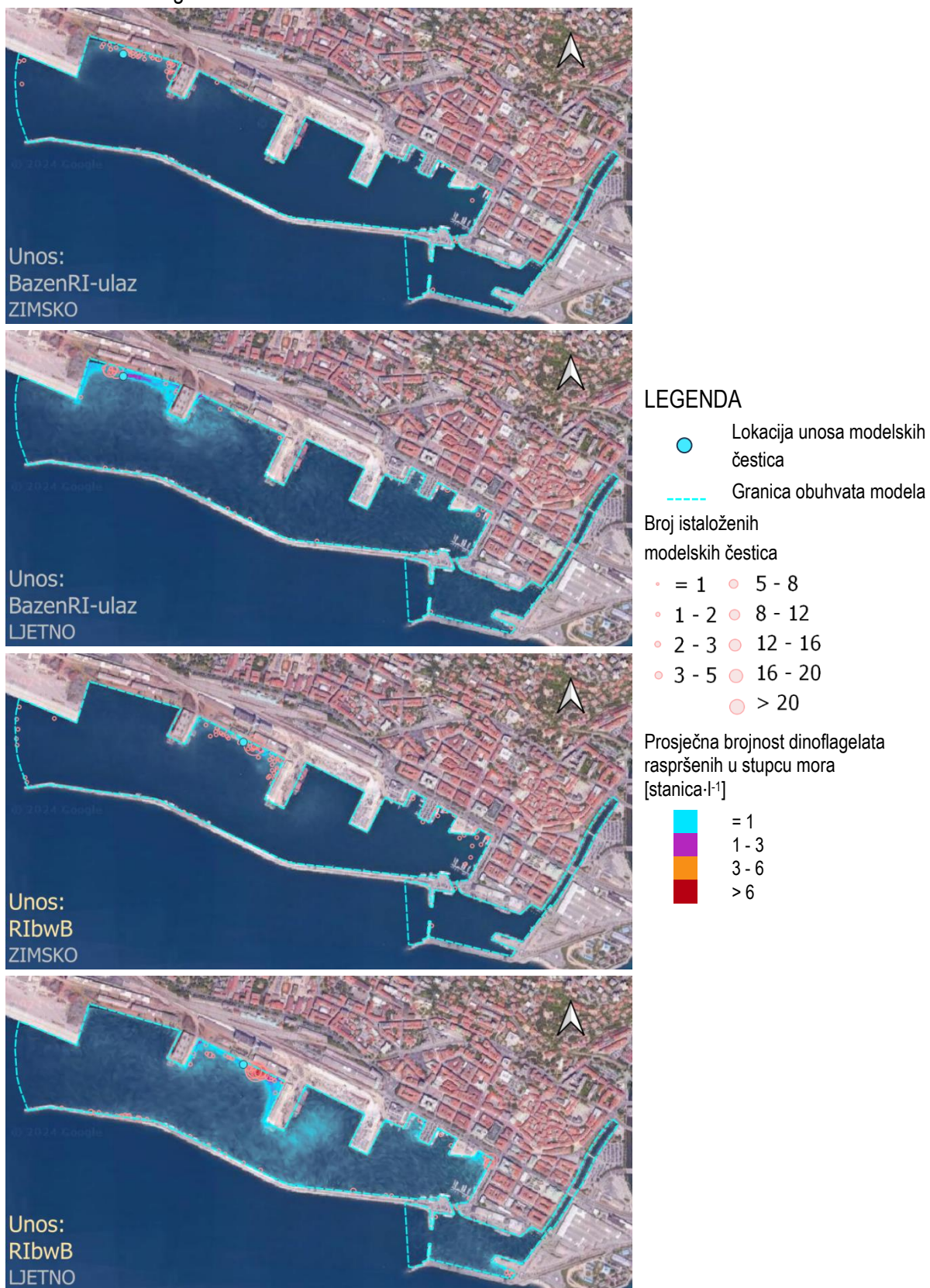
U nastavku su prikazana ukupna prosječna stanja brojnosti modeliranih dijatomeja za površinski sloj te vertikalno usrednjenih u stupcu mora za LJETNO simulacijsko razdoblje. Ukupno prosječno stanje u površinskom sloju odgovara zbroju modeliranih brojnosti u gornjem σ -sloju združenog 3D HD modela cirkulacije i ABM-a pronosa dijatomeja za agente unesene na svakoj od spomenutih lokacija. Vertikalno usrednjene modelirane brojnosti dobivene su istovjetno ranije opisanome za šire akvatorijalno područje luke Ploče u poglavlju 5.4.1.1.



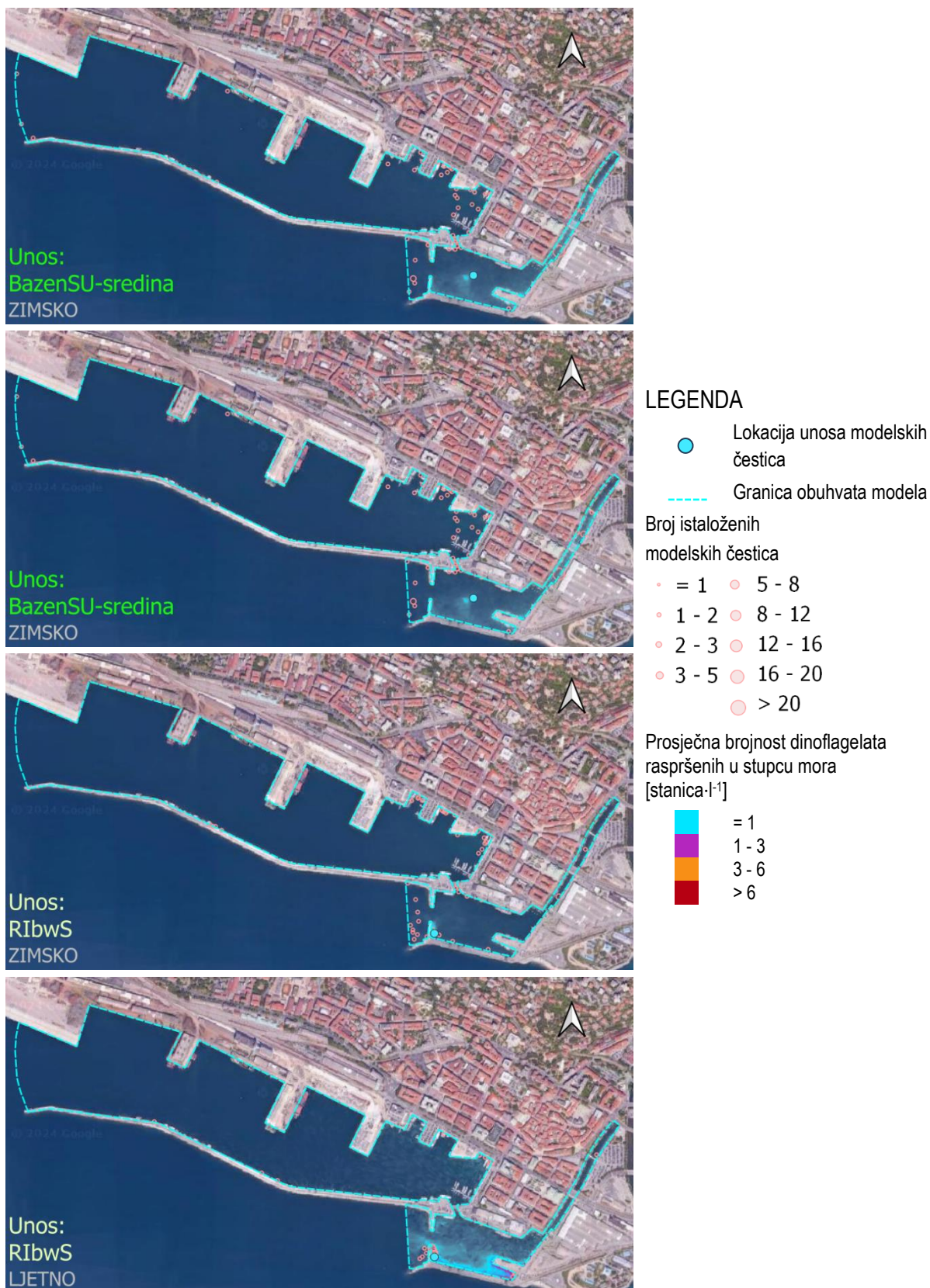
Slika 5-51 Ukupno prosječno stanje površinskih (gore) i vertikalno usrednjenih (dolje) brojnosti dijatomeja za LJETNO simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu luke Rijeka (podloga: Google satelit)

Dobivena ukupna prosječna stanja površinskih i vertikalno usrednjenih modeliranih brojnosti dijatomeja iskorištena su za usporedbu s rezultatima terenskih uzorkovanja na lokacijama RIbwS i RIbwB o čemu će riječ biti u poglavlju 5.4.2.4.1

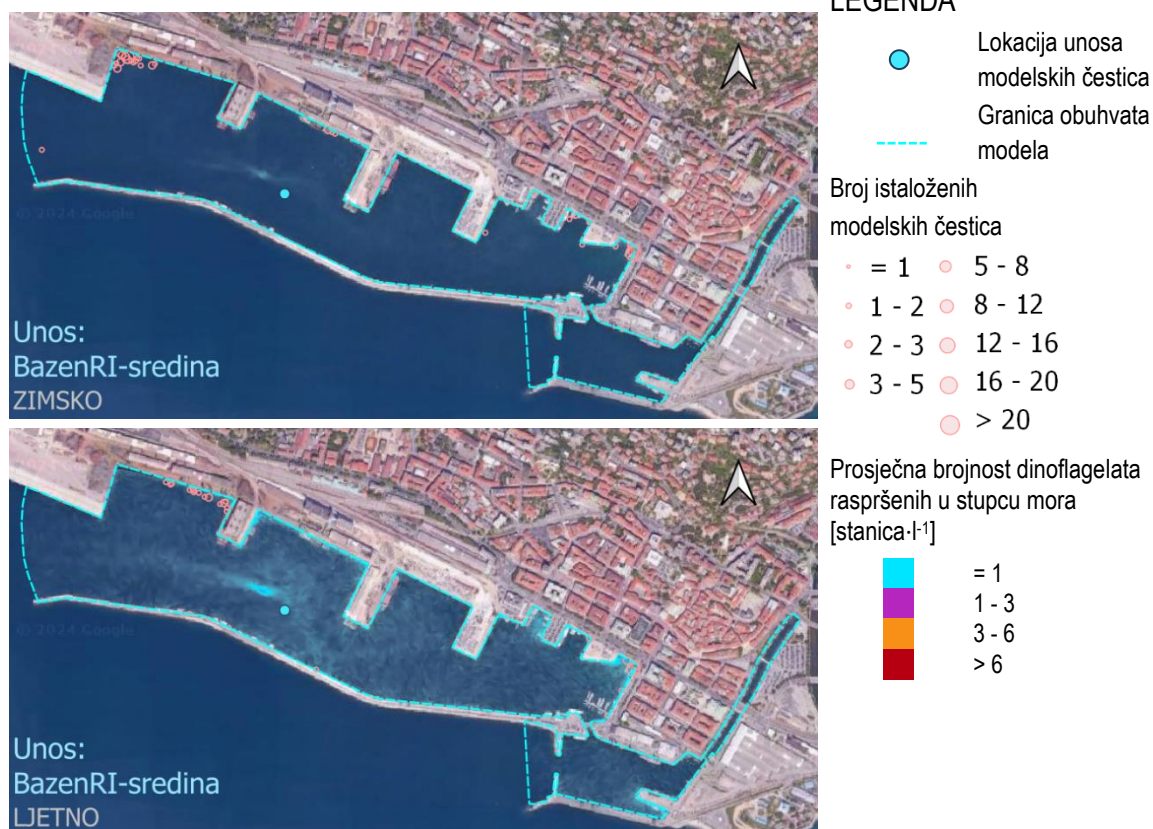
5.4.2.1.2 Dinoflagelati



Slika 5-52 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokacijama „BazenRI-ulaz“ i „RIbwB“ (podloga: Google satelit)

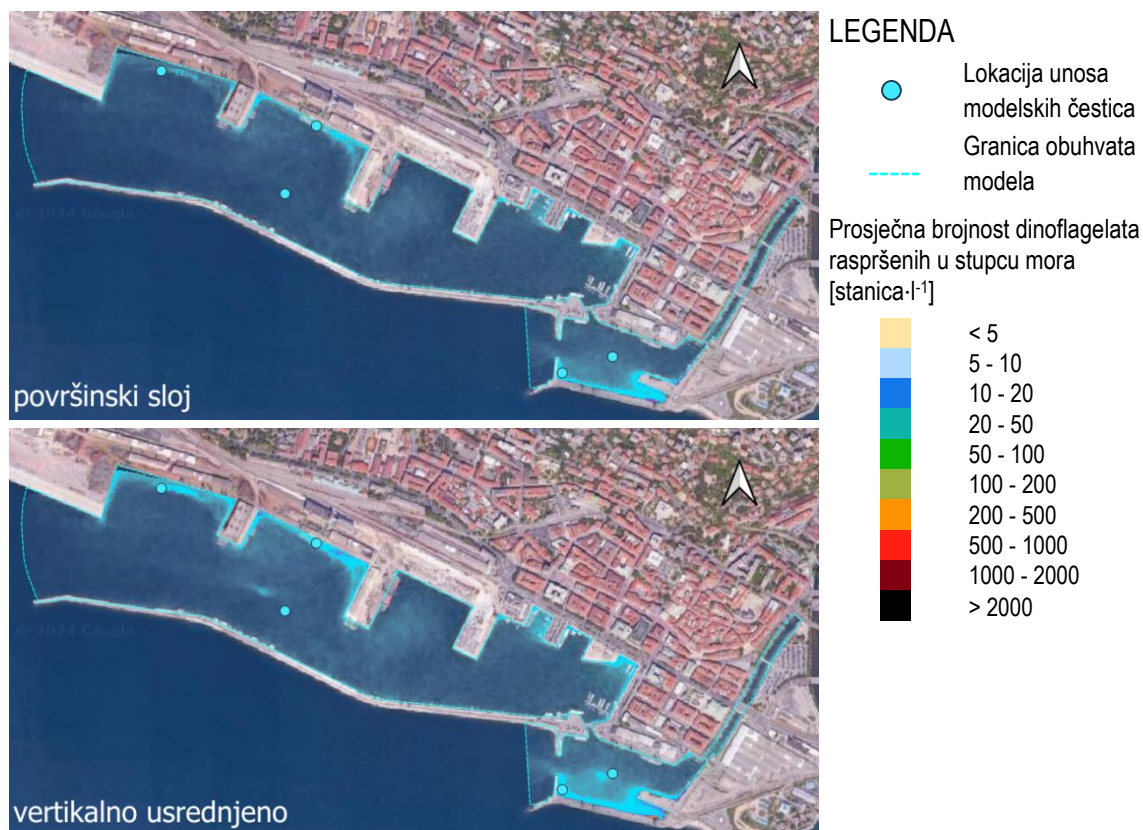


Slika 5-53 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokacijama „BazenSU-sredina“ i „RIbwS“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-54 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokaciji „BazenRI-sredina“ (podloga: Google satelit)

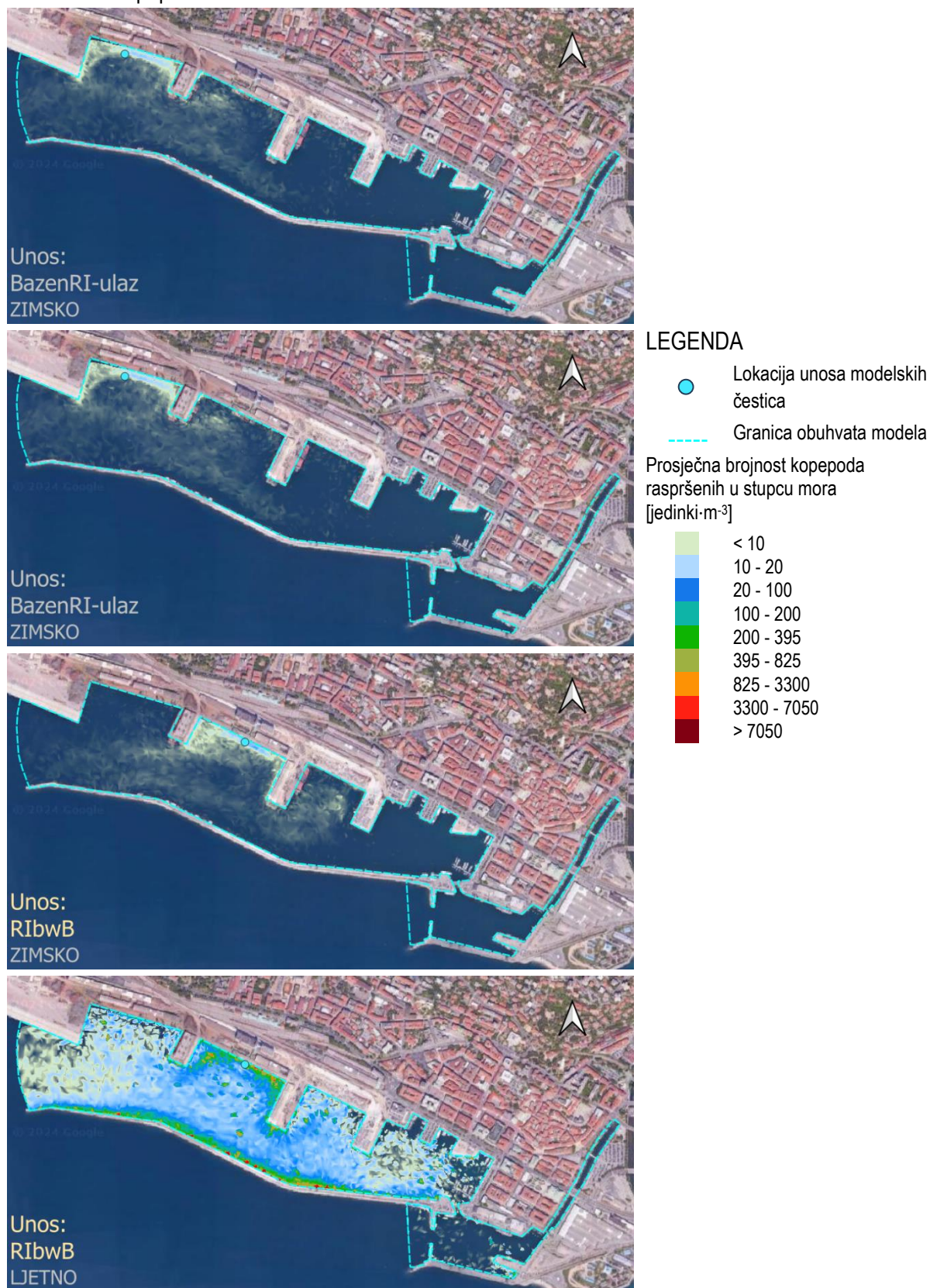
Istovjetno ranije opisanome za dijetomeje (poglavlje 5.4.1.1.1) u nastavku su prikazana ukupna prosječna stanja površinskih i vertikalno usrednjenih brojnosti modeliranih dinoflagelata u LJETNOM simulacijskom razdoblju.



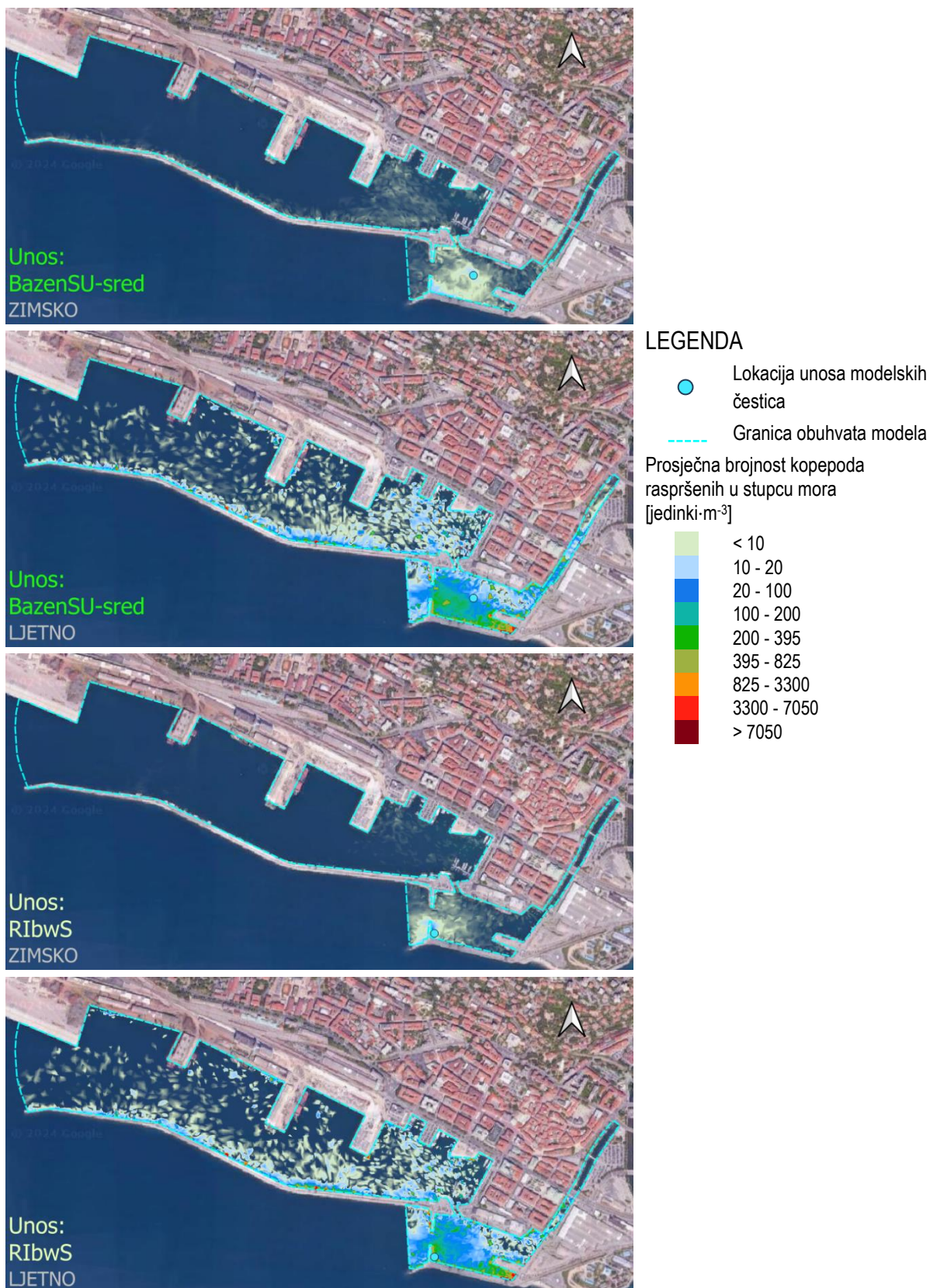
Slika 5-55 Ukupno prosječno stanje površinskih (gore) i vertikalno usrednjenih (dolje) brojnosti dinoflagelata za LJETNO simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu luke Rijeka (podloga: Google satelit)

Dobivena ukupna prosječna stanja površinskih i vertikalno usrednjenih modeliranih brojnosti dinoflagelata iskorištena su za usporedbu s rezultatima terenskih uzorkovanja na lokacijama RIbwS i RIbwB o čemu će riječ biti u poglavlju 5.4.2.4.1

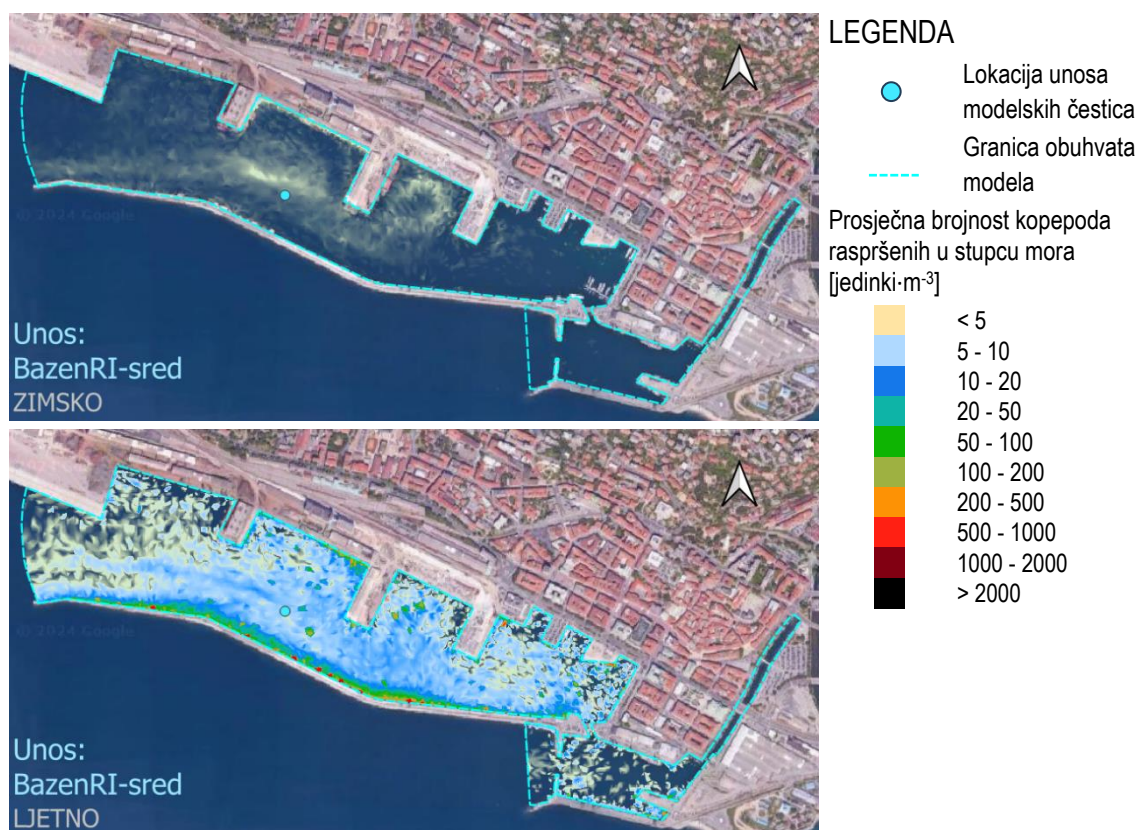
5.4.2.1.3 Kopepodi



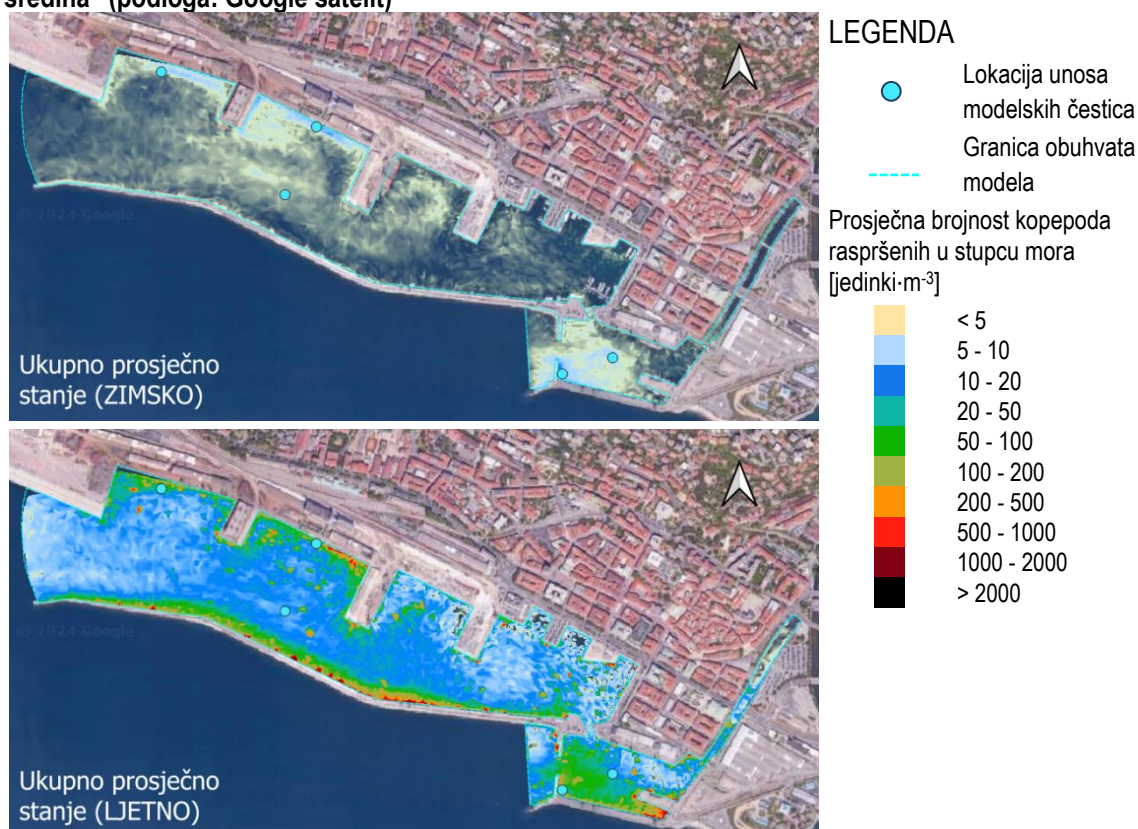
Slika 5-56 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokacijama „BazenRI-ulaz“ i „RIbwB“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-57 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokacijama „BazenSU-sredina“ i „RIbwS“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-58 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje za unos modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka na lokaciji „BazenRI-sredina“ (podloga: Google satelit)



Slika 5-59 Ukupno prosječno stanje vertikalno usrednjenih brojnosti kopepoda za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) simulacijsko razdoblje za modelske čestice unesene u prostornu domenu luke Rijeka (podloga: Google satelit)

5.4.2.2 Utjecaj intenzivnog vjetra na iznošenje agenata kroz otvorene granice

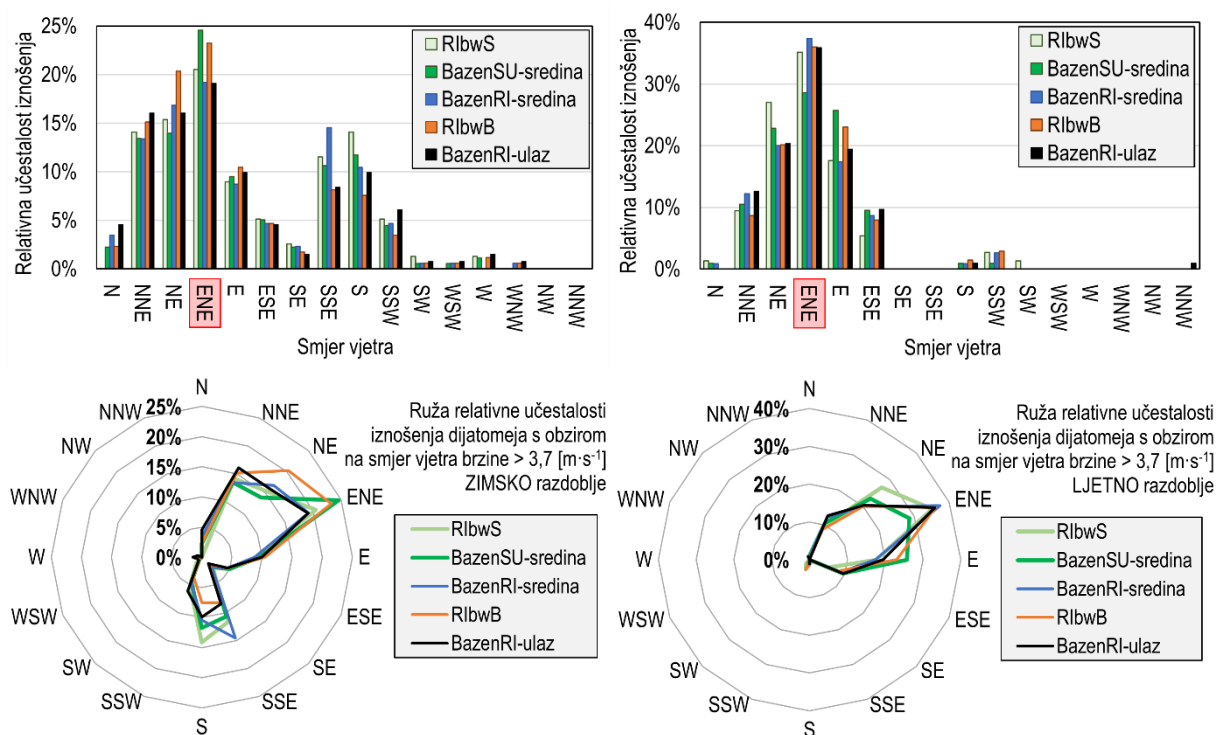
U nastavku su prikazani stupčasti dijagram i ruža učestalosti iznošenja agenata kroz otvorene granice modela u ovisnosti o dominantnom smjeru vjetra i lokaciji unosa modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka. Razmotrene su isključivo vjetrovne situacije tijekom kojih brzina prelazi 90%-tni percentil od 3,7 [m·s⁻¹] izračunat za razdoblje dostupnih podataka s m.p. Rijeka od 1.10.2020. do 1.11.2021. Sama metodologija određivanja dominantnih smjerova djelovanja vjetra pri kojima nastupa iznošenje agenata istovjetna je ranije opisanoj u poglavlju 5.4.1.2.

Na stupčastim dijagramima odgovarajućom su bojom uokvireni smjerovi djelovanja vjetra za koje je utvrđena najveća učestalost iznošenja agenata ovisno o lokaciji unosa. Detaljnije objašnjenje dano je tablično u nastavku.

Tablica 5.12 Oznake dominantnih smjerova vjetra na stupčastim dijagramima pri kojima nastupa iznošenje agenata kroz otvorene granice

Oznaka dominantnog smjera	Opis
SE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „RIbwS“.
ENE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „BazenSU-sredina“.
SSE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „BazenRI-sredina“.
SE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „RIbwB“.
ESE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na lokaciji „BazenRI-ulaz“.
ENE	Dominantan smjer djelovanja vjetra pri kojem nastupa iznošenje agenata unesenih na svim, dvjema ili više različitih lokacija.

5.4.2.2.1 Dijatomeje

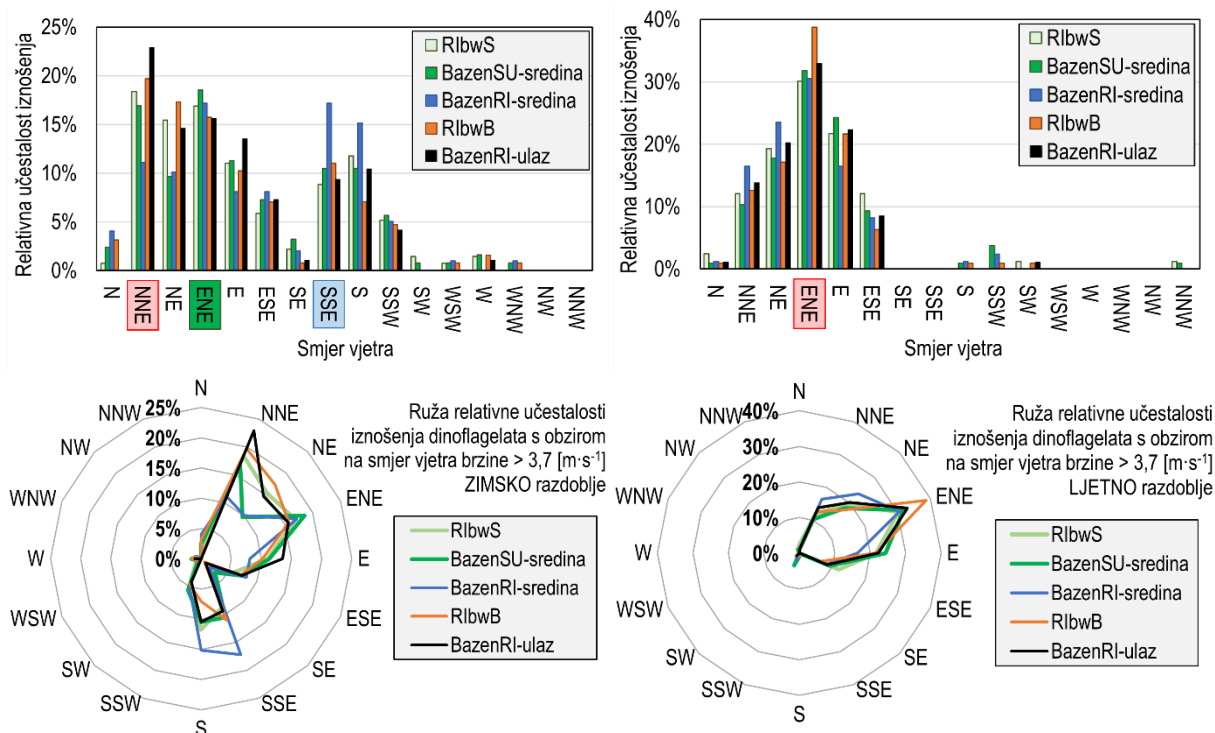


Slika 5-60 Relativna učestalost iznošenja dijatomeja kroz otvorene granice modela za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje s obzirom na pojedinu lokaciju unosa modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka prikazana kao stupčasti dijagram (gore) i ruža (dolje).

Slika 5-60 daje jasan uvid u dominantan smjer intenzivnog vjetra ENE pri čijoj pojavi dolazi do iznošenja agenata kroz otvorene granice modela neovisno o lokaciji unosa.

5.4.2.2 Dinoflagelati

U nastavku su prikazani stupčasti dijagram i ruža učestalosti iznošenja agenata (dinoflagelata) kroz otvorene granice modela u ovisnosti o dominantnom smjeru vjetra i lokaciji unosa aktivnih modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka.

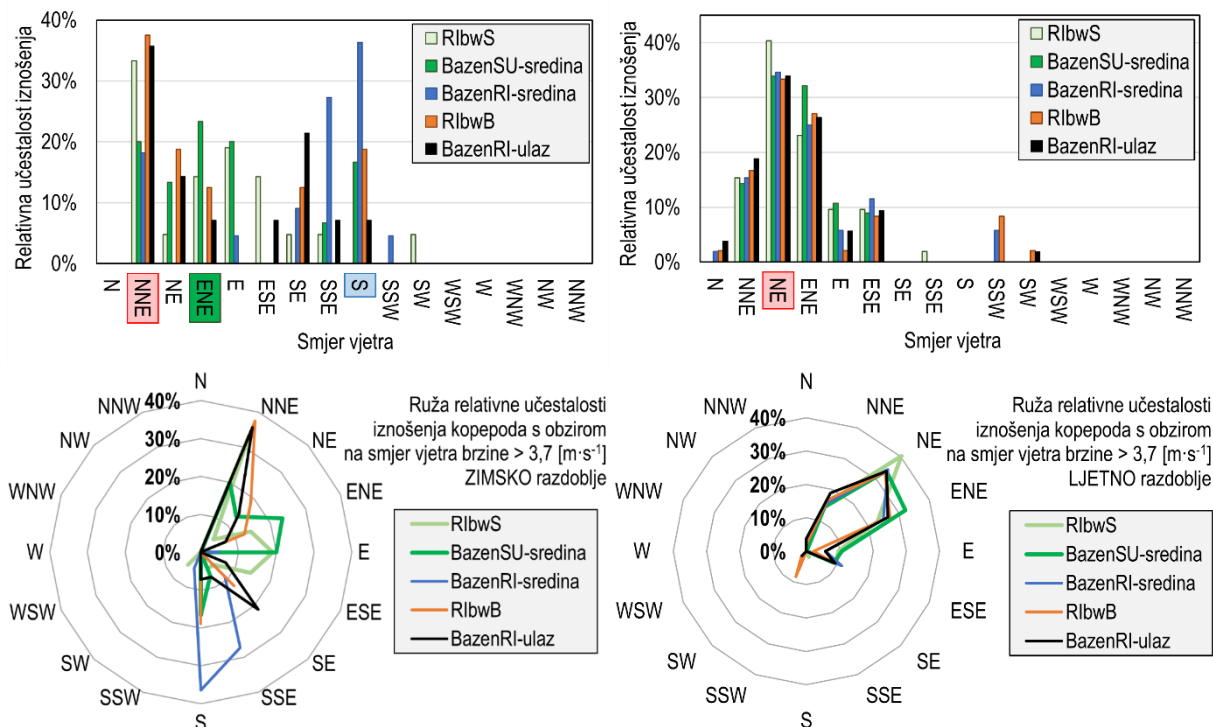


Slika 5-61 Relativna učestalost iznošenja dinoflagelata kroz otvorene granice modela za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje s obzirom na pojedinu lokaciju unosa modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka prikazana kao stupčasti dijagram (gore) i ruža (dolje).

U ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (Slika 5-61, lijevo) dominira NNE smjer intenzivnoga vjetra pri kojem dolazi do iznošenja modeliranih dinoflagelata kroz otvorene granice modela unesenih na lokacijama „RlbwS“, „RlbwB“ i „BazenRI-ulaz“. U slučaju unosa na lokaciji „BazenSU-sredina“ može se očekivati najveća učestalost iznošenja agenata pri pojavi intenzivnog ENE vjetra dok je za unos na lokaciji „BazenRI-sredina“ dominantan smjer SSE. U LJETNOM simulacijskom razdoblju dominantan smjer intenzivnog vjetra je ENE pri čijoj pojavi dolazi do iznošenja agenata kroz otvorene granice modela neovisno o lokaciji unosa (Slika 5-61, desno).

5.4.2.2.3 Kopepod

U nastavku su prikazani stupčasti dijagram i ruža učestalosti iznošenja kopepoda kroz otvorene granice modela u ovisnosti o dominantnom smjeru vjetra i lokaciji unosa aktivnih modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka.



Slika 5-62 Relativna učestalost iznošenja kopepoda kroz otvorene granice modela za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje s obzirom na pojedinu lokaciju unosa modelskih čestica u prostornu domenu luke Rijeka prikazana kao stupčasti dijagram (gore) i ruža (dolje).

U ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (Slika 5-62, lijevo) dominira NNE smjer intenzivnoga vjetra pri kojem dolazi do iznošenja modeliranih kopepoda kroz otvorene granice modela unesenih na lokacijama „RlbwS“, „RlbwB“ i „BazenRI-ulaz“. U slučaju unosa na lokaciji „BazenSU-sredina“ može se očekivati najveća učestalost iznošenja agenata pri pojavi intenzivnog ENE vjetra dok je za unos na lokaciji „BazenRI-sredina“ dominantan smjer S. U LJETNOM simulacijskom razdoblju dominantan smjer intenzivnog vjetra je NE pri čijoj pojavi dolazi do iznošenja agenata kroz otvorene granice modela neovisno o lokaciji unosa (Slika 5-62, desno).

5.4.2.3 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i istaloženih agenata unutar domene 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa

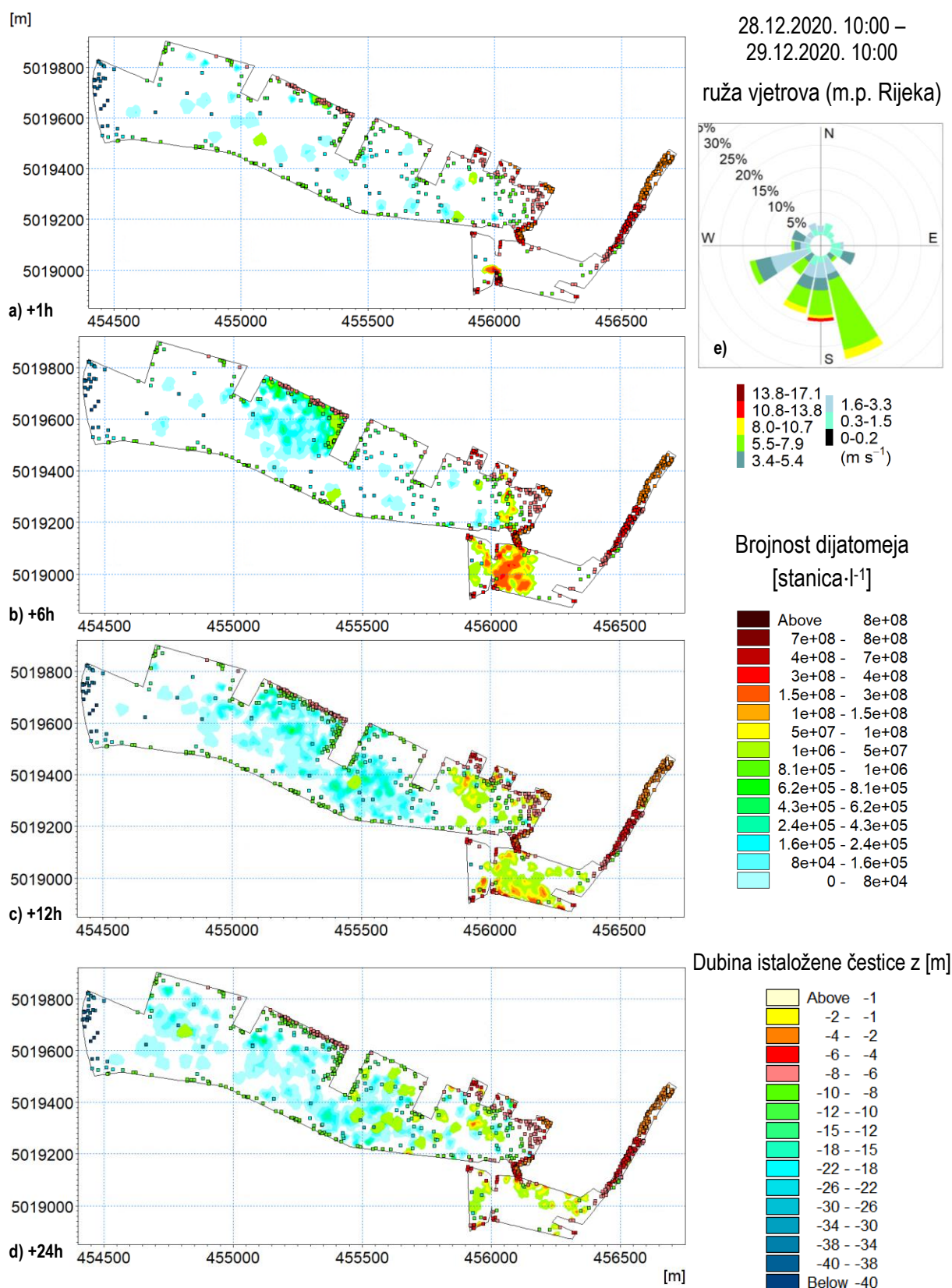
Pristup pri izradi 2D polja prosječne brojnosti raspršenih i istaloženih agenata unutar domene 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa istovjetno je određen za luku Rijeka kao za šire akvatorijalno područje luke Ploče. Spomenuti su prikazi prezentirani za:

- istovremeni unos modelskih čestica na lokacijama „RlbwB“ i „RlbwS“ (Slika 4-21),
- jednu situaciju raspršenja u ZIMSKOM razdoblju
 1. kompleksna vjetrovna situacija za smjerove u rasponu SSE-WSW (Slika 5-63, Slika 5-65, Slika 5-67)
- jednu situaciju raspršenja u LJETNOM razdoblju

vjetar dominantno iz NNE i NE smjerova (Slika 5-64, Slika 5-66, Slika 5-68)

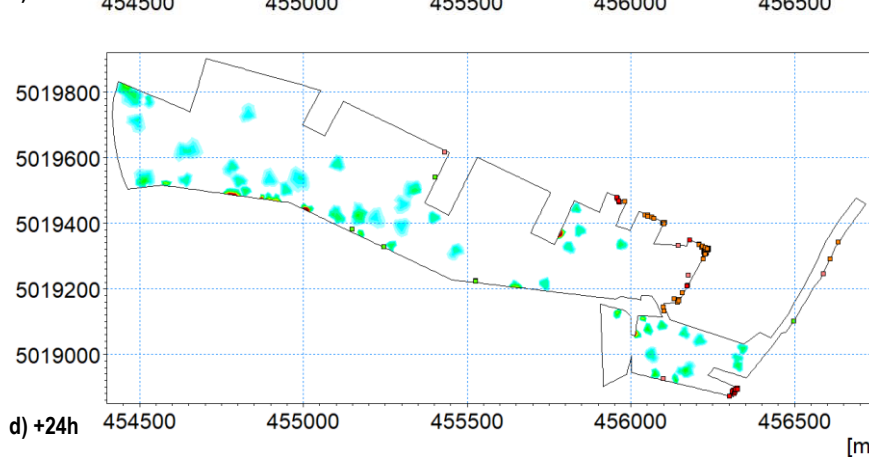
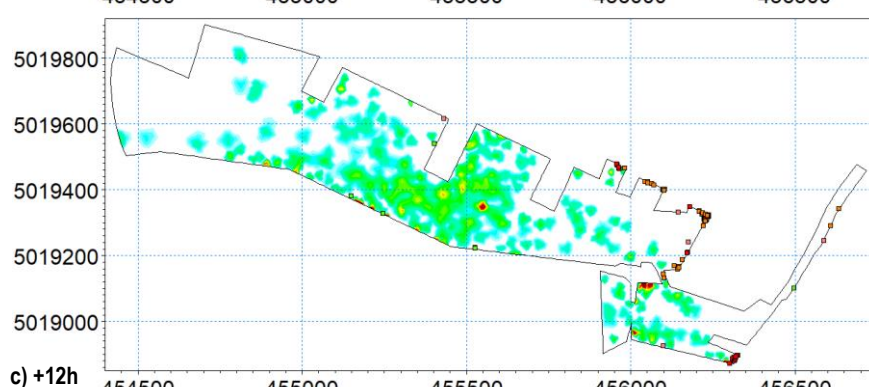
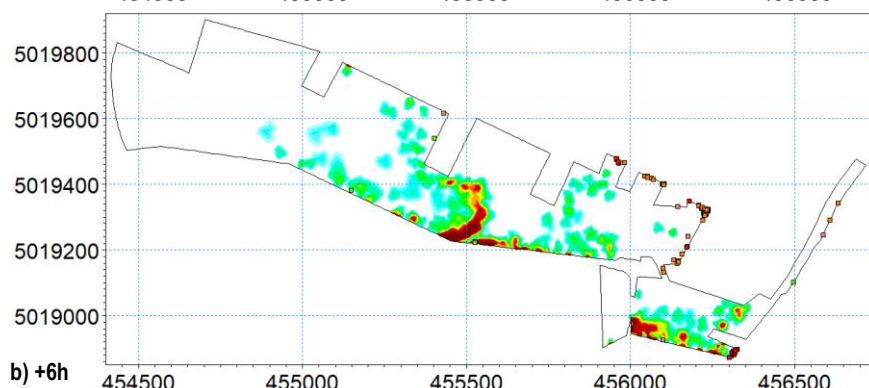
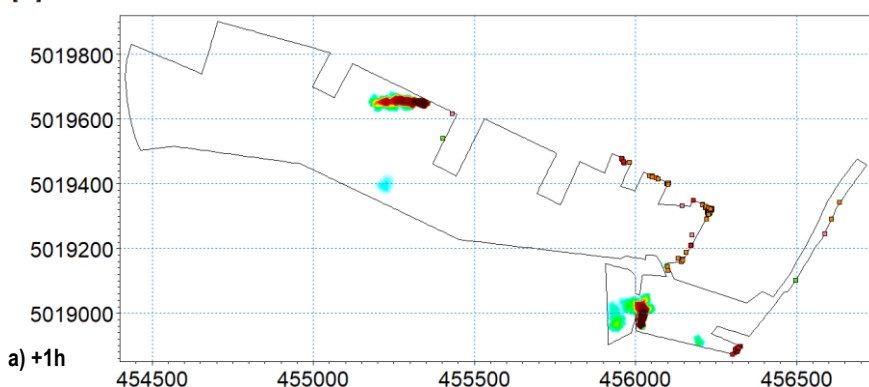
U nastavku su prezentirani prethodno opisana 2D polja raspršenja i taloženja za dijatomeje, dinoflagelate i kopepode. Pri tome, valja napomenuti da su za kopepode dana isključivo 2D polja raspršenja unutar prostorne domene s obzirom na to da je usvojena pretpostavka da ovi agenti nemaju sposobnost naseljavanja modelskoga dna.

5.4.2.3.1 Dijatomeje



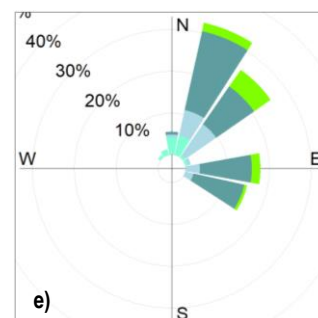
Slika 5-63 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 28.12.2020. 10:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 28.12.2020. u 10:00 do 29.12.2020. u 10:00

[m]



25.08.2021. 01:00 –
26.08.2021. 01:00

ruža vjetrova (m.p. Rijeka)



13.8-17.1
10.8-13.8
8.0-10.7
5.5-7.9
3.4-5.4
1.6-3.3
0.3-1.5
0-0.2
(m s⁻¹)

Brojnost dijatomeja
[stanica·l⁻¹]

Above 8e+08
7e+08 - 8e+08
4e+08 - 7e+08
3e+08 - 4e+08
1.5e+08 - 3e+08
1e+08 - 1.5e+08
5e+07 - 1e+08
1e+06 - 5e+07
8.1e+05 - 1e+06
6.2e+05 - 8.1e+05
4.3e+05 - 6.2e+05
2.4e+05 - 4.3e+05
1.6e+05 - 2.4e+05
8e+04 - 1.6e+05
0 - 8e+04

Dubina istaložene čestice z [m]

Above -1
-2 - -1
-4 - -2
-6 - -4
-8 - -6
-10 - -8
-12 - -10
-15 - -12
-18 - -15
-22 - -18
-26 - -22
-30 - -26
-34 - -30
-38 - -34
-40 - -38
Below -40

Slika 5-64 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 25.08.2021. 01:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 25.8.2021. u 01:00 do 26.8.2021. u 01:00

U okviru analize pronosa dijatomeja u ZIMSKOM se razdoblju za uvjete cirkulacije mora generirane okolišnim uvjetima koje približno odgovaraju prosječnima (Slika 0-80 e, vjetar NNE brzine $\leq 3,5$ [m·s⁻¹]) uz manje odstupanje s obzirom na pojavu nešto većih brzina vjetra može očekivati sljedeće. Čestice unesene na lokaciji „RlbwB“ (Slika 4-21) većinom se zadržavaju u bazenu Rijeka 24 [h] nakon unosa raspršene u stupcu mora dok se manji dio iznosi kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“. Taloženje se može očekivati u okolini lokacije unosa čestica (Slika 0-80 a-d). Nadalje, čestice unesene na lokaciji „RlbwS“ (Slika 4-21) pronose se prema bazenu Rijeka pri čemu ni nakon 24 [h] nije utvrđeno njihovo taloženje unutar prostorne domene za dane okolišne uvjete.

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \leq 3,5$ [m·s⁻¹] iz smjera SSE, S i SSW (Slika 0-81 e, S najučestaliji), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ u prvih 6 [h] nakon unosa. Slijedi razdoblje pronosa prema unutrašnjosti bazena Sušak i dalje prema bazenu Rijeka gdje se, za ovakve okolišne uvjete, čestice zadržavaju i talože u istočnom dijelu bazena Rijeka. Čestice unesene na lokaciji „RlbwB“ zadržavaju se unutar bazena Rijeka 24 [h] nakon unosa (Slika 0-81). Pri ovakvim okolišnim uvjetima smatra se da neće doći do značajnijeg iznošenja čestica kroz otvorene granice modela.

Pod djelovanjem vjetrova brzine $3,5$ [m·s⁻¹] $\leq v \leq 5,5$ [m·s⁻¹] iz smjera S i SSW (Slika 0-82 e, SSW najučestaliji), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ u prvih 6 [h] nakon unosa kroz otvorenu granicu „BAZEN_SUSAK“. Slijedi razdoblje pronosa prema unutrašnjosti bazena Sušak i dalje prema bazenu Rijeka gdje se, za ovakve okolišne uvjete, čestice zadržavaju i talože u istočnom dijelu bazena Rijeka. Također, zbog dominantnog SSW smjera dolazi do intenzivnijeg pronosa iz bazena Sušak prema Mrtvom kanalu i, u konačnici, taloženja u tome dijelu domene. Čestice unesene na lokaciji „RlbwB“ zadržavaju se ravnomjerno unutar bazena Rijeka 24 [h] nakon unosa (Slika 0-82). Pri ovakvim okolišnim uvjetima smatra se da neće doći do značajnijeg iznošenja čestica kroz otvorene granice modela.

U slučaju pojave kompleksne realne vjetrovne situacije iz smjerova SE, S, SSW, WSW (Slika 5-63 e) obuhvaćeno je nekoliko različitih obrazaca pronosa dijatomeja od čega će se fokus staviti na SSE i WSW smjerove s obzirom na to da je S i SSW ranije obrađen. Pri pojavi SSE vjetra dolazi do iznošenja čestica iz bazena Rijeka kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“ za unos na lokaciji „RlbwB“. Nadalje, za čestice unesene na lokaciji „RlbwS“ može se očekivati pojačano iznošenje kroz otvorenu granicu „BAZEN_SUSAK“. Pri pojavi WSW vjetra pronos čestica sličan u bazenu Rijeka dolazi do pronosa čestica prema istočnome dijelu gdje se može očekivati izraženije taloženje. U bazenu Sušak pri WSW vjetru može se očekivati pojačani pronos prema Mrtvom kanalu te učestalije taloženje čestica (Slika 5-63 a-d).

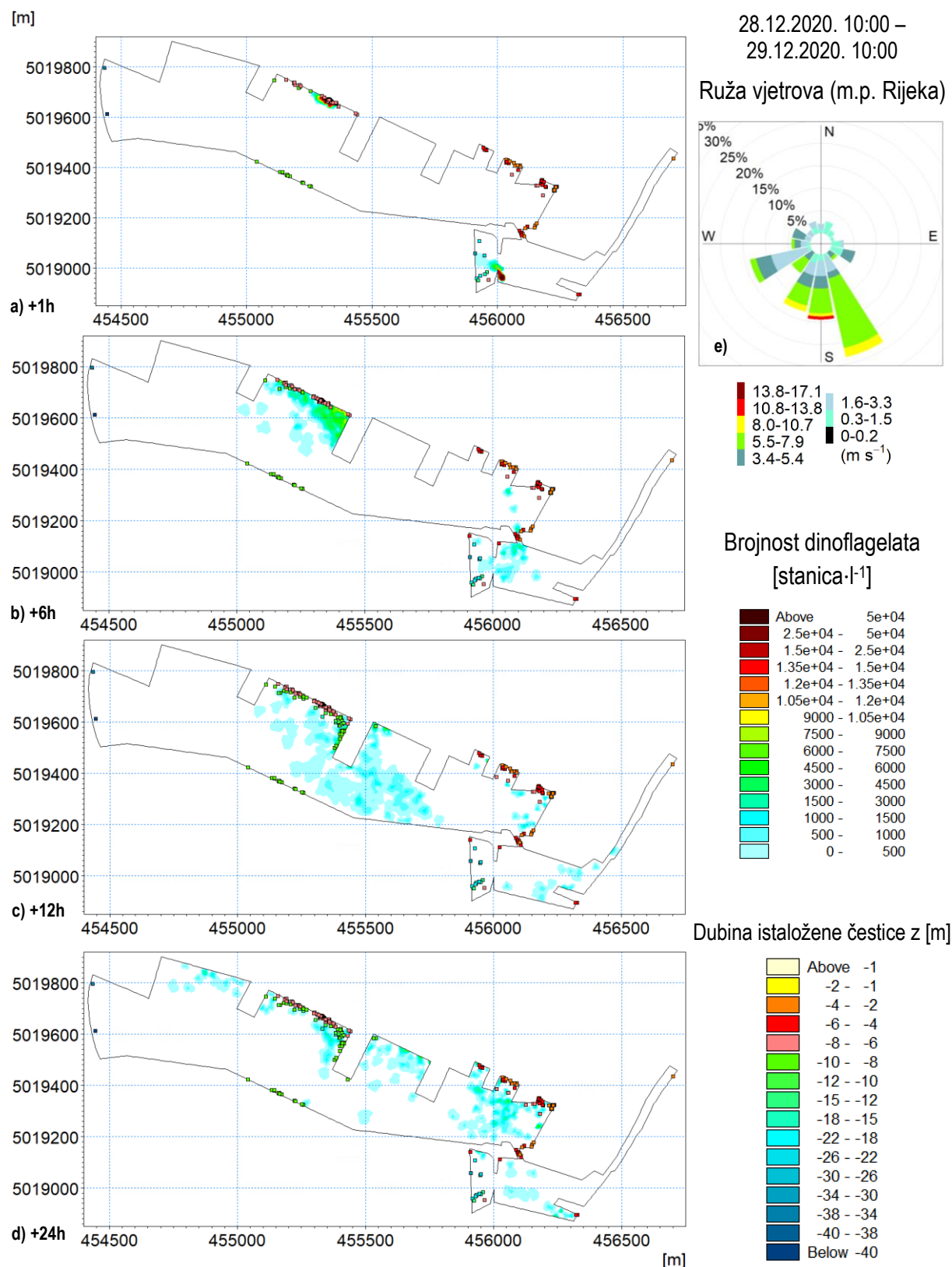
Pri pojavi vjetrova iz smjera ENE, E, ESE (Slika 0-83 e) može se očekivati iznošenje čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ svega nekoliko sati nakon unosa (Slika 0-83 a, b). Čestice unesene na ovoj lokaciji, koje ostanu raspršene u bazenu Sušak, dijelom se pronose prema bazenu Rijeka gdje se zajedno s česticama unesenima na lokaciji „RlbwB“ može očekivati pronos kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“ 24 [h] nakon unosa (Slika 0-83 c, d).

Taloženje čestica u ZIMSKOM razdoblju simulacije odvija se na području oko unosa čestica na lokaciji RlbwB, zatim istočnom dijelu bazena Rijeka, kanalu između dvaju bazena te u Mrtvom kanalu spojenome s bazenom Sušak.

U LJETNOM je razdoblju izdvojena situacija djelovanja vjetrova NNE, NE te E i ESE (Slika 5-64 e) pri čemu se može očekivati iznošenje dijatomeja kroz obje otvorene granice za ove smjerove.

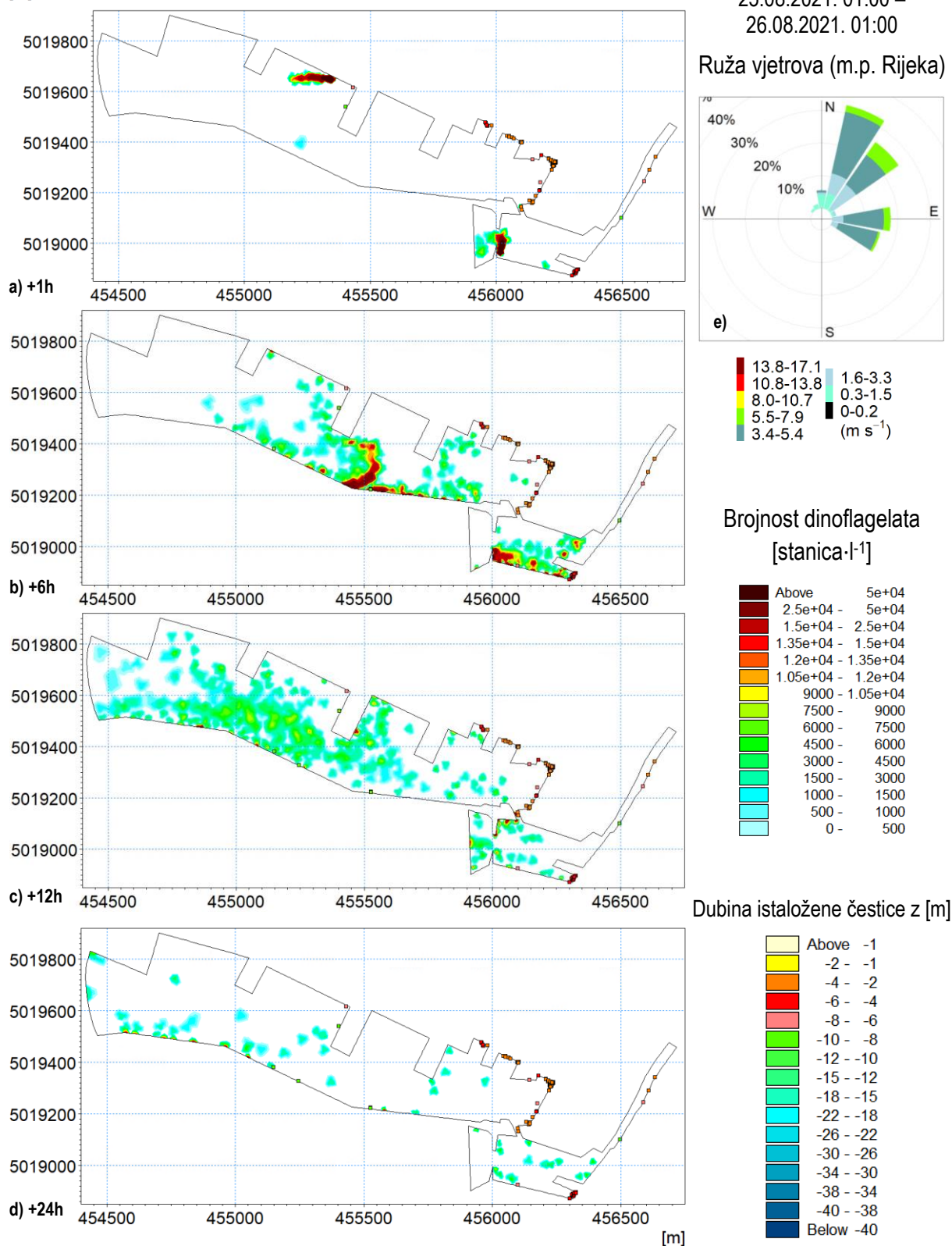
U LJETNOM je razdoblju taloženje izraženije zbog pojave manjih brzina strujanja mora, a utvrđeno je da se, osim prethodno navedenih dijelova domene izuzev Mrtvoga kanala, ovaj proces intenzivira uz lukobran u bazenu Rijeka te uz obalnu liniju ostalih gatova u istočnom dijelu ovoga područja u odnosu na ZIMSKO razdoblje.

5.4.2.3.2 Dinoflagelati



Slika 5-65 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 28.12.2020. 10:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 28.12.2020. u 10:00 do 29.12.2020. u 10:00

[m]



Slika 5-66 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 25.08.2021. 01:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 25.8.2021. u 01:00 do 26.8.2021. u 01:00

U okviru analize pronosa dinoflagelata kao aktivnih čestica u ZIMSKOM se razdoblju za uvjete cirkulacije mora generirane okolišnim uvjetima koje približno odgovara prosječnima (Slika 0-86 e, vjetar NNE brzine

$\leq 3,5$ [m·s⁻¹]) uz manje odstupanje s obzirom na pojavu nešto većih brzina vjetra može očekivati sljedeće. Čestice unesene na lokaciji „RlbwB“ i „RlbwS“ (Slika 4-21) iznose se otprilike 12 [h] nakon unosa kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA“ i „BAZEN_SUSAK“, redom. Neznatan dio čestica istaloži se uz „RlbwB“ 6 [h] nakon unosa na ovoj lokaciji (Slika 0-86 a-d).

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \leq 3,5$ [m·s⁻¹] iz smjera SSE, S i SSW (Slika 0-87 e, S najučestaliji), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja dijela čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ u prvih 6 [h] nakon unosa dok se dio usmjerava prema samom bazenu Sušak (Slika 0-87 b). Iz bazena Sušak čestice se u narednih 12 [h] pronose prema bazenu Rijeka gdje se, za ovakve okolišne uvjete, čestice zadržavaju i talože u istočnom dijelu bazena Rijeka. Čestice unesene na lokaciji „RlbwB“ zadržavaju se unutar bazena Rijeka 24 [h] nakon unosa (Slika 0-87 d) slično kao kod dijatomeja. Pri ovakvim okolišnim uvjetima smatra se da neće doći do iznošenja čestica kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“.

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \leq 5,5$ [m·s⁻¹] iz smjera S i SSW (Slika 0-88 e, SSW najučestaliji), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ u prvih 6 [h] nakon unosa (Slika 0-88 a, b). Slijedi razdoblje pronosa prema unutrašnjosti bazena Sušak gdje se čestice zadržavaju južno od kanala prema bazenu Rijeka. Čestice unesene na „RlbwB“ gotovo se ne pronose od lokacije u prvih 12 [h] nakon unosa kada je prisutno samo taloženje u neposrednoj blizini. Pronos je zamjeran tek 24 [h] nakon unosa na ovoj lokaciji pri čemu se raspršene čestice zadržavaju unutar bazena Rijeka bez iznošenja kroz otvorenu granicu (Slika 0-88 c, d).

U slučaju pojave kompleksne realne vjetrovne situacije iz smjerova SE, S, SSW, WSW (Slika 5-65 e) obuhvaćeno je nekoliko različitih obrazaca pronosa aktivnih čestica od čega će se fokus staviti na SSE i WSW smjerove s obzirom na to da je S i SSW ranije obrađen. Pri pojavi SSE vjetra dolazi do iznošenja čestica iz bazena Rijeka kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“ za unos na lokaciji „RlbwB“. Nadalje, za čestice unesene na lokaciji „RlbwS“ može se očekivati pojačano iznošenje kroz otvorenu granicu „BAZEN_SUSAK“. WSW vjetar uzrokuje pronos čestica prema u smjeru E pri čemu je primjetno raspršenje čestica u istočnom dijelu bazena Rijeka 24 [h] nakon unosa čestica (Slika 5-65 c, d).

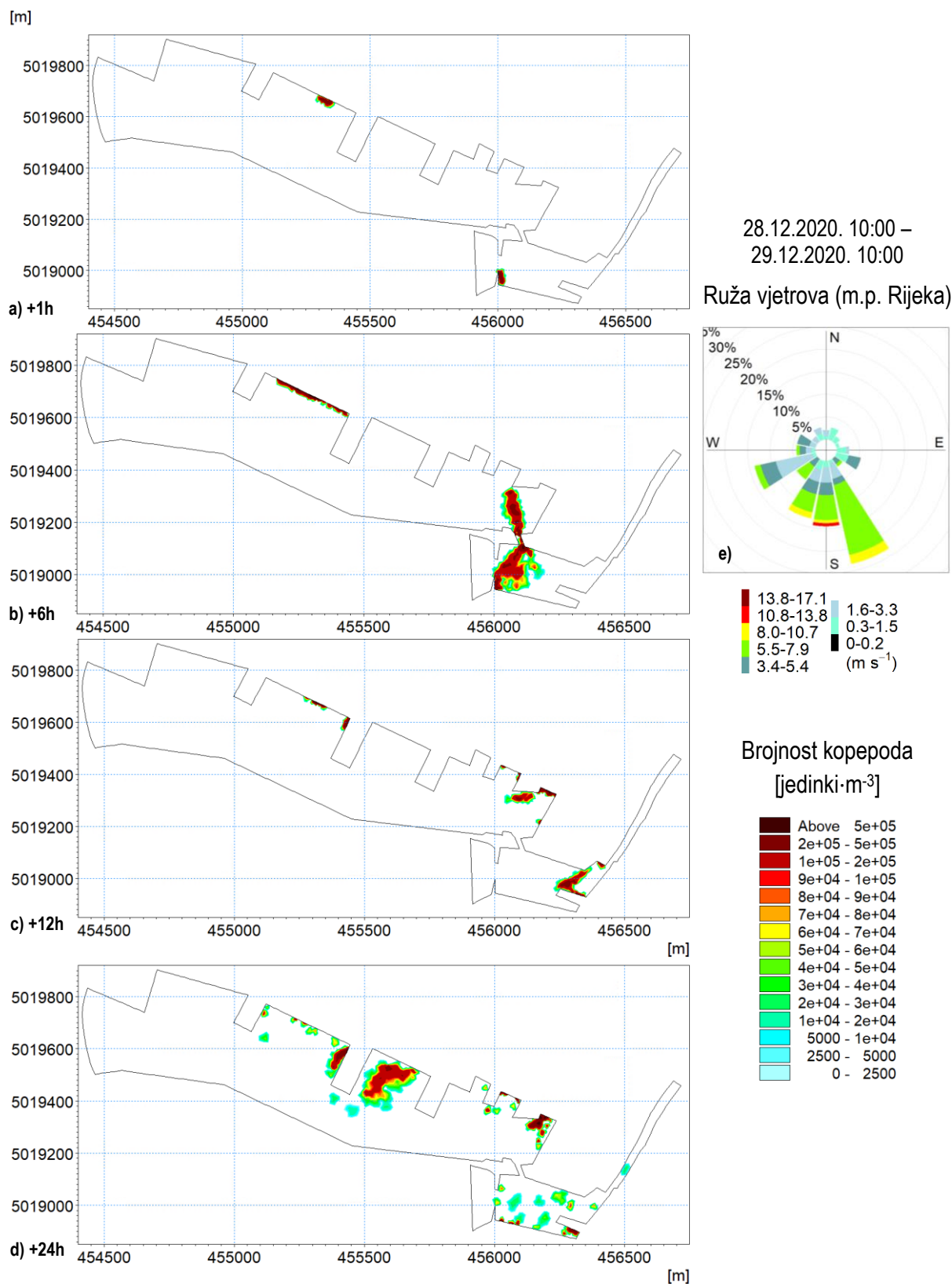
Pri pojavi vjetrova iz smjera ENE, E, ESE (e) može se očekivati iznošenje većine čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ svega nekoliko sati nakon unosa (Slika 0-89 a, b). Ostatak čestica unesenih na ovoj lokaciji, koje ostanu raspršene u bazenu Sušak, dijelom se pronosi prema bazenu Rijeka gdje se zajedno s česticama unesenima na lokaciji „RlbwB“ može očekivati pronos gotovo svih čestica kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“ 24 [h] nakon unosa (Slika 0-89 c, d).

Taloženje čestica u ZIMSKOM razdoblju simulacije odvija se na području oko unosa čestica na lokaciji „RlbwB“ te u istočnom dijelu bazena Rijeka.

U LJETNOM je razdoblju izdvojena situacija djelovanja vjetrova NNE, NE te E i ESE (Slika 5-66 e) pri čemu se može očekivati iznošenje aktivnih čestica kroz obje otvorene granice za ove smjerove 24 [h] nakon unosa (Slika 5-66 d).

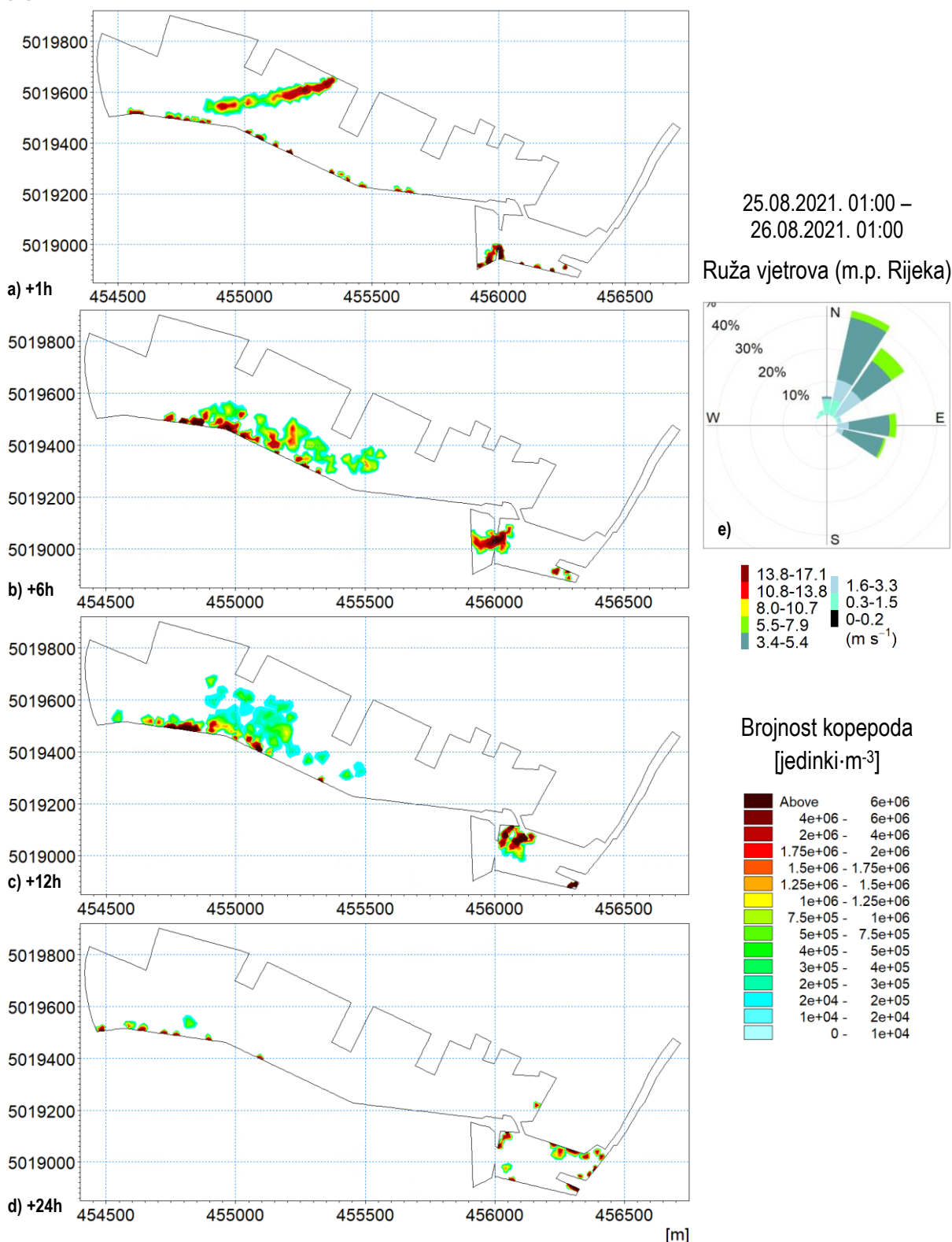
U LJETNOM je razdoblju taloženje dinoflagelata izraženije zbog pojave manjih brzina strujanja mora. Nadalje, utvrđeno je da se ovaj proces intenzivira na istim područjima kao pri analizi pronosa i taloženja dijatomeja.

