

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Žagar, Š., 2016. Mareografska opazovanja za potrebe določitve vertikalnega datuma Slovenije. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kuhar, M., somentor Koler, B.): 42 str.

Datum arhiviranja: 21-09-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Žagar, Š., 2016. Mareografska opazovanja za potrebe določitve vertikalnega datuma Slovenije. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kuhar, M., co-supervisor Koler, B.): 42 pp.

Archiving Date: 21-09-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GEODEZIJA  
SMER GEODEZIJA

Kandidatka:

**ŠPELA ŽAGAR**

**MAREOGRAFSKA OPAZOVANJA ZA POTREBE  
DOLOČITVE VERTIKALNEGA DATUMA SLOVENIJE**

Diplomska naloga št.: 1004/G

**SEA-LEVEL MEASUREMENTS FOR THE  
DETERMINATION OF THE VERTICAL DATUM OF  
SLOVENIA**

Graduation thesis No.: 1004/G

**Mentor:**

doc. dr. Miran Kuhar

**Somentor:**

doc. dr. Božo Koler

Ljubljana, 19. 09. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**»Ta stran je namenoma prazna.«**

Spodaj podpisani/-a študent/-ka **Špela Žagar**, vpisna številka **26202952**, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Mareografska opazovanja za potrebe določitve vertikalnega datuma Slovenije**

#### IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

**a)** da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: **Kopru**

Datum: **25.8.2016**

Podpis študenta/-ke:



**»Ta stran je namenoma prazna.«**

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>528.38(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Špela Žagar</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Miran Kuhar</b>
<b>Somentor:</b>	<b>doc. dr. Božo Koler</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Mareografska opazovanja za potrebe določitve vertikalnega datuma Slovenije</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>42 str., 4 pregl., 5 graf., 15 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>plimovanje, mareograf, vertikalni datum, srednja morska gladina, nivelmanska mreža, Koper, Trst</b>

### **Izvleček:**

V diplomski nalogi so prikazana mareografska opazovanja na postajah v Trstu in Kopru, ki so bila uporabljena in se uporabljajo za določitev vertikalnega datuma nivelmanskih mrež Slovenije. Podan je zgodovinski prikaz od začetka opazovanj v Trstu v XIX. stoletju do opazovanj sedanje sodobne mareografske postaje v Kopru. Prav tako so podane osnove plimovanja morij in oceanov in možnosti določitve srednje morske gladine s pomočjo mareografskih opazovanj.

**»Ta stran je namenoma prazna.«**



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDK:** 528.38(043.2)  
**Author:** Špela Žagar  
**Supervisor:** assist. prof. dr. Miran Kuhar  
**Co-supervisor:** assist. prof. dr. Božo Koler  
**Title:** Sea-Level Measurements for the Determination of the Vertical Datum of Slovenia  
**Notes:** 42 p., 4 tab., 5 graph., 15 fig.  
**Keywords:** tide, tide-gauge station, vertical datum, mean sea-level, leveling network, Koper, Trieste

### **Abstract:**

The graduation thesis describes sea-level measurements on tide gauge stations in Trieste and Koper, which are used for the determination of the vertical datum of Slovenian leveling networks. The graduation thesis contains a history analysis from the beginning of measurements in the XIX century in Trieste until the modern tide gauge station in Koper. The basic principles of tides and the possibility of the determination of the mean sea-level from sea-level measurements are also described.

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Miranu Kuharju in doc. dr. Božu Kolerju za vso pomoč in vložen čas pri nastajanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi družini in prijateljem za podporo in zaupanje.

**»Ta stran je namenoma prazna.«**

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD .....	1
2	MORSKA GLADINA.....	2
2.1	Plimovanje .....	2
2.2	Srednja morska gladina.....	5
2.3	Določevanje srednje morske gladine .....	5
2.3.1	Satelitsko višinomerstvo.....	5
3	MAREOGRAF .....	7
3.1	Vrste mareografov.....	7
3.1.1	Mehanski mareograf.....	8
3.1.2	Tlačni mareograf.....	9
3.1.3	Akustični mareograf.....	10
3.1.4	Radarski mareograf.....	11
3.2	Izbira lokacije mareografa .....	11
3.3	Datumi in reperji.....	13
3.3.1	Reper mareografa .....	13
3.3.2	GPS reper.....	13
3.3.3	Kontaktna točka mareografa.....	14
3.3.4	Mareografska ničla .....	14
3.3.5	Ponovni lokalni referenčni datum .....	14
3.3.6	Državna nivelmanska mreža.....	15
3.4	Mednarodna služba za srednjo morsko gladino (PSMSL) .....	15
3.5	Globalni sistem za opazovanje morske gladine (GLOSS).....	16
4	POMEN MAREOGRAFSKIH OPAZOVANJ ZA DRŽAVNI VIŠINSKI SISTEM .....	18
4.1	Vertikalni datum vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema .	19
5	REGISTRACIJA SREDNJE MORSKE GLADINE V JADRANSKEM MORJU.....	21
5.2	Mareografska postaja v Trstu.....	21
5.2.1	Zgodovina mareografskih opazovanj v Trstu .....	23
5.3	Mareografska postaja v Kopru.....	27
5.3.1	Zgodovina mareografskih opazovanj v Kopru .....	27

