

Zajednica izvršitelja



Naručitelj



Krajnji korisnik



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



IZVJEŠĆE 11

Batimetrija priobalnog mora Poreštine
studeni 2018

Data S.O. NOAA, U.S. Navy, INGA, GEBCO
Image © 2018 TerraMetrics
Image © 2018 DigitalGlobe



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 11

BATIMETRIJA PRIOBALNOG MORA POREŠTINE

Studeni 2018

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 11

BATIMETRIJA PRIOBALNOG MORA POREŠTINE

20. studeni 2018

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

20. studeni 2018


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

Prikupljanje podataka o batimetriji i brzini morskih struja, Poreč, Hrvatska



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

IHE
DELFT

Institute for
Water Education
in partnership with UNESCO

 **Shore**
Monitoring & Research



Adres: Shore Monitoring & Research BV
2e Zeesluisdwarweg 8A
2583 DW, Den Haag
Nederland

Telefoon: +31(0)681280230
E-mail: info@shoremonitoring.nl
Website: www.shoremonitoring.nl
IBAN: NL89RABO0150660405
KvK: Den Haag 63003112
BTW: NL 855049431B01

Izvješće s terena

UNESCO-IHE

Dostavljeno nadležnoj osobi: Damir Brdjanovic

Poslano putem e-pošte na: d.brdjanovic@un-ihe.org

Projekt: Prikupljanje podataka o topografiji, batimetriji i valovima

Predmet: Izvješće s terena

Datum mjerenja: 23. do 27. listopada 2018.

Autor: R.C. de Zeeuw MSc

Interni recenzent: F.J.H. Gulden MSc

Referenca: W201512-01

Inačica: 8. studeni 2018.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Pozadina	1
1.2	Mjesto projekta i područje mjerenja	1
2	Metodologija	3
2.1	Uvod 3	
2.2	Koordinatni sustav	3
2.3	Pojedinosti o metodologiji	3
2.3.1	Stvaranje RTK-GNSS znaka za nivelaciju (<i>benchmark</i>).....	3
2.3.2	Batimetrijsko mjerenje	4
2.3.3	Mjerenja brzine morskih struja	7
3	Rezultati.....	9
3.1	Stvaranje RTK-GNSS znaka za nivelaciju (<i>benchmark</i>).....	9
3.2	Batimetrijsko mjerenje	9
3.2.1	Pregled svih podataka mjerenja.....	10
3.2.2	Lanterna	12
3.2.3	Materada	13
3.2.4	Poreč.....	14
3.2.5	Laguna	15
3.2.6	Vrsar.....	16
3.3	Mjerenja brzine morskih struja	16
	Dodatak A Sustav za batimetrijska mjerenja.....	20
A.1	Uvod 20	
A.2	Pojedinosti o korekciji pokreta i latentnosti.....	22
A.2.1	Korekcija pokreta (talasanje, kut nagiba i ljuljanje).....	22
A.2.2	Korekcija latentnosti	23
A.3	Kontrola kvalitete	24
A.3.1	Kontrola SBES signala	24
A.3.2	Kontrola kvalitete GNSS signala.....	24
A.3.3	Analiza sjecišta (križanja)	24

1 Uvod

1.1 Pozadina

IMDC i UNESCO-IHE ovlastili su Shore Monitoring & Research BV (u daljnjem tekstu SHORE) za obavljanje terenskih mjerenja duž 20 km obalnog područja oko Poreča u Hrvatskoj. Ova mjerenja su potrebna za aktivnosti modeliranja i kalibracije hidrodinamike i kvalitete vode koju obavlja IMDC. Obavljene su dvije vrste mjerenja:

- Batimetrija
- 13-satno mjerenje brzine morske struje

1.2 Mjesto projekta i područje mjerenja

Projekt je smješten na području obale koja se proteže 20 km oko mjesta Poreč, Hrvatska.

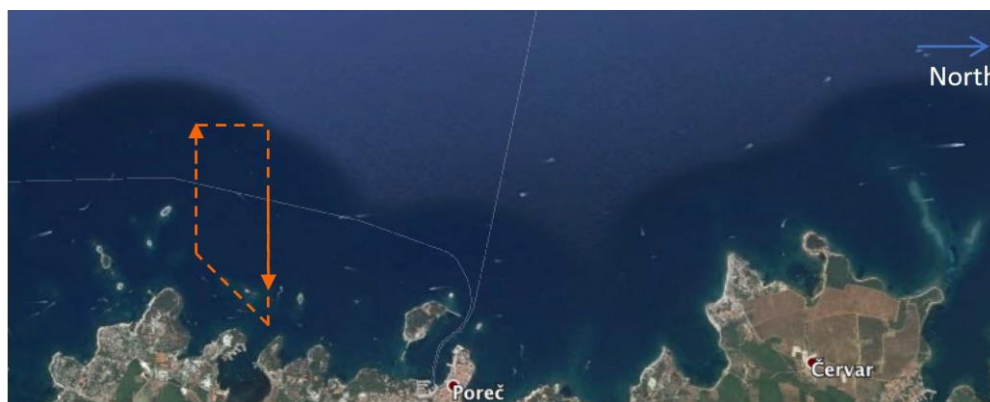
Linije batimetrijskog ispitivanja (Sl. 1.1) definirane su u suradnji s IMDC-om i uglavnom se sastoje od:

- linija duž obale na razmaku od 200 m i duljine oko 2-4 km
- poprečnih linija na većim otocima u tom području
- linije na svakom mjestu ispusta
- četiri (4) plaže s poprečnim linijama s razmakom od 50 m, duljine oko 500 m



Slika 1.1: Područje mjerenja i linije mjerenja

Mjerenje brzine morske struje u trajanju od 13 sati obavljeno je nekoliko kilometara južno od Poreča, prema uputama IMDC-a (Sl. 1.2)



Slika 1.2: Linije presijecanja za 13-satno mjerenje brzine morske struje

U sljedećim odjeljcima ovog izvješća nalazi se sljedeće:

- Opis mjerne opreme i primijenjena metodologija (2. poglavlje)
- Rezultati mjerenja (3. poglavlje)

2 Metodologija

2.1 Uvod

U ovom poglavlju obrađuje se metodologija koja je primijenjena tijekom aktivnosti na terenu i kasnije obrade. Prvo, navest ćemo uvod i objašnjenje korištenog koordinatnog sustava (2.2.). Zatim, pozabavit ćemo se pojedinostima o metodologiji mjerenja i obrade (2.3.).

2.2 Koordinatni sustav

Pojedinosti o koordinatnom sustavu primijenjenom za ovo mjerenje i isporučene rezultate navedene su u Tablici 2.1

Tablica 2.1: Koordinatni sustav

Parametar:	Vrijednost:
Horizontalni podatak:	WGS84
EPSG šifra:	3765
SFEROID:	WGS84
PROJEKCIJA:	UTM 33 N
Jedinica:	metar
Vertikalni podatak:	WGS84 elipsoid

2.3 Pojedinosti o metodologiji

Terensko mjerenje uključivalo je sljedeće aktivnosti:

- Stvaranje RTK-GNSS znaka za nivelaciju (*benchmark*)
- Batimetrijsko mjerenje
- Mjerenja brzine morskih struja

Pojedinosti o ovim aktivnostima zasebno će se obrađivati u odlomcima 3.1. do 3.3.

2.3.1 Stvaranje RTK-GNSS znaka za nivelaciju (*benchmark*)

Jasna dokumentacija horizontalnog i vertikalnog referentnog sustava za terenska mjerenja od velike je važnosti u dobivanju generički korisnih podataka za bilo koju stranku koja bi ih mogla koristiti. Najčešće su dostupni (neki) lokalni podaci, iako bez jasnog i pouzdanog opisa referenci koje se odnose na horizontalne i vertikalne sustave. Stoga je SHORE stvorio novi znak za nivelaciju (*benchmark*).

Znak za nivelaciju (*benchmark*) kreiran je korištenjem Leica GNSS prijemnika na tronošću smještenom iznad oznake (markera). Prijemnik Leica GNSS je bilježio sirove podatke tijekom 12 sati. Sirovi podaci su obrađeni korištenjem AUSPOS GPS-a za obradu podataka. Tijekom narednih dana postavljena je bazna stanica iznad znaka za nivelaciju, šaljući RTK ispravke promatračima (*rover*) na terenu.

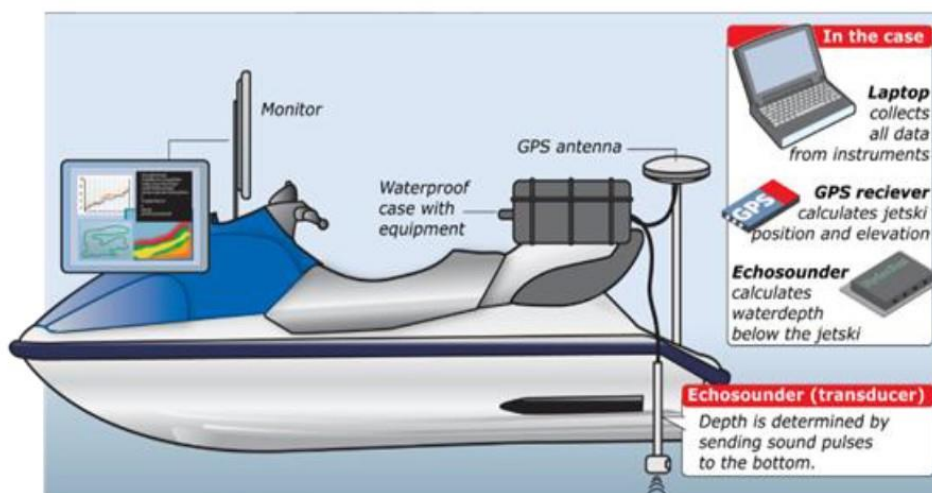
U Tablici 2.2. ispod prikazane su pojedinosti o instrumentu koji se koristio za kreiranje znakova za nivelaciju:

Tablica 2.2: Pregled instrumenta i odgovarajuća točnost koja se koristila za stvaranje znaka za nivelaciju. Točnost se temelji na izjavi proizvođača.