5.4.2.3.3 Kopepodi



Slika 5-67 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 28.12.2020. 10:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 28.12.2020. u 10:00 do 29.12.2020. u 10:00

[m]



Slika 5-68 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 25.08.2021. 01:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 25.8.2021. u 01:00 do 26.8.2021. u 01:00

U okviru analize pronosa kopepoda kao aktivnih čestica u ZIMSKOM se razdoblju za uvjete cirkulacije mora generirane okolišnim uvjetima koje približno odgovara prosječnima (Slika 0-92 e, vjetar NNE brzine ≤ 3.5 [m·s⁻¹]) uz manje odstupanje s obzirom na pojavu nešto većih brzina vjetrova može očekivati sljedeće.

Čestice unesene na lokaciji „RlbwB“ i „RlbwS“ (Slika 4-21) iznose se otprilike 12 [h] nakon unosa kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA“ i „BAZEN_SUSAK“ (Slika 0-92 d).

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \leq 3,5$ [m·s⁻¹] iz smjera SSE, S i SSW (Slika 0-93 e, S najučestaliji), može se očekivati trenutno nastupanje iznošenja manjeg dijela čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ u prvih 6 [h] nakon unosa dok se veći dio usmjerava prema samom bazenu Sušak (Slika 0-93 b). Iz bazena Sušak čestice se u narednih 12 [h] pronose prema bazenu Rijeka gdje se zadržavaju u istočnom dijelu bazena Rijeka. Čestice unesene na lokaciji „RlbwB“ zadržavaju se unutar bazena Rijeka 24 [h] nakon unosa (Slika 0-93 d) slično kao kod dijatomeja. Pri ovakvim okolišnim uvjetima smatra se da neće doći do iznošenja čestica kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“.

Pod djelovanjem vjetrova brzine $v \leq 5,5$ [m·s⁻¹] iz smjera S i SSW (Slika 0-94 e, SSW najučestaliji), može se očekivati iznošenje gotovo svih čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ 24 [h] nakon unosa. Čestice unesene na „RlbwB“ neznatno se pronose u E smjeru do ugla Budimpeštanskog pristaništa 24 [h] nakon unosa (Slika 0-94 a-d).

U slučaju pojave kompleksne realne vjetrovne situacije iz smjerova SE, S, SSW, WSW (Slika 5-67 e) utvrđeno je da se čestice s lokacije „RlbwS“ pronose većinom prema istočnom dijelu bazena Rijeka gdje ostaju raspršene u stupcu mora barem 24 [h] nakon unosa, a manji dio ostaje u bazenu Sušak. Čestice unesene na „RlbwB“ neznatno se pronose u južno od Budimpeštanskoga pristaništa (Slika 5-67 a-d).

Pri pojavi vjetrova iz smjera ENE, E, ESE (Slika 0-95 e) može se očekivati iznošenje većine čestica unesenih na lokaciji „RlbwS“ svega nekoliko sati nakon unosa (Slika 0-95 a, b). Ostatak čestica unesenih na ovoj lokaciji, koje ostanu raspršene u bazenu Sušak, dijelom se pronosi prema bazenu Rijeka gdje se zajedno s česticama unesenima na lokaciji „RlbwB“ može očekivati pronos gotovo svih čestica kroz otvorenu granicu „BAZEN_RIJEKA“ 24 [h] nakon unosa (Slika 0-95 c, d).

U LJETNOM je razdoblju izdvojena situacija djelovanja vjetrova NNE, NE te E i ESE (Slika 5-68 e) pri čemu se može očekivati iznošenje aktivnih čestica kroz obje otvorene granice za ove smjerove 24 [h] nakon unosa (Slika 5-68 d).

5.4.2.4 Usporedba izmjerenih i modeliranih brojnosti planktonskih zajednica

Kako je na početku poglavlja 5.4 navedeno, terenska uzorkovanja fitoplanktonskih frakcija dostupna su u ljetnim terminima uzorkovanja (19.8., 26.8., 31.8. i 8.9.2021.) isključivo za prostornu domenu luke Rijeka pri čemu su u nastavku razmotrene lokacije unutar granica luke – RlbwB i RlbwS. Usporedba je provedena za površinsku brojnost (Tablica 4.3) i kumulativnu brojnost u stupcu mora (Tablica 4.4) na RlbwB, RlbwS te za prosječno stanje unutar luke koje je definirano srednjom vrijednosti brojnosti zabilježenih na dvjema lokacijama. Valja napomenuti da je kumulativna brojnost podijeljena s dubinom na pojedinoj lokaciji uzorkovanja ($d_{RlbwB} = -8$ [m], $d_{RlbwS} = -4$ [m]) kako bi se ovaj parametar usporedio s vertikalno usrednjenim modeliranim vrijednostima. Osim vertikalnoga usrednjavanja s obzirom na dubinu, izračunat je vremenski prosjek izmjerenih brojnosti zabilježenih na četiri ljetna termina uzorkovanja koji je, u konačnici, usvojen kao mjerodavna vrijednost za LJETNO razdoblje.

Terenska uzorkovanja brojnosti kopepoda u luci Rijeka dostupna su za ZIMSKO i LJETNO razdoblje mjerenja, a sama procedura određivanja vertikalnog usrednjavanja istovjetna je ranije opisanoj za fitoplanktonske frakcije na početku poglavlja.

Istovjetno ranije opisanome za određivanje prosječne modelirane brojnosti kopepoda u luci Ploče (poglavlje 5.4.1.4), definirane su zone ekstrakcije rezultata unutar prostorne domene luke Rijeka koje se

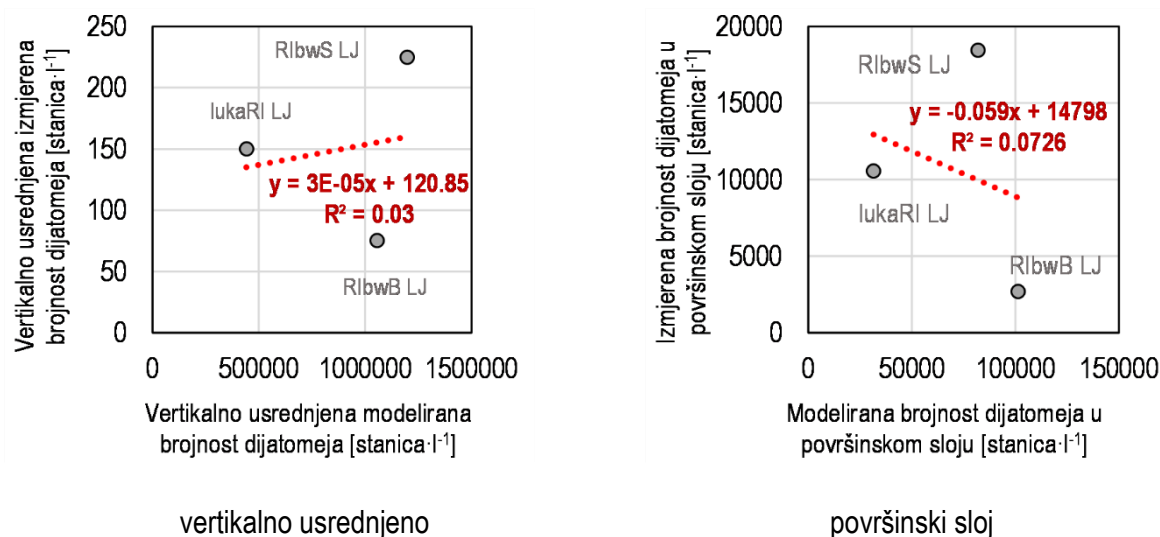
smatraju mjerodavnima za usporedbu s terenskim mjerenjima (Slika 5-46 i Slika 5-69). Unutar granica prikazanih zona ekstrakcije izračunate su prosječne modelirane vertikalno usrednjene (za sve modelirane frakcije) i površinskih brojnosti (samo za dijatomeje i dinoflagelate) kroz razdoblja trajanja simulacija (prostorno i vremensko usrednjavanje). Prosječne vertikalno usrednjene brojnosti u pojedinoj zoni ekstrakcije određene su iz 2D polja ukupnog prosječnog stanja u luci Rijeka (Slika 5-51, Slika 5-55, Slika 5-59). Brojnost modeliranih fitoplanktonskih frakcija u površinskom sloju odgovara stanju u gornjem σ -sloju združenog 3D modela cirkulacije mora i pronosa čestica.



Slika 5-69 Lokacije uzorkovanja fito- i zooplanktona i zone ekstrakcije modelom dobivenih prosječnih brojnosti dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda u luci Rijeka – podloga Google satelit

5.4.2.4.1 Dijatomeje – LJETNO razdoblje

U okviru analize pouzdanosti združenoga HD modela cirkulacije mora i ABM-a pronosa dijatomeja analizirane su površinske i vertikalno usrednjene brojnosti na dvjema lokacijama RIbwB i RIbwS te prosječno stanje u luci. Grafički prikaz ispod (Slika 5-70) daje usporedbu ukupnih modelom dobivenih brojnosti za ranije prikazane zone (Slika 5-69) s rezultatima terenskih uzorkovanja za odgovarajuće razdoblje (Tablica 4.5).

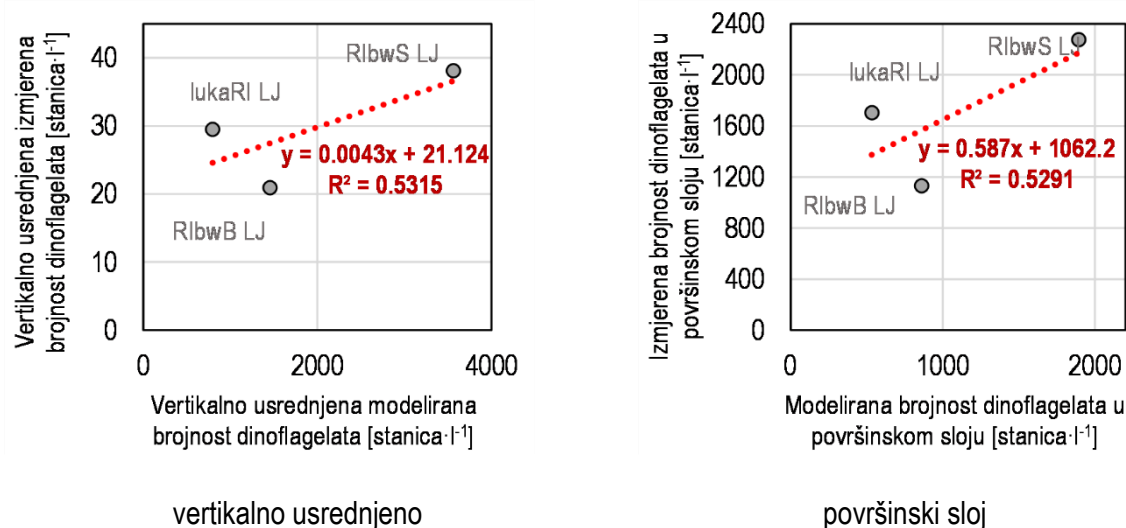


Slika 5-70 Usporedba izmjerenih i modelom dobivenih brojnosti (gore) dijatomeja na lokacijama uzorkovanja RIbwB i RIbwS te području luke Rijeka mjerodavnih za broj stanica vertikalno usrednjen u stupcu (lijevo) i prisutnih u površinskom sloju (desno) mora u LJETNOM simulacijskom razdoblju

Na temelju gore prikazane usporedbe (Slika 5-70) utvrđeno je da ne postoji korelacija između uzorkovanih i modelom dobivenih brojnosti dijatomeja ni za površinski sloj niti u slučaju vertikalnoga usrednjavanja. Također red veličine brojnosti izraženih u [stanica · l⁻¹] nije adekvatno simuliran. Nužno je napomenuti da ni za ovu planktonsku frakciju nije definirano početno stanje u lukama čije bi uspostavljanje na početku simulacije potencijalno pospješilo barem red veličine modeliranih brojnosti. Također, potrebno je jasno istaknuti da je na raspolaganju oskudna količina mjerenja.

5.4.2.4.2 Dinoflagelati – LJETNO razdoblje

Usporedba rezultata simulacija združenog HD modela cirkulacije mora i ABM-a pronosa dinoflagelata s terenski uzorkovanim vrijednostima provedena je istovjetno ranije opisanome za dijatomeje u poglavlju 5.4.2.4.1.

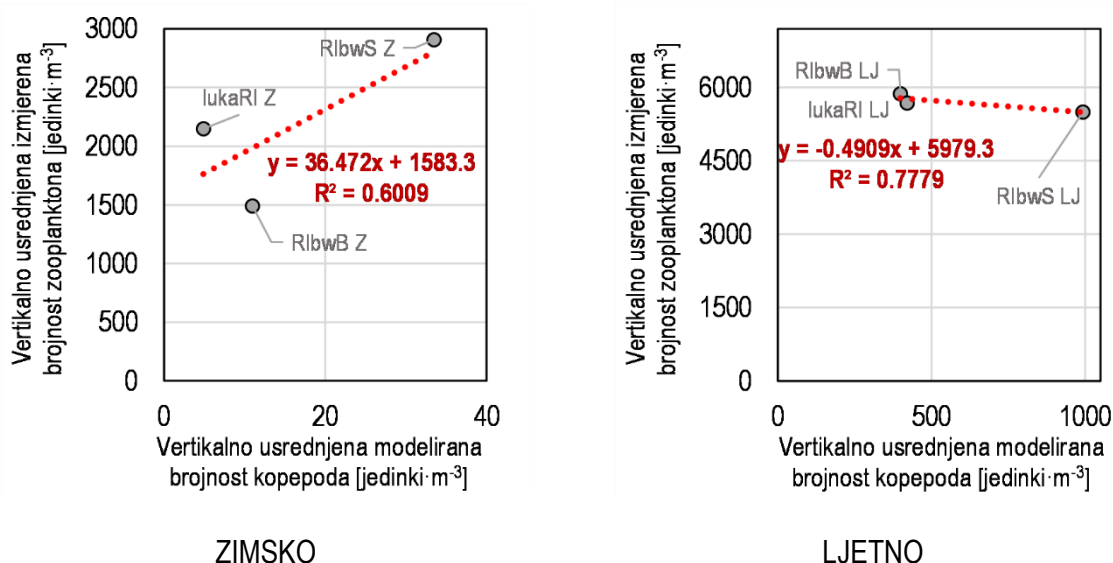


Slika 5-71 Usporedba izmjerenih i modelom dobivenih brojnosti dinoflagelata na lokacijama uzorkovanja RlbwB i RlbwS te području luke Rijeka mjerodavnih za broj stanica vertikalno usrednjenih u stupcu (lijevo) i prisutnih u površinskom sloju (desno) mora u LJETNOM simulacijskom razdoblju

Pregledom dobivenih rezultata utvrđena je određena pozitivna korelacija prilikom usporedbe terenski uzorkovanih i modeliranih brojnosti dinoflagelata u luci Rijeka (Slika 5-71). Pri tome, dobiveni su $R^2 \approx 0,53$ kako za vertikalno usrednjene tako za površinske izmjerene i modelirane brojnosti. Valja napomenuti da se za površinski sloj može smatrati kako se radi o nešto pouzdanije modeliranim brojnostima s obzirom na to da su je red veličine istovjetan uzorkovanim vrijednostima. Ipak, opet je potrebno naglasiti da početna brojnost dinoflagelata u luci pri inicijalizaciji modelske simulacije nije definirana te da su na raspolaganju rezultati uzorkovanja isključivo na dvije lokacije unutar luke (RlbwB i RlbwS, vidi Tablica 4.3, Slika 5-69).

5.4.2.4.3 Kopepodi – ZIMSKO i LJETNO razdoblje

Posljednja komponenta analize pronosa planktonskih frakcija odnosi se na usporedbu rezultata simulacija pronosa modeliranih kopepoda s raspoloživim terenskim uzorkovanjima zooplanktona. Pri tome, procedura izračuna prosječnih vrijednosti (vertikalno usrednjavanje i vremenski prosjek) istovjetna je ranije opisanoj na u poglavlju 5.4.1.4. U obzir su uzeta terenska uzorkovanja brojnosti zooplanktona u jesenskim i zimskim terminima 24.10., 2.11., 9.11. i 17.11.2020. te 21.1.2021 koja su uspoređena s rezultatima simulacije u ZIMSKOM razdoblju. Modelirane prosječne brojnosti u LJETNOM razdoblju uspoređene su s istim ljetnim terminima razmotrenima pri uzorkovanju fitoplanktonskih frakcija, odnosno 19.8., 26.8., 31.8. i 8.9.2021.



Slika 5-72 Usporedba izmjerenih i modelom dobivenih vertikalno usrednjenih brojnosti kopepoda na lokacijama uzorkovanja RlbwB i RlbwS te području luke Rijeka za ZIMSKO (lijevo) i LJETNO (desno) simulacijsko razdoblje

Dobiveni rezultati upućuju na pozitivnu korelaciju uzorkovanih i modeliranih vertikalno usrednjenih brojnosti s koeficijentom determinacije $R^2 = 0,60$, no pogrešnim redom veličine brojnosti u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (Slika 5-72, lijevo). U LJETNOM simulacijskom razdoblju ostvaren je nešto veći $R^2 \approx 0,78$ s kvalitetnije modeliranim brojnostima po pitanju reda veličine uzorkovanih vrijednosti, no ostvarena je negativna korelacija. Identične napomene kao za prethodne dvije planktonske frakcije nužno je istaknuti i za kopepode. Pri inicijalizaciji simulacije nije definirana početna brojnosti kopepoda, a sama mjerenja raspoloživa su u više termina, no prostorno u istom obimu kao za fitoplanktonske frakcije.

6 RASPRAVA

Sažetak poglavlja

6.1 Kolika je važnost pouzdanog HD modela za analizu sekundarnog raspršenja planktonskih zajednica?

Uspostava pouzdanoga HD modela cirkulacije mora ključna je pri analizi sekundarnoga raspršenja planktonskih zajednica s obzirom na to da je njihov horizontalni pronos dominantno pod utjecajem okolnoga polja strujanja. Pri uspostavi HD modela posebnu je pažnju potrebno posvetiti uključivanju svih ključnih okolišnih uvjeta koji oblikuju polje cirkulacije, definiranju kvalitetne batimetrije te odabiru prikladnih početnih i rubnih uvjeta. Prilikom kalibracije modela preporučljivo je koristiti rezultate mjerenja brzina strujanja mora ukoliko su dostupni.

6.2 Ima li koristi od primjene ABM-a za analizu pronosa planktonskih zajednica?

ABM združen s pouzdanim HD modelom predstavlja izuzetno moćan alat pri analizi obrazaca gibanja planktonskih oblika u lučkim akvatorijima i izvan njih. Pri modelskom formuliranju gibanja planktona potrebno je definirati matematičke jednadžbe kojim će se adekvatno opisati njihovo vertikalno gibanje u ovisnosti o podražajima iz okoliša. Preporučljivo je korištenje rezultata terenskih opažanja obrazaca gibanja planktonskih oblika i njihova adekvatna matematička formulacija pri razvoju ABM-a. Ukoliko terenska opažanja nisu dostupna, polazište pri modeliranju gibanja planktonskih oblika mogu biti laboratorijska istraživanja.

6.3 Prijedlog operativnih mjera sprječavanja širenja invazivnih vrsta i smjernica ispuštanja balastnih voda u Jadranskom moru

Donesene smjernice upravljanja balastnom vodom opisane su kroz tri faze implementacije – pripremne radnje, operativne mjere i radnje nakon operativnih mjera. Fokus operativnih mjera i smjernica je na različitim fazama njihove implementacije koje uzročno-posljedično povezuju okolišne uvjete, prostorna ograničenja akvatorija, mogućnosti manevriranja broda te jednostavnost provedbe donesene operativne mjere.

6.1 Kolika je važnost pouzdanog HD modela za analizu sekundarnog raspršenja planktonskih zajednica?

Pregledom dobivenih rezultata HD modela može se utvrditi da su na lokacijama mjerenja ADCP-PL1 i ADCP-PL2 (Slika 5-9-Slika 5-10, Tablica 5.3-Tablica 5.6) te ADCP-RI1 i ADCP-RI2 (Slika 0-45-Slika 0-57, Tablica 5.7-Tablica 5.10) dobiveni zadovoljavajući rezultati. Usporedbom vremenskih nizova izmjerenih i modeliranih morskih razina te U i V komponenti brzina strujanja kroz stupac mora može se utvrditi da je adekvatno simuliran trend koji se javlja u mjerenjima (Slika 0-22-Slika 0-33 za Ploče, Slika 0-44-Slika 0-57 za Rijeku), a posebice pri pojavi vanjskih meteoroloških i hidroloških uvjeta uslijed kojih nastaje intenzivnije strujanje.

Recentni radovi ističu dinamiku morskih razina kao jedan od temelja procjene pouzdanosti HD modela (Pastor i sur., 2018.; Dye i sur., 2020.; Ferrarin i sur., 2021.; Pastor i sur., 2021.). Ovi su radovi razmotreni s obzirom na to da je HD komponenta iskorištena kao podloga za daljnje ekološko modeliranje raspršenja mikroorganizama kao indikatora fekalnog onečišćenja (Ferrarin i sur., 2021.) ili pak za potrebe definiranja obrazaca raspršenja ličinki (Pastor i sur., 2021.; Dye i sur., 2022.). Velika točnost simuliranja dinamike morskih razina zapravo je očekivana jer proizlazi iz načina definiranja rubnog uvjeta na granicama na kojima se uobičajeno opisuje djelovanje oceanografskih parametara. Plimne oscilacije predstavljaju dominantnu komponentu što se tiče formiranja ukupne dinamike morskih razina te su za Jadransko more lako predvidive primjenom odgovarajućih plimnih konstituenta (Janeković i Kuzmić, 2005.). Posjedovanjem informacija o kvalitetno simuliranim morskim rezidualima (primjerice rezultati NEMO v3.6 modela, Escudier i sur., 2020., 2021.; Nigam i sur., 2021.) te superponiranjem s plimnim oscilacijama može se dobiti pouzdana dinamika morskih razina (Lončar i sur., 2022.) koja može biti od velike koristi posebice pri definiranju rubnih uvjeta za lokalne HD modele cirkulacije na Jadranskom moru.

Osim morskih razina, Pastor i sur. (2018., 2021.) su pri kalibraciji HD modela u obzir uzeli temperaturu i salinitet koji se smatraju mjerodavnim parametrima za adekvatno simuliranje gibanja modeliranih ličinki te, u konačnici, naseljavanja određenog područja. Ova dva parametra nisu razmotrena pri kalibraciji i validaciji HD modela razvijenih u okviru ove disertacije. Razlog leži u tome što se ovim istraživanjem neće razmatrati pri kakvim uvjetima okolne temperature i saliniteta dolazi do naseljavanja određenoga područja, već je fokus na mehanizmima horizontalnoga i vertikalnoga pronosa uvjetovanim intenzivnim morskim strujama. Osim toga, u okviru ovoga istraživanja fokus nije na točno određenoj vrsti mikroorganizma, već prosječnoj jedinki u populaciji dijatomeja, dinoflagelata ili kopepoda. Stoga, rasponi razmotrenih okolišnih parametara, koji utječu na gibanje modelskih čestica, razmotreni su kao prosjek vrijednosti važećih graničnih vrijednosti temperature i intenziteta sunčeve svjetlosti za određene vrste modelirane planktonske frakcije (opisano u poglavlju 4.4.6).

Ranije je već utvrđeno da intenzivna cirkulacija nastaje kao posljedica djelovanja vjetra ili slatkovodnog dotoka iz okolnih vodotoka ukoliko su prisutni i uopće utječu na strujanje mora u analiziranom području. Dye i sur. (2022.) koristili su postojeći 2D HD model (Dye i sur., 2020.) kao podlogu za razvoj svoga ABM-a gibanja ličinki kamenica te proveli kalibraciju na vertikalno usrednjene U i V komponente brzine strujanja. Sama pouzdanost simuliranih komponenti brzina veće je pouzdanosti no što je slučaj s modelima izrađenima u okviru ovoga istraživanja. Ipak, valja napomenuti da su u okviru ove disertacije uspostavljeni, kalibrirani i verificirani 3D HD modeli u kojima i meteorološki i hidrološki faktori značajno utječu na strujnu sliku i obrasce intenzivne cirkulacije. S druge strane, obrasce strujanja mora prezentirani u radu Dyea i sur. (2020.) dominantno pod utjecajem plimnih oscilacija u plitkom estuariju bez značajnijeg utjecaja, primjerice, djelovanja vjetra na dinamiku brzina morskih struja. Valja istaknuti da se, u odnosu

na modele obuhvaćene ovom disertacijom, u potonjem istraživanju radi o značajno manje kompleksnoj problematici za HD modeliranje po pitanju prepoznavanja dominantnih generatora cirkulacije i definiranja njihovoga djelovanja u modelskom okruženju. Ako se pak fokus stavi na odabir fizičkih veličina čije će se djelovanje nametnuti na otvorenim granicama modela, valja napomenuti da Ferrarin i sur. (2021.) za slično definiran obuhvat šireg akvatorijalnog područja luke Ploče nisu uključili slatkovodni dotok iz Baćinskih jezera kao jednog od značajnih parametara koji oblikuje polje površinskih morskih struja u zatvorenom dijelu akvatorija (oko lokacije „Trajektna_luka, Slika 4-20). Također, modelom opisanim u ovoj disertaciji obuhvaćeno je područje koje se proteže sve do SE ugla Malostonskog zaljeva uključujući okolne zaljeve i uvale (Neumski zaljev, uvale Duba Stonska i Bistrina). Samim time, moguće je provesti preliminarnu analizu, primjerice, pronosa čestica i na tome dijelu što nije slučaj s HD modelom Ferrarina i sur. (2021.) čija SE granica približno odgovara trasi Pelješškoga mosta. Što se tiče novo uspostavljenoga HD modela u luci Rijeka, prema saznanju autora dosad nije razvijen HD model za potrebe analize cirkulacije mora na ovome području. Unaprijeđenje HD modela cirkulacije mora na širem akvatorijalnom području luke Ploče te izrada novog HD modela cirkulacije mora u luci Rijeka svakako predstavlja značajan doprinos u području modeliranja lokalne cirkulacije mora na Jadranu.

Iako su u određenim razdobljima prisutna značajnija odstupanja u odnosu na mjerenja, valja uzeti u obzir ograničenost ulaznih podataka nužnih za uspostavu modela. Ta ograničenost posljedica je raspoloživih financijskih i logističkih sredstava (mjerna oprema, računalni resursi i sl.). Upravo su ova sredstva značajna po pitanju doprinosa pouzdanosti modela posebice po pitanju dostupnosti podloga (otvoreni ili komercijalni pristup), obujma terenskih mjerenja koje je potrebno provesti, odabira obuhvata i rezolucije diskretizacijske mreže prostornih domena. Najbitnija komponenta modela, koja utječe na samu pouzdanost, jest batimetrija koja je zbog ranije utvrđenih ograničenja preuzeta dijelom iz dokumenata Lučke uprave Ploče i Rijeka, a dijelom iz povremeno osvježavane javno dostupnih nautičkih karata (vidi poglavlja 4.1.1.1 i 4.1.2.1). Svakako, povoljnije bi bilo u razdoblju mjerenja morskih struja provesti povremena mjerenja batimetrije (barem na početku mjernoga razdoblja) u slučaju da je za odgovarajuće područje predviđena uspostava HD modela cirkulacije. Nadalje, vertikalni profili temperature i saliniteta mjereni su u ukupno petnaest termina na pojedinačnim lokacijama u luci Ploče dok su u luci Rijeka dostupna samo četiri vertikalna profila u razdoblju listopad 2020.-rujan 2021. (vidi poglavlja 4.1.2.3 i 5.2.1.1). Varijacije ovih dvaju parametara značajne su prostorno i vremenski (na skali manjoj od jednog dana) posebice u ljetnim mjesecima što je razvidno s mjerenja temperature na postavljenim strujomjerima (Slika 0-14, Slika 0-21). Također, valja napomenuti da od 16. do 28. rujna 2021. nedostaju podaci o protoku rijeke Neretve (Slika 4-7) što negativno utječe na rezultate modela u LJETNOM simulacijskom razdoblju za koje je provedena validacija modela cirkulacije na širem akvatorijalnom području luke Ploče. Najveća nepouzdanost modela za ovu domenu utvrđena je u ZIMSKOM razdoblju za potpovršinski sloj na lokaciji ADCP-PL2 kako za maksimalne tako za srednje brzine i standardnu devijaciju (Tablica 5.4). Za prostornu domenu luke Rijeka lokacija ADCP-RI2, posebice u LJETNOM razdoblju, ističe se kao najmanje pouzdana po pitanju usporedbe osnovnih statističkih parametara izmjerenih i modeliranih morskih struja (maksimum, srednja vrijednost, standardna devijacija brzine, Tablica 5.10). Ipak, usporedba vremenskih nizova U i V komponenti brzine strujanja (Ploče – Slika 0-23-Slika 0-27, Slika 0-29-Slika 0-33, Slika 5-11-Slika 5-12, Slika 0-34-Slika 0-43; Rijeka – Slika 0-45-Slika 0-50, Slika 0-52-Slika 0-57, Slika 5-16-Slika 5-18, Slika 0-58-Slika 0-64) te uvid u 3D polja modelirane cirkulacije mora za vrijeme intenzivnog djelovanja okolišnih parametara (vjetar i/ili značajni slatkovodni dotok) upućuje na to da se uspostavljenim modelima može adekvatno simulirati smjer dominantnog pronosa mikroorganizama koji se modelira. Najveće pogreške modela po pitanju smjera i djelovanja javljaju se pri brzinama manjima

od 3 [cm·s⁻¹] dok se za situacije djelovanja meteoroloških i hidroloških parametara koji uvjetuju intenzivniju cirkulaciju opravdano može tvrditi da je trend i red veličine izmjerenih vrijednosti adekvatno simuliran. Ipak, usporedba vremenskih nizova U i V komponenti brzine strujanja te uvid u 3D polja modelirane cirkulacije mora za vrijeme intenzivnog vjetera i/ili značajnog slatkovodnog dotoka upućuje na to da se uspostavljenim modelom može adekvatno simulirati smjer dominantnog pronosa mikroorganizama. U konačnici, smatra se da, s obzirom na dostupne ulazne podloge i podatke, uspostavljeni 3D hidrodinamički modeli daju zadovoljavajuće rezultate te su primjenjivi za potrebe analize pronosa mikroorganizama unutar svojih prostornih domena kao i dinamike iznošenja modelskih čestica kroz otvorene granice modela. Upravo u pouzdanosti HD modela leži sva njegova važnost i mogućnost primjene za daljnje analize posebice procesa u morskim ekosustavima u kojima je nužno sagledavanje cjelokupne 3D slike cirkulacije mora.

6.2 Ima li koristi od primjene ABM-a za analizu pronosa planktonskih zajednica?

U okviru ove disertacije razvijeni su izvorni ABM-i kako bi se analizirali obrasci horizontalnoga i vertikalnoga pronosa planktonskih zajednica koji se javljaju kao posljedica dinamike vladajućih meteoroloških, hidroloških i oceanografskih uvjeta te vlastitih mogućnosti gibanja modeliranih organizama. Modelirane su ukupno tri frakcije – dijatomeje i dinoflagelati (predstavnici fitoplanktona) te kopepodi (predstavnici zooplanktona). Sami odabir planktonskih frakcija nije slučajna. Poznato je da je da su upravo dijatomeje i dinoflagelati dominantno zastupljeni u uzorcima fitoplanktona, a kopepodi pri uzorkovanju zooplanktona u ispitivanim područjima. Gibanja modeliranih frakcija opisana su matematičkim i logičkim formulacijama definiranim na temelju dosadašnjih laboratorijskih istraživanja (vidi poglavlja 2.2.2.2, 2.2.2.3, 4.4.7).

James i sur. (2023.) i istraživanja referencirana u njihovome radu jasno ističu da korištenje laboratorijskih rezultata ispitivanja bihevioralnih karakteristika mikroorganizama poput ličinki nije prihvatljivo pri analizi njihovoga pronosa u realnoj sredini. Napominju da je potrebno *in-situ* provoditi mjerenja kako bi se utvrdili obrasci gibanja u realnoj sredini umjesto njihove analize u kontroliranim laboratorijskim uvjetima. Ove su činjenice nepobitne posebice ako se uzme u obzir da se pokušava modelirati gibanje živih bića koja uistinu pokazuju karakter adaptacije promjenama okolišnih uvjeta čak i kada se radi o planktonskim oblicima. Ipak, nameće se pitanje koliko je realno očekivati da raspoloživa financijska i logistička sredstva dopuštaju ili omogućuju istraživačima *in-situ* mjerenja bihevioralnih karakteristika mikroorganizama u realnoj sredini? Oceanografski uvjeti vezani uz dinamiku morskih struja, temperature i saliniteta u realnim sredinama značajno variraju kako prostorno tako i vremenski. Samim time, *in-situ* uzorkovanja bilo bi potrebno provoditi kontinuirano ili barem periodično u nekoliko termina po sezoni i na različitim lokacijama određenoga područja od interesa kako bi se mogle opisati bihevioralne karakteristike analiziranih mikroorganizama s obzirom na okolišne uvjete. Na ovaj bi se način obuhvatile prostorne i vremenske varijacije brojnosti mikroorganizama bilo da se radi o vertikalno usrednjenim vrijednostima ili pak o raspodjeli u stupcu mora. U konačnici, korištenje laboratorijskih istraživanja na temelju kojih postoji jasna funkcionalna veza između gibanja planktona i okolišnih uvjeta, koji su definirani pouzdanim HD modelima strujanja, svakako se još uvijek mogu smatrati najpovoljnijim rješenjem za potrebe analize dinamike raspršenja ovih mikroorganizama.

Obrasci pronosa modeliranih planktonskih zajednica u ovoj su disertaciji analizirani na obuhvatu istovjetnom prostornim domenama dvaju razvijenih HD modela (Slika 4-17, Slika 4-18). Prilikom razvoja ABM-a gibanja fitoplanktonskih frakcija, dijatomeje su razmotrene kao čestice dominantno podložne pasivnom transportu dok su dinoflagelati opisani kao modelske čestice s izraženijim vlastitim

sposobnostima gibanja (u vertikalnom smjeru). ABM gibanja kopepoda, kao najzastupljenijeg predstavnika zooplanktona, također počiva na ideji aktivnih modelskih čestica, tj. agenata koji imaju mogućnost suprotstavljanja okolnom strujanju mora korištenjem vlastitih mogućnosti gibanja. Pri uspostavi ABM-a dinoflagelata i kopepoda definiran je niz izvornih jednadžbi koje uključuju logičke formulacije pomoću kojih je opisan adaptabilni karakter ovih planktonskih frakcija s obzirom na promjene u okolišu. Potrebno je istaknuti jednadžbe (57)-(62) razvijene za opis gibanja dinoflagelata te (65)-(68) definirane za modeliranje gibanja kopepoda što je detaljno opisano u poglavljima 4.4.7.2 i 4.4.7.3, redom.

Prethodna su istraživanja pronos analiziranih tipova ličinki (predstavnici zooplanktona) uobičajeno promatrala kroz okno modelskih čestica nošenih isključivo morskim strujama (Pastor i sur., 2018.). Također, promatrane su i kao modelske čestice koje imaju mogućnost gibanja konstantnom brzinom prema dnu nakon nastupanja određenih okolišnih uvjeta ili pak postizanja optimalnih vlastitih fizioloških uvjeta (Pastor i sur., 2021.; Dye i sur., 2022.). Pastor i sur. (2021.) razmatraju da aktivno gibanje ličinki nastupa u trenutku postizanja granične vrijednosti pelagičkog razdoblja ovisnog o okolišnim uvjetima, a karakterizira ga vertikalno gibanje konstantnom brzinom prema dnu pri kojem nema kretanja u horizontalnoj ravnini. Dye i sur. (2022.) istovjetno su definirali početak aktivnoga vertikalnog gibanje pri čemu su uzeli u obzir horizontalnu komponentu strujanja koja djeluje na agente za vrijeme naseljavanja određenoga područja. Ipak, upitna je pretpostavka da u modelsku formulaciju nije uključeno gibanje kojim će se opisati vertikalno gibanje ličinki prema površini i samim time DVM ovih organizama tijekom njihovog vremena provedenoga u pelagijalu. Komentar vezan uz pretjerano pojednostavljivanje formulacije gibanja zooplanktona u modelskome okruženju istaknuli su Kimmerer i sur. (2014.) uz prijedlog da je potrebno koristiti realističnije izraze u tu svrhu. Između ostalih prijedloga prijašnjih istraživanja, ovaj je komentar uvriježen u okviru ove disertacije s obzirom na to da je jedan od temeljnih znanstvenih doprinosa ostvaren upravo kroz pristup modeliranju gibanja dinoflagelata i kopepoda.

U poglavljima 2.2.2.2 i 2.2.2.3 jasno je istaknuto da pojedine vrste fito- i zooplanktona pokazuju izraženi adaptabilni karakter promjenama u svome okolišu te da je DVM sastavni dio životnoga ciklusa ovih organizama. James i sur. (2023.) također argumentiraju da je organizme čak u ranom životnom stadiju (ličinke plave dagnje) potrebno promatrati kao aktivne, a ne pasivne čestice u modelskome okruženju te da nije preporučljivo zanemariti DVM pri analizi pronosa. Istovjetna nit vodilja očituje se kroz ovu disertaciju s obzirom na to da su dinoflagelati i kopepodi modelirani kao aktivne čestice. Aktivnost ovih čestica opisana je kao mogućnost vertikalnoga gibanja prema površini, odnosno prema dnu u ovisnosti o okolišnim uvjetima: okolnoj temperaturi, intenzitetu sunčeve svjetlosti na dubini čestice i djelovanju gravitacije. Nadalje, jasno je istaknuta funkcionalna veza s okolišnim parametrima i, sukladno njihovoj promjeni, različiti modaliteti gibanja (tonjenje, gibanje prema površini). Opravdano je tvrditi da se upravo takva formulacija matematičkih i logičkih izraza, koji opisuju gibanje agenata, može spominjati u kontekstu modeliranja aktivnoga gibanja organizama. S druge strane, dijatomeje su pri opisu njihovoga modeliranja navedene kao čestice podložne dominantno pasivnom transportu uslijed djelovanja okolne struje mora. Radi se o frakciji fitoplanktona koje čije su vlastite mogućnosti gibanja opisane kroz turbulentnu disperziju (vidi poglavlja 2.2.2.2.2 i 4.4.7.1) i koje tonu uslijed djelovanja gravitacije. Razvidno je da prethodna istraživanja pasivne čestice poistovjećuju s traserima podložnima isključivo okolnom djelovanju strujanja fluida. Međutim, ispravnim se smatra nazivanje modeliranih organizama pasivnim česticama ukoliko je njihovo, uz okolno strujanje, vertikalno gibanje inducirano i vlastitom težinom.

Wang i sur. (2017.) razvili su napredniji model gibanja fitoplanktona u odnosu na ono što je prezentirano u okviru ove disertacije. Spomenuti su autori vertikalno gibanje prema površini modelirali u funkciji

intenziteta sunčeve svjetlosti i varijabilnosti gustoće stanica kolonije fitoplanktona *Microcystis*. Ipak, valja napomenuti da se analizirala konkretna vrsta planktona kako u potonjem tako i u prethodno spomenutim radovima Pastor i sur. (2018., 2021.) i Dyea i sur. (2022.). Samim time, moguće je točnije definirati određene granične vrijednosti okolišnih parametara koji utječu na gibanje i fiziologiju modeliranih frakcija dok je u ovoj disertaciji modelirani opće gibanje frakcija planktona bez fokusiranja na točno određenu vrstu.

Jedan od ciljeva ove disertacije jest detekcija okolišnih uvjeta za koje se mogu utvrditi određeni obrasci pronosa modeliranih planktonskih zajednica. Sami pronos opisan je sekundarnim raspršenjem od mjesta unosa, taloženjem unutar granica prostorne domene i iznošenjem kroz otvorene granice modela što je detaljno prezentirano u potpoglavlju 5.4 i Prilozima u dijelu D. Svakako je od izuzetne važnosti i ovdje istaknuti uspostavljene HD modele cirkulacije čija pouzdanost omogućuje sve daljnje analize koje se tiču pronosa onečišćenja, mikroorganizama ili sličnih pojava. Uvidom u dobivene rezultate može se utvrditi da sam oblik analizirane prostorne domene i dominantni vjetar imaju primarni utjecaj na obrasce pronosa čestica. Osim oblika domene, od velike je važnosti i sam pristup modeliranju planktonskih frakcija te načina simuliranja njihovoga gibanja. Upravo istraživanje načina simuliranja bihevioralnih komponenti organizama u ranom životnom stadiju i različitih modaliteta njihovoga gibanja proveli su James i sur. (2023.). U spomenutom su istraživanju utvrdili da modelske čestice s izraženijim vlastitim mogućnostima vertikalnoga gibanja okolnom strujanju dulje borave u domeni pri čemu je njihovo raspršenje manjega prostornog obuhvata unutar analiziranoga područja. U okviru ove disertacije dobiveni su rezultati koji su suglasni s istraživanjem Jamesa i sur. (2023.). Na temelju provedenih simulacija utvrđeno je veće raspršenje pasivnijih agenata (dijatomeja) unutar granica prostorne domene modela u odnosu na agente s izraženijim vlastitim sposobnostima gibanja. Potonja tvrdnja proizašla je iz dobivenih 2D polja modeliranih fitoplanktonskih zajednica raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu.

Za šire akvatorijalno područje luke Ploče kao reprezentativan prikaz može se uzeti usporedba pronosa čestica unesenih na lokaciji „Ljetni_vez“ (Slika 5-19, Slika 5-24, Slika 5-29). Pronos čestica dominantno podložnih pasivnom transportu (dijatomeja) prisutan je u svim smjerovima od lokacije unosa dok se aktivnije (dinoflagelati i kopepodi) dominantno pronose kroz otvorenu granicu modela „MORE“ u smjeru dominantnih morskih struja (vidi Slika 5-4). Sličan je obrazac prisutan za modelske čestice unesene na lokaciji „BazenRI-sredina“ gdje je sekundarno raspršenje također dominantno pod utjecajem dominantnih morskih struja (vidi Slika 5-6). Po pitanju taloženja čestica na modelskome dnu, ono je izraženije za dijatomeje što je očekivana pojava s obzirom na to da modelirani dinoflagelati dulje borave u stupcu mora zbog mogućnosti gibanja prema površini.

Ako se pak usporede pronosi modeliranih dinoflagelata i kopepoda, utvrđeno je da agenti, koji imaju mogućnost postizanja veće brzine vertikalnoga gibanja (kopepodi), dulje borave unutar prostorne domene. Iako se prethodna tvrdnja čini očekivanom s obzirom na to da kopepodi u modelskom okruženju nemaju mogućnost taloženja na dnu, način modeliranja i definiranje brzine vertikalnoga gibanja uvjetuju brže kretanje kopepoda kroz stupac mora. Time su ove aktivne čestice podložnije pridnenim strujama koje su uobičajeno suprotnoga smjera u odnosu na površinske nastale što je posebice izraženo pri intenzivnim uvjetima cirkulacije. Potrebno je istaknuti da je sekundarno raspršenje čestica moguće lokalizirati ukoliko se odabere lokacija ispusta kao što je „Kanal_Vlaska“ gdje sam oblik ovoga dijela domene prigušuje vanjske utjecaje (djelovanje vjetra), a strujanje je dominantno pod utjecajem plimnih oscilacija. Iznošenje van ovoga dijela domene prema otvorenome moru izraženije je za čestice s manje izraženim vlastitim sposobnostima gibanja dok ostale (dinoflagelati i kopepodi) pokazuju tendenciju

pronosa prema unutrašnjem dijelu kanala i jezeru Vlačka. U nastavku je dana skupna tablica za pojedino predmetno područje koja daje uvid u postotak iznesenih i istaloženih čestica s obzirom na broj unesenih modeliranih dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda. Iskazani postoci dobiveni su kao prosjek obaju simulacijskih razdoblja za pojedinu domenu i pojedinu modeliranu frakciju.

Tablica 6.1 Postotak čestica iznesenih kroz otvorene granice i istaloženih na modelskome dnu s obzirom na pojedinu modeliranu frakciju u svakom predmetnom području

	Ploče			Rijeka			Ukupno		
	Dia	Dino	Kop	Dia	Dino	Kop	Dia	Dino	Kop
Iznošenje	81,00%	81,21%	77,51%	90,74%	96,37%	72,19%	86,41%	89,63%	74,55%
Taloženje	18,60%	16,71%	-	8,65%	3,71%	-	13,33%	9,83%	-

Vladajući okolišni uvjeti uvelike utječu na obrasce pronosa modeliranih frakcija, a upravo se na temelju prikaza u potpoglavlju 5.4 (Slika 5-19-Slika 5-36, Slika 5-60-Slika 5-52, Slika 5-61-Slika 5-56, Slika 5-67-Slika 5-62) može dobiti uvid u razliku ZIMSKOG u odnosu na LJETNO simulacijsko razdoblje. Generalno, smjer raspršenja čestica za sve modelirane frakcije značajnije varira u LJETNOM razdoblju što je direktno povezano s većom varijabilnosti smjera i manjim brzinama strujanja. Pregledom dobivenih karata raspršenja može se raspoznati kako djelovanje dominantnoga vjetrova i dotoka Neretve u ZIMSKOM razdoblju služi kao prirodna barijera koja sprječava pronos u SE dijelove domene što je posebice izraženo za agente s izraženijim vlastitim sposobnostima gibanja. Za pronos čestica u luki Rijeka značajna je slabija povezanost između bazena Rijeka i Sušak u LJETNOM u odnosu na ZIMSKO razdoblje što se također smatra kao posljedica djelovanja smjerom varijabilnijih, a intenzitetom slabijih struja.

Analiza iznošenja agenata kroz otvorene granice modela (Slika 5-34, Slika 5-35, Slika 5-36, Slika 5-60, Slika 5-61) upućuje na to da dominantni vjetrovi po smjeru i intenzitetu uvjetuju najučestaliji pronos izvan domena. Za obje su prostorne domene izdvojeni vjetrovi čije brzine puhanja prelaze 90%-tni percentil u razdoblju dostupnih podataka od 1.10.2020. do 1.11.2021. gdje je za Ploče granična vrijednost 5,3 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], a za Rijeku 3,7 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Iako postoje određene razlike u ovisnosti o modeliranoj frakciji, za šire akvatorijalno područje luke Ploče i luku Rijeka ističu se kao dominantni vjetrovi oni za koje su utvrđene najveće brzine puhanja po pitanju iznošenja modelskih čestica kroz otvorene granice modela (NNE-NE-ENE te SE-SSE).

Iznošenje dijatomeja van domene šireg akvatorijalnog područja luke Ploče u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju najučestalije je pri pojavi SE i NNE vjetrova, a u LJETNOM pri pojavi W vjetrova za sve razmotrene lokacije unosa modelskih čestica (lokacije unosa Slika 4-20, učestalost iznošenja Slika 5-34). U slučaju dinoflagelata i kopepoda prisutna je veća varijabilnost smjera vjetrova koji utječe na njihovo iznošenje kroz otvorene granice (Slika 5-35, Slika 5-36). Za modelirane dinoflagelate u oba simulacijska razdoblja iznošenje nastupa pri pojavi istovjetnih vjetrova kao za dijatomeje. Pri analizi iznošenja kopepode treba ESE smjer (uz NNE i SE) koji dominira u ZIMSKOM razdoblju ukoliko su agenti uneseni na lokaciji „Kanal_Vlačka“. U LJETNOM je razdoblju iznošenje kopepoda van granica prostorne domene također najčešće posljedica djelovanja W vjetrova. Slatkovodni dotok rijeke Neretve dominantno uvjetuje površinski pronos prema NW smjeru uz koncentriranje agenata uzduž istočne obale. Utvrđeno je da za sve čestice protok $Q_{\text{Metković}} > 600 [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ osigurava prirodnu barijeru pronosu prema SE dijelovima domene (gledano

od transektu koji prati os toka Neretve preko ušća rijeke do obale Pelješca) te sprječava uzvodni pronos čestica tokom rijeke Neretve. Dotok iz Baćinskih jezera također dominantno uzrokuje površinski pronos zatvorenim dijelom luke Ploče. Pri protoku $Q_{\text{šipak}} > 18 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ dolazi do potpunog iznošenja modelskih čestica u SSW smjeru prema otvorenom moru ukoliko prethodno dođe do njihovog boravka u okolini ušća ili u zoni utjecaja dotoka iz Baćinskih jezera unutar ovoga dijela domene luke.

Za domenu luke Rijeka najučestalije iznošenje agenata prisutno je pri pojavi ENE vjetra te je ovaj obrazac istovjetan za sve modelirane fitoplanktonske frakcije u LJETNOM simulacijskom razdoblju (Slika 5-60, desno; Slika 5-61, desno). Iznošenje kopepoda najčešće nastupa pri pojavi intenzivnog NE vjetra u istom simulacijskom razdoblju (Slika 5-62, desno). U ZIMSKOM se razdoblju očituju veće varijacije u dominantnom smjeru vjetra po pitanju iznošenja agenata obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica. Za modelirane dijatomeje dominiraju smjerovi sjeveroistočnoga kvadranta iz kojeg djelovanje vjetra utječe na iznošenje čestica, a najučestaliji smjer je ENE (Slika 5-60, lijevo). U slučaju iznošenja agenata s izraženijim vlastitim sposobnostima gibanja prevladava utjecaj NNE vjetra, a valja istaknuti SSE i S smjerove koji su dominantni pri iznošenju čestica unesenih na lokaciji „BazenRI-sredina“ kako za modelirane dinoflagelate tako i za kopepode. U ovome se razdoblju (ZIMSKO) može izdvojiti i ENE vjetar koji uzrokuje najučestalije iznošenje dinoflagelata i kopepoda unesenih na lokaciji „BazenSU-sredina“ (Slika 5-61, desno; Slika 5-62, lijevo).

Naposlijetku, na temelju dostupnih terenskih uzorkovanja brojnosti dijatomeja, dinoflagelata i zooplanktona izvršena je provjera pouzdanosti uspostavljenog ABM-a pronosa mikroorganizama. Sličnu metodologiju primijenili su Dye i sur. (2022.) pri usporedbi izmjerenim i modeliranim udjelom agenata koji nasele, tj. istalože se na određenome području. U okviru ove disertacije na raspolaganje su stavljene podaci o uzorkovanom zooplanktonu (ukupna brojnost u stupcu) na ukupno šest lokacija od kojih su po tri vezane uza pojedinu prostornu domenu (Maškarić, 2024.). Uzorkovanja fitoplanktona dana su kao dostupne ukupne brojnosti dijatomeja i dinoflagelata u površinskom sloju i stupcu mora u LJETNOM razdoblju na lokacijama RlbwB i RlbwS. U okviru ove disertacije analiza prostorne raspodjele pojedine frakcije uključila je usporedbu apsolutnih brojnosti. Nužno je napomenuti da provedene simulacije nisu uključile početno stanje po pitanju brojnosti pojedine frakcije unutar dviju prostornih domena modela. Također, mjerenja brojnosti zooplanktona u dvjema lukama uspoređena je s modeliranim brojnostima kopepoda kao najbrojnijim predstavnikom ove planktonske skupine dok ostale vrste zooplanktona nisu modelirane.

Metodologija proračuna predstavljena je u potpoglavlju 5.4, a utvrđeno je odsustvo korelacije u ZIMSKOM razdoblju ako se promatraju apsolutne brojnosti modeliranih kopepoda u odnosu na izmjerene vrijednosti zooplanktona ($R^2 < 0,04$; Slika 5-47, desno) u luci Ploče. U luci Rijeka prisutna je određena pozitivna korelacija (Slika 5-72, lijevo) gdje R^2 postiže vrijednost od 0,60 u ZIMSKOM razdoblju. U LJETNOM je pak razdoblju također prisutna određena razina korelacije gdje su u lukama Ploče i Rijeka ostvareni koeficijenti determinacije $R^2 \approx 0,60$ (Slika 5-47, desno) i 0,78 (Slika 5-72, desno), redom. Valja napomenuti da je za obje luke red veličine modeliranih brojnosti kopepoda bolje opisan u LJETNOM nego u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju.

Po pitanju usporedbe brojnosti modeliranih i uzorkovanih fitoplanktonskih frakcija na raspolaganju je značajno manja količina mjerenja (svega četiri termina u LJETNOM razdoblju) i to samo za luku Rijeka. Slaba korelacija ($R^2 = 0,53$) ostvarena je pri usporedbi uzorkovanih i modeliranih brojnosti dinoflagelata dok za dijatomeje nije ostvarena korelacija. Pri tome, red veličine brojnosti usporediv s uzorkovanjima ostvaren je isključivo za vertikalno usrednjene modelirane vrijednosti dinoflagelata. Ipak, nužno je

napomenuti da, generalno gledano, pojam korelacije treba u ovome kontekstu izuzetno pažljivo koristiti. Niti za jednu prostornu domenu niti za bilo koju od modeliranih planktonskih frakcije nije definirano početno stanje brojnosti pri inicijalizaciji simulacije s obzirom na to da je fokus ove disertacije stavljen na utjecaj okolišnih parametara na pronos modeliranih planktonskih oblika. Također, nužno je uzeti u obzir da je, posebice prostorno gledano, na raspolaganju mali obuhvat terenskih mjerenja na temelju kojih bi se uistinu mogla provesti provjera pouzdanosti uspostavljenih ABM-a pronosa.

Definiranje početnih uvjeta zasigurno bi povećalo ukupnu brojnost modeliranih čestica čime bi se, posebice za lokacije na kojima je utvrđena određena razina korelacije. Također, definiranje početnoga stanja mogao bi igrati značajnu ulogu posebice pri definiranju brojnosti planktonskih frakcija poput dijatomeja koje dosežu iznimno visoke vrijednosti (vidi Tablica 4.8).

Predložena metodologija usporedbe uzorkovanih i modeliranih brojnosti svakako daje uvid u prostornu raspodjelu modeliranih frakcija te daje uvid u adekvatnost modeliranja barem reda veličine izmjerenih vrijednosti na pojedinoj lokaciji. Ipak, dobiveni korelacijski odnosi ne bi se trebali spominjati u kontekstu pouzdanosti uspostavljenih ABM-a pronosa posebice s obzirom na to da simulacija ne uključuje početno stanje u lukama, a dostupan je prostorno

No, povećanje broja lokacija i učestalosti mjerenja svakako bi moglo pospješiti primjenu i povećati razinu pouzdanosti ABM-a za potrebe analize pronosa planktonskih zajednica. Ukoliko to nije moguće, potrebno je predloženu metodologiju usporedbe uzorkovanih i modeliranih brojnosti unaprijediti barem definiranjem početnoga stanja u analiziranoj prostornoj domeni na temelju koje bi se moglo ići u smjeru provjere pouzdanosti ABM-a pronosa planktonskih zajednica.

Na temelju iznesenih razmatranja, može se dati odgovor na naslov ovoga poglavlja: pouzdani ABM združen s pouzdanim HD modelom predstavlja izuzetno moćan alat pri analizi obrazaca gibanja planktonskih oblika u lučkim akvatorijima i izvan njih.

6.3 Prijedlog operativnih mjera sprječavanja širenja invazivnih vrsta i smjernica ispuštanja balastnih voda u Jadranskom moru

Kroz poglavlje 2.2.1.4 dobiven je uvid u tematiku sustava za rano upozorenje i potporu pri odlučivanju o mjerama vezanima uz upravljanje brodskim balastnim vodama koji su dominantno vezani uz sprječavanje širenja HAOP-a. Dosadašnji su prijedlozi uspostave takvih sustava samo taksativno spomenuli oceanografske parametre koje treba razmotriti prilikom upravljanja brodskim balastnim vodama (David i Gollasch, 2016.; Magalletti i sur., 2017.; Katsenevakis i sur., 2023.) gdje je fokus na biološkom monitoringu luka dok je konkretne mjere obradila Kraus (2023.). Uključivanje utjecaja sezonske cirkulacije mora na sekundarno širenje HAOP-a opisano je u radu Kraus i sur. (2018.), a doprinos tome istraživanju upravo se očituje kroz tematiku obrađenu ovom disertacijom. Kroz sve dosad prezentirane rezultate, od karata raspršenja i taloženja modelskih čestica preko povezivanja pronosa s okolišnim uvjetima koji uzrokuju intenzivnu cirkulaciju, može se dobiti uvid u komponente koje je preporučljivo uključiti u sustav potpore pri odlučivanju bilo kroz pripremne bilo kroz operativne radnje. Sama razmatranja vezana uz, primjerice, djelovanje vjetra mogu dovesti do preliminarnih procjena u kojim se dijelovima područja od interesa i u kojem smjeru može očekivati pojačani pronos. Nadogradnja ovakve preliminarne procjene bila bi izrada numeričkoga modela cirkulacije čiju je pouzdanost moguće provjeriti provedbom terenskih mjerenja korištenjem adekvatne opreme, a kruna po pitanju modeliranja je izrada modela pronosa i združivanje s HD modelom.

U nastavku je tablično dan prijedlog smjernica koje uključuju korake pri donošenju adekvatnih operativnih mjera u slučaju da donositelj istih posjeduje barem dio alata prezentiranih ovim istraživanjem. Same operativne mjere predstavljaju sastavni dio smjernica ispuštanja brodske balastne vode u čijem je okviru dan prijedlog pripremnih radnji s ciljem što kvalitetnije provedbe mjera. U danim smjernicama neće se obuhvatiti operativne radnje kao što su postupci pročišćavanja balastne vode.

Tablica 6.2 Smjernice za upravljanje brodskim balastnim vodama s uključenim operativnim mjerama s obzirom na okolišne uvjete

Faza implementacije smjernica	Opis
Pripremne radnje	Komunikacija s osobljem luke donora balastne vode i broda koji uplovljava koju je preporučljivo provesti s ciljem dobivanja informacija o: - povećanoj količini HAOP-a što uključuje potencijalnu pojavu invazivne vrste u akvatoriju luke donora; - problemima s funkcioniranjem sustava za obradu brodske balastne vode.
	Sagledavanje meteoroloških, hidroloških i oceanografskih uvjeta na temelju raspoloživih podataka iz postojećih prognostičkih modela i baza podataka te odabir adekvatnih ulaznih podataka za izradu prognoze morske cirkulacije i širenja stranih vrsta: 1. odabir lokacije ispuštanja brodske balastne vode; 2. odabir područja od interesa što se tiče kritičnosti dospijeca strane vrste kroz opisivanje scenarija u kojima ▪ prisutnost unesenih organizama može narušiti stabilnosti ekosustava i pojave drugih štetnih posljedica na gospodarstvo, ▪ jest dopuštena prisutnost unesenih organizama te se ne očekuju značajnije štetne posljedice pri njihovom raspršenju; 3. odabir ulaznih meteoroloških parametara na temelju raspoloživih prognostičkih modela poput Aladin-HR, ECMWF i slično (paziti na prostornu i vremensku rezoluciju ulaznih podataka); 4. odabir ulaznih oceanografskih parametara na temelju poznatih plimnih konstituenata (Janeković i Kuzmić, 2005.) i javno dostupnih baza podataka za Jadransko more (poput Copernicus Marine Service); 5. (opcionalno) odabir ulaznih hidroloških parametara ukoliko postoji slatkovodni dotok koji utječe polje strujanja unutar područja od interesa bilo da se radi o ušćima vodotoka, kanala ili pak ispusta sustava odvodnje na temelju ▪ rezultata hidrološkog prognostičkog modela (ako postoji) ▪ procjene dotoka u područje od interesa na temelju korelacije između meteoroloških i hidroloških parametara.
	Pokretanje nove simulacije ili pregled polja cirkulacije mora za istovjetne uvjete ranije opisanima. Izrada prognoze sekundarnoga širenja stranih vrsta na temelju prethodno definiranih koraka.

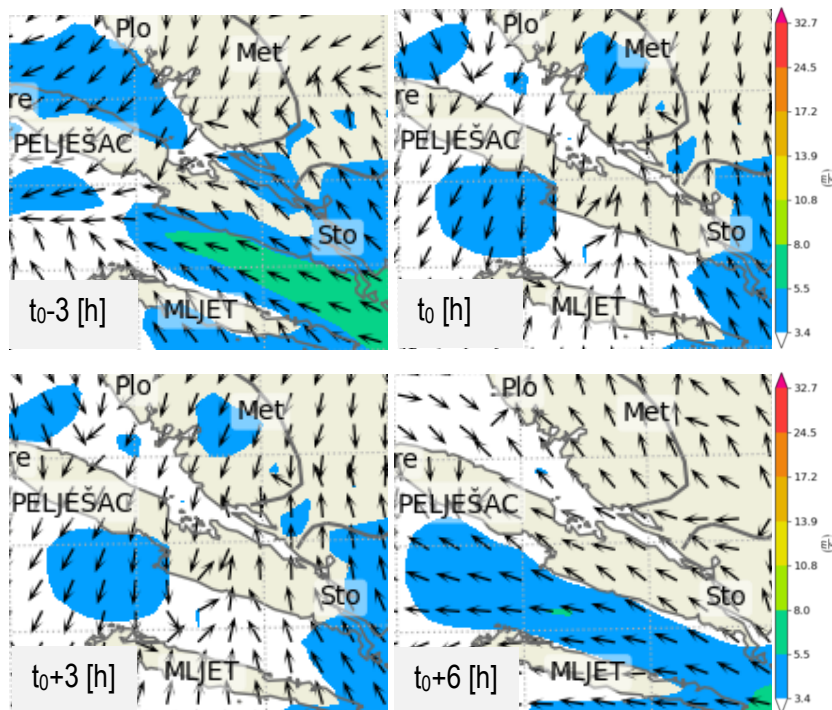
Faza implementacije smjernica	Opis
Operativne mjere	Dojava brodaru o odgodi trenutka ispuštanja brodske balastne vode na predviđenoj lokaciji ukoliko postoji vjerojatnost dospijeca strane vrste u ugroženo područje do nastupanja povoljnih okolišnih uvjeta. Povoljni okolišni uvjeti usvojiti će se na temelju simulacija prognoze cirkulacije mora i posljedičnog pronosa modelskih čestica pri čemu je fokus preporučljivo staviti na smanjenje prostornoga obuhvata raspršenja sadržaja brodske balastne vode.
	Izmještanje lokacije ispuštanja brodske balastne vode s ciljem 1. sprječavanja dospijeca strane vrste u zaštićeno područje, područje uzgoja morskih organizama ili plaže; 2. lokalizacije ispuštene brodske balastne vode oko mjesta ispusta. Pri promjeni lokacije ispuštanja posebnu je pozornost potrebno posvetiti raspoloživom manevarskom prostoru unutar luke, manevarskim sposobnostima broda te osiguranju adekvatne dubine akvatorija s obzirom na brodski gaz.
Radnje nakon operativnih mjera	Detekcija lokacija izražene pojave HAOP-a unutar zaštićenog područja, područja uzgoj morskih organizama ili plaža.
	Provjera pouzdanosti prognoze dobivene modelom u okviru pripremnih radnji kroz usporedbu s izmjerenim brzinama i smjerovima morskih struja (ukoliko je mjerenja moguće provesti) te provedba biološkoga monitoringa.

Dakle, valja jasno istaknuti da je predloženim smjernicama moguće pospješiti i poboljšati razvoj sustava za potporu pri odlučivanju o upravljanju brodskim balastnim vodama, a saznanja dobivena ovim istraživanjem trebala bi olakšati donošenje adekvatnih mjera. Morska cirkulacija ključna je komponenta pri analizi sekundarnoga širenja stranih vrsta nakon unosa kako u horizontalnome tako u vertikalnom smjeru, stoga je nužno njezino sagledavanje pri donošenju konkretnih odluka o upravljanju brodskim balastnim vodama.

U nastavku je dan prijedlog operativnih mjera za dojavu o dolasku broda u područje luke Ploče na predviđenu lokaciju ispuštanja balastne vode „Trajektna_luka“ za koje je izrađena detaljna analiza utjecaja okolišnih uvjeta na obrasce pronosa, taloženja i iznošenja modeliranih planktonskih frakcija s obzirom na ranije prikazane smjernice (Tablica 6.2). Pri tome, analizirani su realni scenariji prognoze za hipotetsku najavu uplovljavanja broda 12.3.2024.u 8:00.

Tablica 6.3 Smjernice za upravljanje brodskim balastnim vodama s uključenim operativnim mjerama s obzirom na okolišne uvjete za hipotetsku najavu uplovljavanja broda u luku Ploče

Faza implementacije smjernica	Opis
Pripremne radnje	- predviđen dolazak broda 12.3.2024. u 8:00 (t_0) te ispuštanje balastne vode u okolini lokacije „Trajektna luka“ (Slika 4-20); - zadani kriteriji da - ne smije doći do pronosa ispuštenog sadržaja balastne vode u SE dijelove prostorne domene šireg akvatorijalnog područja luke Ploče (prema Malom moru i Malostonskom zaljevu), - potrebno osigurati zadržavanje sadržaja brodske balastne vode u okolini lokacije unosa. - Meteorološki podaci - prognoza 3h brzina i smjerova vjetra na temelju Aladin-HR modela (preuzeto s https://meteo.hr/prognoze.php?section=prognoze_model&param=ala_k&el=web_uv10_DUBR) - razmatranje prognostičkog horizonta od 24 [h] od trenutka ispuštanja balastne vode - rezultati Aladin-HR modela prikazani od $t_0 - 3$ [h] = 12.3.2024. u 5:00



Faza implementacije smjernica	Opis
	▪ nakon unosa balastne vode u prostornu domenu (t_0+3h [h]) može se očekivati dominantan ENE-NE vjetar brzina manjih od $3,4 [m \cdot s^{-1}]$ 4. Oceanografski uvjeti ▪ dinamika morskih razina prema podacima dostupnima na Copernicus Marine Service (superponirane plimne oscilacije i reziduali morskih razina) ▪ pregled prognoze dinamike plimnih oscilacija dostupne na https://adriaticsea.hhi.hr/public-stations/station?id=1&name=MP+Plo%C4%8De ▪ ciklusi oseke su u razdoblju 5:00-11:00 i 17:00-23:00 ▪ ciklusi plime su u razdoblju 11:00-17:00 i 23:00-5:00 5. Hidrološki podaci (ne postoji dostupan hidrološki prognostički model) ▪ <u>dotok rijeke Neretve</u>

Faza implementacije smjernica	Opis
	▪ pregled dojave vodostaja i protoka uzvodno od predmetnog područja na h.p. Žitomislići u BiH dijelu toka rijeke Neretve (https://avpjm.jadran.ba/vodomjerne_stanice/6/%C5%BDitomisl%C4%87i) → protok varira između 450 i 700 [m³·s⁻¹] ▪ procjena protoka na ušću ▪ iz omjera slivnih površina Neretve na h.p. Metković i h.p. Žitomislići određen je protok na ušću prema izrazu $(A_{\text{sliv, Metković}}/A_{\text{sliv, Žitomislić}}) \times Q_{\text{Žitomislić}}$ te se dobije varijacija protoka na ušću između 743 i 1156 [m³·s⁻¹] ▪ procjena vremena putovanja vodnoga vala od h.p. Žitomislići do ušća u Jadransko more ≈ 11 [h] ▪ pretpostavljena brzina putovanja vodnoga vala od 1,2 [m·s⁻¹] ▪ $L_{\text{Žitomislići-ušće}} = 47,0$ [km] ▪ <u>dotok iz Baćinskih jezera</u> ▪ pregled dojave vodostaja na stranicama DHMZ-a (hidro.dhz.hr) ▪ utvrđena prisutnost trenda rasta nivograma ▪ procjena protoka u trenutku unosa balastne vode na temelju dostupne Q-H krivulje (određena na temelju dnevnih vodostaja i protoka u 2019. godini) ▪ $Q = 25,0$ [m³·s⁻¹] Usporedbom s dobivenim kartama raspršenja i analiziranim karakterističnim situacijama pronosa (Slika 0-66, Slika 0-71, Slika 0-76), može se očekivati da će do iznošenja čestica prema otvorenomu moru doći maksimalno 24 [h] nakon unosa na lokaciju „Trajektna_luka“. Uvjeti cirkulacije mogu se poistovjetiti sa ZIMSKIM simulacijskim razdobljem što se podrazumijeva i za obrasce raspršenja i taloženja za čestice unesene na danu lokaciji.
Operativne mjere	Značajni slatkovodni dotok iz Baćinskih jezera očekuje se i nakon trenutka ispuštanja zbog izraženog rasta nivograma na h.p. Šipak. Iznošenjem čestica prema otvorenom moru one se izlažu djelovanju strujanja nastalih kao posljedica značajnog dotoka Neretve te se može očekivati pojačani pronos u NW smjeru uz istočnu obalu Neretvanskog kanala. <u>Dojava brodaru o odgodi trenutka ispuštanja neće dovesti do značajnih koristi s aspekta zadovoljavanja obaju postavljenih kriterija.</u>
	Izmještanje lokacije ispuštanja brodske balastne vode djeluje kao povoljnije rješenje za danu procjenu hidroloških uvjeta te meteorološku i oceanografsku prognozu. Može se očekivati

Faza implementacije smjernica	Opis
	1. odsustvo pronosa stranih vrsta u područje Malog mora i Malostonskog zaljeva s obzirom na to da rijeka Neretva djeluje kao prirodna barijera pri pojavi protoka; 2. zadržavanje ispuštene brodske balastne vode pomicanjem trenutne lokacije ispusta u zone manjih brzina i značajnijih varijacija smjera strujanja. Preferiraju se područja u smjeru istočno i jugoistočno prema trajektnoj luci ili upućivanjem broda na gatove u dijelu bazena oko lokacije „Kontejnerski_terminal“ (Slika 4-20). ▪ Nakon uvida u stanje u luci, što se tiče prisutnosti HAOP-a, što prije po ispuštanju moguće je provesti jednu od mjera sprječavanja sekundarnog širenja i zadržavanja sadržaja balastne vode u okolini mjesta ispuštanja sukladno Kraus (2023.).
Radnje nakon operativnih mjera	Detekcija lokacija izražene pojave HAOP-a na temelju karata raspršenja i taloženja čestica upuštenih na lokacijama „Trajektna_luka“ i „Kontejnerski_terminal“ (vidi poglavlje 5.4.1).
	Mjerenje brzine strujanja provesti neposredno tijekom ili nakon provedbe operativne mjere izmjene lokacije ispuštanja te usporediti s dobivenim rezultatima modela. Biološki monitoring provesti sukladno jednoj od metoda prikazanoj u radu Kraus (2023.) ili ovisno o raspoloživim resursima.

7 ZAKLJUČAK

Problematika obalnoga inženjerstva, koje je sastavni dio okolišnoga inženjerstva, direktno je povezana s temama vezanima uz brodske balastne vode s obzirom na to da je potrebno znanje stručnjaka iz različitih grana znanosti i industrije kako bi se adekvatno upravljalo ovim vektorom unosa stranih vrsta u mora. Fokus ove disertacije stavljen je na sekundarno raspršenje sadržaja balastne vode ispuštene u lučki akvatorij te povezivanje ovoga procesa s vladajućim okolišnim uvjetima – dominantnim generatorima cirkulacije i samom morskom cirkulacijom. Pri tome, analizirane su planktonske zajednice za koje se može očekivati da će biti najzastupljenije u balastnoj vodi. Upravo horizontalno raspršenje ovih organizama dominantno ovisi o uvjetima vladajuće cirkulacije mora u dijelu akvatorija u koji se ispuštaju. Osim toga, organizmi čak i u planktonskom obliku pokazuju invazivan karakter što je dodatni razlog za analizu njihovoga sekundarnoga raspršenja.

Za potrebe prikaza dinamike širenja planktonskih zajednica uspostavljeni su izvorni ABM-i pronosa na temelju kojih je matematičkim i logičkim formulacijama opisano gibanje triju planktonskih zajednica – dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda. Bazu provedbe simulacija modela pronosa i opisivanja dinamike širenja planktonskih vrsta čine prethodno uspostavljeni, kalibrirani i verificirani HD modeli cirkulacije mora u dvama akvatorijima (šire akvatorijalno područje luke Ploče i luka Rijeka). Pri uspostavi ABM-a pronosa planktonskih zajednica u obzir su uzete aktivne modelske čestice. Čestice dominantno podložne pasivnom transportu korištene su za potrebe modeliranja dijatomeja što podrazumijeva da su okolno 3D polje strujanja i tonjenje glavni čimbenici gibanja ove fitoplanktonske frakcije. Nadalje, vlastite mogućnosti gibanja dijatomeja opisane su stohastičkom komponentom uslijed turbulentne disperzije na prostornoj skali manjoj od prostorne razlučivosti proračunske mjere. Pri tome, stohastička je komponenta opisana korištenjem *random walk* modela. S druge strane, prethodna su istraživanja pokazala kako dinoflagelati i kopepodi imaju mogućnosti prilagodbe promjenama u okolišu, suprotstavljanja okolnome strujanju (u vertikalnom smjeru) te odabira najpovoljnije pozicije u vertikalnom stupcu mora. Stoga, ove se dvije planktonske frakcije smatraju značajno sposobnijima s aspekta vlastitih mogućnosti gibanja u odnosu na dijatomeje što je opisano prikladnim matematičkim izrazima unutar izvornih ABM-a. U obzir je uzeta

moгуćnost vertikalnog gibanja ovih planktonskih vrsta s obzirom na 3D polje temperature (dobiveno modelom cirkulacije) i djelovanja sunčeve svjetlosti na dubini čestice (pomoću Lambert-Beerovog zakona zmiranja svjetlosti) na temelju kojih agent ima jasno definirano kojom se brzinom giba s obzirom na dinamiku okolišnih parametara u svome modelskom okruženju. Ovakav je pristup modeliranju vertikalnog gibanja posebice preporučljivo primjenjivati u akvatorijima u kojima je vertikalna komponenta strujanja, dobivena terenskim mjerenjima, reda veličine ili manja od moguće brzine gibanja ovih frakcija planktona. Rezultati numeričkih simulacija združenih HD modela cirkulacije i ABM-a pronosa detaljno su opisani za svako predmetno područje i analiziranu planktonsku vrstu u potpoglavljima 5.3 i 5.4.

U nastavku će se dati završna razmatranja i saznanja koja su poslužila pri ispunjenju ciljeva i potvrdi hipoteze postavljenih u poglavljima 3.1 i 3.2.

Ciljevi

- 1) *Povećanje prognostičke pouzdanosti rezultata modela širenja invazivnih vrsta unutar i izvan luka Rijeka i Ploče na temelju proračunatih karata raspršenja i taloženja modelskih čestica za karakteristične situacije cirkulacije mora.*

Metodologija prikazana u okviru ovoga rada upućuje na potrebne procedure koje bi se trebale razmotriti u okviru analize širenja invazivnih i općenito štetnih vrsta – korištenje validiranih meteoroloških i hidroloških podataka, provedba terenskih istraživanja (mjerenje brzina morskih struja), izrada HD modela cirkulacije i izrada ABM-a pronosa organizama koji se analiziraju. S obzirom na to da je fokus ovoga rada stavljen na širenje planktonskih zajednica unesenih brodskim balastnim vodama, čiji je horizontalni pronos dominantno uvjetovan upravo djelovanjem polja morskih struja, ključna komponenta u okviru modeliranja upravo je uspostava pouzdanog HD modela cirkulacije mora (poglavlja 4.3, 5.3.1.1, 5.3.1.2, 5.3.2.1, 5.3.2.2). Integracijom ABM-a pronosa planktonskih zajednica u pouzdani HD model i provedbom simulacija za poznate okolišne uvjete (djelovanje plimnih oscilacija, gradijentskih struja, vjetrova, slatkovodnog dotoka) moguće je detektirati scenarije pojačanoga pronosa modelskih čestica i njihovog iznošenja van granica domene dvaju analiziranih akvatorija. Prostornim prikazom rezultata raspršenja i taloženja modelskih čestica unesenih na prikladnim lokacijama, na jasan se način mogu detektirati kritična područja akvatorija luka Rijeka i Ploče u kojima se može očekivati introdukcija invazivnih vrsta uvjetovano okolišnim uvjetima (poglavlja 5.4.1, 5.4.2, Prilozi D.I, D.II). Kroz jasno definiranje funkcionalne veze između brzine i smjera gibanja modeliranih dinoflagelata i kopepoda s okolišnim uvjetima ostvaren je dio izvornoga znanstvenoga doprinosa koji je vezan uz način modeliranja pronosa ovih organizama. Upravo je od velike važnosti primjena aktivnih modelskih čestica za potrebe opisivanja gibanja planktonskih zajednica dinoflagelata i kopepoda čime je moguće simulirati njihovu dnevnu vertikalnu migraciju kroz stupac mora s obzirom na dinamiku okolišnih parametara (poglavlje 4.4.7). Pouzdanost združenoga HD modela cirkulacije i ABM-a pronosa ispitana je kroz usporedbu omjera brojnosti pojedine planktonske frakcije uzorkovane na različitim lokacijama unutar dvaju luka (poglavlje 5.4). Dobiveni rezultati pokazali su da postoji određena korelacija između modeliranih i izmjerenih omjera brojnosti što dodatno upućuje na opravdanost primjene ABM-a čak i za analizu gibanja planktonskih oblika. Izrada združenog HD modela, kalibriranog na temelju terenskih mjerenja, i ABM-a pronosa planktonskih zajednica, kojima je u modelskom okruženju opisana dnevna vertikalna migracija i promjenjivost gibanja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete, povećava pouzdanost prognoze očekivanog raspršenja invazivnih planktonskih vrsta.

- 2) *Definiranje operativnih mjera za smanjenje širenja invazivnih vrsta u vidu prijedloga manipulacije brodskim balastnim vodama s obzirom na opažane okolišne uvjete kao polazišnih točaka pri izradi idejnih rješenja vezanih uz ovu problematiku.*

Na temelju provedenih simulacija za karakteristične meteorološke, hidrološke i oceanografske uvjete utvrđeno je da se združivanjem HD modelom i ABM-a može dobiti niz intuitivnih prikaza polja cirkulacije mora unutar promatranoga akvatorija i prostorni obuhvat raspršenja invazivnih i općenito štetnih planktonskih vrsta unesenih brodskim balastnim vodama. Po pitanju operativnih mjera moguće je dati prijedlog nove lokacije ispuštanja balastne vode (poglavlje 6.3) ili odgode ispuštanja balastne vode u slučaju nepovoljne prognoze, odnosno takvih meteorološko-hidrološko-oceanografskih uvjeta koji će uzrokovati pojačani pronos invazivnih vrsta s mjesta unosa prema dijelu akvatorija u kojima ne smije doći do njihove pojave. U kontekstu odabira lokacije ispuštanja, s koje neće doći do značajnoga pronosa čestica unesenih brodom balastnom vodom, lokacije slabije cirkulacije mora i manje osjetljive na intenzivne okolišne uvjete (vjetar i slatkovodni dotok) detektirane su kao povoljne s obzirom na to da je moguća lokalizacija sadržaja brodske balastne vode u okolini mjesta ispusta. Pri donošenju operativne mjere i njezinoj provedbi posebnu je pozornost potrebno posvetiti raspoloživom manevarskom prostoru unutar luke, manevarskim sposobnostima broda i osiguranju adekvatne dubine akvatorija s obzirom na brodski gaz. Nakon unosa moguće je, nakon utvrđivanja stanja u lukama, primijeniti dodatne mjere sprječavanja širenja sadržaja brodske balastne vode sukladno metodama prezentiranim u prethodnim istraživanjima (Kraus, 2023.).

