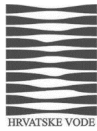




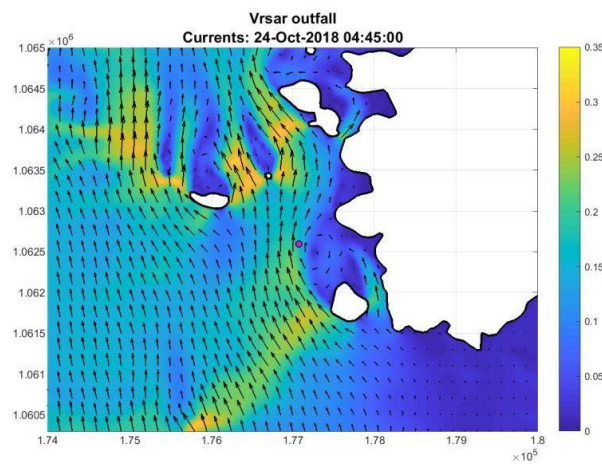
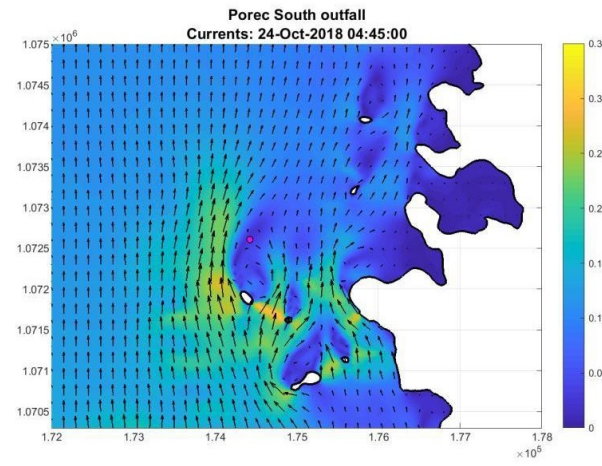
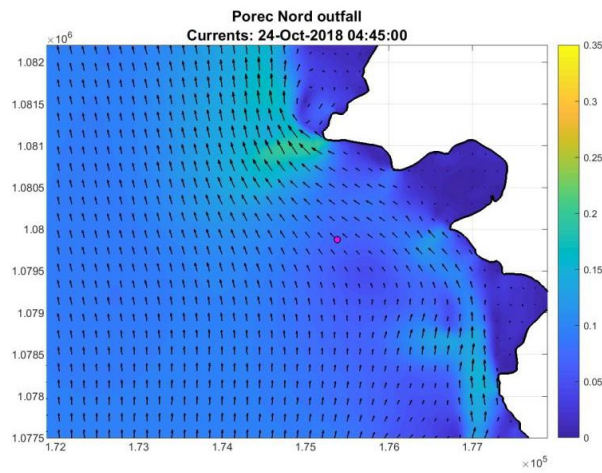
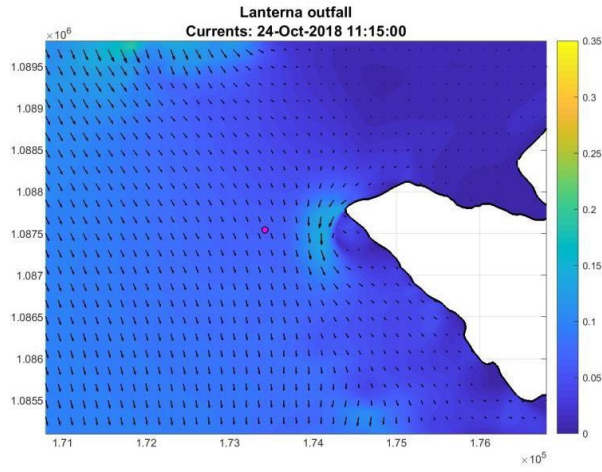
Naručitelj



Krajnji korisnik



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA
IZGRADNJE KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA
ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – STUDIJA POREČ



IZVJEŠĆE 13 Hidrodinamički model mora: modeliranje početnog stanja

listopad 2019



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

IZVJEŠĆE 13

HIDRODINAMIČKI MODEL MORA: MODELIRANJE POČETNOG STANJA

Listopad 2019

Zajednica izvršitelja



Naručitelj



Krajnji korisnik



STUDIJA OCJENE I PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROVEDBE PROJEKTA IZGRADNJE
KANALIZACIJSKE MREŽE I ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA UREĐAJA ZA
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U GRADU POREČU – **STUDIJA POREČ**

IZVJEŠĆE 13

HIDRODINAMIČKI MODEL MORA: MODELIRANJE POČETNOG STANJA

18. listopad 2019

mr.sc. Božidar Deduš, dipl. ing.
Ovlaštenik Zajednice izvršitelja
Prong DHI d.o.o.

14. listopad 2019


United Nations
Institute for
Education
under the auspices
of UNESCO
IHE
DELFT



IZVJEŠTAJ

HRVATSKE VODE

Modeliranje kakvoće morske vode u Istri


Kalibracija hidrodinamičkog modela i sadašnje stanje


11. listopada 2019. – verzija 1.0

Kolofon

International Marine & Dredging Consultants

Adresa: Van Immerseelstraat 66, 2018 Antwerpen, Belgija

: + 32 3 270 92 95

: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Mrežno mjesto: www.imdc.be

Identifikacijski podaci dokumenta

Naslov Kalibracija hidrodinamičkog modela i sadašnje stanje

Projekt Modeliranje kakvoće morske vode u Istri

Klijent HRVATSKE VODE -

Tender OP 2015/227

Ref. br. dokumenta I/RA/12142/19072/RKU,

Naziv dokumenta K:\PROJECTS\12\12142_P009187 - Sea Water Quality Modelling Istria\10-Rap\DO-1\RA19072_Hydrodynamic_Model_Calibration\RA19072_Hydrodynamic_modelcalibration_v1.0.docx

Revizija

| Verzija | Datum | Opis | Autor: | Provjerio: | Odobrio: |
|---------|-------------|--------------|----------|------------|----------|
| 1.0 | 11.10.2019. | Prva verzija | RKU, VBA | GVH | VBA |

Odobrenje

| | | | |
|------------|-----|-------------------------------|---|
| Autor: | RKU | Rohit Kulkarni (potpis) | Digitalni potpis Rohita Kulkarnija (potpis) Datum: 11.10.2019. 16:38:10 +02'00' |
| Provjerio: | VBA | Bart Verheyen (potpis) | Digitalni potpis Barta Verheyena (potpis) Datum: 11.10.2019. 16:41:56 +02'00' |
| Odobrio: | GVH | Gijsbert van Holland (potpis) | Digitalni potpis Gijsberta van Hollanda (potpis) Datum: 11.10.2019. 16:15:17 +02'00' |

Osoba za kontakt u tvrtki IMDC

Ime i prezime **Bart Verheyen**

Broj telefona +32 3 270 92 95

e-mail vba@imdc.be

Distribution List

| | |
|---|-----------------------------------|
| | Tiskana kopija |
| 1 | Pdf Damir Brdjanovic (IHE-UNESCO) |

Sažetak

Ovaj je izvještaj dio studije o modeliranju kakvoće morske vode i širenju otpadnih voda (fekalnih bakterija) duž istarske obale. Izvještaj opisuje provedenu kalibraciju hidrodinamičkog Jadranskog modela daleke zone i obalnog modela srednje zone. Rezultati kalibriranog modela navedeni su za potrebe prikaza hidrodinamičkih uvjeta sadašnjeg stanja.

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 8 |
| 1.1 ZADAĆE..... | 8 |
| 1.2 OPSEG IZVJEŠTAJA..... | 8 |
| 1.3 VODIČ ZA ČITANJE..... | 8 |
| 2. PODACI | 9 |
| 2.1 RAZINA VODE | 9 |
| 2.2 BRZINE..... | 10 |
| 2.3 SALINITET I TEMPERATURA | 13 |
| 2.4 VJETAR I TEMPERATURA ZRAKA | 14 |
| 3. HIDRODINAMIČKA KALIBRACIJA | 16 |
| 3.1 UVOD | 16 |
| 3.2 ZIMSKI PERIOD | 17 |
| 3.2.1 <i>Razine vode</i> | 17 |
| 3.2.2 <i>Brzine</i> | 18 |
| 3.3 LJETNI PERIOD | 20 |
| 3.3.1 <i>Razine vode</i> | 20 |
| 3.3.2 <i>Stratifikacija</i> | 20 |
| 4. SADAŠNJE STANJE | 22 |
| 4.1 UVOD | 22 |
| 4.2 HIDRODINAMIČKO PONAŠANJE | 22 |
| 4.3 STRATIFIKACIJA | 32 |
| 5. ZAKLJUČCI | 34 |
| 6. BIBLIOGRAFIJA | 35 |

Dodaci

| | |
|--|----|
| DODATAK A: USPOREDBA - KALIBRIRANI MODEL I MJERENJA UREĐAJEM ADCP | 36 |
|--|----|

Popis slika

| | |
|--|----|
| SLIKA 2-1 POLOŽAJ POSTAJA. ISPUSTI SU NAVEDENI KAO REFERENTNE TOČKE..... | 9 |
| SLIKA 2-2 RAZINA VODE U KOPRU | 10 |
| SLIKA 2-3 RAZINA VODE U VENECIJI. | 10 |
| SLIKA 2-4: IZMJERENI VEKTORI BRZINE TIJEKOM POPLAVE (SHORE, 2018) | 11 |

| | |
|--|----|
| SLIKA 2-5 IZMJERENI VEKTORI BRZINE TIJEKOM OSEKE (SHORE, 2018) | 11 |
| SLIKA 2-6: IZMJERENI INTENZITET BRZINE (SHORE, 2018) DUŽ PRESJEKA I S OBZIROM NA DUBINU, ZA STANJE TIJEKOM PLIME PRIKAZANO NA SLICI 2-4..... | 12 |
| SLIKA 2-7: POLOŽAJ ČETIRIJU POSTAJA ADCP ZA KOJE SU IZVUČENI VREMENSKI SLJEDOVI. | 12 |
| SLIKA 2-8: PREGLED VREMENSKIH SLJEDOVA S IZMJERENIM BRZINAMA NA (U SMJERU KAZALJKE NA SATU OD VRHA PREMA LIJEVO) ADCP1, ADCP2, ADCP3 I ADCP4, SLIKA 2-7..... | 13 |
| SLIKA 2-9: DOSTUPNI PROFIL SALINITETA I TEMPERATURE ZA LJETNE UVJETE (17.7.2008.) NA DVIJE LOKACIJE (S1 I S2) NEDALEKO OD PROJEKTOG PODRUČJA (ANDROČEC ET AL., 2009))..... | 14 |
| SLIKA 2-10: POLOŽAJ POSTAJE ZA MJERENJE VJETRA (CRVENA TOČKA). MREŽA DALEKE ZONE JADRANSKOG MODELA PRIKAZANA JE U POZADINI (PLAVA BOJA)..... | 15 |
| SLIKA 2-11 USPOREDBA PODATAKA S MODELA ERA (NA NAJBLIŽOJ TOČKI) S MJERENJIMA NA POSTAJI VIDA | 15 |
| SLIKA 3-1: UKUPNI REZULTATI MODELA. MODELIRANI VREMENSKI SLJEDOVI I IZMJERENE RAZINE VODE NA POSTAJI BAKAR, JUŽNO OD PROJEKTOG PODRUČJA | 17 |
| SLIKA 3-2: USPOREDBA RAZINE VODE (SREDNJA RAZINA MORA) IZMEĐU MJERENJA JADRANSKI MODEL U KOPRU I VENECIJI ZA ZIMSKU SIMULACIJU. | 17 |
| SLIKA 3-3: USPOREDBA VEKTORA BRZINE I INTENZITETA IZMEĐU IZMJERENIH PODATAKA I KALIBRIRANOG MODELA PRI MAKSIMALNOM STRUJANJU OSEKE U ISTRAŽIVANOM PODRUČJU..... | 18 |
| SLIKA 3-4 USPOREDBA VEKTORA BRZINE I INTENZITETA IZMEĐU IZMJERENIH PODATAKA I KALIBRIRANOG MODELA PRI MAKSIMALNOM STRUJANJE PLIME U ISTRAŽIVANOM PODRUČJU..... | 19 |
| SLIKA 3-5 USPOREDBA BRZINA NA POSTAJAMA ADCP1, ADCP2, ADCP3 I ADCP4..... | 19 |
| SLIKA 3-6: USPOREDBA MJERENJA RAZINE VODE (SREDNJA RAZINA MORA)– JADRANSKI MODEL U KOPRU ZA LJETNU SIMULACIJU. | 20 |
| SLIKA 3-7: USPOREDBA MODELIRANE I IZMJERENE VARIJACIJE U TEMPERATURI I SALINITETU S OBZIROM NA DUBINU NA POLOŽAJU S1. GORE: 17.7.2008. U 6.00, DOLJE: 17.07.2008 U 18.00. | 21 |
| SLIKA 3-8: USPOREDBA MODELIRANE I IZMJERENE VARIJACIJE U TEMPERATURI I SALINITETU S OBZIROM NA DUBINU NA POLOŽAJU S2. GORE: 17.7.2008. U 6.00, DOLJE: 17.07.2008 U 18.00. | 21 |
| SLIKA 4-1: UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA LANTERNA NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (PLIMA). DESNO: TIJEKOM VV. | 24 |
| SLIKA 4-2: UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA LANTERNA NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (OSEKA). DESNO: TIJEKOM NV..... | 25 |
| SLIKA 4-3 UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA POREČ-SJEVER NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (PLIMA). DESNO: TIJEKOM VV. | 26 |
| SLIKA 4-4: UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA POREČ-SJEVER NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (OSEKA). DESNO: TIJEKOM NV..... | 27 |

| | |
|--|----|
| SLIKA 4-5: UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA POREČ-JUG NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (PLIMA). DESNO: TIJEKOM VV. | 28 |
| SLIKA 4-6: UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA POREČ-JUG NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (OSEKA). DESNO: TIJEKOM NV. | 29 |
| SLIKA 4-7: UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA VRSAR NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (PLIMA). DESNO: TIJEKOM VV. | 30 |
| SLIKA 4-8: UZORCI STRUJANJA I INTENZITETI OKO ISPUSTA VRSAR NA TEMELJU REZULTATA KALIBRIRANOG MODELA. LIJEVO: TIJEKOM SREDNJE RAZINE MORA (OSEKA). DESNO: TIJEKOM NV. | 31 |
| SLIKA 4-9: VARIJACIJE U IZRAČUNATOJ TEMPERATURI TIJEKOM VREMENA I OVISNO O DUBINI VODE, TIJEKOM SRPNJA 2008. | 32 |
| SLIKA 4-10: VARIJACIJE U IZRAČUNATOM SALINITETU TIJEKOM VREMENA I OVISNO O DUBINI VODE, TIJEKOM SRPNJA 2008. | 33 |

1. UVOD

1.1 ZADAĆE

Velika su ulaganja u tijeku u javni sektor duž dijela istarske obale, uključujući obnovu i proširenje postojećeg sustava odvodnje i izgradnju novih postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda u svrhu zaštite grada Poreča i njegove okolice.