Instrument:	Marka i vrsta:	Točnost:
RTK-GNSS	Leica GX1230GG	$\pm 2 \text{ cm} + 1 \text{ mm/km}$

2.3.2 Batimetrijsko mjerenje

Primijenjeni sustav batimetrijskog mjerenja kombinacija je više instrumenata koji zajedno čine modularni set za mjerenje koji se može koristiti na različitim PWC-ovima. Modularni karakter sustava povećava fleksibilnost budući da se može odabrati vrsta PWC-a na temelju specifičnih lokalnih uvjeta i nije ograničen na fiksne postavke. Tijekom ispitivanja na terenu ovaj sustav za mjerenje korišten je u kombinaciji s PWC-om da se omogući ulazak u plićake blizu obale i da se postigne bolje manevriranje između valova (Sl. 2.1.). Prvo će se objasniti pojedinosti o sustavu mjerenja. Nakon toga će se opisati korištene postavke za ovaj projekt.



Slika 2.1: Postavke instrumenta za batimetrijsko mjerenje. Primjer implementacije PWC-a (Tekst slike: Monitor, Vodootporno kućište s opremom, GPS antena; **U kućištu:** Laptop računalo prikuplja sve podatke s instrumenata; **GPS prijemnik** računa položaj i elevaciju jetski plovila; **Jekomjer (pretvarač)** Dubina se određuje slanjem zvučnih impulsa do dna.)

Pojedinosti o sustavu za mjerenje

Dubina vode ispod PWC-a mjeri se pomoću jekomjera *Hydrobox Single Beam Echo Sounder* (SBES, frekvencija 10 Hz). SBES šalje zvučne impulse prema dnu koji se reflektiraju i zatim ih SBES ponovno prima. Dubina vode ispod jekomjera se određuje na temelju vremena proteklog od slanja do primanja impulsa i brzine zvuka kroz vodu.

Brzina zvuka kroz vodu varira ovisno o razlikama u temperaturi i salinitetu vode. Stoga se CTD mjerenja obavljaju više puta tijekom mjerenja da se prikupe sve potrebne informacije. Lokacije CTD mjerenja se pomno odabiru na temelju očekivanih prostornih gradijenata u brzini zvuka unutar istraživanog područja.

Sustav za mjerenje opremljen je senzorom pokreta za bilježenje pokreta (kut nagiba/ljuljanje – eng. *pitch/roll*) na PWC-u. Zabilježeni pokreti se koriste za ispravljanje/odbacivanje mjerenja dubine za kut nagiba i ljuljanje. Daljnje pojedinosti dane su u Dodatku A 2.1.

Korišten je prijemnik s dvojnoum frekvencijom (L1/L2) RTK GPS i GLONASS (GNSS) s priključkom radio/GPRS/3G u realnom vremenu i s GNSS baznom stanicom. Antena prijemnika smještena je na jednoj vertikalnoj osi s SBES pretvaračem čiji se pomak pažljivo mjeri prije implementacije sustava za mjerenje na „novom“ PWC-u. GNSS prijemnik bilježi položaje X, Y, Z PVC-a na 2 Hz. RTK tehnika se primjenjuje za postizanje točnosti pozicije u centimetrima.

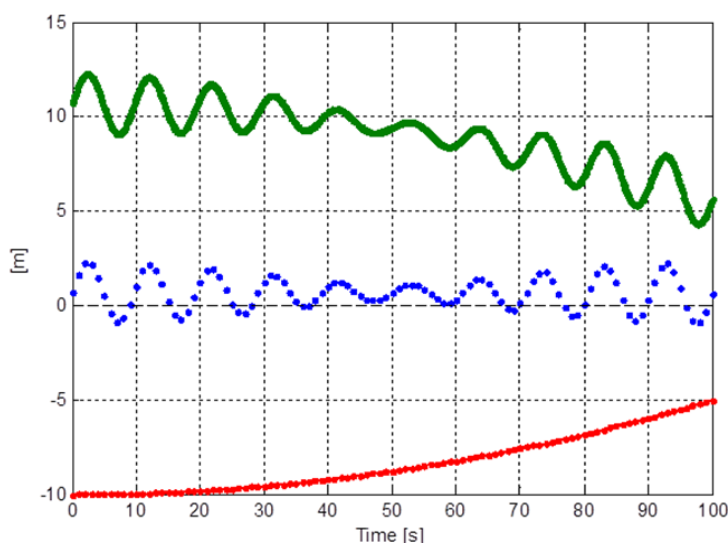
Latentnost između instrumenata računa se iz korelacije između vremenskih serija GPS elevacije PWC-a i izmjerenih dubina ispod PWC-a. Prisutnost valova rezultira vertikalnim pokretom (talasanje) u elevaciji PWC-a, što se reflektira u jednakoj varijaciji na izmjerenu dubinu ispod PWC-a. Vremenski pomak koji je u korelaciji s maksimumom obaju signala predstavlja latentnost, pomoću koje se ispravljaju dubine izmjerene jekomjerom. Daljnje pojedinosti dane su u Dodatku A.2.2.

Konačno mjerenje elevacije koje se odnosi na razinu dna se zatim dobiva iz elevacije GNSS-a (z_{GNSS}) oduzimanjem od vertikalnog pomaka između GNSS antene i SBES-a (z_{offset}) i dubine izmjerene pomoću SBES-a (d):

$$z_{bedlevel} = z_{GNSS} - z_{offset} - d$$

$$(z_{razina\ dna} = z_{GNSS} - z_{pomak} - d) \quad (2.1)$$

Gore navedeno prikazano je na Slici 2.2 ispod.



Slika 2.2: Izračun razine dna. Zelena linija prikazuje 10 Hz mjerenja dubine ispod SBES-a. Plave točke odgovaraju visini 2 Hz RTK-GPS od PWC-a na dnu SBES-a ($z_{GNSS} - z_{offset}$). Rezultat je razina dna (2 Hz) koja se dobiva oduzimanjem oba signala, prikazana crvenom bojom.

Pojedinosti o instrumentima za ovo mjerenje sažeto su dani u sljedećoj Tablici 2.3:

Tablica 2.3: Pregled instrumenata i odgovarajuća točnost korištenih za batimetrijsko mjerenje. Točnost se temelji na izvavi proizvođača.

Instrument:	Marka i vrsta:	Točnost:
SBES	Syqwest Hydrobox 210kHz	$\pm 0,01$ m +/- 1% dubina
RTK-GNSS	Septentrio AsteRx	± 1 cm + 1 mm/km
Senzor brzine zvuka	YSI Castaway CTD	$\pm 0,15$ m/s
Senzor pokreta	SBG Ellipse 2 E	Roll/Pitch 0,1°

Sustav za mjerenje upotpunjen je kompletno s bežičnim monitorom i vodootpornim kućištem u kojem se nalazi hardver i robusno laptop računalo koje prikuplja i vizualno prikazuje podatke mjerenja u realnom vremenu. Na monitoru se operateru prikazuju svi potrebni podaci za sigurno, točno i učinkovito mjerenje: stanje senzora u realnom vremenu, brzina, položaj, dubina, GNSS statistika, putanja mjerenja, prijeđena putanja, pozadinski crteži itd.

Postavke tijekom obavljanja mjerenja

Batimetrijsko mjerenje u Poreču obavljeno je SHORE jetski plovilom koje je dopremljeno u Hrvatsku na prikolici. U danima kada je obavljano mjerenje, jetski je kretao s obližnje rampe za čamce (Sl. 2.3., lijevo) i plovio do područja od interesa za mjerenje (Sl. 2.3. desno).



Slika 2.3: Korišteno plovilo SHORE jetski. Lijevo: kretanje jetski plovila s rampe. Desno: jetski tijekom mjerenja.

(Naknadna) obrada

Naknadna obrada GNSS i SBES podataka obavljena je svakodnevno u svrhu praćenja kvalitete i nastavka mjerenja. Obrada podataka bila je obavljena prema strogom postupku:

1. Automatsko filtriranje i čišćenje podataka o izmjerenoj dubini
2. Ručni pregled filtriranih podataka o izmjerenim dubinama
3. Provjera i ispravan latentnosti
4. Ispravak izmjerenih dubina na temelju izmjerene brzine i zvuka
5. Odbacivanje izmjerenih dubina na temelju podataka sa senzora pokreta
6. Ispravljanje vertikalnog pomaka GNSS i SBES
7. Naknadna obrada GNSS položaja plovila s podacima iz lokalne baze podataka
8. Filtriranje / odbacivanje pozicija koje nisu fiksne RTK pozicije
9. Kombiniranje samo fiksnih RTK pozicija s očišćenim signalom jekomjera
10. Pretvorba WGS84 Lat, Lon u UTM Easting i Northing koordinate (specifične za lokaciju)
11. Pregled elevacije morskog dna na sjecištima putova mjerenja
12. Vizualan prikaz točaka mjerenja u GIS-u ili Google Earthu
13. Zapisivanje ascii datoteke koja sadrži sve točke koje su prošle naknadnu obradu i postupak kontrole kvalitete (X/Easting (m); Y/Northing (m); Z/elevation (m) w.r.t. generička referentna razina (WGS84 ellipsoid, CD, itd.)

Upućujemo na Dodatak A gdje se nalazi više detalja o gore navedenim koracima.

2.3.3 Mjerenja brzine morskih struja

Mjerenja brzine morskih struja obavljena su korištenjem Nortekovog Signature500 ADCP. ADCP pretvarač montiran je na okvir od nehrđajućeg čelika koji je bio spojen na stražnjoj strani plovila i spušten u vodu (Sl. 2.4. oznaka 1). Uređaj za praćenje morskog dna i GNSS (Sl. 2.4. oznaka 2) su korišteni za pozicioniranje mjerenja.

ADCP pretvarač i GNSS antena su bili spojeni na računalo koje je bilo smješteno u kabini čamca (Sl. 2.4, oznaka 3). Računalo je bilo opremljeno Nortekovim softverom za snimanje podataka: SignatureVM. Ovaj softver omogućuje prvi pregled, u realnom vremenu te kontrolu kvalitete snimljenih podataka za brzinu i dubinu vode. Nadalje, u okviru ovog softverskog paketa obavljeno je poravnanje orijentacije GNSS-a i pretvarača da se ostvari točan položaj i praćenje podataka o brzini broda tijekom mjerenja. Kretanje plovila je ispravljano putem senzora pokreta koji je ugrađen unutar sustava.