- 3) *Izrada smjernica za ispuštanje balastnih voda kao pomoći sustavu za rano upozorenje protiv širenja invazivnih vrsta u lukama Jadranskog mora.*

Za provedbu nužnih simulacija iz kojih je moguće dobiti određena saznanja o dinamici sekundarnoga raspršenja organizama upuštenih balastnom vodom u lučki akvatorij, odabrane su dvije luke Jadranskoga mora čiji se obrasci cirkulacije mora značajno razlikuju kako zbog oblika akvatorija tako i zbog vladajućih okolišnih generatora. Tablica 6.2 daje prijedlog smjernica za donošenje odluka pri upravljanju brodskim balastnim vodama čiji su sastavni dio operativne mjere, a Tablica 6.3 hipotetski primjer najave dolaska broda s poznatom lokacijom ispuštanja balastne vode. Potonji tablični prikaz daje uvid u proceduru sagledavanja postavljenih kriterija pri unosu balastne vode, odgovarajućih javno dostupnih baza prognoza okolišnih uvjeta, ograničenja broda, prijedloga operativnih mjera i naknadnih radnji po njihovom donošenju. Ideja izrade smjernica upravljanja brodskim balastnim vodama počiva na načelu: „Prilagodimo se prirodi i pustimo je da učini svoje“. Smjernice su izrađene tako da budu primjenjive za luke Jadranskoga mora, a fokus je stavljen upravo na različite faze njihove implementacije koje uzročno-posljedično povezuju okolišne uvjete, prostorna ograničenja akvatorija, mogućnosti manevriranja broda te jednostavnost provedbe donesene operativne mjere.

Hipoteza

Primjenom modela zasnovanih na agentima združenog s modelom cirkulacije mora moguće je smanjenje širenja invazivnih vrsta izvan lučkih akvatorija na temelju predloženih operativnih mjera i smjernica ispuštanja balastnih voda.

Analizom okolišnih situacija i obrazaca morske cirkulacije za različite lokacije unosa modelskih čestica – agenata u dvama akvatorijima dan je prijedlog operativnih mjera i smjernica ispuštanja brodskih balastnih voda. Uzimajući u obzir da je fokus stavljen na ovisnost pronosa agenata s obzirom na vladajuće okolišne uvjete, detektirane su lokacije u lučkim akvatorijima s kojih može očekivati slabije raspršenje organizama

te lokacije na kojima se može očekivati da nastupa gotovo trenutno potpuno raspršenje s područja u okolini mjesta unosa. Nadalje, poznavanjem meteorološke, hidrološke i oceanografske prognoze moguće je odrediti očekivano područje u prostornoj domeni modela na kojem će se raspršiti potencijalno invazivna vrsta. Provedbom predloženih operativnih mjera odgode trenutka i/ili lokacije ispuštanja balastne vode moguće je smanjiti širenje invazivnih vrsta uzrokovano sekundarnim raspršenjem. Operativne mjere predstavljaju sastavni dio smjernica ispuštanja brodskih balastnih voda koje se mogu prilagoditi i primijeniti na druge lučke akvatorije. Smjernice su vezane isključivo na meteorološke, hidrološke i oceanografske uvjete područja koje je izloženo ispuštanju balastnih voda. S obzirom na to da je utvrđeno kako vrijeme i lokacija ispuštanja brodske balastne vode utječu na sekundarno raspršenje te da njihov adekvatan odabir može dovesti do smanjenja prostornog širenja organizama raspršenih u balastnoj vodi, hipoteza je potvrđena.

Može se sa sigurnošću reći da je morska cirkulacija ključna komponenta sekundarnog raspršenja u svim lukama Jadranskoga mora. Ova tvrdnja upućuje na to da su ograničene mogućnosti po pitanju sprječavanja širenja stranih vrsta nakon unosa s obzirom na to da okolišni uvjeti dominantno dirigiraju procese vezane uz pronos organizama posebice onih u ranom životnom stadiju. Nadalje, fokus donesenih operativnih mjera stavljen je na realne mogućnosti koje brodari imaju za vrijeme plovidbe prilikom pristajanja u luku i donošenja odluka o lokaciji ispuštanja balastne vode. Upravo u jednostavnosti predloženih operativnih mjera leži mogućnost njihove jednostavne provedbe koja se odnosi ili na zadržavanje balastne vode u tanku broda ili na izmjenu lokacije ispuštanja unutar luke. Osim toga, ove je mjere moguće implementirati u svim lučkim akvatorijima s obzirom na to da su vezane isključivo uz okolišne uvjete koji nisu ni pod čijom ingerencijom, upravom niti utjecajem.

Opravdano je pretpostaviti da bi se pouzdanost modela generalno povećala u slučaju dodatnoga povećanja rezolucije diskretizacijske mreže ili pak proširenja prostorne domene modela. U tome duhu, potrebno je sredstva uložiti u računalne resurse (npr. posjedovati značajniji broj procesorskih jezgri) za potrebu provedbe nužnih simulacija s obzirom na to da je uistinu numeričko modeliranje najjeftiniji način praćenja promjena u ekosustavu, osobito u moru. Posebice, ulaganje u računalne resurse je neizbježno ako bi se ovakav alat koristio za provedbu simulacija u realnom vremenu te uistinu integrirao u sustave ranog upozorenja potporu pri odlučivanju o mjerama vezanima uz upravljanje brodskim balastnim vodama.

Završne misli ove disertacije usmjerene su ka samom modeliranju kao istraživačkoj metodi. Britanski statističar George E.P. Box (1976.) iznio je jedan od poznatijih aforizama: „U suštini, svi su modeli pogrešni, ali neki su korisni.“ Pri opisivanju funkcija i postavki svakog modela jasno se mora naglasiti koliko taj model griješi posebice ako se radi o alatu koji će se koristiti pri donošenju odluka u stvarnome svijetu. Procedura kalibracije i validacije matematičkih modela te ispitivanje njihove pouzdanosti svakako predstavljaju temelj numeričkoga modeliranja nevažno o kojoj se problematici radi. Svim se istraživačima svakako daje na razmišljanje da posvete posebnu pažnju ovim trima koracima pri uspostavi i usvajanju modela jer mogućnosti prezentacije rezultata i saznanja, koja se mogu dobiti na temelju pouzdanih simulacija, uistinu jesu neograničene.

7.1 Prijedlog budućega istraživanja

U ovome će se poglavlju dati određeni prijedlozi kojima bi se postojeće istraživanje u budućnosti moglo nadograditi, a odnosi se na obuhvate razvijenih HD modela, izvorne ABM-e pronosa planktonskih

zajednica i mogućnosti proširenja područja primjene generalne ideje ABM-a u okolišnom inženjerstvu i vodnom gospodarstvu.

Prva komponenta odnosi se na proširenje domene združenog HD modela cirkulacije mora i pronosa čestica u luci Rijeka izvan granica luke. Trenutno razvijeni model već podrazumijeva značajan doprinos za analizu obrazaca cirkulacije i pronosa modelskih čestica na ovome području te pokazuje dobro opisivanje prosječne i maksimalne brzine strujanja te odgovarajućih standardnih devijacija. Ipak, smatra se da se dodatna pozornost može posvetiti definiranju lokacija otvorenih granica modela. Udaljavanjem otvorenih granica modela uz prilagodbu rubnih uvjeta (ravninski rubni uvjet temperature i saliniteta na temelju mjerenja na JPG28 postaji, dinamika morskih razina na temelju dostupnih rezultata primjerice rezultati NEMO v3.6 modela, Escudier i sur., 2020., 2021.; Nigam i sur., 2021.) može se očekivati njihov slabiji utjecaj na fluktuacije brzina morskih struja unutar akvatorija (vidi Slika 0-45-Slika 0-50, Slika 0-52-Slika 0-57). Proširenjem domene ujedno će se dobiti uvid u obrasce raspršenja modelskih čestica nakon iznošenja iz luke Rijeka. Za luku Ploče pozornost bi se trebala obratiti na oblik domene u području SE od ušća rijeke Neretve, tj. preciznije odrediti obalnu liniju kako uzduž istočne tako i uzduž obale Pelješca. Osim toga, ukoliko u budućnosti izađe potreba za detaljnijim analiziranjem cirkulacije i/ili pronosa organizama u ovome području, pozornost se treba obratiti na povećanje rezolucije postojeće diskretizacijske mreže.

Druga komponenta budućih istraživanja odnosi se na ekološko modeliranje i nadogradnju izvornih ABM-a razvijenih u okviru ovoga istraživanja. Kako bi se adekvatnije simulirale brojnosti modeliranih planktonskih frakcija u lukama, preporučljivo je definirati početno stanje ovoga parametra u stupcu mora dostupnih na temelju terenskih istraživanja provedenih, primjerice, u okviru BALMAS (David i Gollasch, 2016.; David i sur., 2016.) i ProtectAS projekta za Jadranske luke. Također, podloge dobivene u okviru prethodnih dvaju projekata odnose se isključivo na luke Jadranskoga mora, no istovjetnu je metodologiju moguće primijeniti za bilo koji svjetski akvatorij u kojem je prisutna istovjetna problematika po pitanju upravljanja balastnim vodama. Nadalje, uključivanje ostalih obrazaca gibanja planktonskih zajednica svakako je komponenta koja bi dodatno doprinijela adekvatnom modeliranju kretanja ovih organizama kroz stupac mora. Primjerice, resuspenzija dinoflagelata iz područja bentosa jedan je od obrazaca gibanja koji nastupa za vrijeme njihovoga životnoga ciklusa, a već je implementiran u istraživanju Sohme i sur. (2022.). Slično se može napraviti i za modeliranje zooplanktona ukoliko je fokus stavljen na ličinke, a istraživanje Dyea i sur. (2022.) već je pokazalo uspješnu implementaciju resuspenzije u stupac mora u slučaju da područje naseljavanja nije primjereno za modeliranu vrstu. Također, uključivanje stopa rasta i mortaliteta svakako su komponente koje bi se mogle uključiti u modelsku formulaciju, međutim njihovo bi uključivanje smisleno bilo u slučaju da se analizira pronos i životni ciklus točno određene planktonske vrste ili drugih organizama. Metodologija predložena u okviru ovoga istraživanja slična je ranije opisanim (npr. Hansen i sur. 2015.), a izvorni ABM-i mogu se prilagoditi za potrebe modeliranja drugih planktonskih oblika ukoliko postoji potreba za provedbom drukčije vrste analiza no što je obrađeno ovom disertacijom (npr. analiza povezanosti staništa kao Pastor i sur., 2018.; 2021.).

Posljednje dvije komponente odnose se na proširenje područja primjene ABM-a u problematici okolišnoga inženjerstva i vodnoga gospodarstva, a plod su pregleda dosadašnjih istraživanja i literature.

Treća komponenta prijedloga budućega istraživanja odnosi se na razvoj ABM-a za analizu kretanja riba u hidrodinamičkom okruženju pri čemu su se dosadašnja istraživanja uglavnom provodila za analizu migracija ovih organizama. Aktualnost ove teme očituje se u recentnim radovima (npr. Jebria i sur., 2023.) koji su razvili HD model te ga združili s telemetrijskim mjerenjima gibanja ribe kako bi dobili uvid u

ponašanje ovih organizama prilikom približavanja ulazu u riblju stazu. Nešto starija istraživanja odnose se na radove Humstona i sur. (2000.) i Goodwina i sur. (2001.). Humston i sur. (2000.) analizirali su migracije tuna s obzirom na dostupne karte površinske temperature visoke rezolucije na području zapadnoga dijela Sjevernog Atlantika. Jedinke tuna predstavljene su modelskim česticama koje reagiraju na promjenu temperature tako da mijenjaju strategije plivanja. Goodwin i sur. (2001.) koristili su pak združeni HD model kako bi simulirali fizičko-kemijske promjene koje utječu na gibanje ribe te promjene u strategijama plivanja. Nadalje, potrebno je istaknuti radove u kojima je primijenjen ABM za analizu gibanja ribe (agenta) pri pronalasku privlačne struje na nizvodnom ulazu u riblju stazu (Goodwin i sur., 2004., 2006.), zatim migraciju ribe u području riječnih estuarija (De Bie i sur., 2018.) ili pak migracije atlantskih skuši (Heinänen i sur., 2018.). Svakako ova tematika predstavlja zanimljivo područje primjene ABM-a za potrebe opisivanja bihevioralnih karakteristika riba koje se ističu tijekom njezinoga životnoga ciklusa, prilagođavanja HD i drugim uvjetima (temperaturi, prisutnosti predatora i sl.). Kao i sa svakim modelom kojim se analizira pronos, kretanje jednoga ili više organizama, problem leži u njegovoj kalibraciji i provjeri pouzdanosti. No, metode koje su pokazali Bermudez i sur. (2017.) te Jebria i sur. (2023.) ukazuju na to da je moguće bilježiti trajektorije riba izložene HD okruženju bilo u laboratorijskim bilo u stvarnim uvjetima strujanja. Na ovaj je način u kombinaciji s numeričkim modelima (HD+ABM) ispitati obrasce migracija riba kroz vodotok i riblju stazu što može biti od velike koristi pri definiranju konfiguracije ulaznih građevina, oblika ribljih staza i sličnoga.

Posljednja, četvrta komponenta odnosi se na uspostavu ABM-a kojima se može simulirati ponašanje najkompleksnijih mogućih živućih organizama – ljudi. U kontekstu budućega istraživanja ova bi se tematika mogla analizirati kroz mogućnosti implementacije takvog ABM-a u problematiku vodnoga gospodarstva kao što je zaštita od štetnog djelovanja voda. Same analize mogle bi se iskoristiti u okviru izrade strategija evakuacija ljudi pri pojavi velikih poplava, a činjenica da se u budućnosti može očekivati samo porast ove vrste prirodne nepogode, svakako daje osnovu za usmjeravanje budućih istraživanja na ovo područje. Dosadašnja istraživanja obradila ponašanje ljudi za vrijeme cunamija (Puckett, 2009.) združivanjem HD modela i modela bijega gomile (eng. *Crowd Escape Model*). Autor je pokušao dokazati da jedinice lokalne samouprave mogu unaprijediti postojeće evakuacijske planove za stanovništvo u priobalnom pojasu čime bi se reducirao broj žrtava u slučaju ovakve prirodne katastrofe. Dawson i sur. (2011.) predstavili su korisnost modeliranja ljudskog ponašanja u slučaju poplavljanja naseljenoga mjesta pri donošenju političkih i drugih odluka. Mordvintsev i sur. (2012.) primijenili su združeni HD modela i modela bijega gomile za potrebe opisa ponašanja ljudi pri analizi različitih strategija odlučivanja tijekom evakuacije stanovništva s otoka. Bernardini i sur. (2017.) adresirali su uključivanje ljudskog faktora u problematiku evakuacije stanovništva tijekom urbanih poplava. Kroz ovo su istraživanje opisani obrasci ljudskog ponašanja na temelju realnih snimaka nadzornih video kamera. Utvrđeni obrasci iskorišteni su za razvoj bihevioralnog modela koji uključuje kombinirani pristup ABM-a i modela društvenog uvjetovanog ponašanja (eng. *Social Force Model*). Što se pak recentnih istraživanja tiče, Kim i sur. (2022.) obradili su tematiku evakuacije ljudi pri pojavi cunamija te usporedili ABM s modelima temeljenim na GIS izrazima. Pregledom spomenutih istraživanja može se utvrditi da postoji aktualnost ove teme te da su istraživanja uglavnom vezana uz problematiku zaštite od štetnog djelovanja voda. Upravo bi se buduća istraživanja mogla temeljiti na razvoju ABM-a ponašanja ljudi te matematičkoj formulaciji donošenja odluka tijekom poplave na temelju dosadašnjih istraživanja (Bernardini i sur., 2017.) za određene hipotetske scenarije. Drugi smjer, u kojem bi se moglo ići, jest interdisciplinarni pristup pri analizi točno određenoga područja u kojem su povijesno zabilježene značajne poplave. U tom slučaju angažman stručnjaka iz drugih područja znanosti (poput sociologa i psihologa) bio bi od velikog značaja s obzirom na to da bi se

anketiranjem moglo doći do zaključaka o očekivanom odgovoru pojedinaca na poplavni događaj kako za već zabilježene tako i potencijalno za buduće poplave. Dakle, ovakav bi ABM mogao biti od koristi pri razvoju određenih evakuacijskih strategija ili pak uključivanja aspekta važnosti i ponašanja čovjeka u procjenu poplavnog rizika.

LITERATURA

- Ambler, J.W., Ferrari, F.D., Fornshell, J.A. (1991.): Population structure and swarm formulation of the cyclopoid copepod *Dioithona oculata* near mangrove cays, *Journal of Plankton Research*, 13 (6), str. 1257-1272, doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/13.6.1257>
- Andročec, V., Beg-Paklar, G., Dadić, V., Djakovac, T., Grbec, B., Janeković, I., Krstulović, N., Kušpilić, G., Leder, N., Lončar, G., Marasović, I., Precali, R., Šolić, M. (2009.): *The Adriatic Sea Monitoring Program – Final Report*, MCEPP, Zagreb
- Bagni, R., Berchi, R., Ciallo, P. (2002.): A Comparison of Simulation Models Applied to Epidemics, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5, 3
- BenDor, T., Scheffran, J. (2018.): *Agent-Based Modeling*, Boca Raton: CRC Press, doi: <https://doi.org/10.1201/9781351106252>
- Bermudez, M., Rodriguez, A., Cea, L. (2012.): Implications of fish behavior for vertical slot fishways design, 9th International Symposium on Ecohydraulics ISE 2012, Beč, doi: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.2074.8484>
- Bernardini, G., Camilli, S., Quagliarini, E., D'Orazio, M. (2017.): Flooding risk in existing urban environment: from human behavioral patterns to a microscopic simulation model, *Energy Procedia*, 134, str. 131–140, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.549
- Boersma, M., Malzahn, A.M., Greve, W., Javidpour, J. (2007.): The first occurrence of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the North Sea, *Helgoland Marine Research*, 61, str. 153-155, doi: <https://doi.org/10.1007/s10152-006-0055-2>
- Bollens, S.M., Breckenridge, J.K., Vanden Hooff, R.C., Cordell, J.R. (2011.): Mesozooplankton of the lower San Francisco Estuary: spatio-temporal patterns, ENSO effects and the prevalence of non-indigenous species, *Journal of Plankton Research*, 33(9), str. 1358-1377, doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbr034>
- Brickman, D., Ådlandsvik, B., Thygesen, U.H., Parada, C., Rose, K., Hermann, A.J., Edwards, K. (2009.): Particle tracking (Ch.) u North, E.W., Gallego, A., Petitgas, P. (Ur.) *Manual of recommended practices for modelling physical-biological interactions during fish early life*. ICES Cooperative Research Reports (CRR), , 295, str. 9-19, doi: <https://doi.org/10.17895/ices.pub.5420>
- Broekhuizen, N. (1999.): Simulating motile algae using a mixed Eulerian–Lagrangian approach: Does motility promote dinoflagellate persistence or co-existence with diatoms?, *Journal of Plankton Research*, 21, str. 1191–1216, doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/21.7.1191>
- Budiša, A., Paliaga, P., Juretić, T., Lučić, D., Supić, N., Pasarić, Z., Djakovac, T., Mladinić, M., Dadić, V., Tičina, V. (2021.). Distribution, diet and relationships of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* with anchovies and zooplankton, in the northeastern Adriatic Sea. *Mediterranean Marine Science*, 22(4), str. 827–842. <https://doi.org/10.12681/mms.23305>
- Cabrini, M., Cerino, F., de Olazabal, A., Di Poi, E., Fabbro, C., Fornasaro, D., Goruppi, A., Flander-Putrlé, V., Francé, J., Gollasch, S., Hure, M., Lipej, L., Lučić, D., Magaletti, E., Mozetič, P., Tinta, T., Tornambè, A., Turk, V., Uhan, J., David, M., (2019.): Potential Transfer of Aquatic Organisms Via Ballast Water With

a Particular Focus on Harmful and Non-indigenous Species: A Survey From Adriatic Ports, *Marine Pollution Bulletin*, 147, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.004>

Cardeccia, A., Marchini, A., Occhipinti-Ambrogi, A., Galil, B.S., Gollasch, S., Minchin, D., Narscius, A., Olenin, S., Ojaveer, H. (2016.): Assessing biological invasions in European seas: biological traits of the most widespread non-indigenous species, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 201, str. 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.02.014>

Carlton, J.T. (1985.): Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: The biology of ballast water, *Annu. Rev. Oceanogr. Mar. Biol.*, 23, str. 313–374.

Carlton, J.T., Reid, D., van Leeuwen, H. (1995.): Shipping study, the role of shipping in the introduction of nonindigenous aquatic organisms to the coastal waters of the United States (other than the Great Lakes) and an analysis of control options. The National Sea Grant College Program/Connecticut Sea Grant Project R/ES-6, report no. CG-DII95. str. 373.

Carruthers, T.J.B., Longstaff, B.J., Dennison, W.C., Abal, E.G., Aioi, K. (2001.): Measurement of light penetration in relation to seagrass (Ch.) u Short, F.T., Coles, R.G. (Ur.) *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-044450891-1/50020-7>

Carlaw, David C., Ropkins, K. (2012.): openair — An R package for air quality data analysis. «*Environmental Modelling & Software*, 27-28: str. 52-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>.

Chattopadhyay, J., Sarkar, R.R., Mandal, S. (2002.): Toxin-producing Plankton May Act as a Biological Control for Planktonic Blooms—Field Study and Mathematical Modelling, *Journal of Theoretical Biology*, 215 (3), str. 333-344, doi: <https://doi.org/10.1006/jtbi.2001.2510>

Ciglenečki, I., Paliaga, P., Budiša, A., Čanković, M., Dautović, J., Djakovac, T., Dutour-Sikirić, M., Kraus, R., Kužat, N., Lučić, D., Marić Pfannkuchen, D., Njire, J., Pasarić, Z., Supić, N. (2017.): Dissolved organic carbon accumulation during a bloom of invasive gelatinous zooplankton *Mnemiopsis leidyi* in the northern Adriatic Sea; case of the anomalous summer in 2017, *Journal of Marine Systems*, 22, str.

Cloern, J.E. (1996.): Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California, *Review of Geophysics*, 34 (2), str. 127-168, doi: 10.1029/96RG00986

Colijn, F., Beusekom, J.E.E. (2005.): Effect of Eutrophication on Phytoplankton Productivity and Growth in the Wadden Sea. *The Intertidal Ecosystem: The Value of Ireland's Shores*, Wilson, J.G. (Ur.), str. 58-68

Cordell, J., Kalata, O., Newson, A.J. (2015.): *Effectiveness of Ballast Water Exchange in Protecting Puget Sound from Invasive Species*, Washington Department of Fish and Wildlife Contract 12-1212, Task 6 – Deliverable 6.1: Phase 3 Final Report.

Cowen, R.K., Paris, C.B., Srinivasan, A. (2006.): Scaling of connectivity in marine populations, *Science*, 311, str. 522-527, doi: <https://doi.org/10.1126/science.1122039>

David, M., Gollasch, S. (2014.): Ballast Water Management Decision Support System, *Global Maritime Transport and Ballast Water Management. Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology*, 8, David, M., Gollasch, S. (ur.), Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9367-4_9

- David, M., Gollasch, S. (2016.): BALMAS Ballast water management decision support system for Adriatic, including reviews, models and test results. Final report, BALMAS project
- David, M., Penko, L., Zupančič, G., Gosar, L., (2016.): Ballast water discharge assessment methods and analysis of ballast discharge patterns in the Adriatic area. Final report, BALMAS project, str. 150
- Dawson, R. J., Peppe, R., Wang, M. (2011.): An agent-based model for risk-based flood incident management, *Natural Hazards*, 59 (1), str. 167–189, doi: 10.1007/s11069-011-9745-4
- Datta, A., Winkelstein, P., Sen, S. (2020.): An agent-based model of spread of a pandemic with validation using COVID-19 data from New York State, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 585, doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126401>
- David, M., Magaletti, E., Kraus, R., Marini, M. (2019.): Vulnerability to bioinvasions: Current status, risk assessment and management of ballast water through a regional approach – the Adriatic Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 147, str. 1-7, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.057>
- De Bie, J., Benson, T., Gaskell, J., Kemp, P.S. (2018.): Development and application of an agent based model for glass eel selective tidal stream transport, International Conference on Engineering and Ecohydrology for Fish Passage, cohydrology for Fish Passage, Dostupno na: https://scholarworks.umass.edu/fishpassage_conference/2018/December13/12
- Demertzioglou, M., Genitsaris, S., Mazaris, A.D., Kyparissis, A., Voutsas, D., Kozari, A., Ar Kormas, K., Stefanidou, N., Katsiapi, M., Michaloudi, E., Moustaka-Gouni, M. (2022.): A catastrophic change in a european protected wetland: From harmful phytoplankton blooms to fish and bird kill, *Environmental Pollution*, 312, 120038, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120038>
- Denman, K.L., Marra, J. (1986.): Modelling the Time Dependent Photoadaptation of Phytoplankton to Fluctuating Light, *Elsevier Oceanography Series*, 42, str. 341-359, doi: [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)71054-7](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)71054-7)
- Dexter, E., Bollens, S.M. (2020.): Zooplankton invasions in the early 21st century: a global survey of recent studies and recommendations for future research, *Hydrobiologia*, 847, str. 309-319, doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04096-x>
- DHI Water and Environment (2021a) Hydrodynamic Module User Guide. MIKE 21 Flow Model FM. Hørsholm, Denmark: DHI.
https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2021/Coast_and_Sea/MIKE_FM_HD_3D.pdf
- DHI Water and Environment (2021b) Numerical Lab for Ecological and Agent Based Modelling User Guide. MIKE ECO LAB. Hørsholm, Denmark: DHI.
https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2021/General/MIKE_ECO_Lab_UserGuide.pdf
- DHZ - odjel za pomorsku meteorologiju (2008.): *Izvadak iz klimatskog izvješća za vjetrove u luci Ploče*
- Domijan, N., Mihanović, H., Leder, N., Gržetić, Z. (2005.): *Harmonička i spektralna analiza morskih struja u sjevernom dijelu Riječkog zaljeva*, Pomorski zbornik, 43, 1, str. 193-205
- Državni hidrometeorološki zavod (n.d.): Sektor za hidrologiju – Hidrološke postaje [Online]. Dostupno na <http://hidro.dhz.hr/> (Datum zadnjega pristupa: 29. lipnja 2023.)

- Dusenberry, J.A., Olson, R.J., Chisholm, S.W. (2000.): Field observations of oceanic mixed layer dynamics and picophytoplankton photoacclimation, *Journal of Marine Systems*, 24, str. 221–232, doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(99\)00087-1](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(99)00087-1)
- Dye, B.; Jose, F., and Allahdadi, M.N., (2020.): Circulation dynamics and seasonal variability for the Charlotte Harbor Estuary, Southwest Florida coast, *Journal of Coastal Research*, 36(2), str. 276–288, doi: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-19-00071.1>
- Dye, B., Jose, F., Richard, J., Brandi Mortensen, J., Milbrandt, E.C. (2022.): An agent-based model accurately predicts larval dispersal and identifies restoration and monitoring priorities for eastern oyster (*Crassostrea virginica*) in a Southwest Florida estuary, *Restoration Ecology*, 30(1), str. 1-14, doi: <https://doi.org/10.1111/rec.13487>
- Elliot, M. (2003.): Biological pollutants and biological pollution – an increasing cause for concern, *Marine Pollution Bulletin*, 36, str. 275-280, doi: [https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(02\)00423-x](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(02)00423-x)
- Epstein, J. M. (2007): *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press., str. 352
- Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., Pinardi, N. (2020.): Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) [Data set], Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). doi: https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1
- Escudier, R., Clementi, E., Cipollone, A., Pistoia, J., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Aydogdu, A., Delrosso, D., Omar, M., Masina, S., Coppini G., Pinardi, N. (2021.): A High Resolution Reanalysis for the Mediterranean Sea, *Frontiers in Earth Science*, 9, 1060, doi:10.3389/feart.2021.702285
- European Environmental Agency (2021.): Pathways of introduction of marine non-indigenous species to European seas. Dostupno na <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/trends-in-marine-alien-species-1/assessment> (datum zadnjega pristupa: 24. listopada 2023.)
- Fernández de Puellas, M.L., Gazá, M., Cabanellas-Reboredo, M., Santandreu, M.d.M., Irigoien, X., González-Gordillo, J.I., Duarte, C.M., Hernández-León, S. (2019.): Zooplankton Abundance and Diversity in the Tropical and Subtropical Ocean, *Diversity*, 11, str. 203-225, <https://doi.org/10.3390/d11110203>
- Ferrarin, C., Penna, P., Penna, A., Spada, V., Ricci, F., Bilić, J., Krželj, M., Ordulj, M., Šikoronja, M., Đuračić, I., Iagnemma, L., Bućan, M., Baldrighi, E., Grilli, F., Moro, F., Casabianca, S., Bolognini, L., Marini, M. (2021.): Modelling the Quality of Bathing Waters in the Adriatic Sea, *Water*, 13, str. 1525-1551, doi: <https://doi.org/10.3390/w13111525>
- Forward, R.B. (1976.): Light and Diurnal Vertical Migration: Photobehavior and Photophysiology of Plankton, *Photochemical and Photobiological Reviews*. Smith, K.C. (Ur.), Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2574-1_4
- Franks, P.J.S., Marra, J. (1994.): A simple new formulation for phytoplankton photoresponse and an application in a wind-driven mixed-layer model, *Marine Ecology Progress Series*, 111 (1/2), str. 143-153, Dostupno na <https://www.jstor.org/stable/24847619> (datum zadnjega pristupa: 14. studenoga 2023.)

Fuentes, V.L., Angel, D.L., Bayha, K.M., Atienza, D., Edelist, D., Bordehore, C., Gili, J.-M., Purcell, J.E. (2010.): Blooms of the invasive ctenophore, *Mnemiopsis leidyi*, span the Mediterranean Sea in 2009. *Hydrobiologia*, 645, str. 23–37, doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0205-z>

Galil, B.S. (2009.): Taking stock: inventory of alien species in the Mediterranean sea, *Biological Invasions* 11, str. 359-372

Gardiner, C.W. (1985.): Handbook of stochastic methods for Physics Chemistry and Natural Science, Springer-Verlag. Berlin, str. 409

Geider, R.J., MacIntyre, H.L., Kana, T.M. (1996.): A dynamic model of photoadaptation in phytoplankton, *Limnology and Oceanography*, 41, str. 1–15, doi: <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.1.0001>

Ghoreishi, M., Razavi, S., & Elshorbagy, A. (2021.): Understanding human adaptation to drought: agent-based agricultural water demand modeling in the Bow River Basin, Canada. *Hydrological Sciences Journal*, 66(3), str. 389–407. doi:10.1080/02626667.2021.1873344

Gilbert, P.M., Fullerton, D., Burkholder, J., Cornwell, J., Kana, T. (2011.): Ecological Stoichiometry, Biogeochemical Cycling, Invasive Species, and Aquatic Food Webs: San Francisco Estuary and Comparative Systems, *Reviews in Fisheries Science*, 19(4), str. 358-417, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10641262.2011.611916>

Gollasch, S., Rosenthal, H. (2009.): Transfer of Non-Indigenous Aquatic Species Concern Aquatic Resource Users, *Oceans and Aquatic Ecosystems – Volume II*, Wolanski, E. (Ur.), Eols Publishers Co. Ltd., Oxford, str. 151-170

Goodwin, A., Nestler, J.M., Loucks, D.P., Chapman, R.S. (2001.): Simulating mobile populations in aquatic ecosystems, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(6), str. 383-393, doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2001\)127:6\(386\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2001)127:6(386))

Goodwin, R.A., Anderson, J.J., Nestler, J.M. (2004.): Decoding 3-D movement patterns of fish in response to hydrodynamics and water quality for forecast simulation, 6th International Conference on Hydroinformatics, doi: https://doi.org/10.1142/9789812702838_0031

Goodwin, R.A., Nestler, J.M., Anderson, J.J., Weber, L.J., Loucks, D.P. (2006.): Forecasting 3-D fish movement behavior using a Eulerian-Lagrangian-agent method (ELAM), *Ecological Modelling*, 192, str. 197-223, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.08.004>

Grimm, V., Railsback, S.F. (2005.): *Individual-Based Modeling and Ecology*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S., Huse, G., Huth, A., Jepsen, J. U., Jørgensen, C., Mooij, W. M., Müller, B., Pe'er, G., Piou, C., Railsback, S. F., Robbins, A. M., Robbins, M. M., Rossmanith, E., Rüger, N., Strand, E., Souissi, S., Stillman, R. A., Vabø, R., Visser, U., DeAngelis, D. L. (2006.): A standard protocol for describing individual-based and agent-based models, *Ecological Modelling*, 198, str. 115-126, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023

Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D.L., Polhill, J.G., Giske, J., Railsback, S.F. (2010.): The ODD protocol: A review and first update, *Ecological Modelling* 221, pp. 2760-2768, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.08.019

Grimm, V., Railsback, S.F., Vincenot, C.E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D.L., Edmonds, B., Ge, J., Giske, J., Groeneveld, J., Johnston, A.S.A., Milles, A., Nabe-Nielsen, J., Polhill, J. G., Radchuk, V., Rohwäder, M.-S., Stillman, R.A., Thiele, J.C., Ayllón, D. (2020.): The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23 (2), doi: 10.18564/jasss.4259

Hamill, L., Gilbert, N. (2016.): *Agent-Based Modelling in Economics*, Chichester (West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom), John Wiley & Sons, Ltd.

Hanna, S.R., D.W. Heinold (1985.): Development and Application of a Simple Method for Evaluating Air Quality, American Petroleum Institute, Health and Environmental Affairs Department: Washington DC, SAD, 38 str.

Hansen, F.T., Potthoff, M., Uhrenholdt, T., Vo, H.D., Linden, O., Andersen, J.H. (2015.): Development of a prototype tool for ballast water risk management using a combination of hydrodynamic models and agent-based modeling, *WMU Journal of Maritime Affairs*, 14, str. 219–245, doi: <https://doi.org/10.1007/s13437-014-0067-8>

Harvey, J.B.J., Hoy, M.S., Rodriguez, R.J. (2009.): Molecular detection of native and invasive marine invertebrate larvae present in ballast and open water environmental samples collected in Puget Sound, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 369 (2), str. 93-99, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.10.030>.

Heinänen, S., Chudzinska, M.E., Mortensen, J.B., En Teo, T.Z., Utne, K.J., Sivle, L.D., Thomsen, F. (2018.): Integrated modelling of Atlantic mackerel distribution patterns and movements: A template for dynamic impact assessments, *Ecological Modelling*, 387, str. 118-133, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.08.010>

Heinle, D., R. (1969.): Temperature and Zooplankton, *Chesapeake Science*, 10 (3&4), str. 186-209, doi: <https://doi.org/10.2307/1350456>

Heinrichs, M., Behrisch, M., Erdmann, J. (2018) Just do it! Combining agent-based travel demand models with queue based-traffic flow models, *Procedia Computer Science*, 130, str. 858-864, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.081>

Henriksen, C.I., Saiz, E., Calbet, A., Winding Hansen, B. (2007.): Feeding activity and swimming patterns of *Acartia grani* and *Oithona davisae* nauplii in the presence of motile and non-motile prey, *Marine Ecology Progress Series*, 339, str. 119-129, doi: <https://doi.org/10.3354/MEPS331119>

Hense I, Beckmann A (2006.): Towards a model of cyanobacteria life cycle—effects of growing and resting stages on bloom formation of N₂-fixing species, *Ecological Modelling*, 195, str. 205-218, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.11.018>

Hoertel, N., Blachier, M., Blanco, C., Olfson, M., Massetti, M., Sanchez Rico, M., Limosin, F., Leleu, H. (2022.): A stochastic agent-based model of the SARS-CoV-2 epidemic in France, *Nature Medicine*, 26, str. 1417–1421. doi: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1001-6>

Hrvatske vode (2014.): PROVEDBENI PLAN OBRANE OD POPLAVA BRANJENOG PODRUČJA, SEKTOR F – JUŽNI JADRAN, BRANJENO PODRUČJE 32: PODRUČJA MALIH SLIVOVA NERETVA – KORČULA I DUBROVAČKO PRIMORJE I OTOCI

Hrvatski sabor (2010.): Zakon o potvrđivanju Međunarodne konvencije o nadzoru i upravljanju brodskim balastnim vodama i talozima iz 2004. godine. Dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/međunarodni/2010_05_3_45.html (datum zadnjega pristupa: 24. listopada 2023.)

Huber, L., Rüdisser, J., Meisch, C., Stotten, R., Leitinger, G., Tappeiner, U. (2021.): Agent-based modelling of water balance in a social-ecological system: A multidisciplinary approach for mountain catchments, *Science of The Total Environment*, 755(1), doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142962>

Humston, R., Ault, J.S., Lutcavage, M., Olson, D.B. (2000.): Schooling and migration of large pelagic fishes relative to environmental cues, *Fisheries Oceanography*, 9(2), str.136–146, doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2000.00132.x>

International Maritime Organization (2004.): The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. Dostupno na <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx> (datum zadnjega pristupa: 24. listopada 2023.)

Ivče, R., Zekić, A., Mohović, Đ., Blažina, A. (2022.a): Significance of Early Warning System in the Water Ballast Management, *Proceedings Elmar – International Symposium Electronics in Marine*, 64th International Symposium ELMAR, 12.-14. rujna, 2022., Zadar, Republika Hrvatska, str. 111-114, doi: 10.1109/ELMAR55880.2022.9899822

Ivče, R., Zekić, A., Mohović, Đ., Blažina, A. (2022.b): Ship's response on Early Warning System in the Ballast Water Management, *Proceedings Elmar – International Symposium Electronics in Marine*, 64th International Symposium ELMAR, 12.-14. rujna, 2022., Zadar, Republika Hrvatska, str. 45-48, doi: 10.1109/ELMAR59410.2023.10253903

James, M.K., Polton, J.A., Mayorga-Adame, C.G., Howell, K.L., Knights, A.M., 2023. Assessing the influence of behavioural parameterisation on the dispersal of larvae in marine systems, *Ecological Modelling*, 476, 110252, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110252>

Janeković, I., Kuzmić, M. (2005.): Numerical simulation of the Adriatic Sea principal tidal constituents, *Annales Geophysicae, European Geosciences Union*, 23 (10), str. 3207-3218, doi: 10.5194/angeo-23-3207-2005

Jebria, N.B., Carmigniani, R., Drouineau, H, De Oliveira, E., Tétard, S., Capra, H. (2023.): Coupling 3D hydraulic simulation and fish telemetry data to characterize the behaviour of migrating smolts approaching a bypass, *Journal of Ecohydraulics*, 8(2), str. 144-157, doi: <https://doi.org/10.1080/24705357.2021.1978345>

Jiang, H., Kiorboe, T. (2011.): The fluid dynamics of swimming by jumping in copepods, *J. R. Soc. Interface*, 8, str. 1090-1103, doi: <https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0481>

Kamykowski, D., McCollum, S.A. (1986.): The temperature acclimatized swimming speed of selected marine dinoflagellates, *Journal of Plankton Research*, 8, 2, str. 278-287, doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/8.2.275>

Kamykowski, D., McCollum, S.A., Kirkpatrick, G.J. (1988.): Observations and a model concerning the translational velocity of a photosynthetic marine dinoflagellate under variable environmental condition, *Limnol. Oceanogr.* 33, 1, str. 66-78, doi: <https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.1.0066>

- Kamykowski, D., Reed, R. E., Kirkpatrick, G.J. (1992.): Comparison of sinking velocity, swimming velocity, rotation and path characteristics among six marine dinoflagellate species, *Marine Biology*, 113, str. 319-328, doi: <https://doi.org/10.1007/BF00347287>
- Katsanevakis, S., Olenin, S., Puntilla-Dodd, R., Rilov G., Stæhr, P.A.U., Teixeira, H., Tsirintanis, K., Birchenough, S.N.R., Jakobsen, H.H., Knudsen, S.W., Lanze'n, A., Mazaris, A.D., Piraino, S., Tidbury, H.J. (2023.): Marine invasive alien species in Europe: 9 years after the IAS Regulation, *Front. Mar. Sci.*, 10:1271755, doi: 10.3389/fmars.2023.1271755
- Kim, J., Takabatake, T., Nistor, I., Shibayama, T. (2022.): Towards Informed Tsunami Evacuation Management -- a Direct Comparison Between Agent-Based and GIS-Based Tsunami Evacuation Model, *Proceedings of the 39th IAHR World Congress (Granada, 2022)*, Ortega-Sánchez, M. (Ur.), International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR), doi: <https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC252171192022544>
- Kimmerrer, W.J., Gross, E.S., MacWilliams, M.L. (2014.): Tidal migration and retention of estuarine zooplankton investigated using a particle-tracking model, *Limnology and Oceanography*, 59(3), str. 901-916, doi: <https://doi.org/10.4319/lo.2014.59.3.0901>
- Kingsford, M., Leis, J., Shanks, A., Lindeman, K., Morgan, S., Pineda, J. (2002.): Sensory environments, larval abilities and local self-recruitment, *Bulletin of Marine Science*, 70, str. 309-340.
- Kloeden, P.E., Platen, E. (1999.): Numerical Solution of Stochastic Differential Equations, Springer-Verlag. str. 636
- Klügl, F., Bazzan, A.L.C. (2012.): Agent-Based Modeling and Simulation, *AI Magazine*, 33(3), str. 29-40, doi: <http://dx.doi.org/10.1609/aimag.v33i3.2425>
- Kraus, R. (2023.): Ballast Water Management in Ports: Monitoring, Early Warning and Response Measures to Prevent Biodiversity Loss and Risks to Human Health, *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(11), doi: <https://doi.org/10.3390/jmse11112144>
- Kraus, R. (2024.): Osobna komunikacija
- Kraus, R., Grilli, F., Supića, N., Janeković, I., Brailo, M., Cara, M., Bratoš Cetinić, A., Campanelli, A., Cozzi, S., D'Adamo, R., Djakovac, T., Dutour-Sikirić, M., Flander-Putrlje, V., Francé, J., Joksimović, D., Klun, K., Kolitari, J., Kralj, M., Kušpilić, G., Marini, M., Matić, F., Mikuš, J., Ninčević-Gladan, Ž., Pansera, M., Pećarević, M., Precali, R., Prusina, I., Relitti, F., Santucci, A., Specchiulli, A., Škalic, D. (2019.): Oceanographic characteristics of the Adriatic Sea – Support to secondary HAOP spread through natural dispersal, *Marine Pollution Bulletin*, 147, str. 59-85, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.062>
- Kraus, R., Ninčević-Gladan, Ž., Auriemma, R., Bastianini, M., Bolognini, L., Cabrini, M., Cara, M., Čalić, M., Campanelli, A., Cvitković, I., Despalatović, M., Dragičević, B., Drakulović, D., Dulčić, J., Flander-Putrlje, V., Grati, F., Grego, M., Grilli, F., Jaklin, A., Janeković, I., Kolitari, J., Lipej, L., Magaletti, E., Marini, M., Matić-Skoko, S., Mavrič, M., Mikuš, J., Mozetič, P., Orlando-Bonaca, M., Petović, S., Precali, R., Supić, N., Trabucco, B., Travizi, A., Žuljević, A. (2019.): Strategy of port baseline surveys (PBS) in the Adriatic Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 147, str. 47-58, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.067>.

- Kulić, T., Bekić, D., Lončar, G. (2020.): Model strujanja mora i pronosa mikroorganizama u lukama, Zbornik radova: *Simpozij doktorskog studija građevinarstva 2020.*, 7.-8. rujna 2020., Nina Štirmer (ur.), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, str. 47-59
- Lalli, C.M., Parsons, T.R. (1997.): *Biological Oceanography - An Introduction*, Second Edition. 0 7506 3384 0, Elsevier Butterworth-Heinemann, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-3384-0.X5056-7>
- Lee, K.W., Kang, J.H., Park, H.G. (2011.): Effect of Light Intensity on Survival, Growth and Productivity of the Cyclopoid Copepod *Paracyclops nana*: A Laboratory Study, *Kor. J. Fish Aquat. Sci.*, 4, 6, str. 671-676, doi: <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0671>
- Leis, J.M. (2006.): Are larvae of demersal fishes plankton or nekton?, *Advances in Marine Biology*, 51, str. 57-141, doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(06\)51002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(06)51002-8)
- Leis, J.M. (2007.) Behaviour as input for modelling dispersal of fish larvae : behaviour, biogeography, hydrodynamics, ontogeny, physiology and phylogeny meet hydrography, *Marine Ecology Progress Series*, 347, str. 185–193, doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(06\)51002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(06)51002-8)
- Levin, L.A. (2006.) Recent progress in understanding larval dispersal: new directions and digressions, *Integrative and Comparative Biology*, 46(3), str. 282–297, doi: <https://doi.org/10.1093/icb/ici024>
- Lewis, M.R., Horne, E.P.W., Cullen, J.J., Oakey, N.S., Platt, T. (1984.): Turbulent motions may control phytoplankton photosynthesis in the upper ocean, *Nature*, 311, str. 49–50, doi: <https://doi.org/10.1038/311049a0>
- Liebich, V. (2013.): *INVASIVE PLANKTON - implications of and for ballast water management*, Ph.D. Dissertation, University of Hamburg. Dostupno na: <https://ediss.sub.uni-hamburg.de/bitstream/ediss/4943/1/Dissertation.pdf> (datum zadnjega pristupa: 10. ožujka 2024.)
- Loebl, M., Colijn, F., van Beusekom, J.E.E., Baretta-Bekker, J.G., Lancelot, C., Philippart, C.J.M., Rousseau, V., Wiltshire, K.H. (2009.): Recent patterns in potential phytoplankton limitation along the Northwest European continental coast. *Journal of Sea Research*, 61, str. 34-43, doi: 10.1016/j.seares.2008.10.002
- Lončar, G., Kulić, T., Kraus, R., Carević, D., Pećarević, M. (2021.): Analiza pronosa ličinki iz balastnih voda u akvatoriju luke Ploče, *Hrvatske vode*, 29, 115, str. 11-26
- Lončar, G., Krvavica, N., Šepić, J., Bekić, D., Gašparović, M., Kulić, T. (2022.): Potencijal primjene javno dostupnih baza podataka u svrhu procjene opasnosti od poplava mora u priobalnim gradovima Republike Hrvatske, *Hrvatske vode*, 30 (121), str. 185-200
- Longhurst A. R. (1985.): The structure and evolution of plankton communities, *Progress in Oceanography*, 15, str. 1-35, [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(85\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0079-6611(85)90036-9)
- Macal, C.M., North, M.J. (2010.): Tutorial on agent-based modelling and simulation, *Journal of Simulation*, 4, 3, str. 151–162, doi: <https://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574234>
- Macêdo, R.L., Sampaio Franco, A.C., Kozlowsky-Suzuki, B., Mammola, S., Dalu, T., Rocha, O. (2022): The global social-economic dimension of biological invasions by plankton: Grossly underestimated costs but a rising concern for water quality benefits?, *Water Research*, 222, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118918>

Macêdo, R.L., Sampaio Franco, A.C., Ferreira Corrêa, R., do Nascimento Costa, K., Gonçalves Pereira, L., Maniero de Oliveira, F.D., Klippel, G., Damasceno Cordeiro, B., Guedes Ribeiro Thiago, M., de A. Rocha, M.I., Huszar, V.L.M., Neves dos Santos, L., Wyss Castelo Branco, C. (2021.): Spreading of the invasive dinoflagellate *Ceratium Furcoides* (Levander) Langhans throughout the Paraíba do Sul ecoregion, South America, Brazil, *Limnetica*, 40 (2), str. 233-246, doi: 10.23818/limn.40.16

Margalef, R. (1978.): Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment, *Oceanologica Acta*, 1(4), str. 493-509

Maškarić, K., Mikuš, J., Brailo Šćepanović, M., Bratoš Cetinić, A., Kraus, R., Pećarević, M. (2023.): Seasonal variations in the structure and abundance of the mesozooplankton community in the port of Rijeka, *Zbornik sažetaka: 58. hrvatski i 18. međunarodni simpozij agronoma, 11.-17. veljače, 2023.*, Carović-Stanko, K., Širić, I. (ur.), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, str. 159

Maškarić, K. (2024.): Osobna komunikacija

Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., Mazzino, A. (2013.): Problems in RMSE-based wave model validations. *Ocean Modelling*, 72, str. 53-58, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2013.08.003>

Michalec, F.G., Fouxon, I., Souissi, S., Holzner, M. (2017.): Zooplankton can actively adjust their motility to turbulent flow, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 52, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1708888114>

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2023.a): Strane i invazivne strane vrste. Dostupno na <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-zastitu-prirode-1180/strane-i-invazivne-strane-vrste/5477> (datum zadnjega pristupa: 1. studenoga 2023.)

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2023.b): Invazivne strane vrste. <https://invazivnevrste.haop.hr/> (datum zadnjega pristupa: 3. studenoga 2023.)

Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka (2007.): Pravilnik o upravljanju i nadzoru vodenog balasta. Dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2007_05_55_1744.html (datum zadnjega pristupa: 28. prosinca 2023.)

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture (2011.): Prijedlog strategije upravljanja balastnim vodama u Republici Hrvatskoj. Dostupno na <https://mmpi.gov.hr/UserDocImages/arhiva/STRATEGIJA%20%20BW%20HRVATSKE-final.pdf> (datum zadnjega pristupa: 28. prosinca 2023.)

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture (2012.): Pravilnik o upravljanju i nadzoru balastnih voda. Dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_11_128_2733.html (datum zadnjega pristupa: 24. listopada 2023.)

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (2017.): Program mjera zaštite i upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem. Dostupno na https://mingor.gov.hr/UserDocImages/Uprava_vodnoga_gospodarstva_i_zast_mora/Strategija_upravljanja_morem/program_mjera_zastite_i_upravljanja_morskim_okolisem_i_obalnim_podrucjem.pdf (datum zadnjega pristupa: 28.2.2024.)

Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C., Spalding, M.D. (2008.): Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, str. 485-492, doi: <https://doi.org/10.1890/070064>

Mordvintsev, A.S., Krzhizhanovskaya, V.V., Lees, M.H., Slood, P.M.A. (2012.): Simulation of City Evacuation Coupled to Flood Dynamics, *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012.*, Weidmann, U. Kirsch, M. Schreckenberger, M. (Ur.), Cham, Springer, str. 485-499, doi: 10.1007/978-3-319-02447-9_40

Mozetič, P., Cangini, M., Francé, J., Bastianini, M., Bernardi Aubry, F., Bužančić, M., Cabrini, M., Cerino, F., Čalić, M., D'Adamo, R., Drakulović, D., Finotto, S., Fornasaro, D., Grilli, F., Kraus, R., Kužat, N., Marić Pfannkuchen, D., Ninčević Gladan, Ž., Pompei, M., Rotter, A., Servadei, I., Skejić, S. (2019.): Phytoplankton diversity in Adriatic ports: Lessons from the port baseline survey for the management of harmful algal species, *Marine Pollution Bulletin*, 147, str. 117-132, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.029>.

Nagai, T., Yamazaki, H., Kamykowsky, D. (2003.): A Lagrangian photoresponse model coupled with 2nd-order turbulence closure, *Marine Ecology Progress Series*, 265, str. 17-30, doi: 10.3354/meps265017

Navionics (n.d.) Chart viewer [Online]. Dostupno na <https://webapp.navionics.com/?lang=en#boating@6&key=ssttGcy%7B%7DA> (datum zadnjega pristupa: 29. lipnja 2023.)

Nigam, T., Escudier, R., Pistoia, J., Aydogdu, A., Omar, M., Clementi, E., Cipollone, A., Drudi, M., Grandi, A., Mariani, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Creté, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2021.): Mediterranean Sea Physical Reanalysis INTERIM (CMEMS MED-Currents, E3R1i system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1I

Ocvirk, E. (2010.): *Optimizacija nasipnih zaštitnih građevina u uvjetima ekstremne jadranske valne klime*, Doktorska disertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

Olenina, I., Wasmund, N., Hajdu, S., Jurgensone, I., Gromisz, S., Kownacka, J., Toming, K., Vaiciūte, D., Olenin, S. (2010.): Assessing impacts of invasive phytoplankton: The Baltic Sea case, *Marine Pollution Bulletin*, 60, str. 1691-1700, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.06.046>

Olli, K. (1999.): Diel vertical migration of phytoplankton and heterotrophic flagellates in the Gulf of Riga, *Journal of Marine Systems*, 23(1-3), str. 145-163, doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(99\)00055-X](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(99)00055-X)

Parunak, H., Savit, R., Riolo, R. (1998.): Agent-Based Modeling Vs Equation-Based Modeling: A Case Study and Users' Guide, *Zbornik radova: Proceedings of the First International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, 4.-6. lipnja, 1998., J. S. Sichman, R. Conte, and N. Gilbert (ur.), Berlin: Springer, str. 10-25

Paugam, C., Sous, D., Rey, V., Meulé, S., Faure, V., Boutron, O., Luna-Laurent, E., Migne, E. (2021.): Wind tides and surface friction coefficient in semi-enclosed shallow lagoons, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Elsevier, inPress. hal-03230566

Prezelin, B.B., Ley, A.C. (1980.): Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence rhythms of marine phytoplankton, *Marine Biology*, 55, str. 295–307, doi: <https://doi.org/10.1007/BF00393782>

Puckett, R.R. (2009.): Multi-Agent Crowd Behavior Simulation For Tsunami Evacuation, Master of Science Thesis, Department of Information and Computer Sciences, University of Hawaii

Queiroga, H., Blanton, J. (2005.) Interactions between behavior and physical forcing in the control of horizontal transport of decapod crustacean larvae, *Advances in Marine Biology*, 47, str. 107–214., doi: [https://doi.org/10.1016/s0065-2881\(04\)47002-3](https://doi.org/10.1016/s0065-2881(04)47002-3)

- Reid, P.C., Cook, E.J., Edwards, M., McQuatters-Gollop, A., Minchin, D., McCollin, T. (2009.): Marine non-native species in Marine Climate Change Ecosystem Linkages Report Card 2009., *Online science reviews*, Baxter, J.M., Buckley, P.J., Frost, M.T. (Ur.). Dostupno na <http://www.mccip.org.uk/elr/non-natives> (datum zadnjega pristupa, 9. travnja 2024.)
- Renna, A., Petrelli, M., Carrese, S., Bertocci, R. (2021.): An Innovative Simulation Agent-Based Model for the Combined Sea-Road Transport as a DSS, *Sustainability*, str. 13, 1-17, doi: <https://doi.org/10.3390/su131910773>
- Ringelberg, J. (2010.): Diel Vertical Migration of Zooplankton in Lakes and Oceans – Causal Explanations and Adaptive Significances, Springer Dordrecht, doi: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3093-1>
- Rodean, H. C. (1996.): Stochastic Lagrangian Models of Turbulent Diffusion. American Meteorological Society, Boston, MA, USA. 84 str., doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-935704-11-9>
- Rodi, W. (1987.): Examples of Calculation Methods for Flow and Mixing in Stratified Fluids, *Journal of Geophysical Research*, 92, (C5), str. 5305-5328
- Jalón-Rojas, I., Wang, X.H., Fredj, E. (2019.): Technical note: On the importance of a three-dimensional approach for modelling the transport of neustic microplastics, *Ocean Science*, 15, str. 717-724, doi: <https://doi.org/10.5194/os-15-717-2019>
- Rubinić, J., Ružić, I., Žic, E., Krvavica, N., Radišić, M. (2016.): Istraživanje kakvoće vode i nanosa u Mrtvom kanalu u Rijeci – rezultati hidroloških istraživanja, separat, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
- Saiz, E. (2003.): Swimming dynamics of zooplankton (Ch.) u Duarte, C.M. (Ur.) *Marine Ecology*. Encyclopedia of Life Support Systems (UNESCO), str. 309-325
- Schaber, M., Haslob, H., Huwer, B., Harjes, A., Hinrichsen, H.-H., Köster, F.W., Storr-Paulsen, M., Schmidt, J.O., Voss, R. (2011.): The invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the central Baltic Sea: seasonal phenology and hydrographic influence on spatio-temporal distribution patterns, *Journal of Plankton Research*, 33 (7), str. 1053–1065, doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbq167>
- Scheffer, M., Baveco, J.M., DeAngelis, D.L., Rose, K.A., van Ne, E.H. (1995.): Super-individuals a simple solution for modelling large populations on an individual basis, *Ecological Modelling*, 80(2-3), str. 161-170, doi: 10.1016/0304-3800(94)00055-M
- Seuront, L. (2006.): Effect of salinity on the swimming behaviour of the estuarine calanoid copepod *Eurytemora affinis*, *Journal of Plankton Research*, 28, pp. 805-813, doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbl012>
- Shiganova, T.A. (1998.): Invasion of the Black Sea by the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and recent changes in pelagic community structure, *Fisheries Oceanography*, 7 (3-4), str. 305-310, doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.1998.00080.x>
- Simoncelli, S., Thackeray, S.J., Wain, D.J. (2019): Effect of temperature on zooplankton vertical migration velocity, *Hydrobiologia*, 829, str. 143-166, doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3827-1>
- SIMTWIST Project, WP 5 – Agent-Based Modelling, Lipanj 2019. – Svibanj 2022., <https://www.simtwist.eu/wp-5-agent-based-modelling/> (datum zadnjeg pristupa: 20.9.2022.)

Smagorinsky, J. (1993.): *Some historical remarks on the use of nonlinear viscosities*, In: Large eddy simulations of complex engineering and geophysical flows, B. Galperin and S. Orszag (Eds.), Cambridge Univ. Press, str. 1-34

Sohma, A., Imada, R., Nishikawa, T., Shibuki, H. (2022.): Modeling the life cycle of four types of phytoplankton and their bloom mechanics in a benthic-pelagic coupled ecosystem, *Ecological Modelling*, 467, 109882, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.109882>

Stips, A., Dowell, M., Somma, F., Coughlan, C., Piroddi, C., Bouraoui, F., Macias, D., Garcia-Gorriz, E., Cardoso, A.C., Bidoglio, G. (2015.): *Towards an integrated water modelling toolbox*, JRC Technical Reports, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/201603214045.pdf> (datum zadnjega pristupa: 14. studenoga 2023.)

Sveučilište u Dubrovniku, Institut Ruđer Bošković – Centar za istraživanje mora, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Sveučilište u Rijeci – Pomorski fakultet (2023.): Razvoj sustava kontrole i obrane luka od unosa stranih vrsta – ProtectAS [Online]. Dostupno na <https://protectas.com.hr/> (Datum zadnjega pristupa 29. lipnja 2023.)

Šobar, E. (2023.): *Upravljanje rizicima u pomorskom prijevozu robe*, Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet

Teledyne RD Instruments (2009.): WinSC and PlanADCP User's Guide

Teledyne RD Instruments (2013.): RDI Tools Software User's Guide

Teledyne RD Instruments (2017.a): Sentinel V Self-Contained, Sentinel V Real-Time Operation Manual

Teledyne RD Instruments (2017.b): Velocity Software User's Guide

Telesh, I., Schubert, H., Skarlato, S. (2016.): Ecological niche partitioning of the invasive dinoflagellate *Prorocentrum minimum* and its native congeners in the Baltic Sea, *Harmful Algae*, 59, str. 100-111, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2016.09.006>

Thober, J., Schwarz, N., Hermans, K. (2018.): Agent-based modeling of environment-migration linkages: a review, *Ecology and Society*, 23(2):41, doi: <https://doi.org/10.5751/ES-10200-230241>

Turner, J.T., Tester, P.A. (1997.): Toxic marine phytoplankton, zooplankton grazers, and pelagic food webs, *Limnology and Oceanography*, 42 (5, part 2), str. 1203-1214, doi: https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1203

Tools4MSP Geoplatform (2023.): Adriatic traffic density July 2014 – June 2015 (Datum zadnjega pristupa: 28. prosinca 2023.).

http://data.tools4msp.eu/layers/geonode%3Atraffic_density_lines_gener_2014_2015_ais_3857_nocolor

UNESCO (1981.): The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980, UNESCO technical papers in marine science, 36, str. 8-

Vanfossan, S., Dagli, C.H., Kwasa, B. (2020.): An Agent-Based Approach to Artificial Stock Market Modeling, *Procedia Computer Science*, 168, str. 161-169, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.280>

- Vasile, R., Hartmann, K., Hobday, A.J., Oliver, E., Tracey, S. (2018.): Evaluation of hydrodynamic ocean models as a first step in larval dispersal modelling, *Continental Shelf Research*, 152, str. 38-49, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.11.001>
- Visser, A. W. (1997.): Using random walk models to simulate the vertical distribution of particles in a turbulent water column, *Marine Ecology Progress Series*, 158, str. 275 – 281, doi:
- Waite, A., Fisher, A., Thompson, P.A., Harrison, P.J. (1997.): Sinking rate versus cell volume relationships illuminate sinking rate control mechanisms in marine diatoms, *Marine Ecology Progress Series*, 157, str. 97-108, doi: 10.3354/meps157097
- Wang, C., Feng, T., Wang, P., Hou, J., Qian, J. (2017.) Understanding the transport feature of bloom-forming *Microcystis* in a large shallow lake: A new combined hydrodynamic and spatially explicit agent-based modelling approach, *Ecological Modelling*, 343, str. 25-38, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.10.017>
- Williams, J.J., Esteves, L.S. (2017.): Guidance on Setup, Calibration, and Validation of Hydrodynamic, Wave, and Sediment Models for Shelf Seas and Estuaries, *Advances in Civil Engineering*, 25 str., doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5251902>
- Woods, J.D., Onken, R. (1982.): Preliminary results of a Lagrangian ensemble model, *Journal of Plankton Research*, 4(3), str. 735-756, doi: <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/4.3.735>
- Woods, J.D. (2005.): The Lagrangian Ensemble metamodel for simulating plankton ecosystems. *Progress in Oceanography*, 67, str. 84–159, doi: 10.1016/j.pocean.2005.04.003
- Wu, J. (1994.): The sea surface is aerodynamically rough even under light winds, *Boundary layer Meteorology*, 69, pp. 149-158
- Yamazaki, H., Kamykowski, D., (1991): The vertical trajectories of motile phytoplankton in a wind-mixed water column, *Deep-Sea Research*, 38, str. 219-241, doi: [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(91\)90081-P](https://doi.org/10.1016/0198-0149(91)90081-P)
- Yang, L.E., Scheffran, J., Susser, D., Dawson, R., Chen, Y.D. (2018.): Assessment of Flood Losses with Household Responses: Agent-Based Simulation in an Urban Catchment Area, *Environmental Modeling and Assessment*, 23, str. 369-388, doi: <https://doi.org/10.1007/s10666-018-9597-3>
- Zechman Berglund, E. (2015.): Using Agent-Based Modeling for Water Resources Planning and Management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141 (11): 04015025, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000544](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000544)
- Zenetos, A., Gofas, S., Verlaque, M., Cinar, M., Garcia Raso, J., Bianchi, C., Morri, C., Azzurro, E., Bilecenoglu, M., Frogia, C., Siokou, I., Violanti, D., Sfriso, A., San Martin, G., Giangrande, A., Katagan, T., Ballesteros, E., Ramos-Espla, A., Mastrototaro, F., Ocana, O., Zingone, A., Gambi, M., Streftaris, N. (2010): Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution, *Mediterranean Marine Science*, 11(2), str. 381. <https://doi.org/10.12681/mms.87>

PRILOZI

A. Rezultati obrade i analize ulaznih podataka

A.I. Šire akvatorijalno područje luke Ploče

A.I.i. Vjetar

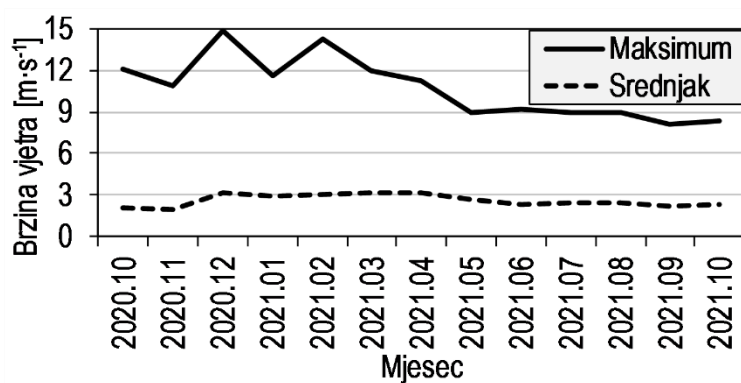
Tablica 0.1 Relativna učestalost 10-minutnih brzina vjetra u ovisnosti o smjeru vjetra i kategorijama brzina za m.p. Ploče u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.

Relativna učestalost		Kategorija brzine vjetra [m·s ⁻¹]								Σ
		0 – 0,2 (0 Bf)	0,3 – 1,5 (1 Bf)	1,6 – 3,3 (2 Bf)	3,4 – 5,4 (3 Bf)	5,5 – 7,9 (4 Bf)	8,0 – 10,7 (5 Bf)	10,8 – 13,8 (6 Bf)	13,9 – 17,1 (7 Bf)	
Sektor	NNE	0,52%	2,11%	3,11%	3,35%	1,87%	0,51%	0,03%	0,00%	11,51%
	NE	0,70%	2,53%	1,22%	0,79%	0,38%	0,16%	0,00%	0,00%	5,79%
	ENE	0,58%	4,28%	3,38%	0,23%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	8,48%
	E	0,71%	6,40%	6,56%	1,26%	0,16%	0,01%	0,00%	0,00%	15,11%
	ESE	0,19%	1,31%	0,96%	0,37%	0,11%	0,01%	0,00%	0,00%	2,96%
	SE	0,36%	2,88%	2,45%	1,78%	1,45%	0,34%	0,02%	0,00%	9,28%
	SSE	0,15%	0,94%	1,25%	1,65%	0,37%	0,06%	0,04%	0,00%	4,46%
	S	0,20%	1,35%	2,41%	1,43%	0,30%	0,06%	0,02%	0,00%	5,78%
	SSW	0,08%	0,39%	0,87%	0,26%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	1,63%
	SW	0,16%	0,72%	1,82%	1,08%	0,09%	0,03%	0,00%	0,00%	3,89%
	WSW	0,11%	0,39%	0,57%	1,09%	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%	2,34%
	W	0,21%	0,78%	1,37%	3,26%	2,25%	0,17%	0,00%	0,00%	8,03%
	WNW	0,17%	0,46%	0,39%	0,29%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	1,36%
	NW	0,41%	1,60%	1,17%	0,50%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	3,71%
	NNW	0,38%	1,80%	1,94%	0,82%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%	5,06%
	N	1,18%	2,79%	3,25%	2,59%	0,70%	0,09%	0,00%	0,00%	10,61%
Σ		6,10%	30,73%	32,75%	20,73%	8,10%	1,46%	0,13%	0,00%	

Tablica 0.2 Maksimalne i prosječne 10-minutne brzine vjetra [m·s⁻¹] po sektorima s pripadnih 16 smjerova za m.p. Ploče u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.

Sektor	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
--------	-----	----	-----	---	-----	----	-----	---	-----	----	-----	---	-----	----	-----	---

Maksimum [m·s ⁻¹]	14,3	11,1	7,0	12,9	10,1	12,1	12,8	14,8	10,5	10,9	8,2	11,6	6,9	8,8	7,7	11,2
Srednjak [m·s ⁻¹]	3,6	2,1	1,4	1,8	1,9	3,1	3,2	2,8	2,3	2,7	3,2	4,3	2,1	1,8	2,0	2,5
Datum maksimuma	14.2. 2021.	14.2. 2021.	4.4. 2021.	27.12. 2020.	27.12. 2020.	3.10. 2020.	28.12. 2020.	28.12. 2020.	29.12. 2020.	27.12. 2020.	14.8. 2021.	14.3. 2021.	5.8. 2021.	13.5. 2021.	7.4. 2021.	6.4. 2021.

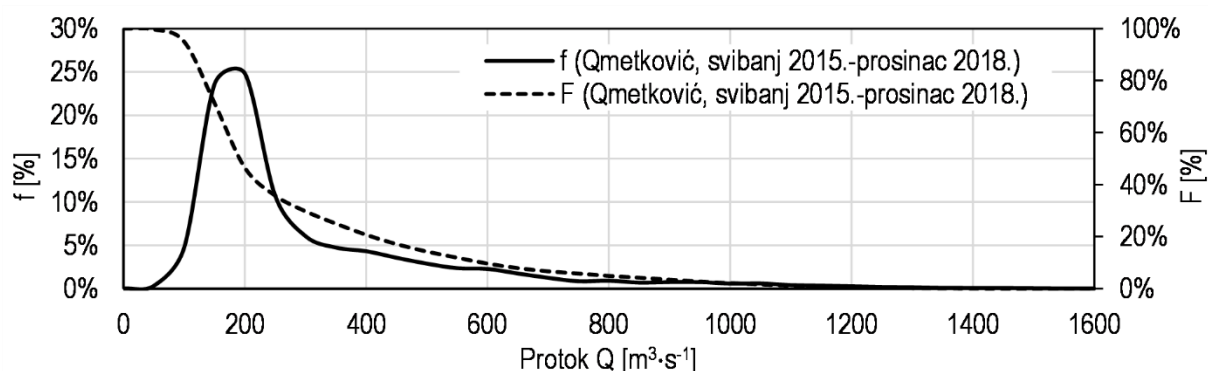


Slika 0-1 Godišnji hod maksimalne i srednje brzine vjetra za m.p. Ploče (10-minutni podaci u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.)

Tablica 0.3 Maksimalne i srednje brzine vjetra [m·s⁻¹] po mjesecima za m.p. Ploče u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.

Mjesec	Maksimum	Srednjak
2020.10	12,1	2,1
2020.11	10,9	2,0
2020.12	14,8	3,1
2021.01	11,6	3,0
2021.02	14,3	3,0
2021.03	12,0	3,2
2021.04	11,2	3,1
2021.05	8,9	2,7
2021.06	9,2	2,3
2021.07	8,9	2,4
2021.08	9,0	2,5
2021.09	8,1	2,2
2021.10	8,4	2,3

A.I.ii. Protok i temperatura rijeke Neretve



Slika 0-2 Krivulje relativne (f) i kumulativne (F) učestalosti satnih protoka Neretve za razdoblje svibanj 2015. – prosinac 2018. (h.p. Metković) s podjelom u razrede od 0 do 1600 [m³·s⁻¹] i korakom 50 [m³·s⁻¹]

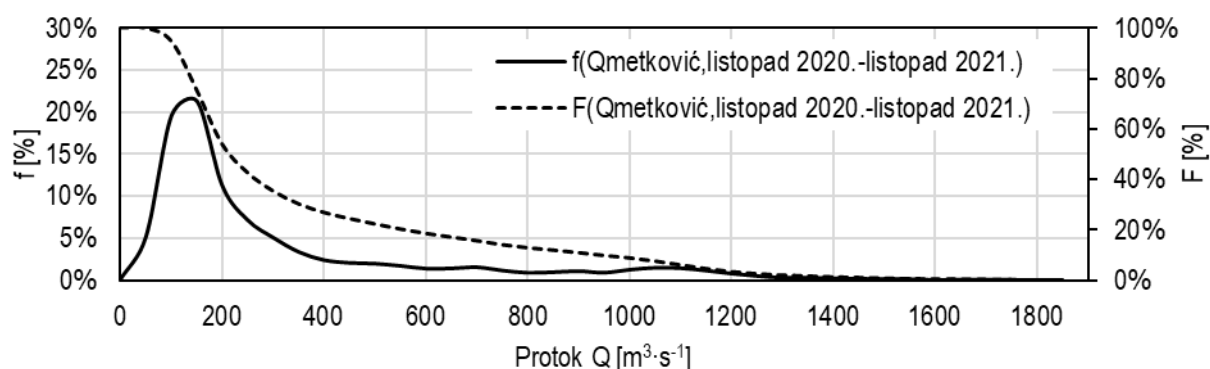
Tablica 0.4 Minimalni, srednji i maksimalni satni protoci i temperature po mjesecima za h.p. Metković u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.

Mjesec	Protok [m³·s⁻¹]			Temperatura [°C]		
	MIN	AVG	MAX	MIN	AVG	MAX
2020.10	53,3	260,8	797,4	11,4	13,1	16,2
2020.11	17,3	158,2	383,3	8,4	10,1	13,2
2020.12	105,6	610,0	1311,9	8,1	9,9	11,3
2021.01	357,7	886,4	1403,3	6,9	8,9	10,5
2021.02	253,8	1004,8	1889,8	7,7	9,3	11,0
2021.03	181,6	395,2	537,4	8,5	9,5	10,4
2021.04	56,1	271,4	658,8	8,7	11,2	14,0
2021.05	61,9	250,4	550,8	10,4	12,7	15,2
2021.06	41,9	161,5	335,5	12,6	15,8	18,7
2021.07	11,2	148,3	381,8	17,0	18,4	19,7
2021.08	16,2	160,8	299,2	16,0	20,0	23,6
2021.09	36,7	157,7	341,6	14,7	18,0	19,9
2021.10	60,2	216,8	534,1	10,9	13,0	16,2

U nastavku su tablično dane karakteristične vrijednosti, a grafički krivulje relativne i kumulativne učestalosti satnih protoka dobiveni statističkom analizom ovoga hidrološkog parametra u navedenom razdoblju.

Tablica 0.5 Karakteristične vrijednosti protoka izmjerenih na h.p. Metković u razdoblju 1.1.2020.-31.12.2021.

Oznaka	Vrijednost [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Opis
$Q_{\min}$	11,2	minimalni protok
Q_{avg}	364,3	srednji protok
$Q_{\max}$	1889,8	maksimalni protok
$Q_{t99\%}$	71,2	protok 99% trajanja
$Q_{t95\%}$	98,2	protok 95% trajanja
$Q_{t90\%}$	115,7	protok 90% trajanja
$Q_{t75\%}$	150,1	protok 99% trajanja
$Q_{t50\%}$	212,4	protok 50% trajanja – medijan
$Q_{t25\%}$	433,8	protok 25% trajanja
$Q_{t10\%}$	945,0	protok 10% trajanja
$Q_{t5\%}$	1134,7	protok 5% trajanja
$Q_{t1\%}$	1470,7	protok 1% trajanja

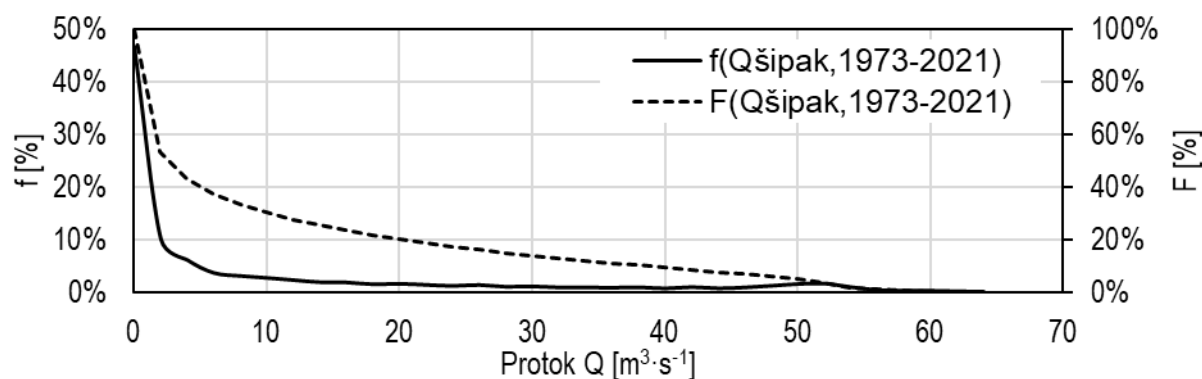


Slika 0-3 Krivulje relativne (f) i kumulativne (F) učestalosti dnevnih protoka Neretve na h.p. Metković za razdoblje 1.10.2020.-1.10.2021. s podjelom u razrede od 0 do 1900 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] i korakom 50 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

A.I.iii. Protok iz Baćinskih jezera

Tablica 0.6 Volumen dotoka iz Baćinskih jezera po mjesecima na temelju mjerenja na h.p. Šipak i kumulativna oborina, relativna vlažnost i temperatura zraka izmjerene na m.p. Ploče u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.

Mjesec	Volumen dotoka [10 ³ m ³]	Kumulativna oborina [mm]	Relativna vlažnost zraka [%]	Temperatura zraka [°C]
2020.10	19622,5	79,4	74,7%	16,1
2020.11	14681,8	88,7	70,8%	11,8
2020.12	139910,0	429,5	79,3%	10,4
2021.01	110069,3	227,2	71,5%	7,0
2021.02	9742,6	0,0	69,5%	9,4
2021.03	75618,5	77,2	53,9%	10,3
2021.04	7781,5	32,6	59,3%	12,8
2021.05	10467,1	56,4	57,8%	18,8
2021.06	5725,6	35,6	55,1%	24,3



Slika 0-4 Krivulje relativne (f) i kumulativne (F) učestalosti dnevnih protoka iz Baćinskih jezera na h.p. Šipak s podjelom u razrede od 0 do 66 [m³·s⁻¹] i korakom 2 [m³·s⁻¹] u razdoblju 1.1.1973.-31.12.2021.

Tablica 0.7 Karakteristične vrijednosti protoka izmjerenih na h.p. Šipak u razdoblju 1.1.1973.-31.12.2021.

Oznaka	Vrijednost [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Opis
$Q_{\min}$	0,002	minimalni protok
Q_{avg}	10,69	srednji protok
$Q_{\max}$	67,14	maksimalni protok
$Q_{t99\%}$	0,003	protok 99% trajanja
$Q_{t95\%}$	0,07	protok 95% trajanja
$Q_{t90\%}$	0,10	protok 90% trajanja
$Q_{t75\%}$	0,39	protok 99% trajanja
$Q_{t50\%}$	2,51	protok 50% trajanja – medijan
$Q_{t25\%}$	14,37	protok 25% trajanja
$Q_{t10\%}$	38,58	protok 10% trajanja
$Q_{t5\%}$	50,08	protok 5% trajanja
$Q_{t1\%}$	56,10	protok 1% trajanja

A.II. Luka Rijeka

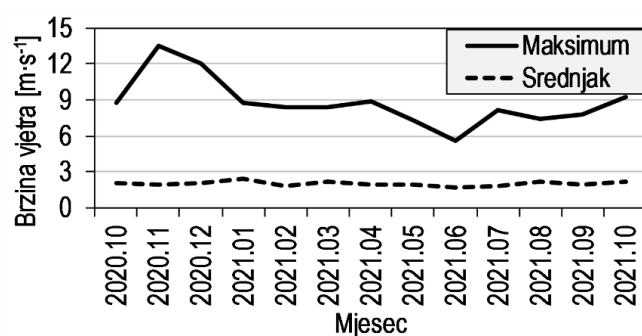
A.II.i. Vjetar

Tablica 0.8 Relativna učestalost 10-minutnih brzina vjetra u ovisnosti o smjeru vjetra i kategorijama brzina za m.p. Rijeka u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.