Tvrtka IMDC dobila je zadatak provesti modeliranje kakvoće morske vode s obzirom na širenje otpadnih voda (fekalnih bakterija) duž istarske obale u Republici Hrvatskoj. Pomoću numeričkih modela istraženo je kakvoća vode za kupanje kako trenutna tako i ona nakon ugradnje postrojenja za pročišćavanje. Ova studija procjenjuje rizik od zagađenja na plažama ešerihijom koli (EC) i crijevnim enterokokima (IE), kao pokazateljima kakvoće vode za kupanje te dodatnu vrijednost postrojenja za pročišćavanje u smanjenju takvog rizika. Ova je studija dio sveobuhvatnog zadatka pod nazivom „Studija ocjene i praćenja učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analiza učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Poreču“ kojeg su izdale Hrvatske vode u sklopu ponude OP 2015/227. Posao je dodijeljen konzorciju koji uključuje tvrtku IMDC i kojeg predstavlja tvrtka PRONING DHI kao vodeći član, ugovorom sklopljenim dana 19. srpnja 2018., Klasa: 325-01/15-10/148, Reg. br: 3741-3-18-35. Konzorcijski sporazum sklopljen je 13. svibnja 2016. i proširen Dodatkom I od 13. studenoga 2018.

Tvrtka IMDC doprinosi sljedećom zahtijevanom dokumentacijom:

- Izvještajem o postavljanju hidrodinamičkog modela (IMDC, 2019);
- Izvještajem o kalibraciji hidrodinamičkog modela i modeliranju sadašnjeg stanja (ovaj izvještaj);
- Izvještajem o kalibraciji kakvoće morske vode i modeliranju sadašnjeg stanja;
- Izvještajem o utjecaju postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda na kakvoću vode za kupanje;
- Izvještajem o utjecaju postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda na kakvoću vode za kupanje;
- Provjera valjanosti modela;
- Izvještaj o predaji modela i obuci.

1.2 OPSEG IZVJEŠTAJA

Izvještaj opisuje provedenu kalibraciju hidrodinamičkog Jadranskog modela daleke zone i obalnog modela srednje zone. Rezultati kalibriranog modela navedeni su za potrebe prikaza hidrodinamičkih uvjeta sadašnjeg stanja.

1.3 VODIČ ZA ČITANJE

Opis podataka korištenih za kalibraciju modela navedeni su u poglavlju 2.

Hidrodinamička kalibracija s naglaskom na dvije sezone (zimsku i ljetnu) navedena je u poglavlju 3. Trenutno hidrodinamičko ponašanje (razine vode i struje) tijekom obje sezone opisano je imajući u vidu rezultate kalibriranog modela.

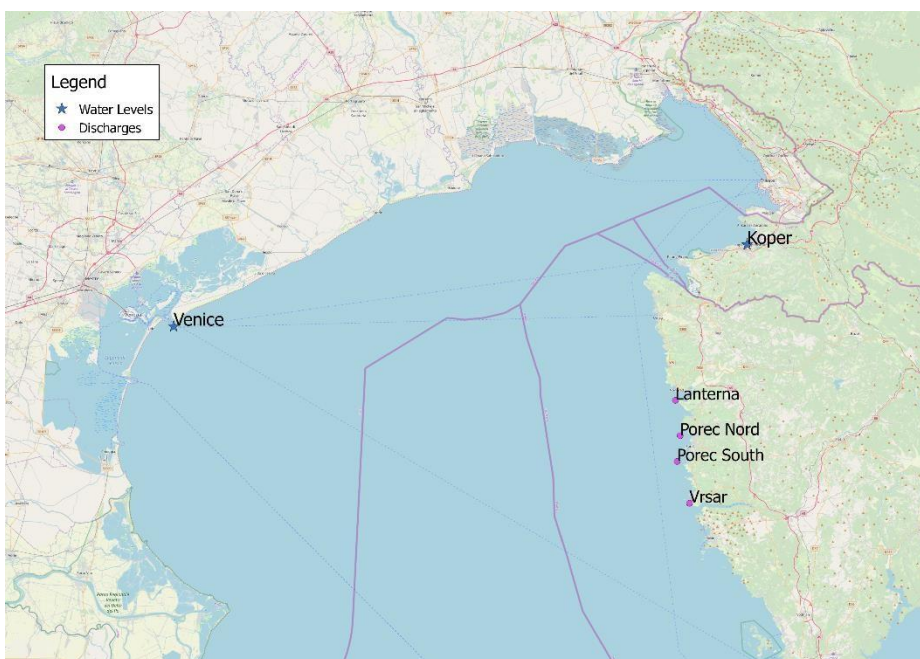
Zaključci su navedeni u poglavlju 5.

2. PODACI

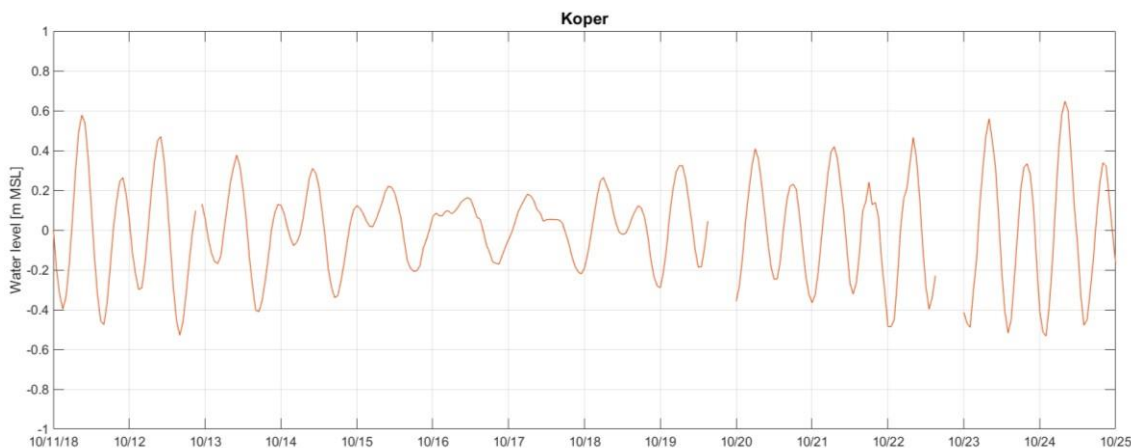
U ovom se poglavlju sažeto navode podaci dostupni za hidrodinamičku kalibraciju numeričkog modela.

2.1 RAZINA VODE

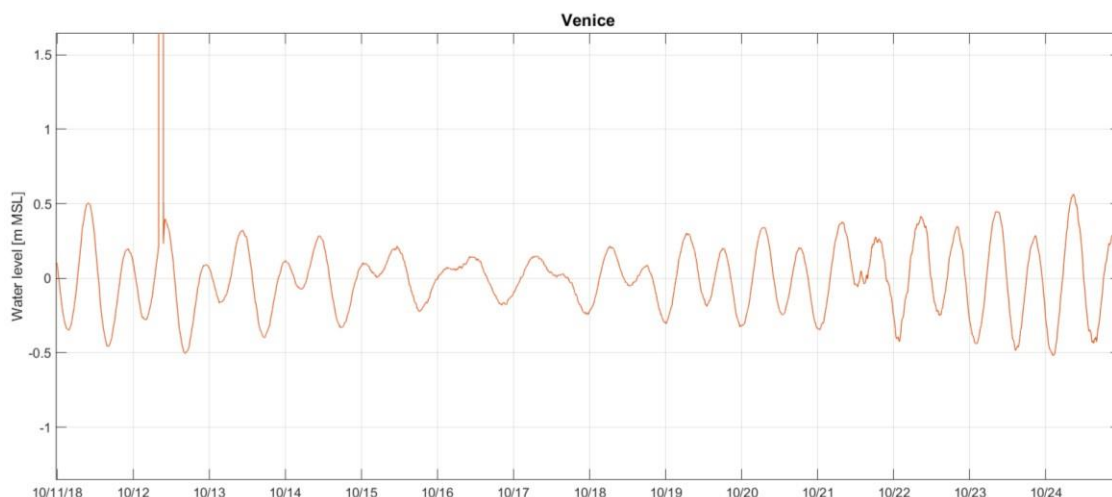
Podaci o izmjerenoj razini vode dostupni su na dvije postaje na području nedaleko od hrvatske obale, odnosno u Kopru u Sloveniji i u talijanskoj Veneciji. Podaci su prikupljeni i na drugim postajama (primjerice u Trstu), međutim kvaliteta izmjerenih podataka nije bila dostatna za uporabu u kalibracijske svrhe. Položaji postaja prikazani su na slici 2-1. Podaci za obje postaje vrijede za mjesec listopad 2018. (zimski period tijekom kalibracije). Za postaju u Kopru podaci se odnose na mjesec srpanj 2008. (ljetni period tijekom kalibracije). Vremenska razdoblja na obje postaje prikazana su na slici 2-2 i slici 2-3. Tijekom žive morske mijene, u Kopru i Veneciji dolazi do poludnevnih morskih mijena. Raspon živih morskih mijena u Kopru, koja se nalazi na istoj obali kao i Hrvatska, iznosi oko 1 m, što je slično vrijednosti izmjerenoj u Veneciji. Tijekom mrtvih morskih mijena dolazi do dnevnih i mješovitih morskih mijena s rasponom od oko 40 cm.



*Slika 2-1 Položaj postaja
Ispusti su navedeni u referentne svrhe.*



Slika 2-2 Razina vode u Koprju.



Slika 2-3 Razina vode u Veneciji.

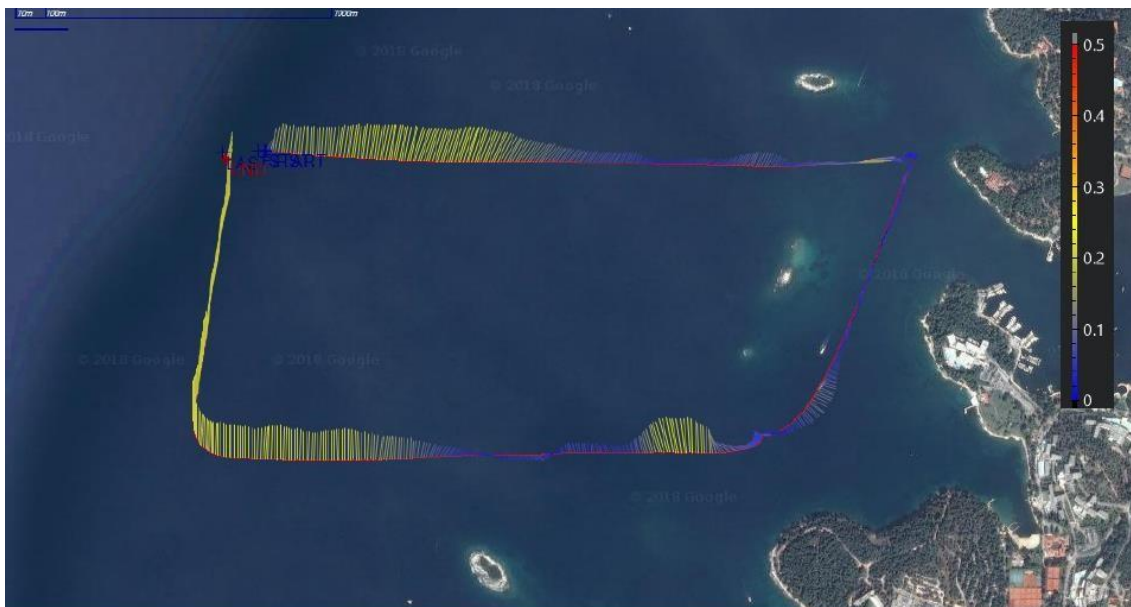
2.2 BRZINE

Istraživačka kampanja pokrenuta je za potrebe mjerenja batimetrije i struja u projektnom području (SHORE, 2018). Batimetrijski podaci iz toga istraživanja korišteni su prilikom postavljanja modela (IMDC, 2019). Izmjerene brzine korištene su za kalibraciju hidrodinamičkog modela kako bi se provjerilo je li model u stanju predstavljati lokalne uvjete strujanja.