Slika 2.4: Stražnji dio plovila koristo se za mjerenje brzine morskih struja. Oznaka 1: ADCP spušten ispod razine vode. Oznaka 2: DGPS vertikalno poravnan s ADCP-om. Oznaka 3: mjesto računala u kabini čamca.

ADCP je spušten u vodu na dubinu od 1,0 m da se spriječi stvaranje mjehurića zraka i umjetan protok vode koji se stvara uslijed kretanja broda da se izbjegnu utjecaji na mjerenje brzine morskih struja. Uzevši u obzir čisti razmak od ADCP-a, mjerenje brzine započelo je na 2,0 m ispod površine vode. Vertikalna razlučivost mjerenja (veličina stanice) iznosi 0,5 m.

Mjerenja su provedena tijekom cijelog ciklusa plime i oseke. 13 kompletnih krugova je oplovljeno duž poprečne linije koju je definirao IMDC. Svaki sat je oplovljen jedan krug pri oko 3m/s što je iznosilo potrebnih 35 minuta za oploviti cijeli krug. Prvi krug je započeo 24. listopada u 12:30 popodne po lokalnom vremenu, a zadnji krug je započeo 25. listopada u 00:30 ujutro po lokalnom vremenu.

Izmjereni su profili brzine zvuka korištenjem YSI Castaway CTD-a dva puta u svakom krugu. Jedan profil na uglu uz obalu, a drugi na kraju svakog kruga (na pučini). Profili brzine zvuka su korišteni za ispravljanje izmjerenih podataka o brzini protoka. To je obavljeno ispravljanjem početno primijenjene brzine zvuka prema izračunu putem pretvarača Signature 500 s podacima koji su dobiveni iz Castaway-a.

Nortek softver za snimanje podataka pretpostavlja konstantan salinitet tijekom mjerenja. Temperatura i tlak su mjereni na pretvaraču, što je za rezultat pružilo brzinu zvuka na glavi pretvarača (1480 m/s). Brzina zvuka na CTD-u temelji se na salinitetu, temperaturi i dubini cjelokupnog vodenog stupa. Za ove profile je izračunata prosječna vrijednost u odnosu na vodeni stup te je dobiveno oko 1520 m/s.

Pojedinosti o korištenim instrumentima za mjerenja brzine morskih struja sažeto su dane u sljedećoj Tablici 2.4:

Tablica 2.4: Pregled instrumenata i odgovarajuća točnost koji su se koristili za mjerenja brzine morskih struja. Točnost se temelji na izjavi proizvođača.

Instrument:	Marka i vrsta:	Točnost:
ADCP	Nortek Signature 500	0,3% izmjerene vrijednosti \pm 0,3 cm/s
Brzina zvučnog senzora	YSI Castaway CTD	\pm 0,15 m/s

Obrada

Instrument je mjerio stopom od 1 Hz. Za dobivanje podataka o brzini u svrhe modeliranja, sirovi rezultati mjerenja su pretvoreni u prosječne vrijednosti u vremenskim intervalima od 10s, 20s i 30s. Za ove vremenske intervale je izračunata prosječna dubina i prosječna brzina po stanici (dubina).

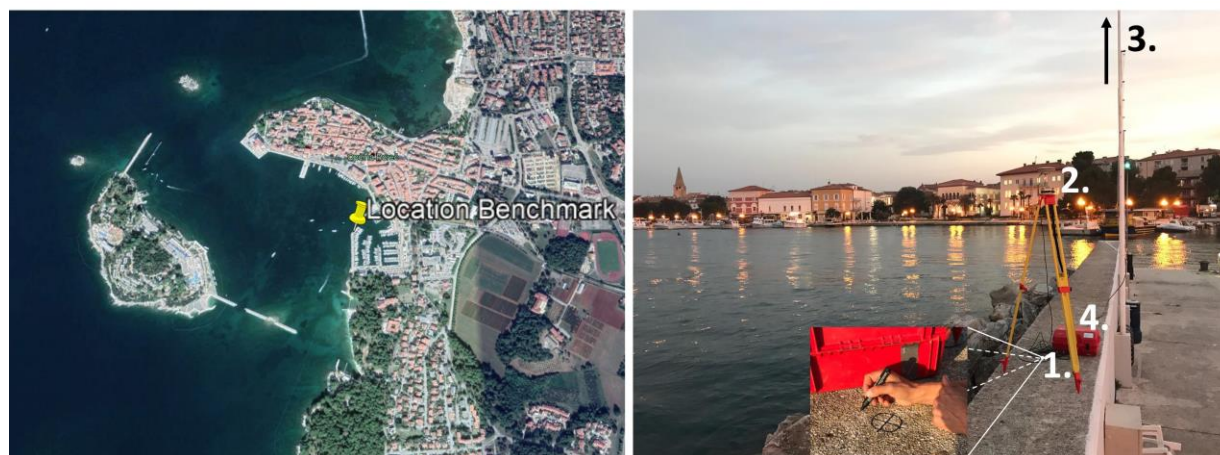
3 Rezultati

Ovo je poglavlje sastavljeno od sljedećih odjeljaka:

1. Rezultati mjerenja znaka za nivelaciju (*benchmark*)
2. Rezultati batimetrijskog mjerenja
3. Rezultati mjerenja brzine morskih struja

3.1 Stvaranje RTK-GNSS znaka za nivelaciju (*benchmark*)

Na lukobranu porečke marine stvoren je znak za nivelaciju (*benchmark*), smješten u sredini mjernog područja (Sl. 3.1. lijevo). SHORE obično izbuši rupu i postavi vijak u odgovarajućoj betonskoj konstrukciji, no u ovom slučaju znak je napravljen vodootpornim markerom da se smanji utjecaj na postojeću strukturu (Sl. 3.1, oznaka 1).



Slika 3.1: Stvaranje novog znaka za nivelaciju. Lijevo: Položaj znaka za nivelaciju. Desno: markerom označen znak za nivelaciju (oznaka 1). Tronožac na kojem je RTK-GNSS smješten iznad znaka (oznaka 2). Produljena radio antena da se poveća područje gdje se mogu primiti RTK-GNSS korekcije (oznaka 3). Leica RTK-GNSS; bilježenje sirovih podataka tijekom kreiranja znaka za nivelaciju, kasnije se koristi kao bazna stanica (oznaka 4).

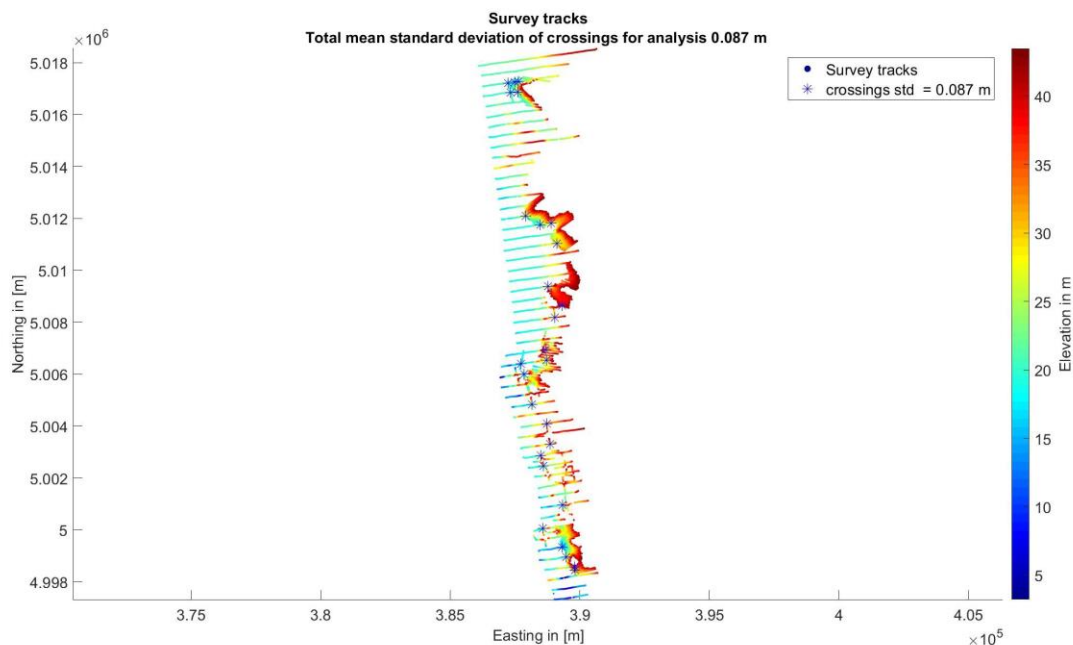
Konačne koordinate kreiranog znaka za nivelaciju prikazane su sljedećoj Tablici 3.1:

Tablica 3.1: Koordinate stvorenog znaka za nivelaciju u porečkoj marini u WGS84 UTM 33 N projekciji

ID oznaka točke:	Istočni kurs (m)	Sjeverni kurs (m)	WGS84 elipsoid (m)
Znak za nivelaciju			
Porečka marina	389619.267	5008868.475	46.596

3.2 Batimetrijsko mjerenje

Rezultati su prikazani na snimcima Google Earth zaslona koji sadrži konačne rezultate mjerenja, koji su prošli SHORE-ove postupke kontrole kvalitete (Dodatak A.3). Nakon postupka obrade, analiza sjecišta više nasumično odabranih sjecišta pokazala je standardnu devijaciju u elevaciji razine dna od 0.087 m procijenjenih sjecišta (Sl. 3.2).