Relativna učestalost		Kategorija brzine vjetra [m·s ⁻¹]							Σ
		0 – 0,2 (0 Bf)	0,3 – 1,5 (1 Bf)	1,6 – 3,3 (2 Bf)	3,4 – 5,4 (3 Bf)	5,5 – 7,9 (4 Bf)	8,0 – 10,7 (5 Bf)	10,8 – 13,8 (6 Bf)	
Sektor	NNE	0,28%	6,37%	10,58%	1,95%	0,41%	0,05%	0,00%	39,28%
	NE	0,38%	4,52%	5,01%	1,99%	0,80%	0,07%	0,01%	25,56%
	ENE	0,16%	2,14%	2,43%	1,78%	0,68%	0,03%	0,00%	14,44%
	E	0,17%	1,77%	1,61%	1,01%	0,04%	0,00%	0,00%	9,19%
	ESE	0,15%	1,17%	1,37%	0,39%	0,02%	0,00%	0,00%	6,21%
	SE	0,16%	1,27%	1,20%	0,16%	0,02%	0,00%	0,00%	5,62%
	SSE	0,11%	1,10%	1,81%	0,51%	0,16%	0,01%	0,00%	7,38%
	S	0,13%	2,22%	3,38%	1,15%	0,11%	0,00%	0,00%	14,01%
	SSW	0,10%	1,92%	2,88%	0,38%	0,03%	0,00%	0,00%	10,64%
	SW	0,20%	2,41%	3,32%	0,12%	0,02%	0,00%	0,00%	12,13%
	WSW	0,13%	1,93%	3,81%	0,06%	0,01%	0,00%	0,00%	11,88%
	W	0,14%	0,44%	0,35%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	1,91%
	WNW	0,13%	0,91%	0,30%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	2,76%
	NW	0,25%	1,48%	0,43%	0,06%	0,01%	0,00%	0,00%	4,47%
	NNW	0,16%	2,47%	1,12%	0,17%	0,05%	0,01%	0,00%	7,93%
	N	0,66%	6,31%	5,18%	1,01%	0,12%	0,02%	0,00%	26,60%
	Σ	3,30%	38,42%	44,78%	10,81%	2,49%	0,18%	0,01%	

Tablica 0.9 Maksimalne i srednje 10-minutne brzine vjetra [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] po sektorima s pripadna 4 glavna i 12 sporednih smjerova za m.p. Rijeka u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.

Sektor	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
Maksimum [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	10,7	13,5	10,4	6,7	7,7	6,8	9,9	11,6	9,8	6,9	6,5	6,5	6,2	6,2	8,4	8,9
Srednjak [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,2	2,4	2,8	2,2	2,0	1,6	2,3	2,2	1,9	1,7	1,8	1,3	1,2	1,2	1,5	1,7
Datum	26.12. 2020.	21.11. 2020.	26.12. 2020.	4.11. 2020.	6.12. 2020.	28.12. 2020.	28.12. 2020.	28.12. 2020.	28.12. 2020.	28.12. 2020.	29.12. 2020.	28.12. 2020.	29.12. 2020.	29.12. 2020.	20.3. 2021.	6.4. 2021.

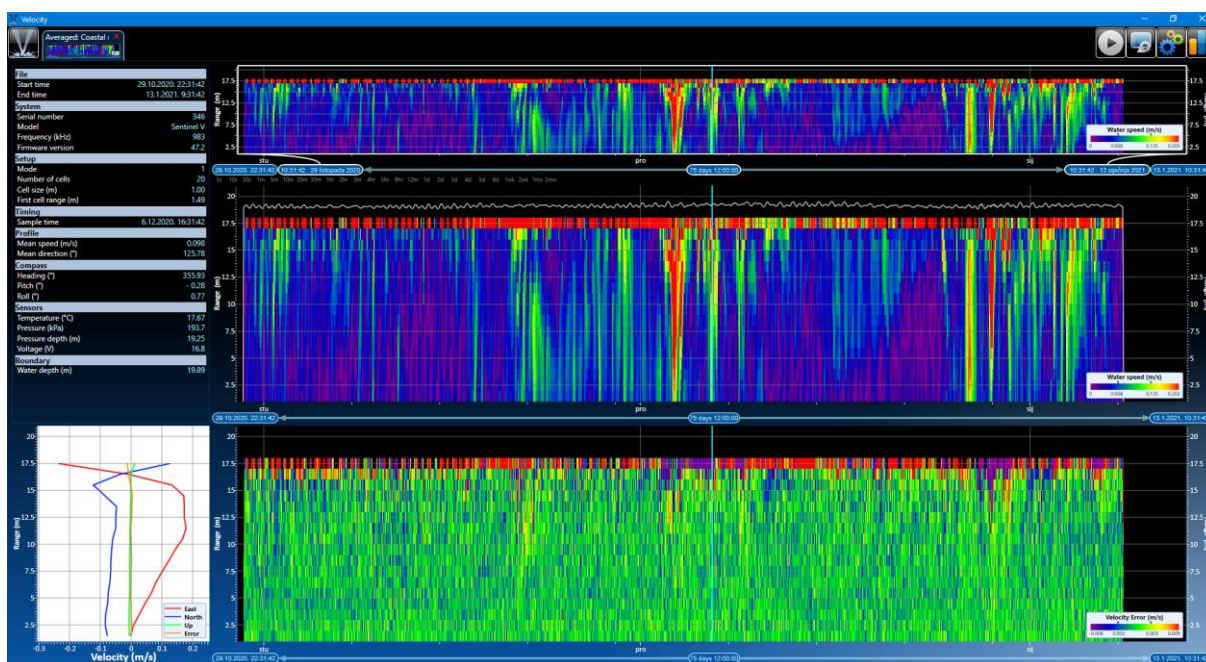


Slika 0-5 Godišnji hod maksimalne i srednje brzine vjetra za m.p. Rijeka (10-minutni podaci u razdoblju od 1.10.2020. do 1.11.2021.)

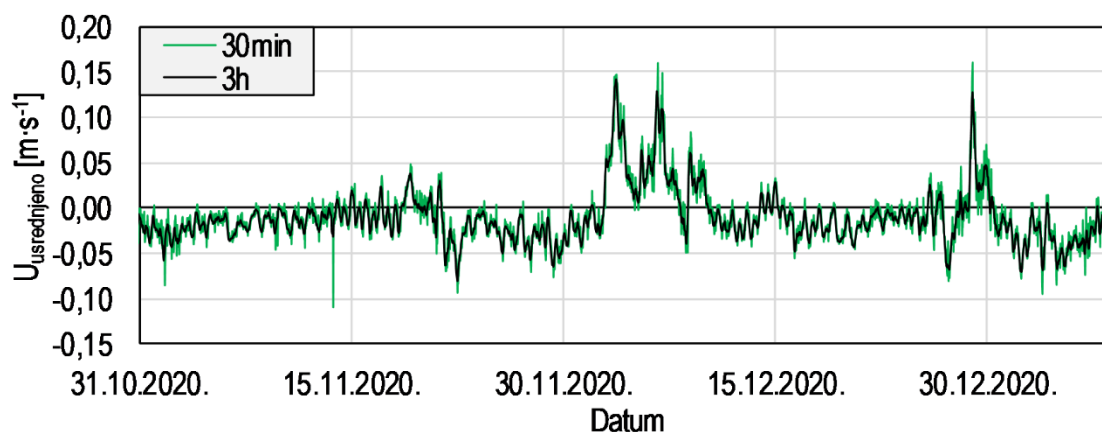
Tablica 0.10 Maksimalne i srednje brzine vjetra [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] po mjesecima za m.p. Rijeka u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.

MJESEC	Maksimum	Srednjak
2020.10	8,7	2,0
2020.11	13,5	1,9
2020.12	12,1	2,1
2021.01	8,8	2,4
2021.02	8,4	1,8
2021.03	8,4	2,2
2021.04	8,9	2,0
2021.05	7,3	1,9
2021.06	5,6	1,7
2021.07	8,1	1,9
2021.08	7,4	2,2
2021.09	7,8	1,9
2021.10	9,3	2,1

B. Rezultati obrade i analize terenskih mjerenja



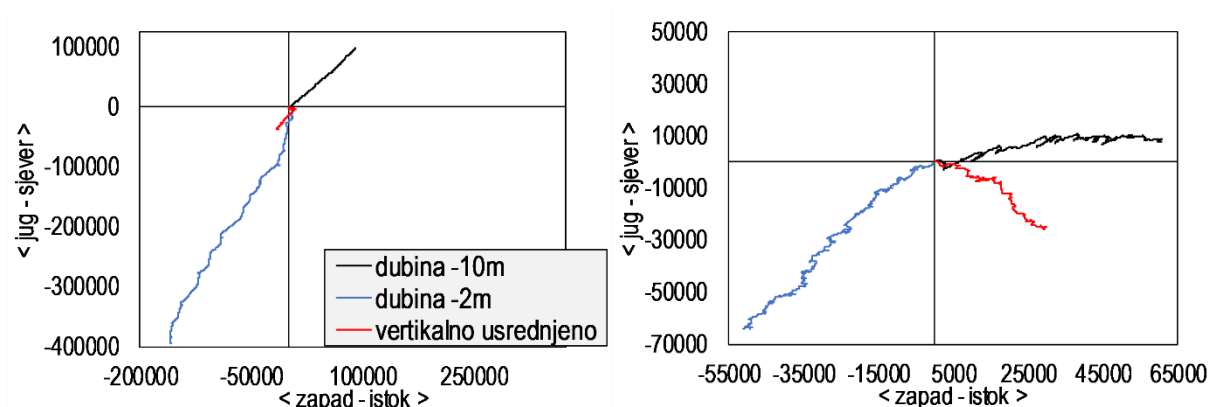
Slika 0-6 Grafičko sučelje softvera Velocity s prikazom sirovih podataka o brzini strujanja na lokaciji ADCP-PL2 za zimsko razdoblje mjerenja



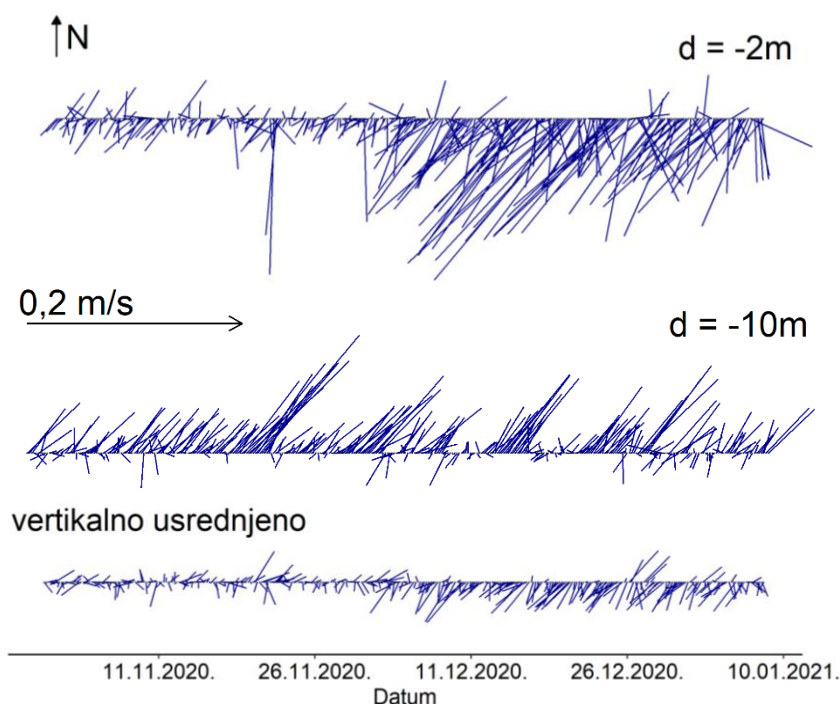
Slika 0-7 Usporedba sirovih 30-minutnih i usrednjenih 3-satnih podataka o vertikalno usrednjenoj U komponenti brzine strujanja mora na poziciji ADCP-PL2 za zimsko razdoblje mjerenja

B.I. Šire akvatorijalno područje luke Ploče

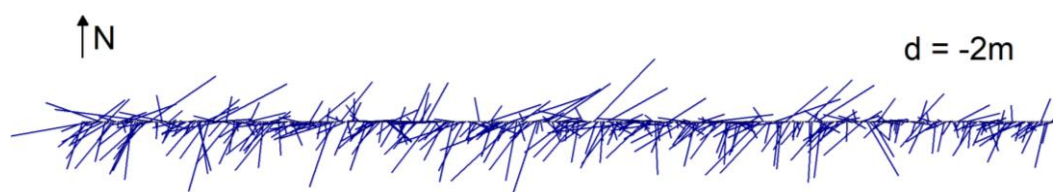
B.I.i. Morske struje i promjene morske razine

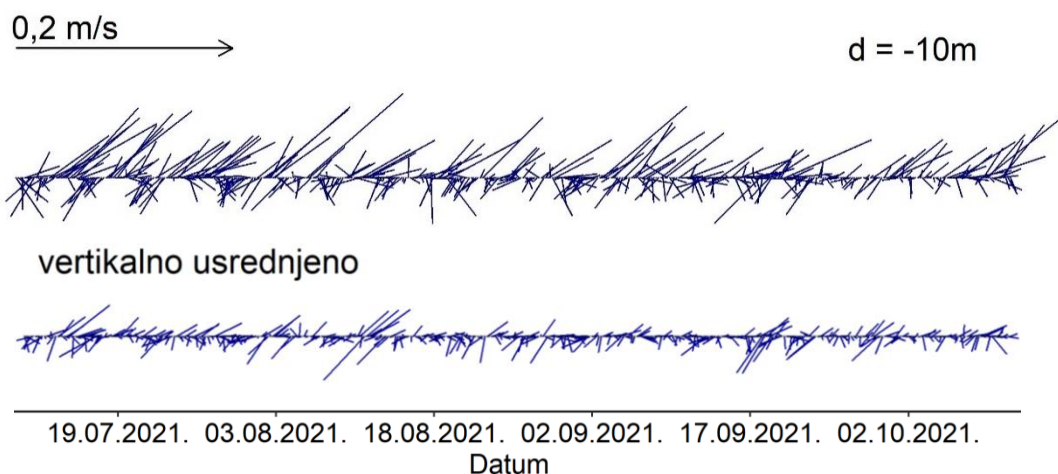


Slika 0-8 Progresivni vektor dijagram u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL1 i dubinama -10 [m], -2 [m] te vertikalno usrednjeno

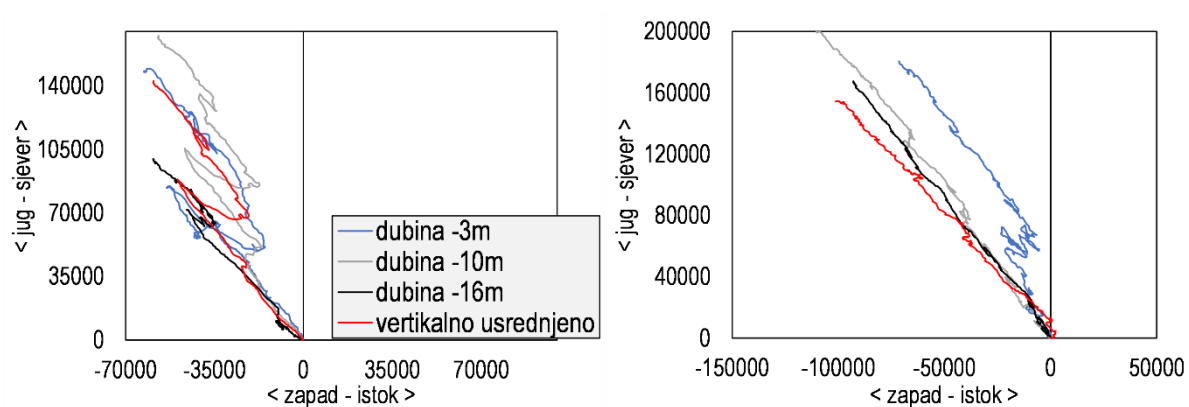


Slika 0-9 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u zimskom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL1 i dubinama -10 i -2 [m] te vertikalno usrednjeno

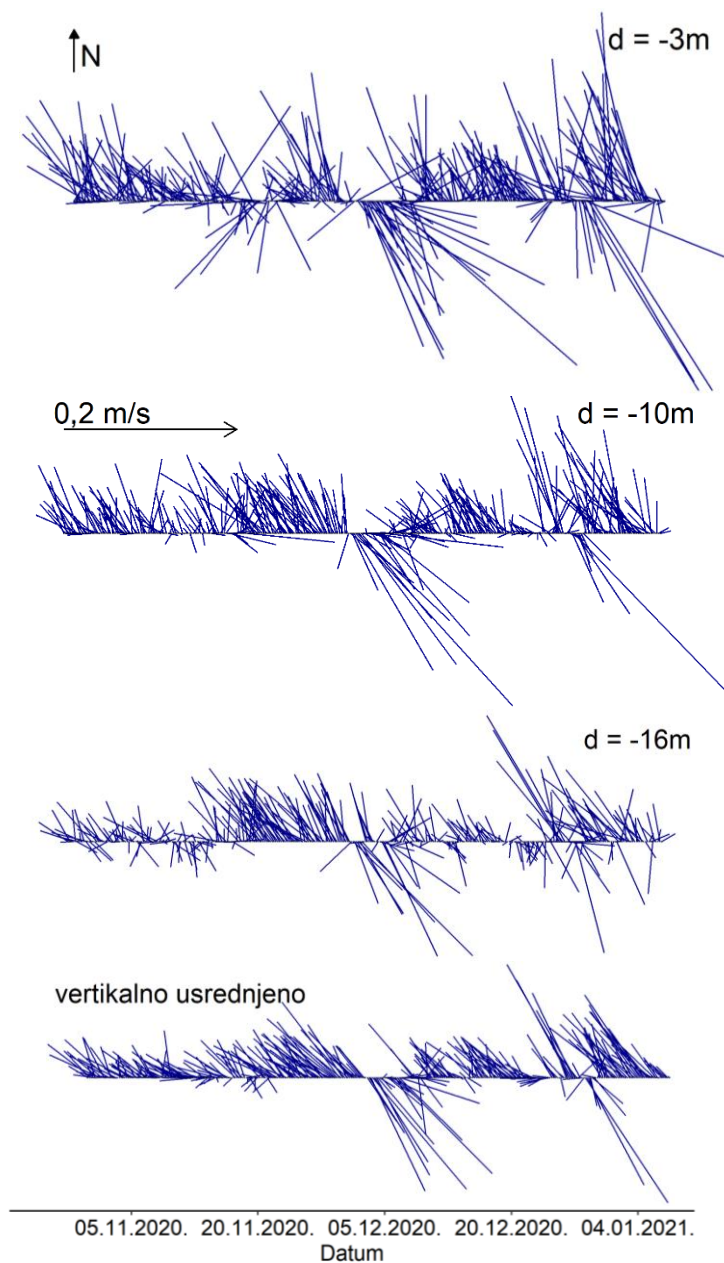




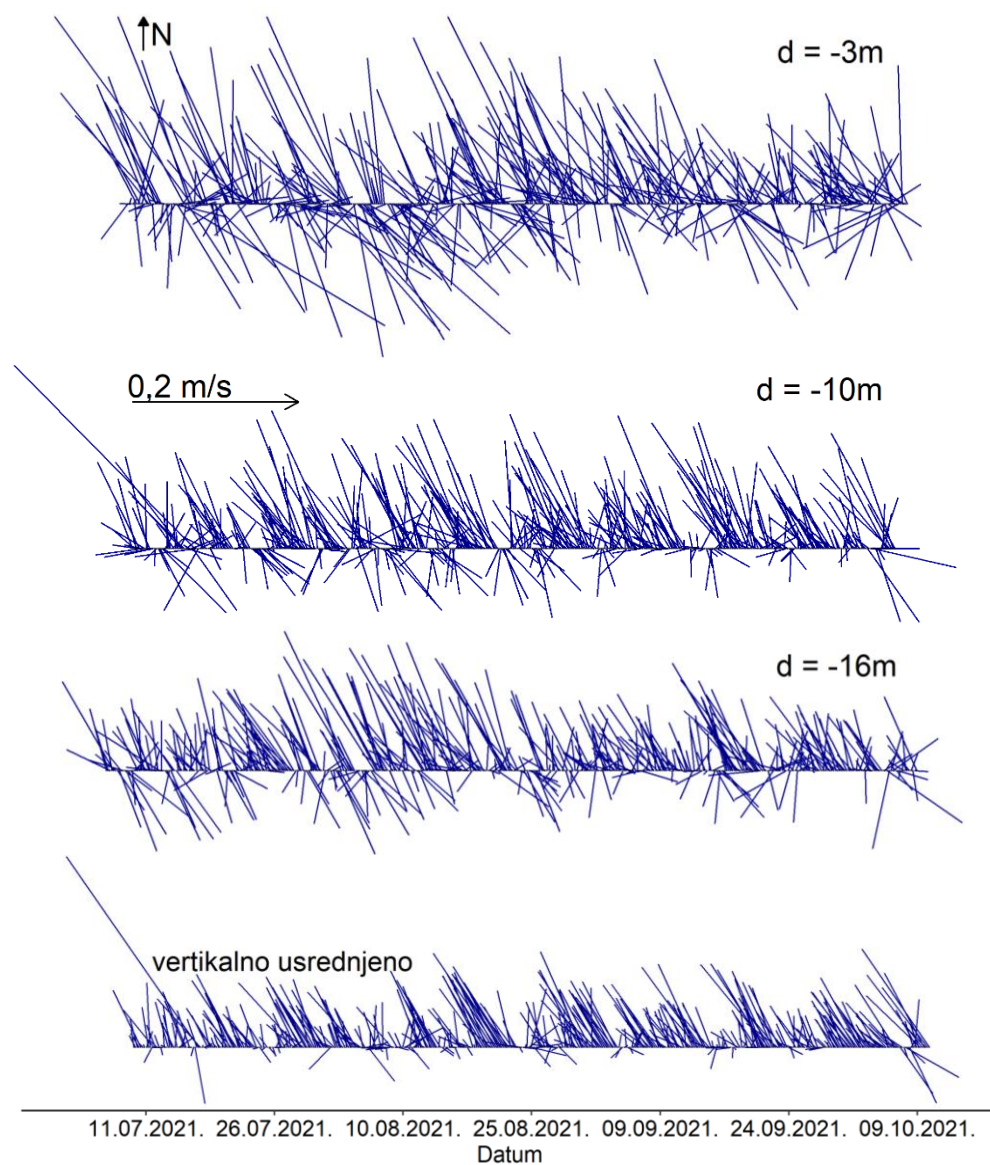
Slika 0-10 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u ljetnom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL1 i dubinama -10 i -2 [m] te vertikalno usrednjeno



Slika 0-11 Progresivni vektor dijagram u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL2 i dubinama -16, -10 i -3 [m] te vertikalno usrednjeno

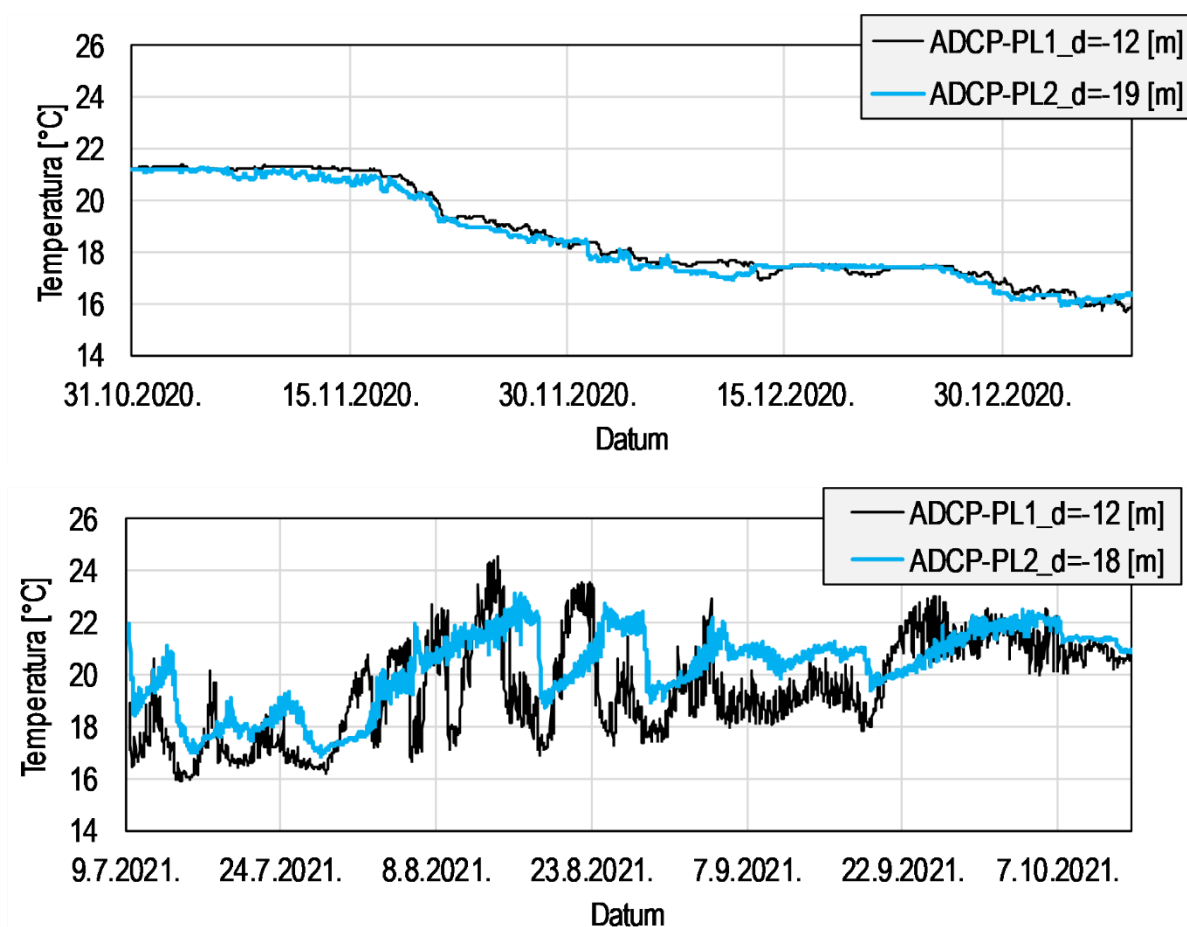


Slika 0-12 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u zimskom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL2 i dubinama -16, -10 i -3 [m] te vertikalno usrednjeno



Slika 0-13 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u ljetnom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-PL2 i dubinama -16, -10 i -3 [m] te vertikalno usrednjeno

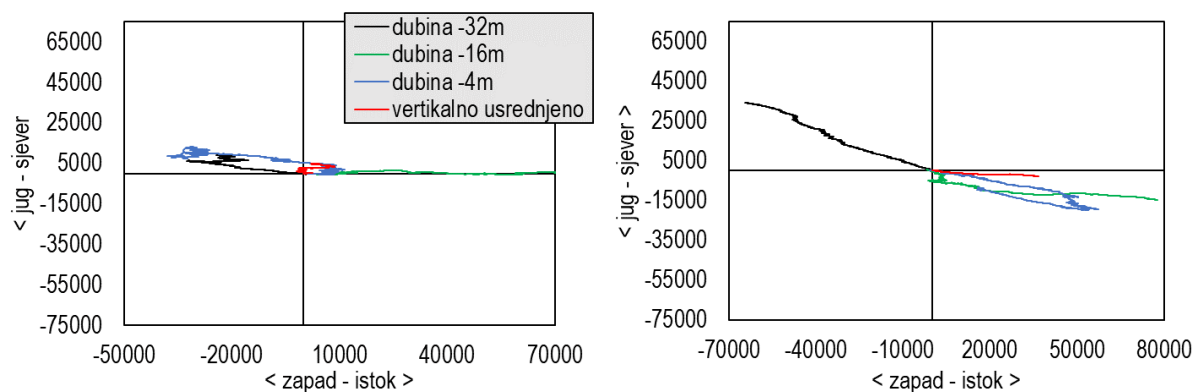
B.I.ii. Temperatura i salinitet



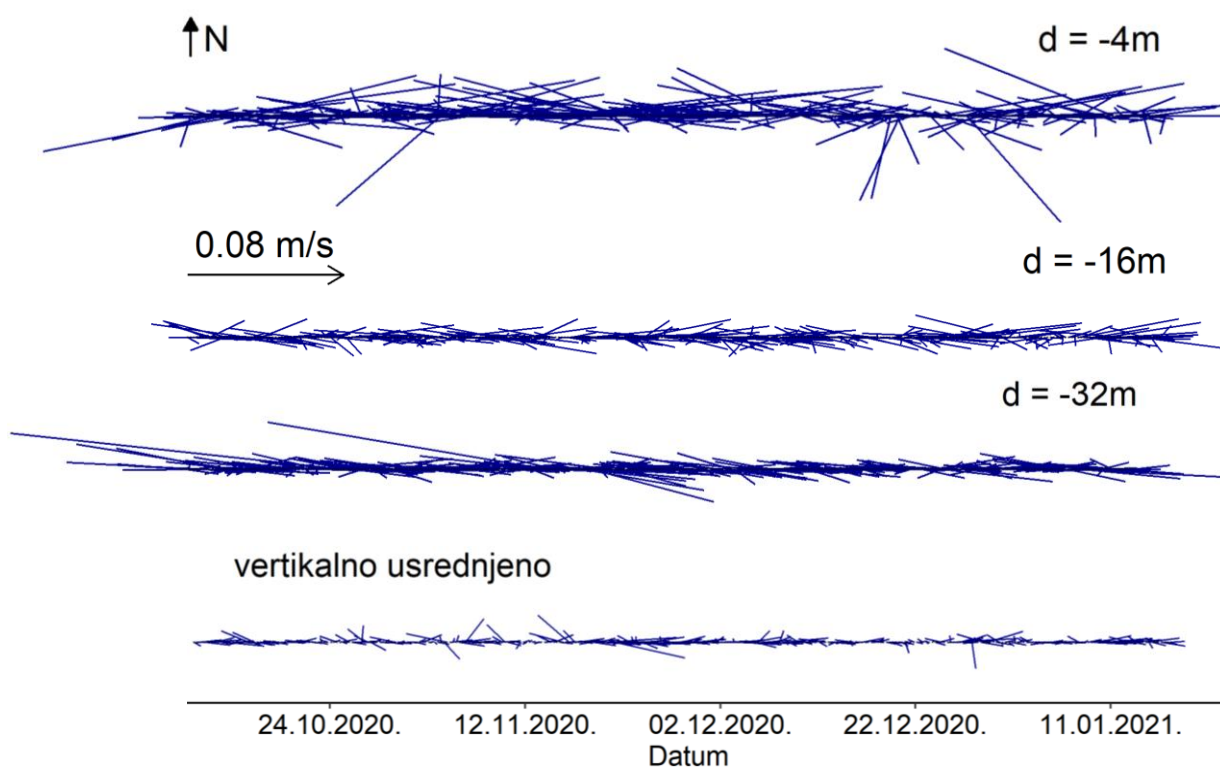
Slika 0-14 Vremenski nizovi temperature dobivene na lokacijama ADCP-PL1 i ADCP-PL2 za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) razdoblje mjerenja

B.II. Luka Rijeka

B.II.i. Morske struje i promjene morske razine

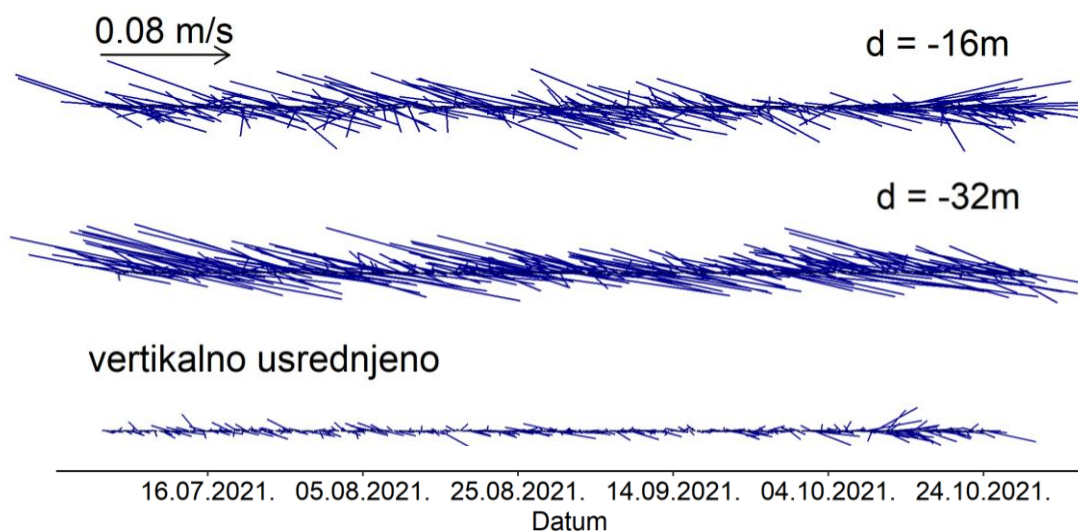


Slika 0-15 Progressivni vektor dijagram u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-RI1 i dubinama -32, -16 i -4 [m] te vertikalno usrednjeno

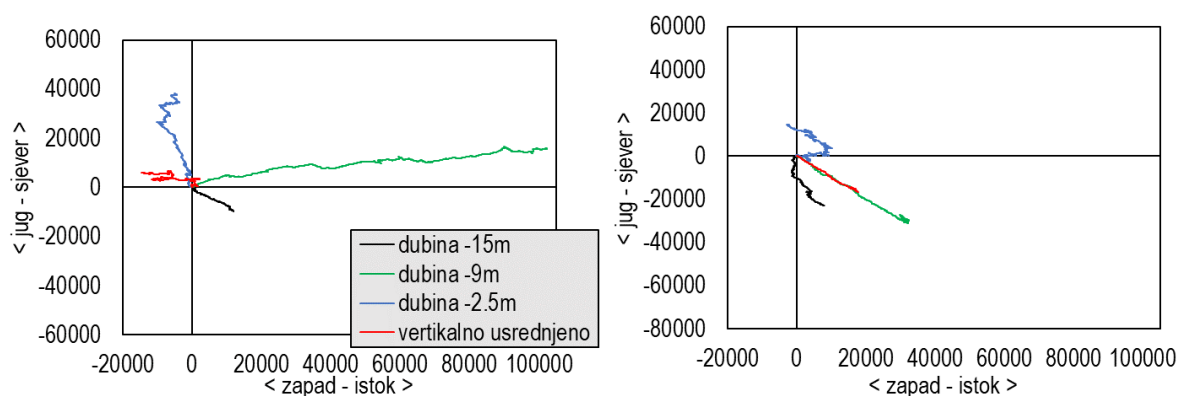


Slika 0-16 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u zimskom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-RI1 i dubinama -32, -16 i -4 [m] te vertikalno usrednjeno

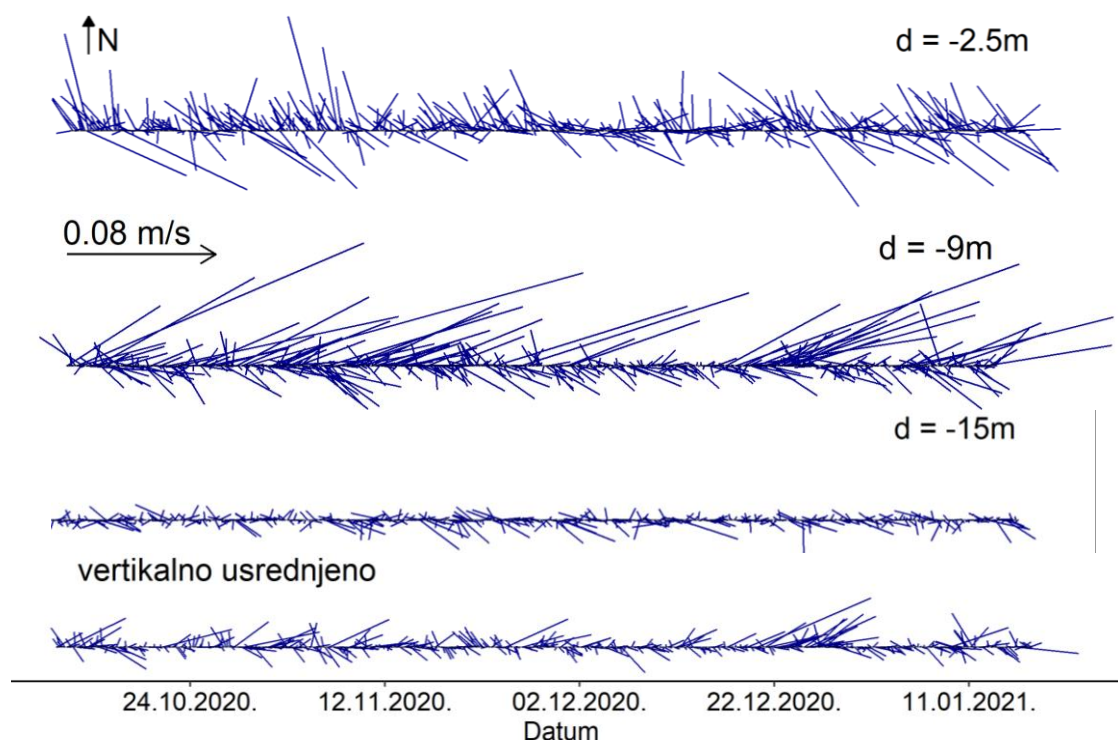




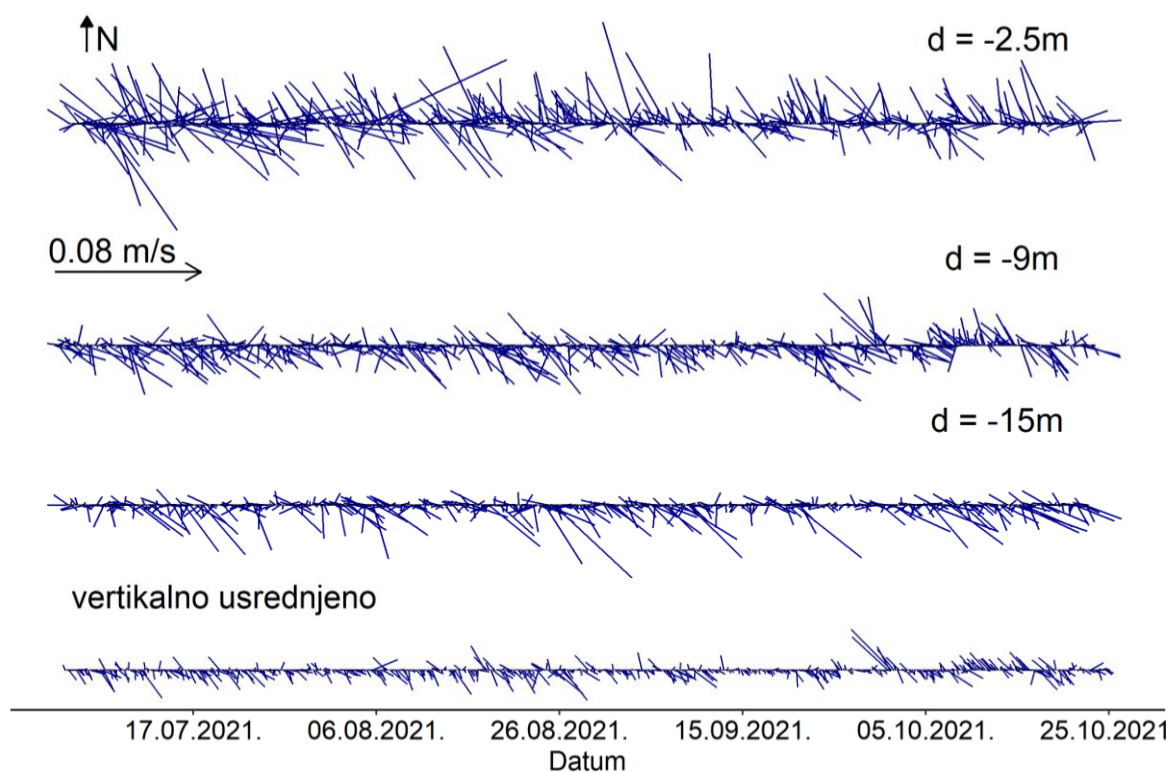
Slika 0-17 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u ljetnom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-R11 i dubinama -32, -16 i -4 [m] te vertikalno usrednjeno



Slika 0-18 Progresivni vektor dijagram u zimskom (lijevo) i ljetnom (desno) razdoblju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-R12 i dubinama -15, -9 i -2,5 [m] te vertikalno usrednjeno

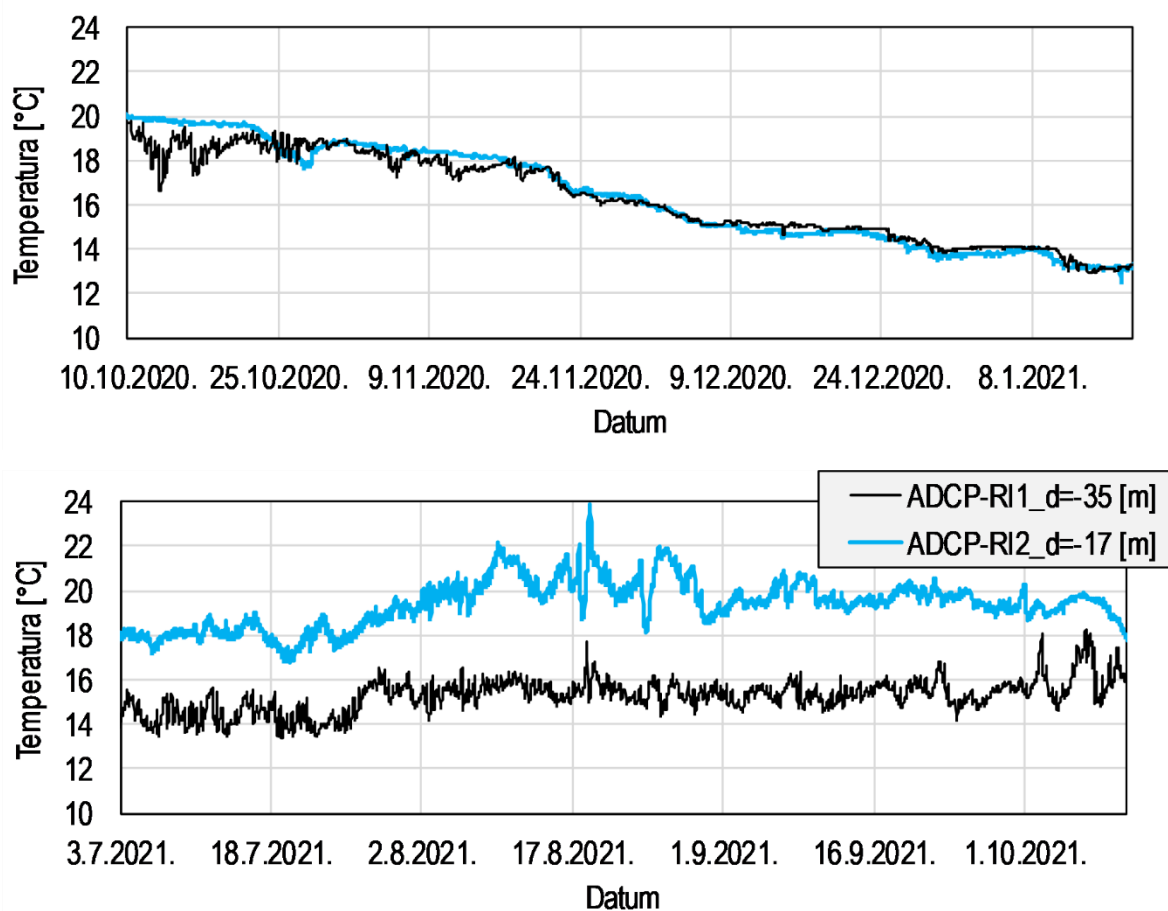


Slika 0-19 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u zimskom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-RI2 i -15, -9 i -2,5 [m] te vertikalno usrednjeno



Slika 0-20 Vremenski nizovi trosatnih vektora brzine morske struje na u ljetnom razdoblju na temelju mjerenja brzina strujanja na lokaciji ADCP-RI2 i dubinama -15, -9 i -2,5 [m] te vertikalno usrednjeno

B.II.ii. Temperatura i salinitet

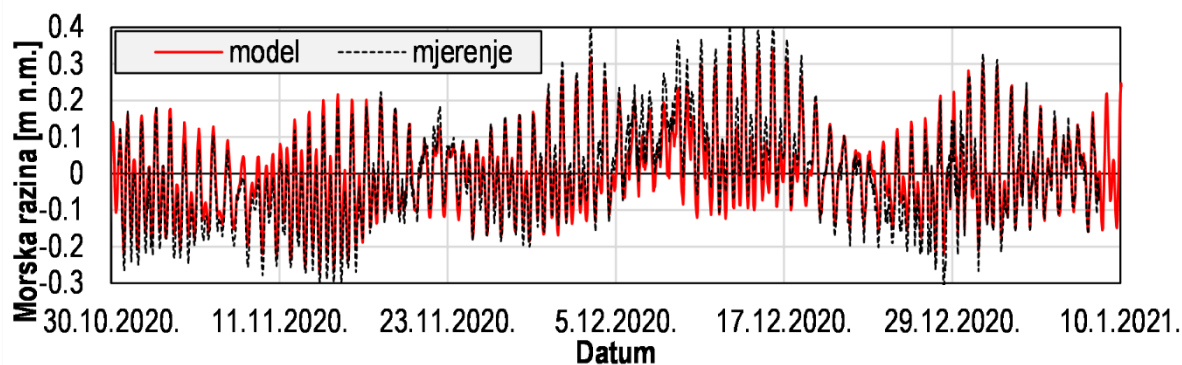


Slika 0-21 Vremenski nizovi temperature dobivene na lokacijama ADCP-RI1 i ADCP-RI2 za ZIMSKO (gore) i LJETNO (dolje) razdoblje mjerenja

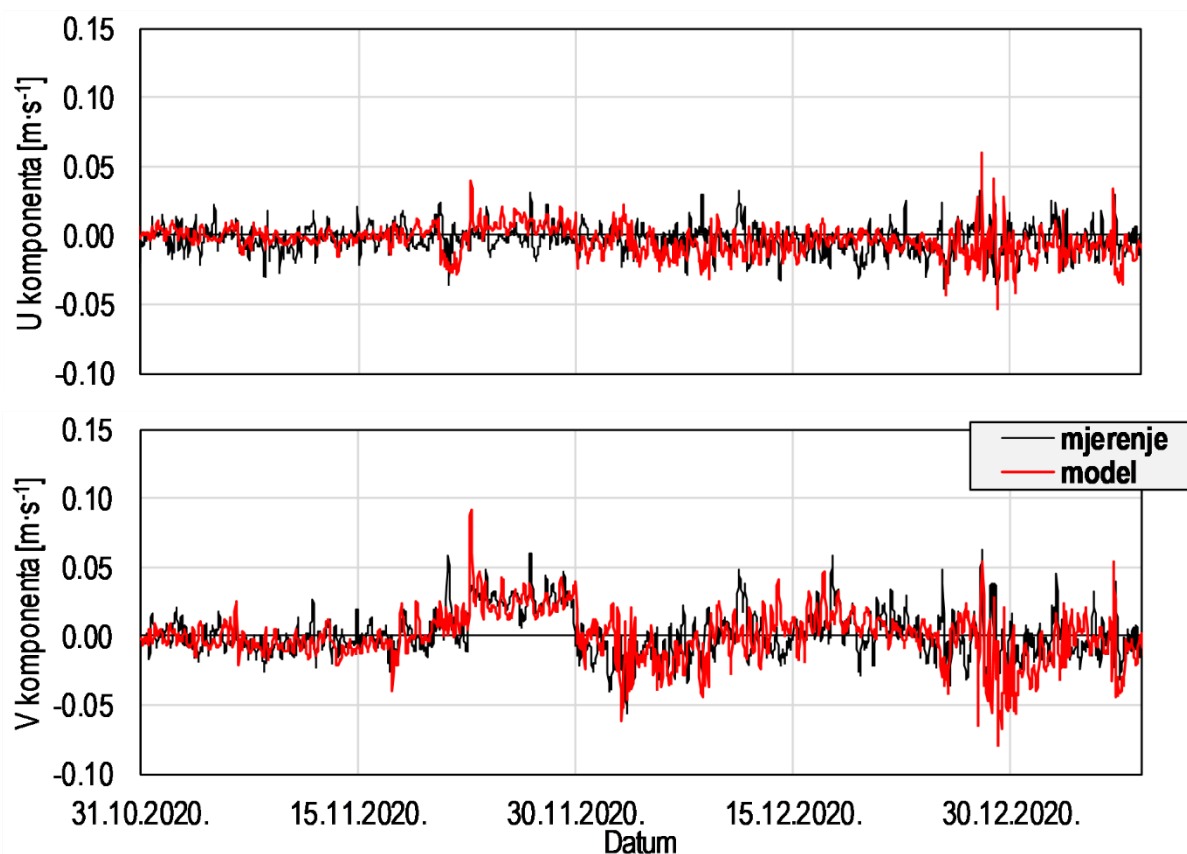
C. Rezultati obrade i analize simulacija hidrodinamičkih modela cirkulacije mora

C.I. Šire akvatorijalno područje luke Ploče

C.I.i. Kalibracija modela



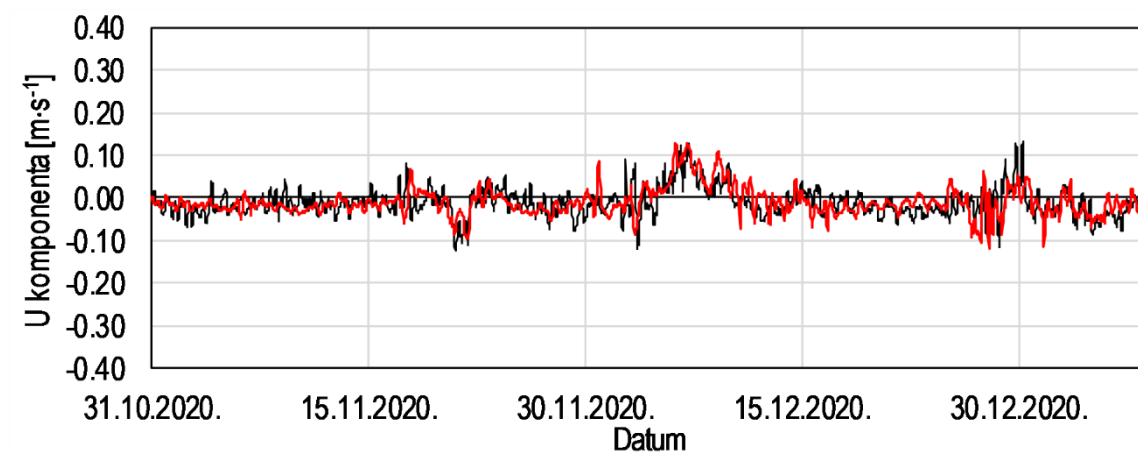
Slika 0-22 Usporedba izmjerenih i modeliranih vremenskih nizova promjene morske razine na lokacijama ADCP-PL1 u ZIMSKOM razdoblju

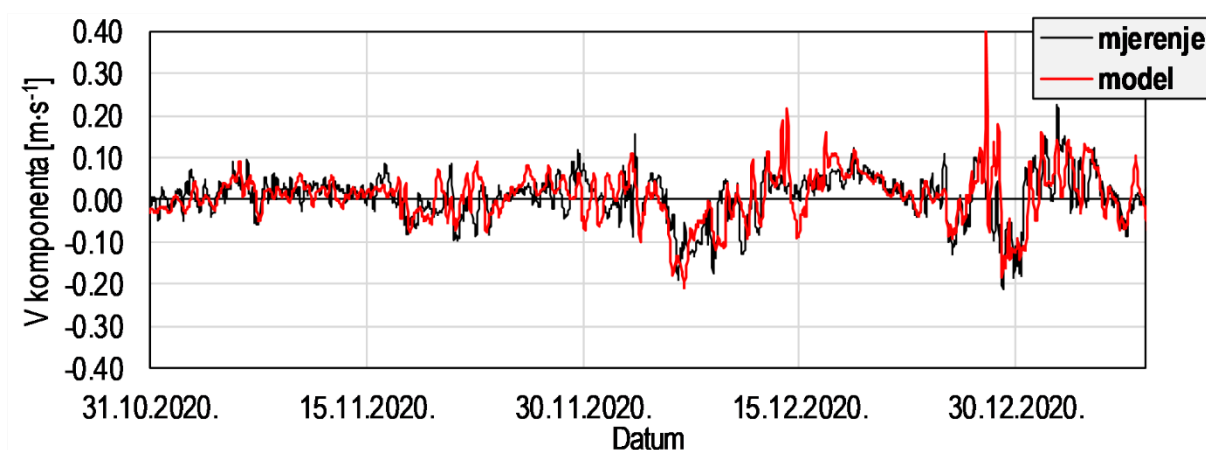


Slika 0-23 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -3 [m] za ZIMSKO razdoblje na poziciji ADCP-PL1

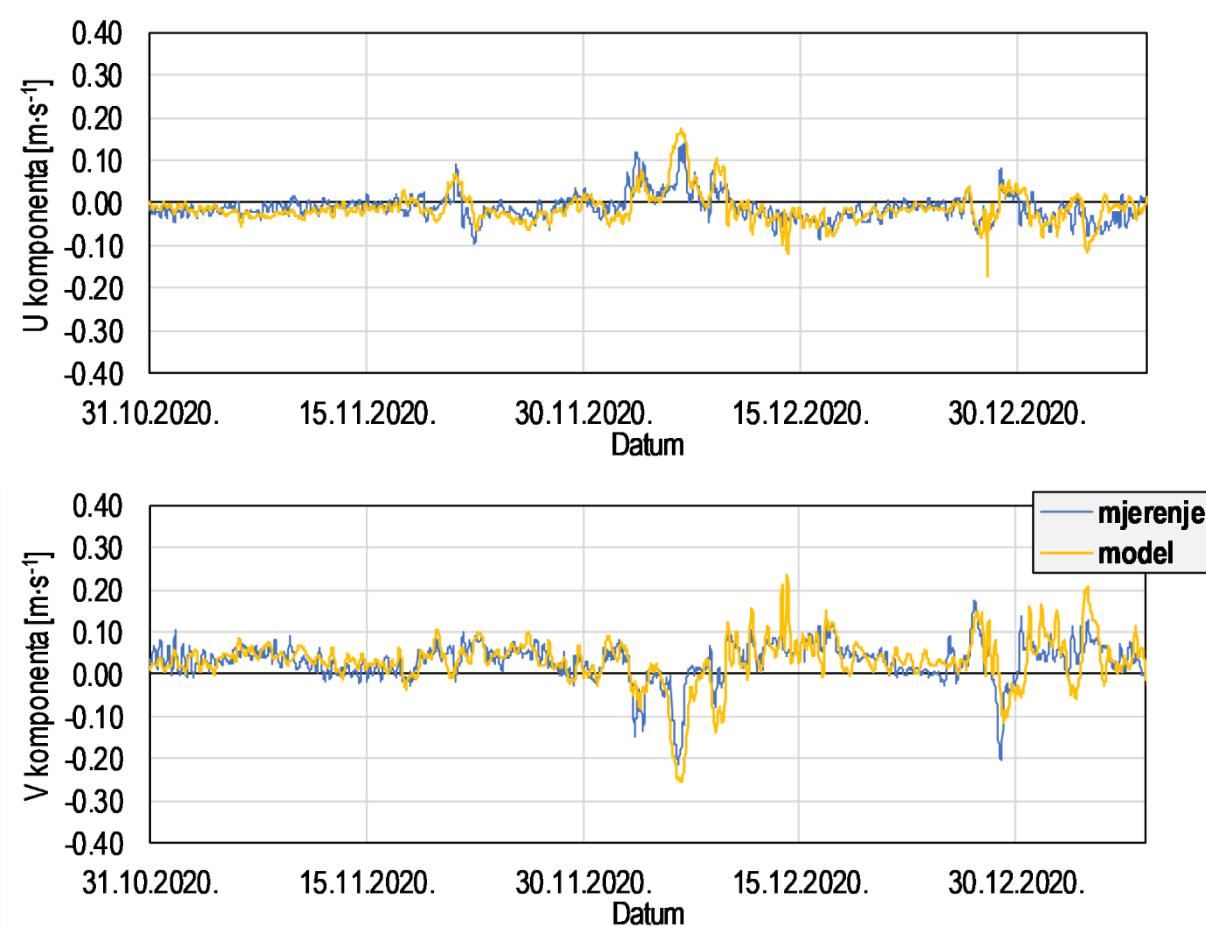


Slika 0-24 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -9 [m] za ZIMSKO razdoblje na poziciji ADCP-PL1

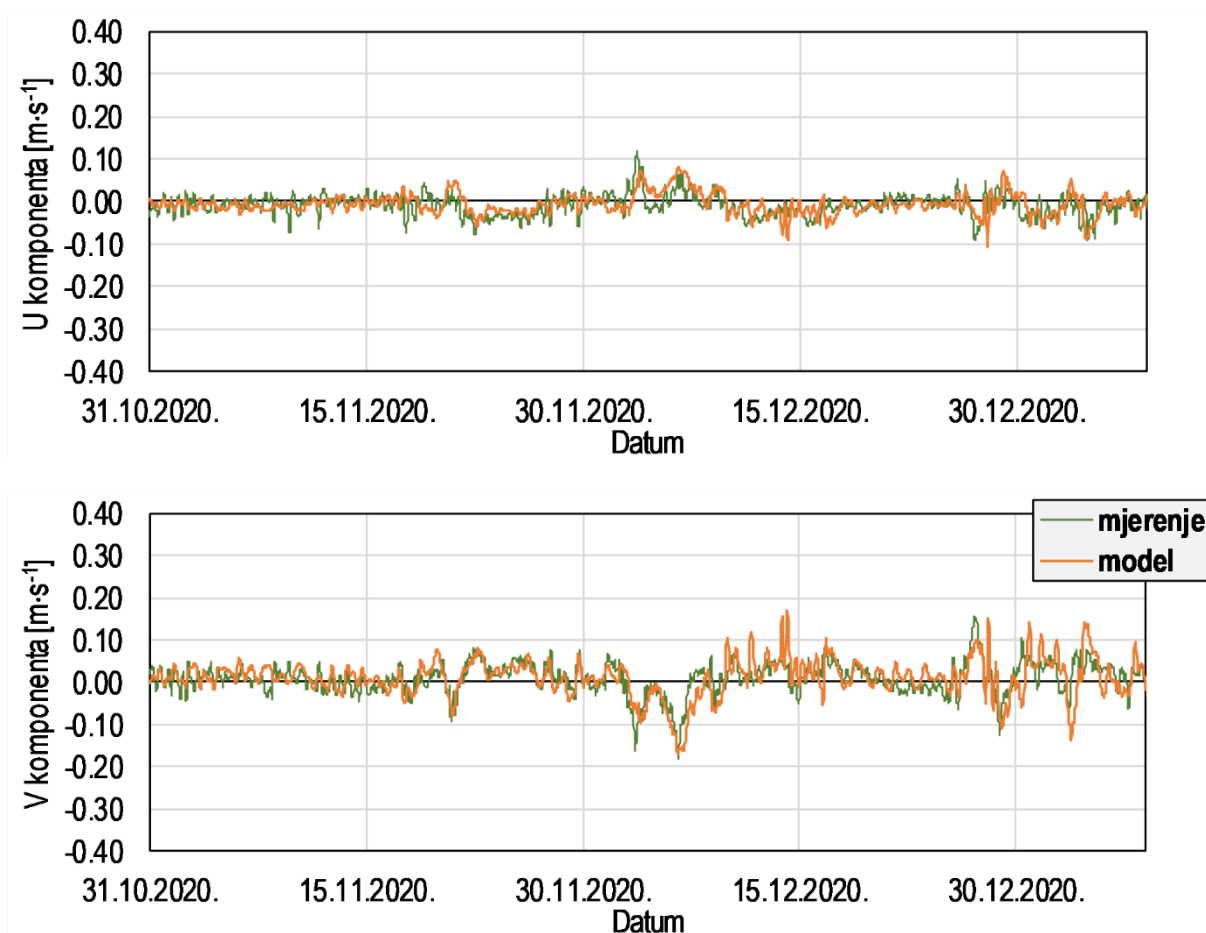




Slika 0-25 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -3 [m] za ZIMSKO razdoblje na poziciji ADCP-PL2

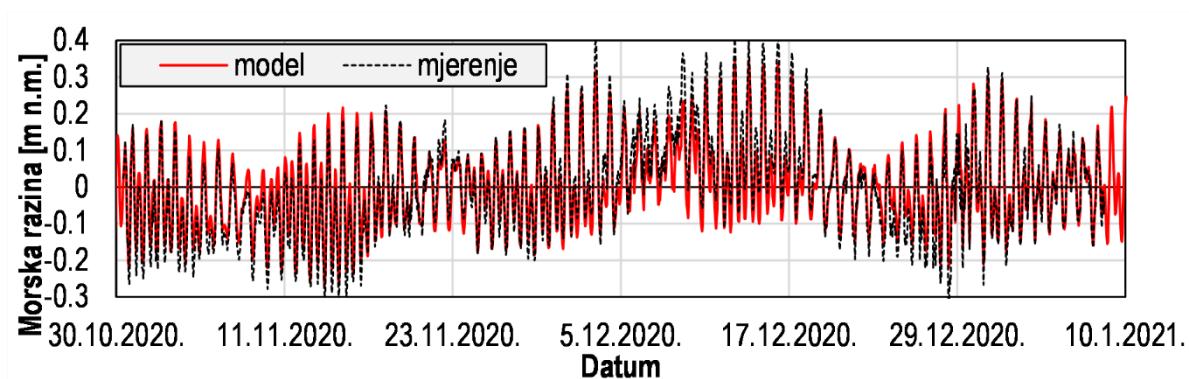


Slika 0-26 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -10 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-PL2

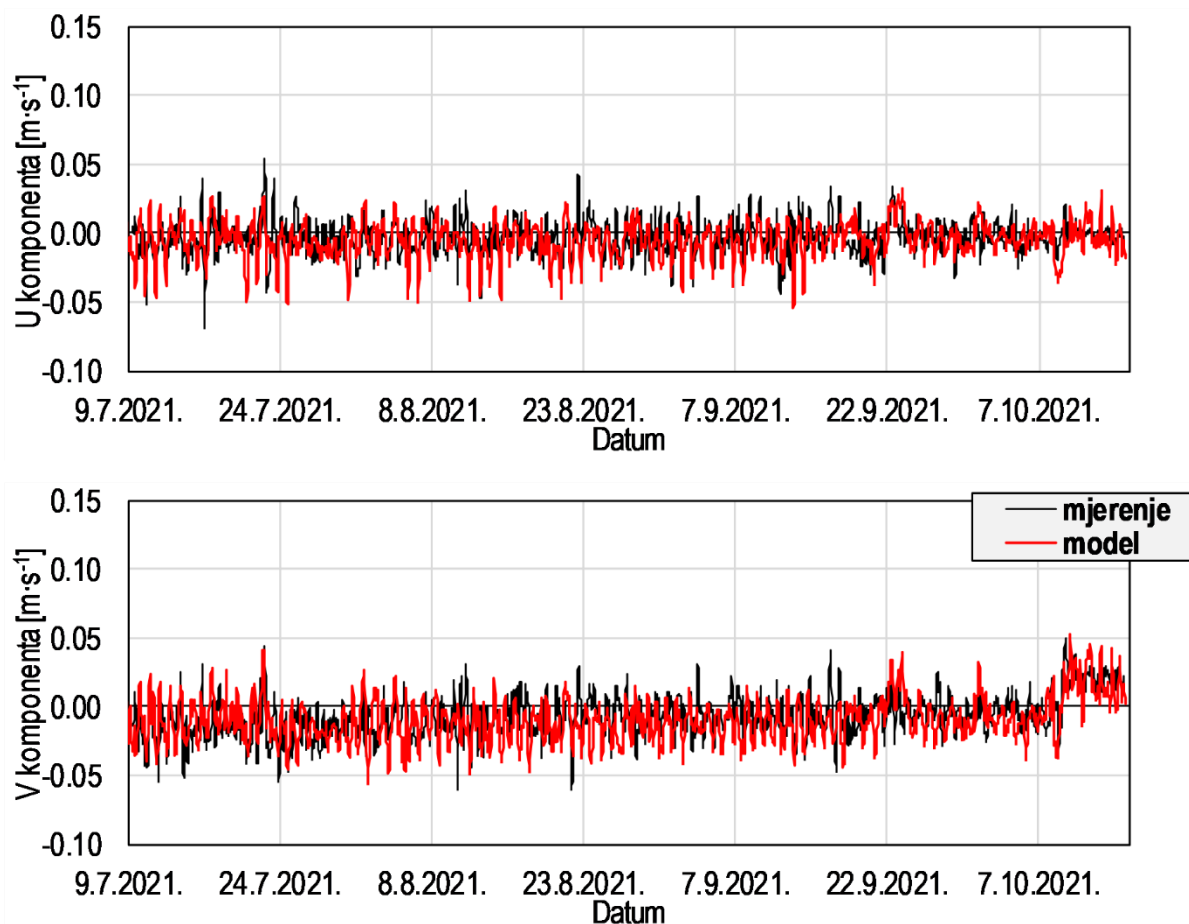


Slika 0-27 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -16 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-PL2

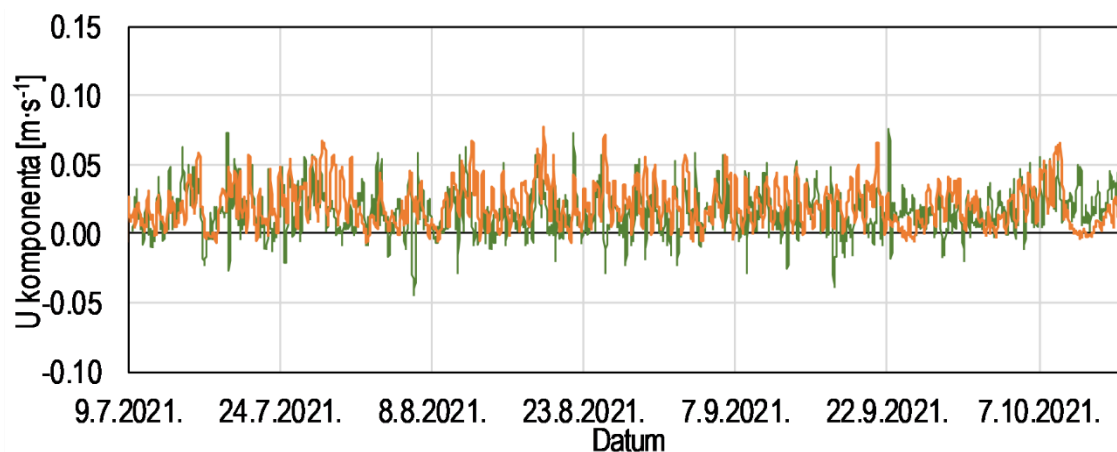
C.I.ii. Validacija modela

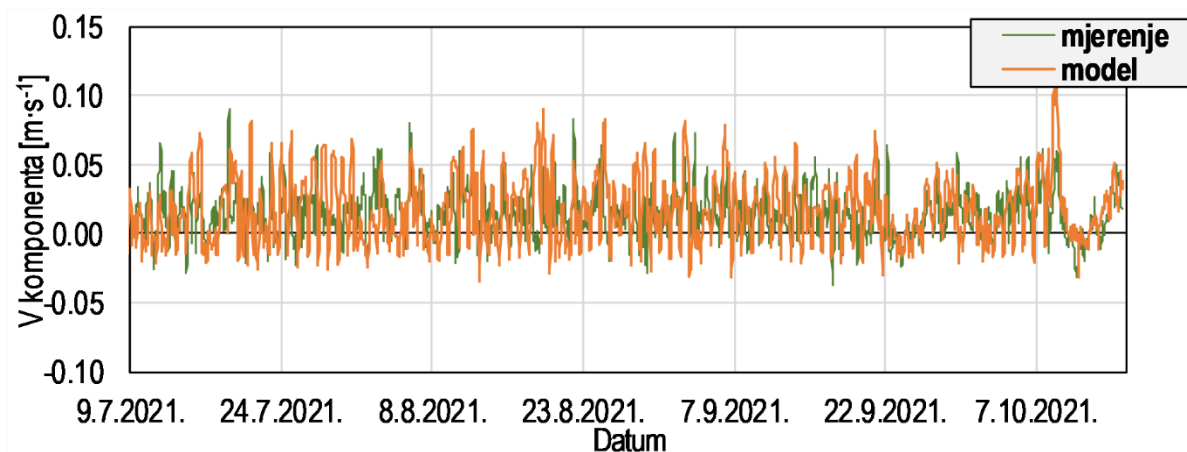


Slika 0-28 Usporedba izmjerenih i modeliranih vremenskih nizova promjene morske razine na lokacijama ADCP-PL1 u LJETNOM razdoblju

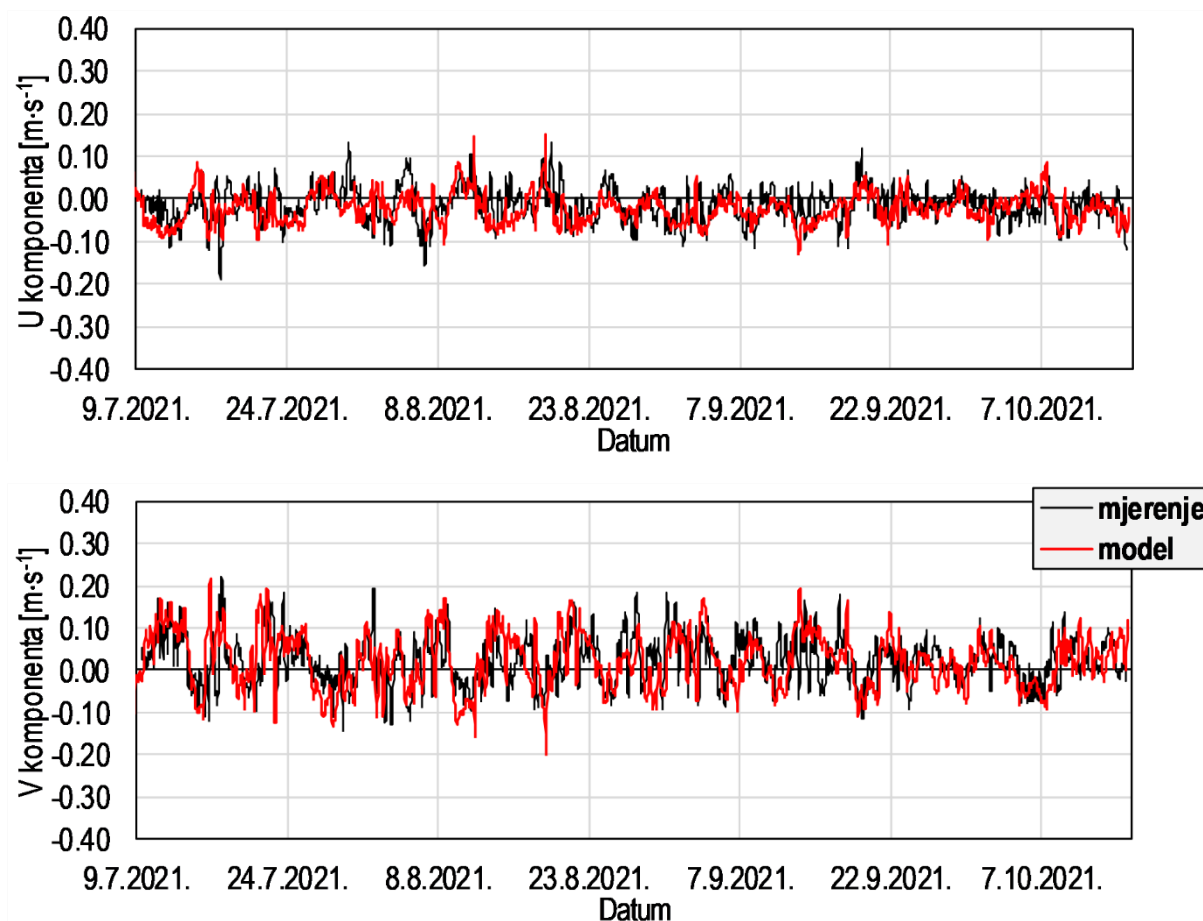


Slika 0-29 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -3 [m] za ljetno razdoblje na poziciji ADCP-PL1

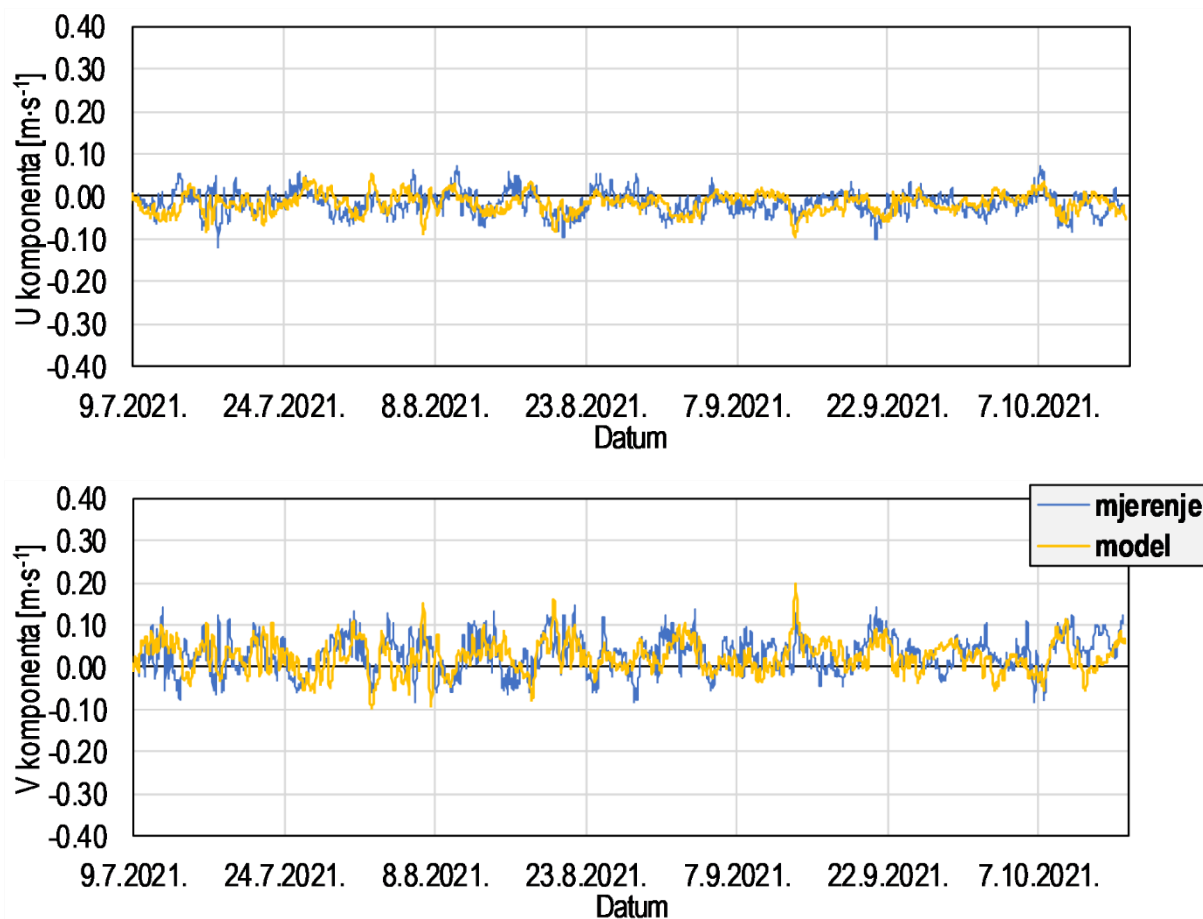




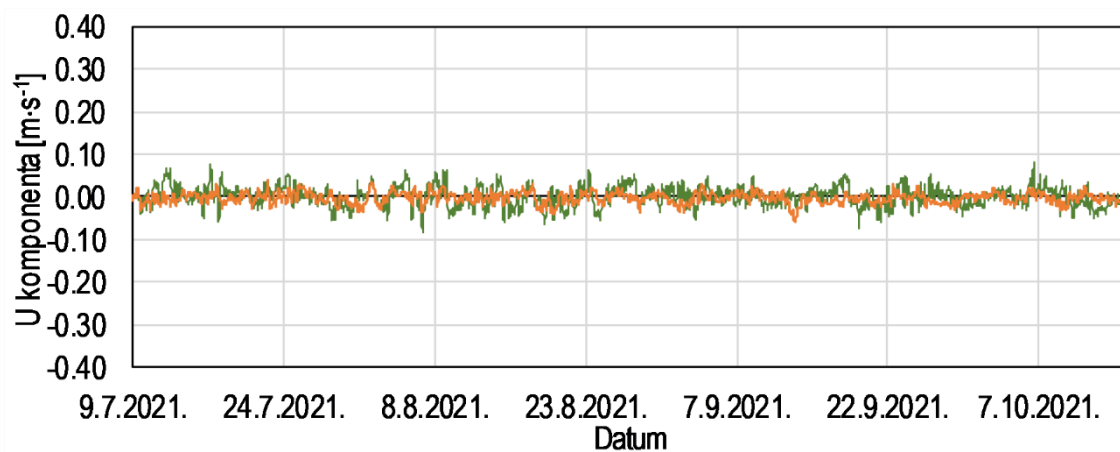
Slika 0-30 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -9 [m] za ljetno razdoblje na poziciji ADCP-PL1