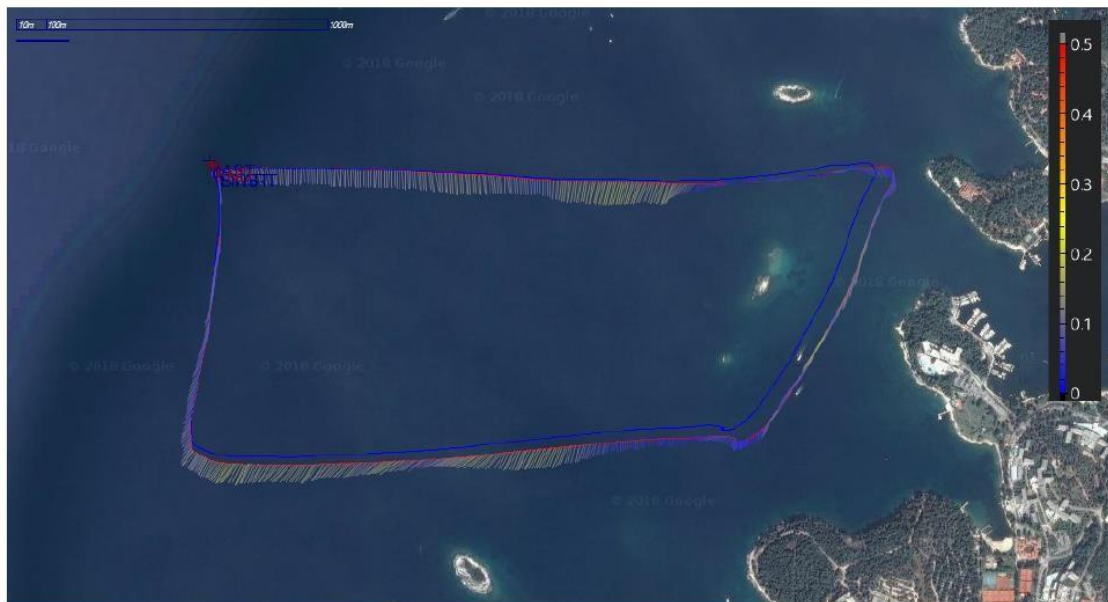
24. listopada 2018. obavljena su mjerenja uređajem ADCP za puni plimni ciklus duž presjeka nedaleko od lokacije Poreč-sjever. Raspoloživi su bili neobrađeni i uprosječeni skupovi podataka, uključujući i izmjerene intenzitete brzine i smjerove u odnosu na dubinu duž presjeka. Tijekom kalibriranja postalo je jasno da su uprosječeni skupovi podataka sadržavali pogrešne interpolacije. Stoga je provedeno novo uprosječivanje.

Tijekom plime (podizanja razine vode), struje su usmjerene prema sjeveru uz uprosječene brzine pada u dubine do 0,3 m/s (slika 2-4). Tijekom oseke (spuštanja razine vode), struje su usmjerene prema jugu uz uprosječene brzine pada u dubine do 0,2 m/s (slika 2-5). Jasno je iz ovoga da postoje varijacije u iznosima duž presjeka zbog postojanja otoka i značajki morskog dna. Moguće su i lokalne varijacije u intenzitetu brzine preko vodenog stupca s lokalnim maksimalnim iznosima do 0,5 m/s (slika 2-6).

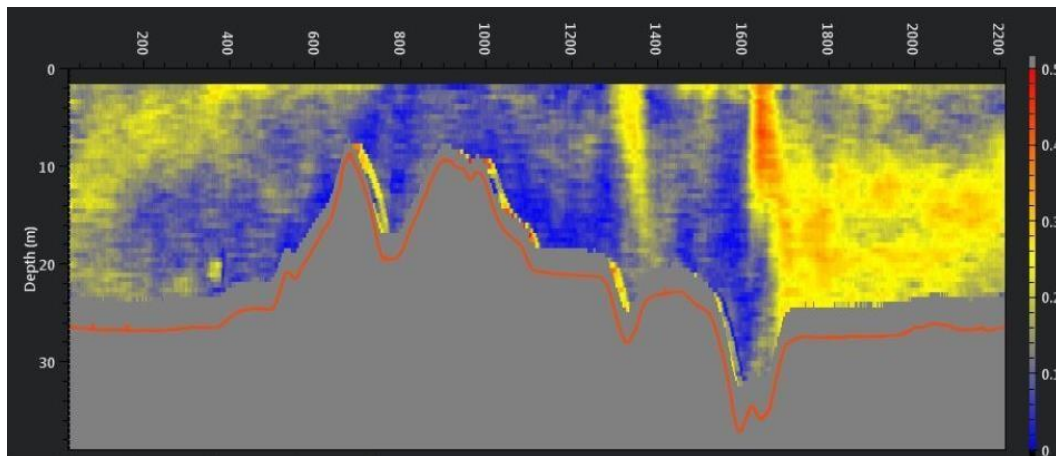
Podaci o vremenskim nizovima brzine očitani su na četiri postaje ADCP prikazane na slici 2-7. Naveden je položaj četiriju postaja radi detaljnije usporedbe s rezultatima modela.



Slika 2-4: Izmjereni vektori brzine tijekom plime (SHORE, 2018).



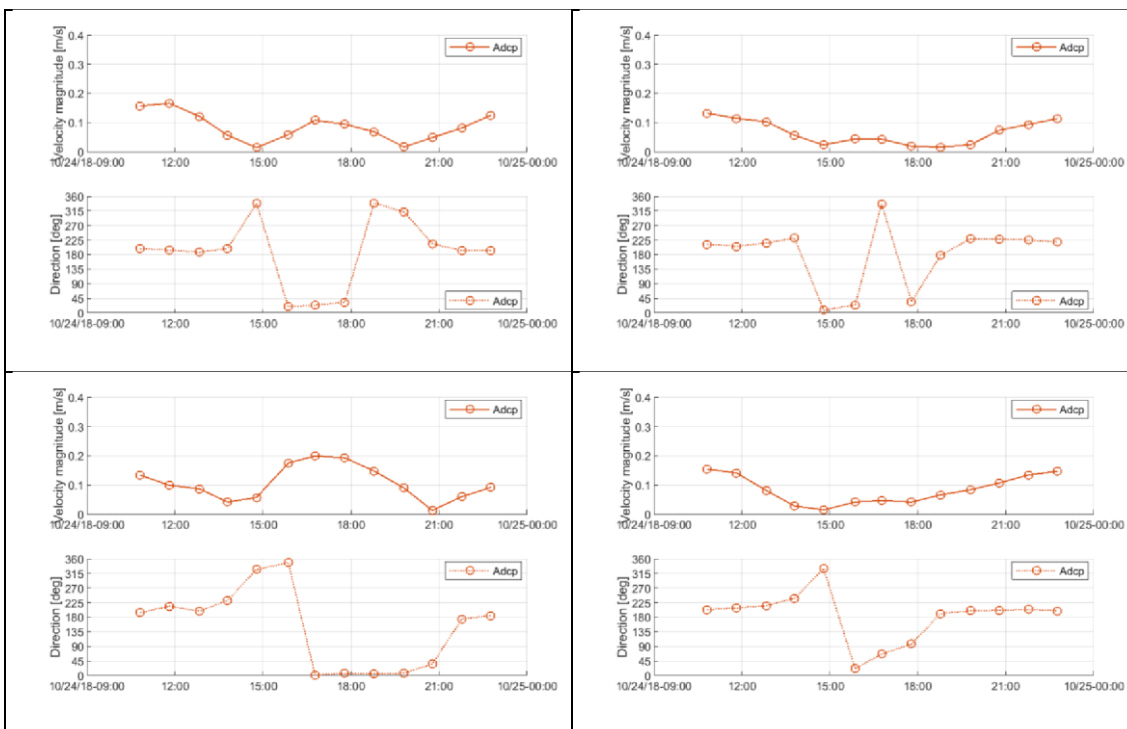
Slika 2-5 Izmjereni vektori brzine tijekom oseke (SHORE, 2018).



Slika 2-6: Izmjereni intenzitet brzine (SHORE, 2018) duž presjeka i s obzirom na dubinu, za stanje tijekom plime prikazano na slici 2-4.



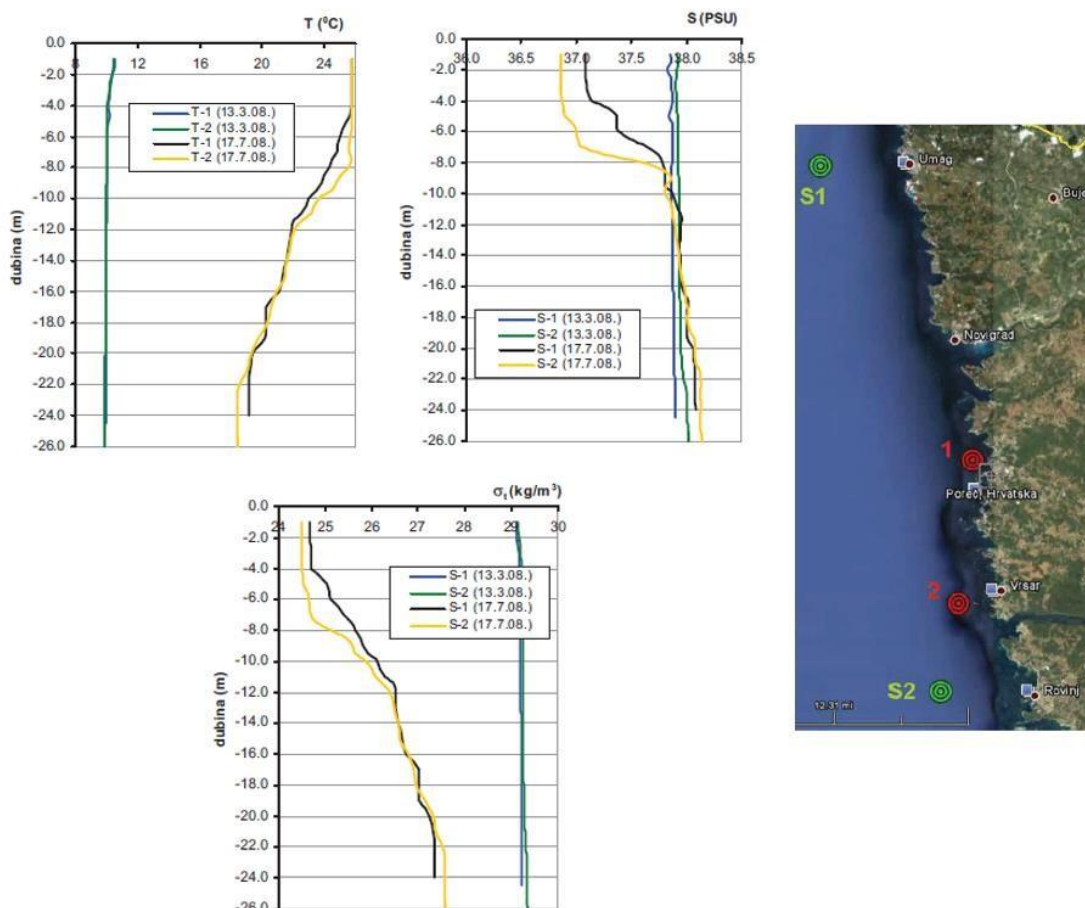
Slika 2-7: Položaj četiriju postaja ADCP za koje su izvučeni vremenski sljedovi.



Slika 2-8: Pregled vremenskih sljedova s izmjerenim brzinama na (u smjeru kazaljke na satu od vrha prema lijevo) ADCP1, ADCP2, ADCP3 i ADCP4, slika 2-7.

2.3 SALINITET I TEMPERATURA

Tijekom mjerenja uređajem ADCP (SHORE, 2018), mjereni su profili CDT. Ovi podaci vrijede za zimske uvjete kada je vodeni stupac dobro izmiješan. Međutim, tijekom ljeta, vodeni stupac može biti stratificiran, uz postojanje piknokline s naglim promjenama gustoće. Ovo može utjecati na miješanje i širenje efluenata te je stoga važno da model zabilježi ovaj fenomen. Gustoća je utvrđena varijacijama u salinitetu i temperaturi. Nisu dostupna mjerenja vertikalnih profila u pogledu saliniteta i temperature u ljetnom periodu u blizini projektnog područja, osim jednog posebnog mjerenja profila 17. srpnja 2008. na dvije lokacije u tom području (Andročec *et al.*, 2009) (slika 2-9). Ovi podaci koriste se kako bi se provjerilo je li model u stanju predstavljati situaciju u ljetnim uvjetima.



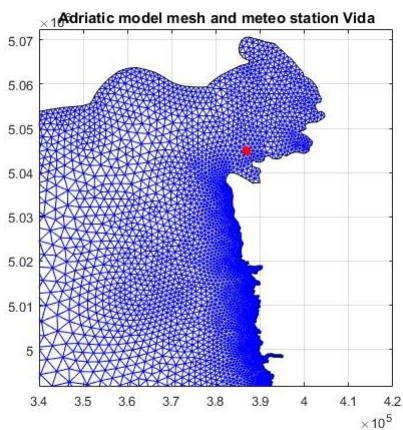
Slika 2-9: Dostupni profil saliniteta i temperature za ljetne uvjete (17.7.2008.) na dvije lokacije (S1 i S2) nedaleko od projektnog područja (Andročec et al., 2009)).