Slika 3.2: Pregled analize sjecišta. Tople (hladne) boje odgovaraju visokim (niskim) razinama elevacije dna. Traka u boji s lijeve strane odgovara WGS84. (Tekst u slici: Mjerene putanje; Ukupna srednja standardna devijacija sjecišta za analizu 0.087 m; - Mjerene putanje; - standardna sjecišta = 0,087 m; Sjeverni kurs u (m); Istočni kurs u (m))

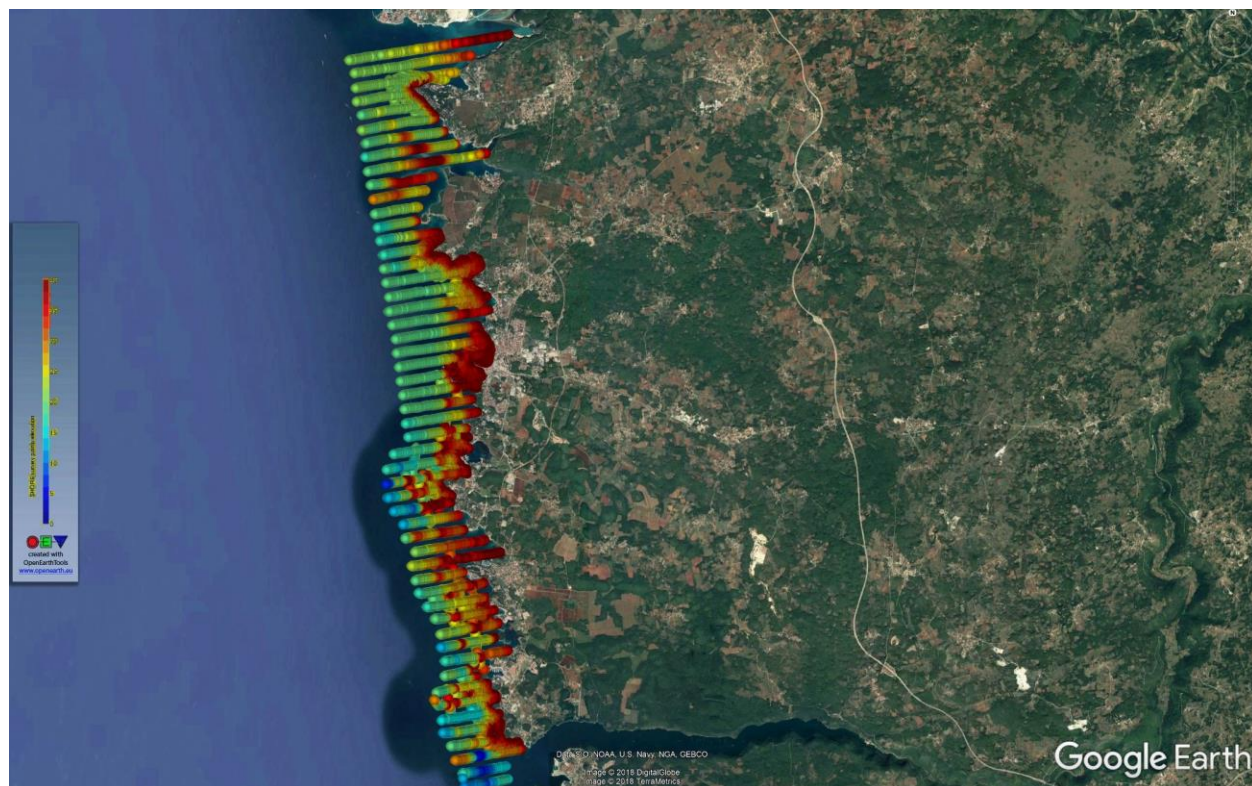
Samo u svrhe prezentacije, mjerne točke su stanjene prikazujući samo svaku 10. točku duž mjerene putanje. U ascii datotekama nalaze se svi mjereni podaci zajedno s plovnim putovima.

Isporuka je:

1. Ascii datoteka koja sadrži sve točke koje su prošle naknadnu obradu i postupak kontrole kvalitete (X/Easting UTM 33N (m); Y/Northing UTM 33N (m); Z/elevation (m) w.r.t. WGS84)
2. Google Earth datoteka koja sadrži svaku 10. točku koja je prošla naknadnu obradu i postupak kontrole kvalitete (X/Easting UTM 33N (m); Y/Northing UTM 33N (m); Z/elevation (m) w.r.t. WGS84)
 - SHORE Croatia SurveyData WGS84 october2018.txt
 - SHORE Croatia SurveyData WGS84 october2018.kmz

3.2.1 Pregled svih podataka mjerenja

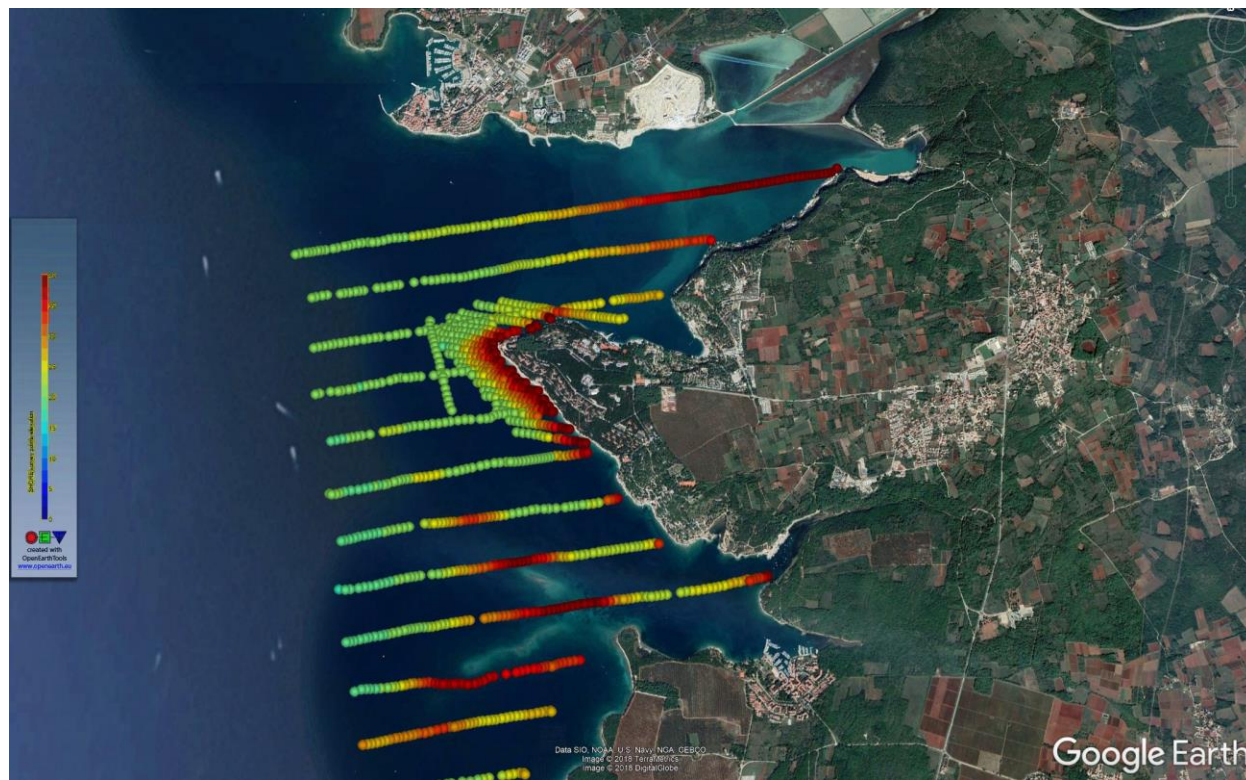
Rezultate batimetrijskog mjerenja prikazuje Slika 3.3. Točke mjerenja su ucrtane u Google Earthu. Tople boje na slici odnose se na višu razinu elevacije morskog dna, plave boje na niže elevacije. Elevacije su izražene u m WGS84 visine elipsoida.



Slika 3.3: Pregled ukupnih batimetrijskih mjerenja. Tople (hladne) boje odgovaraju visokoj (niskoj) elevaciji morskog dna. Traka u boji s lijeve strane odgovara WGS84.

3.2.2 Lanterna

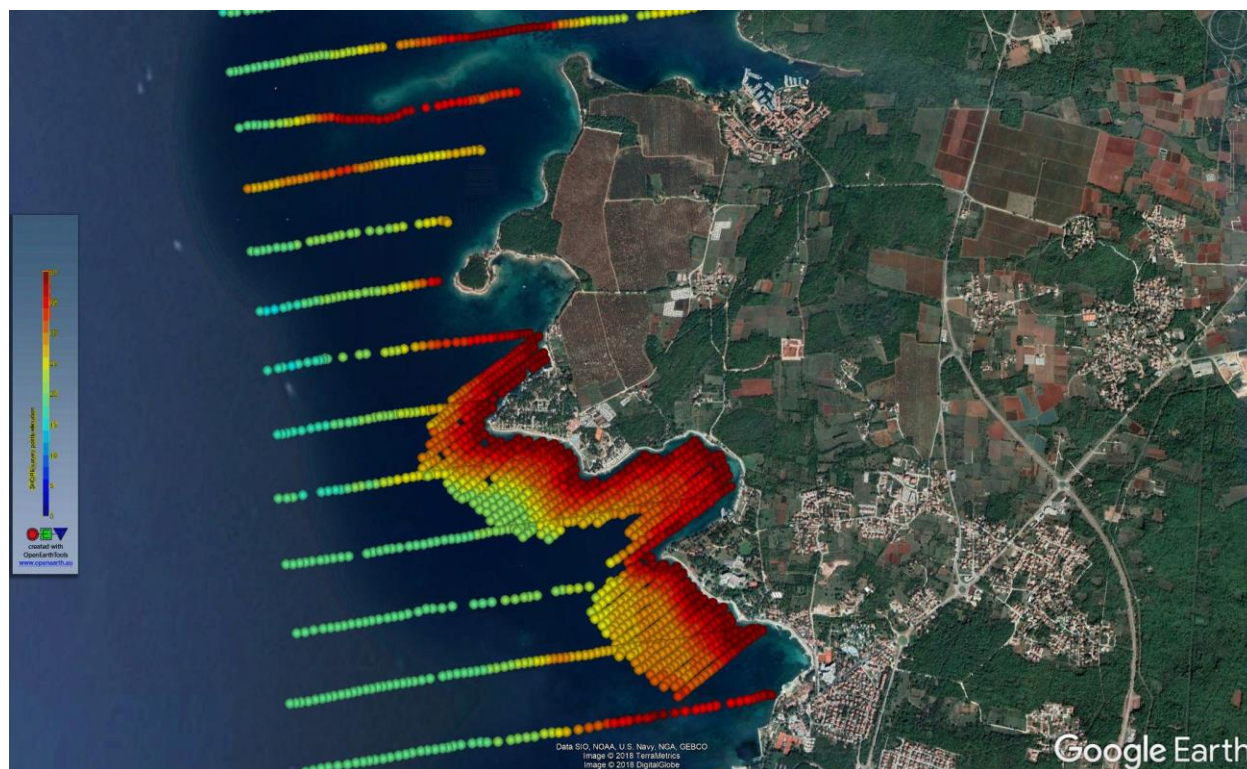
Rezultate mjerenja na Lanterni prikazuje Sl. 3.4.