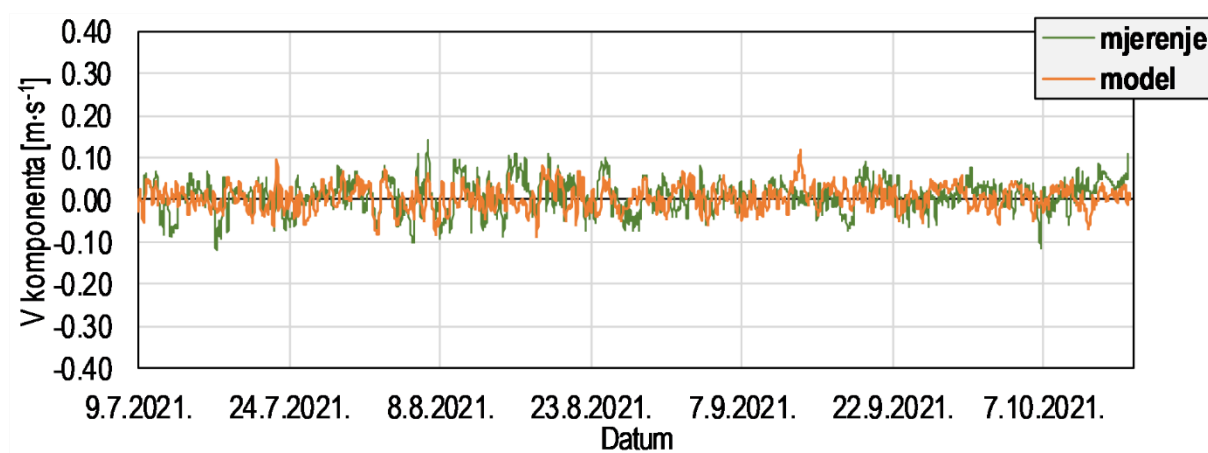


Slika 0-31 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -3 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-PL2



Slika 0-32 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -10 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-PL2

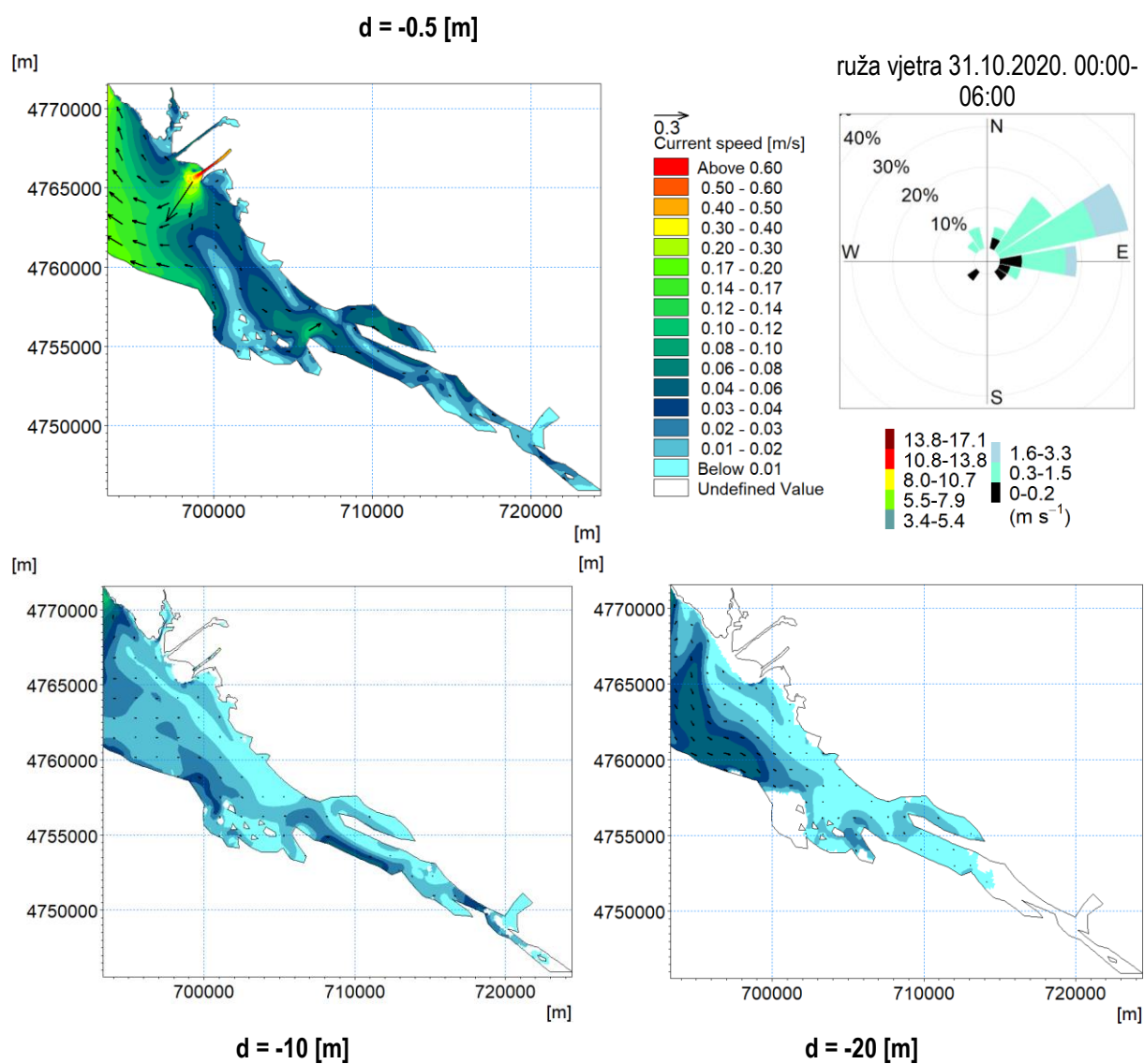




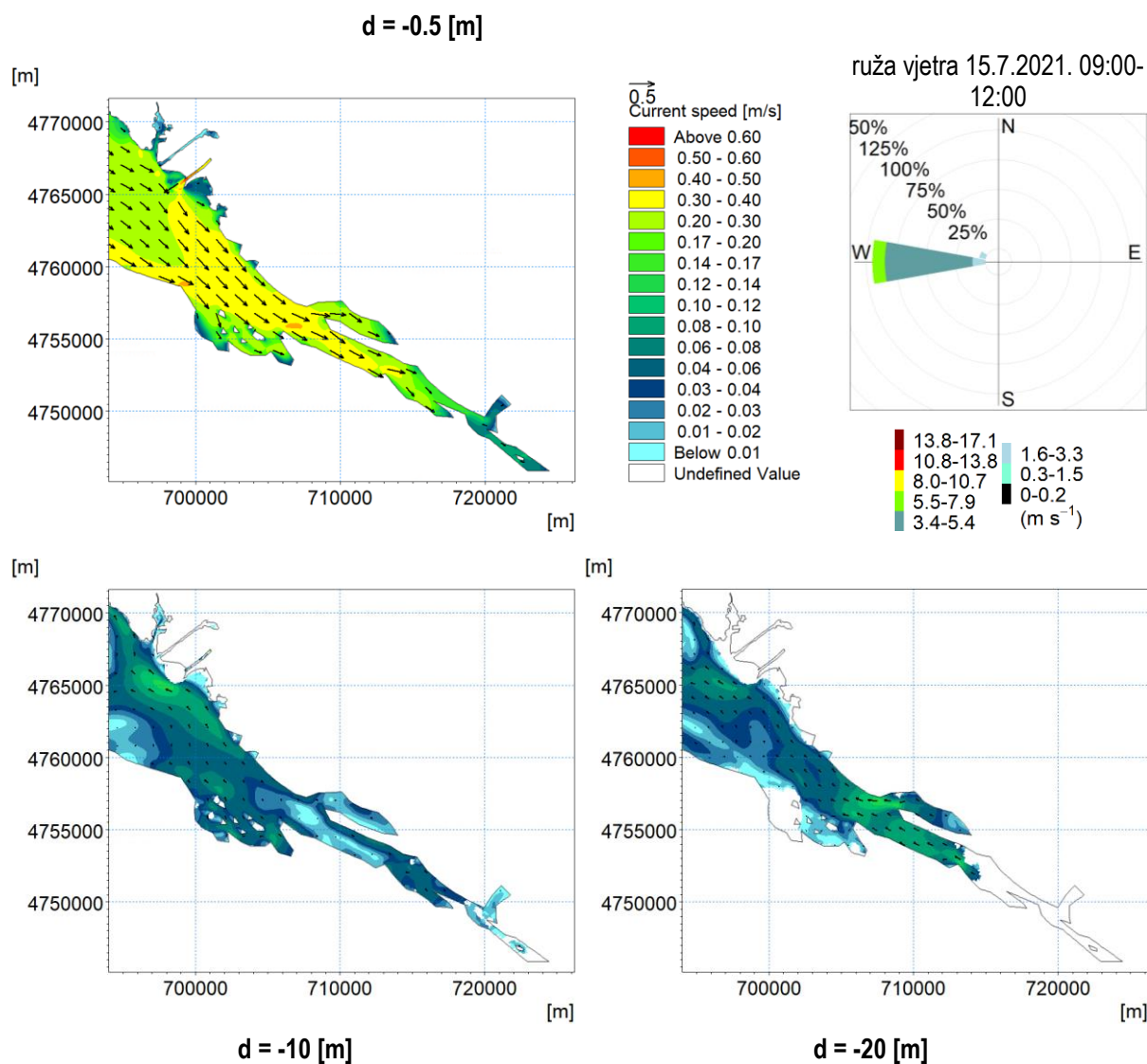
Slika 0-33 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -16 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-PL2

C.I.iii. Polja strujanja za karakteristične okolišne situacije

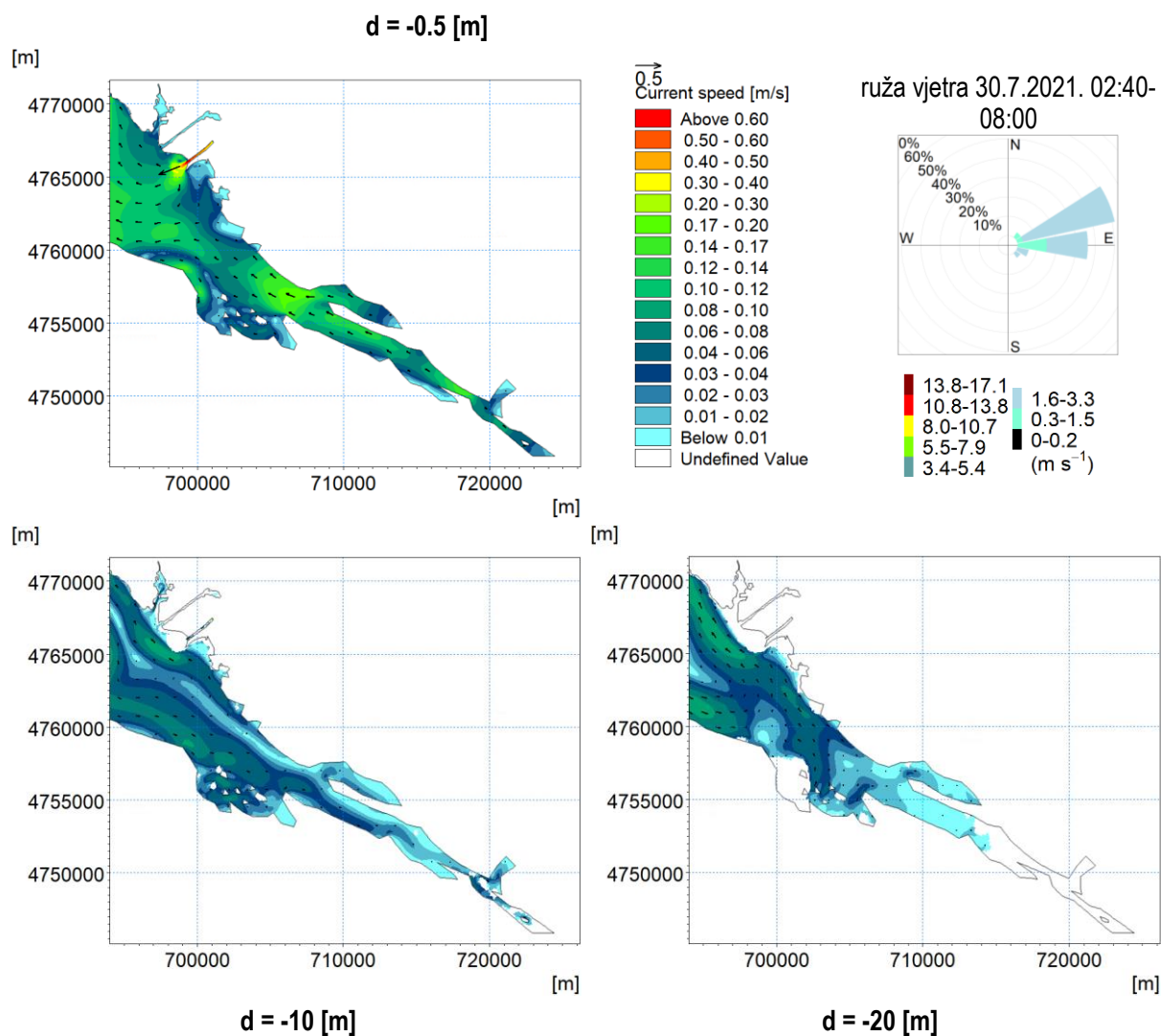
C.I.iii-1 Situacije prosječne cirkulacije mora



Slika 0-34 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera E, $v = 1,3 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 196,5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 3,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 30.10.2020. u 11:00 (polje prosječne cirkulacije u ZIMSKOM razdoblju)

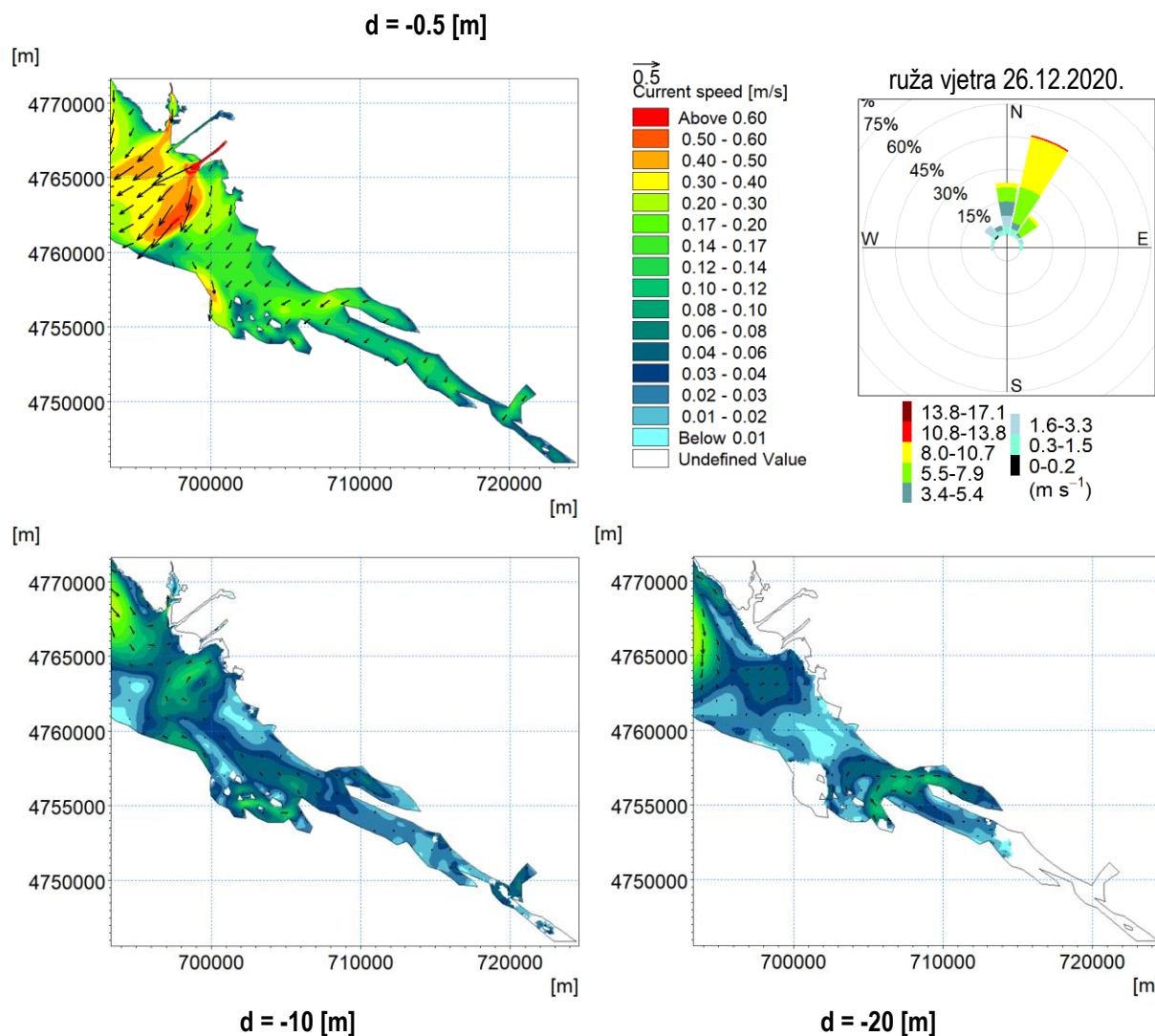


Slika 0-35 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera W, $v_{t50\%,W} = 4,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 138,5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 0,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 15.7.2021. u 12:00 (polje prosječne cirkulacije u LJETNOM razdoblju)

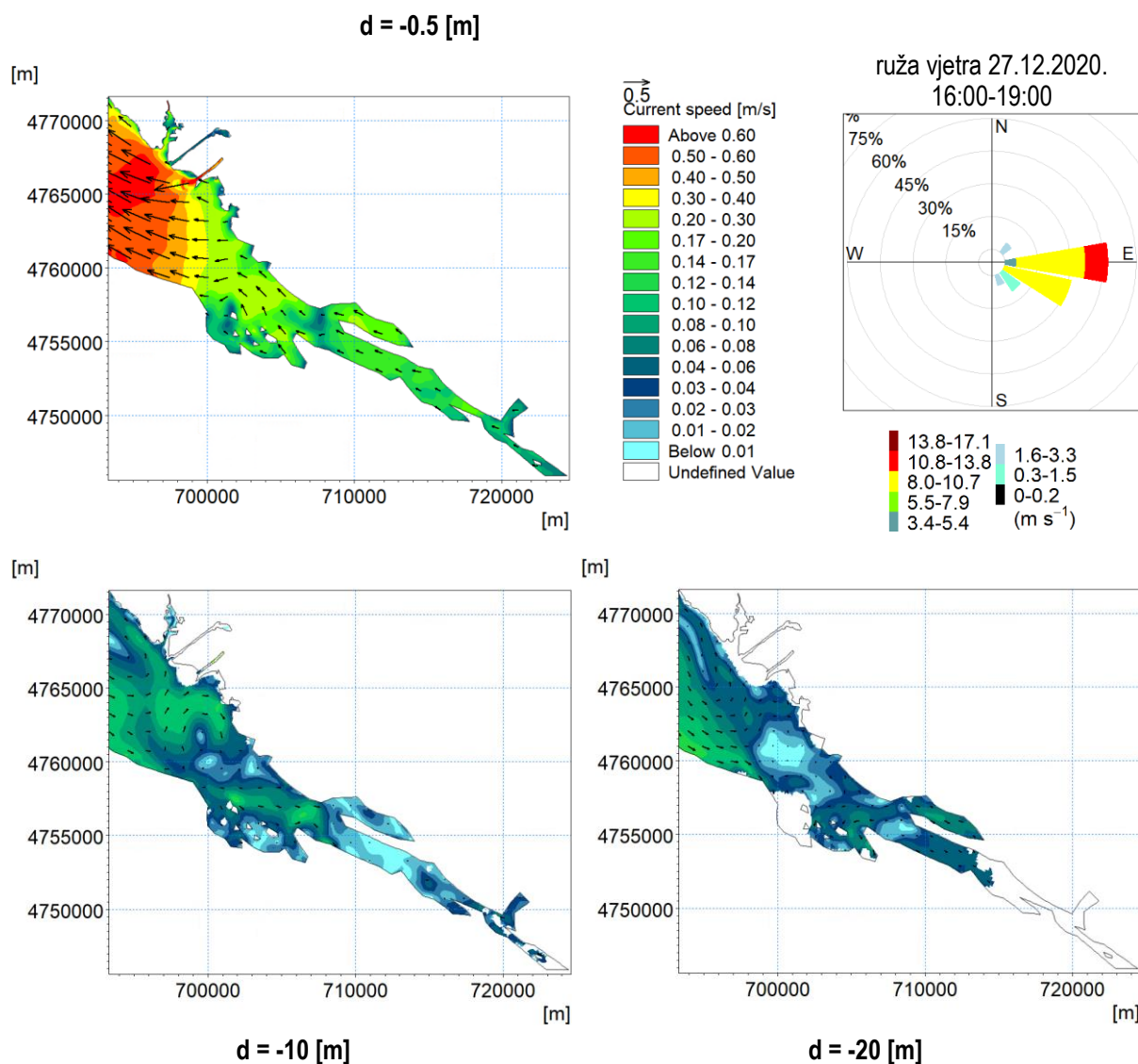


Slika 0-36 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera E, $v = 1,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 128,5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 0,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 30.7.2021. u 08:00 (polje prosječne cirkulacije u LJETNOM razdoblju)

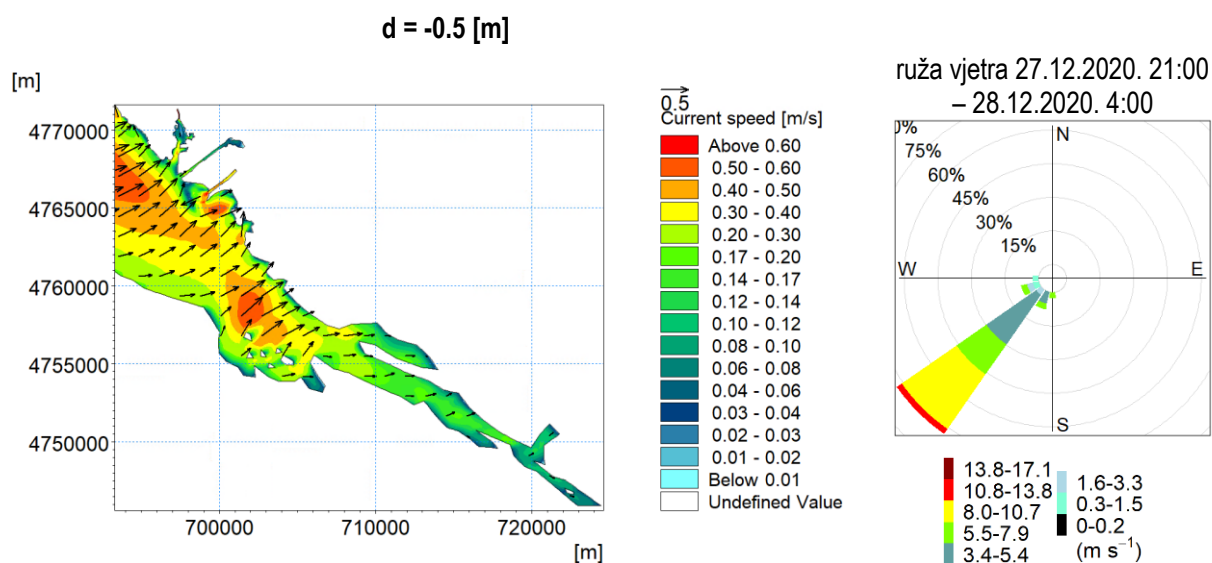
C.I.iii-2 Situacije intenzivne cirkulacije mora – polja strujanja pri koincidenciji djelovanja vjetra i značajnoga slatkovodnog dotoka

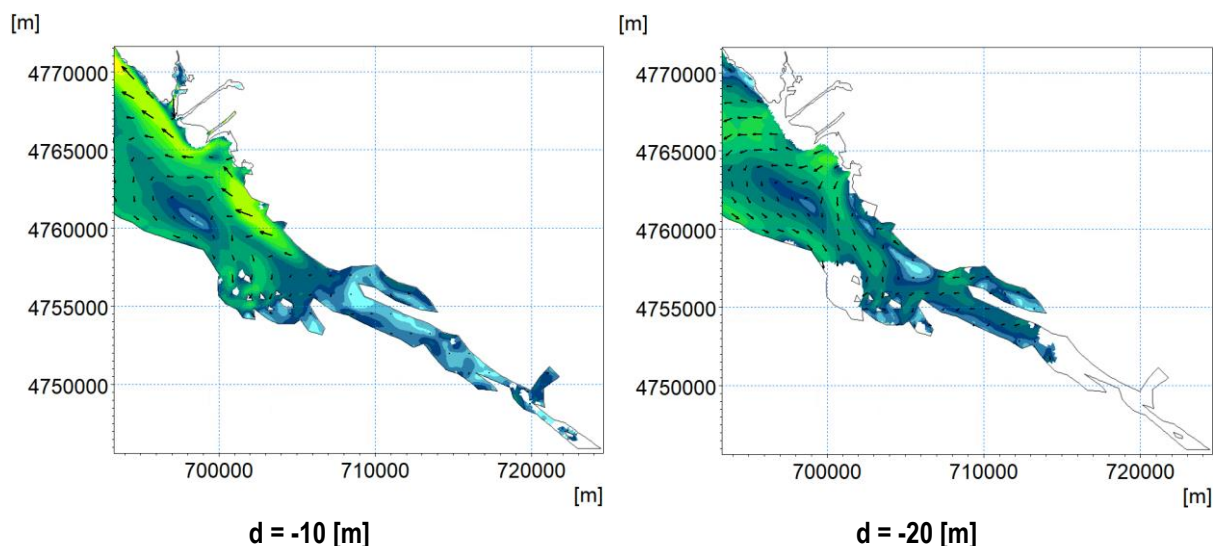


Slika 0-37 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera NNE, $v_{\max} = 10,8 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 577,6 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 54,3 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 26.12.2020. u 18:00

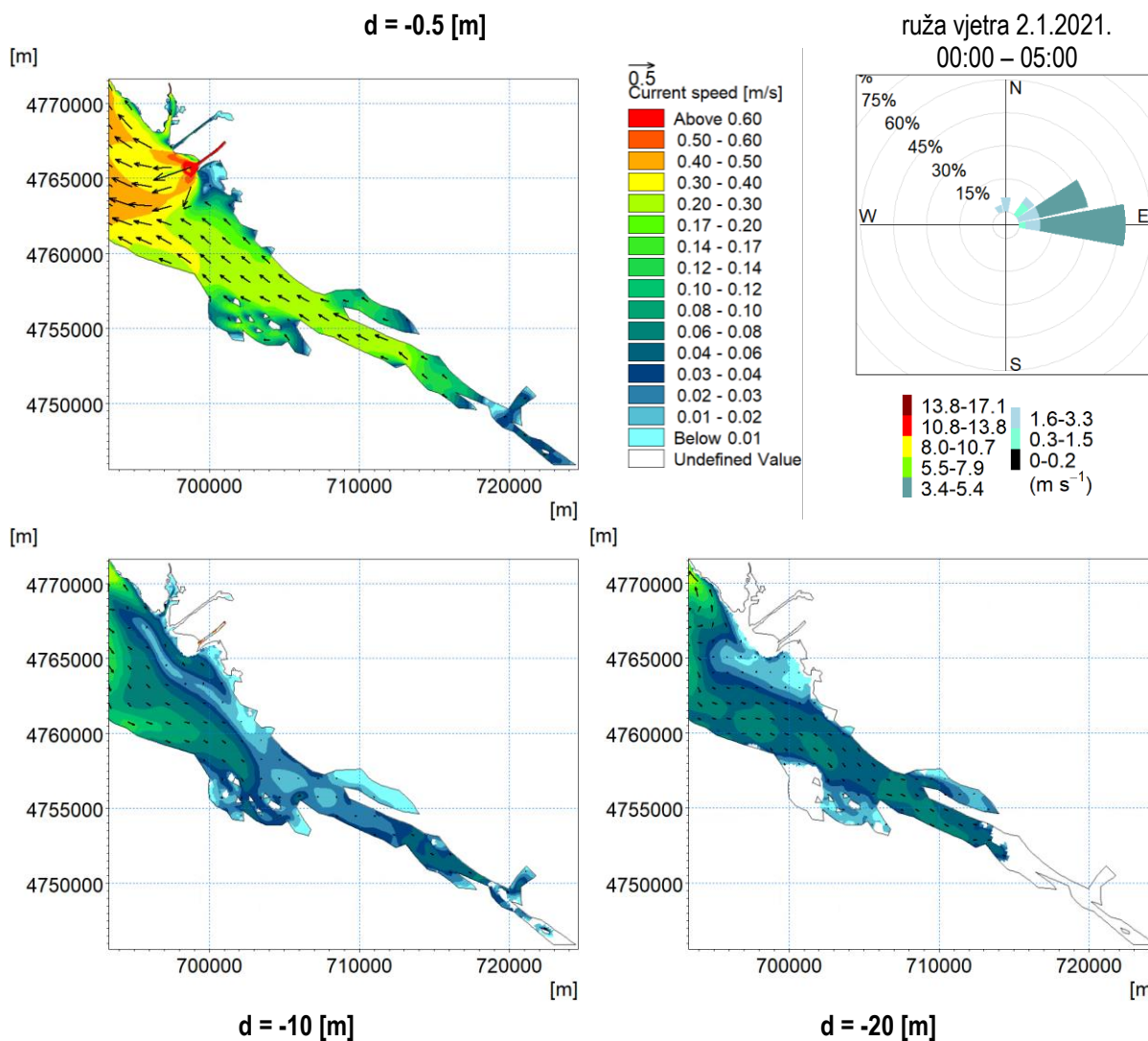


Slika 0-38 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera E, $v_{\max} = 12,9 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 542,5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 46,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 27.12.2020. u 18:00

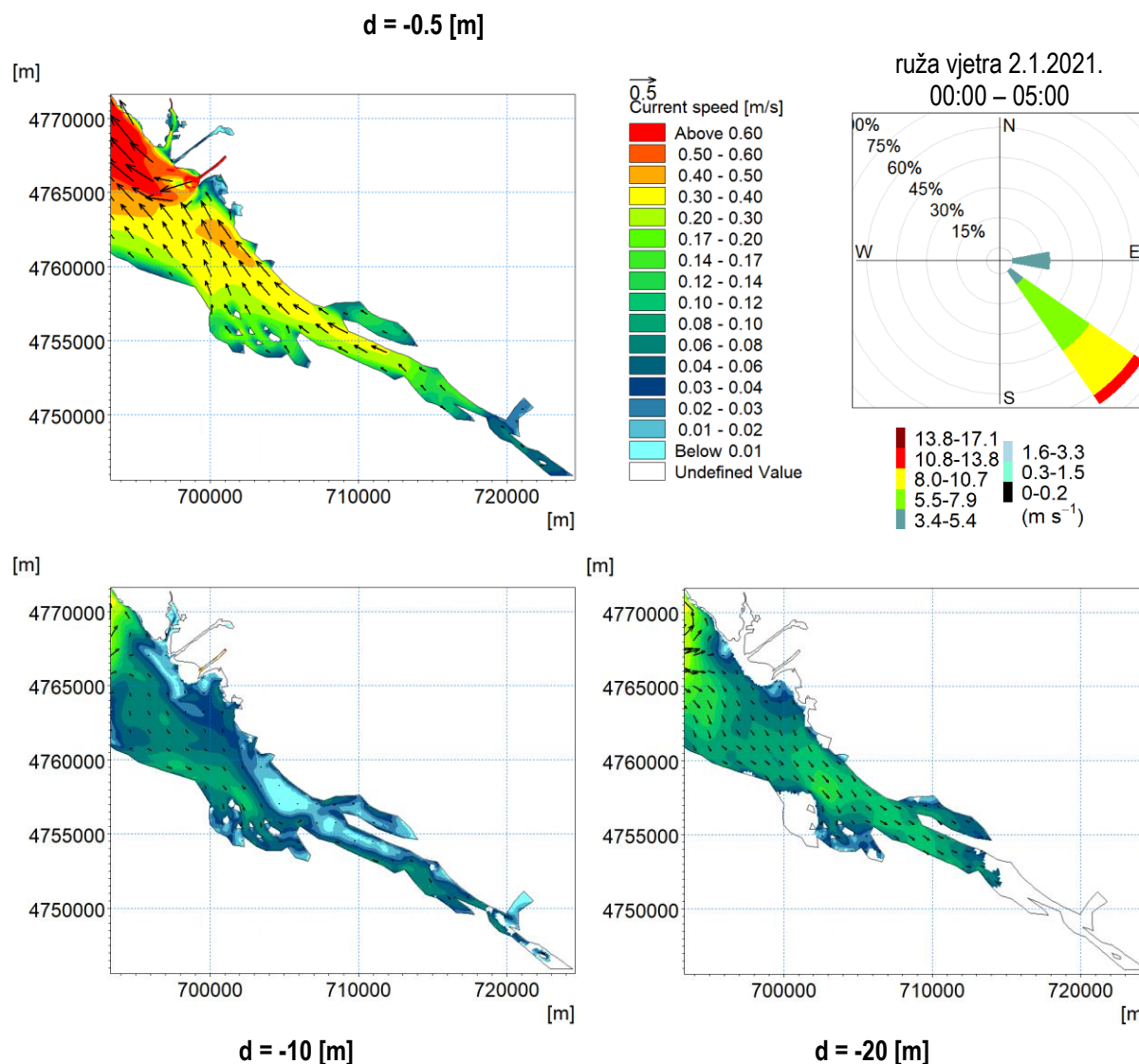




Slika 0-39 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera SW, $v_{\max} = 10,9$ [m·s⁻¹], $Q_{\text{Metković}} = 530,0$ [m³·s⁻¹], $Q_{\text{Šipak}} = 44,2$ [m³·s⁻¹] na datum 28.12.2020. u 00:00



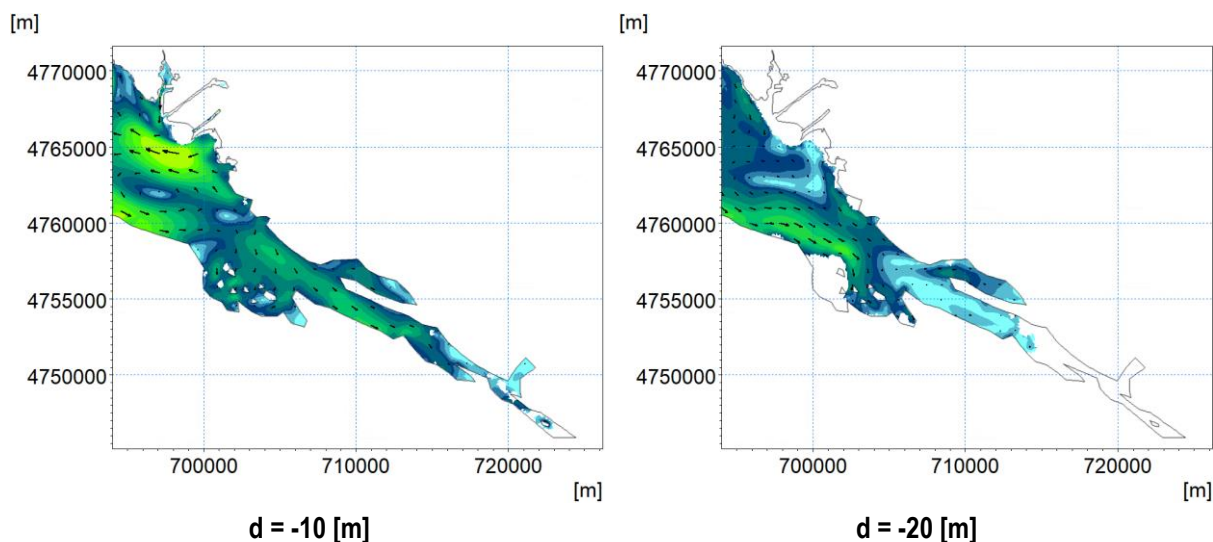
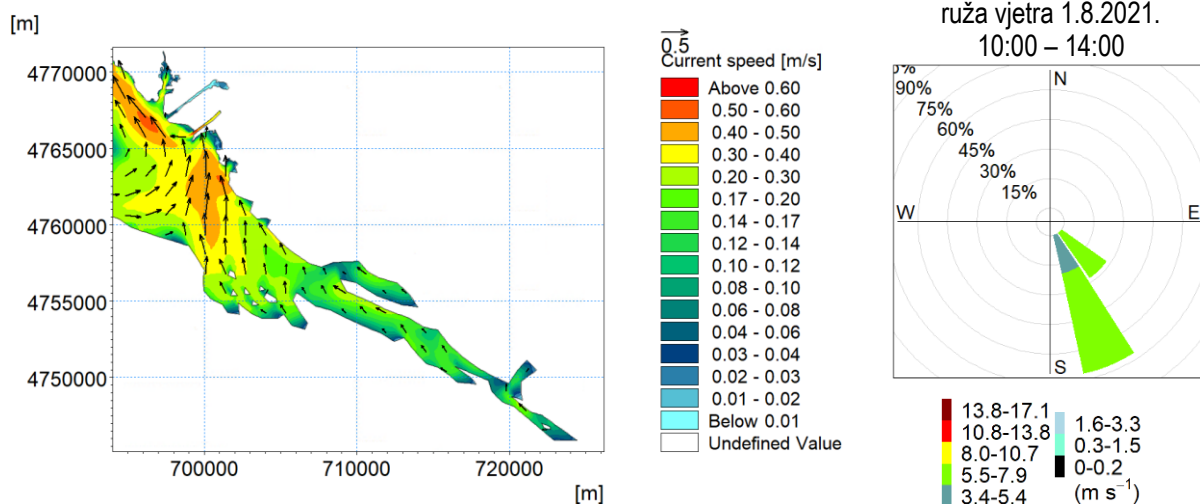
Slika 0-40 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera E, $v_{\max} = 4,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 1243,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 53,4 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 2.1.2021. u 02:00



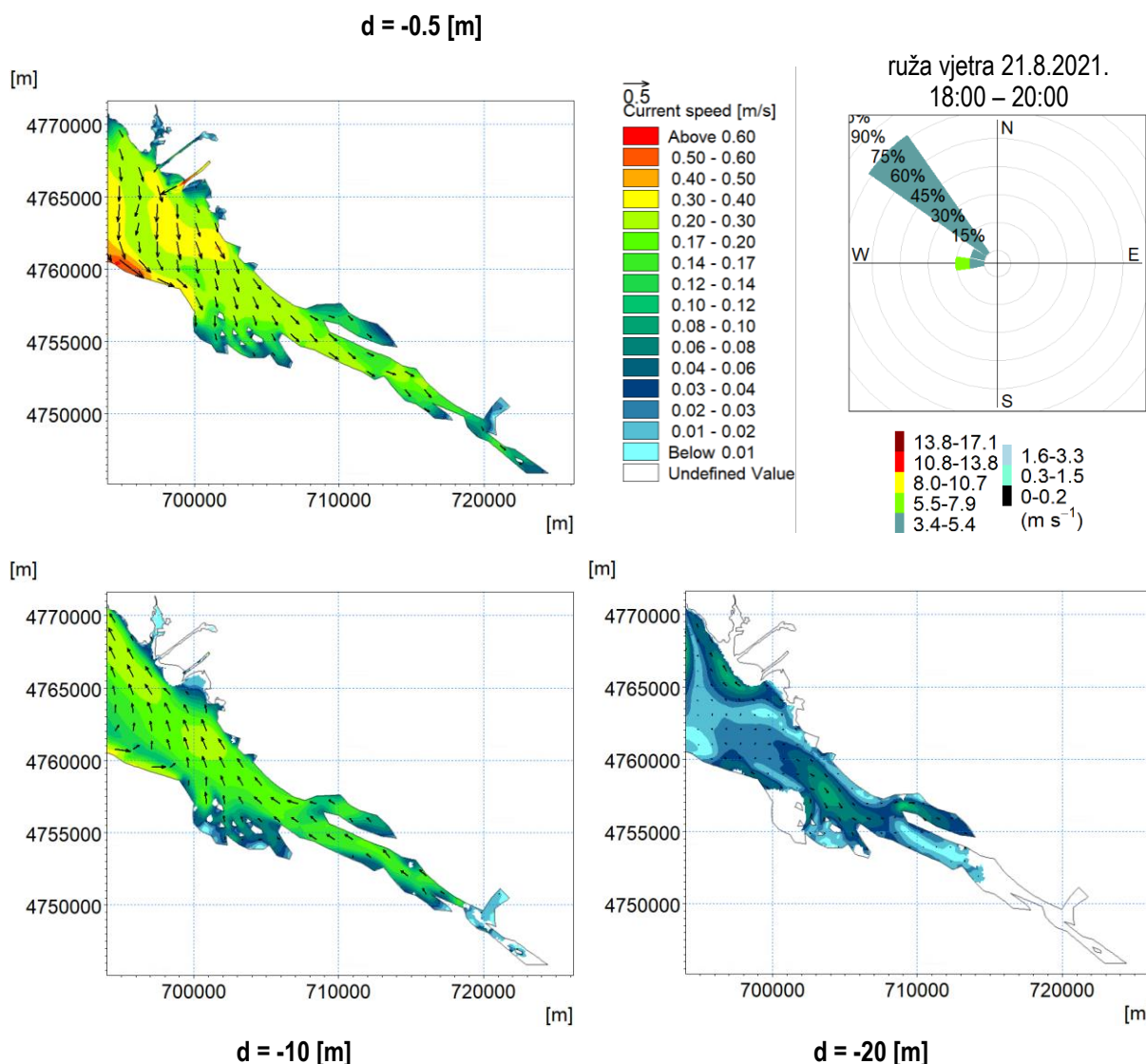
Slika 0-41 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera SE, $v_{\max} = 10,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 1078,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 53,6 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 2.1.2021. u 19:00

C.I.iii-3 Situacije intenzivne cirkulacije mora – polja strujanja za dominantno djelovanje vjetra bez značajnoga slatkovodnog dotoka

$d = -0.5$ [m]



Slika 0-42 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera SSE, $v_{max} = 7,7$ [$m \cdot s^{-1}$], $Q_{Metković} = 130,6$ [$m^3 \cdot s^{-1}$], $Q_{Šipak} = 0,0$ [$m^3 \cdot s^{-1}$] na datum 1.8.2021. u 13:00



Slika 0-43 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore lijevo), -10 (dolje lijevo) i -20 [m] (dolje desno) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera NW, $v_{\max} = 5,3 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Metković}} = 126,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$, $Q_{\text{Šipak}} = 0,0 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 21.8.2021. u 19:00

U nastavku će se dati komentar na prikazana polja strujanja na području predmetne domene za karakteristične okolišne uvjete (djelovanje vjetra i slatkovodni dotok). Intenzivni NNE-NE vjetrovi te mali protoci iz Bačinskih jezera i rijeke Neretve (Slika 5-11) uzrokuju strujanje u površinskom sloju dominantno s istočne prema zapadnoj obali kanala. Slatkovodni dotok u ovome slučaju nadvladan je djelovanjem vjetra koji, pri takvim okolišnim uvjetima, predstavlja dominantni generator intenzivne površinske cirkulacije. Povećanjem dubine strujna se slika značajno mijenja pri čemu se u središnjem sloju (-10 [m]) može očekivati pojava vrtloga južno od samoga ušća Neretve, a približavanjem morskome dnu može se očekivati cirkulacija u SE smjeru (prema Malom moru i Malostonskom zaljevu). U zatvorenom dijelu luke Ploče pri ovim je okolišnim uvjetima dominantno iznošenje morske mase u površinskom sloju prema smjeru SW dok se pri dnu smjer strujanja mijenja u NE što je u suglasju s analizom rezultata terenskih mjerenja na lokaciji ADCP-PL1 (Slika 0-9). Utvrđeno je da se opisani uvjeti cirkulacije mogu očekivati pri pojavi N, NNE i NE vjetrova od 5-6 [Bf], tj. u rasponu između 7,9 i 13,8 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] koji se javljaju otprilike 3 dana godišnje (učestalost od 0,8%) u jesenskom razdoblju.

Nadalje, pri istom smjeru i intenzitetu vjetra te pojavi značajnijeg slatkovodnih dotoka (Slika 0-37) u površinskom se sloju može očekivati isti smjer i veće brzine morskih struja u odnosu na prethodno opisanu situaciju kada djelovanje vjetra dominira. Na području domene SE gdje je uočen utjecaj slatkovodnoga dotoka na dubinama -10 i -20 [m] zamjetno je smanjenje brzina u pridnenom sloju. U zatvorenom dijelu luke Ploče dolazi do iznošenja morske mase u površinskom sloju u smjeru SW, a u pridnenom u smjeru NE. Ovakva se cirkulacija može očekivati jednako učestalo kao što je ranije opisano, tj. otprilike 3 dana godišnje.

Djelovanje vjetra iz smjera ESE-E-ENE uzrokuje dominantno strujanje u površinskom sloju u smjeru NW koji se mijenja povećanjem dubine u smjer SE na čitavoj domeni pri čemu se najveće brzine formiraju po širini čitavoga Neretvanskog kanala zapadno od luke Ploče. U zatvorenom dijelu luke dolazi do iznošenja morske mase u površinskom sloju u smjeru SW, a u pridnenom se strujanje odvija u NE smjeru pri čemu su generalno brzine strujanja manje u odnosu na prisutnost vjetra iz smjera N-NNE-NE. Rezultati simulacija ukazali su na to da intenzivni vjetrovi (5 [Bf]) iz smjera ESE-E-ENE koincidiraju sa značajnijim slatkovodnim dotokom u zimskom razdoblju te se cirkulacija generiran pri takvim okolišnim uvjetima očekuje jedan dan u godini (Slika 0-37, Slika 0-38). Generalno, utvrđeno je da je ovaj smjer vjetra dominantno određuje smjer cirkulacije na području predmetne domene za brzine veće od otprilike 3,5 [m·s⁻¹] dok prisustvo značajnijeg slatkovodnog dotoka ima utjecaj uglavnom na povećanje brzine strujanja mora isključivo u površinskom sloju. Stoga, polje cirkulacije mora pri puhanju vjetra iz smjera ESE-E-ENE, opisano na početku paragrafa, može se očekivati otprilike 8 dana godišnje, no s najvećim brzinama u zimskom razdoblju.

Djelovanje vjetra iz smjera SE pokazuje sličan obrazac cirkulacije kao što je slučaj sa smjerovima ESE-E-ENE uz razliku što se veće brzine generiraju bliže istočnoj obali. Najveće brzine strujanja mora očekuju se u zimskom razdoblju kada često dolazi do koincidencije sa značajnim slatkovodnim dotokom (Slika 0-41), a takvi se okolišni uvjeti i intenzivna cirkulacija očekuje otprilike 1 dan u godini. Na temelju pregleda polja strujanja mora uslijed djelovanja vjetra iz smjerova SSE-S (Slika 5-13, Slika 0-42) može se utvrditi da je smjer morske struje istovjetan po dubinama za oba simulacijska razdoblja na većem dijelu prostorne domene. Brzina strujanja veća je u zimskom razdoblju s obzirom na to da tada vladaju intenzivniji okolišni uvjeti što je najviše izraženo u površinskom sloju. U zatvorenom dijelu luke Ploče dolazi do pojačanog strujanja u smjeru NE u površinskom sloju, a povećanjem dubine smjer se mijenja u SW. Na ovome se dijelu domene veće brzine javljaju u ljetnom razdoblju zbog odsustva slatkovodnoga dotoka iz Baćinskih jezera. Ovakvi se okolišni uvjeti očekuju 1 dan u godini.

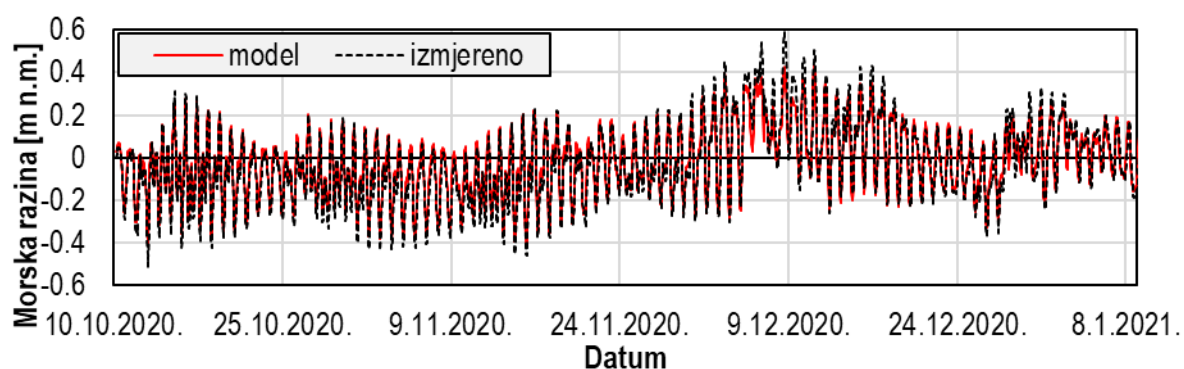
Intenzivni vjetar iz smjera SSW-SW očekuje se uglavnom u zimskom razdoblju u kombinaciji sa značajnim slatkovodnim dotokom, a strujanje mora na čitavoj domeni odvija se u smjeru NE u površinskom sloju (Slika 0-39). U zatvorenom dijelu luke Ploče povećanjem dubine dolazi do strujanja u smjeru SW. U Neretvanskom je kanalu uočljivo formiranje struje u smjeru NW pri dubini od -10 [m] koja se koncentrira uz istočnu obalu dok se uza zapadnu obalu strujanje postepeno mijenja u SE smjer koji ostvaruje u potpunosti na dubini -20 [m]. Ovakvi se okolišni uvjeti i cirkulacija očekuje 1 dan u godini.

Posljednja kategorija vjetrova odnosi se na smjerove WSW-W-WNW-NW-NNW koji generalno formiraju slična polja cirkulacije u Neretvanskom kanalu, a karakterizira ih površinsko strujanje u smjeru SE te se mijenja u NW smjer povećanjem dubine (Slika 5-12, Slika 0-43). Intenzivni vjetrovi (> 5 [Bf]) zabilježeni su samo za W smjer te se mogu očekivati 1 dan u godini. U zatvorenom dijelu luke Ploče pri pojavi vjetrova WSW-W-WNW može se očekivati dominantno površinsko strujanje u smjeru NE što se povećanjem

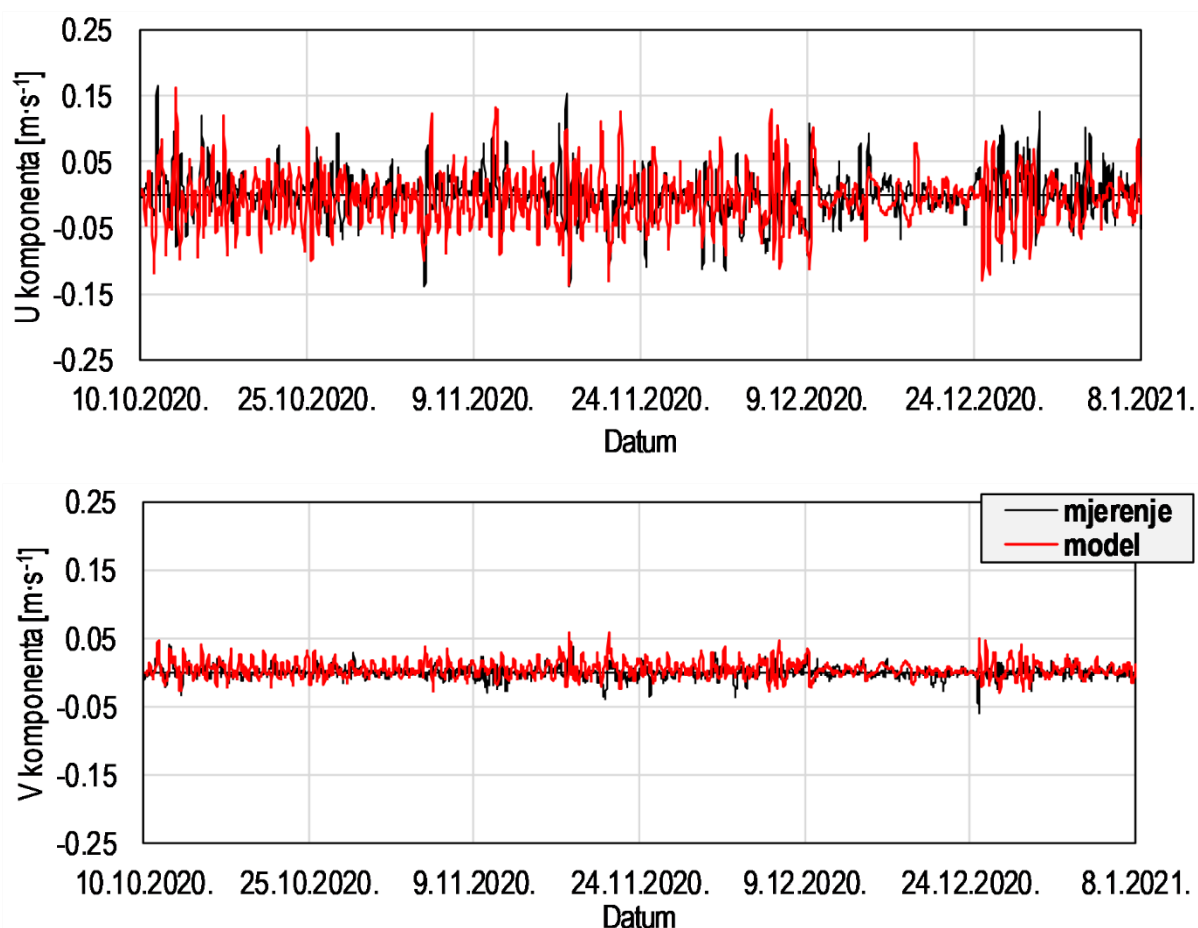
dubine mijenja u SW. Situacija je obratna pri pojavi NW-NNW vjetrova gdje pri površini dolazi do iznošenja morske mase izvan ovog dijela domene (smjer SW) dok se povećanjem dubine smjer mijenja u NE. S obzirom na to da se pojava ovih vjetrova formira ranije opisano polje cirkulacije čak i pri manjim brzinama puhanja (otprilike 3 [Bf]), ovakvi se okolišni uvjeti mogu očekivati 32 dana u godini i to uglavnom u ljetnom razdoblju.

C.II. Luka Rijeka

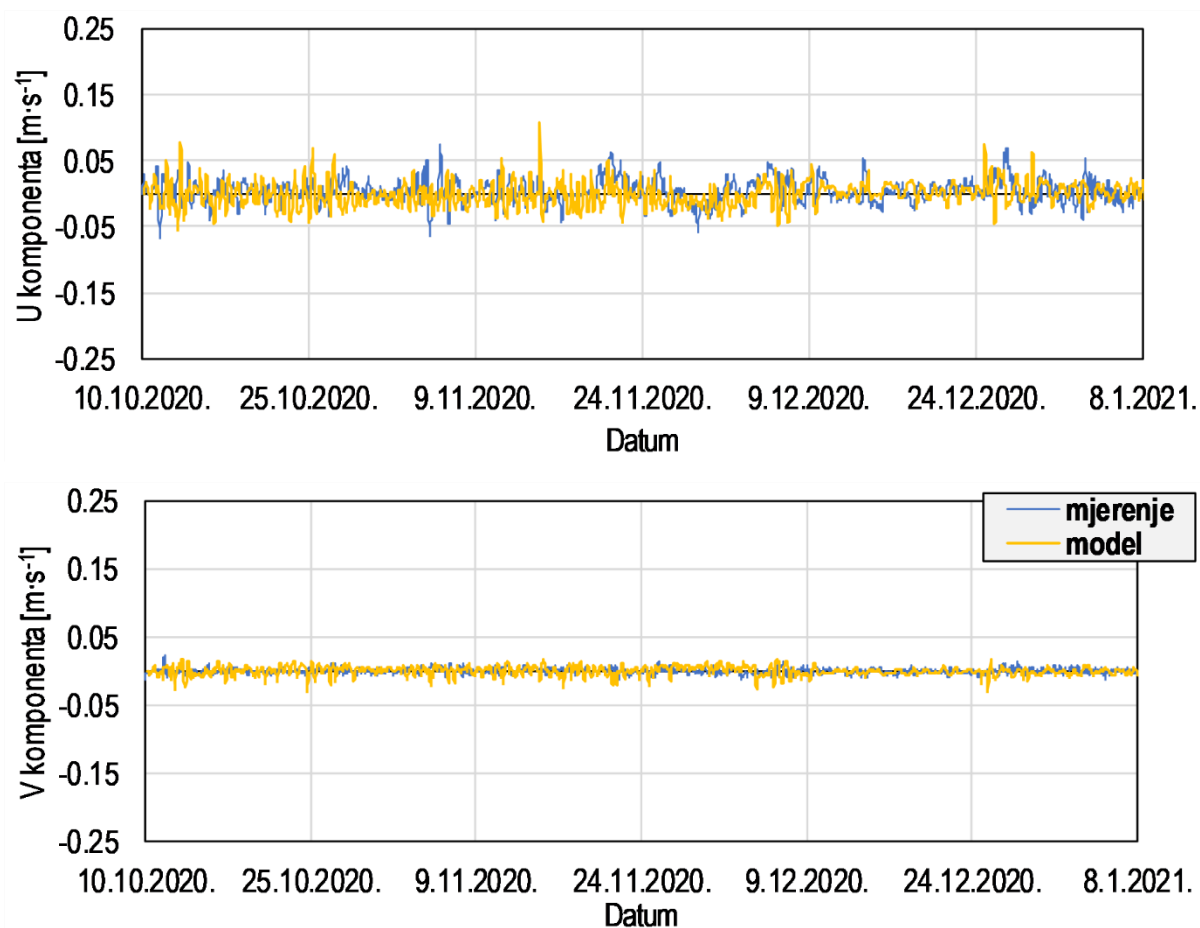
C.II.i. Kalibracija modela



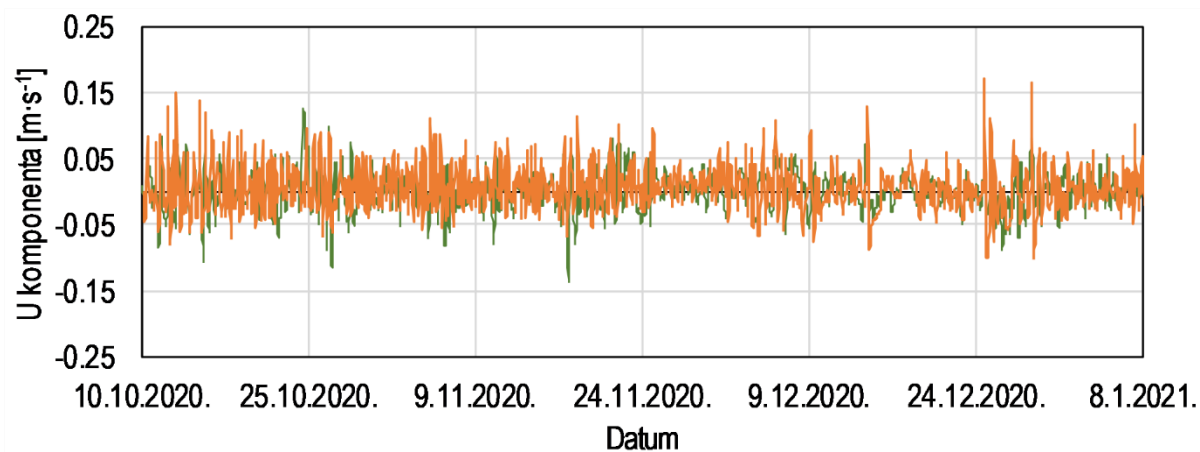
Slika 0-44 Usporedba izmjerenih i modeliranih vremenskih nizova promjene morske razine na lokacijama ADCP-RI1 (gore) i ADCP-RI2 (dolje) u ZIMSKOM razdoblju

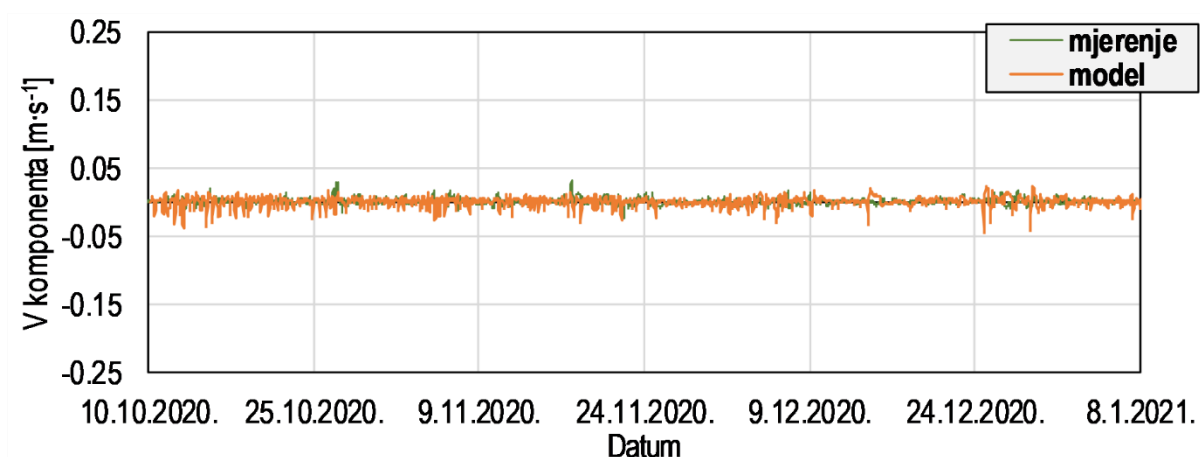


Slika 0-45 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -3 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI1

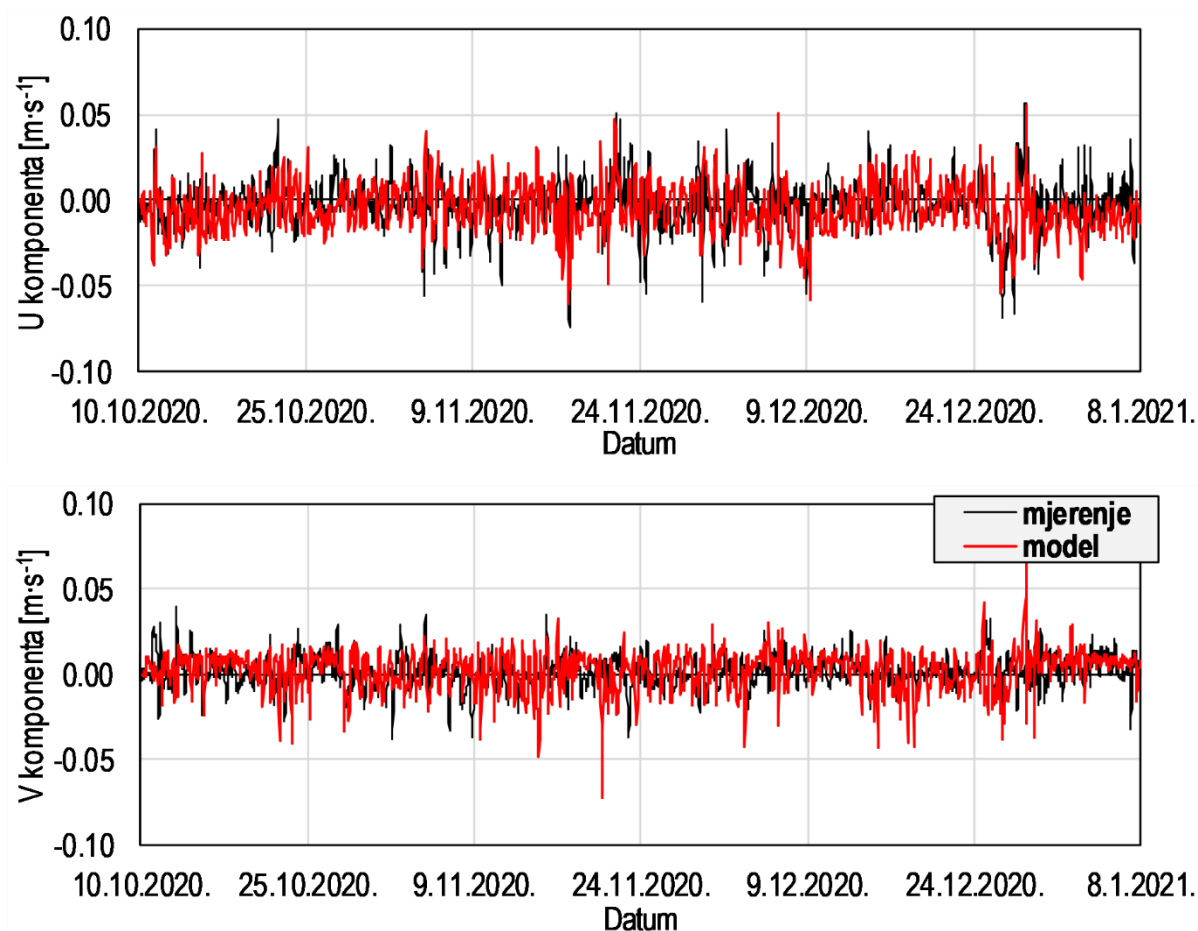


Slika 0-46 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -16 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI1

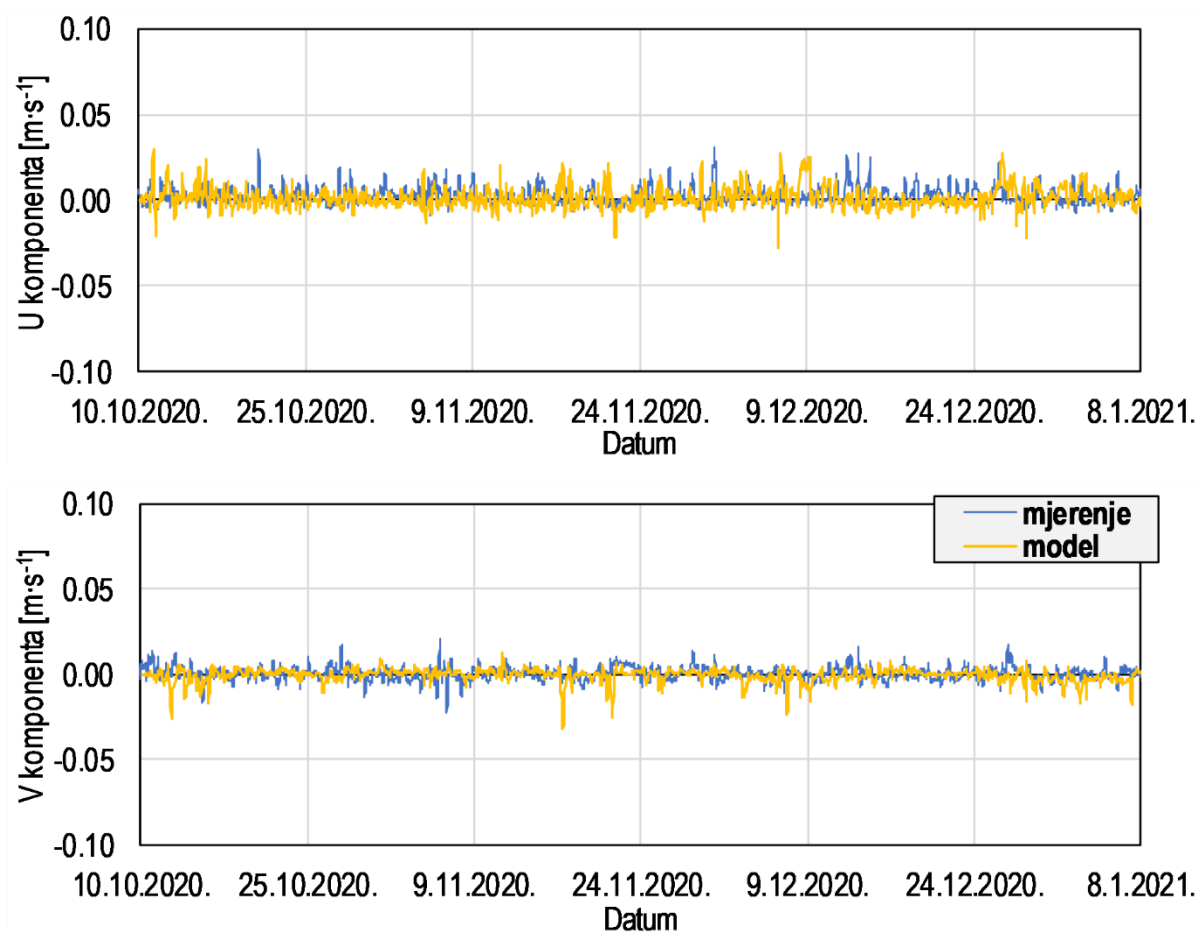




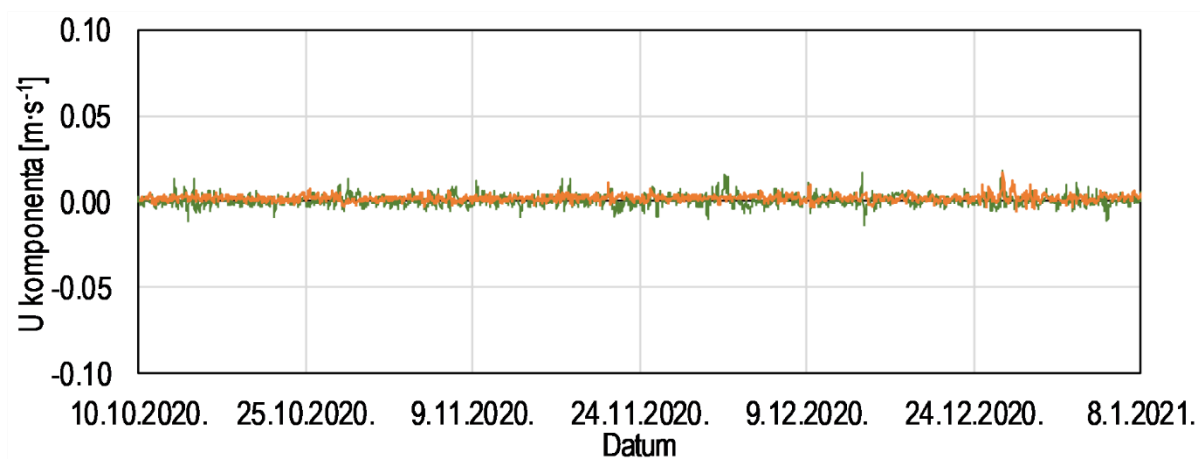
Slika 0-47 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -30 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI1

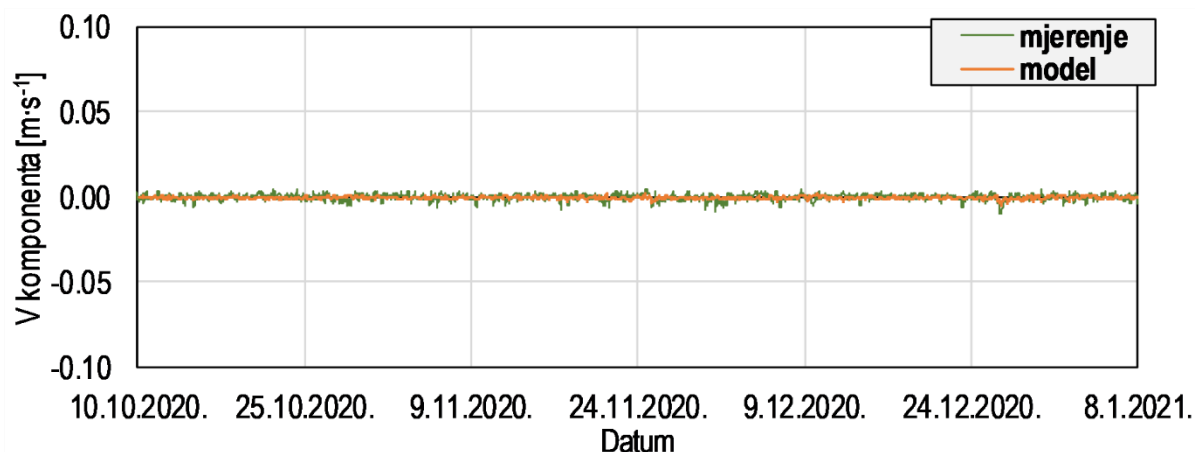


Slika 0-48 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -1,5 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI2



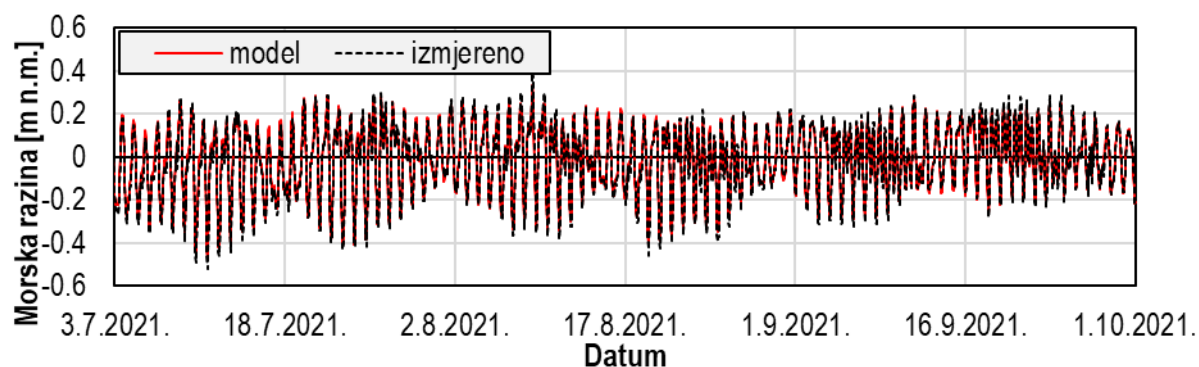
Slika 0-49 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -7 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI2



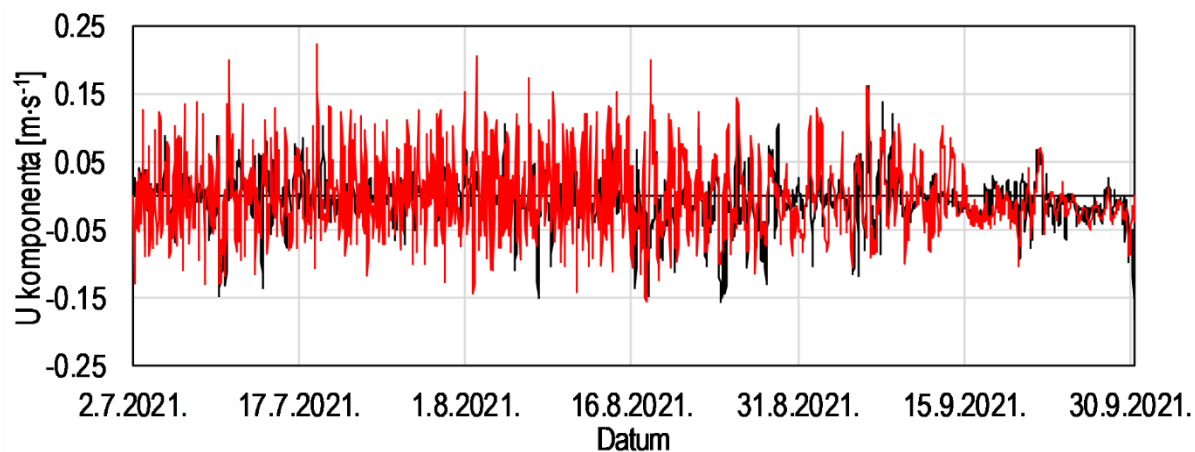


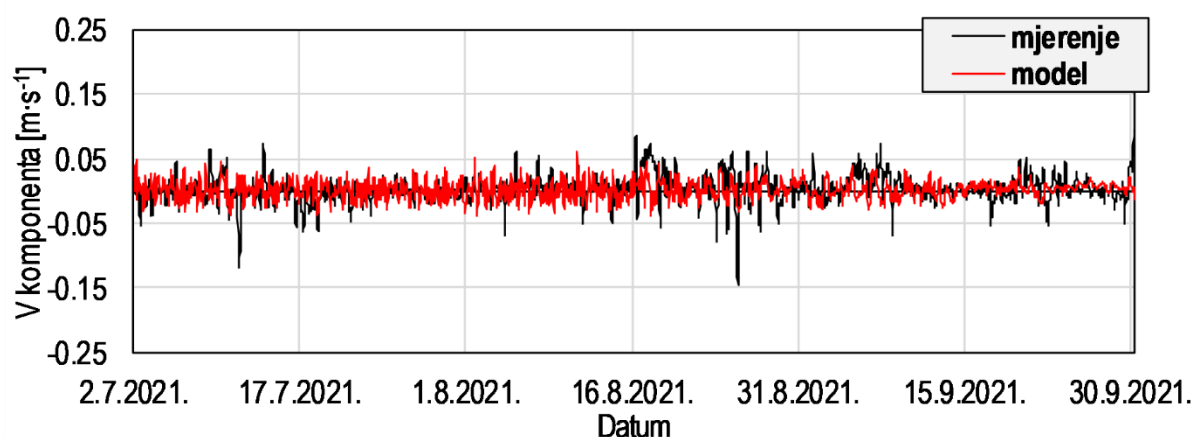
Slika 0-50 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -15 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI2

C.II.ii. Validacija modela

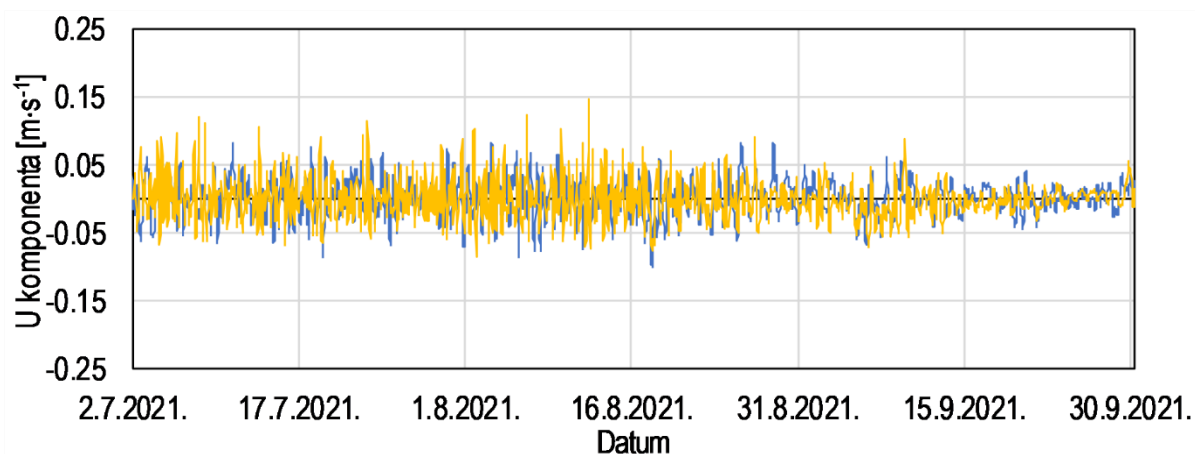


Slika 0-51 Usporedba izmjerenih i modeliranih vremenskih nizova promjene morske razine na lokaciji ADCP-RI1 (gore) u LJETNOM razdoblju