2.4 VJETAR I TEMPERATURA ZRAKA

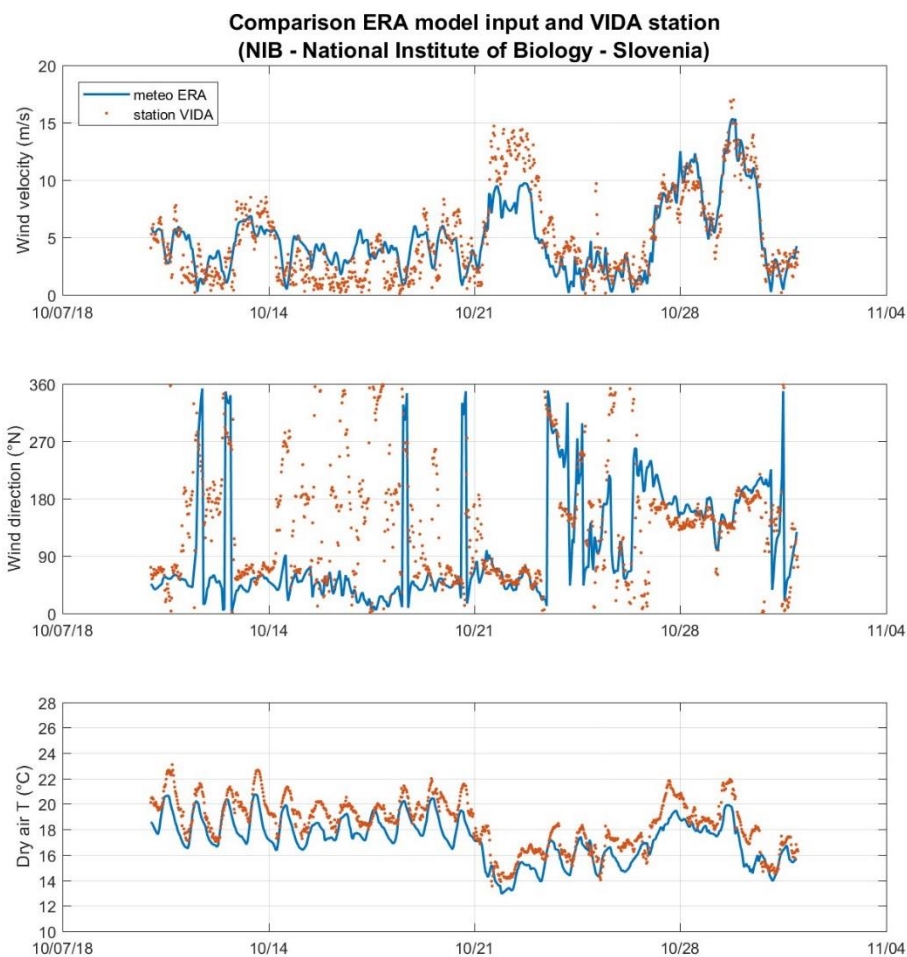
Za forsiranja vjetrom primijenjeni su podaci koji variraju i prostorno i vremenski. Uz podatke o vjetru, u forsiranje su uključeni podaci o tlaku srednje razine mora i temperaturi suhog zraka (IMDC, 2019).

Izvor podataka o vjetru prognostički je model ECMWF, preuzet s rezolucijom mreže od 0,125 stupnjeva. Drugi izvor podataka o vjetru dostupan je zahvaljujući Slovenskom državnom institutu za biologiju, koji se sastoji od vremenskih sljedova nedaleko od područja istraživanja (slika 2-10). Usporedba podataka o vjetru, dostupnih zahvaljujući modelu ECMWF (ERA), i mjerenja točkastih izvora, prikazani su na slici 2-11. Usporedba prikazuje da podaci iz modela jako dobro bilježe smjerove i intenzitete, ali zanemaruju neke vršne vrijednosti brzina vjetrova, što se i očekivalo budući da model poravnava rezultate. Model ECMWF također je poprilično precizno predstavio podatke o vremenskim sljedovima temperature zraka.

Imajući sve to u vidu, a kako su podaci o vjetru putem modela ECMWF dostupni uz prostornu i vremensku varijaciju, primijenjena su kao granično forsiranje vjetra, tlaka i temperature zraka i smatraju se odgovarajućim za usmjeravanje hidrodinamike.



Slika 2-10: Položaj postaje za mjerenje vjetrova (crvena točka)
Mreža daleke zone Jadranskog modela prikazana je u pozadini (plava boja)



Slika 2-11 Usporedba podataka s modela ERA (na najbližoj točki) s
mjerenjima na postaji VIDA.

3. HIDRODINAMIČKA KALIBRACIJA

U ovom se poglavlju opisuju hidrodinamičke kalibracije izvedene za numerički model. Podaci vezani za sastavljanje modela (rezolucija mreže modela, granične uvjete, postavke i slično), mogu se pronaći u Izvještaju o sastavljanju hidrodinamičkog modela (IMDC, 2019).

3.1 UVOD

Kalibracija je vršena u dvije faze. Najprije su, na temelju dostupnih mjerenja struje i razine vode iz listopada 2018., kalibrirani hidrodinamički modeli za zimski period (odjeljak 3.2). Naglasak je u ovoj kalibracijskoj fazi na prikazu izmjerenih razina vode i brzina te, u manjoj mjeri, temperature i saliniteta. U ovom je periodu vodeni stupac dobro izmiješan i male su varijacije u temperaturi i salinitetu duž vertikale. U drugoj kalibracijskoj fazi (odjeljak 3.3.), kada je pronađen model koji će predstavljati hidrodinamiku, izvršena je provjera kako bi se utvrdilo jesu li modeli u stanju predstavljati stratifikaciju (varijacije temperature i saliniteta duž vertikale) i tijekom ljetnog perioda,

U svakoj su se kalibracijskoj fazi izvele drugačije usporedbe. Numerički je model simuliran u dva koraka (IMDC, 2019). U prvom je koraku simuliran uvećani model daleke zone Jadranskog modela grube razlučivosti, forsiran TOPEXOVIM i NEMOVIM graničnim uvjetima, modelom GOTM za vertikalnu turbulenciju i poljem vjetrova ECMWF. Ovaj model izračunava razine vode i brzine na točkama iz kojih su izvedeni granični uvjeti za manju domenu modela (obalni model) oko istraživanog područja. Takav manji model ima znatno oštriju horizontalnu rezoluciju. Kalibracija numeričkih modela izvršena je kako na Jadranskom modelu tako i na manjem obalnom modelu. Za Jadranski su model razine vode uspoređene s mjerenjima. Lokalni je model kalibriran s obzirom na razine vode i brzine izmjerene na istraživanom području. Kalibracija je tih modela najprije obavljena za zimski period, u listopadu 2018., na temelju dostupnih podataka. Kalibrirane su se postavke Jadranskog i obalnog modela zatim koristile za simulaciju ljetnog perioda (srpanj, 2008.) kako bi se provjerili odabrani parametri modela i kako bi se utvrdilo je li proces stratifikacije zahvaćen tim modelima.

Izlazni su se podaci za sve provedene simulacije ispisali kako bi se mogli usporediti s podacima s točke vremenskih sljedova kao i s prostornim mapama visoke vremenske razlučivosti.

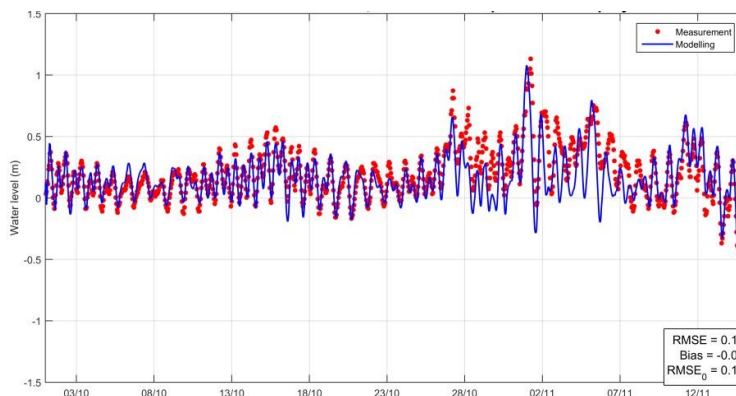
Veličina mreže modela varira između ~10 km do 30 m u blizini istraživanog područja, odnosno od uvećanog modela do lokalnog obalnog modela. Duž istarske obale, razlučivost je ograničena na 30 – 40 m kako bi se detaljno zahvatili otoci i obala. Iscrpniji podaci vezani za model mogu se pročitati u Izvještaju (IMDC, 2019).

Naposlijetku, trenutno hidrodinamičko ponašanje na istraživanom području dano je za svaki simulirani period na temelju rezultata kalibriranog modela.

3.2 ZIMSKI PERIOD

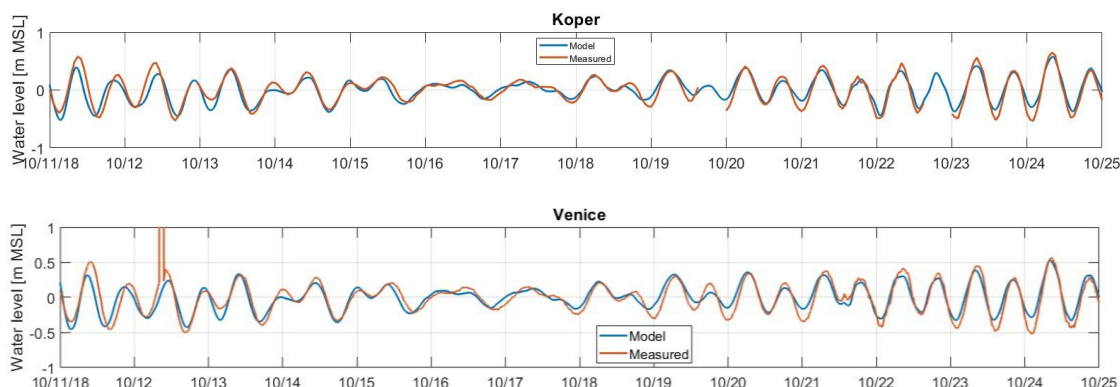
3.2.1 Razine vode

Jadranski je model provjeren u prethodnim studijama tvrtke IMDC s obzirom na razine vode prema južnom obalnom području Hrvatske (pogledati npr. Sliku 3-1) (IMDC, 2017). Sada je naglasak postavljen na sjeverni dio Jadranske obale.



Slika 3-1: Ukupni rezultati modela. Modelirani vremenski sljedovi i izmjerene razine vode na postaji Bakar, južno od projektnog područja.

Slika 3-2 prikazuje usporedbu razina vode za zimski period u listopadu 2018. S obzirom na relativno nisku razlučivost Jadranskog modela, model prikazuje dobru korelaciju s razinama vode. Korijen srednje kvadratne pogreške za razinu vode u Kopru iznosi 10 cm, u Veneciji 14 cm, a odstupanje u trenutku VV i NV iznosi oko 6-7 min za obje postaje. Za kalibraciju Jadranskog modela, uvedena su poboljšanja u pogledu adveksijskih shema kao i difuznosti, hrapavosti dna te saliniteta i temperatura. Razine vode i brzine iz ovog Jadranskog modela koristile su se kao granično forsiranje za lokalni model.



Slika 3-2: Usporedba razine vode (Srednja razina mora) između mjerenja – Jadranski model u Kopru i Veneciji za zimsku simulaciju.

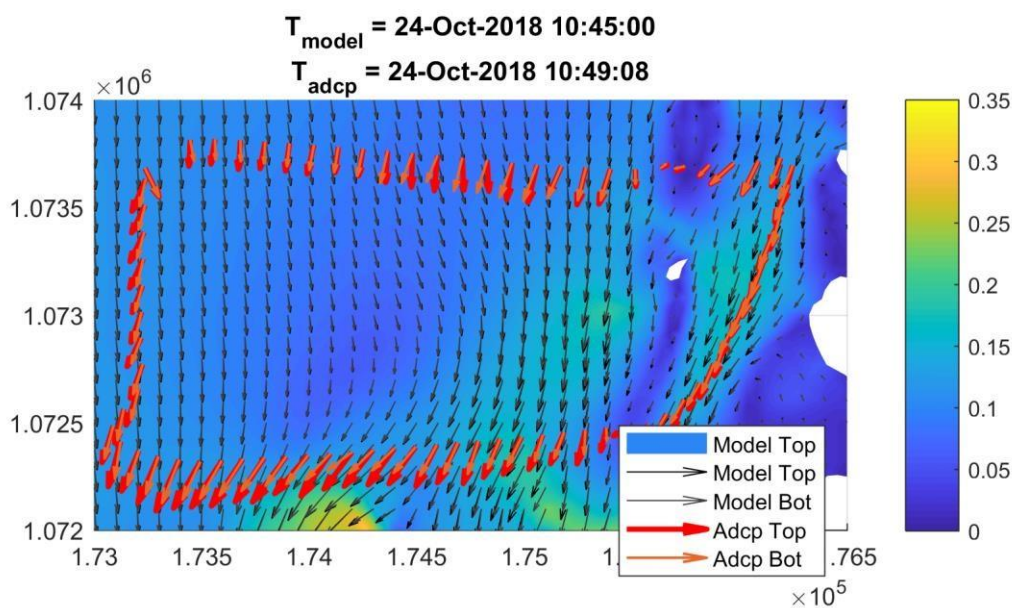
3.2.2 Brzine

Za lokalni obalni model srednje zone kalibracija je obavljena s obzirom na pridneno trenje i horizontalnu viskoznost. Kalibracija brzina izvršena je uporabom brzina točaka na četiri postaje ADCP kao i u odnosu na presjeke kroz plimu na istraživanom području. Slika 3-5 prikazuje usporedbu intenziteta brzine i smjera na četiri postaje ADCP.