Slika 3.4: Pregled područja Lanterne. Tople (hladne) boje odgovaraju visokoj (niskoj) elevaciji morskog dna. Traka u boji s lijeve strane odgovara WGS84.

3.2.3 Materada

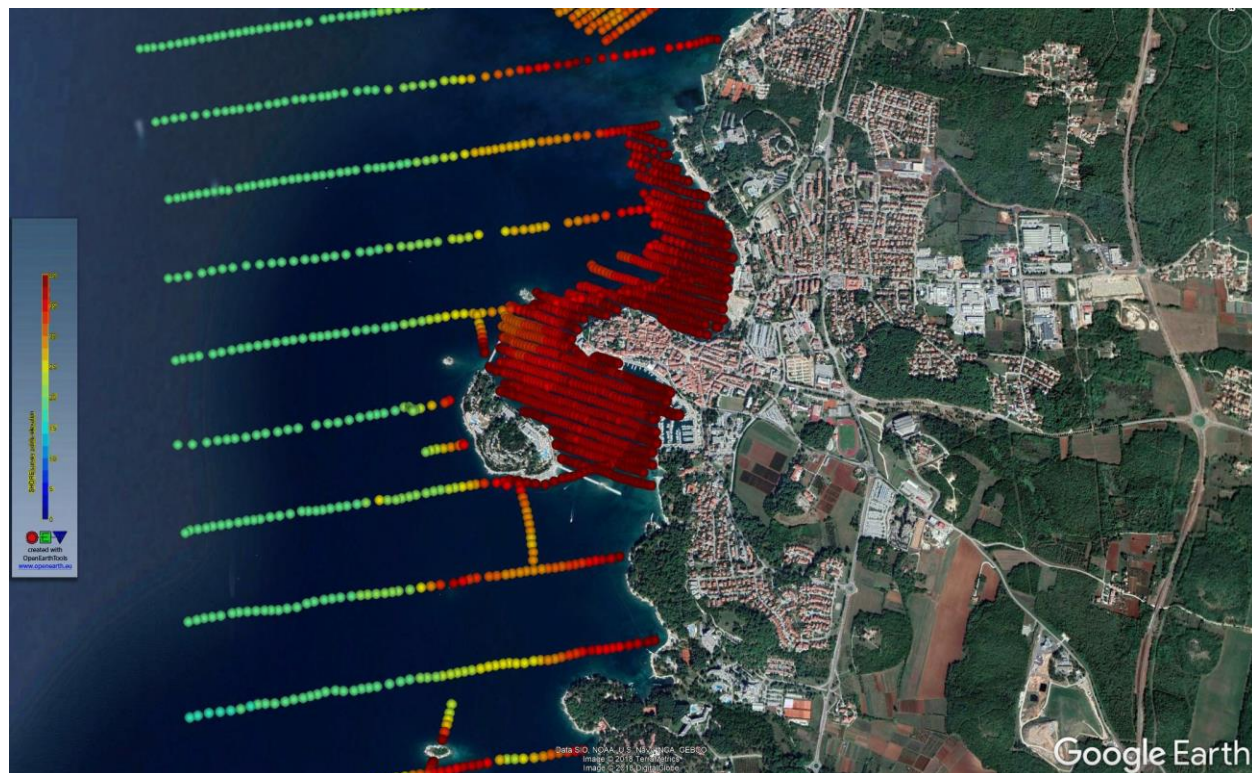
Rezultate mjerenja u Materadi prikazuje Sl. 3.5.



Slika 3.5: Pregled područja Materada. Tople (hladne) boje odgovaraju visokoj (niskoj) elevaciji morskog dna. Traka u boji s lijeve strane odgovara WGS84.

3.2.4 Poreč

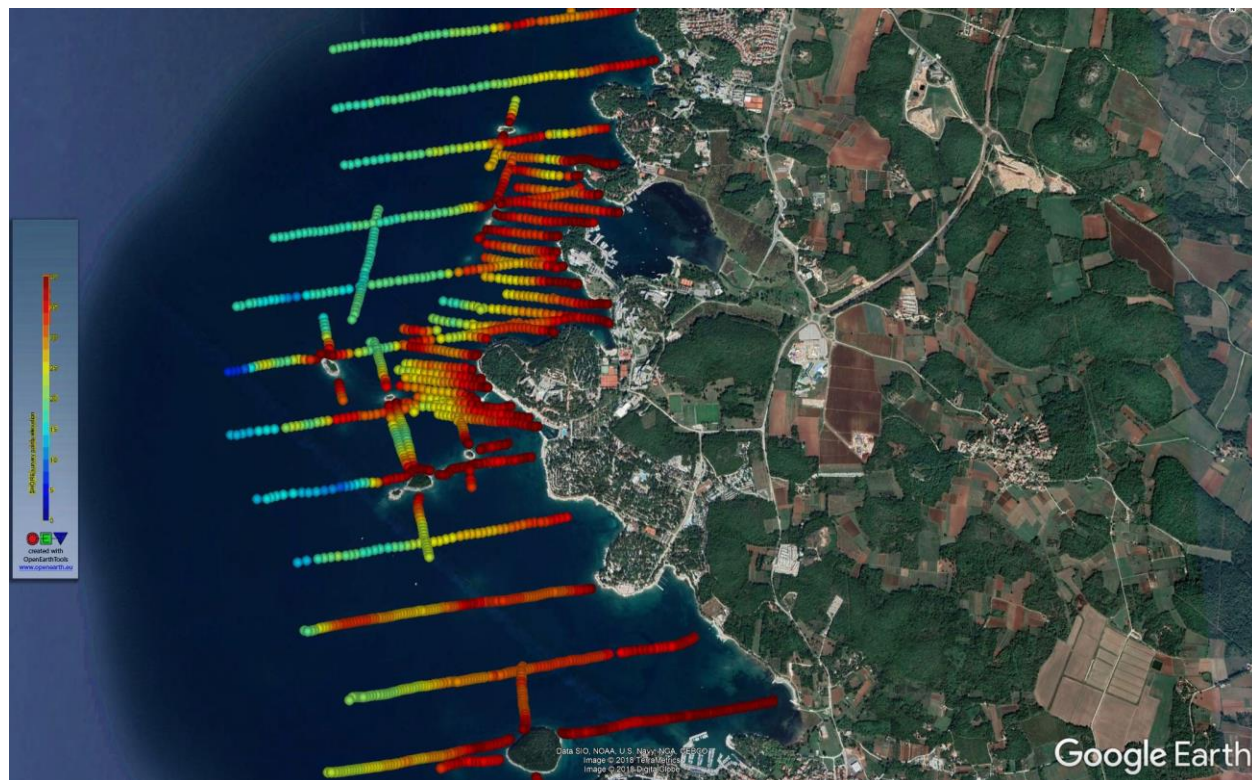
Rezultate mjerenja u Poreču prikazuje Sl. 3.6.



Slika 3.6: Pregled porečkog područja. Tople (hladne) boje odgovaraju visokoj (niskoj) elevaciji morskog dna. Traka u boji s lijeve strane odgovara WGS84.

3.2.5 Laguna

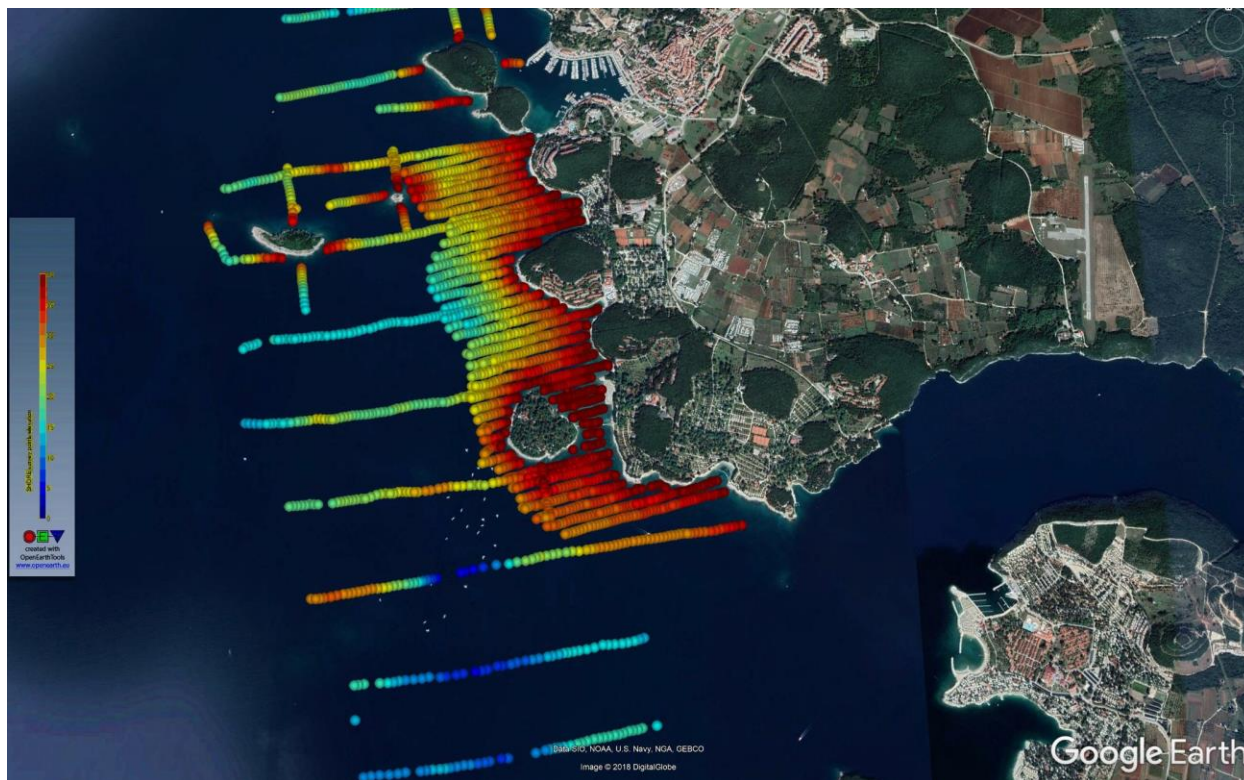
Rezultate mjerenja za Lagunu prikazuje Sl. 3.7.