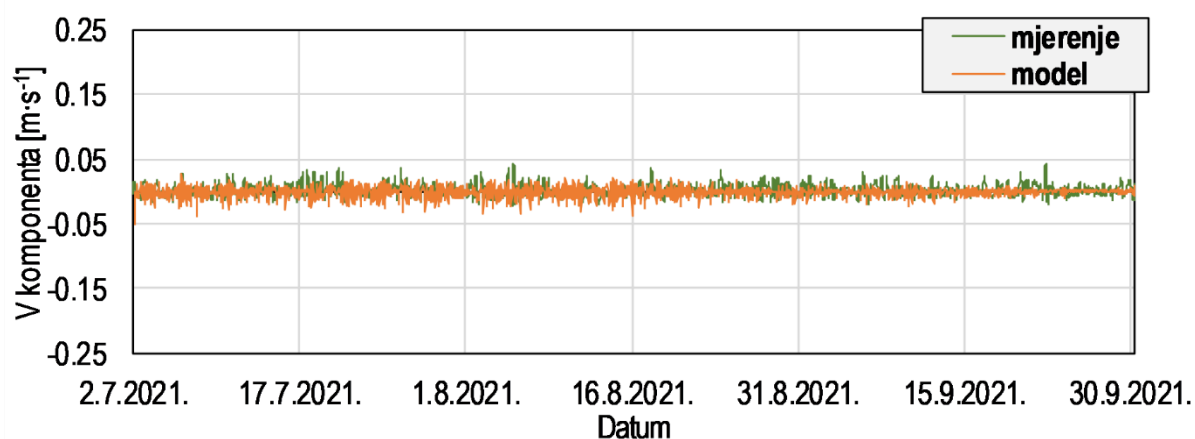
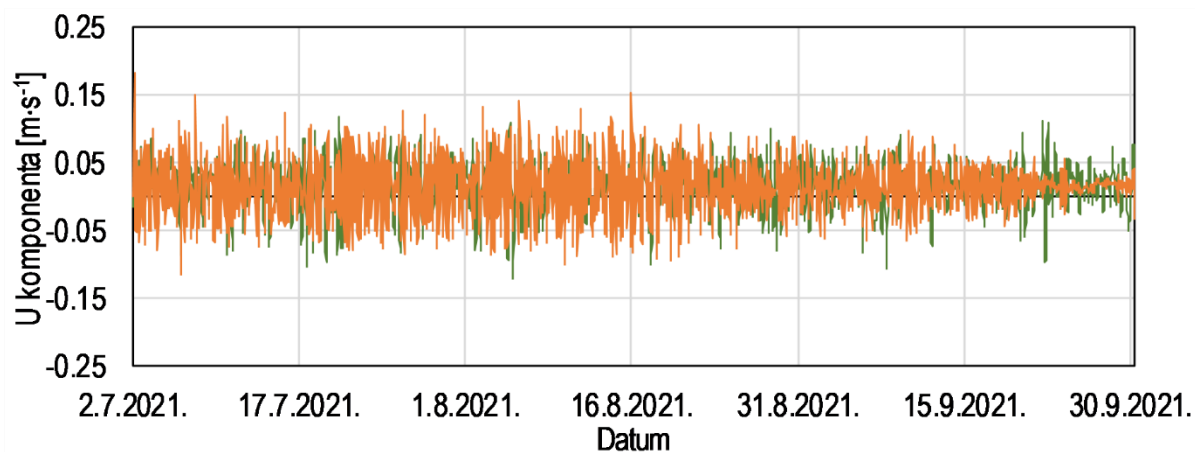




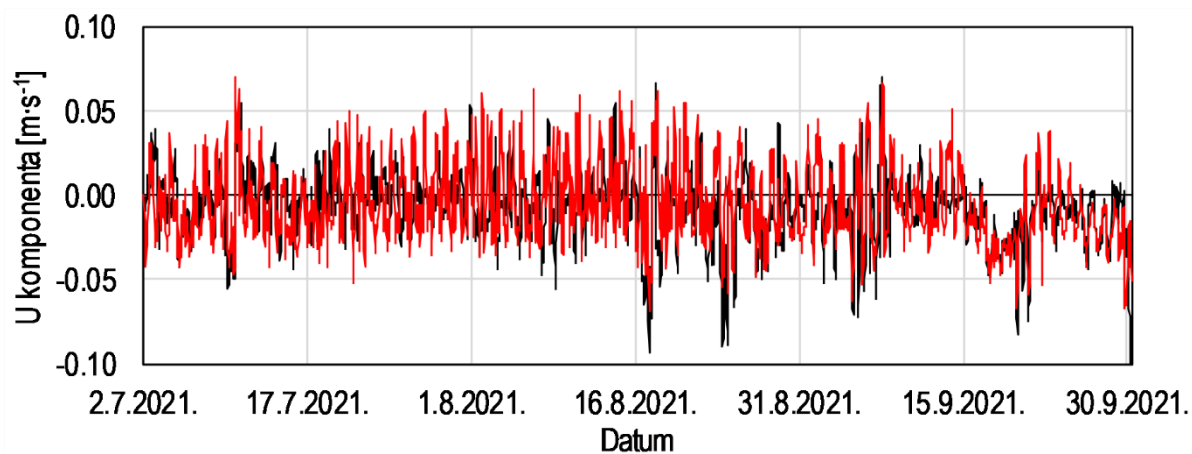
Slika 0-52 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -3 [m] za ljetno razdoblje na poziciji ADCP-RI1

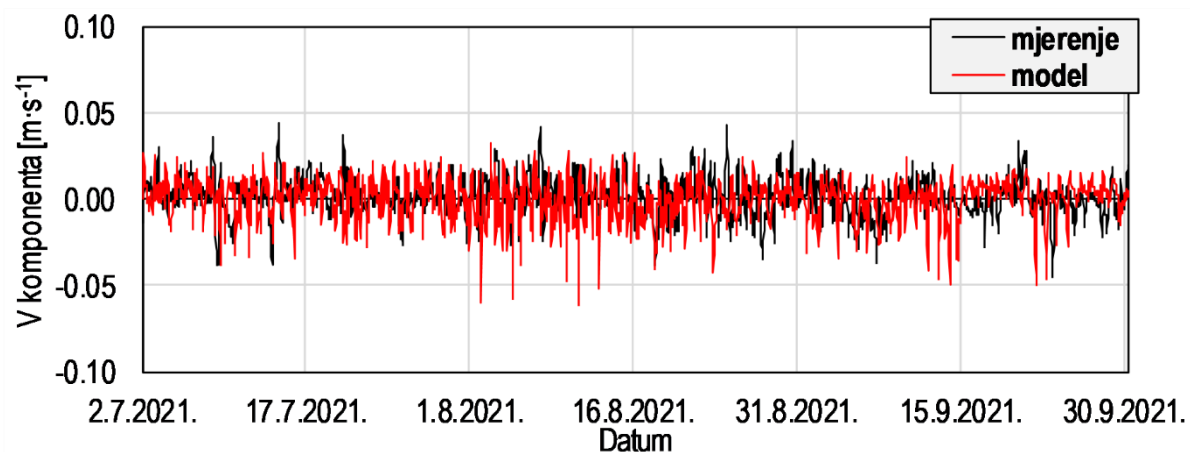


Slika 0-53 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -16 [m] za ljetno razdoblje na poziciji ADCP-RI1

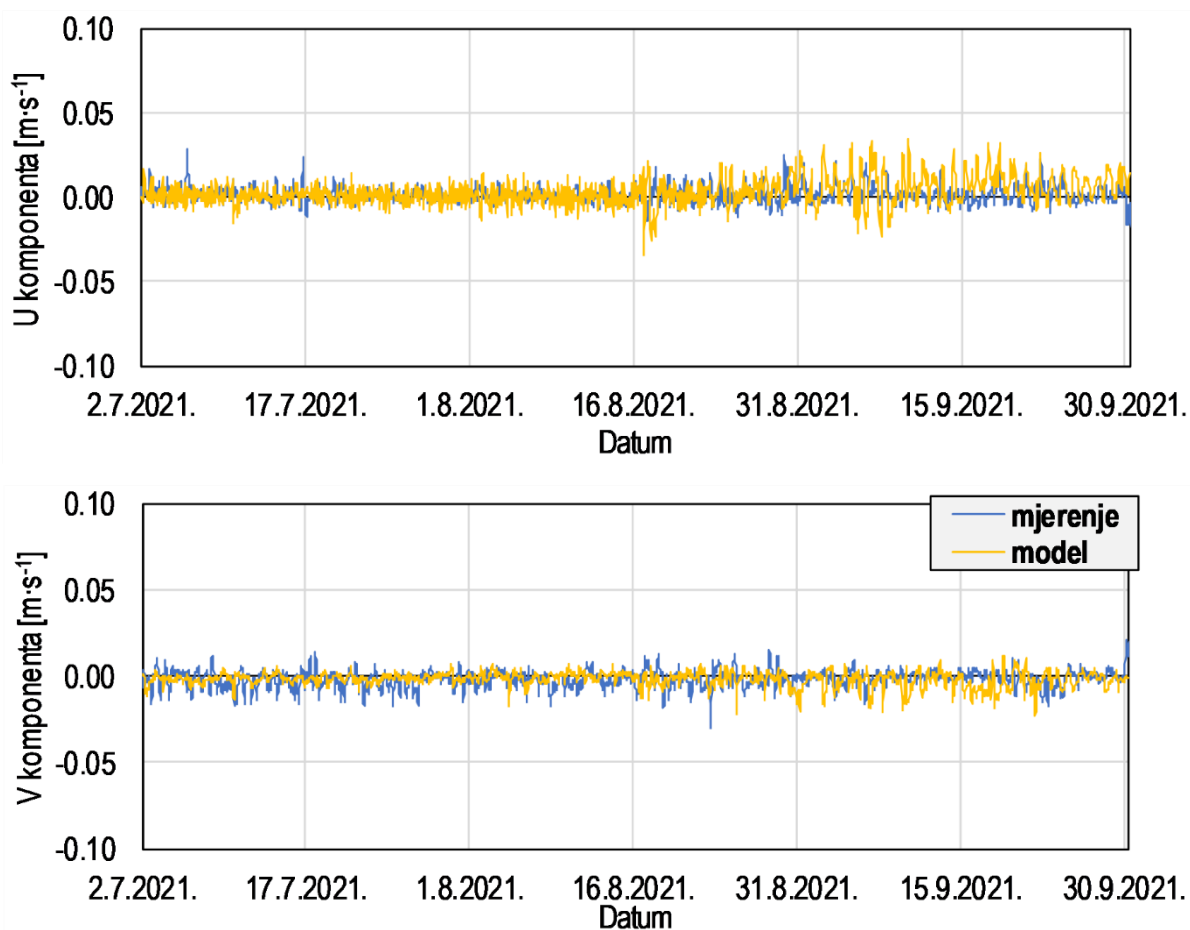


Slika 0-54 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -30 [m] za ljetno razdoblje na poziciji ADCP-RI1

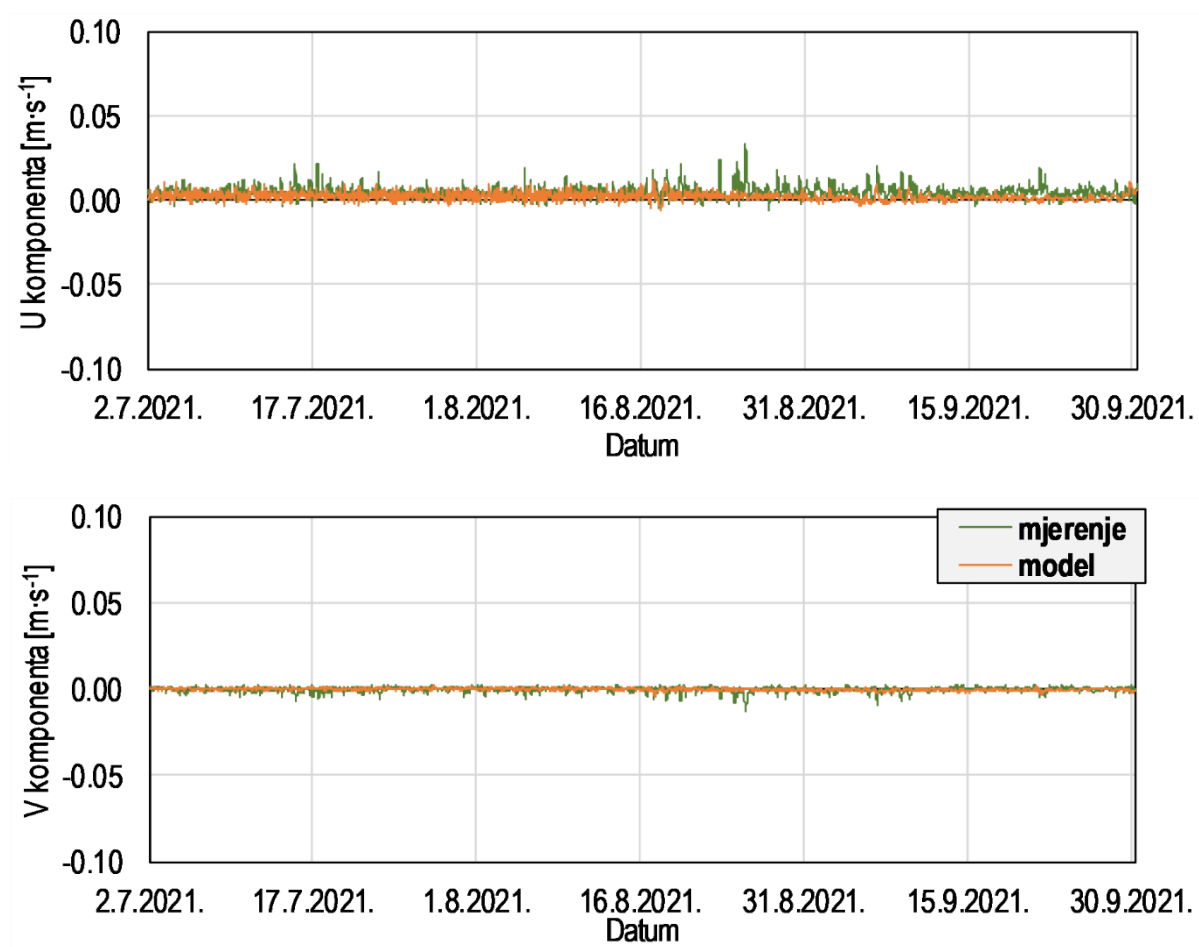




Slika 0-55 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -1,5 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI2



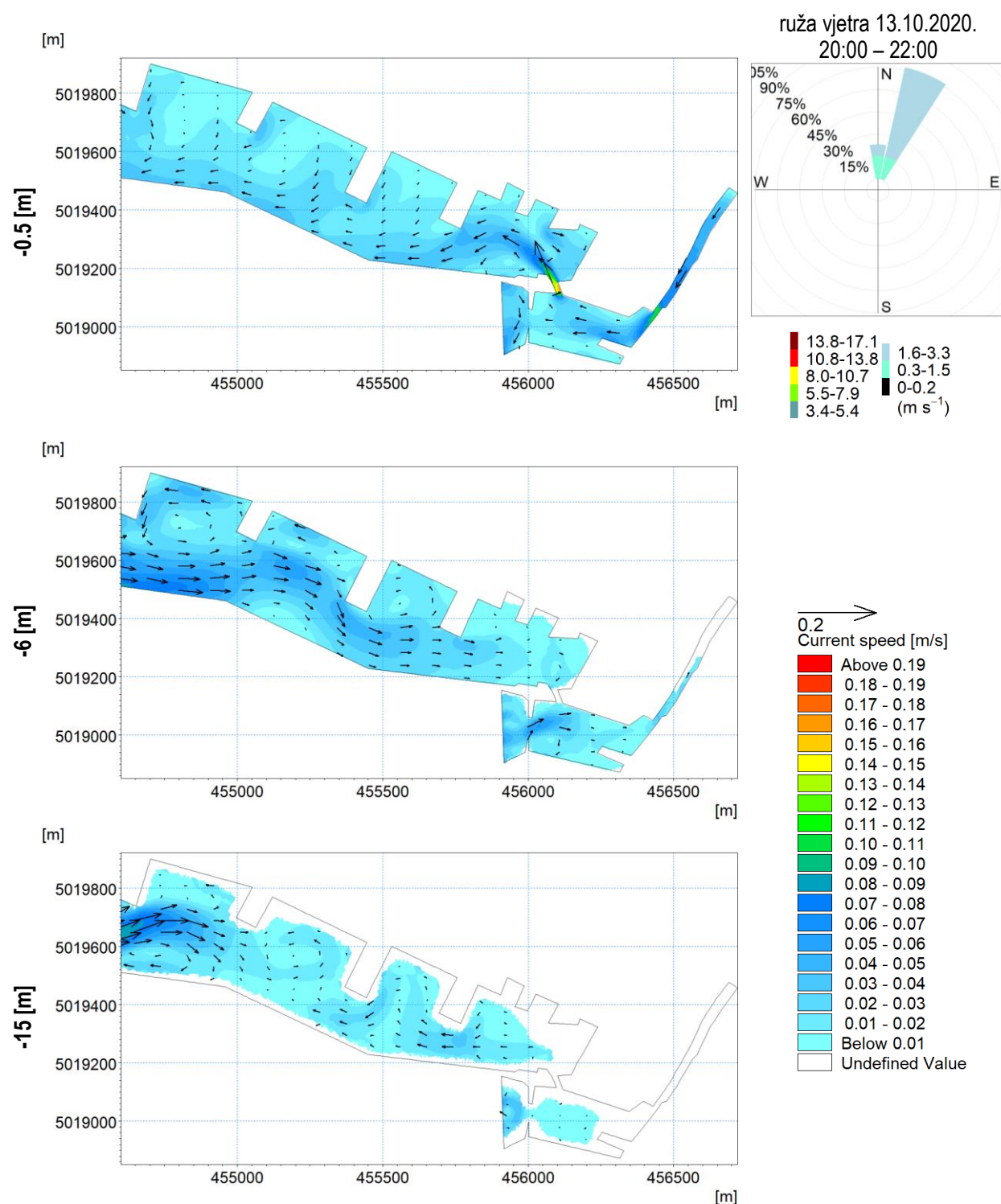
Slika 0-56 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -7 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI2



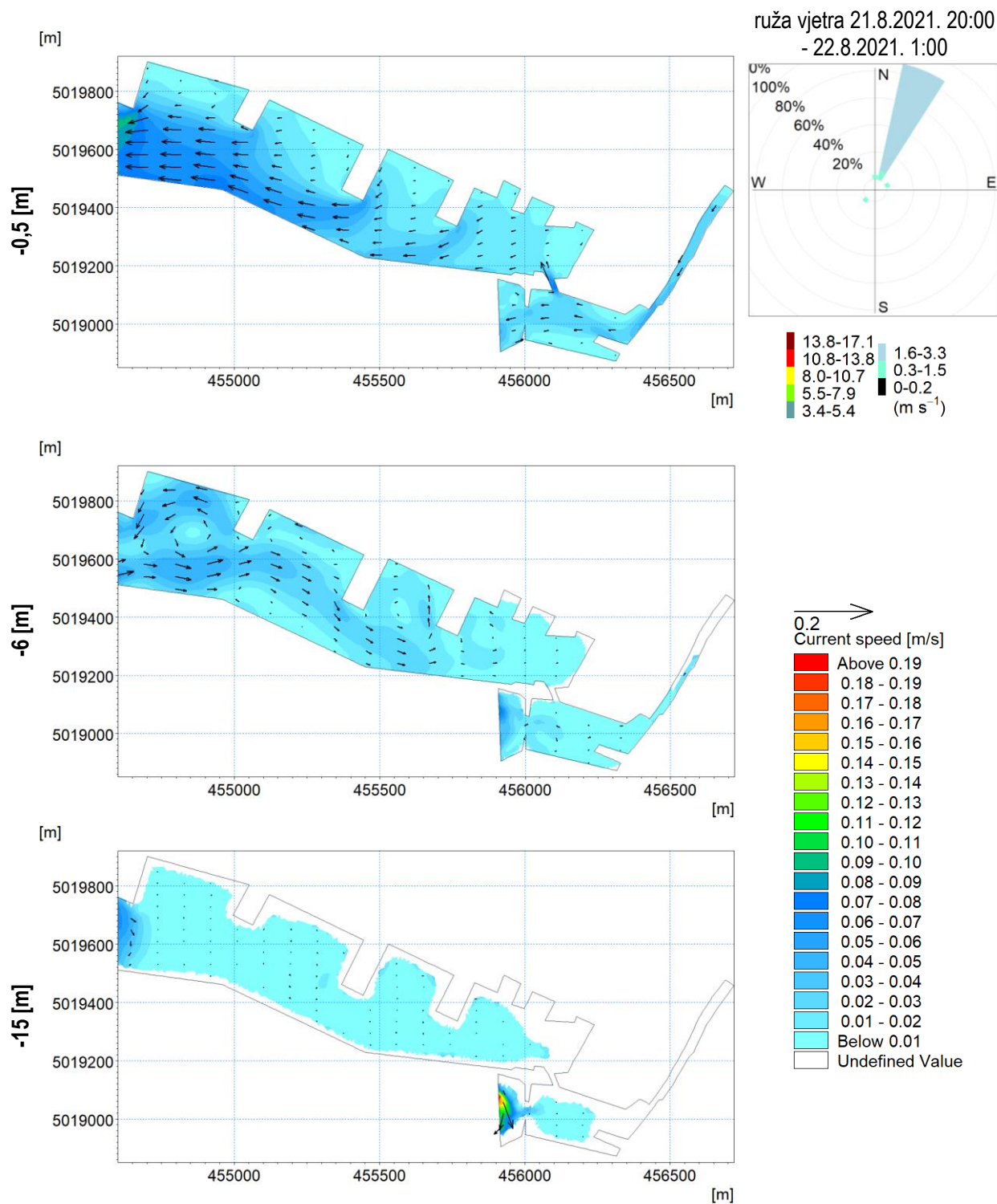
Slika 0-57 Usporedba U (gore) i V (dolje) komponenti brzine strujanja na dubini od -15 [m] za zimsko razdoblje na poziciji ADCP-RI2

C.II.iii. Polja strujanja za karakteristične okolišne situacije

C.II.iii-1 Situacije prosječne cirkulacije mora

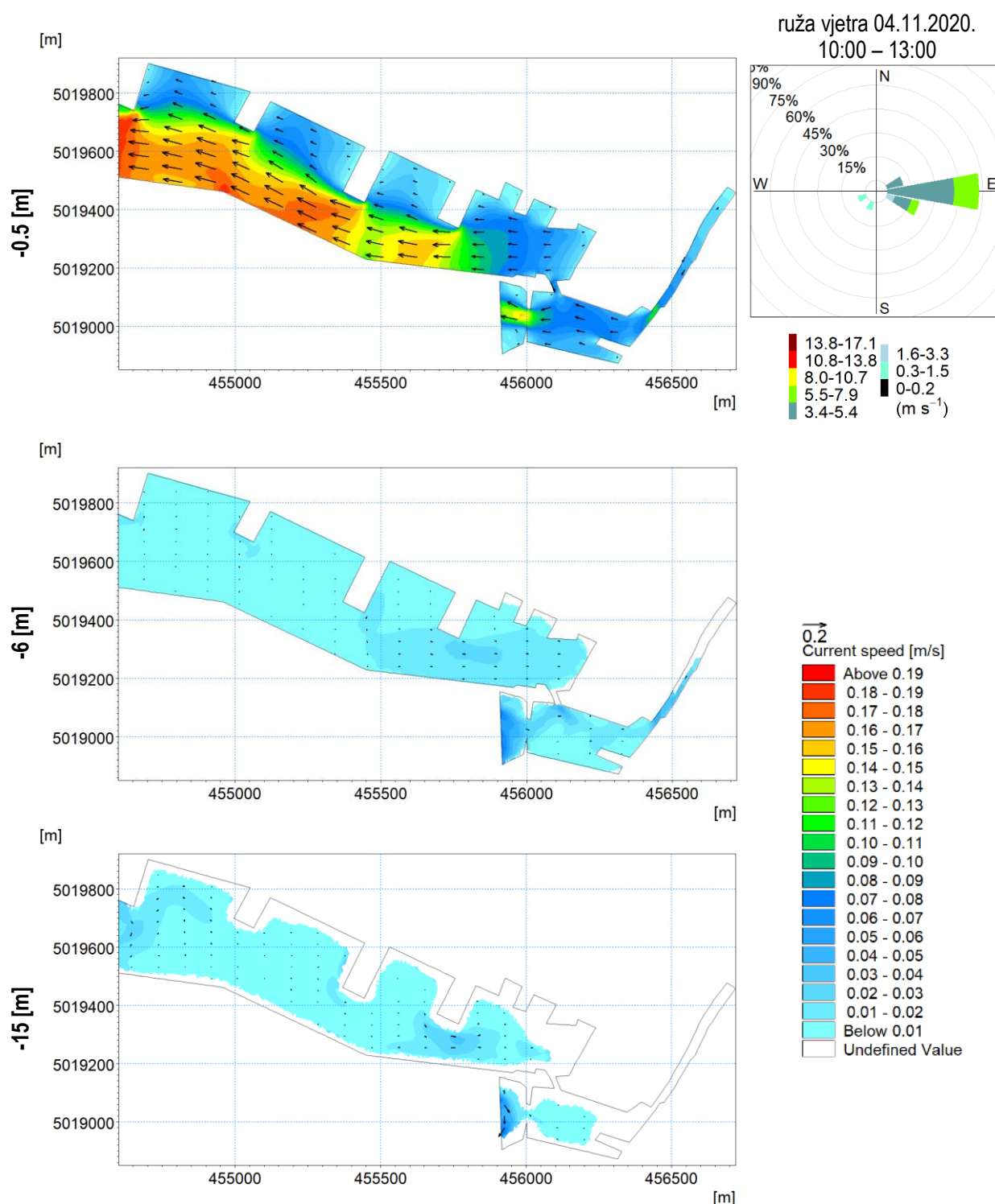


Slika 0-58 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera NNE, $v_{t50\%} = 1,9 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$ na datum 13.10.2020. u 22:00 (polje prosječne cirkulacije)

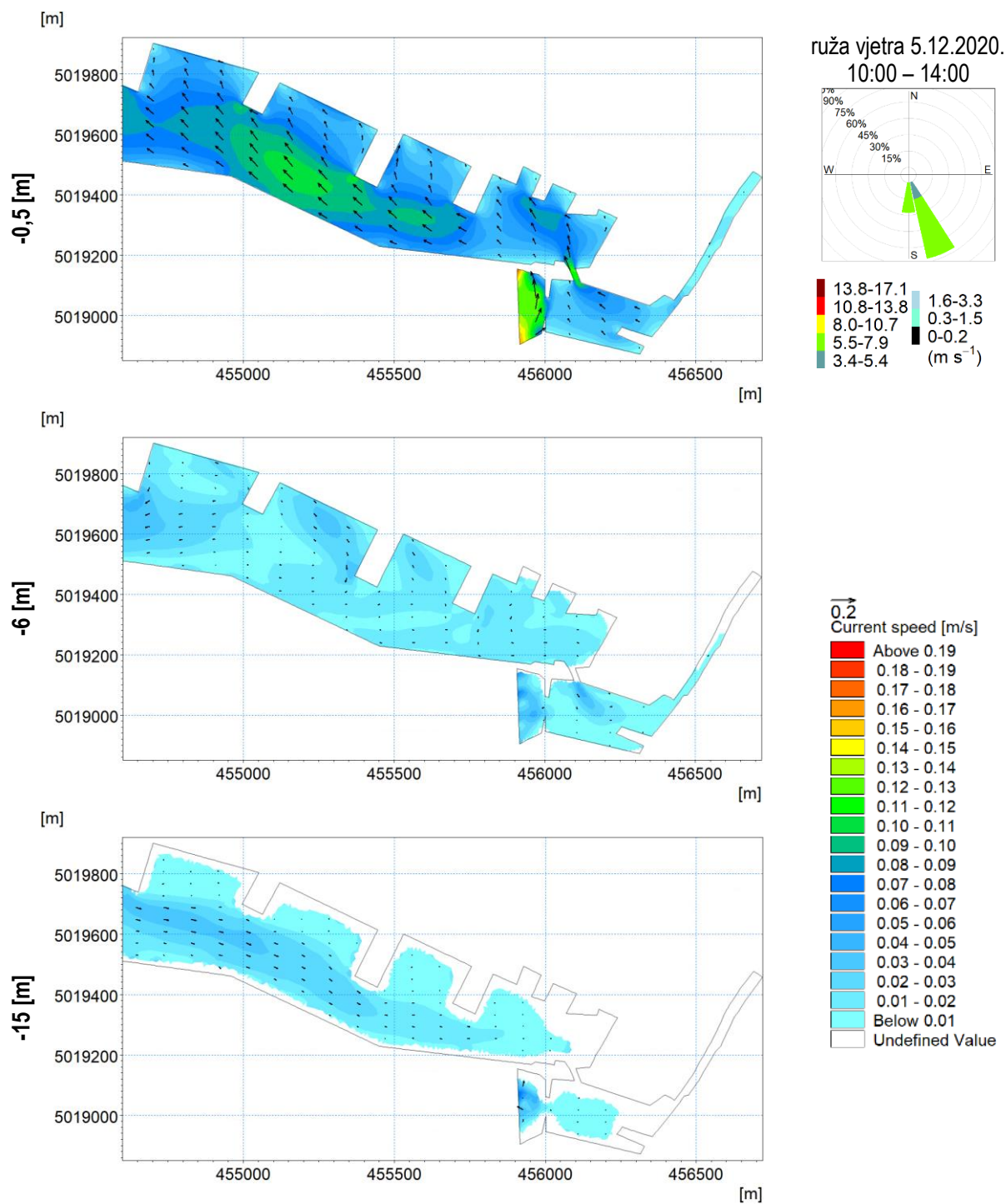


Slika 0-59 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera NNE, $v_{150\%} = 1,9 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 22.08.2020. u 1:00 (polje prosječne cirkulacije u LJETNOM razdoblju)

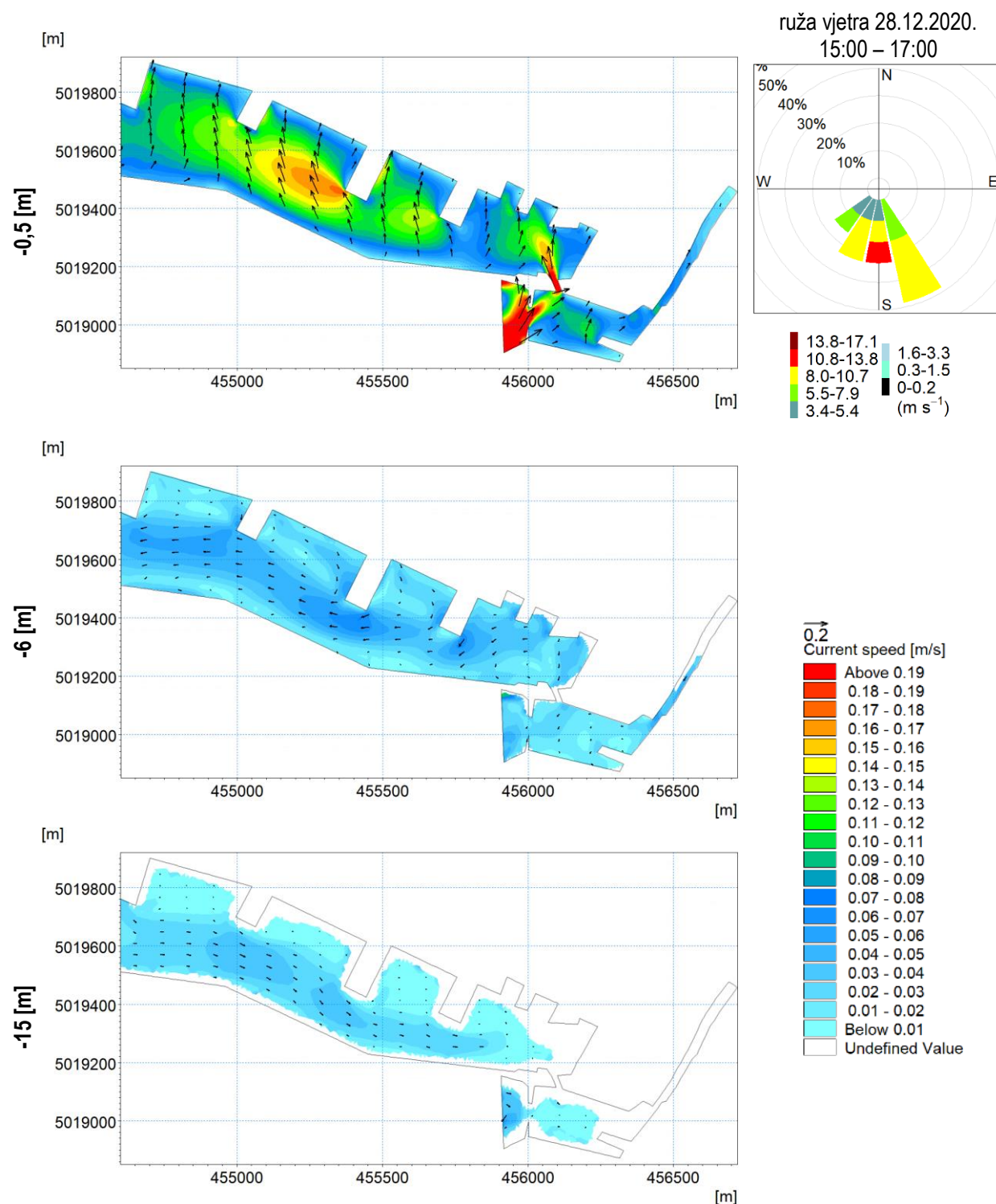
C.II.iii-2 Situacije intenzivne cirkulacije mora



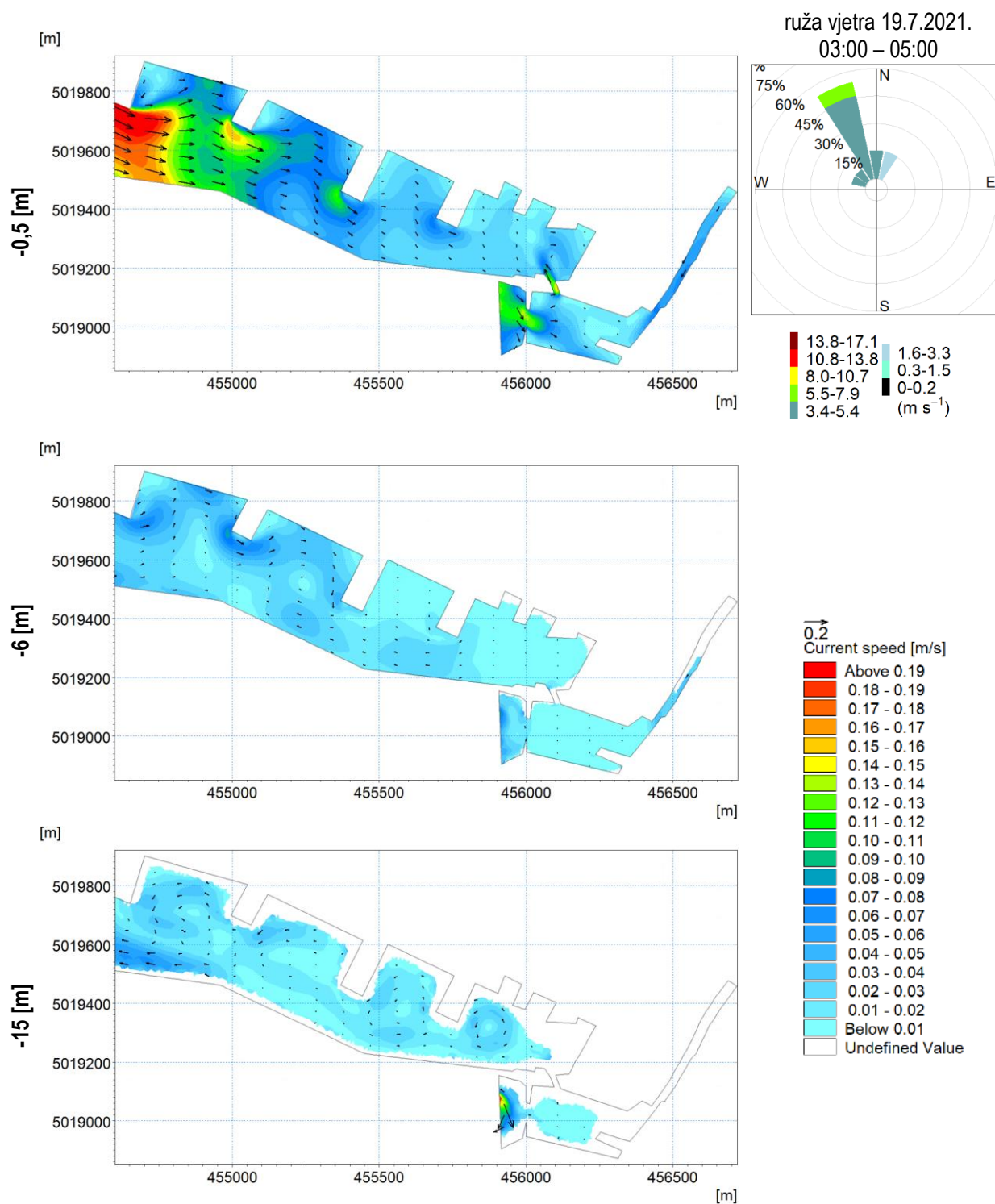
Slika 0-60 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera E, $v_{\max} = 6,7 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 4.11.2020. u 11:00



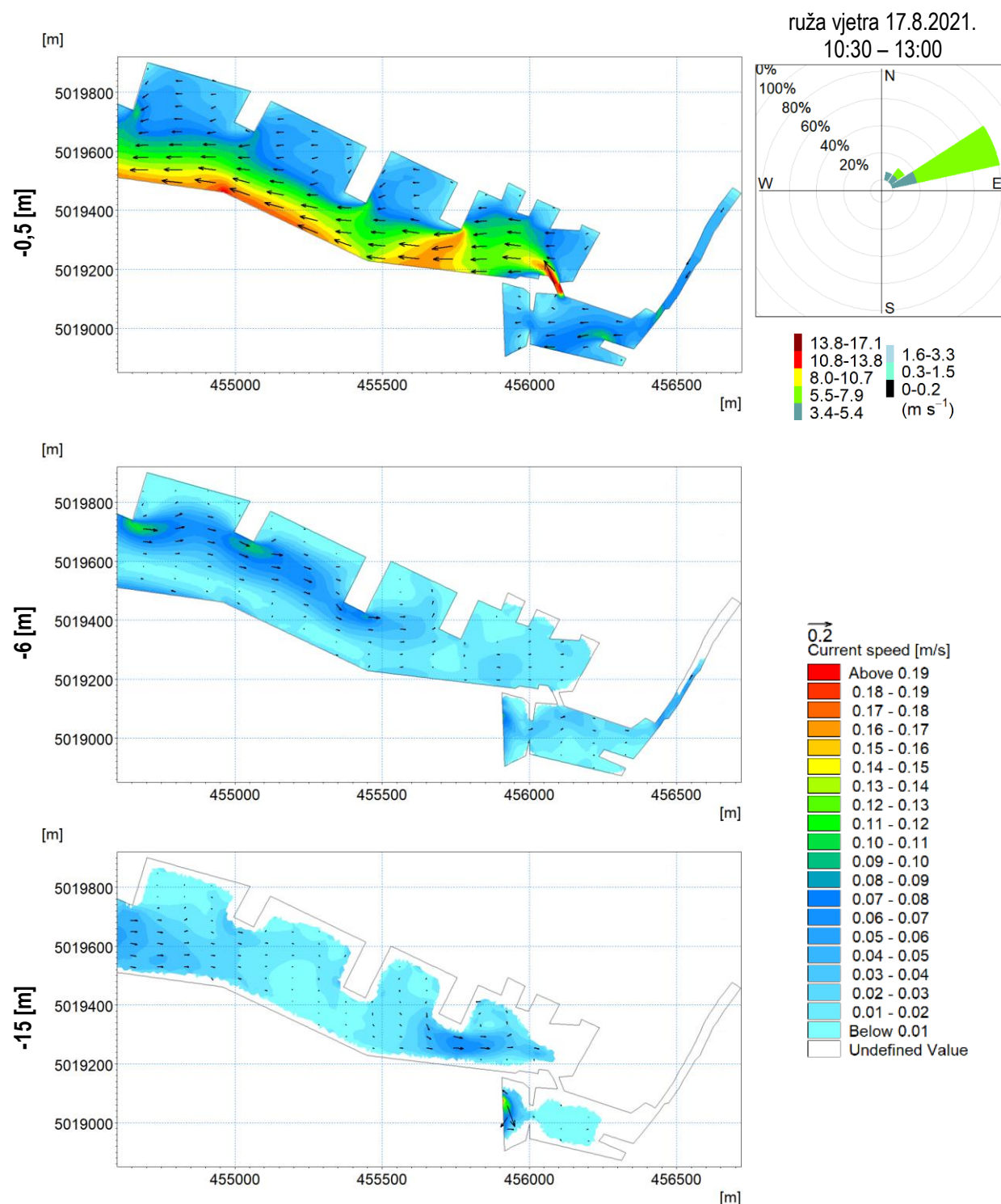
Slika 0-61 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera SSE, $v_{\max} = 7,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 5.12.2020. u 13:00



Slika 0-62 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera SSW-S-SSE, $v_{\max} = 11,6$ [m·s⁻¹] iz smjera S na datum 28.12.2020. u 16:00



Slika 0-63 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera NNW, $v_{\max} = 6,1 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 19.7.2021. u 04:00



Slika 0-64 Polje brzine strujanja na dubinama -0,5 (gore), -6 (sredina) i -15 [m] (dolje) i ruža vjetra (gore desno) za vjetrovnu situaciju iz smjera ENE, $v_{\max} = 7,4 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ na datum 17.8.2021. u 12:00

U nastavku će se dati osvrt na prezentirana polja cirkulacije na području luke Rijeka s obzirom na karakteristične vjetrovne situacije. Pri pojavi intenzivnog vjetra iz smjera N-NNE-NE dolazi do formiranja površinskog strujanja u smjeru SW i iznošenja morske mase prema otvorenom moru (kroz otvorene granice modela, Slika 5-17). Povećanjem dubine dolazi do značajnog smanjenja brzine strujanja za red veličine, a u pridnenom sloju smjer strujanja se mijenja u E. Upravo su ovi smjerovi najučestaliji i prisutni tokom cijele godine, a polje cirkulacije generalno je istovjetno ranije opisanom uz pojavu manjih brzina

strujanja mora u slučaju slabijih vjetrova. Polja cirkulacije generirano intenzivnim vjetrovima (≥ 4 [Bf]) iz ovih smjerova očekuje se otprilike 5 dana u godini dok se najveće brzine očekuju u kasno jesenskom (studenj), zimskom i rano proljetnom (travanj) razdoblju.

U slučaju pojave vjetrova iz smjera ENE-E-ESE-SSE-SE strujanje u površinskom sloju dominantno se odvija u smjeru W, a povećanjem dubine mijenja se u smjer E (Slika 5-16, Slika 0-60, Slika 0-64) te pojačanu cirkulaciju između bazena Sušak prema bazenu Rijeka. Intenzivna cirkulacija za vjetrove iz ovih smjerova izuzetno je rijetka te se javlja svega 3 dana u godini uglavnom u jesenskom i zimskom razdoblju uz povremene pojave ljeti.

Vjetar iz smjera S uzrokuje dominantno strujanje u smjeru N u površinskom sloju dok se u središnjem postepeno mijenja u smjer W, a u pridnenom u E (Slika 0-62). Također, uočljiva je pojačana cirkulacija između dvaju bazena luke Rijeka. Ovakve se intenzivne vjetrovne situacije i polja cirkulacije, koja se generiraju, očekuju jedan dan u godini u zimskom razdoblju.

Pojava vjetrova iz smjera SSW-SW-WSW-W-WNW-NW-NNW potiče površinsko strujanje u smjeru E što se povećanjem dubine mijenja i pri dnu morska struja postiže smjer W (Slika 0-63, Slika 5-18). Intenzivna cirkulacija zabilježena je za vjetrove iz smjera SSW i NNW te se može očekivati svega 12 [h] u godini.

D. Rezultati obrade i analize simulacija modela pronosa planktonskih zajednica

D.I. Šire akvatorijalno područje luke Ploče

U nastavku su dani rezultati numeričkih simulacija pronosa dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda za karakteristične situacije djelovanja okolišnih parametara (vjetar, slatkovodni dotok iz Baćinskih jezera i rijeke Neretve) koje koincidiraju s trenucima unosa modelskih čestica. Karakterističnim su situacijama u obzir uzeti najučestaliji vjetrovi (E za ZIMSKO razdoblje, E i W za LJETNO razdoblje) te vjetrovi za koje je utvrđeno da se javljaju najveće brzine puhanja (NNE i SE). Za ZIMSKO simulacijsko razdoblje karakteristično je da značajan slatkovodni dotok iz Baćinskih jezera i rijeke Neretve u kombinaciji s vjetrom generira intenzivnu cirkulaciju u površinskom sloju. Stoga, u obzir su uzeti realni okolišni uvjeti djelovanja vjetrova sa i bez slatkovodnog dotoka. Rezultati modela pronosa prikazat će se kroz:

- komentare na ovisnost djelovanja dominantnih okolišnih uvjeta te obrasce taloženja, raspršenja i iznošenja modelskih čestica kroz otvorene granice modela za svaku pojedinu lokaciju unosa;
- 2D polja fitoplanktonskih frakcija (dijatomeja i dinoflagelata) raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa u prostornu domenu modela;
- 2D polja kopepoda (zooplanktona) raspršenih u stupcu mora 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa u prostornu domenu modela;
- vremenske nizove ukupno iznesenih modelskih čestica kroz otvorenu granicu „MORE“ za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje s prikazom brzine vjetrova.

Valja napomenuti da će se za izdvojene okolišne situacije prikazati vladajući okolišni uvjeti zajedno s rezultatima (ruža vjetrova, protok sa h.p. Šipak i h.p. Metković) kako bi se dobio detaljniji uvid u obrazac pronosa planktonskih zajednica s obzirom na ove generatore intenzivne cirkulacije na predmetnoj domeni. Također, polje prikazanih čestica unutar prostorne domene u trenutku +1 [h] nakon njihovoga unosa istovjetno je stanju raspršenih i istaloženih čestica do trenutka unosa. Na ovaj se način dobije uvid u početno stanje položaja čestica unutar prostorne domene modela prije unosa novih čestica koje je nastalo kao posljedica prethodnih okolišnih uvjeta.

D.I.i.Pronos dijatomeja

Tablica 0.11 Obrasci taloženja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dijatomeja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjeta) i lokaciju unosa modelskih čestica

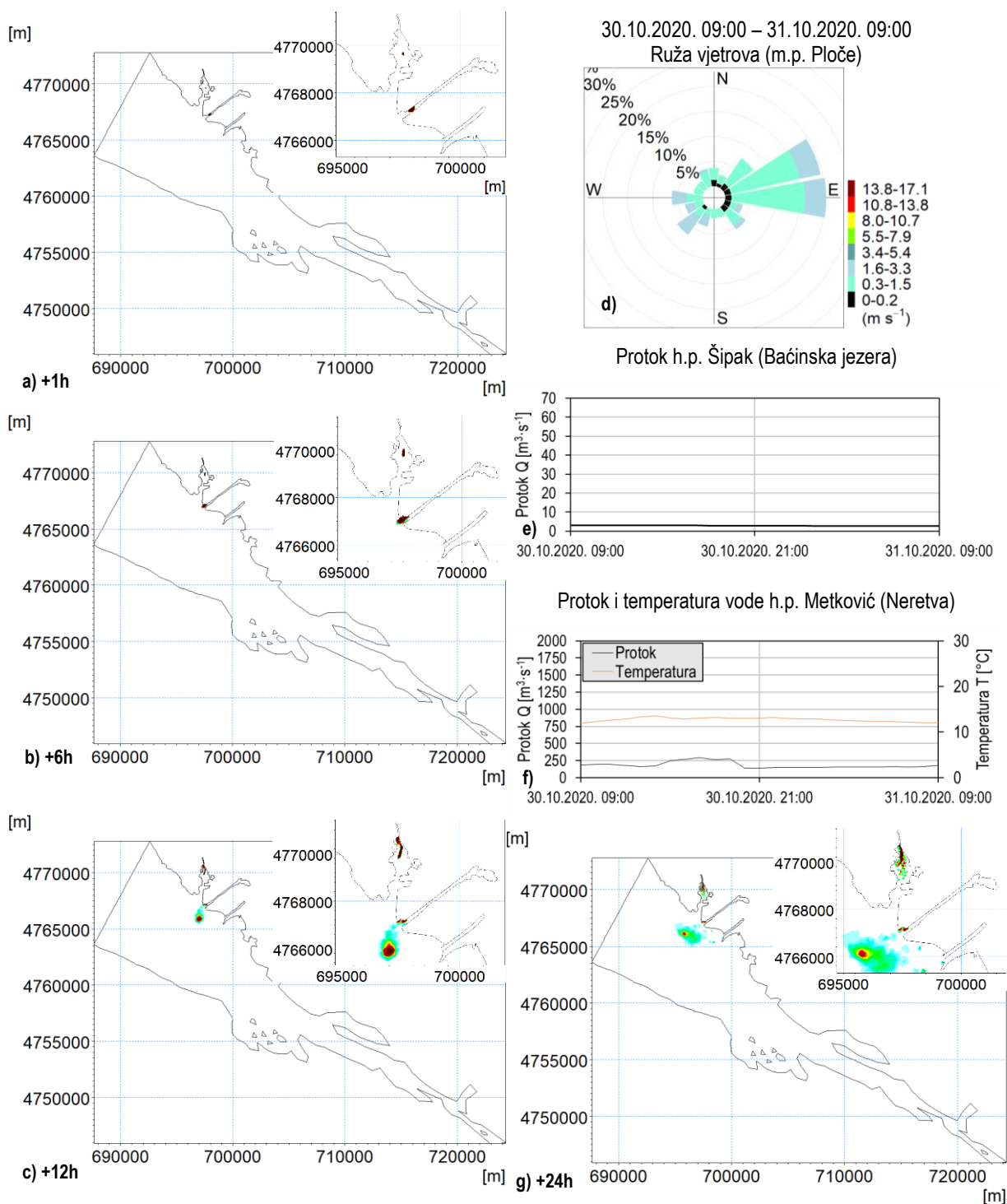
Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni vez	Dominantno taloženje oko ušća (pličak Gumanac), a značajno je i u području prema Malom moru i Malostonskom zaljevu. Manji dio čestica pronosi se prema trajektnoj luci, a čestice koje se pronose u NW smjeru dominantno se talože uz istočnu obalu. Za ovu je lokaciju najznačajnije taloženje u području predmetnoga akvatorija SE od zone utjecaja dotoka rijeke Neretve.	Istovjetan obrazac taloženja čestica kao za ZIMSKO razdoblje uz napomenu da veći broj čestica dospije u SE područje predmetnoga akvatorija i dio čestica se pronosi uzvodno tokom Neretve što nije slučaj u prethodnome simulacijskom razdoblju. Razlika u odnosu na prethodno razdoblje je taloženje na dijelu uz Pelješac (od uvale Drače do Brijeste).
Trajektna luka	Dominantno taloženje oko ušća kanala iz Baćinskih jezera te u uvalama na ovome (zatvorenom) dijelu bazena. SW od mjesta unosa i prema otvorenome moru čestice se talože ravnomjerno na zapadnoj i istočnoj obali akvatorija. Čestice, koje se pronesu prema otvorenome moru, talože se u okolini ušća Neretve i u području prema Malom moru i Malostonskom zaljevu.	Dominantno taloženje uz istočnu i zapadnu obalu na području dominantnoga toka. Izraženije taloženje u okolini ušća Neretve uz napomenu da se dio čestica se pronosi uzvodno tokom Neretve što nije slučaj u prethodnome simulacijskom razdoblju. Također, pronos i taloženje prema SE dijelovima akvatorija izraženije je nego u ZIMSKOM razdoblju. Razlika u odnosu na prethodno razdoblje je taloženje na dijelu uz Pelješac (od uvale Drače do Brijeste).
Kontejnerski terminal	Dominantno taloženje uz istočnu obalu na potezu najznačajnijega pronosa u smjeru SW prema otvorenome moru. Manji dio čestica pronosi se pridnenim strujama prema unutarnjem dijelu akvatorija (prema trajektnoj luci i kanalu iz Baćinskih jezera). Čestice, koje se pronesu prema otvorenome moru, talože se u okolini ušća Neretve i u području prema Malom moru i Malostonskom zaljevu, ali u manjoj mjeri nego što je slučaj sa česticama upuštenima na lokaciji „Trajektna_luka“.	Slično kao za lokaciju unosa „Trajektna_luka“ uz manji broj čestica istaložen u N dijelu zatvorenog akvatorija. Dominantno taloženje na potezu najznačajnijega pronosa u smjeru SW prema otvorenome moru i u okolini ušća Neretve. Dio čestica pronosi se uzvodno tokom Neretve što nije slučaj u prethodnome simulacijskom razdoblju. Razlika u odnosu na prethodno razdoblje je taloženje na dijelu uz Pelješac (od uvale Drače do Brijeste).
Kanal Vlaška	Dominantno taloženje u okolini mjesta unosa i u unutrašnjem dijelu kanala	Obrasci taloženja istovjetni opisanome za ZIMSKO razdoblje uz veću količinu

	Vlaška (u NE smjeru). Slijedi taloženje u području nizvodno od ušća Neretve, a dio čestica pronosi se uzvodno tokom rijeke Neretve pridnenim strujama. Samo jedna čestica istaložena je SE od zone utjecaja Neretve. U ovome je slučaju najizraženiji utjecaj Neretve kao prirodne barijere koja sprječava transport čestica prema SE dijelovima predmetnoga akvatorija.	istaloženih čestica na istim dijelovima predmetnoga akvatorija. Čestice dosegnu krajnje SE dijelove akvatorija. Razlika u odnosu na prethodno razdoblje je taloženje na dijelu uz Pelješac (od uvale Drače do Brijeste).
--	--	--

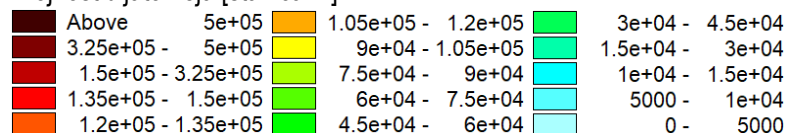
Tablica 0.12 Obrasci raspršenja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dijatomeja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni vez	Najveća koncentracija u okolini lokacije unosa čestica. Dominantan pronos u smjeru NW uz istočnu obalu. Očituje se raspršenje i u smjeru SE do ravnine u kojoj dotok rijeke Neretve ima utjecaj. Iako ne značajan, dio čestica se pronosi SE od ušća Neretve. Dio čestica pronosi se SE od zone utjecaja rijeke Neretve gdje se istaloži. Čestice unesene na ovoj lokaciji ostvaruju najznačajniji pronos u NW i SE smjerovima u odnosu na ostale lokacije.	Najveća koncentracija u okolini lokacije unosa čestica koja upućuje na dulje zadržavanje upravo na ovome dijelu akvatorija. Raspršenje prisutno u svim smjerovima uz dominantniji pronos u SW smjeru prema obali Pelješca. Izraženiji je pronos prema SE dijelu akvatorija (odsustvo značajnijeg dotoka Neretve).
Trajektna luka	Najveća koncentracija u okolini lokacije unosa čestica. Dominantan pronos u smjeru S-SSW prema otvorenome moru (najveće brzine strujanja) što je posljedica površinskoga strujanja. U smjeru N prema ušću kanala iz Baćinskih jezera odvija se pridneni pronos čestica pri čemu se čestica koncentriraju uz istočnu obalu ovoga dijela akvatorija. Očituje se ravnomjerno raspršenje u unutrašnjim dijelovima luke Ploče (prema pristaništu trajekta u smjeru E, prema uvalama W od unosa, slabije prema kontejnerskom terminalu). Nakon dospijea čestica u područje otvorenoga mora, dominantan je pronos u NW smjeru uz istočnu obalu te djelomično.	Najveća koncentracija u okolini mjesta unosa uz izraženije raspršenje i dulje zadržavanja u ovome (zatvorenom dijelu akvatorija čak i u dijelu gdje je kontejnerski terminal). Dominantan pronos u SSW-S smjeru prema otvorenome moru nakon čega se čestice značajnije raspršuju u odnosu na ZIMSKO razdoblje. Dominantan je pronos uz istočnu obalu.

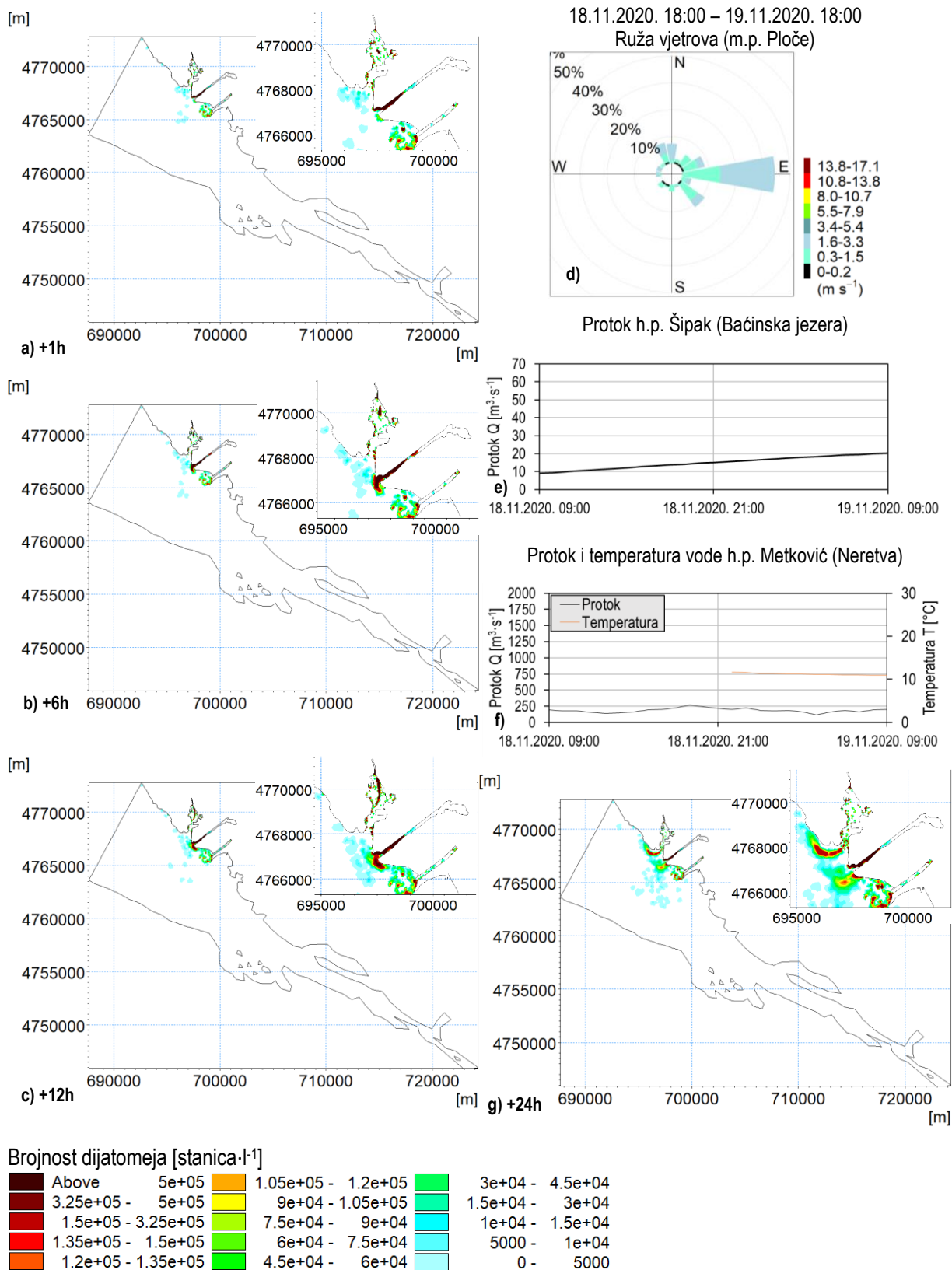
	Dio čestica pronosi se SE od zone utjecaja rijeke Neretve gdje se istaloži.	
Kontejnerski terminal	Najveća koncentracija u okolini lokacije unosa čestica. Istovjetno ranije opisanome, dominantan pronos u smjeru S-SSW prema otvorenome moru koji nastaje uslijed površinskoga strujanja. Također, prisutan je pronos u N smjeru kao posljedica pridnenoga strujanja i djelovanja vjetra iz smjera SW-SSW-S. Slabije raspršenje u unutrašnjim dijelovima luke Ploče u odnosu na čestice unesene na lokaciji „Trajektna_luka“. Nakon dospjeća čestica u područje otvorenoga mora, dominantan je pronos u NW smjeru uz istočnu obalu te djelomično raspršenje po sredini ovoga dijela akvatorija. Dio čestica pronosi se SE od zone utjecaja rijeke Neretve gdje se istaloži.	Obrasci pronosa istovjetni ZIMSKOM razdoblju uz veće raspršenje čak i uzvodno tokom Neretve.
Kanal Vlačka	Najveća koncentracija u okolini lokacije unosa čestica. Dominantan pronos u SW smjeru prema otvorenome moru dok pronosa čestica prema unutrašnjima dijelovima kanala Vlačka i jezeru Vlačka nema. Nakon dospjeća u područje otvorenoga mora većina čestica pronosi se prema ušću, a ostatak, koji dospije u zonu utjecaja rijeke Neretve u površinskome sloju, pronosi se u NW smjeru. Dio čestica pronosi se SE od zone utjecaja rijeke Neretve gdje se istaloži u puno manjoj mjeri u odnosu na prethodne 3 lokacije unosa.	Istovjetni obrasci pronosa kao u ZIMSKOM razdoblju uz veće raspršenje prema svim dijelovima akvatorija.



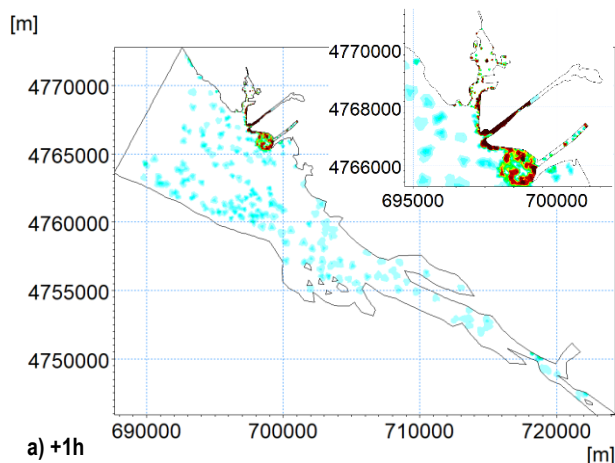
Brojnost dijatomeja [stanica·l⁻¹]



Slika 0-65 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 30.10.2020. 09:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 30.10.2020. u 09:00 do 31.10.2020. u 09:00

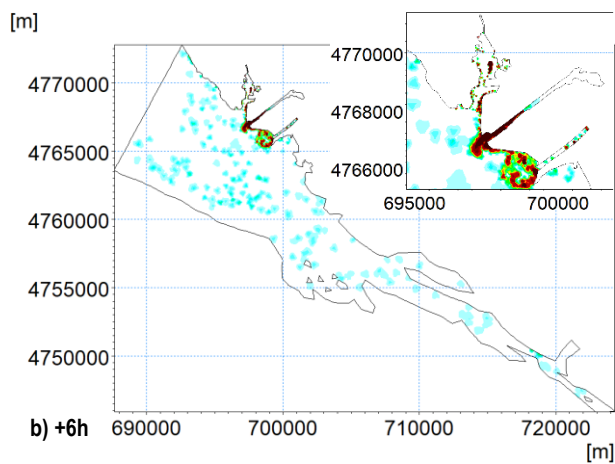
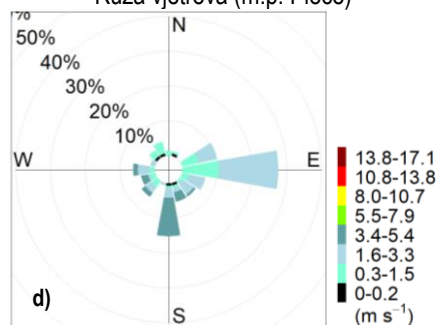


Slika 0-66 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 30.10.2020. 09:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 30.10.2020. u 09:00 do 31.10.2020. u 09:00



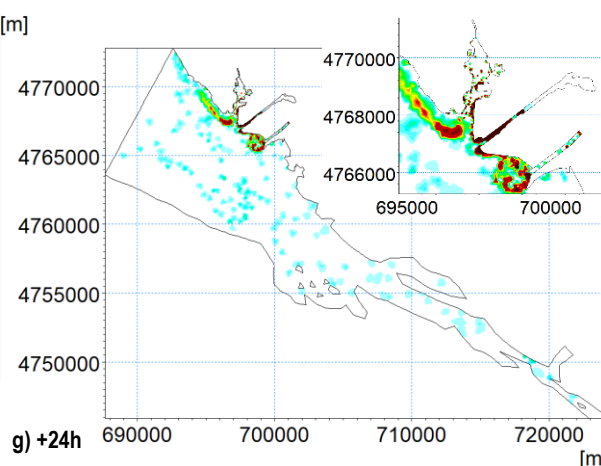
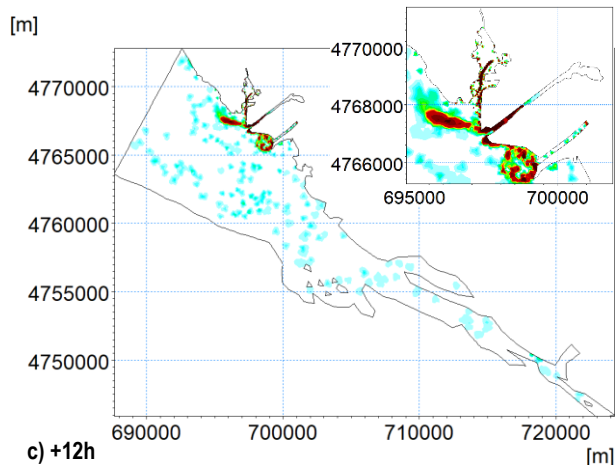
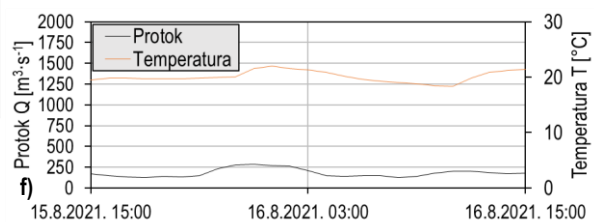
15.08.2021. 15:00 – 16.08.2021. 15:00

Ruža vjetrova (m.p. Ploče)

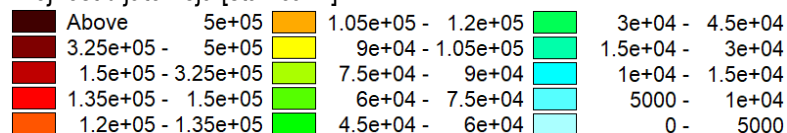


e) Nema dotoka iz Baćinskih jezera.

Protok i temperatura vode h.p. Metković (Neretva)



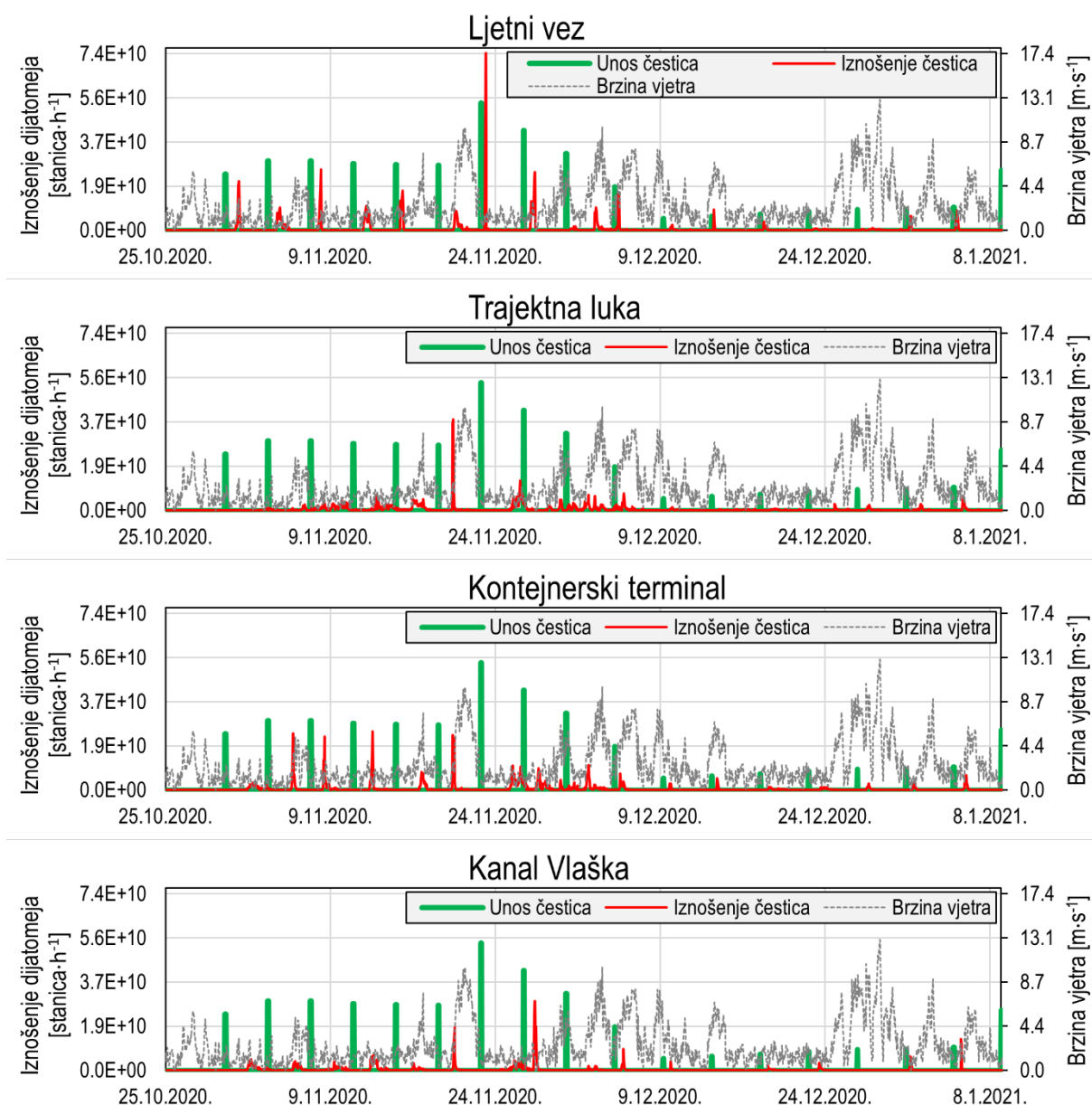
Brojnost dijatomeja [stanica·l⁻¹]



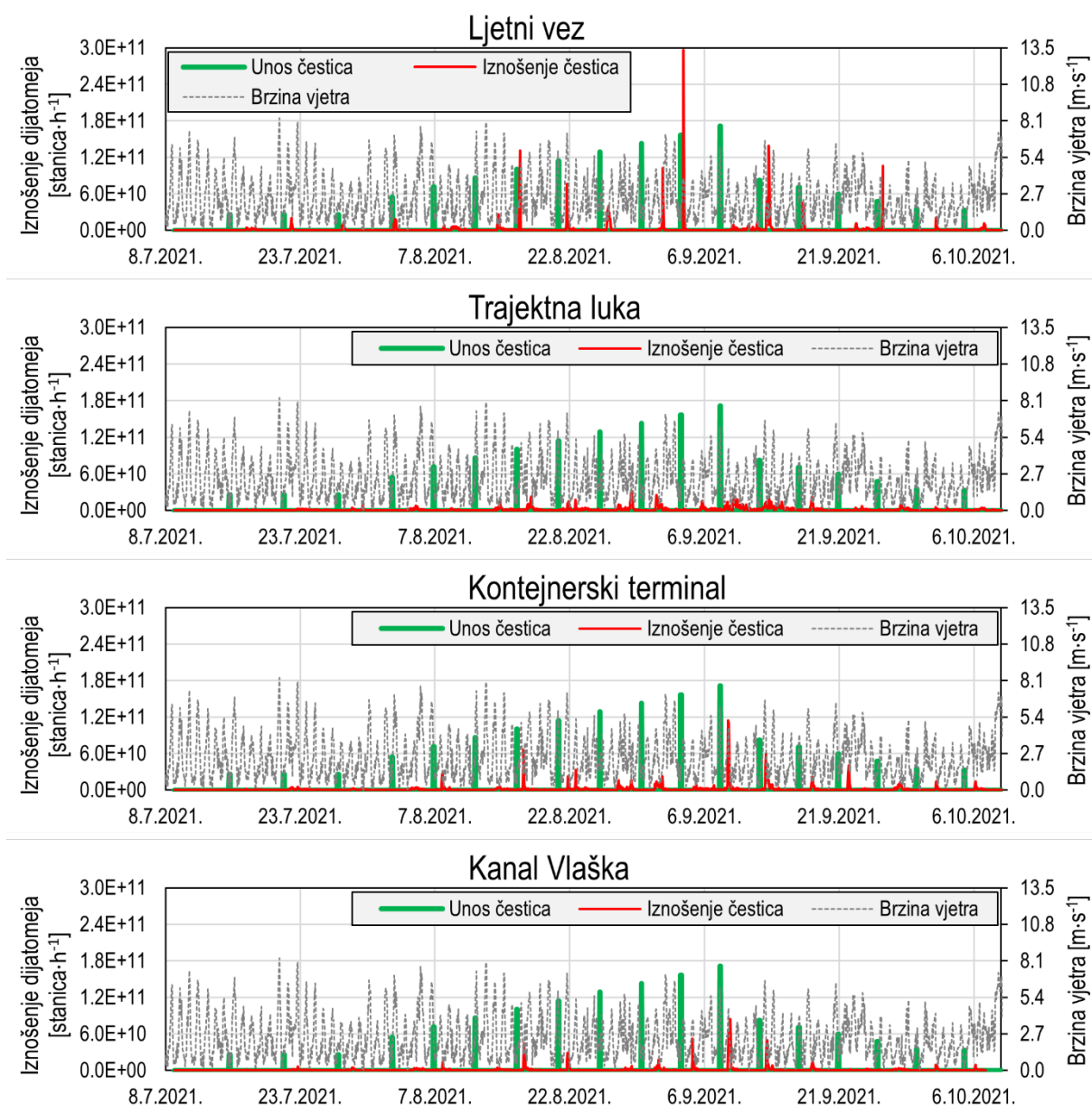
Slika 0-67 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 15.08.2021. 15:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 15.08.2021. u 15:00 do 16.08.2021. u 15:00

Tablica 0.13 Obrasci iznošenja kroz otvorene granice združenog modela cirkulacije mora i pronosa dijatomeja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica. Povezana je učestalost iznošenja s dominantnim vjetrom pri čemu su iz 10-minutnih ulaznih podataka izračunati satni klizni srednjaci (smjer i brzina), u obzir uzeti smjerovi i brzine 3h prije nastupanja iznošenja čestica kroz otvorenu granicu te su razmotreni isključivo vjetrovi za koje su se javile brzine puhanja $> 5,3$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] (90% percentil satno usrednjenih brzina vjetra u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.).