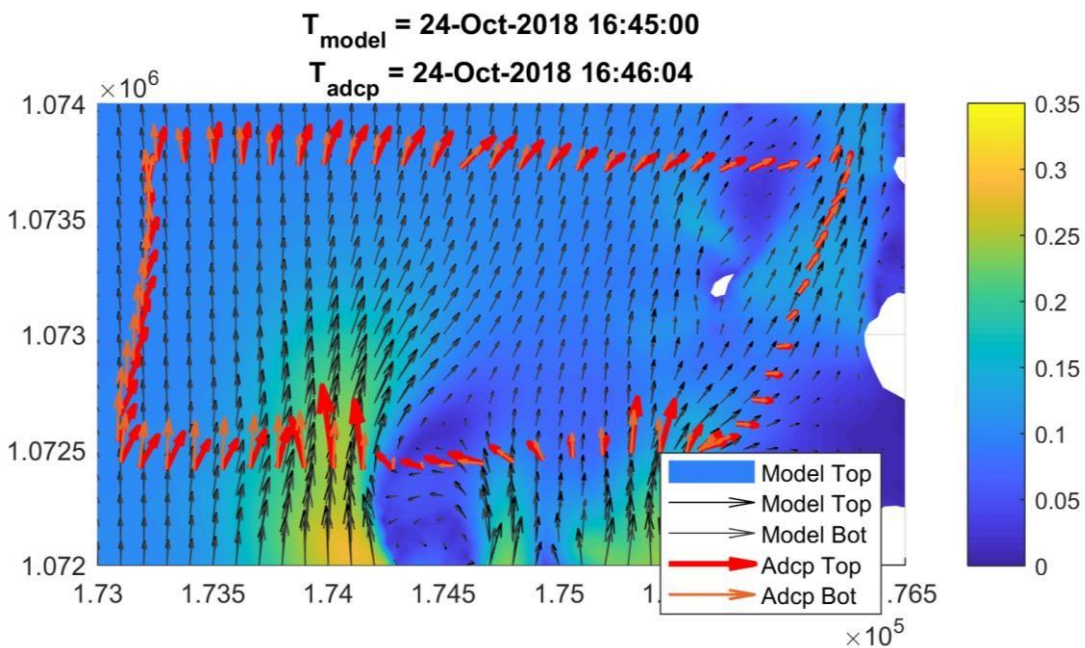
Zajedno s uspoređivanjem vremenskih sljedova, na istraživanom je području izvršeno i detaljno uspoređivanje pomoću vektora brzine. Jedan od primjera za maksimalno strujanje plime i oseke prikazan je na slici 3-3- i slici 3-4. Ostali dostupni vremenski sljedovi priloženi su u Dodatku A.

Vektorska polja na slici 3-3 i slici 3-4, kako za strujanje oseke tako i za strujanje plime, pokazuju da je model u stanju predstavljati intenzitete brzina, složene uzorke toka te prisustvo recirkulacijskih područja oko otoka.

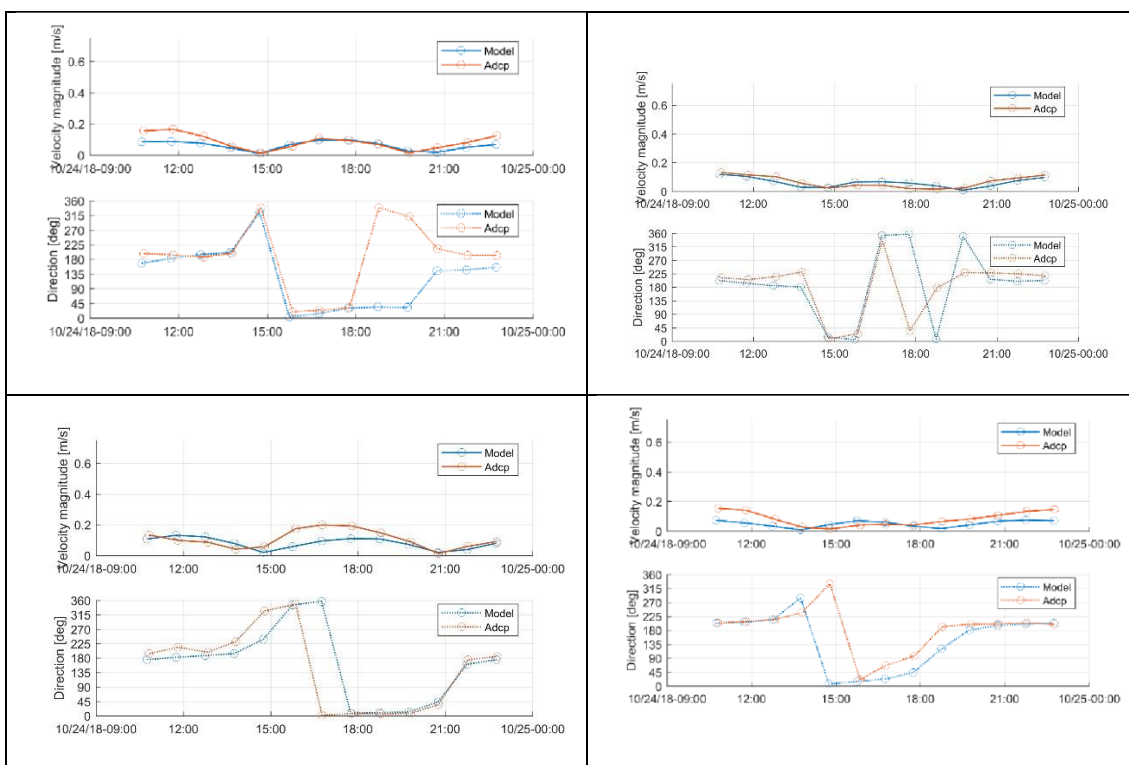
S obzirom na dobru korelaciju s intenzitetima i smjerom brzina, model se smatra kalibriranim.



Slika 3-3: Usporedba vektora brzine i intenziteta između izmjerenih podataka i kalibriranog modela pri maksimalnom strujanju oseke u istraživanom području.



Slika 3-4 Usporedba vektora brzine i intenziteta između izmjerenih podataka i kalibriranog modela pri maksimalnom strujanju plime u istraživanom području.

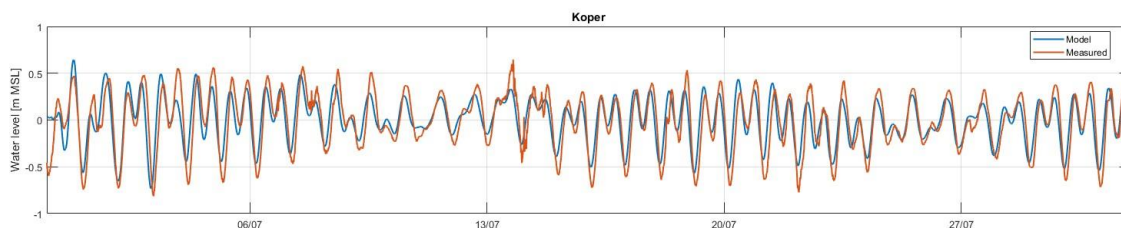


Slika 3-5 Usporedba brzine na postajama ADCP1, ADCP2, ADCP3 i ADCP4.

3.3 LJETNI PERIOD

3.3.1 Razine vode

Za ljetni period (lipanj, 2008.), razine vode na postaji u Kopru provjerene su za Jadranski model (slika 3-6). Također, za ovaj je period usporedba modela i mjerenja dobra.



Slika 3-6: Usporedba mjerenja razine vode (srednja razina mora)– Jadranski model u Kopru za ljetnu simulaciju.

3.3.2 Stratifikacija

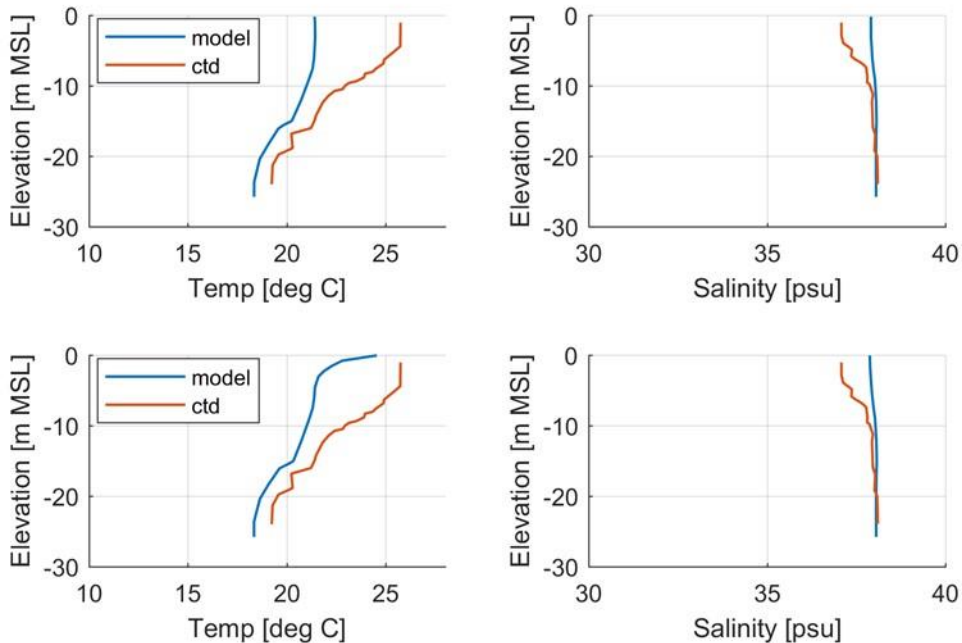
Kako bi se potvrdilo je li model u stanju prikazati varijacije temperature i saliniteta duž vertikale te samim tim i prisustvo stratifikacije, proveda se provjera temeljena na mjerenjima temperature i saliniteta dana 17. listopada 2008. (odjeljak 2.3). Budući da nije poznato vrijeme mjerenja prijavljenih vertikalnih profila, dva su vertikalna profila izvučena iz rezultata Jadranskog modela: jedan jutarnji (6.00) kada još nije došlo do zagrijavanja, i jedan večernji (18.00) kada se morska voda zagrijala na površini.

Usporedba izmjerenih i kalibriranih profila za ta dva vremenska perioda i za dvije lokacije prikazana je na slici 3-7 i slici 3-8. Za jutarnje profile, temperaturne varijacije između površine i dna niže su u modelu nego u mjerenjima. Razlog tomu može biti taj da su mjerenja vršena kasnije tijekom dana kada je morska voda već bila zagrijana.

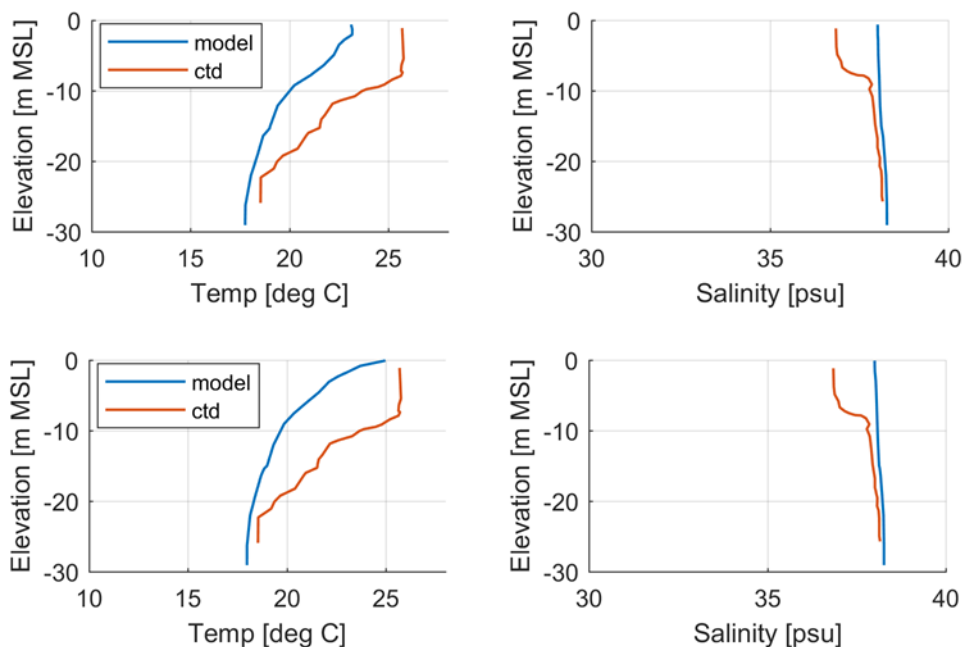
Za profile iz kasnog poslijepodneva, temperaturni gradijent između površine i dna usporediv je s modelom i mjerenjima. Mjerenja međutim navode dublja područja s višom temperaturom mora nego onom na modelu.

Što se tiče saliniteta, model poprilično dobro prikazuje intenzitet saliniteta za dublje slojeve. Prema mjerenju, postoji međutim gornji sloj nižeg saliniteta koji nije zahvaćen modelom. Nije jasno koji je uzrok ovoj varijaciji na površini jer je rijeka Pad, kao izvor svježije vode, obuhvaćena modelom. Vjerojatno je uzrok neki drugi nepoznati izvor svježije vode. Međutim, kako model prikazuje vertikalni gradijent u varijacijama vertikalne temperature, i profil gustoće sadržavat će vertikalni gradijent.

Može se, stoga, zaključiti da model može prikazati proces stratifikacije i moguće hvatanje efluenata u dubljim slojevima.



Slika 3-7: Usporedba modelirane i izmjerene varijacije u temperaturi i salinitetu s obzirom na dubinu na položaju S1. Gore: 17.7.2008. u 6.00, dolje: 17.07.2008 u 18.00.



Slika 3-8: Usporedba modelirane i izmjerene varijacije u temperaturi i salinitetu s obzirom na dubinu na položaju S2. Gore: 17.7.2008. u 6.00, dolje: 17.07.2008 u 18.00.

4. SADAŠNJE STANJE

4.1 UVOD

U ovome se poglavlju govori o hidrodinamičkom ponašanju i pojavi stratifikacije u sadašnjem stanju.

4.2 HIDRODINAMIČKO PONAŠANJE

U ovom se odlomku raspravlja o trenutnom hidrodinamičkom ponašanju oko više ispusnih područja. Rezultati kalibriranog (zimskog) modela navedeni su u nastavku.

Za svaki ispus dane su mape brzina prilikom raznih plimnih faza:

1. Oko srednje razine mora tijekom strujanja plime
2. Oko VV
3. Oko srednje razine mora tijekom strujanja oseke
4. Oko NV

Mape također prikazuju položaje ispusta.

Općenito, u području se javljaju male struje (do 0,35 m/s). U nastavku se raspravlja o varijacijama u intenzitetu struje, prisustvu područja s ustajalom vodom i područja s recirkulacijom i vrtlozima jer bi oni mogli utjecati na uzorke širenja i moguće hvatanje oblaka efluenta.