Slika 3.7: Pregled područja Lagune. Tople (hladne) boje odgovaraju visokoj (niskoj) elevaciji morskog dna. Traka u boji s lijeve strane odgovara WGS84.

3.2.6 Vrsar

Rezultate mjerenja u Vrsaru prikazuje Sl. 3.8.



Slika 3.8: Pregled područja Vrsara. Tople (hladne) boje odgovaraju visokoj (niskoj) elevaciji morskog dna. Traka u boji s lijeve strane odgovara WGS84.

3.3 Mjerenja brzine morskih struja

Obavljena su 13-satna mjerenja brzine morskih struja 24. listopada 2018. Prvo mjerenje započelo je u 10:30 (UTC vrijeme). Zadnje (13.) mjerenje započelo je u 22:30 po UTC vremenu.

Isporučeni podaci su strukturirani u Matlab datoteci pod nazivom *Croatia Velocity Measurement 20181024en25.mat*

koja sadrži četiri (4) stanične varijable pod nazivom:

- ADCP ruw
- ADGP 10s window
- ADCP 20s window
- ADCP 30s window

Svaka stanica sadrži 13 polja s varijablama kako je navedeno u Tablici 3.2:

Tablica 3.2: ADCP isporuka

Naziv varijable:	Jedinica:	Opis:
avg interval	s	prosječno trajanje intervala
time	s	UTC
lon	decimalni stupnjevi	WGS84
lat	decimalni stupnjevi	WGS84
depth	m	ukupna dubina vode
avg vMag	m/s	ukupna prosječna brzina prema dubini
avg vDir	stupnjeva sjeverno	smjer prosječne brzine prema dubini
vMag z	m/s	ukupna prosječna brzina po ćeliji prema vremenu
vDir z	stupnjeva sjeverno	smjer prosječne brzine po ćeliji prema vremenu

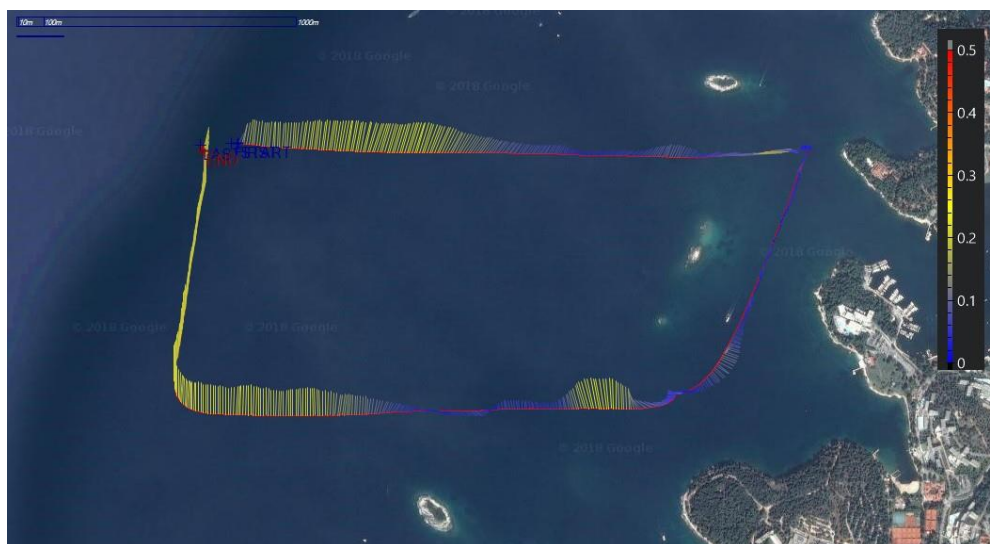
Rezultati mjerenja brzine morskih struja prikazani su za 30 s vrijednosti prosječnih dubina duž putanje za tri različite faze ciklusa plime i oseke (slike 3.9, 3.10 i 3.11). Opća slika prikazuje povećanje brzine morske struje u smjeru mora. Obratiti pozornost na lokacije otoka i kopna u Google Earth pozadini, što snažno utječe na uzorak struje.



Slika 3.9: Sjeverne struje oseke izmjerene oko 12:30 UTC, u m/s



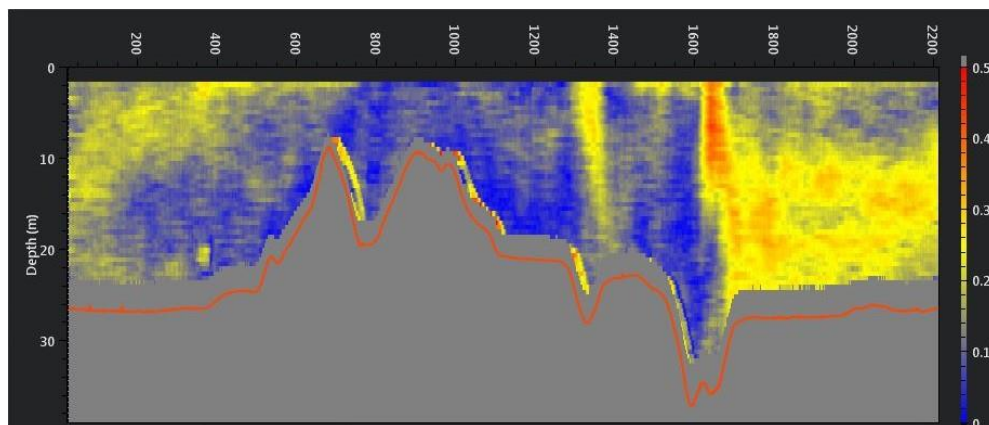
Slika 3.10: Uvjeti niske struje snimljeni između plime i oseke oko 14:00 UTC, u m/s



Slika 3.11: Južne plimne struje izmjerene oko 16:30 UTC, u m/s

Profil brzine prethodno prikazanih plimnih struja (Sl. 3.11) prikazuje Sl. 3.12. x-os prikazuje vrijeme u sekundama, a y-os prikazuje dubinu u metrima. Narančasta linija prikazuje dubinu izmjerenu putem ADCP-a. Podaci o brzini su ponovno zaglađeni primjenom prosjeka od 30 sekundi. Obratiti pozornost da voda u blizini morskog dna ne sadrži podatke o brzini. Zrake koje se reflektiraju o morsko dno ometane su mjerenjima brzine u ovom području, što za rezultat daje previše smetnji da se dobije realistična slika brzine.

Vizualnim prikazom ovih podataka omogućeno je da varijacije u strujama duž vodenog stupa koji prati put broda postanu vidljive. Ova mjerenja duž cijelog vodenog stupa omogućuju analizu stratifikacije struje. Brzine struja ukazuju na korelaciju s izmjenom batimetrijskom dubinom (Sl. 3.12).

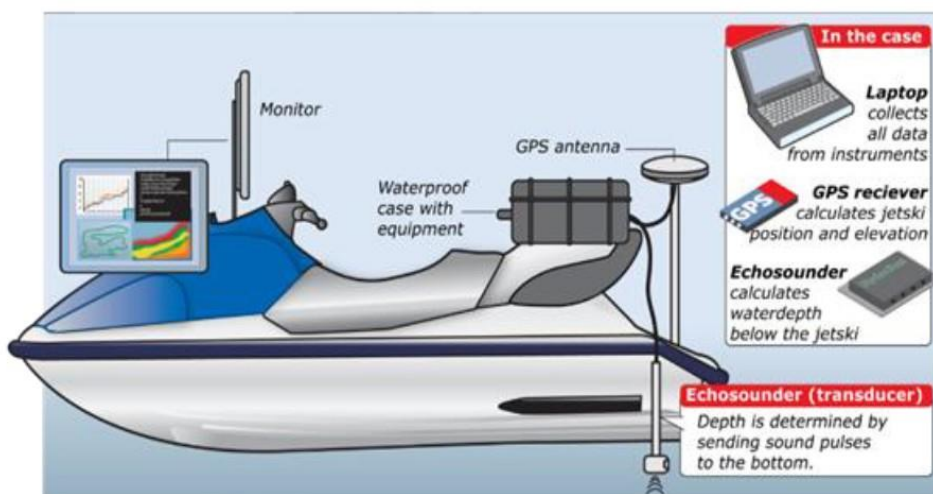


Slika 3.12: Profil brzine, u m/s

Dodatak A Sustav za batimetrijska mjerenja

A.1 Uvod

Sustav za batimetrijska mjerenja kombinacija je više instrumenata koji zajedno čine modularni set za mjerenje koji se može koristiti na različitim plovilima. Modularni karakter sustava povećavanja fleksibilnost budući da se može odabrati vrsta plovila na temelju specifičnih lokalnih uvjeta i nema ograničenja na fiksne postavke. Ovdje smo uveli sustav mjerenja s odgovarajućim instrumentima bazirano na implementaciji PWC-a (Sl. A.1).



Slika A.1: Postavke instrumenta za batimetrijsko mjerenje. Primjer implementacije PWC-a (Tekst slike: Monitor, Vodootporno kućište s opremom, GPS antena; **U kućištu: Laptop računalo** prikuplja sve podatke s instrumenata; **GPS prijemnik** računa položaj i elevaciju jetski plovila; **Jekomjer (pretvarač)** Dubina se određuje slanjem zvučnih impulsa do dna.)

Dubina vode ispod plovila mjeri se pomoću jekomjera *Hydrobox Single Beam Echo Sounder* (SBES, frekvencija 10 Hz). SBES šalje zvučne impulse prema dnu koji se reflektiraju i zatim ih SBES ponovno prima. Dubina vode ispod jekomjera se određuje na temelju vremena proteklog od slanja do primanja impulsa i brzine zvuka kroz vodu

Brzina zvuka kroz vodu varira ovisno o razlikama u temperaturi i salinitetu vode. Stoga se CTD mjerenja obavljaju više puta tijekom mjerenja da se prikupe sve potrebne informacije. Lokacije CTD mjerenja se pomno odabiru na temelju očekivanih prostornih gradijenata u brzini zvuka unutar istraživanog područja.

Sustav za mjerenje opremljen je senzorom pokreta za bilježenje pokreta (kut nagiba/ljuljanje – eng. *pitch/roll*) plovila. Zabilježeni pokreti se koriste za ispravljanje/odbacivanje mjerenja dubine za kut nagiba i ljuljanje.