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni_vez	U čitavom se razdoblju ističu SE i NNE, redom kao dominantni vjetrovi koji utječu na iznošenje čestica van granica domene te susjedni smjerovi (NE, ESE, SSE, S). Ovi su vjetrovi ujedno dominantni po pitanju intenziteta te se može zaključiti da najintenzivniji vjetrovi dominantno utječu na intenzivan pronos koji se uglavnom odvija u površinskom. Tek za protoke Neretve na danoj lokaciji rubnog uvjeta $> 600 \text{ m}^3/\text{s}$ dolazi do potpunog jednosmjernog tečenja (u smjeru SW) pri kojem čestice nemaju mogućnost pronos u uzvodno tokom. Čestice unesene na području utjecaja slatkovodnoga dotoka iz Baćinskih jezera do potpunog će iznošenja doći pri pojavi protoka većeg od $18 \text{ m}^3/\text{s}$ (jednosmjerno strujanje po čitavoj visini u području djelovanja posebice oko ušća kanala).	U čitavom se razdoblju ističe W smjer kao dominantan vjetar koji uzrokuje iznošenje kroz otvorenu granicu „MORE“. Uzvodni pronos tokom rijeke Neretve uvjetovan je manjim protocima reda veličine $< 200 \text{ m}^3/\text{s}$ te je značajno izraženiji u odnosu na ZIMSKO razdoblje. Odsustvo dotoka iz Baćinskih jezera uzrokuje veće raspršenje i dulje zadržavanje čestica u zatvorenom dijelu akvatorija.
Trajektna_luka		
Kontejnerski_terminal		
Kanal_Vlaska		



Slika 0-68 Vremenski nizovi iznošenja dijatomeja kroz otvorenu granicu "MORE" u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (25.10.2020.-9.1.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica



Slika 0-69 Vremenski nizovi iznošenja dijatomeja kroz otvorenu granicu "MORE" u LJETNOM simulacijskom razdoblju (08.07.2020.-14.10.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica

D.I.ii. Pronos dinoflagelata

Tablica 0.14 Obrasci taloženja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dinoflagelata s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjeta) i lokaciju unosa modelskih čestica

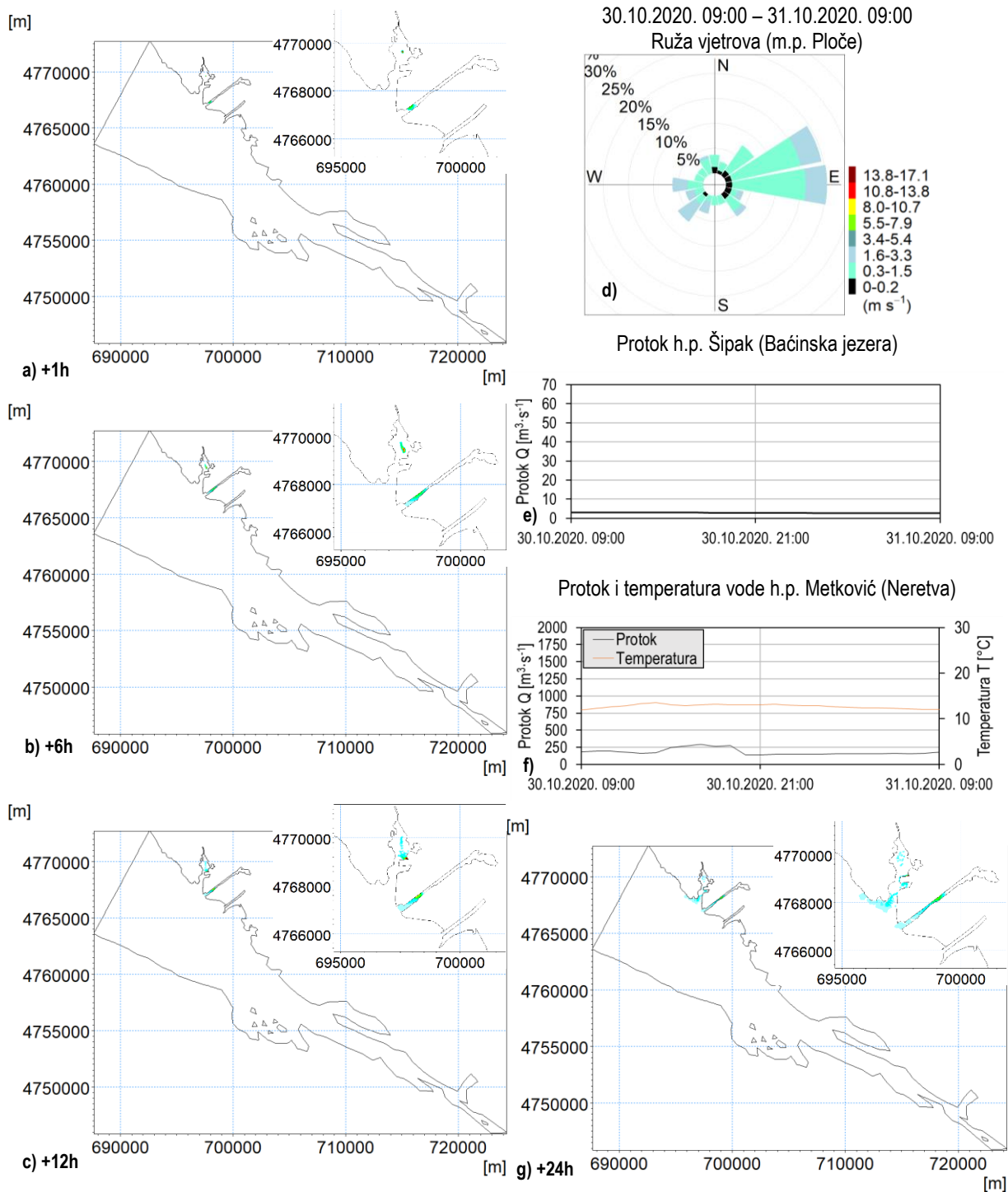
Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni vez	Niti jedna čestica se ne istaloži na dnu.	Uslijed snažnog raspršenja dolazi do slabog taloženja, ali je prisutno u okolini ušća čak i na krajnjem SE dijelu domene. Samo jedna čestica istaložena u kanalu Vlaška. Prisutno je taloženje i u području oko uvale Drače i obližnjih uvala.
Trajektna luka	Puno manji broj čestice se istaloži na zatvorenom dijelu akvatorija u odnosu na dijatomeje. Nakon pronosa pokraj kontejnerskoga terminala čestice se talože uz istočnu obalu. Dolazi do prodora čestica dublje u kanal Vlaška čime se ističe povezanost ovih dvaju dijelova akvatorija. Na području oko ušća Neretve (pličak Gumanac) SE od zone utjecaja dotoka iz rijeke Neretve nema taloženja.	Na zatvorenome dijelu dominantno je taloženje u kanalu iz Baćinskih jezera te u uvalama pokraj lokacije unosa. Prilikom pronosa u S-SSW smjeru dolazi do taloženja uz istočnu obalu. Značajna je i povezanost s kanalom Vlaška, a taloženje je prisutno i oko ušća Neretve (pličak Gumanac). Značajno veći broj taloži se na krajnjim SE dijelovima domene u odnosu na čestice unesene na lokaciji „Ljetni vez“. Nema taloženja uzduž korita Neretve.
Kontejnerski terminal	Najznačajnije taloženje prisutno uz istočnu obalu nakon pronosa iz zone kontejnerskoga terminala. Još izraženija povezanost s kanalom Vlaška što se očituje kroz veći broj istaloženih čestica u odnosu na one ispuštene na lokaciji „Trajektna luka“. Na području oko ušća Neretve (pličak Gumanac) SE od zone utjecaja dotoka iz rijeke Neretve nema taloženja.	Obrasci taloženja istovjetni onima opisanima za čestice unesene na lokaciji „Trajektna luka“ uz izraženije taloženje u okolini ušća te oko same lokacije unosa u zoni kontejnerskoga terminala. Manje čestica taloži se u kanalu iz Baćinskih jezera zbog slabijega pronosa u ovaj dio domene. Nema taloženja uzduž korita Neretve.
Kanal Vlaška	Značajno taloženje u kanalu i u jezeru Vlaška. Prema zatvorenome dijelu akvatorija čestice se talože uz istočnu obalu prije područja kontejnerskoga terminala.	Najznačajnije taloženje u okolini mjesta unosa te dublje u kanal i jezero Vlaška. Veći broj istaloženih čestica na krajnje SE dijelu domene u odnosu na čestice unesene na lokacijama „Trajektna luka“ i „Kontejnerski terminal“. Nema taloženja uzduž korita Neretve zbog toga što se radi o aktivnim česticama koje

	Zabilježeno taloženje pokraj ušća Neretve te samo jedna čestica istaložena SE od zone utjecaja dotoka iz rijeke Neretve.	provode određeno razdoblje u površinskome sloju u kojem ih struja iznosi prema otvorenome moru.
--	--	---

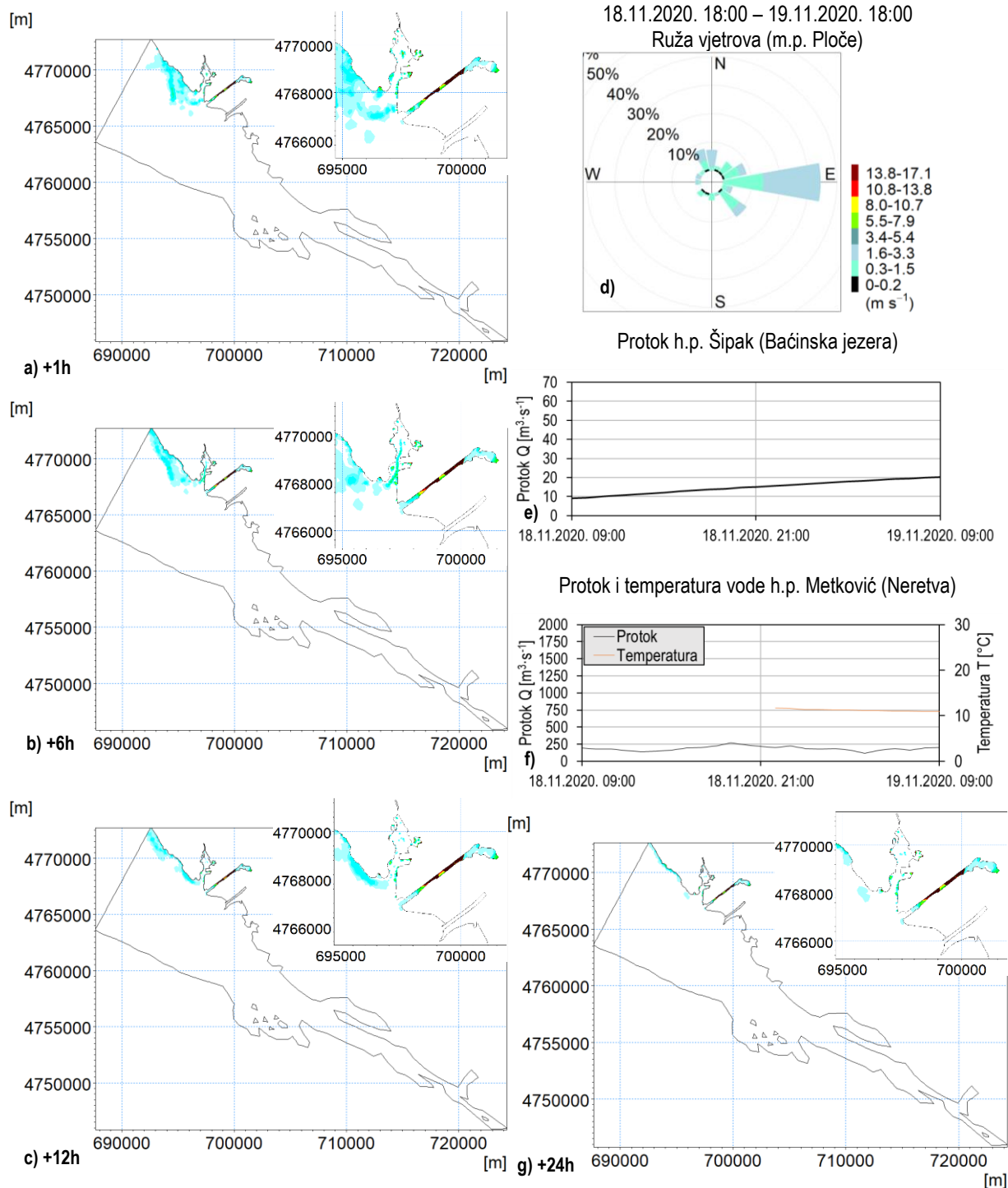
Tablica 0.15 Obrasci raspršenja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dinoflagelata s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni vez	Gotovo nezamjetna prosječna koncentracija zbog kratkog zadržavanja čestica i gotovo trenutnog pronosa nakon unošenja u prostornu domenu modela. Dominira pronos uz istočnu obalu na ovome dijelu akvatorija.	Najveća prosječna koncentracija prisutna SE od mjesta unosa u uvali Blace te u uvalama Bistrina i Duba Stonska iako su i to izuzetno male vrijednosti. Male koncentracije na ostatku domene upućuju na trenutno raspršenje nakon unosa.
Trajektna luka	Najveća koncentracija na lokaciji pristaništa trajekta, NE uglu zone kontejnerskog terminala te u uvalama na E i W od lokacije unosa. Dio čestica također se koncentrira u kanalu Vlaška. Male i gotovo nezamjetne vrijednosti prosječne koncentracije uzduž dominantnoga smjera pronosa (od NE prema S-SSW) upućuju na kratko zadržavanje čestica u ovome dijelu akvatorija uslijed nastupanja okolišnih uvjeta koji uvjetuju trenutno iznošenje čestica prema otvorenome moru ($Q_{Bačinska} > 11 \text{ m}^3/\text{s}$ i djelovanje vjetrova N-NNE-NE-ENE-E).	Najveća koncentracija NW od lokacije unosa neposredno nizvodno od ušća kanala Vlaška, oko pristaništa trajekta i NE uglu zone kontejnerskog terminala. Prisutno je zadržavanje i u kanalu Vlaška. U SE zonama dolazi do pojave čestica u uvali Duba Stonska i Bistrina te u krajnjem SE dijelu domene..
Kontejnerski terminal	Najveća koncentracija prisutna u okolini lokacije unosa (zona kontejnerskog terminala) te na lokaciji trajektnoga pristaništa. Iz prosječne se koncentracije očituje se dominantan SW smjer pronosa čestica prema otvorenome moru. Nakon dospjeća u zonu otvorenoga mora čestice se dominantno pronose u NW smjeru koncentrirajući se uz istočnu obalu. Za ovu je lokaciju najznačajnije raspršenje u zoni otvorenoga mora. Utvrđeno da jedino čestice upuštene na ovoj lokaciji provedu određeno razdoblje u koritu Neretve. Prilikom dospjeća u	Najveće prosječne koncentracije prisutne u istim dijelovima domene kao za lokaciju unosa čestica „Trajektna luka“. U odnosu na lokaciju „Trajektna luka“ krajnjem SE uglu te uvalama Bistrina i Duba Stonska javljaju se veće koncentracije.

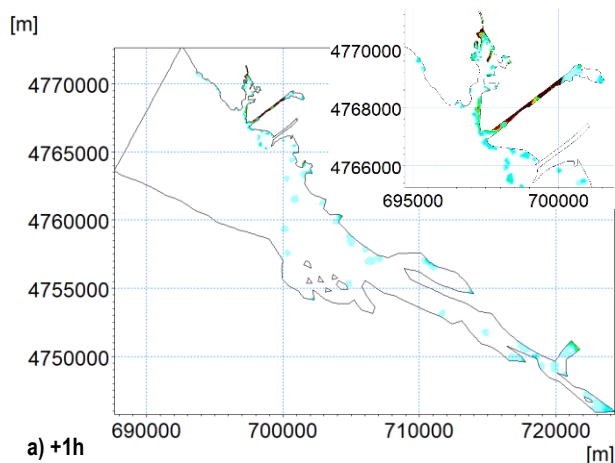
	površinske slojeve može se očekivati pronos organizama van otvorene granice modela.	
Kanal Vlaška	Male vrijednosti prosječne koncentracije očituju se samo unutar kanala i jezera Vlaška. Pri unosu dolazi do taloženja ili trenutnoga iznošenja prema otvorenom dijelu (pojava oseke ili vjetro NE).	Najznačajnije je zadržavanje čestica u okolini mjesta unosa i dublje prema jezeru Vlaška. Prisutni su istovjetni obrasci zadržavanja čestica u zatvorenom dijelu domene (prema lokacijama „Trajektna luka“ i „Kontejnerski terminal“) kao za prethodne dvije lokacije unosa uz napomenu da se javljaju značajno manje koncentracije. U SE dijelovima očituje se veća koncentracija u odnosu na prethodne dvije lokacije unosa.



Slika 0-70 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 30.10.2020. 09:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 30.10.2020. u 09:00 do 31.10.2020. u 09:00

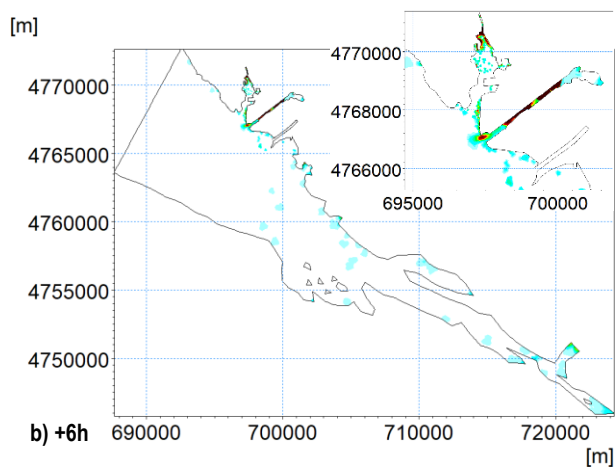
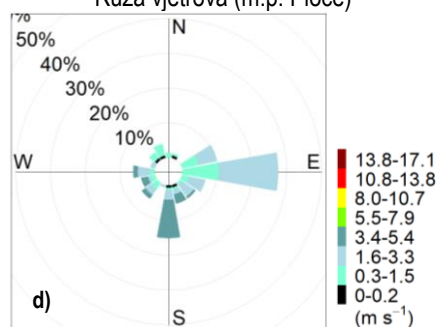


Slika 0-71 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica-l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 30.10.2020. 09:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 30.10.2020. u 09:00 do 31.10.2020. u 09:00



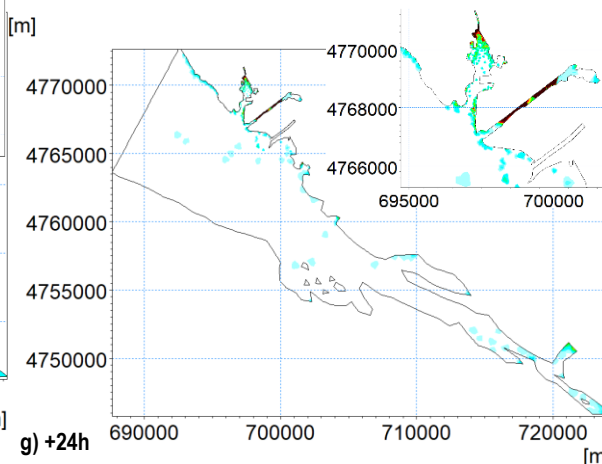
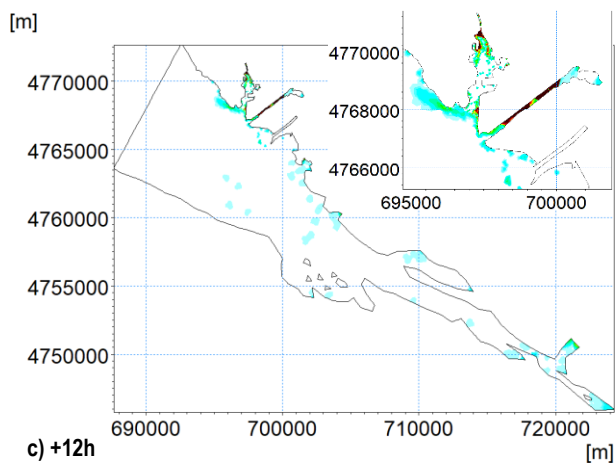
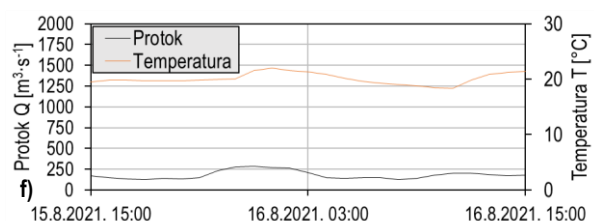
15.08.2021. 15:00 – 16.08.2021. 15:00

Ruža vjetrova (m.p. Ploče)

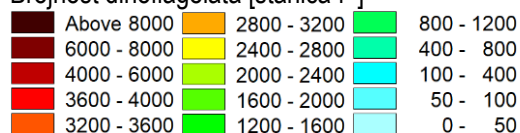


e) Nema dotoka iz Baćinskih jezera.

Protok i temperatura vode h.p. Metković (Neretva)



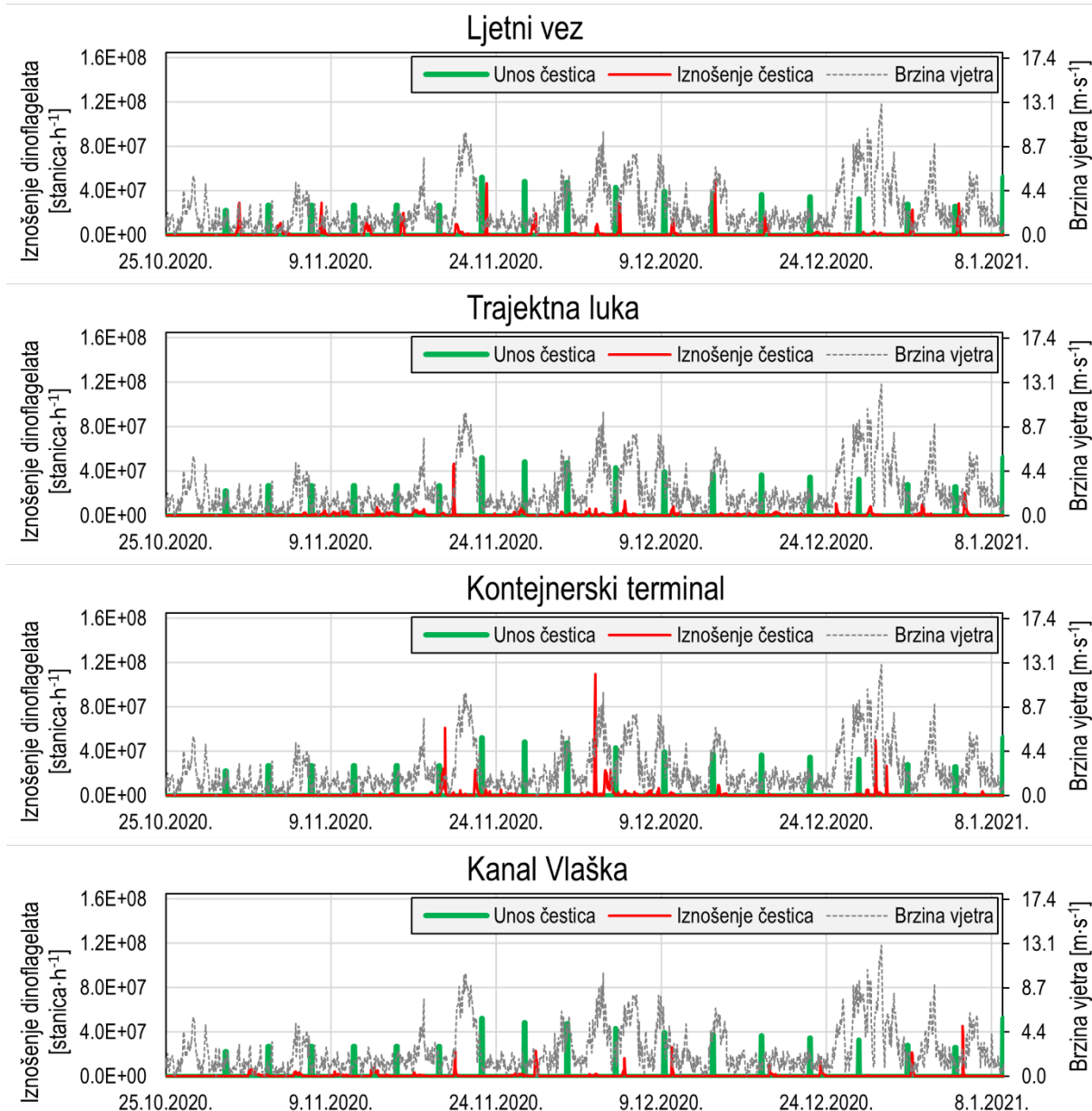
Brojnost dinoflagelata [stanica·l⁻¹]



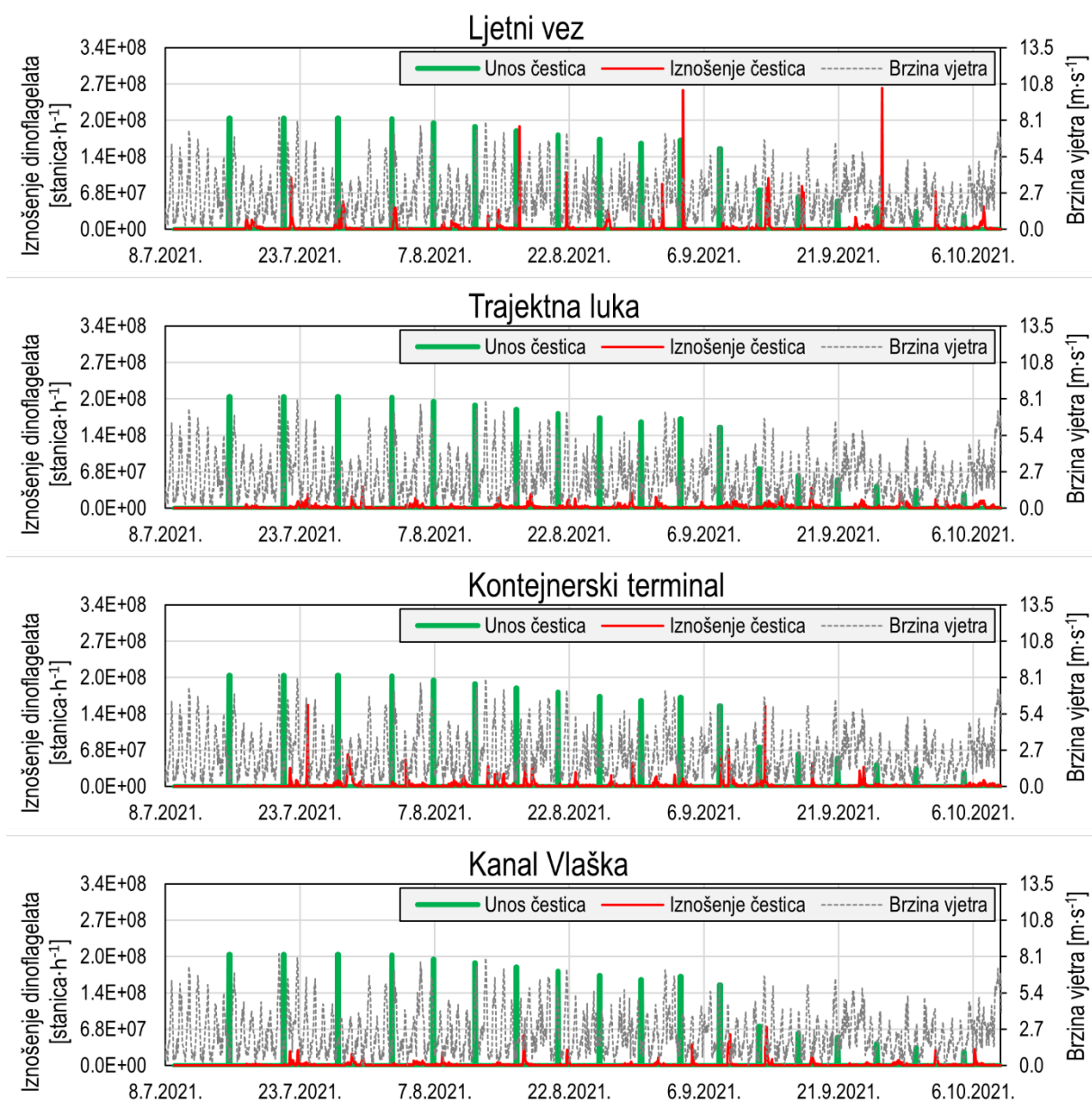
Slika 0-72 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [stanica·l⁻¹] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 15.08.2021. 15:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 15.08.2021. u 15:00 do 16.08.2021. u 15:00

Tablica 0.16 Obrasci iznošenja kroz otvorene granice združenog modela cirkulacije mora i pronosa dinoflagelata s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica. Povezana je učestalost iznošenja s dominantnim vjetrom pri čemu su iz 10-minutnih ulaznih podataka izračunati satni klizni srednjaci (smjer i brzina), u obzir uzeti smjerovi i brzine 3h prije nastupanja iznošenja čestica kroz otvorenu granicu te su razmotreni isključivo vjetrovi za koje su se javile brzine puhanja $> 5,3 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$ (90% percentil satno usrednjenih brzina vjetra u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.).

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni_vez	U čitavom se razdoblju ističu SE i NNE, redom kao dominantni vjetrovi koji utječu na iznošenje čestica van granica domene te susjedni smjerovi (NE, ESE, SSE, S). Ovi su vjetrovi ujedno dominantni po pitanju intenziteta te se može zaključiti da najintenzivniji vjetrovi dominantno utječu na intenzivan pronos koji se uglavnom odvija u površinskom. U odnosu na dijatomeje ove čestice imaju mogućnost gibanja u vertikalnom smjeru te češće borave pri površini. Stoga, aktivne čestice češće napuštaju domenu. Do uzvodnoga pronosa kroz otvorenu granicu „NERETVA“ nije došlo u ovome simulacijskom razdoblju. Čestice unesene na području utjecaja slatkovodnoga dotoka iz Baćinskih jezera do potpunog će iznošenja doći pri pojavi protoka većeg od $10 \text{ m}^3/\text{s}$.	U čitavom se razdoblju ističe W smjer kao dominantan vjetar koji uzrokuje iznošenje kroz otvorenu granicu „MORE“. Do uzvodnoga pronosa kroz otvorenu granicu „NERETVA“ nije došlo u ovome simulacijskom razdoblju. Odsustvo dotoka iz Baćinskih jezera uzrokuje veće raspršenje i dulje zadržavanje čestica u zatvorenom dijelu akvatorija.
Trajektna_luka		
Kontejnerski_terminal		
Kanal_Vlaska		



Slika 0-73 Vremenski nizovi iznošenja dinoflagelata kroz otvorenu granicu “MORE” u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (25.10.2020.-9.1.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica



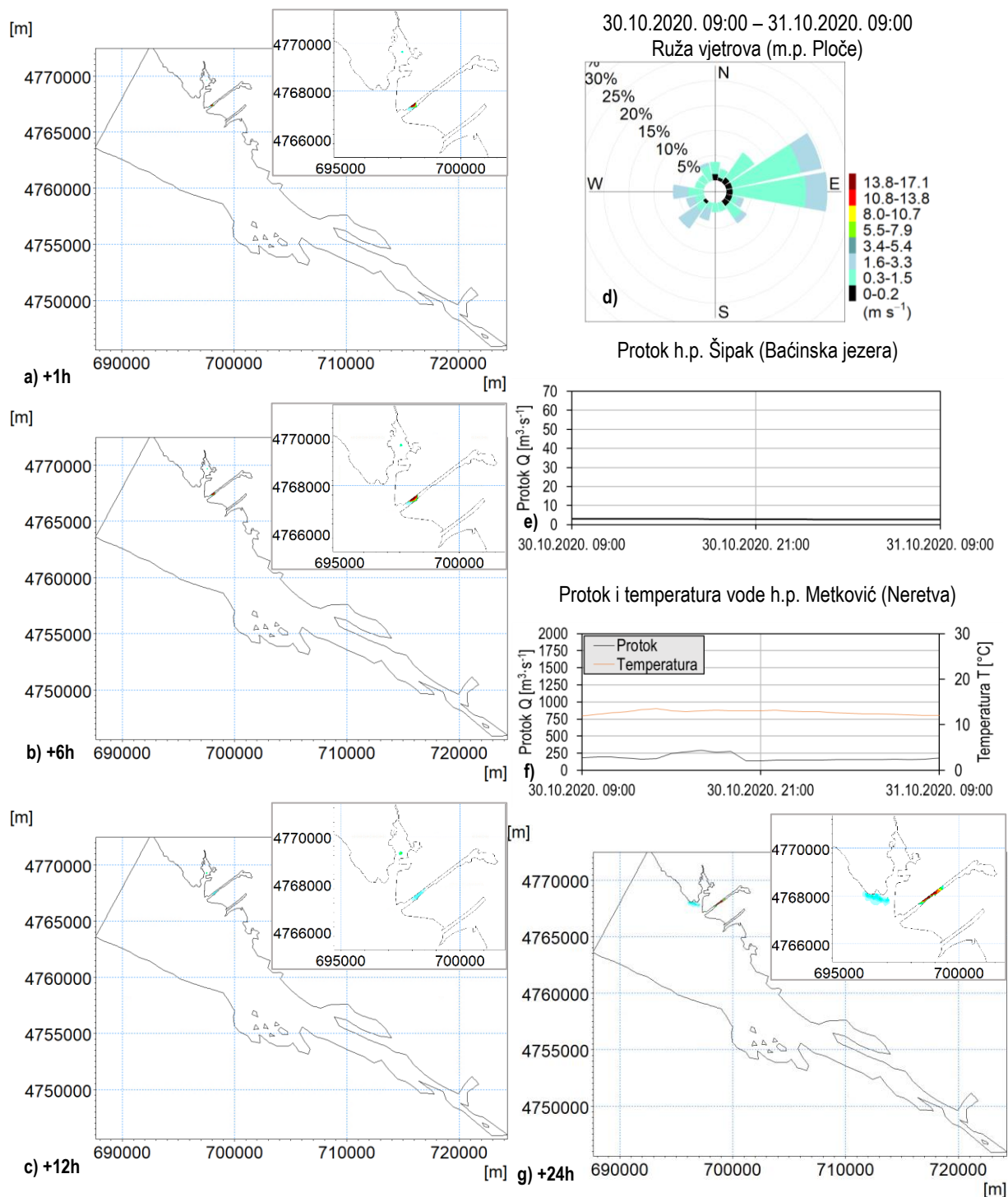
Slika 0-74 Vremenski nizovi iznošenja dinoflagelata kroz otvorenu granicu “MORE” u LJETNOM simulacijskom razdoblju (08.07.2020.-14.10.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica

D.I.iii. Pronos kopepoda

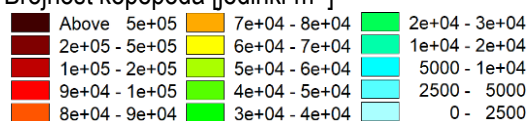
Tablica 0.17 Obrasci raspršenja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa kopepoda s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni vez	Polje ukazuje na tri dominantna smjera sekundarnoga pronosa koji nastaju kao posljedica djelovanja dominantnih smjerova vjetra najvećeg intenziteta. Najizraženiji je pronos u NNW smjeru uz istočnu obalu koji nastaje kao posljedica djelovanja SE-S vjetrova i slatkovodnoga dotoka iz rijeke Neretve. Nadalje, očituje se pronos u smjeru SW koji nastaje kao posljedica djelovanja intenzivnog NNE-NE vjetra i posljednji u smjeru W-WSW koji se odvija za vrijeme djelovanja E vjetra (najučestaliji).	Najveća koncentracija prisutna u zatvorenim dijelovima uvala SE od ušća Neretva. Drugi dominantni smjer pronosa je prema otvorenoj granici „MORE“ u NW smjeru ravnomjerno po širini akvatorija. Po najvećim se koncentracijama ističu potezi uz Pelješac od uvale Drača do Brijeste, zatim Duba Stonska te krajnji SE ugao akvatorija. Pronos u NE smjeru nije prisutan (prema zatvorenom dijelu oko kontejnerskog terminala i trajektne luke, kanalu Vlaška i koritu Neretve).
Trajektna luka	Najveća koncentracija u uvalama zapadno od lokacije unosa na trasi dominantnog strujanja prema otvorenome moru te u NE uglu zone kontejnerskog terminala. Nakon dospjeća u zonu otvorenoga mora ističe se pronos u NNW smjeru uz istočnu obalu. Značajna je i povezanost s kanalom Vlaška. Pronosa prema koritu Neretve ni u SE područja domene nema.	Najveća koncentracija prisutna uz obalu u zatvorenom dijelu W od lokacije unosa čestica te ravnomjerno po ovome dijelu domene. Povezanost s kanalom Vlaška nije izražena, a čestice se koncentriraju oko desne obale ovoga dijela domene. Nakon iznošenja u SSW smjeru, značajni su pronosi u W i NNW smjeru. Pronos u NNW odvija se uz istočnu obalu prema otvorenoj granici „MORE“, dok čestice pronošene u smjeru W koncentriraju se uz obalu Pelješca od otvorene granice do krajnjeg SE ugla domene gdje se javljaju najveće koncentracije na ovome dijelu domene.
Kontejnerski terminal	Obrasci pronosa istovjetni česticama unesenim na lokaciji „Trajektna_luka“. Nešto veća koncentracija utvrđena je uz istočnu obalu zone kontejnerskoga terminala, a primijećena je i veća koncentracija u NNW uvali zatvorenoga dijela domene.	Najveće se koncentracije javljaju u okolini mjesta unosa, u uvali nasuprot zone kontejnerskog terminala i u kanalu Vlaška dublje prema jezeru. Nakon iznošenja u SSW smjeru, značajni su pronosi u W i NNW smjeru (istovjetno česticama unesenima na lokaciji

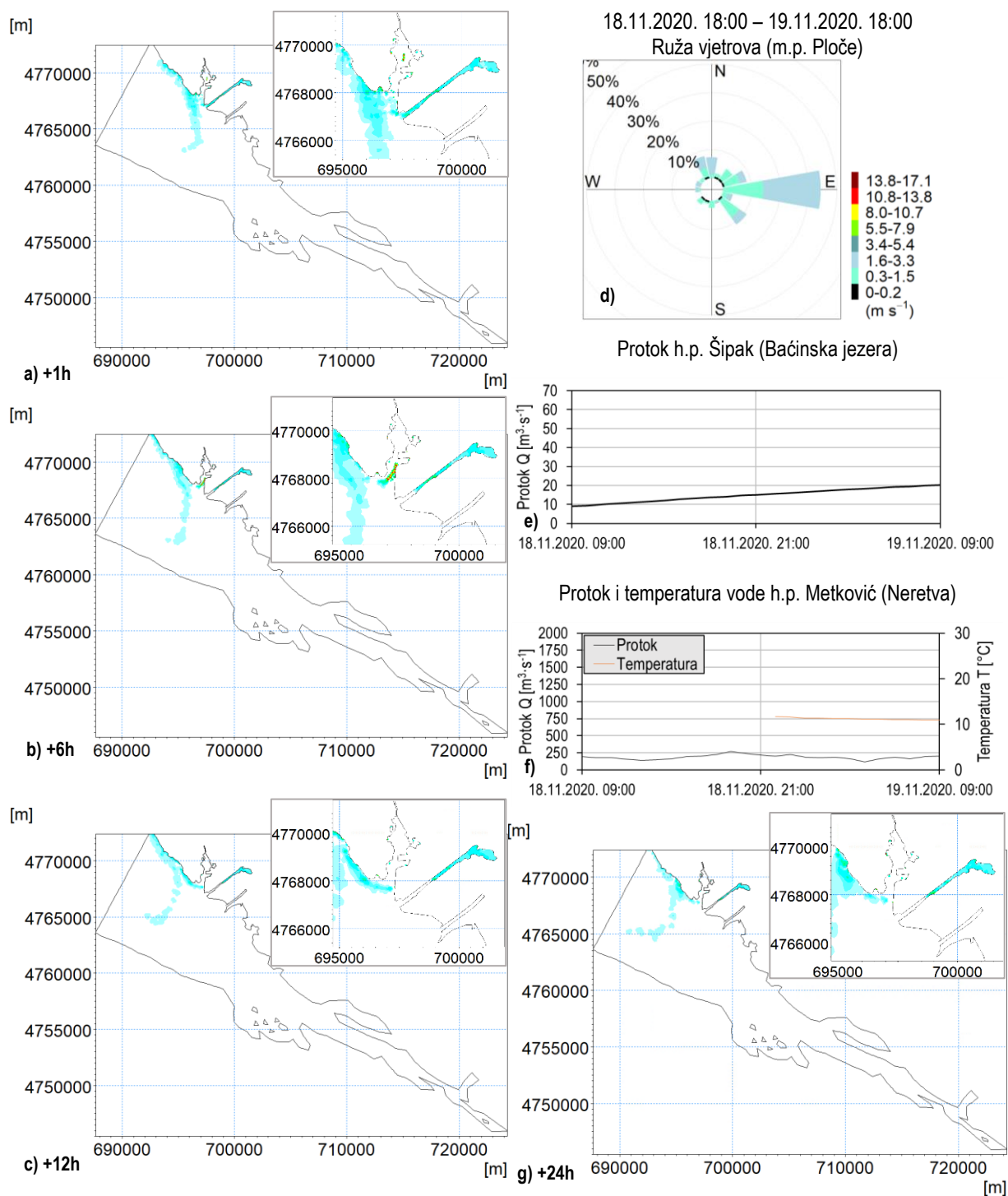
	Nakon dospijea u zonu otvorenoga mora ističe se pronos u NNW smjeru uz istočnu obalu. Značajna je i povezanost s kanalom i jezerom Vlaška. Pronosa prema koritu Neretve ni u SE područja domene nema.	„Trajektna_luka“). Pronos u NNW odvija se uz istočnu obalu prema otvorenoj granici „MORE“, dok čestice pronošene u smjeru W koncentriraju se uz obalu Pelješca od otvorene granice do uvala Duba Stonska. Za razliku od prethodne lokacije unosa, u krajnjem SE uglu domene nema nakupljanja čestica.
Kanal Vlaška	Najveća koncentracija u jezeru Vlaška i u kanalu. Nakon iznošenja prema otvorenome moru čestice se raspršuju u smjeru WSW-NNW i dalje prema otvorenoj granici „MORE“. Pronos u SE očituje se samo zadržavanje koncentraciju čestica uz sjeverne obale Neumskog zaljeva i manje u uvali Bistrina dok u daljnja SE područja domene nema zadržavanja čestica. U koritu Neretve uzvodno od ušća čestice se nakupljaju oko desne obale (izraženije nego za prethodne dvije lokacije unosa). Pronosa prema koritu Neretve ni u SE područja domene nema.	Najveće se koncentracije javljaju u okolini mjesta unosa, u uvali nasuprot zone kontejnerskog terminala i u kanalu Vlaška dublje prema jezeru kao i u samom jezeru. Značajan je pronos prema zatvorenom dijelu bazena (prema trajektnoj luci) gdje je veća koncentracija primijećena u uvali nasuprot zone kontejnerskog terminala. Nakon iznošenja u SSW smjeru, značajni su pronosi u W i NNW smjeru. Pronos u NNW odvija se uz istočnu obalu prema otvorenoj granici „MORE“, dok čestice pronošene u smjeru W koncentriraju se uz obalu Pelješca od otvorene granice do krajnjeg SE ugla domene, a najveće koncentracije na ovome dijelu domene prisutne su u uvali Duba Stonska.



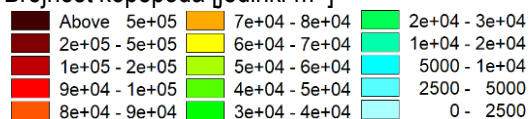
Brojnost kopepoda [jedinki·m⁻³]



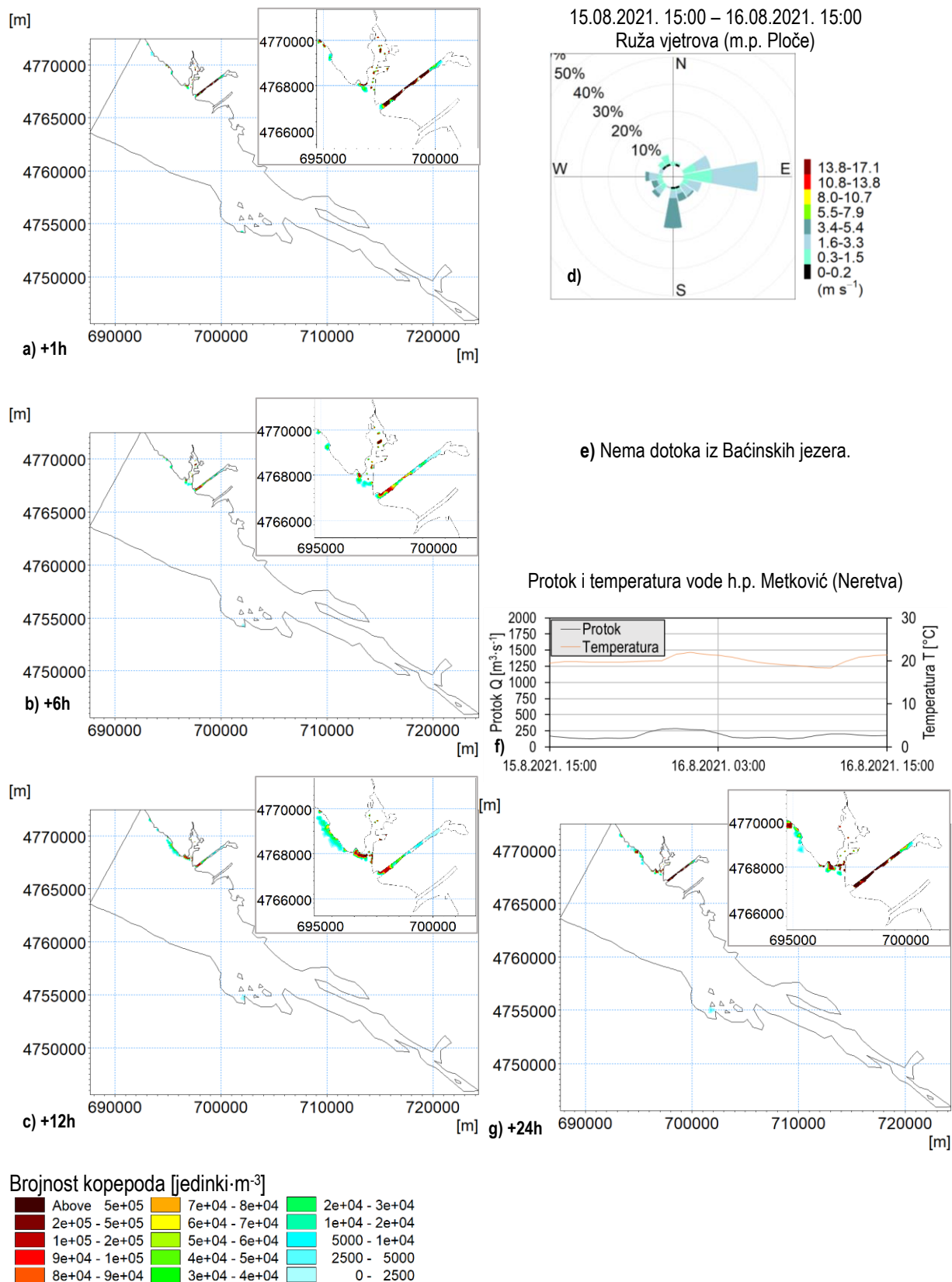
Slika 0-75 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [jedinki·m⁻³] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 30.10.2020. 09:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 30.10.2020. u 09:00 do 31.10.2020. u 09:00



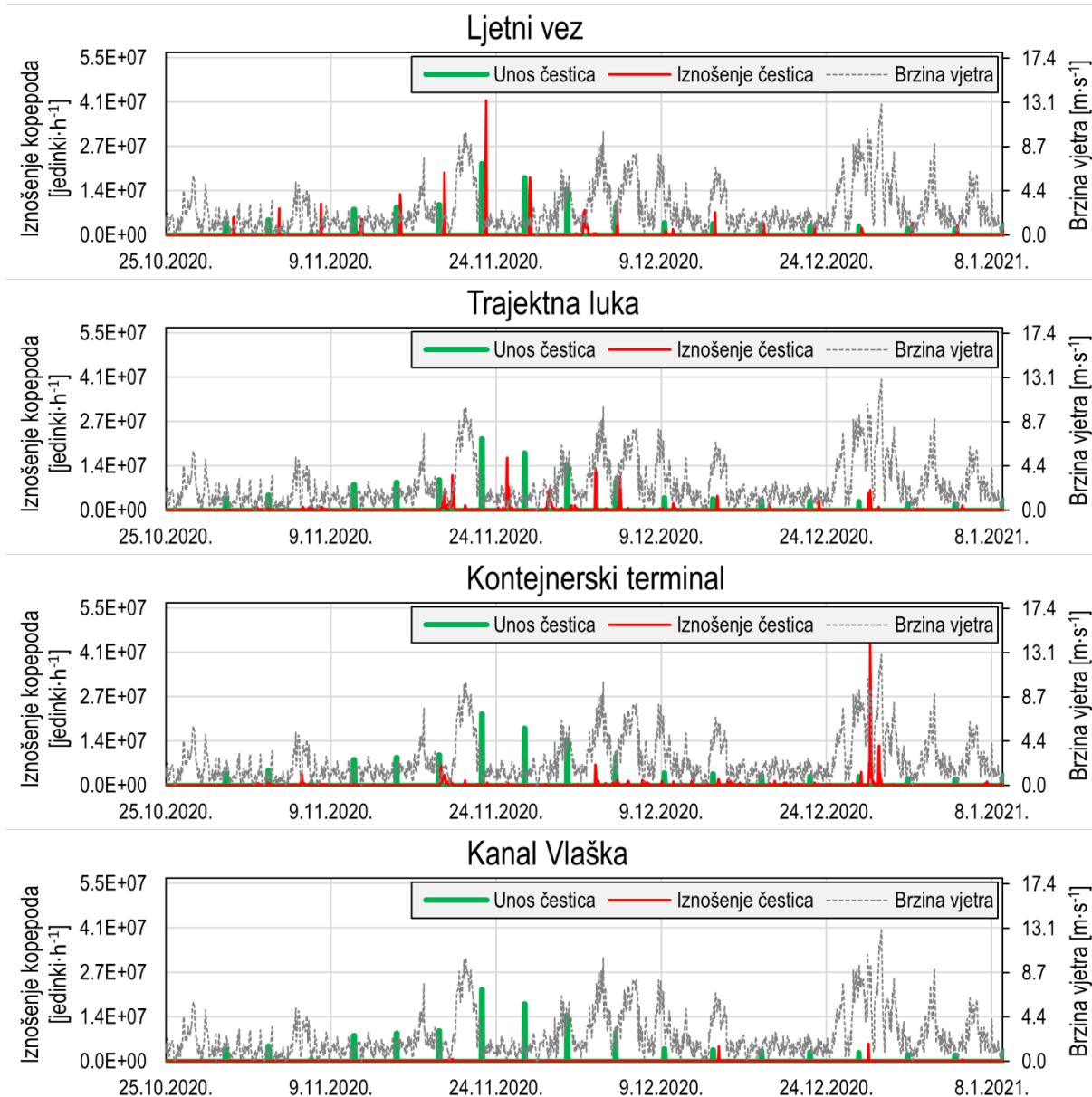
Brojnost kopepoda [jedinki·m⁻³]



Slika 0-76 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [jedinki·m⁻³] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 30.10.2020. 09:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 30.10.2020. u 09:00 do 31.10.2020. u 09:00



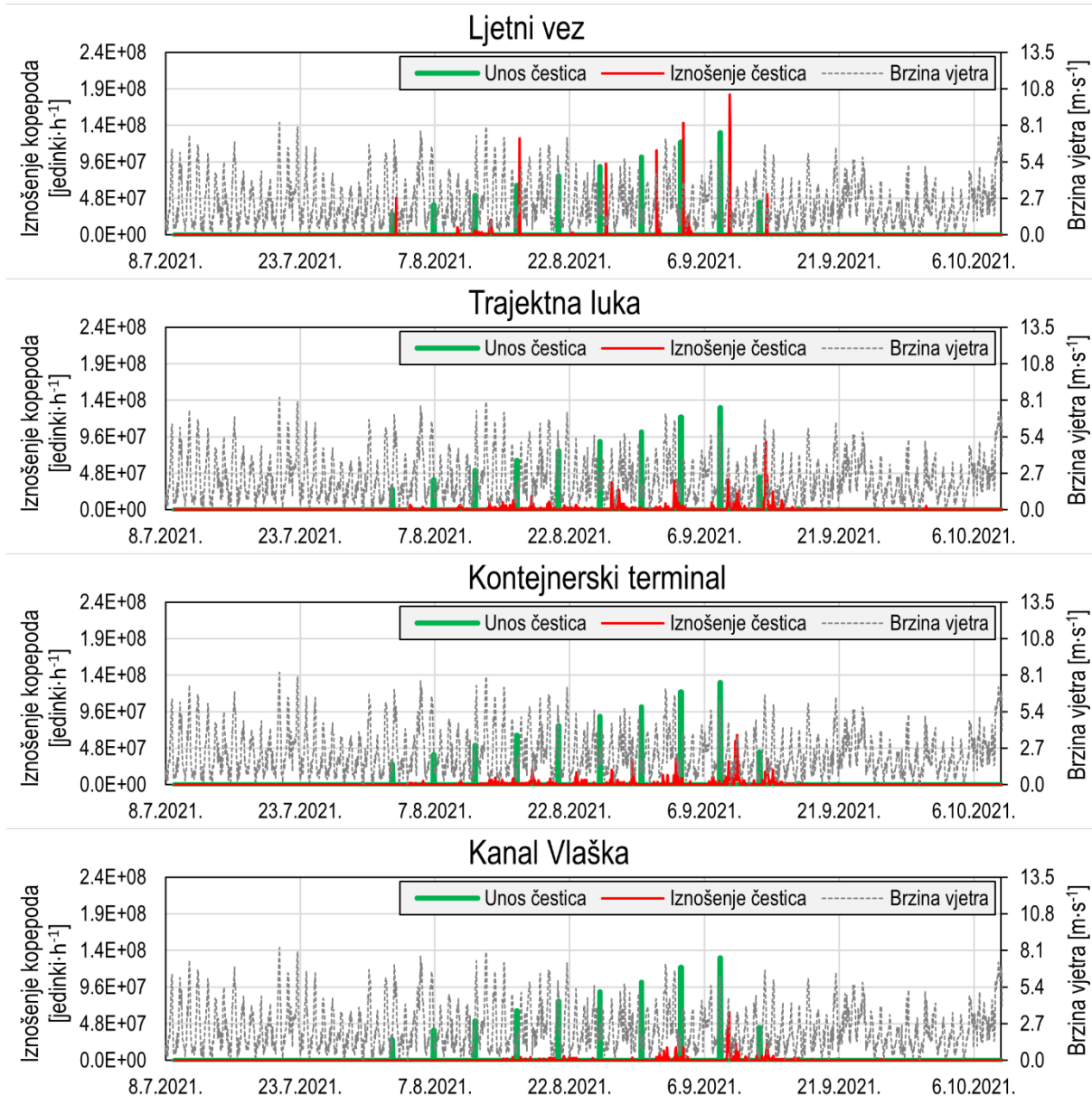
Slika 0-77 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora i istaloženih na dnu izražena u [jedinki·m⁻³] 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, g) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 15.08.2021. 15:00, ruža vjetrova na m.p. Ploče (d), protok na h.p. Šipak (e), protok i temperatura vode na h.p. Metković (f) u razdoblju od 15.08.2021. u 15:00 do 16.08.2021. u 15:00



Slika 0-78 Vremenski nizovi iznošenja kopepoda kroz otvorenu granicu „MORE“ u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (25.10.2020.-9.1.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica

Tablica 0.18 Obrasci iznošenja kroz otvorene granice združenog modela cirkulacije mora i pronosa kopepoda s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica. Povezana je učestalost iznošenja s dominantnim vjetrom pri čemu su iz 10-minutnih ulaznih podataka izračunati satni klizni srednjaci (smjer i brzina), u obzir uzeti smjerovi i brzine 3h prije nastupanja iznošenja čestica kroz otvorenu granicu te su razmotreni isključivo vjetrovi za koje su se javile brzine puhanja $> 5,3$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] (90% percentil satno usrednjenih brzina vjetra u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.).

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
Ljetni_vez	Dominantno iznošenje nastupa pri pojavi NNE vjetra kojeg slijede N, SE i E.	Istovjetno ranije opisanome i za dijatomeje i za dinoflagelate. Dominira W smjer s obzirom na to da se u ovome simulacijskom razdoblju javljaju najveće brzine puhanja upravo iz ovoga smjera. Osim smjera W, NNE se ističe kao vjetar koji uzrokuje pronos čestica kroz otvorene granice modela.
Trajektna_luka	Čestice upuštene na ovoj lokaciji pokazuju najveću varijabilnost smjerova djelovanja vjetra koji uzrokuju iznošenje kroz otvorene granice. SE se ističe kao dominantan smjer, a slijedi ga NNE pri čemu su ovo vjetrovi pri kojima dolazi do najvećih brzina puhanja.	
Kontejnerski_terminal	Istovjetno ranije opisanom za čestice unesene na lokaciji „Trajektna_luka“.	
Kanal_Vlaska	Podjednako iznošenje po učestalosti uslijed djelovanja vjetrova iz smjera ESE, SE i NNE. Pri tome valja napomenuti da NNE i E vjetrovi uzrokuju iznošenje čestica iz kanala Vlaška u površinskom sloju odakle se pronos odvija dominantno u smjeru NW kroz otvorenu granicu „MORE“.	



Slika 0-79 Vremenski nizovi iznošenja kopepoda kroz otvorenu granicu „MORE“ u LJETNOM simulacijskom razdoblju (08.07.2021.-14.10.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica

D.II. Luka Rijeka

U nastavku su dani rezultati numeričkih simulacija pronosa dijatomeja, dinoflagelata i kopepoda za karakteristične situacije djelovanja vjetra koje koincidiraju s trenucima unosa modelskih čestica. Karakterističnim su situacijama u obzir uzeti najučestaliji vjetrovi (NNE/NE za oba simulacijska razdoblja), vjetrovi za koje je utvrđeno da se javljaju najveće brzine puhanja (NNE/NE i S) te kompleksnije vjetrovne situacije koje pokazuju na izrazitu varijabilnost smjera i intenziteta vjetra u razdoblju razmatranja rezultata. Rezultati modela pronosa prikazat će se kroz:

- komentare na ovisnost djelovanja dominantnih okolišnih uvjeta te obrasce taloženja, raspršenja i iznošenja modelskih čestica kroz otvorene granice modela za svaku pojedinu lokaciju unosa;
- 2D polja fitoplanktonskih frakcija (dijatomeja i dinoflagelata) raspršenih u stupcu mora i pozicije istaloženih modelskih čestica na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa u prostornu domenu modela;
- 2D polja kopepoda (zooplanktona) raspršenih u stupcu mora 1, 6, 12 i 24 [h] nakon unosa u prostornu domenu modela;
- vremenske nizove ukupno iznesenih modelskih čestica kroz otvorene granice modela za ZIMSKO i LJETNO simulacijsko razdoblje s prikazom brzine vjetra.

Valja napomenuti da će se prikazati ruža vjetrova u razdoblju prikaza rezultata kako bi se dobio detaljniji uvid u obrazac pronosa planktonskih zajednica s obzirom na ovaj generatore intenzivne cirkulacije na predmetnoj domeni. Također, istaložene modelske čestice na dnu luke prikazane su kvadratima s promjenjivim bojama u ovisnosti o dubini na kojoj je došlo do taloženja. Ovakav je pristup različit u odnosu na ranije prikazivane rezultate, međutim usvojen je zbog preglednosti. Poljem prikazanih čestica unutar prostorne domene u trenutku +1 [h] nakon njihovoga unosa istovjetno je stanju raspršenih i istaloženih čestica do trenutka unosa. Na ovaj se način dobije uvid u početno stanje položaja čestica unutar prostorne domene modela prije unosa novih čestica koje je nastalo kao posljedica prethodnih okolišnih uvjeta.

D.II.i. Pronos dijatomeja

Tablica 0.19 Obrasci taloženja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dijatomeja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Izraženo taloženje oko lokacije unosa i pokraj Budimpeštanskog pristaništa (uglavnom uz W rub ovoga dijela bazena Rijeka). Očituje se povezanost sa Sušakom i Mrtvim kanalom.	Izraženo taloženje oko lokacije unosa i prema dijelovima bazena E od područja unosa. Očituje se povezanost s bazenom Sušakom i Mrtvim kanalom, ali u manjoj mjeri nego što je to slučaj za ZIMSKO razdoblje. Taloženje dominantno oko mjesta unosa i slabija povezanost sa Sušakom s aspekta istaloženih modelskih čestica posljedica su zasigurno slabijih struja (smjer je više-manje isti, ali brzina je manja).
RIbwB	Izraženo taloženje oko lokacije unosa (nešto E od same lokacije) i prema E dijelovima bazena Rijeka, zatim u propustu prema Sušaku. Prisutna povezanost sa Sušakom u značajnijoj mjeri nego kad se unosi na „BazenRI-ulaz“, posebice ako se promatra Mrtvim kanal.	Istovjetno ranije opisanom, izraženo taloženje u okolini unosa i gatovima uz Budimpeštansko pristanište. Izraženije je taloženje uz Molo Longo i na krajnjim E dijelovima bazena Rijeka. Također, prisutno je izraženije taloženje na području propusta prema Sušaku. U Sušaku gotovo da nema istaloženih modelskih čestica (svega 3 kom).
BazenRI-sredina	Najizraženije taloženje u propustu prema Sušaku, a značajno je i W od lokacije „BazenRI-ulaz“. Utvrđeno nešto više istaloženih čestica u Mrtvom kanalu.	Najizraženije taloženje u dijelu bazena E od Budimpeštanskog pristaništa te u propustu prema Sušaku. U Sušaku gotovo da nema istaloženih modelskih čestica (svega 1 kom).
BazenSU-sredina	Najizraženije taloženje u Mrtvom kanalu, zatim u propustu prema bazenu Rijeka. Značajno je taloženje u SE uglu Sušaka i na dijelu bazena Rijeka neposredno N od propusta.	Najizraženije taloženje u Mrtvom kanalu, zatim u propustu prema bazenu Rijeka. Značajno je taloženje uz Sušački lukobran i u SE uglu Sušaka (izraženije nego za zimsko

		razdoblje) i na dijelu bazena Rijeka neposredno N od propusta.
RIbwS	Najizraženije taloženje u Mrtvom kanalu (više nego za „BazenSU-sredina“), zatim u propustu prema bazenu Rijeka. Manje se očituje taloženje u SE uglu Sušaka i na dijelu bazena Rijeka neposredno N od propusta.	Najizraženije taloženje oko mjesta unosa čestica te u propustu prema bazenu Rijeka. Značajno manje izraženo taloženje u Mrtvom kanalu u odnosu na zimsko razdoblje.

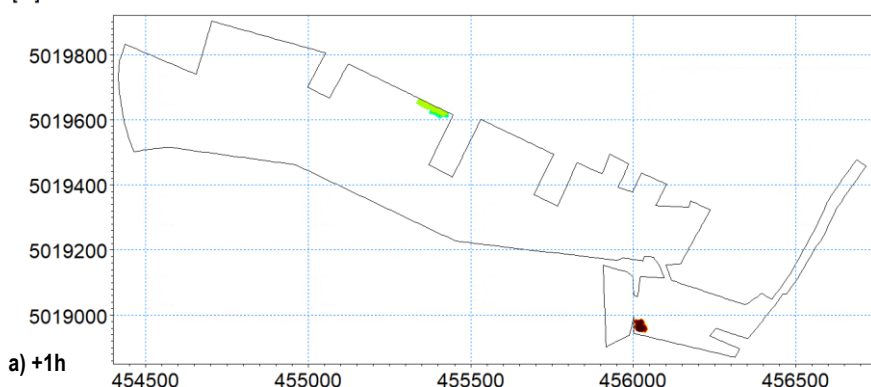
Tablica 0.20 Obrasci raspršenja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dijatomeja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Najznačajnije raspršenje u okolini privezišta na kojem se ispušta (najveća koncentracija stanica po litri) te prema Budimpeštanskom pristaništu. Također, polje prosječne koncentracije upućuje na povezanost sa Sušakom.	Istovjetno zimskom obrascu pronosa. Veća koncentracija u odnosu na ZIMSKO razdoblje uvjetovana je većom brojnošću unesenih dijatomeja i duljim zadržavanjem čestica unutar prostorne domene uvjetovanim slabijim strujama varijabilnijih smjerova.
RIbwB	Najznačajnije raspršenje u okolini privezišta na kojem se ispušta (najveća koncentracija stanica po litri), zatim u smjeru E (unutrašnji dio bazena), a nakon toga prema lokaciji pristaništa oko „BazenRI-ulaz“. Također, polje prosječne koncentracije upućuje na povezanost sa Sušakom u snažnijoj mjeri nego što je to prisutno za prvi primjer.	Istovjetno zimskom obrascu pronosa. Veća koncentracija u odnosu na ZIMSKO razdoblje uvjetovana je većom brojnošću unesenih dijatomeja i duljim zadržavanjem čestica unutar prostorne domene uvjetovanim slabijim strujama varijabilnijih smjerova. Ono što se očituje jest slabija povezanost sa Sušakom. U Mrtvom kanalu srednje koncentracije su manje nego ZIMSKO razdoblje iako je unos više od 3x veći u LJETNOM.
BazenRI-sredina	Najznačajnije raspršenje u okolini privezišta na kojem se ispušta (najveća koncentracija stanica po litri), zatim u smjeru E (unutrašnji dio bazena), a nakon toga prema lokaciji	Najznačajnije raspršenje u smjeru otvorene granice domene (r.u. „BAZEN_RIJEKA“) i prema Budimpeštanskom pristaništu. U odnosu na prethodne dvije lokacije

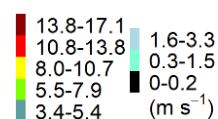
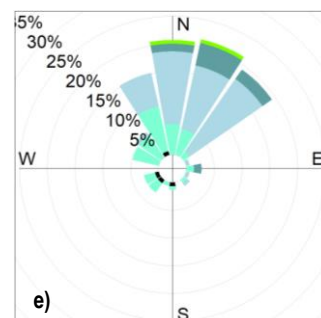
	pristaništa oko „BazenRI-ulaz“. Puno veće raspršenje u odnosu na prethodne dvije lokacije (posljedica većih brzina strujanja i uniformnijih smjerova strujanja s izraženim E i W). Također, prosječna koncentracija upućuje na povezanost sa Sušakom u značajnijoj mjeri nego što je to prisutno za prva dva primjera.	ispuštanja („BazenRI-ulaz“, „RIbwB“) generalno se javljaju manje vrijednosti srednjih koncentracija upravo zbog toga što se na ovome dijelu mogu očekivati najveće brzine strujanja na čitavoj prostornoj domeni modela. Značajno slabija povezanost sa Sušakom u odnosu na ZIMSKO razdoblje pri čemu su koncentracije reda veličine upravo za to razdoblje uz manju prostornu pokrivenost bazena Sušak modelskim česticama dijatomeja. Istovjetno ranijim komentarima, razlog se može pronaći u slabijim strujama.
BazenSU-sredina	Najznačajnije raspršenje u okolini privezišta na kojem se ispušta, zatim smjer S (posljedica djelovanja najučestalijega vjetera NNE-NE), zatim u smjeru W (prema otvorenoj granici modela) i E (prema SE uglu bazena Sušak gdje se čestice zarobe zbog malih struja), a nakon toga kroz propust prema bazenu Rijeka. Izražena je povezanost s Mrtvim kanalom gdje se javljaju koncentracije čak do 100 stanica/litra.	Istovjetno pronosu u ZIMSKOM razdoblju što se tiče pronosa prema Mrtvom kanalu, bazenu Rijeka i otvorenoj granici modela „BAZEN_SUSAK“. Također, u ovome se razdoblju za danu lokaciju unosa može očekivati dulje zadržavanje čestica unutar bazena Sušak kao posljedica morskih struja slabijih intenzitetom i varijabilnijih smjerom.
RIbwS	Najznačajnije raspršenje u okolini privezišta na kojem se ispušta (najveća koncentracija stanica po litri), zatim smjer NW (prema otvorenoj granici modela) i E (prema Mrtvom kanalu). Izražena je povezanost s Mrtvim kanalom gdje se javljaju koncentracije čak do 200 stanica/litra. Manje je izražena povezanost s bazenom Rijeka kroz propust ako se usporedi s ispuštanjem na lokaciji SredSU.	Istovjetni obrasci pronosa kao za ZIMSKO razdoblje uz izuzetak slabije povezanosti ove lokacije s Mrtvim kanalom gdje se javljaju manje koncentracije u LJETNOM razdoblju.

[m]

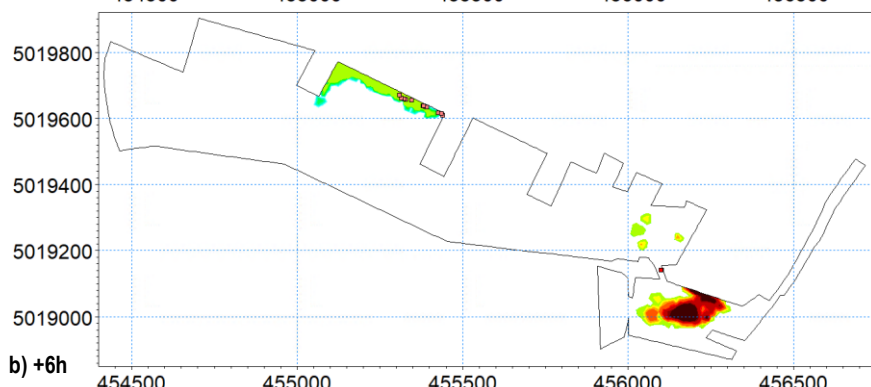
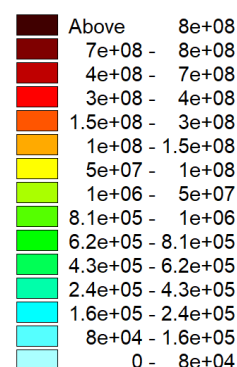
15.10.2020. 12:00 – 16.10.2020. 12:00



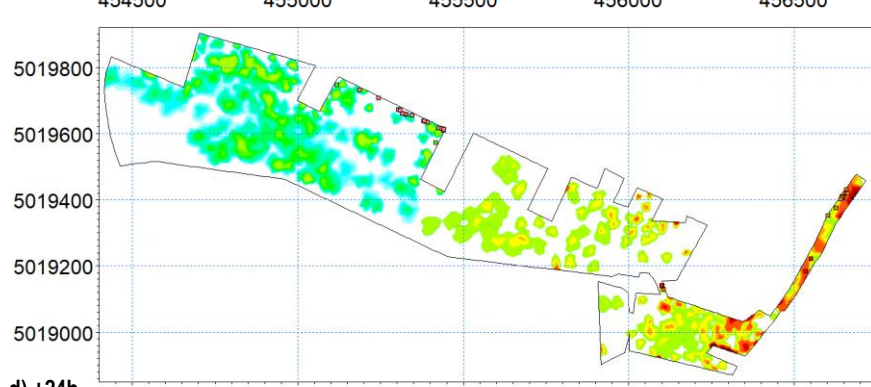
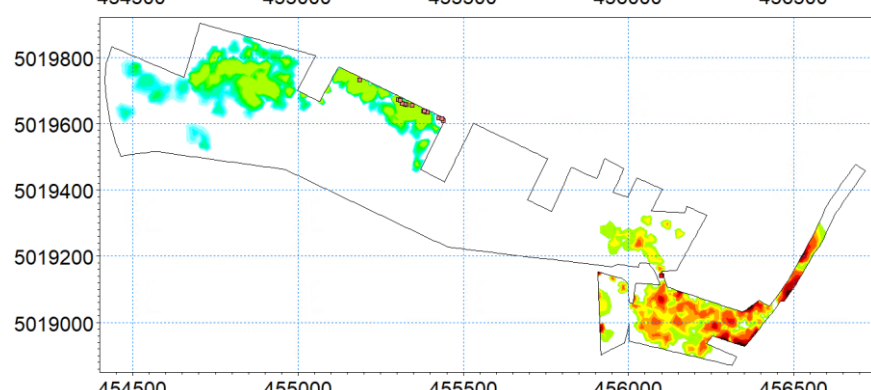
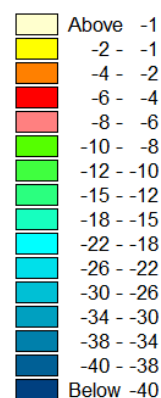
Ruža vjetrova (m.p. Rijeka)



Brojnost dijatomeja
[stanica·l⁻¹]



Dubina istaložene čestice z [m]

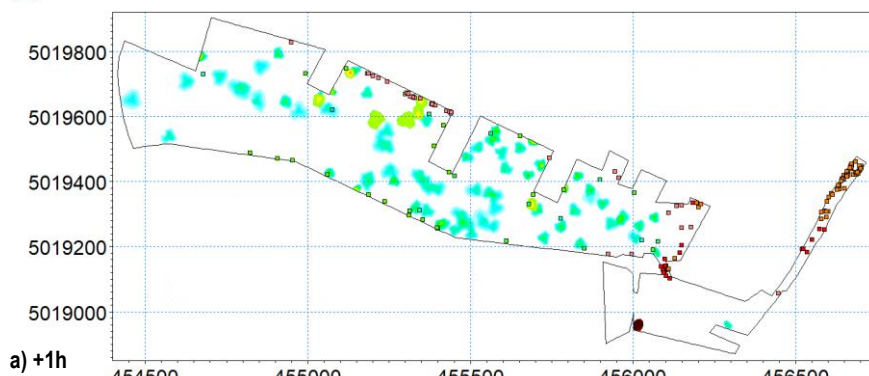


[m]

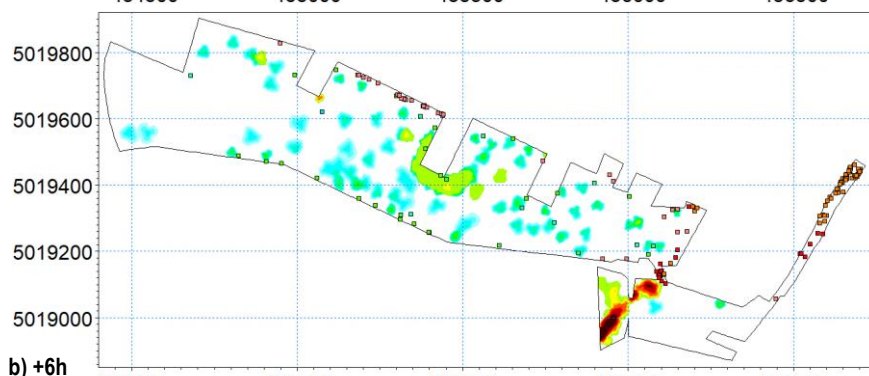
Slika 0-80 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 15.10.2020. 12:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 15.10.2020. u 12:00 do 16.10.2020. u 12:00

[m]

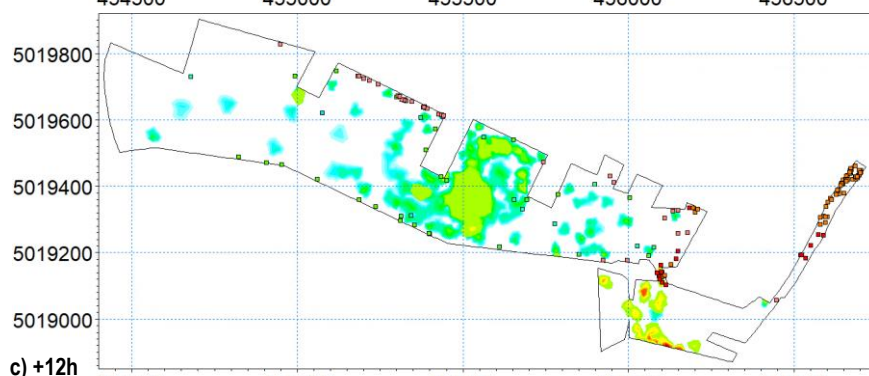
26.10.2020. 02:00 – 27.10.2020. 02:00



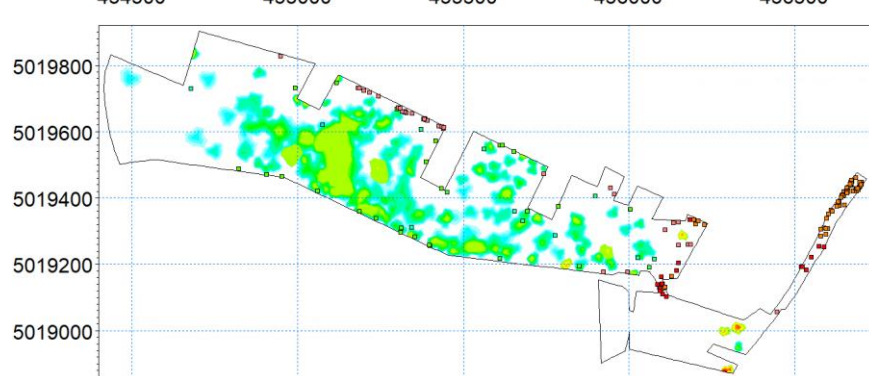
a) +1h



b) +6h

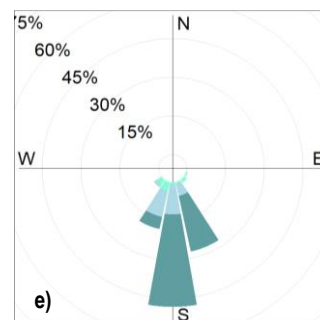


c) +12h

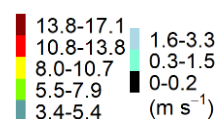


d) +24h

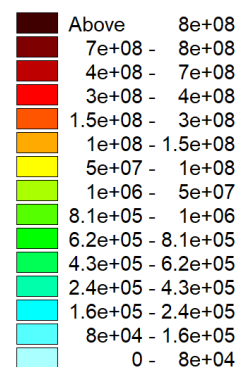
Ruža vjetrova (m.p. Rijeka)



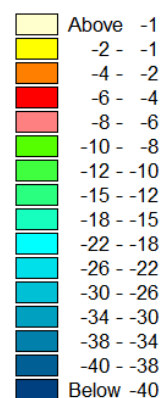
e)



Brojnost dijatomeja
[stanica·l⁻¹]



Dubina istaložene čestice z [m]

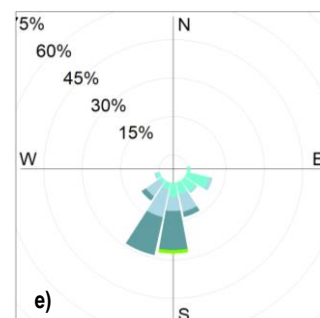


Slika 0-81 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 26.10.2020. 02:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 26.10.2020. u 02:00 do 27.10.2020. u 02:00

[m]

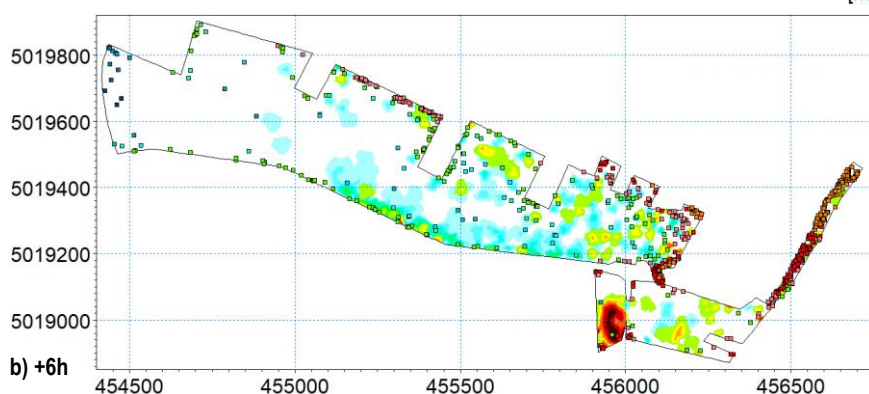
24.12.2020. 00:00 – 25.12.2020. 00:00

Ruža vjetrova (m.p. Rijeka)