Lanterna

Oko Lanterne prisutan je relativno ujednačeno strujanje na kojeg utječe tek prisutnost rtova.

Tijekom plime (lijeva karta na slici 4-1), u području oko ispusta prema sjeveru, prisutno je prilično ujednačeno polje strujanja s uprosječenim strujama malih dubina (oko 0,1 m/s).

Oko VV (desna karta na slici 4-1), brzine strujanja gotovo da stagniraju u blizini ispusta. Sjeverno od rta postoji područje recirkulacije koje bi moglo uhvatiti oblak efluenta.

Također, tijekom oseke (lijeva karta na slici 4-2), vidljivo je prilično ujednačeno polje strujanja sa strujama oko 0,1 m/s. Oko rta dolazi do lokalnog povećanja brzine (oko 0,15 m/s) s područjem recirkulacije koje bi moglo uhvatiti oblak efluenta duž te obalne linije.

Oko NV (desna karta na slici 4-2), južno od rta, vrtlog recirkulacije se povećao. Međutim, struje su manje (0,05 – 0,10 m/s).

Poreč - sjever

U obližnjem području, oko ispusta Poreč- sjever, nema otoka te je uspostavljeno poprilično ujednačeno polje strujanja. Međutim, postojanje uvala i varijacije obalnog pojasa dovode do pojava različitih načina strujanja.

Za vrijeme plime (lijeva karta na slici 4-3), smjer strujanja slijedi glavni smjer obalnog pojasa prema sjeveru. Oko ispusta, strujanja iznose oko 0,1 m/s, s jačim strujanjima (0,2 m/s) sjeverno od ispusta gdje je obalni pojas usmjeren prema otvorenom moru. U zaljevima blizu ispusta gotovo da i nema strujanja.

Oko VV (desna karta na slici 4-3), oko ispusta gotovo da i nema strujanja. Široko područje recirkulacije prisutno je sjevernije.

Tijekom oseke (lijeva karta na slici 4-4), ispust se nalazi južnije, na području jačih strujanja prema (0,1 – 0,2 m/s). Istočno od ispusta prema obali, nalazi se područje gotovo bez strujanja.

Prema NV (desna karta na slici 4-4), oko ispusta je nastalo široko recirkulacijsko područje sa slabim intenzitetima struje (0,1 m/s)

Poreč - jug

Prema istočnijem dijelu istarske obale, u priobalnom su području, primjerice Poreč-jug, prisutni su otočići koji utječu na hidrodinamičko ponašanje.

Tijekom plime (lijeva karta na slici 4-5), otoci prema sjeveru stvaraju razne obrasce strujanja s ubrzanjima gotovo u mlazovima (do 0,35 m/s). Iza otoka, prisutna su područja recirkulacije. Oko ispusta uočena je pojava vrtloga.

Prema VV (desna karta na slici 4-5), oko ispusta se još uvijek uočava prisustvo recirkulacijskog područja, ali se sjevernije razvilo još jedno veće. Prisutne su i manje struje (do 0,15 m/s).

Tijekom oseke (lijeva karta na slici 4-6), oko ispusta je uočeno prisustvo ujednačenijeg strujanja prema jugu (oko 0,15 m/s). Mogu se zamijetiti i lokalna povećana strujanja do 0,35 m/s. Nizvodno od ispusta mogu se uočiti složeniji obrasci strujanja.

Oko NV (desna karta na slici 4-6), oko ispusta uočava se prisustvo gotovo ustajale vode.

Vrsar

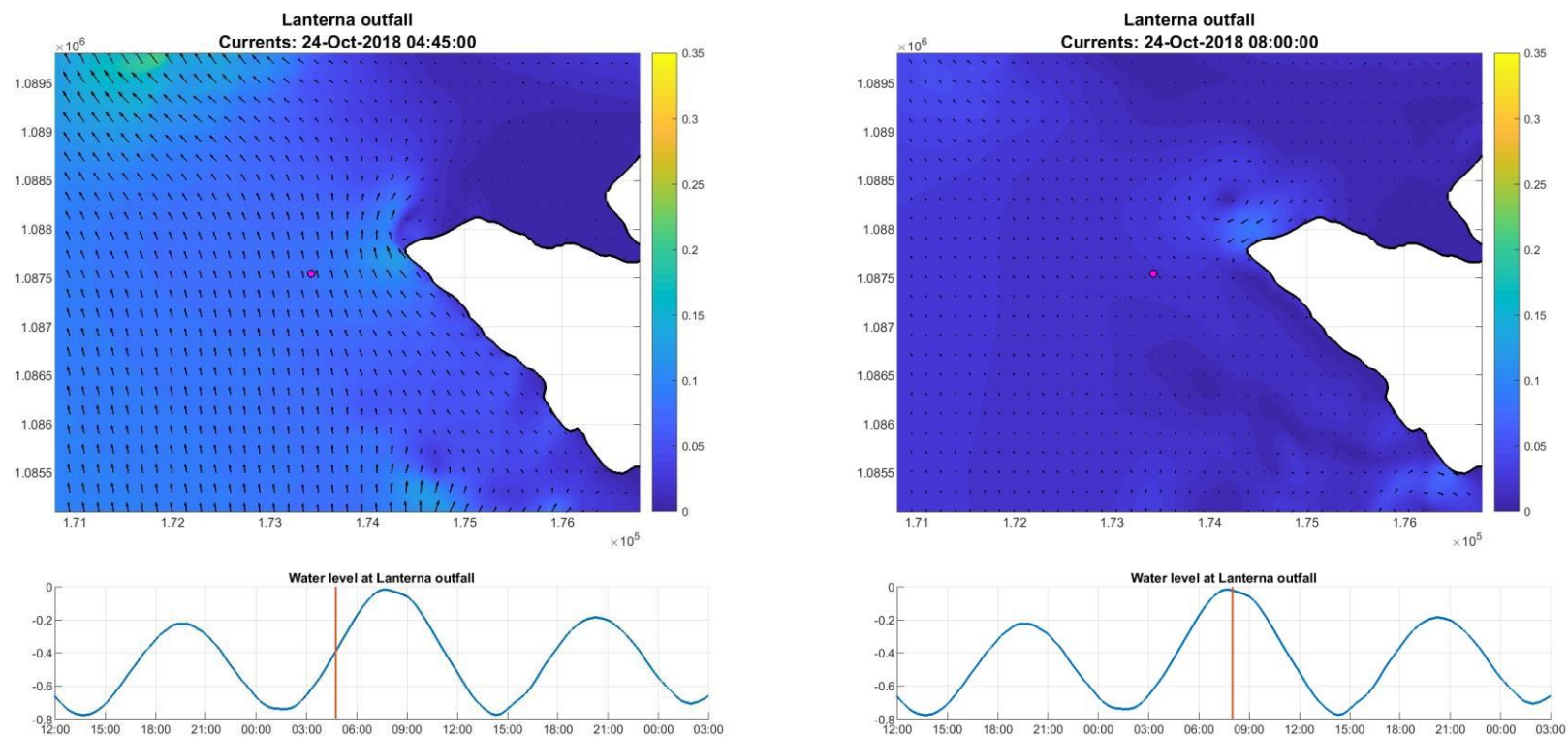
Slično kao na lokaciji Poreč-jug, na obrazac strujanja utječe prisustvo još većeg broja otoka kao i rtova na obali fjorda.

Tijekom plime (lijeva karta na slici 4-7), oko ispusta uočena je pojava jakih struja (0,25 m/s) s daljnjim ubrzanjima i pojavom mlazova prema i između otoka (do 0,35 m/s). U blizini ispusta pojavljuje se široki vrtlog s recirkulacijom prema obalnom području.

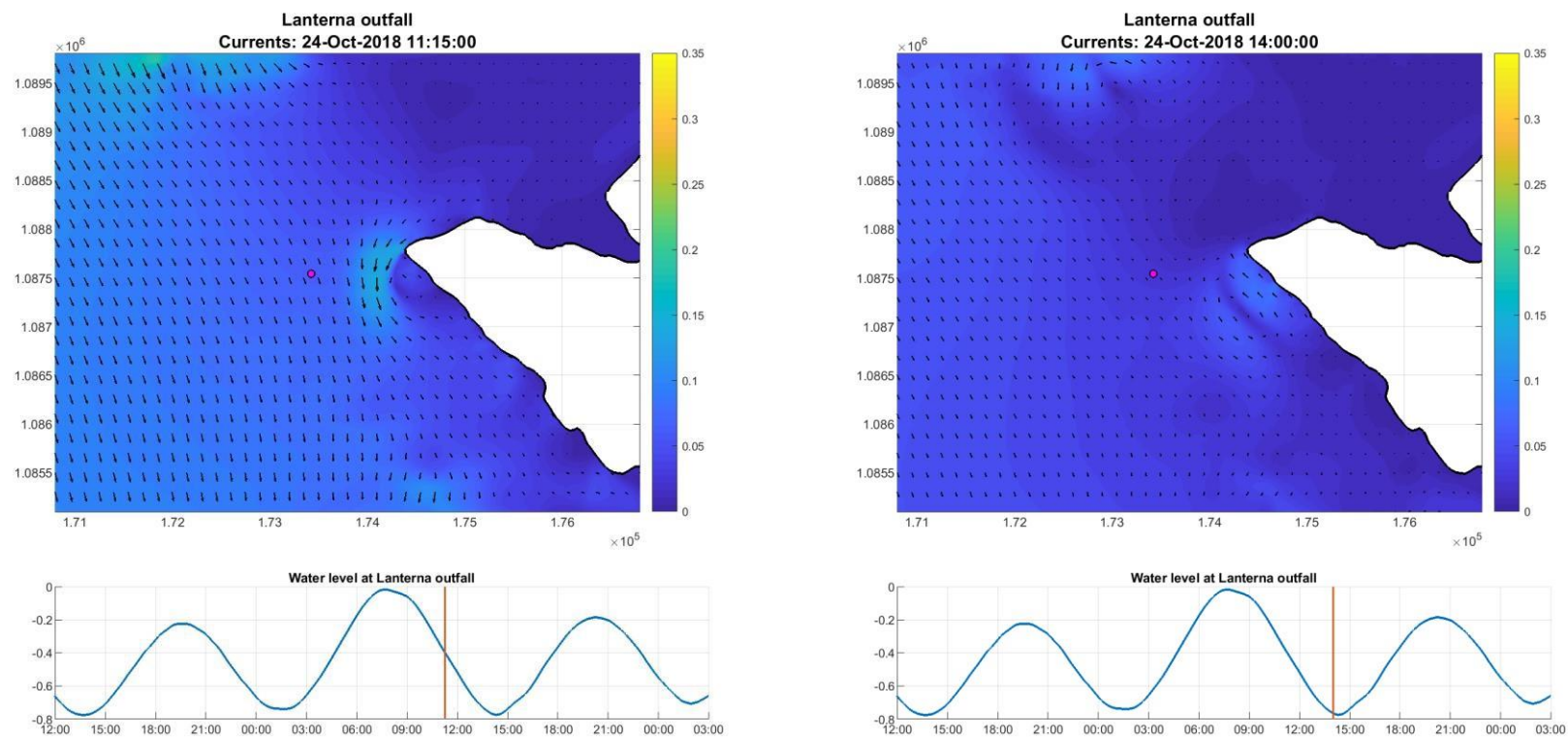
Prema VV (desna karta na slici 4-7), i dalje se, oko ispusta, uočava pojava vrtloga koji se povećao i svoje središte pomaknuo prema samom ispustu. Međutim, intenzitet struje je manji (<0.05 m/s do 0.2 m/s).

Tijekom oseke (lijeva karta na slici 4-8), ispust se, nakon ubrzanja toka, nalazi između otoka sa strujama na jugu od 0.15 – 0.20 m/s.

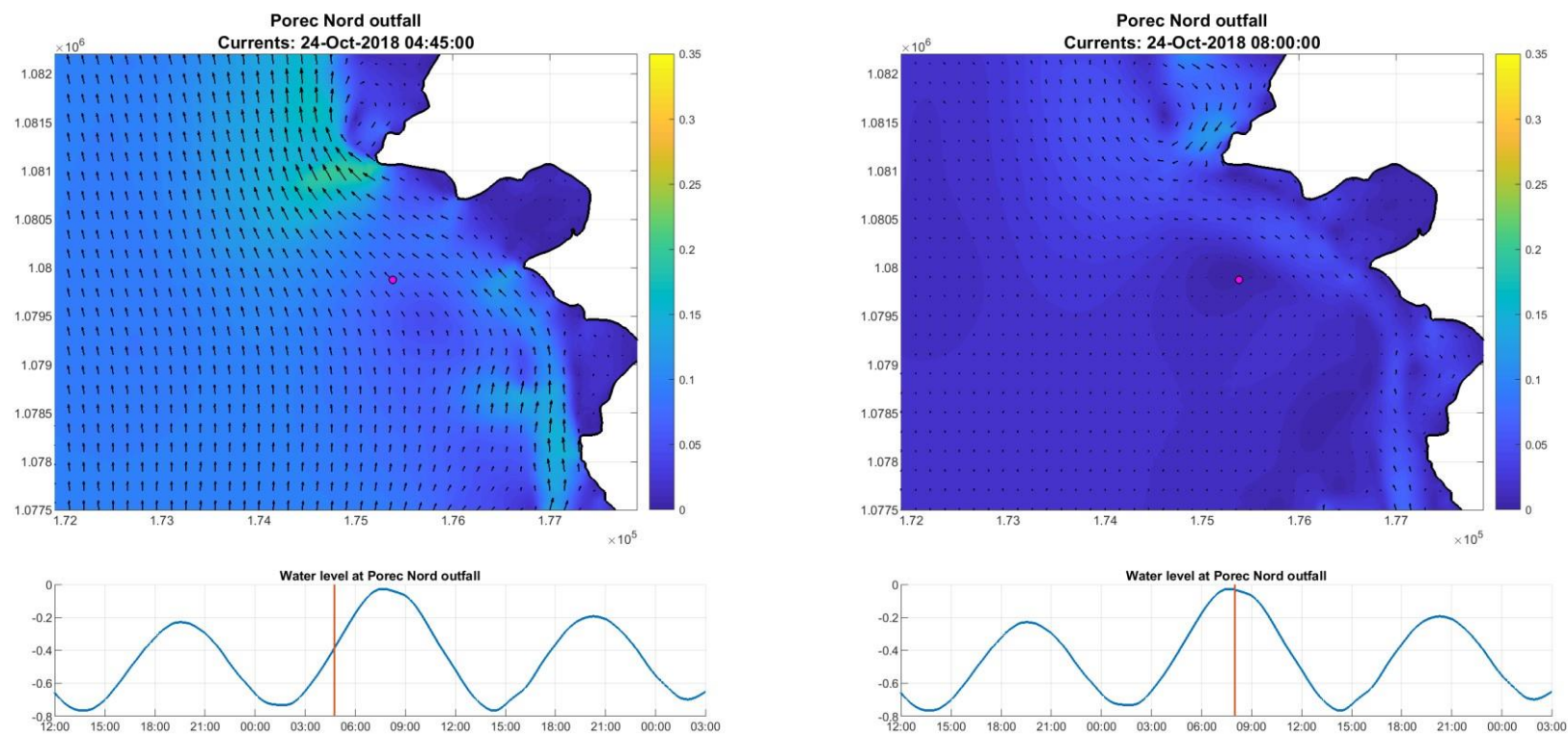
Oko NV (desna karta na slici 4-8), obrazac je protoka obilježen nizom vrtloga i recirkulacijskih područja nastalih uslijed prisutnosti otoka i prijelaza brzine. Ispust je smješten na rubovima triju recirkulacijskih područja – istočno, sjeverno i zapadno od ispusta. Struje iznose između 0,10 – 0,15 m/s.