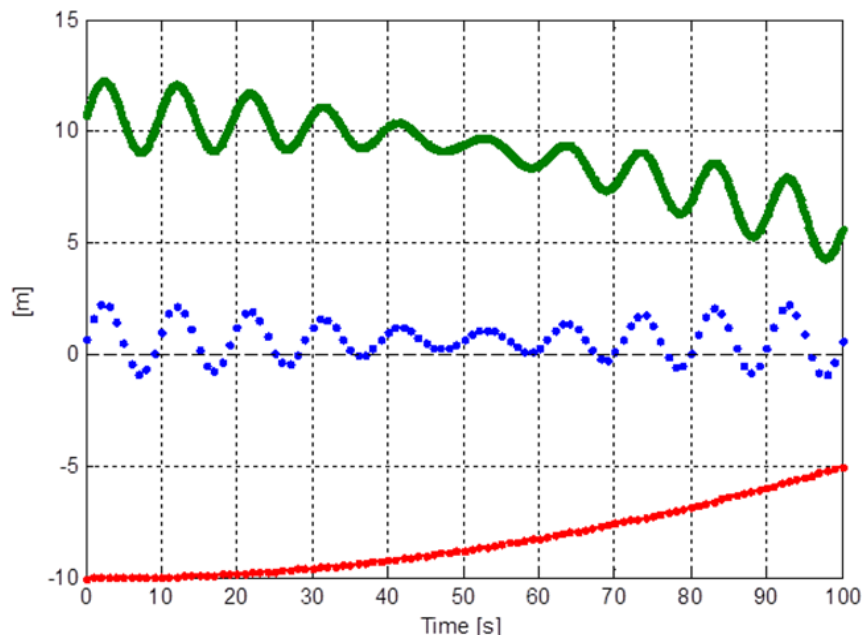
Korišten je prijemnik s dvojnoum frekvencijom (L1/L2) RTK GPS i GLONASS (GNSS) s priključkom radio/GPRS/3G u realnom vremenu i s GNSS baznom stanicom ili se koristi referentna mreža. Antena prijemnika smještena je na jednoj vertikalnoj osi s SBES pretvaračem čiji se pomak pažljivo mjeri prije implementacije sustava za mjerenje na „novom“ plovilu. GNSS prijemnik bilježi položaje X, Y, Z plovila na 2 Hz. RTK tehnika se primjenjuje za postizanje točnosti pozicije u centimetrima.

Latentnost između instrumenata računa se iz korelacije između vremenskih serija GPS elevacije plovila i izmjerenih dubina ispod plovila. Prisutnost valova rezultira vertikalnim pokretom (talasanje) u elevaciji plovila, što se reflektira u jednakoj varijaciji na izmjerenu dubinu ispod plovila. Vremenski pomak koji je u korelaciji s maksimumom obaju signala predstavlja latentnost, pomoću koje se

Konačno mjerenje elevacije koje se odnosi na razinu dna se zatim dobiva iz elevacije GNSS-a (Z_{GNSS}) oduzimanjem od vertikalnog pomaka između GNSS antene i SBES-a (Z_{offset}) i dubine izmjerene pomoću SBES-a (d):

$$\begin{aligned} Z_{bedlevel} &= Z_{GNSS} - Z_{offset} - d \\ (Z_{razina\ dna} &= Z_{GNSS} - Z_{pomak} - d) \end{aligned} \tag{A.1}$$

Gore navedeno prikazano je na Slici A.2 ispod.



Slika A.2: Izračun razine dna. Zelena linija prikazuje 10 Hz mjerenja dubine ispod SBES-a. Plave točke odgovaraju visini 2 Hz RTK-GPS od plovila na dnu SBES-a ($Z_{GNSS} - Z_{offset}$). Rezultat je razina dna (2 Hz) koja se dobiva oduzimanjem oba signala, prikazana crvenom bojom.

Pojedinosti o instrumentima za ovo mjerenje sažeto su dani u sljedećoj Tablici A.1:

Tablica A.1: Pregled instrumenata i odgovarajuća točnost. Točnost se temelji na izjavi proizvođača

Instrument:	Marka i vrsta:	Točnost:
SBES	Syqwest Hydrobox 210kHz	$\pm 0,01$ m +/- 1% dubina
RTK-GNSS	Septentrio AsteRx	± 1 cm + 1 mm/km
Senzor brzine zvuka	YSI Castaway CTD	$\pm 0,15$ m/s
Senzor pokreta	SBG Ellipse 2 E	Roll/Pitch 0,1°

Sustav za mjerenje upotpunjen je kompletno s bežičnim monitorom i vodootpornim kućištem u kojem se nalazi hardver i robusno laptop računalo koje prikuplja i vizualno prikazuje podatke mjerenja u realnom vremenu. Na monitoru se operateru prikazuju svi potrebni podaci za sigurno, točno i učinkovito mjerenje: stanje senzora u realnom vremenu, brzina, položaj, dubina, GNSS statistika, putanje mjerenja, prijedene putanje, pozadinski crteži itd.

A.2 Pojediniosti o korekciji pokreta i latentnosti

A.2.1 Korekcija pokreta (talasanje, kut nagiba i ljuljanje)

Talasanje

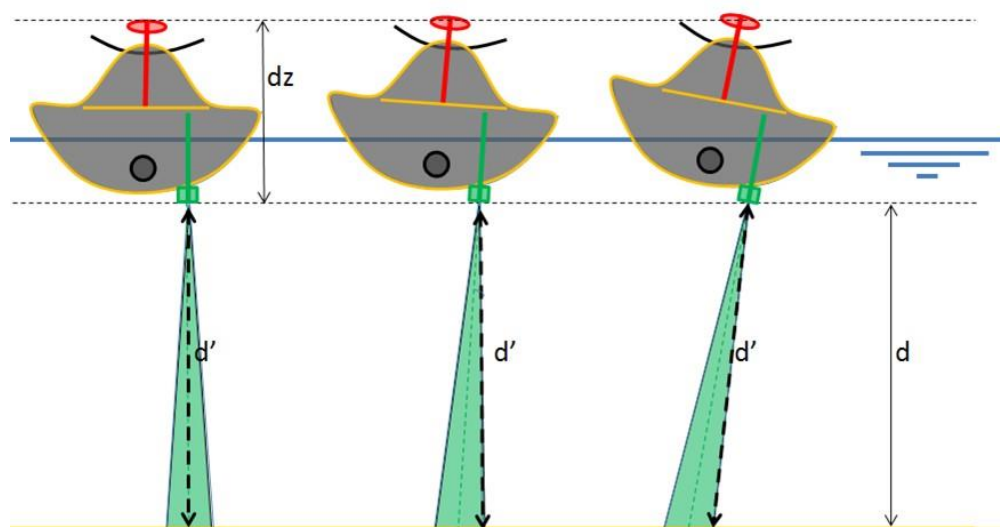
Talasanje vozila se ne kompenzira sustavom za kompenzaciju talasanja zbog visoke točnosti HNSS pozicioniranja. Senzor za talasanje će zabilježiti (i kompenzirati) promjene u vertikalnom pozicioniranju vozila, što se u batimetrijskim mjerenjima obavlja korištenjem podataka o elevaciji iz GNSS-a. Vertikalna točnost GNSS-a je manja od 3 cm zbog velike blizine GNSS bazne stanice koja se koristila za izračun pozicija.

Budući da se GNSS antena i pretvarač nalaze u jednoj fiksnoj vertikalnoj liniji, nije potrebna zasebna kompenzacija za dinamički pomak plovila kao funkciju brzine plovila.

Kut nagiba i ljuljanje

Mogu se razlikovati dva izvora vertikalne pogreške kada se vozilo nagne ili okreće (pitch i roll). Prvo, postoji mala promjena u vertikalnoj udaljenosti od GNSS antene do pretvarača (dz na Sl. A.3). Budući da je udaljenost ovih instrumenata mala, ovaj učinak je ograničen.

Drugi izvor pogreške događa se zbog kuta pretvarača. Pretvarač SBES-a odašilje 210 kHz pulseve u snopu koji ima oblik konusa, čiji središnji segment ima kut snopa od 8 stupnjeva. Unutar ovog konusa, dno se prepoznaje kao točka refleksije tog signala. U uvjetima s malim kutovima rotacije, najmanja udaljenost unutar ovog snopa (d' na Sl. A.3) odgovara stvarnoj dubini i nije potrebna kompenzacija za ljuljanje plovila. Za velike kutove ljuljanja plovila (Sl. A.3 desno), najmanja udaljenost unutar spomenutog konusa, d , odstupa od stvarne dubine d .



Slika A.3: Shematski prikaz PWC-a s GNSS-om i SBES-om za različite kutove ljuljanja. Slijeva nadesno: uspravan položaj, malen kut ljuljanja (unutar kuta snopa SBES-a) i veliki kutovi ljuljanja

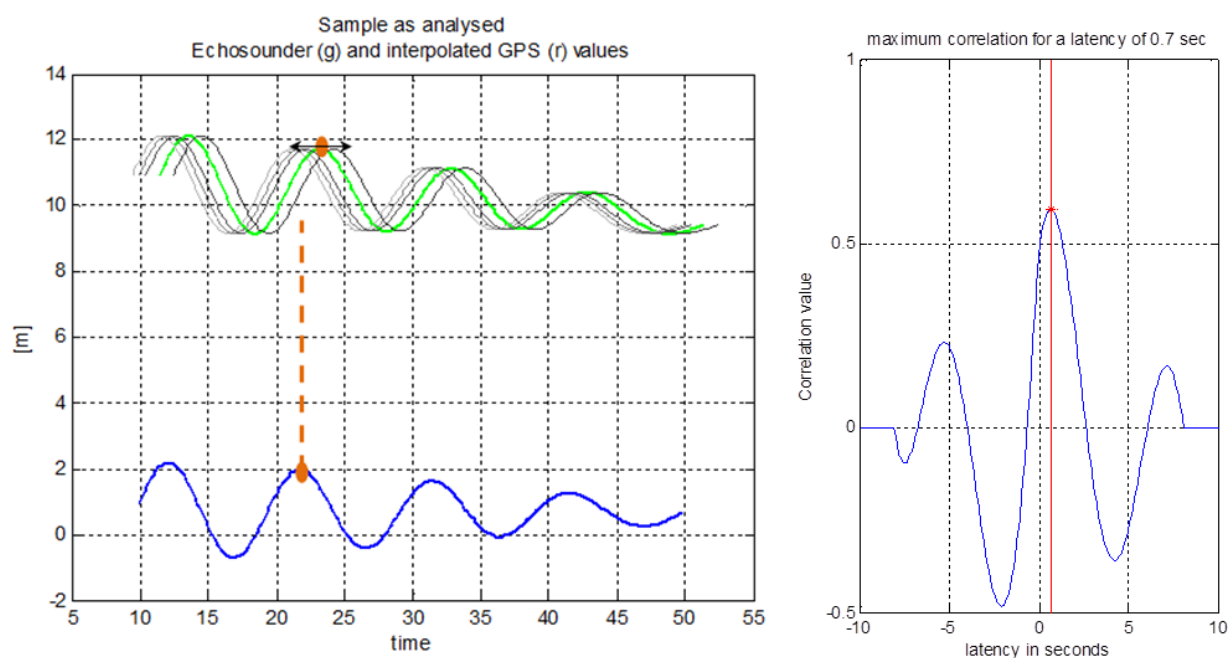
Pokreti okretanja plovila se bilježe putem senzora pokreta. Kada se upiše pokret okretanja, rezultat je situacija prikazana na desnoj strani Sl. A.3, pa se stoga odbaci odgovarajuće mjerenje dubine.