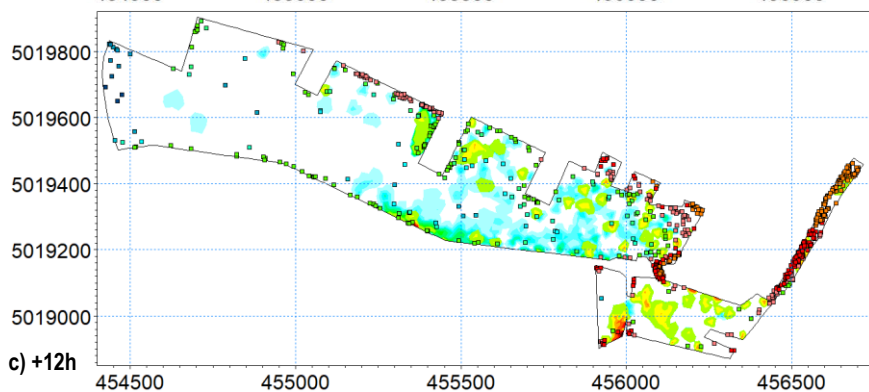


a) +1h

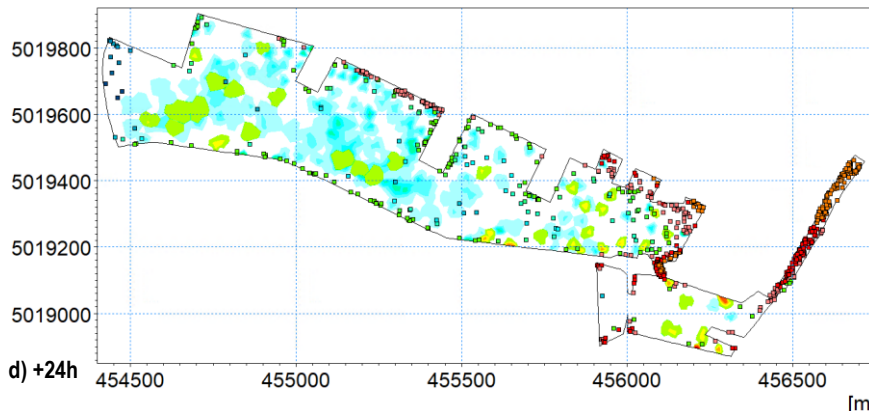
[m]



b) +6h

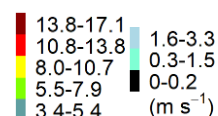


c) +12h

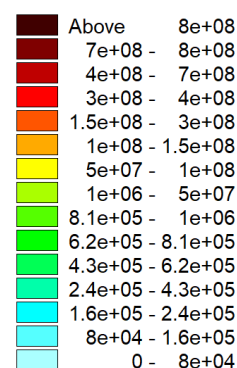


d) +24h

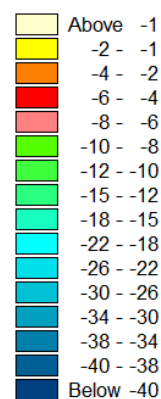
[m]



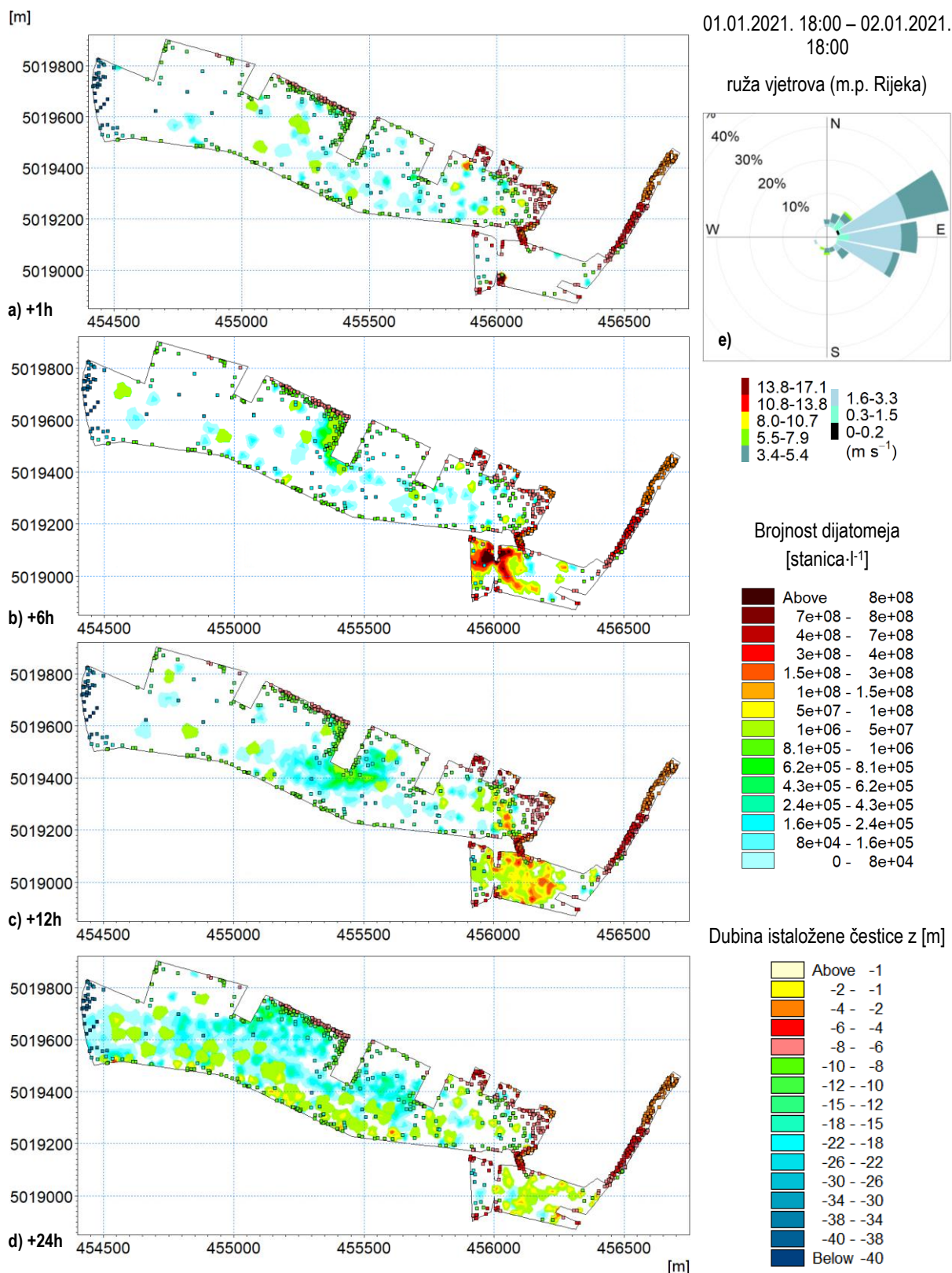
Brojnost dijatomeja
[stanica·l⁻¹]



Dubina istaložene čestice z [m]



Slika 0-82 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 24.12.2020. 00:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 24.12.2020. u 00:00 do 25.12.2020. u 00:00

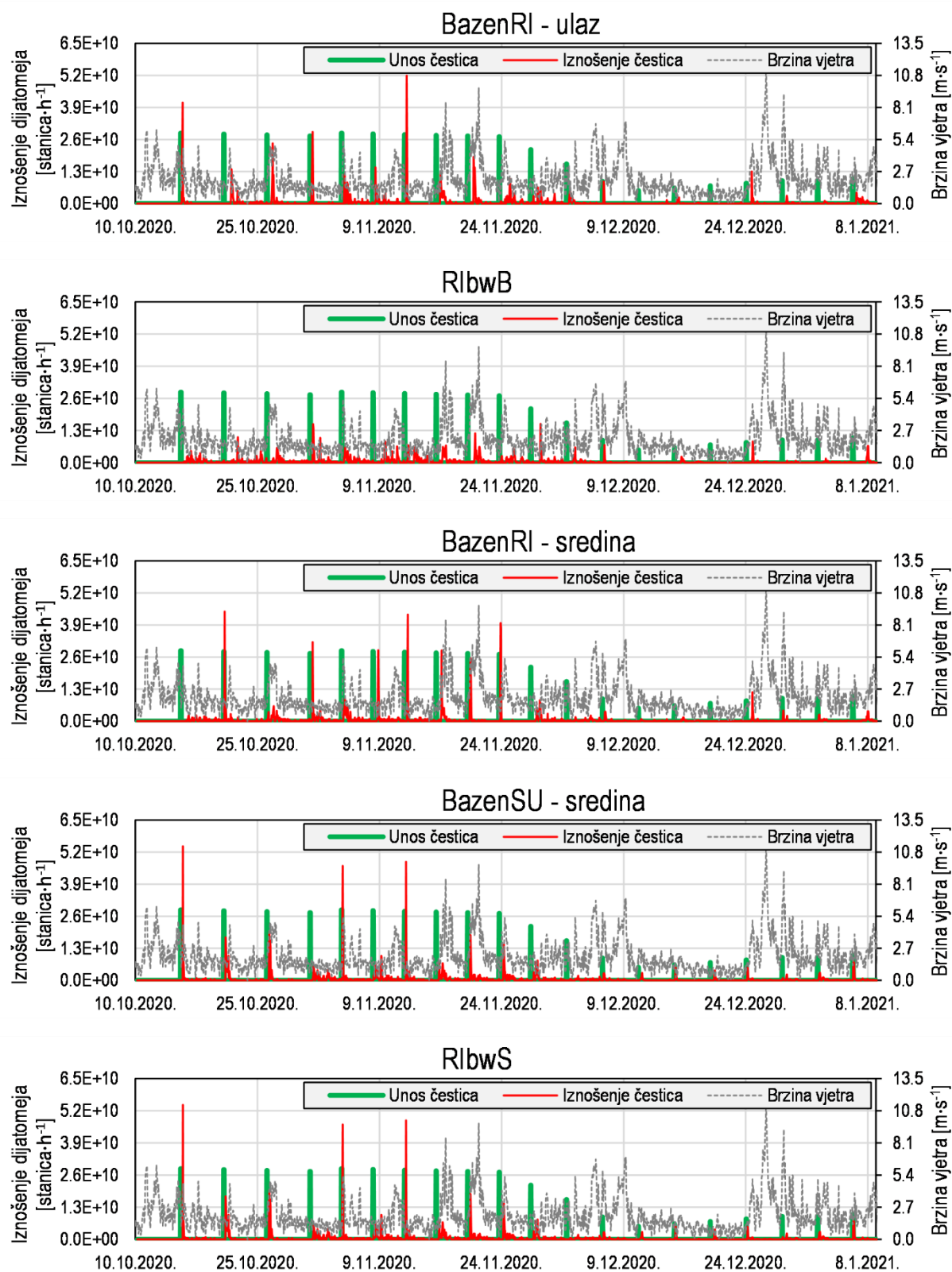


Slika 0-83 2D polja dijatomeja raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 01.01.2021. 18:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 01.01.2021. u 18:00 do 02.01.2021. u 18:00

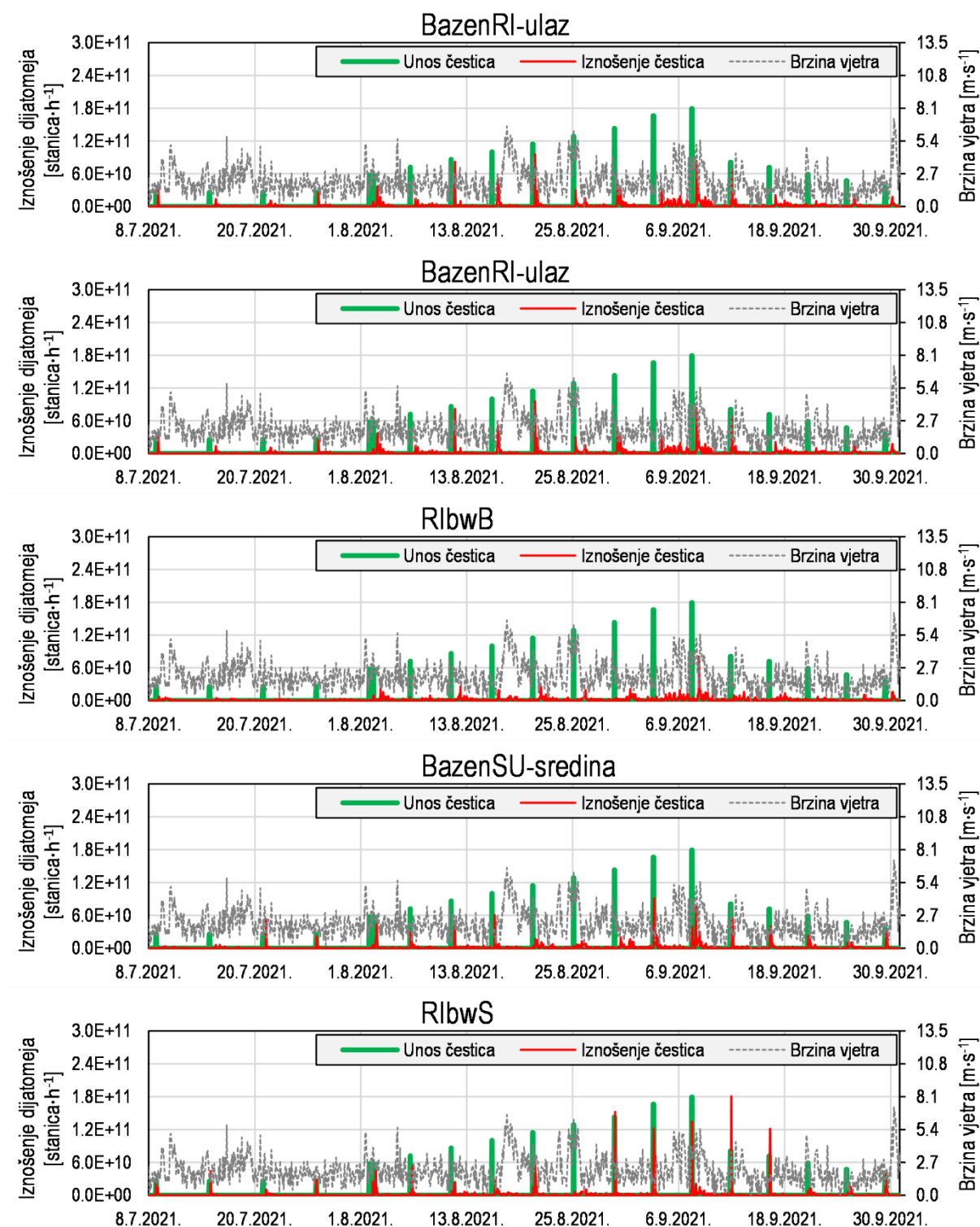
Tablica 0.21 Obrasci iznošenja kroz otvorene granice združenog modela cirkulacije mora i pronosa dijatomeja s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica.

Povezana je učestalost iznošenja s dominantnim vjetrom pri čemu su iz 10-minutnih ulaznih podataka izračunati satni klizni srednjaci (smjer i brzina), u obzir uzeti smjerovi i brzine 3h prije nastupanja iznošenja čestica kroz otvorenu granicu te su razmotreni isključivo vjetrovi za koje su se javile brzine puhanja $> 3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (90% percentil satno usrednjenih brzina vjetra u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.).

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Najučestalije iznošenje čestica van domene modela koincidira u slučaju pojave vjetrova ENE, NE, NNE i E. Pri tome, ENE se ističe kao smjer koji direktno uvjetuje pronos prema otvorenoj granici „BAZEN_RIJEKA“ dok NNE i NE spadaju pod najučestalije i najintenzivnije vjetrove (Slika 5-2). Nadalje, SSE i S vjetrovi koji po učestalosti i intenzitetu slijede dominantne prethodno navedene dominantne smjerove.	Istovjetno ZIMSKOM razdoblju uz još izraženiju dominaciju vjetrova iz smjera ENE, NE i E za sve lokacije.
RIbwB	Isto kao za „BazenRI-ulaz“.	
BazenRI-sredina	Isto kao za prethodna dva uz nešto naglašeniji SSE smjer koji nadvlada E.	
BazenSU-sredina	Isto kao za prethodna dva uz nešto naglašeniji SSE i S smjerove koji su značajniji nego E.	
RIbwS	Isto kao prethodni uz nešto naglašeniji S i SSE smjer koji usmjeravaju struje prema otvorenoj granici „BAZEN_SUSAK“.	



Slika 0-84 Vremenski nizovi iznošenja dijatomeja kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA“ i „BAZEN_SUSAK“ u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (09.10.2020.-9.1.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica



Slika 0-85 Vremenski nizovi iznošenja dijatomeja kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA” i „BAZEN_SUSAK” u LJETNOM simulacijskom razdoblju (02.07.2020.-01.10.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica

D.II.ii. Pronos dinoflagelata

Tablica 0.22 Obrasci taloženja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dinoflagelata s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjeta) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Dominantno taloženje oko mjesta unosa uzduž cijeloga pristaništa uz najveći broj čestica istaložen na E gatu ovoga dijela bazena. Ističe se taloženje na krajnjem NE uglu bazena Rijeka. Što se povezanosti sa Sušakom tiče, valja istaknuti da je manje izražena u odnosu na LJETNO razdoblje, a dio čestica istaloži se u propustu i na lokaciji „RIbwS“.	Dominantno taloženje oko mjesta unosa, a ističe se i taloženje na krajnjem NE uglu bazena Rijeka. Također, dio čestica istaloži se uz lukobran. Što se povezanosti sa Sušakom tiče, valja istaknuti da se dio čestica istaloži u SE uglu bazena gdje se javljaju najmanje brzine strujanja.
RIbwB	Dominantno taloženje oko mjesta unosa, a ističe se i taloženje na krajnjem NE uglu bazena Rijeka u reda veličine kao što je to slučaj sa česticama unesenim na lokaciji „BazenRI-ulaz“. Što se povezanosti sa Sušakom tiče, valja istaknuti da se propust prema Sušaku i lokaciju „RIbwS“ kao jedina dva područja taloženja. Ovo je u manjoj mjeri izraženo u odnosu na prethodno navedenu lokaciju unosa.	Dominantno taloženje oko mjesta unosa, a ističe se i taloženje na krajnjem NE uglu bazena Rijeka u značajnijoj mjeri nego što je to slučaj sa česticama unesenim na lokaciji „BazenRI-ulaz“. Dio čestica istaloži se uz lukobran u većoj mjeri nego što je slučaj za čestice unesene na „BazenRI-ulaz“. Što se povezanosti sa Sušakom tiče, valja istaknuti da se dio čestica istaloži u SE uglu bazena gdje se javljaju najmanje brzine strujanja. Također, ovo je značajnije u odnosu na prethodno navedenu lokaciju unosa.
BazenRI-sredina	Dominantno taloženje na dvjema lokacijama – na pristaništu uz lokaciju „BazenRI-ulaz“ i krajnjem NE uglu bazena Rijeka. Dio čestica istaložen je točno na lokaciji „RIbwB“ (odokativnom metodom određeno – 4 čestice ukupno).	Generalno, sličan obrazac kao za ZIMSKO razdoblje. Dominantno taloženje oko NE ugla bazena Rijeka i nešto raspršenije oko lokacije „UlazRI“. Niti jedna čestica nije istaložena u Sušaku.

	Niti jedna čestica nije istaložena u Sušaku.	
BazenSU-sredina	Najizraženije taloženje na neposredno uzvodno od ušća Mrtvog kanala i u propustu prema bazenu Rijeka. U bazenu Rijeka taloženje je prisutno uglavnom u NE dijelu (područje najmanjih dubina).	Najizraženije taloženje u SE uglu Sušaka i oko lokacije „RIbwS“. U Mrtvom kanalu također postoji dio istaloženih čestica. Povezanost s bazenom Rijeka također se očituje na poziciji njegovog NE ugla.
RIbwS	Generalno, najmanji broj istaloženih čestica koje su više-manje raspršene po čitavoj domeni. Valja izdvojiti taloženje na istoj poziciji u Mrtvom kanalu kao za lokaciju unosa „BazenSU-sredina“. Od značajnijih područja taloženja, valja izdvojiti propust prema bazenu Rijeka te u okolini privezišta brodica u NE dijelu bazena Rijeka.	Isto kao za lokaciju unosa „BazenSU-sredina“ uz najizraženije taloženje oko same lokacije unosa. Manje je izraženo u SE uglu bazena Sušak u odnosu na sve prethodne lokacije.

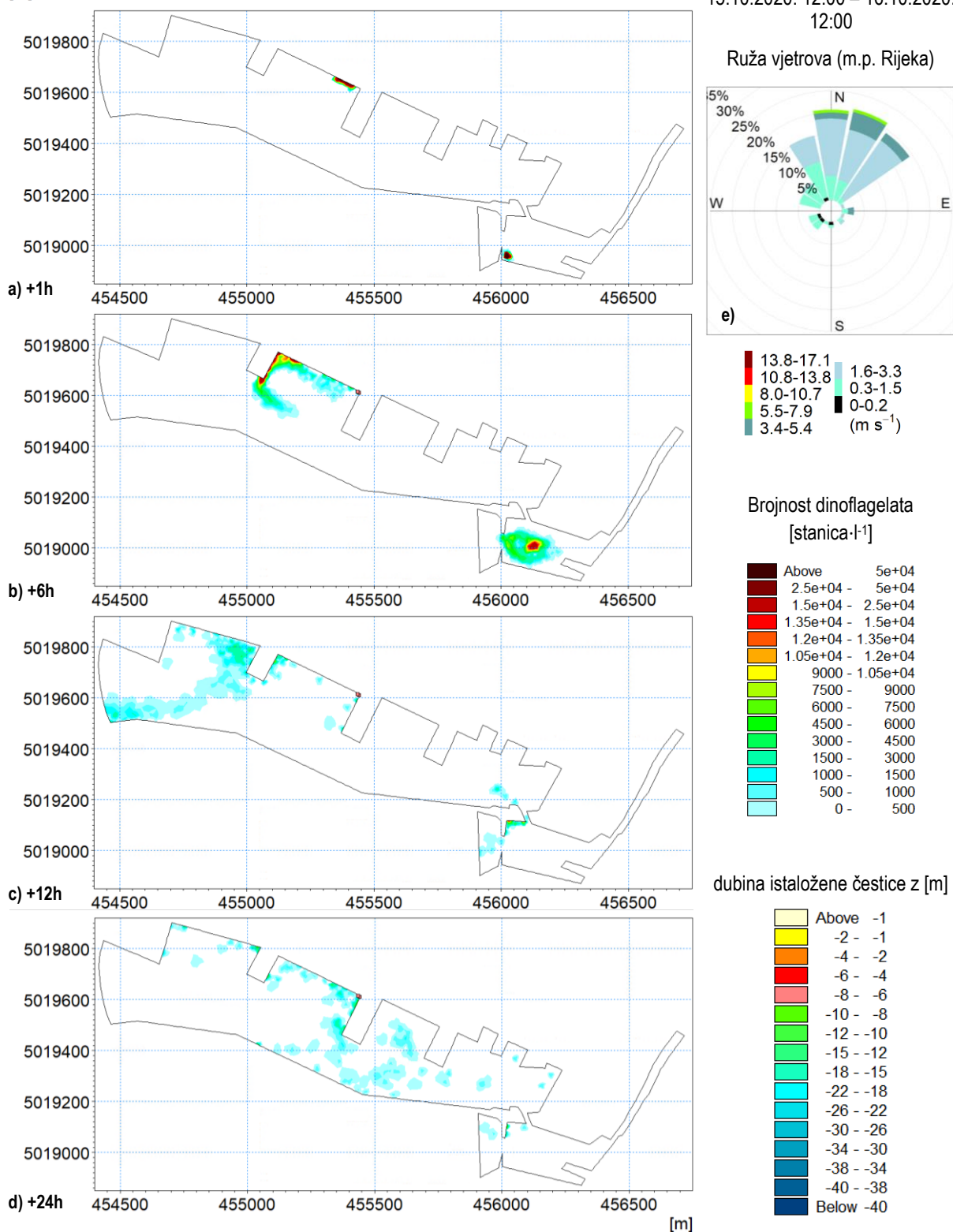
Tablica 0.23 Obrasci raspršenja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa dinoflagelata s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjeta) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Najveća koncentracija u okolini unosa, zatim u SE uglu bazena Sušak. Čestice su ravnomjerno raspršene po čitavoj domenu uz, ne značajno kao u Sušaku, zadržavanje u NW uglu uz lokaciju unosa „RIbwB“ te u krajnjem NE uglu bazena Rijeka. Značajno raspršenje upućuje na to da se većina čestica iznese van granica prostorne domene u ovome simulacijskom razdoblju.	Najveća koncentracija u okolini unosa, zatim u SE uglu bazena Sušak. Čestice su ravnomjerno raspršene po čitavoj domenu uz, ne značajno kao u Sušaku, zadržavanje u NW uglu uz lokaciju unosa „RIbwB“ te u krajnjem NE uglu bazena Rijeka. Generalno, veće su koncentracije prisutne s obzirom na to da se i unosi veća koncentracija i dulje se čestice zadržavaju unutar prostorne domene s obzirom na to da su struje slabije nego u ZIMSKOM razdoblju.
RIbwB	Najveća koncentracija na dijelu bazena u okolini unosa (uzduž Budimpeštanskog pristaništa), zatim u	Najveća koncentracija u okolini unosa, zatim u NE uglu bazena Rijeka uz

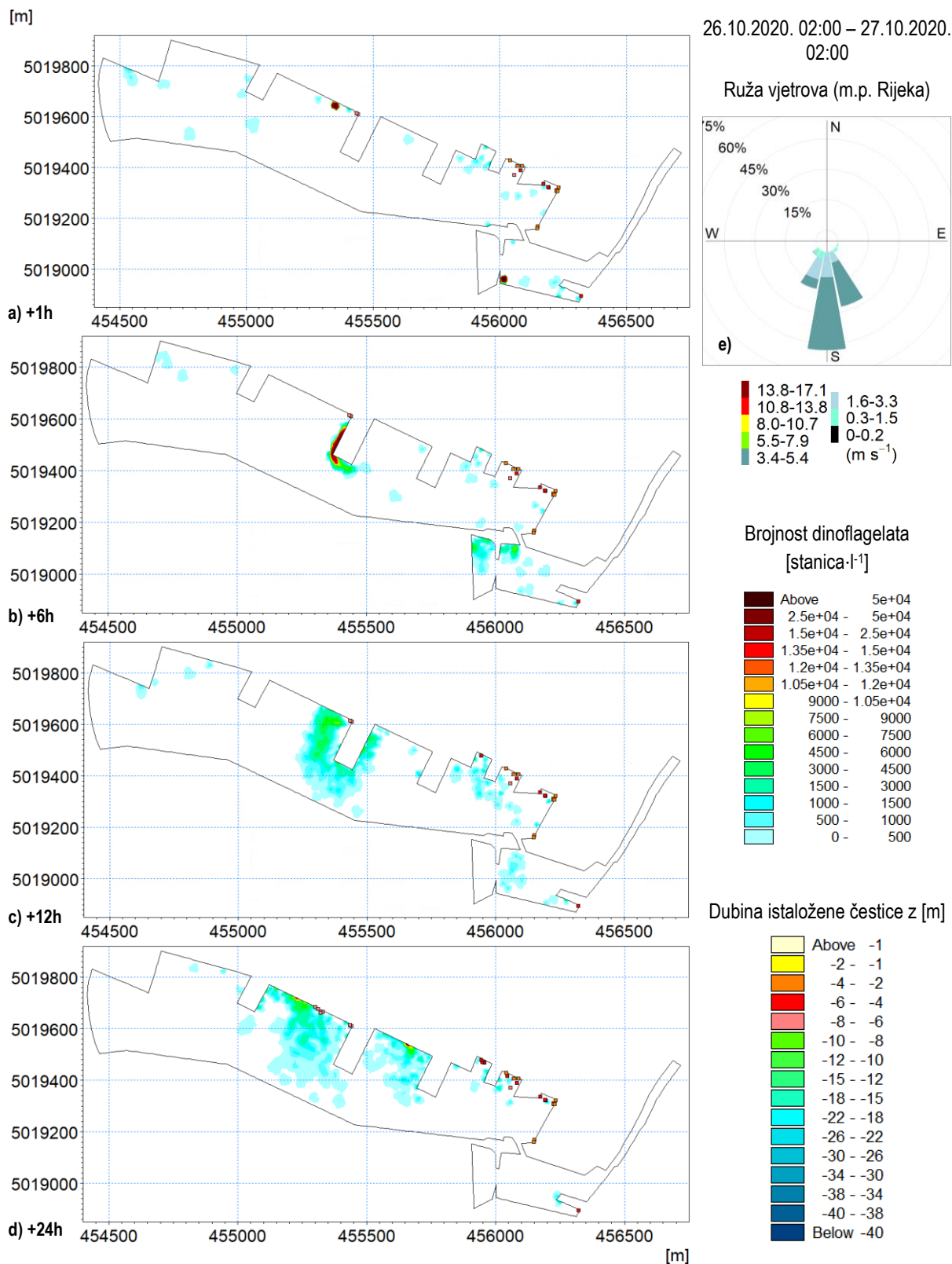
	krajnjem NE uglu bazena Rijeka i u SE uglu bazena Sušak. Značajno raspršenje upućuje na to da se većina čestica iznese van granica prostorne domene u ovome simulacijskom razdoblju.	pristaništa brodica i naposljetku u SE uglu bazena Sušak. Generalno, veće su koncentracije prisutne s obzirom na to da se i unosi veća koncentracija i dulje se čestice zadržavaju unutar prostorne domene s obzirom na to da su struje slabije nego u ZIMSKOM razdoblju.
BazenRI-sredina	Najznačajnije raspršenje s obzirom na to da se na ovome mjestu javljaju najveće brzine strujanja. Valja istaknuti NE ugao bazena Rijeka gdje se javlja najveća koncentracija za ovu lokaciju unosa. U SE uglu bazena Sušak dio čestica obitava, međutim ne značajno kao za prethodne dvije lokacije unosa.	Istovjetno ZIMSKOM razdoblju uz veće koncentracije i značajniju povezanost sa Sušakom.
BazenSU-sredina	Najveća koncentracija u okolini mjesta unosa, zatim u SE uglu bazena Sušak, a povezanost s bazenom Rijeka očituje se kroz značajnije koncentracije u njegovom NE uglu. Za razliku od ostalih, čestice unesene na ovoj lokaciji djelomične se rasprše u Mrtvi kanal.	Javljaju se slični obrasci pronosa kao u ZIMSKOM razdoblju uz izraženije zadržavanje čestica u području bazena Sušak. Razlika u odnosu na ZIMSKO razdoblje jest ta što čestice obitavaju u području oko „RIbwS“, a u NE dijelu bazena Rijeka ne koncentriraju se oko krajnjeg NE ruba, već su prisutne i u preostala dva dijela gdje su privezišta brodica. Također, utvrđena je pojava čestica na NW uglu Budimpeštanskog pristaništa.
RIbwS	Najveća koncentracija u okolini mjesta unosa, zatim u SE uglu bazena Sušak. U bazenu Rijeka javljaju se neznatne koncentracije kao i u Mrtvom kanalu	Javljaju se slični obrasci pronosa kao za čestice unesene na lokaciji „BazenSU-sredina“. Razlika je što se manje čestica pronosi prema Mrtvom kanalu u odnosu na lokaciju iznad.

[m]

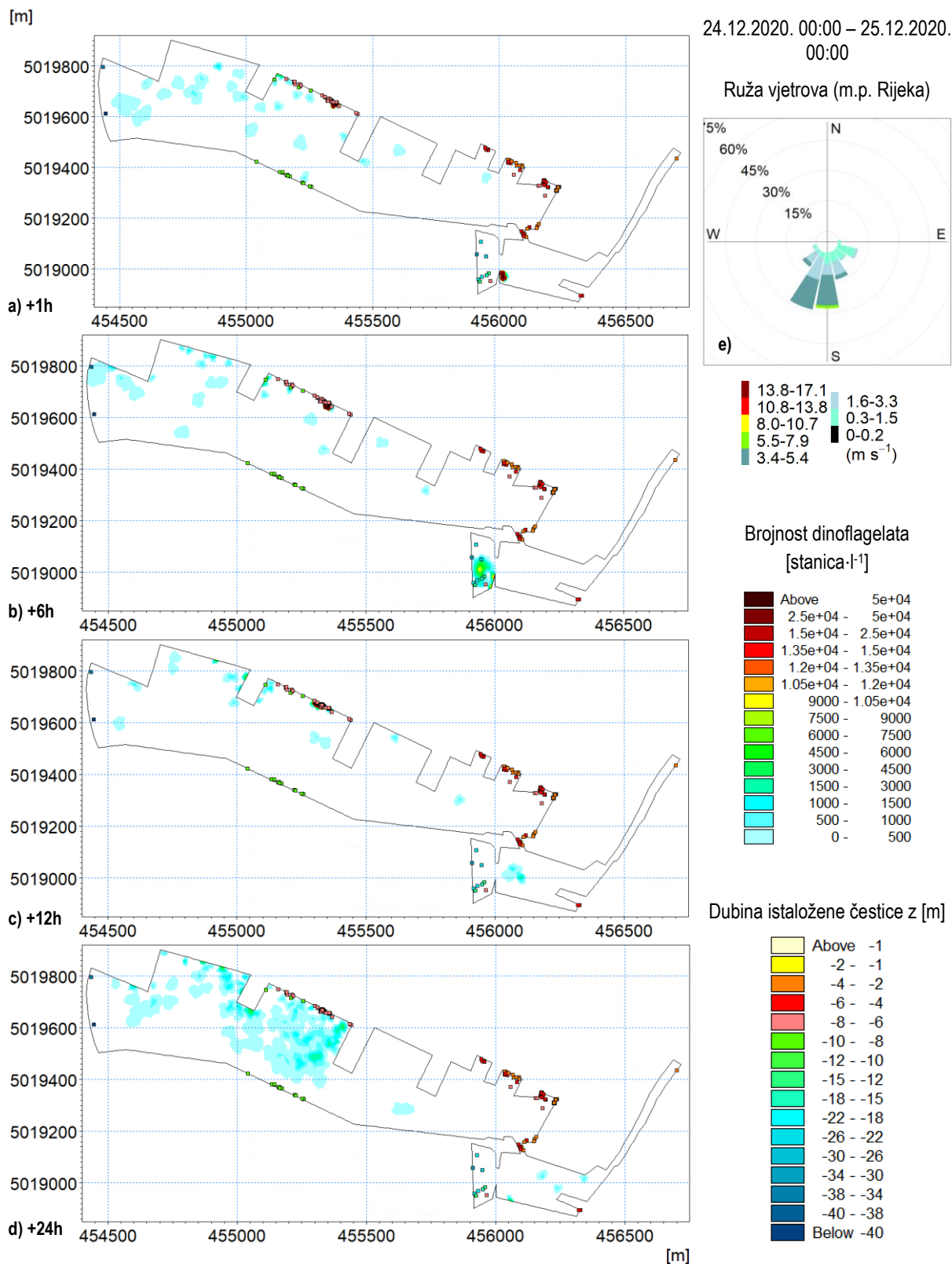
15.10.2020. 12:00 – 16.10.2020. 12:00



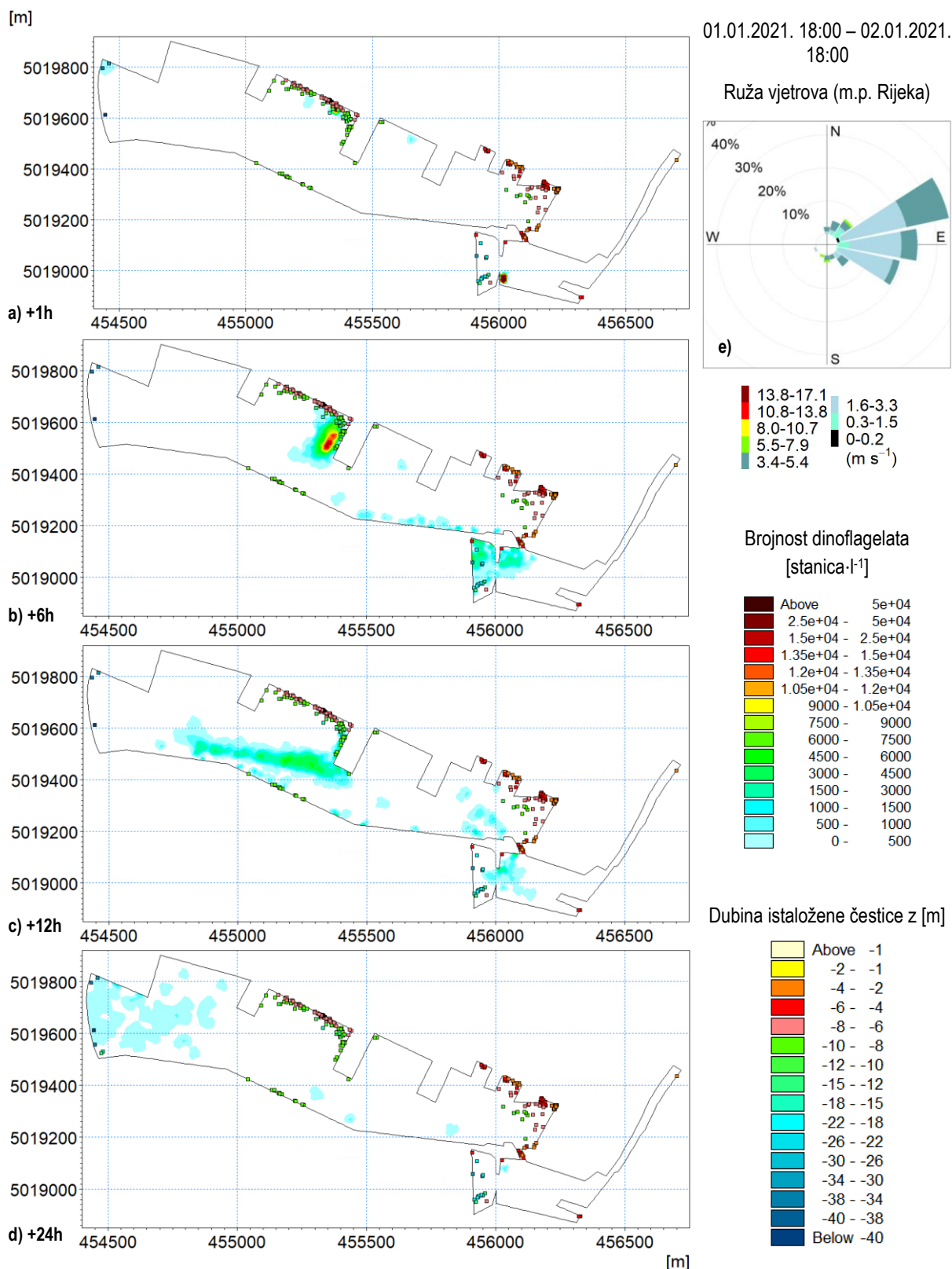
Slika 0-86 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 15.10.2020. 12:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 15.10.2020. u 12:00 do 16.10.2020. u 12:00



Slika 0-87 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 26.10.2020. 02:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 26.10.2020. u 02:00 do 27.10.2020. u 02:00



Slika 0-88 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 24.12.2020. 00:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 24.12.2020. u 00:00 do 25.12.2020. u 00:00

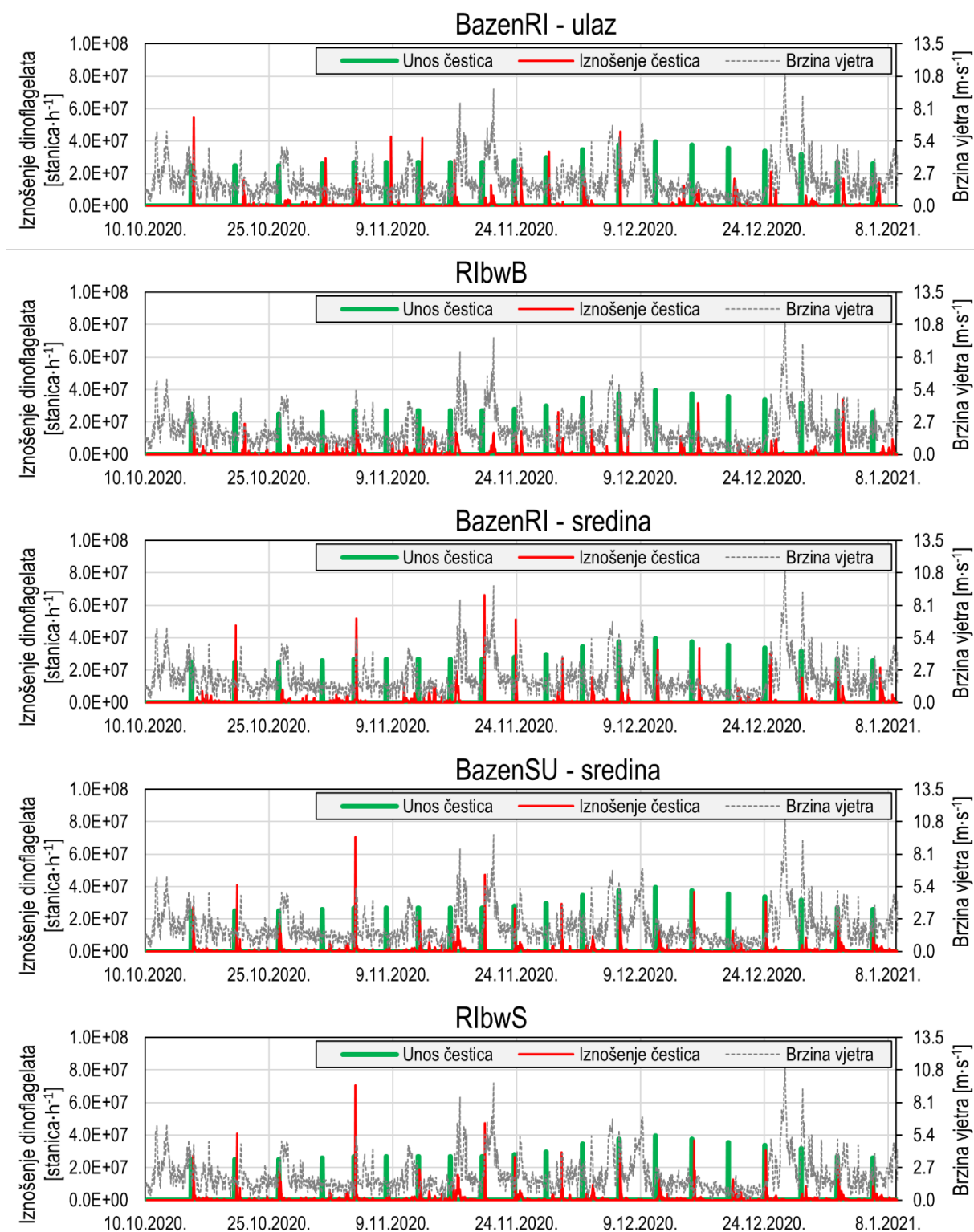


Slika 0-89 2D polja dinoflagelata raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 01.01.2021. 18:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 01.01.2021. u 18:00 do 02.01.2021. u 18:00

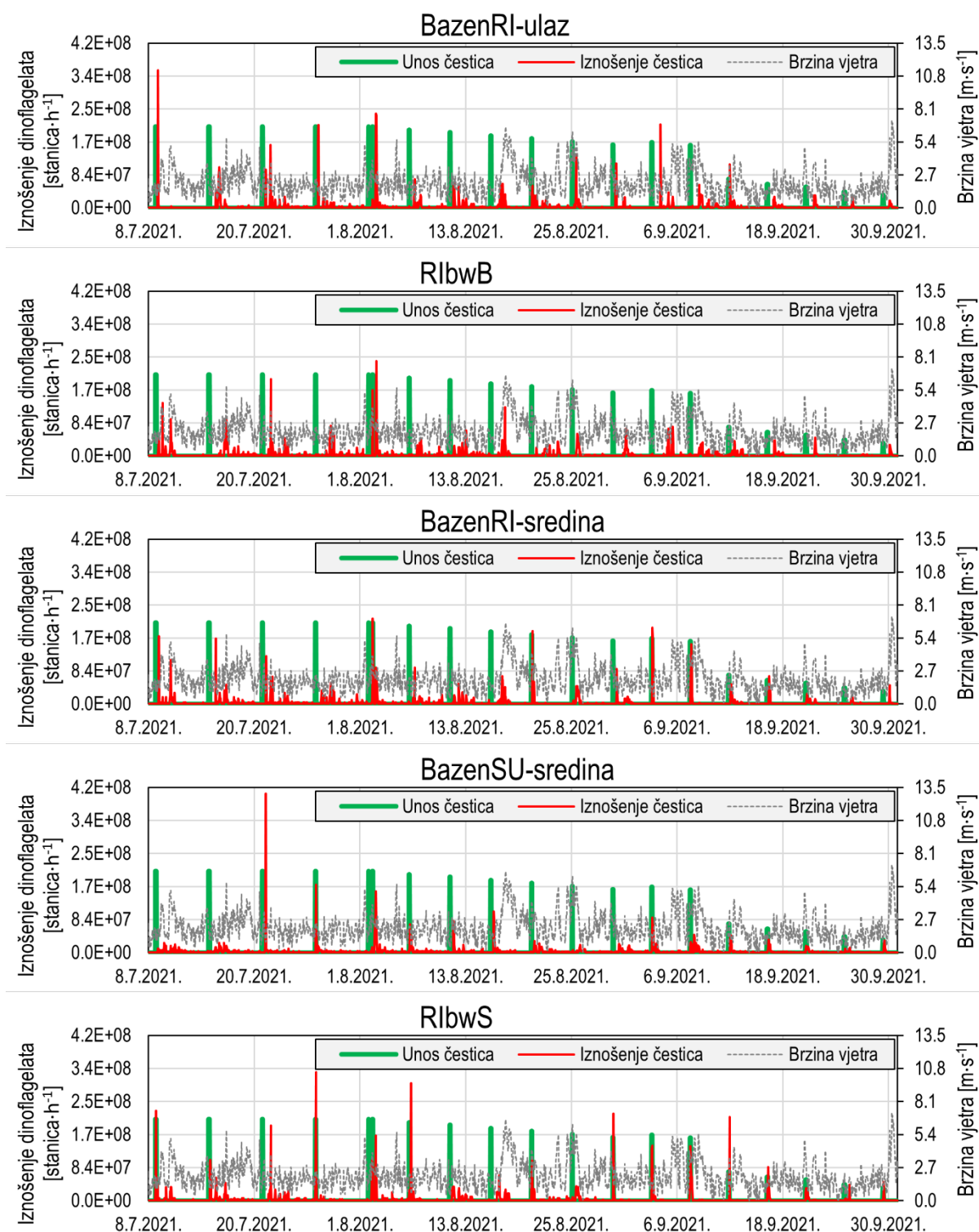
Tablica 0.24 Obrasci iznošenja kroz otvorene granice združenog modela cirkulacije mora i pronosa dinoflagelata s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica. Povezana je učestalost iznošenja s dominantnim vjetrom pri čemu su iz 10-minutnih ulaznih

podataka izračunati satni klizni srednjaci (smjer i brzina), u obzir uzeti smjerovi i brzine 3h prije nastupanja iznošenja čestica kroz otvorenu granicu te su razmotreni isključivo vjetrovi za koje su se javile brzine puhanja $> 3,7 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ (90% percentil satno usrednjenih brzina vjetra u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.).

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Dominira NNE smjer iznad svih kao najučestaliji vjetar kojeg slijede smjerovi ENE, NE, E. Ovo je očekivano s obzirom na to da se pronos od lokacija unosa pod djelovanje NNE vjetra dominantno odvija prema otvorenoj granici „BAZEN_RIJEKA“.	Isto kao za dijatomeju. Posljedica vrlo vjerojatno toga što se uglavnom iz smjerova ENE, NE, NNE i E javljaju najveće brzine puhanja.
RIbwB	Istovjetno ranije opisanome. Čestice se pronose s lokacije unosa prema središnjem dijelu bazena Rijeka. S obzirom na to da u ovome razdoblju dominiraju isključivo dva smjera intenzivnih morskih struja (E i W), prilikom pojave strujanja u smjeru E čestice se iznose van domene.	
BazenRI-sredina	Dominantni su smjerovi SSE, ENE i S vjetra, redom. Pri djelovanju vjetrova iz WSW i WNW može se očekivati iznošenje na većim dubinama zbog pojave strujanja suprotnoga smjera u odnosu na površinski sloj.	
BazenSU-sredina	Istovjetno ranije opisanom, iznošenje najčešće nastupa pod djelovanjem najintenzivnijeg i najučestalijeg NNE vjetra kojeg slijede smjerovi ENE, NE, E, S i SSE. U slučaju pojave vjetrova iz smjera SW, SSW, WSW, W i WNW može se očekivati iznošenje na većim dubinama zbog pojave strujanja suprotnoga smjera u odnosu na površinski sloj.	
RIbwS	Istovjetno opisanome za čestice unesene na lokaciji „BazenSU-sredina“.	



Slika 0-90 Vremenski nizovi iznošenja dinoflagelata kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA” i „BAZEN_SUSAK” u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (09.10.2020.-9.1.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica



Slika 0-91 Vremenski nizovi iznošenja dinoflagelata kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA” i „BAZEN_SUSAK” u LJETNOM simulacijskom razdoblju (02.07.2020.-01.10.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica

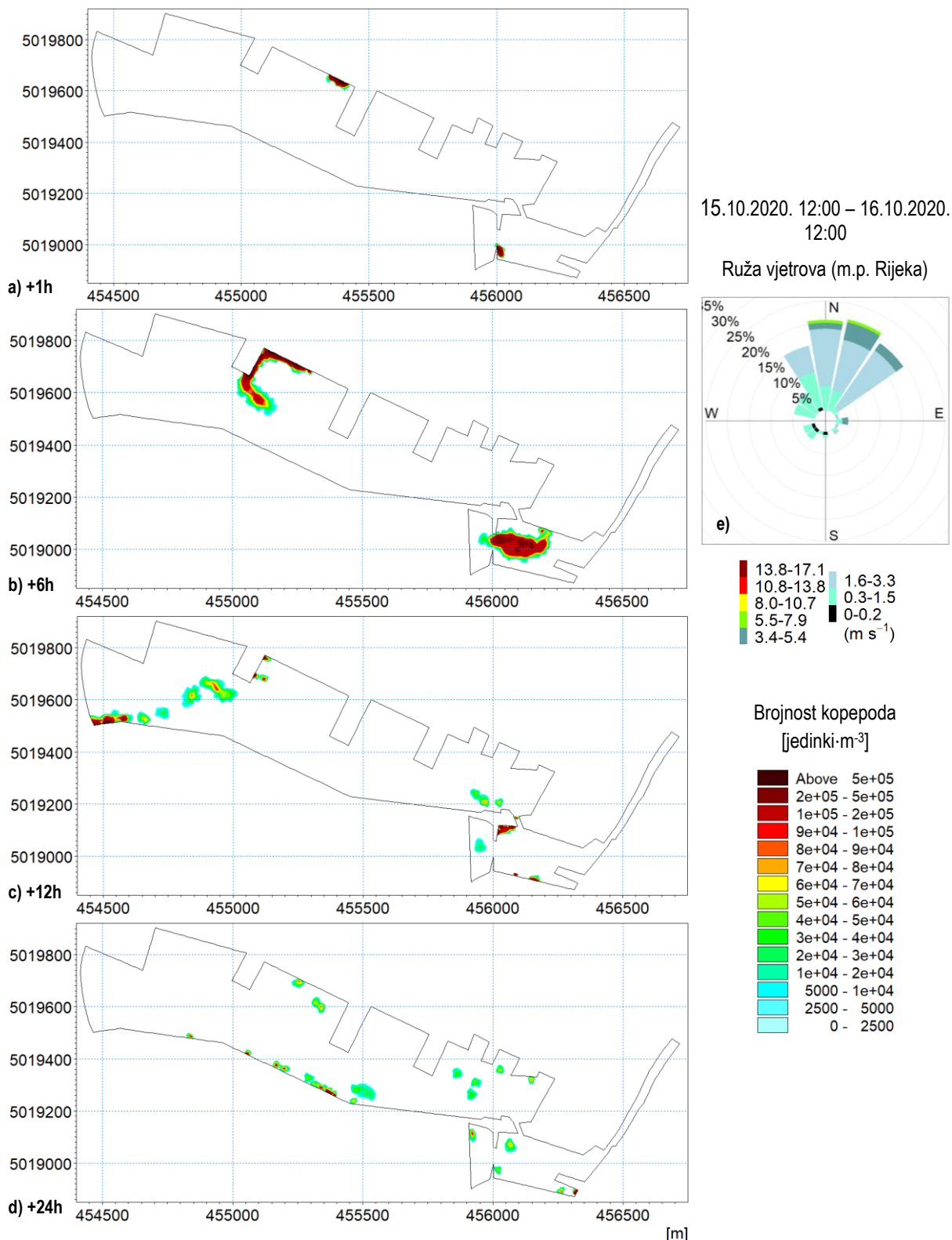
D.II.iii. Pronos kopepoda

Tablica 0.25 Obrasci raspršenja unutar granica prostorne domene združenog modela cirkulacije mora i pronosa kopepoda s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Najveća koncentracija u dijelu bazena u okolini lokacije unosa. Značajno je i zadržavanje u NW uglu Budimpeštanskoga pristaništa kao i u dijelu tog bazena u okolini lokacije „RIbwB“. Izuzetno slaba povezanost sa Sušakom, prisutno svega 2 [jedinke·m⁻³].	
RIbwB	Najveća koncentracija u dijelu bazena u okolini lokacije unosa. Očituju se dva dominantna obrasca pronosa – u smjeru W prema otvorenoj granici i u smjeru E prema susjednom dijelu bazena Rijeka također omeđenom dvama gatovima. Ovakvi su obrasci pronosa u suglasju s izgledima ruža strujanja na poziciji ADCP-RI1 na kojima se očituju dva dominantna smjera – E i W (Slika 5-6). U Sušaku gotovo ne dolazi do pojave kopepoda prethodno unesenih na ovoj lokaciji.	Najveća koncentracija primijećena uz lukobran, zatim uz pristanište trajekta, a tek onda u okolini lokacije unosa čestica. Očituje se raspršenje čestica po cijelom bazenu Rijeka gotovo ravnomjerno. Značajna je povezanost sa Sušakom u kojem se čestice zadržavaju u SE uglu bazena.
BazenRI-sredina	Najveća koncentracija primijećena na NW dijelu Budimpeštanskoga pristaništa. Kao za prethodnu lokaciju unosa, dva su dominantna smjera pronosa – W prema otvorenoj granici i E prema dijelu bazena susjednom Budimpeštanskom pristaništu. Povezanost sa Sušakom istovjetna ranije opisanim u ovome razdoblju.	Obrasci pronosa istovjetni ranije opisanim za unos na „RIbwB“ uz još značajnije raspršenje s obzirom na to da se čestice unose na dijelu na kojem se javljaju najveće brzine i najmanje promjenjivi smjer strujanja. Povezanost sa Sušakom kao za prethodnu lokaciju unosa uz veću koncentraciju u SE uglu i generalno u čitavom bazenu.

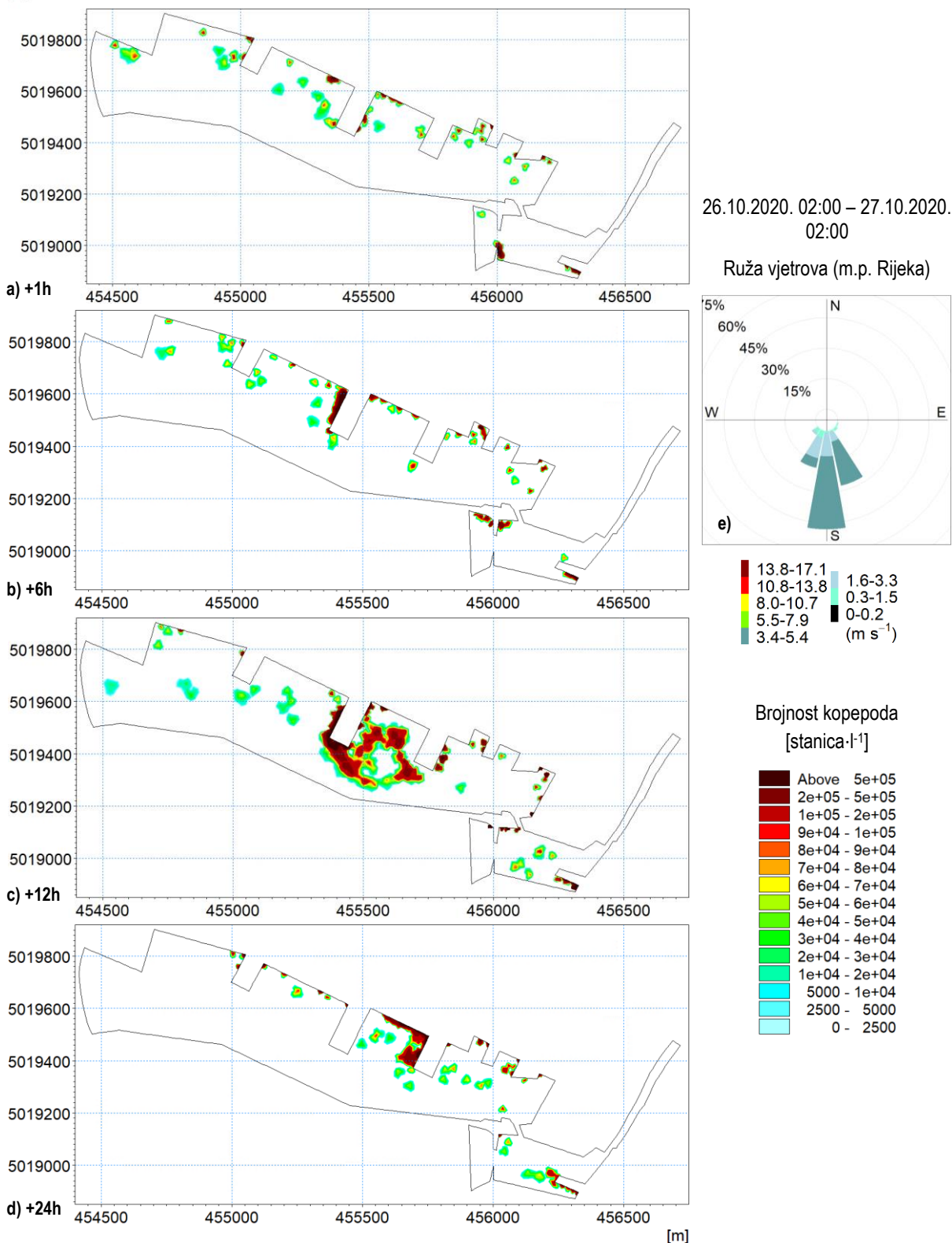
BazenSU-sredina	Najveće se koncentracije javljaju u okolini lokacije unosa i lokacije „RlbwS“. Čestice odnesene prema Mrtvom kanalu zadržavaju se na samom ušću i 100m uzvodno. Pronos čestica prema bazenu Rijeka slijedi njihovo zadržavanje uz lukobran (najvjerojatnije kao posljedica najučestalijih vjetrova iz NE kvadranta). Uz lukobran se ujedno odvija dominantno pronos iz bazena Rijeka prema otvorenoj granici „BAZEN_RIJEKA“.	Najveća koncentracija prisutna u SE uglu bazena Sušak. Očituje se značajniji pronos u Mrtvi kanal gdje, u odsustvu slatkovodnoga dotoka, dolazi do dubljeg prodora čestica u uzvodnome smjeru. Povezanost s bazenom Rijeka ukazuje na najveću koncentraciju čestica u krajnjem NE uglu te uzduž lukobrana i kod trajektnog pristaništa. Čestice, koje se pronesu prema bazenu Rijeka, ravnomjerno se rasprše po čitavom bazenu izuzev pri čemu se koncentracija smanjuje prema otvorenoj granici „BAZEN_RIJEKA“.
RlbwS	Najveća koncentracija u okolini lokacije unosa uz dominantni smjer pronosa prema otvorenoj granici „BAZEN_SUSAK“. Pronos prema Mrtvom kanalu istovjetan je ranije opisanome za čestice unesene na „BazenSU-sredina“. Čestice dospjele u bazen Rijeka također se koncentriraju u NE dijelu i uz lukobran. Generalno, značajno je manja koncentracija čestica u odnosu na prethodnu lokaciju unosa.	Istovjetno ranije opisanom po pitanju najvećih koncentracija u bazenu Sušak uz napomenu da su u Mrtvom kanalu značajno manje rasprostranjene. Obrazac pronosa prema bazenu Rijeka i nakon dospjeća u ovaj dio domene te dalje prema otvorenoj granici istovjetan ranije opisanome uz generalno manje koncentracije.

[m]



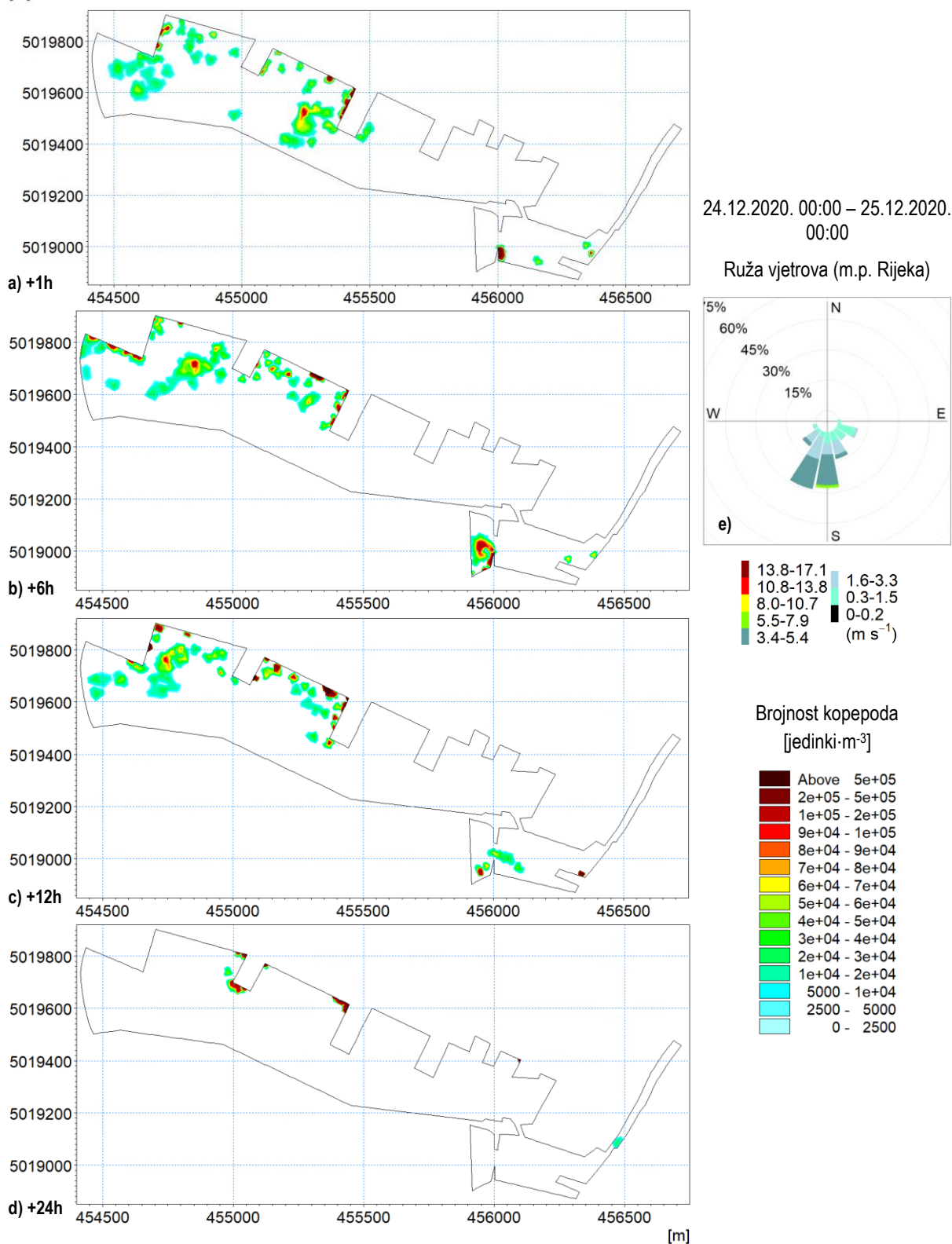
Slika 0-92 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 15.10.2020. 12:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 15.10.2020. u 12:00 do 16.10.2020. u 12:00

[m]



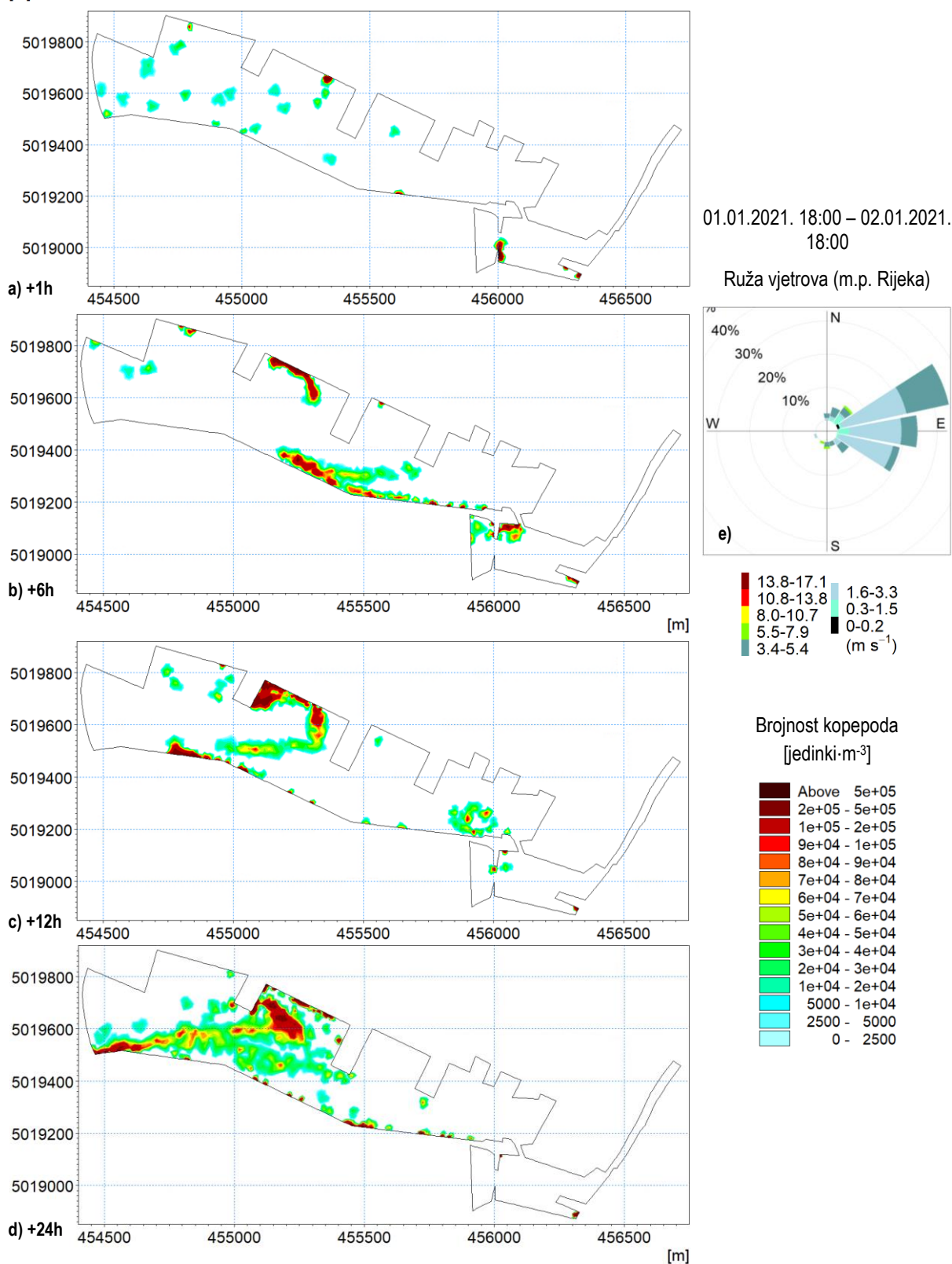
Slika 0-93 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 26.10.2020. 02:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 26.10.2020. u 02:00 do 27.10.2020. u 02:00

[m]



Slika 0-94 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 24.12.2020. 00:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 24.12.2020. u 00:00 do 25.12.2020. u 00:00

[m]

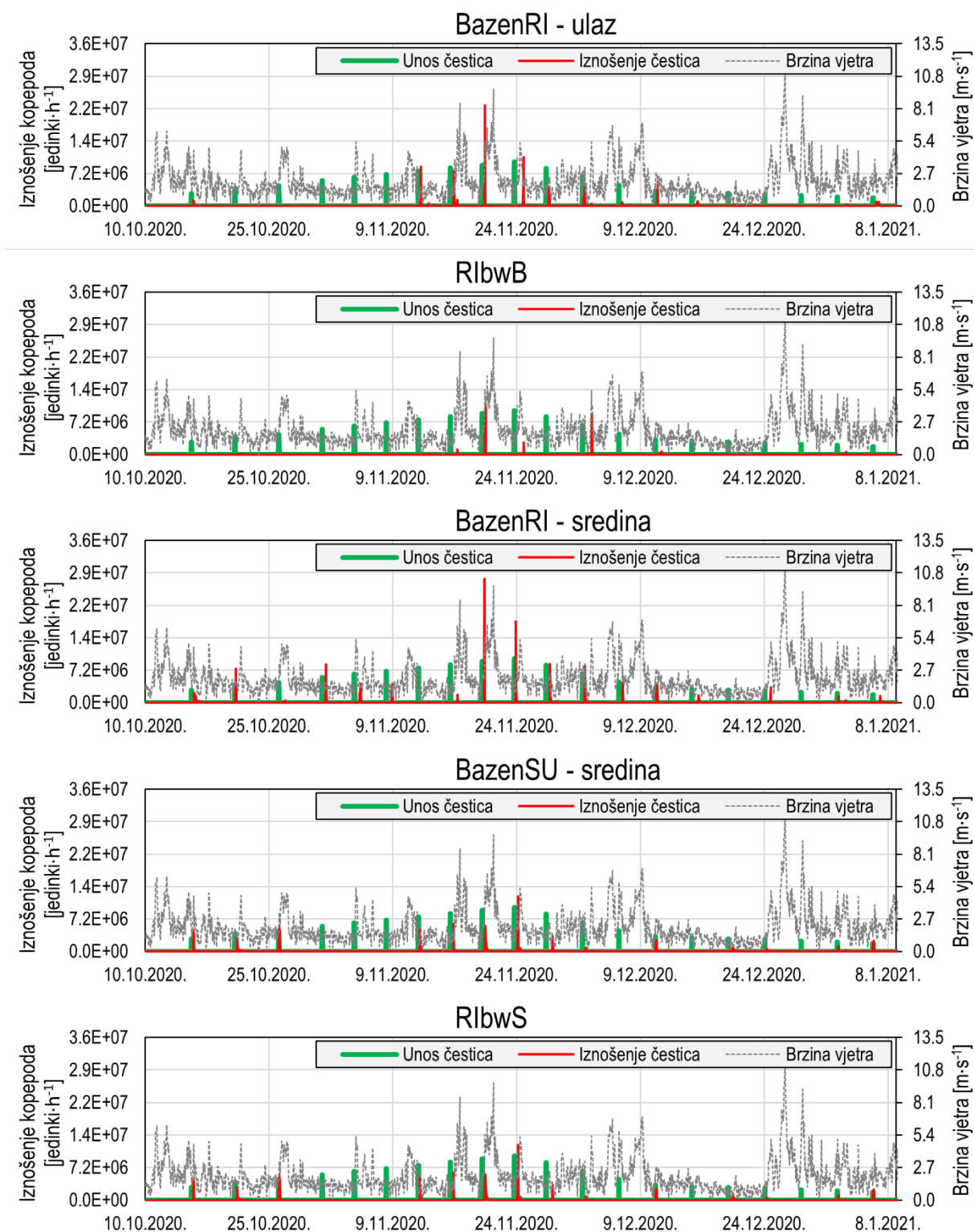


Slika 0-95 2D polja kopepoda raspršenih u stupcu mora izražena u [stanica·l⁻¹] s prikazom modelskih čestica istaloženih na dnu 1, 6, 12 i 24 [h] (a, b, c, d) nakon unosa modelskih čestica u trenutku 01.01.2021. 18:00, ruža vjetrova na m.p. Rijeka (e) u razdoblju od 01.01.2021. u 18:00 do 02.01.2021. u 18:00

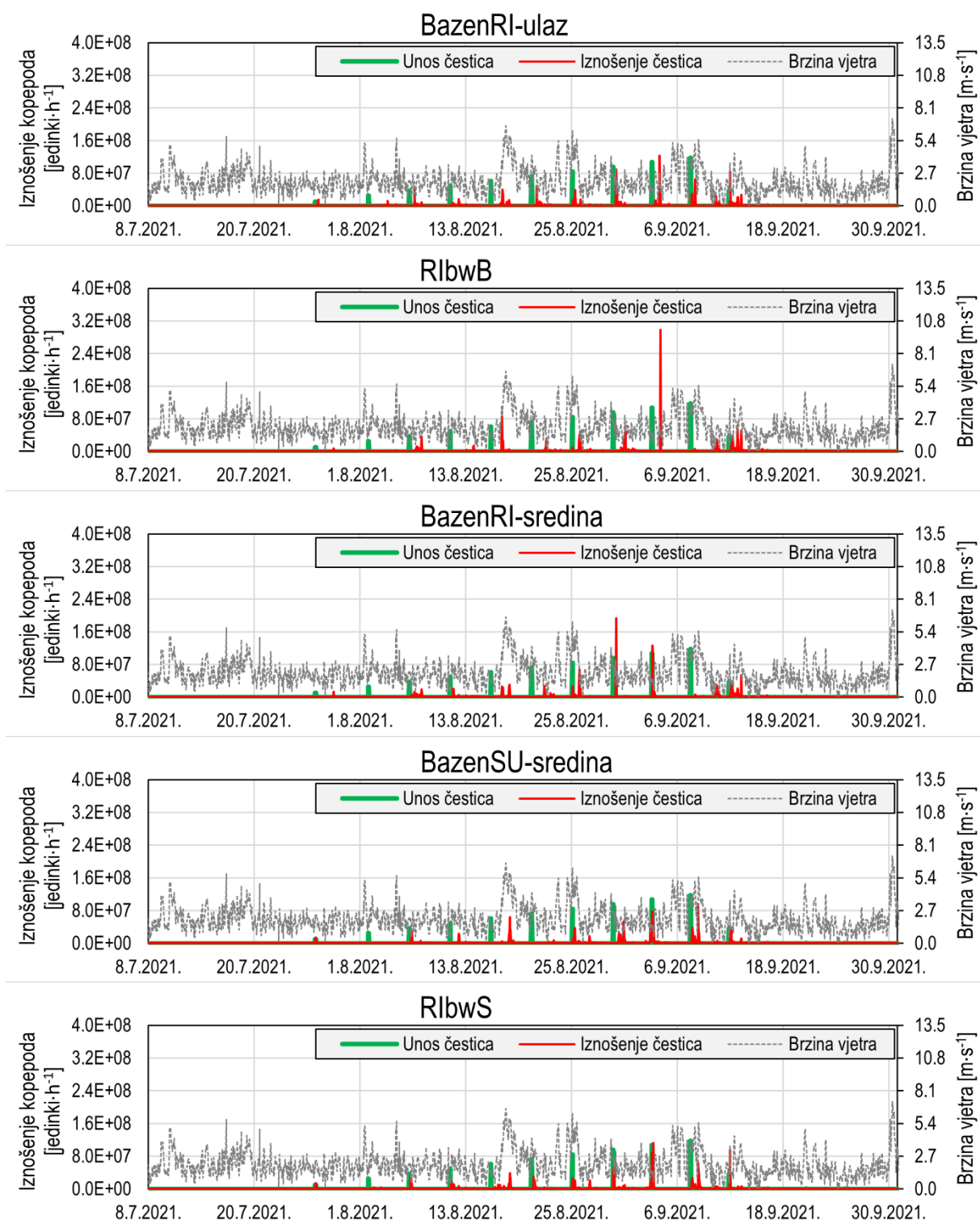
Tablica 0.26 Obrasci iznošenja kroz otvorene granice združenog modela cirkulacije mora i pronosa kopepoda s obzirom na vladajuće okolišne uvjete (smjer i brzinu vjetra) i lokaciju unosa modelskih čestica.

Povezana je učestalost iznošenja s dominantnim vjetrom pri čemu su iz 10-minutnih ulaznih podataka izračunati satni klizni srednjaci (smjer i brzina), u obzir uzeti smjerovi i brzine 3h prije nastupanja iznošenja čestica kroz otvorenu granicu te su razmotreni isključivo vjetrovi za koje su se javile brzine puhanja $> 3,7$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] (90% percentil satno usrednjenih brzina vjetra u razdoblju 1.10.2020.-1.11.2021.).

Lokacija unosa	ZIMA	LJETO
BazenRI-ulaz	Iznošenje dominantno nastupa kao posljedica djelovanja najučestalijeg vjetra NNE, slijedi ga SE i NE, tj. vjetrovi koji direktno usmjeravaju površinski sloj morske struje prema otvorenoj granici.	Dominiraju vjetrovi koji površinski sloj usmjeravaju prema otvorenoj granici. Dominantan je NE smjer. Valja istaknuti jedan termin u kojem je došlo do iznošenja uslijed djelovanja SW vjetra.
RIbwB	Isto kao ranije opisano uz manju razliku gdje je S drugi najučestaliji, a ističe se i ENE smjer.	Dominiraju vjetrovi koji površinski sloj usmjeravaju prema otvorenoj granici. Dominantan je NE smjer. Valja istaknuti nekoliko termina u kojima je došlo do iznošenja uslijed djelovanja SSW i SW vjetra (vjerojatno u pridnenom sloju).
BazenRI-sredina	Dominantno iznošenje uzrokuju snažni S vjetrovi kojeg slijede SSE i SE. Ovdje je značajno što je jedino za ovu lokaciju utvrđeno iznošenje za vrijeme SSW vjetra.	Dominiraju vjetrovi koji površinski sloj usmjeravaju prema otvorenoj granici. Dominantan je NE smjer. Valja istaknuti nekoliko termina u kojima je došlo do iznošenja uslijed djelovanja SSW vjetra.
BazenSU-sredina	Dominira ENE kojeg slijede NNE i E te SSE i S.	Dominiraju vjetrovi koji površinski sloj usmjeravaju prema otvorenoj granici. Dominantan je NE smjer.
RIbwS	Dominira NNE, a za ovu je lokaciju prisutna najveća varijabilnost vjetrova koji iznose čestice van domene (najvjerojatnije zbog blizine otvorene granice). Ujedno, za ovu lokaciju je izneseno najviše čestica u odnosu na sve ostale.	Dominiraju vjetrovi koji površinski sloj usmjeravaju prema otvorenoj granici. Dominantan je NE smjer. Valja istaknuti jedan termin u kojem je došlo do iznošenja uslijed djelovanja SSE vjetra.



Slika 0-96 Vremenski nizovi iznošenja kopepoda kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA” i „BAZEN_SUSAK” u ZIMSKOM simulacijskom razdoblju (09.10.2020.-9.1.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica



Slika 0-97 Vremenski nizovi iznošenja kopepoda kroz otvorene granice „BAZEN_RIJEKA” i „BAZEN_SUSAK” u LJETNOM simulacijskom razdoblju (02.07.2020.-01.10.2021.) te brzine vjetra s obzirom na lokaciju unosa modelskih čestica