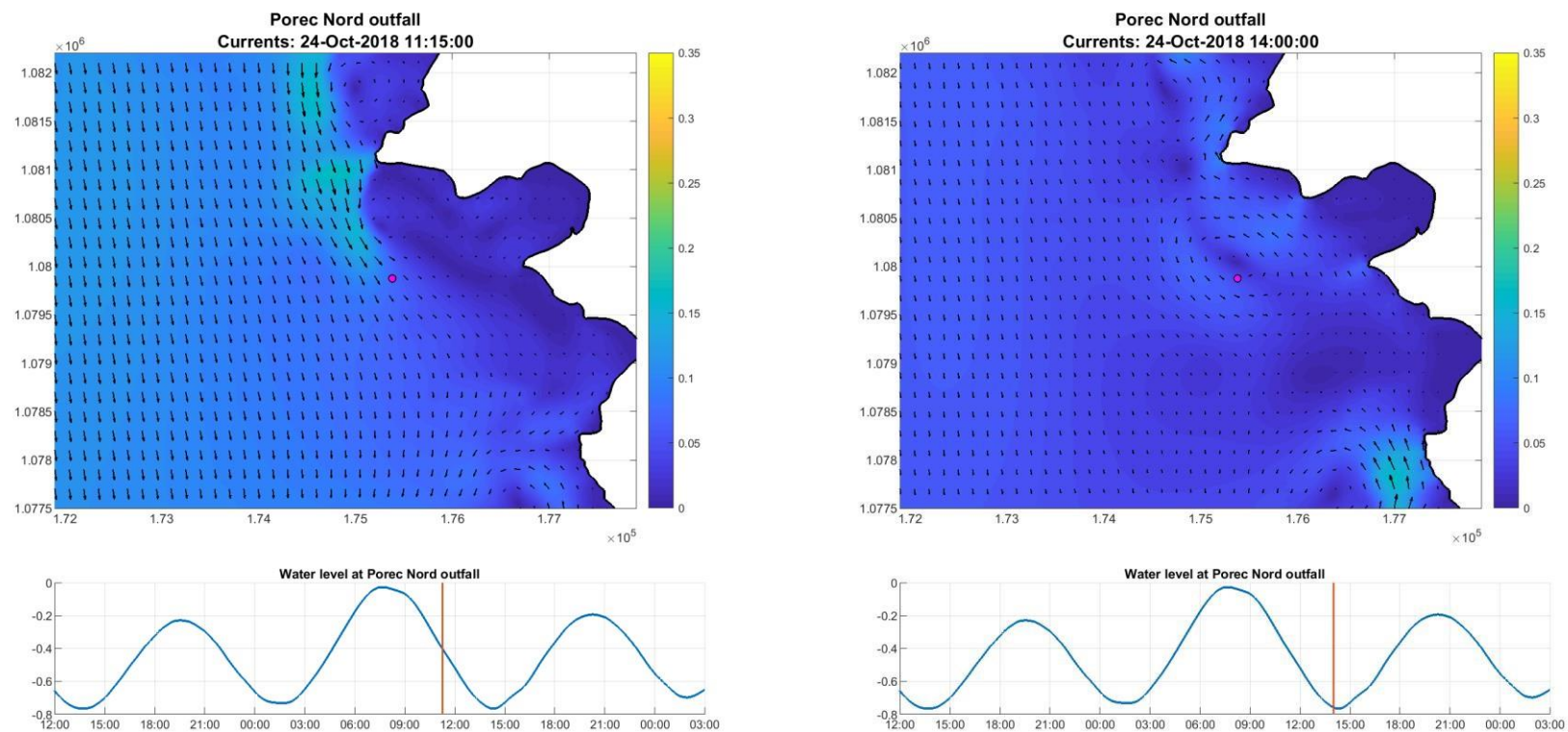
Slika 4-1: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Lanterna na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (plima). Desno: tijekom VV.



Slika 4-2: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Lanterna na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (oseka). Desno: tijekom NV.



Slika 4-3: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Poreč-sjever na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (plima). Desno: tijekom VV.



Slika 4-4: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Poreč-sjever na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (oseka). Desno: tijekom NV.

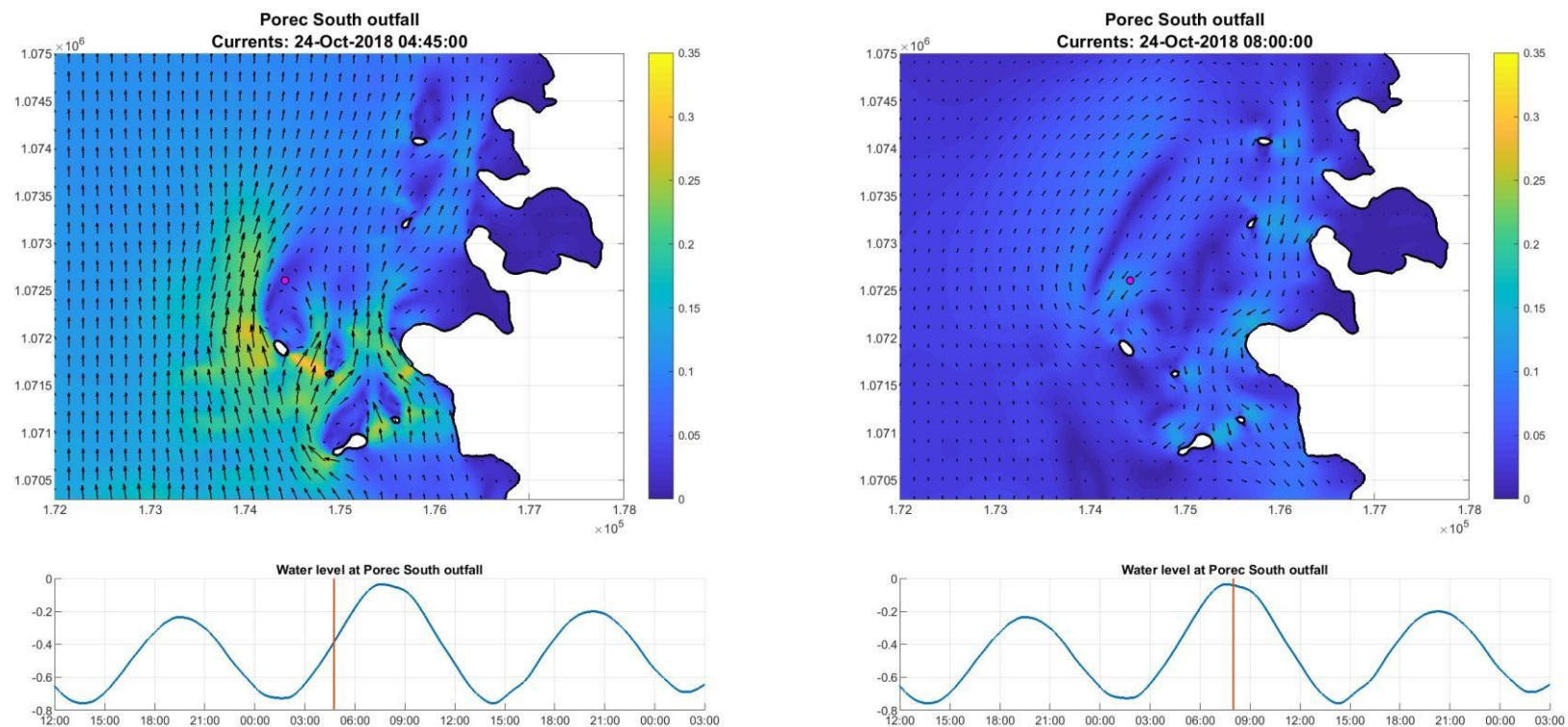
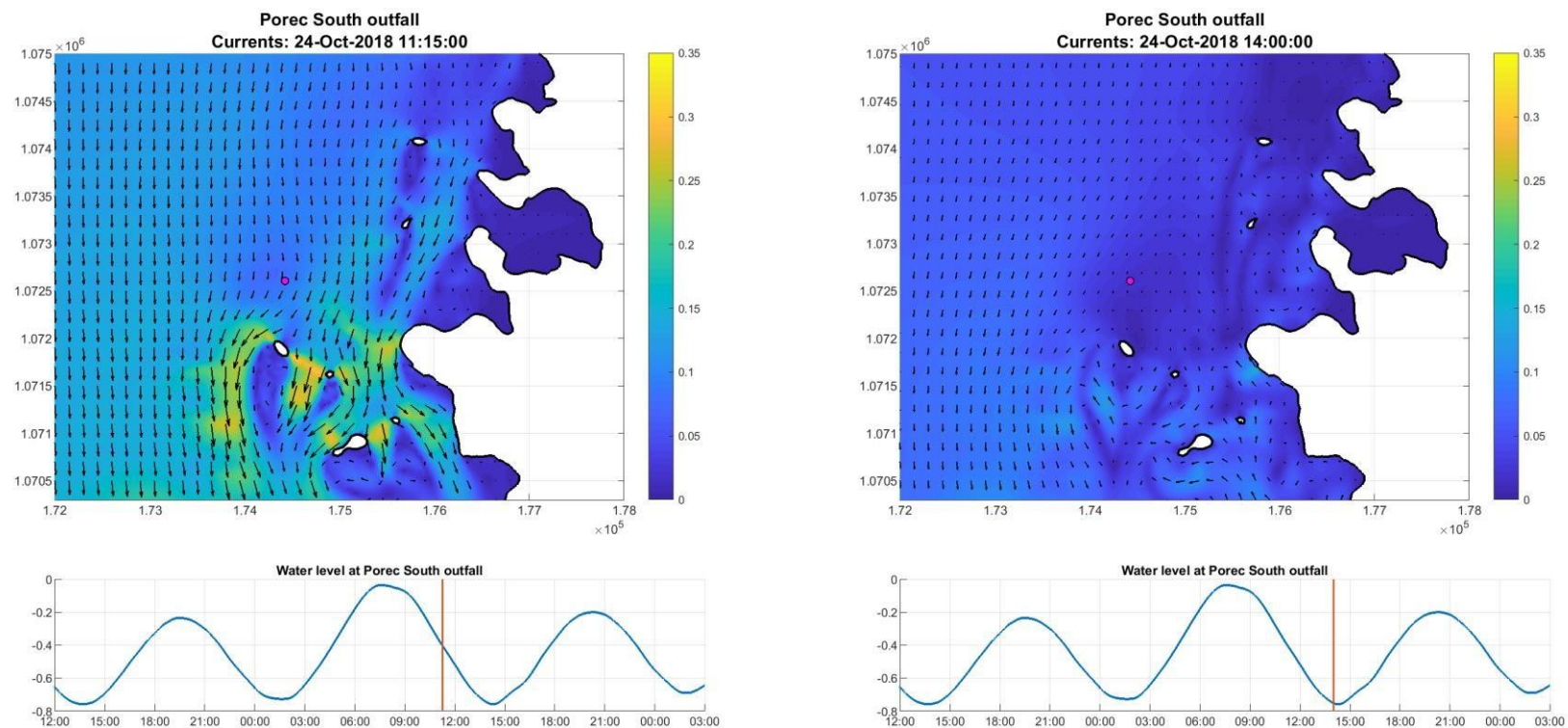
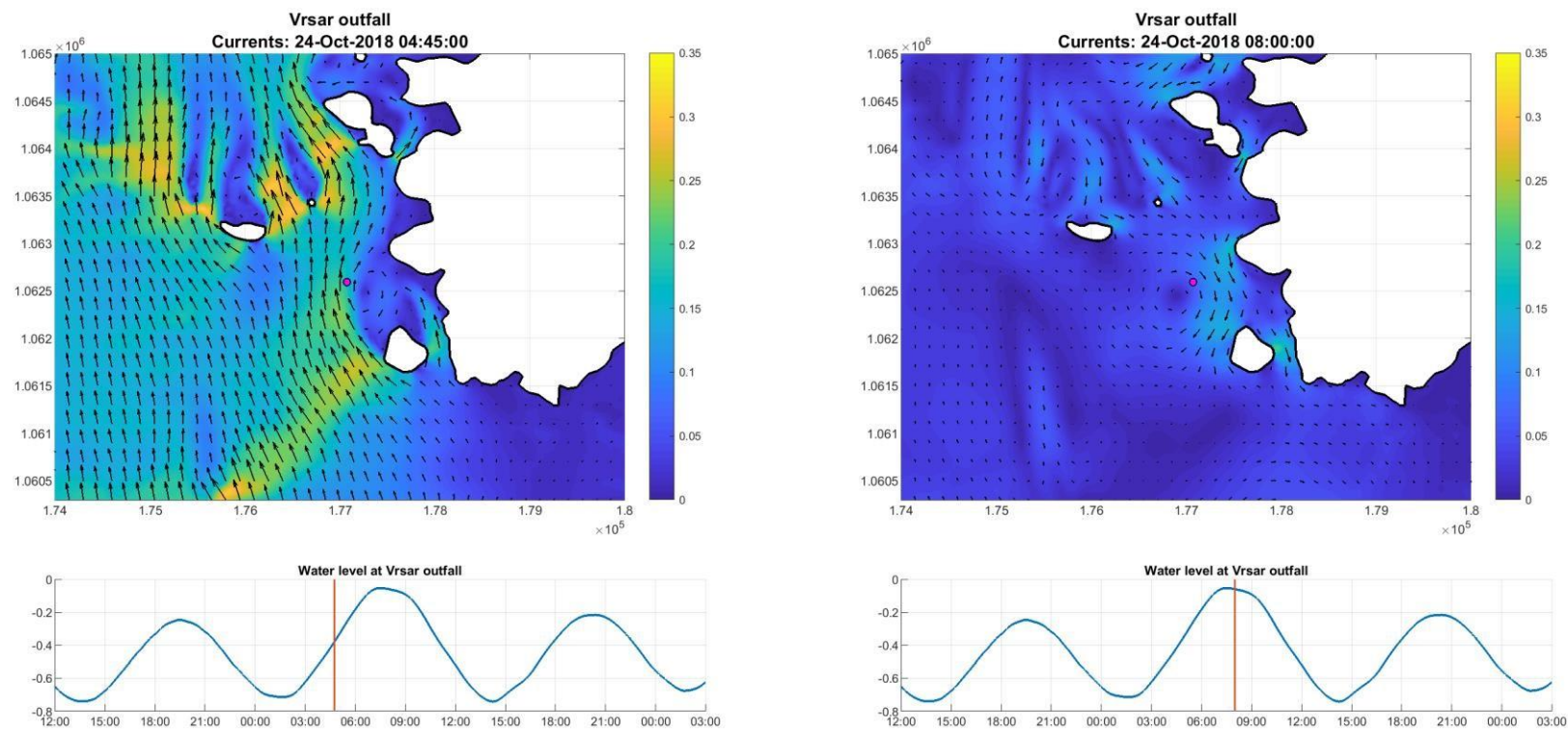