A.2.2 Korekcija latentnosti

Pokret talasanja nalazi se na vremenskoj skali pojedinačnih valova i koristi se za rješavanje relativne latentnosti GNSS uređaja u odnosu na jekomjer. Ovdje se analiziraju mali fragmenti obje vremenske serije. Ako se ti fragmenti detaljno ispituju, može se primijetiti malen pomak između vrhova oba signala zbog latentnosti (Sl. A.4). Vremenski odziv signala jekomjera se malo podese u koracima od 0,1 s nakon čega se računa korelacija između GNSS elevacije i pomaka signala jekomjera kao:

$$R_{x(t)y(t+\tau)} = \frac{xy(t; \tau)}{[x^2(t)y^2(t+\tau)]^{0.5}} \quad (\text{A.2})$$

Gdje R_{xy} predstavlja funkciju korelacije, $x(t)$ je signal elevacije s GNSS-a i $y(t + \tau)$ je signal jekomjera (pomaknutog za vremenski pomak τ). Vremenski pomak koji daje najveću vrijednost funkciji korelacije, tj. najbolje poravnanje oba signala, uzima se kao vrijednost za relativnu latentnost između oba instrumenta (Sl. A.4, desno).



Slika A.4: Lijevo: Izračun latentnosti. Vrijeme signala jekomjera (zeleno) se lagano podešava (svjetlo siva izvedba) da se ostvari najbolje poravnanje s GNSS signalom elevacije (plavo). (Tekst iznad slike: Analizirani uzorak, Jekomjer (g) i interpolirane GPS (r) vrijednosti); Desno: Funkcija korelacije signala GNSS elevacije i signala jekomjera kao funkcija različitih vremenskih kašnjenja. Maksimalna korelacije u ovom primjeru pronađena je za latentnost od 0,7 s. (Tekst iznad slike: maksimalna korelacija za latentnost od 0,7 sekundi; vrijednost korelacije; latentnost u sekundama).

Vrijednost latentnosti se provjerava za nekoliko podskupova cjelokupnog mjerenja, ali općenito ne varira jer se uglavnom određuje hardverskom konfiguracijom. Ipak, testiranje latentnosti se obavlja pri svakom snimanju, kao dio standardne kontrole kvalitete.

A.3 Kontrola kvalitete

A.3.1 Kontrola SBES signala

Izmjereni SBES signal se provjerava na vanjskim i ostalim izvorima buke. Ako postoji, pozadinski šum i buka se uklanjaju iz signala.

A.3.2 Kontrola kvalitete GNSS signala

GNSS signal se provjerava u odnosu na dostupnost RTK rješenja. Iz skupa podataka se uklanjaju točke koje nisu prošle kontrolu putem RTK.

A.3.3 Analiza sjecišta (križanja)

Analiziraju se sjecišta putanja koje idu duž obale i putanje mjerenja sa svrhom da se dokaže točnost / robusnost metode mjerenja. Analiza se temelji na elevaciji razine morskog dna za mjerene točke duž putanja na obali i poprečnih putanja u blizini mjesta sjecišta.

Metodologija sadrži sljedeće korake:

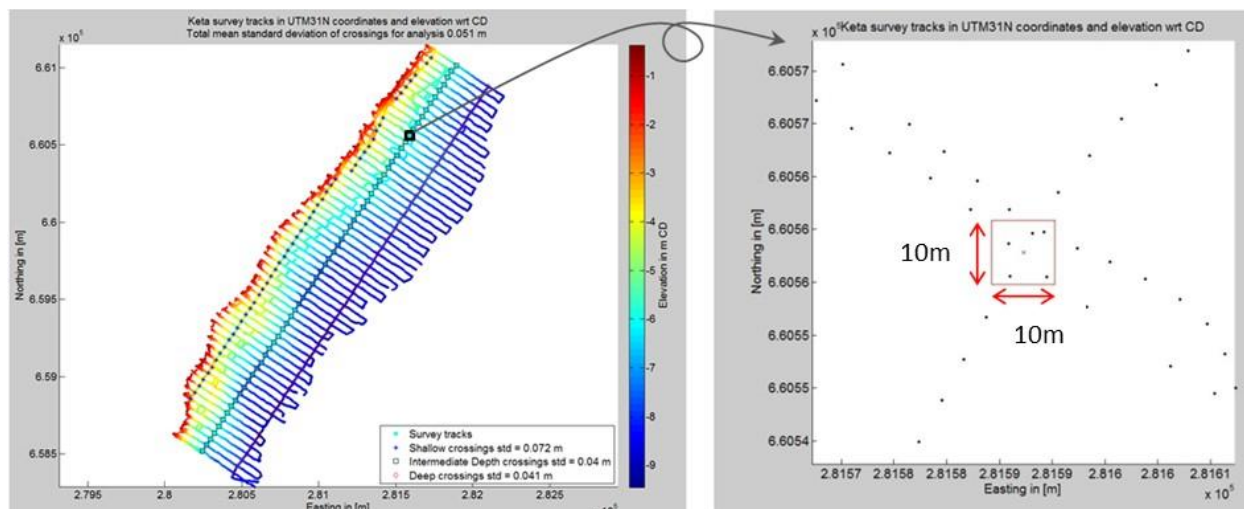
1. Utvrđivanje položaja sjecišta između uzdužnih i poprečnih putanja na moru.
2. Popis svih mjernih točaka na području od 10 x 10 metara sa sredinom oko sjecišta. Ovo područje je odabrano da bude prilično malo (10x10 m) da se smanje velike varijacije u razini morskog dna unutar ispitivanog područja. Ako se uzme veće područje, to će dovesti do većih standardnih devijacija, koje nisu posljedica točnosti sustava mjerenja, nego ovise o stvarnim gradijentima na razini morskog dna, čak i na plažama s blagim nagibom.
3. Izračun statistike za točke svakog sjecišta. Računaju se tri glavne statističke vrijednosti.

A Broj točaka n u području 10x10 metara oko sjecišta.

B Prosječna razina morskog dna μ na sjecištu dobivena iz $\mu = \sum z_i / n$

C Standardna devijacija σ za vrijednosti morskog dna na svakom sjecištu, dobivena korištenjem $\sigma^2 = \sum (z_i - \mu)^2 / (n - 1)$

Metodologija se prikazuje pomoću arbitrarnog sjecišta iz batimetrijskog mjerenja u Gani koje je obavljeno 2015. godine (Sl. A.5). Sjecišta sadrže podatke za dvije putanje koje se sijeku na moru (jedna ide s plaže do srednje dubine vode, a druga od srednje dubine do duboke vode) i putanja koja ide duž obale.



Slika A.5: Lijevo: Putanje mjerenja sa sjecištima duž obale i unakrsne putanje za mjerenje obale. (Tekst slike: Keta putanje mjerenja u UTM31N koordinatama i elevacija wrt CD; Ukupna srednja standardna devijacija sjecišta za analizu 0,051 m; Sjeverni kurs u (m); Istočni kurs u (m); Elevacija u m CD; - Putanje mjerenja; - Sjecišta u plitkom moru std. = 0,072 m; - Sjecišta na srednjoj dubini std = 0,04 m; - Sjecišta u dubokom moru std. = 0,041 m). Desno: Detaljan prikaz sjecišta duž obale i sjecišta mjerenih putanja na obali na srednjoj dubini. Crveni kvadrat označava istraživano područje 10x10 m oko sjecišta, crne točkice su pojedinačna mjerenja razine morskog dna. (Tekst slike: Keta putanje mjerenja u UTM31N koordinatama i elevacija wrt CD; Sjeverni kurs u (m); Istočni kurs u (m))

Podaci točaka mjerenja u blizini sjecišta (područja 10x10 m) su dani u Tablici A.2. Prosječna dubina vode na promatranim lokacijama bila je -5,84 m, a 5 točaka su imale standardnu devijaciju od 3 cm.

Tablica A.2: Primjer analize vrijednosti sjecišta

Točka br.	Elevacija morskog dna u točki u CD
1	-5,8302 m
2	-5,8124 m
3	-5,8901 m
4	-5,8444 m
5	-5,8251 m

Srednja vrijednost $\mu = -5,8405$ m, standardna devijacija $\sigma = 0,0300$ m

Zatim, rezultati za sva sjecišta su pretvorena u prosječne vrijednosti putanje duž obale da se dobiju skupne vrijednosti za zone dubine. Sljedeći rezultati dobiveni su za primjer mjerenja (Tab. A.3).

Tablica A.3: Primjer analize vrijednosti sjecišta po zonama dubine

Sjecište duž obale	Broj sjecišta	Prosječna razina dna na sjecištima	Prosječna standardna devijacija razine dna na mjerenim točkama na sjecištima
Pokraj plaže	51	-4,09 m CD	0,072 m
Na srednjoj dubini vode	61	-6,53 m CD	0,040 m
Pokraj granice duboke vode	59	-8,19 m CD	0,041 m