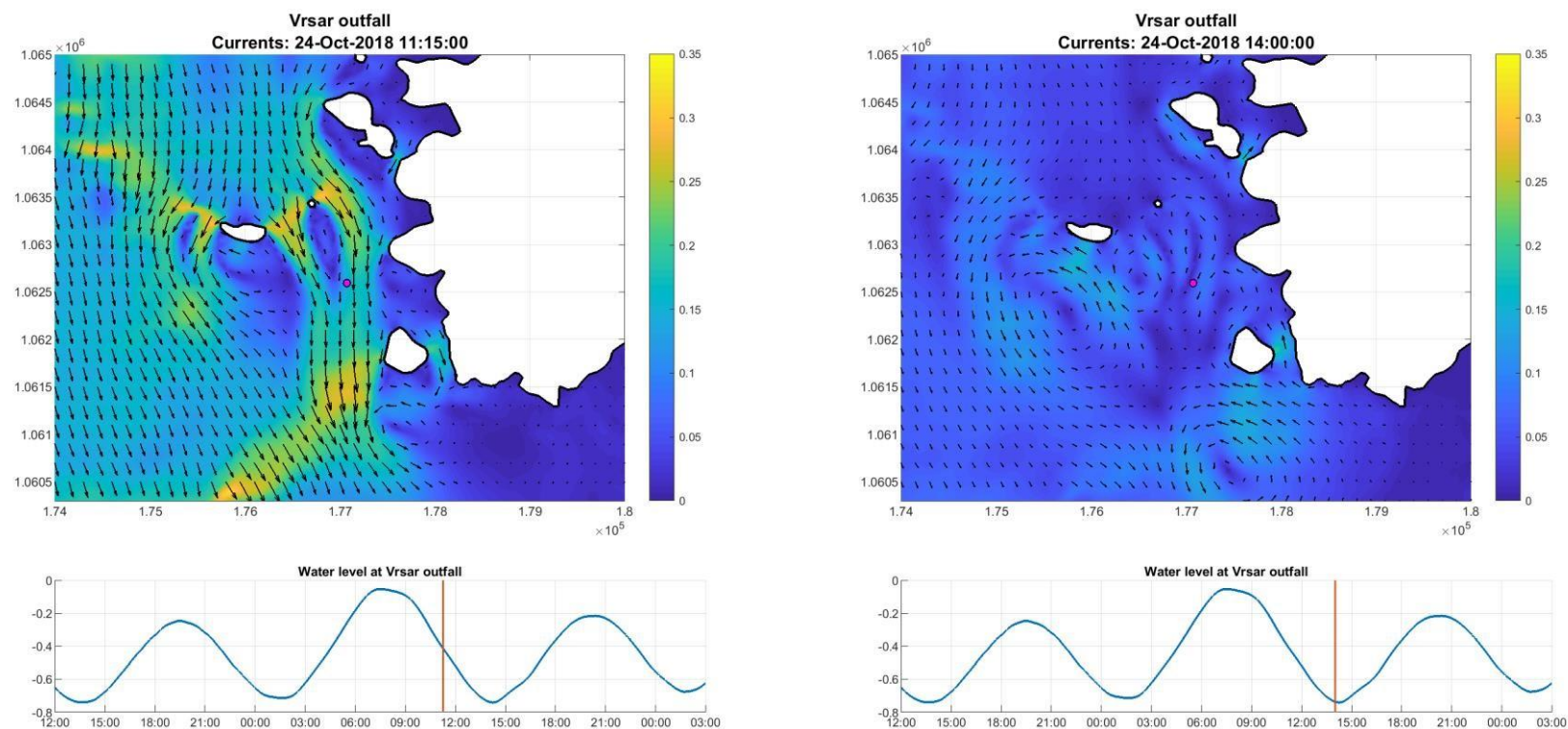
Figure 4-5: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Poreč-jug na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (plima). Desno: tijekom VV.



Slika 4-6: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Poreč-jug na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (oseka). Desno: tijekom NV.



Slika 4-7: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Vrsar na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (plima). Desno: tijekom VV.

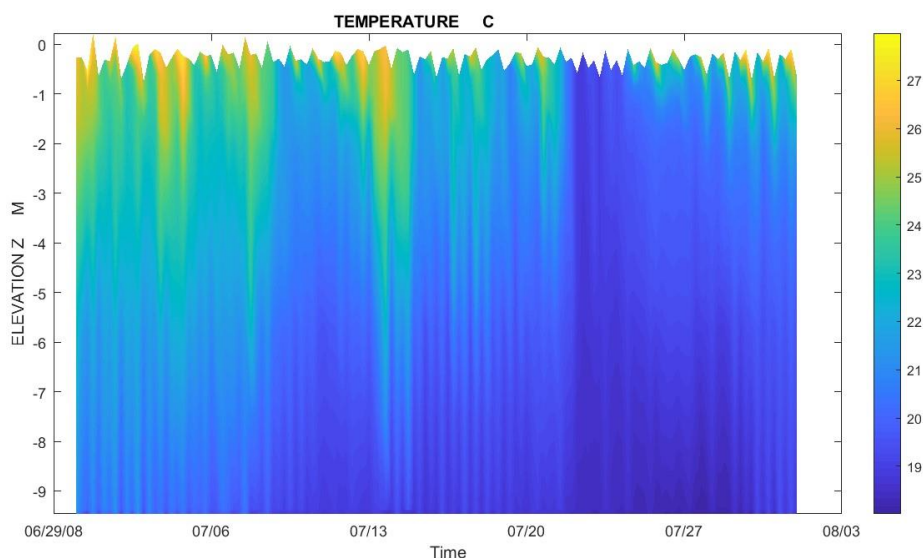


Slika 4-8: Uzorci strujanja i intenziteti oko ispusta Vrsar na temelju rezultata kalibriranog modela. Lijevo: tijekom srednje razine mora (oseka). Desno: tijekom NV.

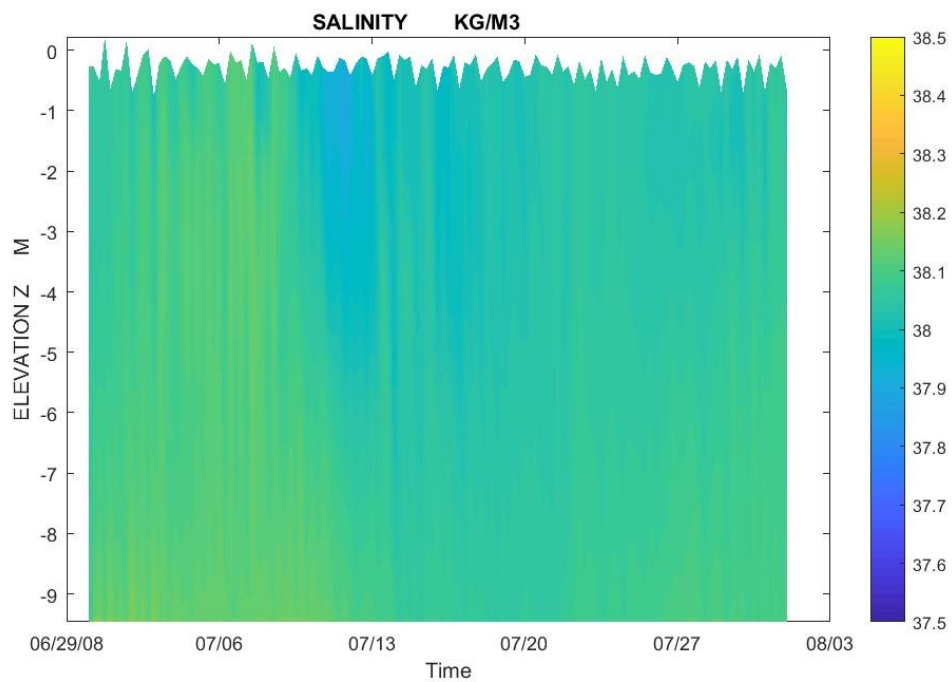
4.3 STRATIFIKACIJA

O hidrodinamičkom ponašanju s obzirom na varijacije u razini vode i brzini tijekom zimskog perioda bilo je riječi u odjeljku 4.2. U ovome se odjeljku razmatra varijacija temperature i saliniteta nedaleko od projektnog područja, temeljem rezultata kalibriranog modela za ljetni period.

Uočljivo je postojanje značajne varijacije u temperaturi vode tijekom vremena i s obzirom na dubinu vode (slika 4-9). Varijacije tijekom vremena prikazuju dnevne varijacije (povezane sa zagrijavanjem tijekom dana i hlađenjem tijekom noći), te varijacije tijekom duljeg vremenskog razdoblja povezane sa sveukupnim promjenama temperature zraka. Također, stupanj stratifikacije (varijacija temperature s obzirom na dubinu) varira tijekom vremena i u ljetnom periodu pokazuje uglavnom stratificirane, ali povremeno i mješovite uvjete. Varijacije saliniteta iznimno su ograničene na projektno područje u skladu s rezultatima kalibriranog modela (Slika 4-10).



Slika 4-9: Varijacije u izračunatoj temperaturi tijekom vremena i ovisno o dubini vode, tijekom srpnja 2008.



Slika 4-10: Varijacije u izračunatom salinitetu tijekom vremena i ovisno o dubini vode, tijekom srpnja 2008.

5. ZAKLJUČCI

U ovome su izvještaju daleka zona Jadranskog modela i središnja priobalna zona kalibrirane za potrebe prikaza hidrodinamičkih uvjeta u projektnom području.

Koristeći se dostupnim podacima, utvrđeno je da model može varirati ovisno o razini vode i strujama tijekom zimskog perioda. Tijekom ljetnog perioda obavljena je provjera pri kojoj se utvrdilo da kod modela može doći do stratifikacije. Temeljem ove kalibracijske vježbe zaključeno je kako se postavke modela mogu koristiti za proučavanje širenja bakterija i s njome povezane kakvoće vode.

Naposljetku, temeljem rezultata kalibriranog modela, razmatrano je hidrodinamičko ponašanje sadašnjeg stanja s naglaskom na aspekte koji mogu biti važni za proučavanje kakvoće vode. Općenito su u području prisutne slabe struje, ali uzorci strujanja mogu značajno varirati oko raznih ispusta. Prisustvo otoka i uvala s rtovima može uzrokovati lokalno sužavanje strujanja i stvarati područja za recirkulaciju koja mogu utjecati na strukturu širenja efluenata.

6. BIBLIOGRAFIJA

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). Program praćenja stanja jadranskog mora – Konačno izvješće, MZOPUG-RH, Zagreb.

IMDC (2017). FSRU water levels and currents. I/NO/14230/17.186/THL/JOK.

IMDC (2019). Sea water quality modeling Istria. Hydrodynamic model setup. I/RA/12142/18.174/VBA/.

SHORE (2018). Bathymetric & Current velocity data collection Poreč, Hrvatska.

Dodatak A
**USPOREDBA - KALIBRIRANI MODEL I
MJERENJA UREĐAJEM ADCP**