5.3.2	Nova mareografska postaja v Kopru.....	30
6	VKLJUČITEV MAREOGRAFA KOPER V NOV VIŠINSKI SISTEM .....	32
6.2	Določitev srednje morske gladine na mareografski postaji Koper.....	36
7	ZAKLJUČEK.....	38
VIRI	.....	40

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o neprekinjeni registraciji nivoja morja do leta 1989 in podatki o vključitvi mareografov v NVN.....	20
Preglednica 2: Mesečna srednja morska gladina.....	24
Preglednica 3: Priporočila IOC za natančnost izvajanja geodetskih meritev za potrebe mareografskih opazovanj.....	32
Preglednica 4: Preoštevilo točk nivelmanske zanke koprskih mareografskih postaj.....	33

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Letna srednja morska gladina v Trstu.....	25
Grafikon 2: Letna povprečja morske gladine in trendi naraščanja v Trstu .....	26
Grafikon 3: Višina in število poplav prek pomola Sartorio v Trstu .....	26
Grafikon 4: Letna srednja morska gladina mareografske postaje Koper.....	30
Grafikon 5: Letna srednja morska gladina mareografske postaje Luka Koper.....	30



## KAZALO SLIK

Slika 1: Seštevek vplivov sonca in lune na amplitudo plimovanja .....	3
Slika 2: Razlika vplivov sonca in lune na amplitudo plimovanja .....	3
Slika 3: Rezultante sil, če na vsaki točki površja od sile, ki jo ima luna na vodno površino, odštejemo silo, ki jo ima na središče zemlje .....	4
Slika 4: Princip delovanja satelitskega višinomerstva.....	6
Slika 5: Princip delovanja mehanskega mareografa.....	8
Slika 6: Princip delovanja sistema mehurčkov.....	10
Slika 7: Mareografske postaje v bazi PSMSL.....	16
Slika 8: Mareografske postaje v sistemu GLOSS .....	17
Slika 9: Mareografska postaja v Trstu .....	22
Slika 10: Stara mareografska postaja (levo) in nova mareografska postaja (desno) v Kopru.....	27
Slika 11: GPS antena ter radarski in mehanski mareograf koprške mareografske postaje .....	31
Slika 12: Zamenjava reperja 3002 z reperjem 9004.....	34
Slika 13: Reperji v plošči mareografske postaje .....	34
Slika 14: Kontaktni točki (CP) mareografa .....	35
Slika 15: Nivelmanska zanka mareografske postaje Koper .....	36

»Ta stran je namenoma prazna.«

## 1 UVOD

Državni koordinatni sistem se deli na dve komponenti: na horizontalno in na višinsko komponento. V horizontalnem sistemu potemtakem določamo lego v višinskem pa višine. Obe komponenti imata zaradi zgodovinskih, tehnoloških in formalno-pravnih okvirov, v katerih sta bili vzpostavljeni, določene slabosti.

Višinsko komponento državnega koordinatnega sistema predstavlja nivelmanska mreža visoke natančnosti. Ta pa ne zadošča več sodobnim merilom, ki so zaradi znanstvenega in tehnološkega razvoja veliko višja kot nekoč. S pojavom globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (Global Navigation Satellite Systems – GNSS) se je namreč pojavila potreba po povezavi med geometričnimi višinami, pridobljenimi z GNSS meritvami, in fizikalnimi višinami, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero. Za to je pa potreben dobro določen višinski sistem (Koler, 2007).

Ena izmed glavnih sestavin pri določitvi višinskega sistema je vertikalni (višinski) datum. Vertikalni datum je podan s srednjim nivojem morja v določenem obdobju, ki je definiran kot ničelna nivojska (ekvipotencialna) ploskev. Srednji nivo morja se določa s pomočjo mareografskih opazovanj.

V diplomski nalogi so najprej predstavljene osnove plimovanja morij in oceanov. Opisani so mareografi, njihove vrste ter delovanje. Podrobneje sta opisani mareografska postaja v Trstu, s pomočjo katere je bil določen vertikalni datum starega višinskega sistema, ter mareografska postaja v Kopru, katere meritve predstavljajo osnovo za izračun vertikalnega datuma novega višinskega sistema. Poleg tega je prikazan zgodovinski pregled mareografskih opazovanj obeh postaj ter možnost določitve srednje morske gladine s pomočjo mareografskih opazovanj.

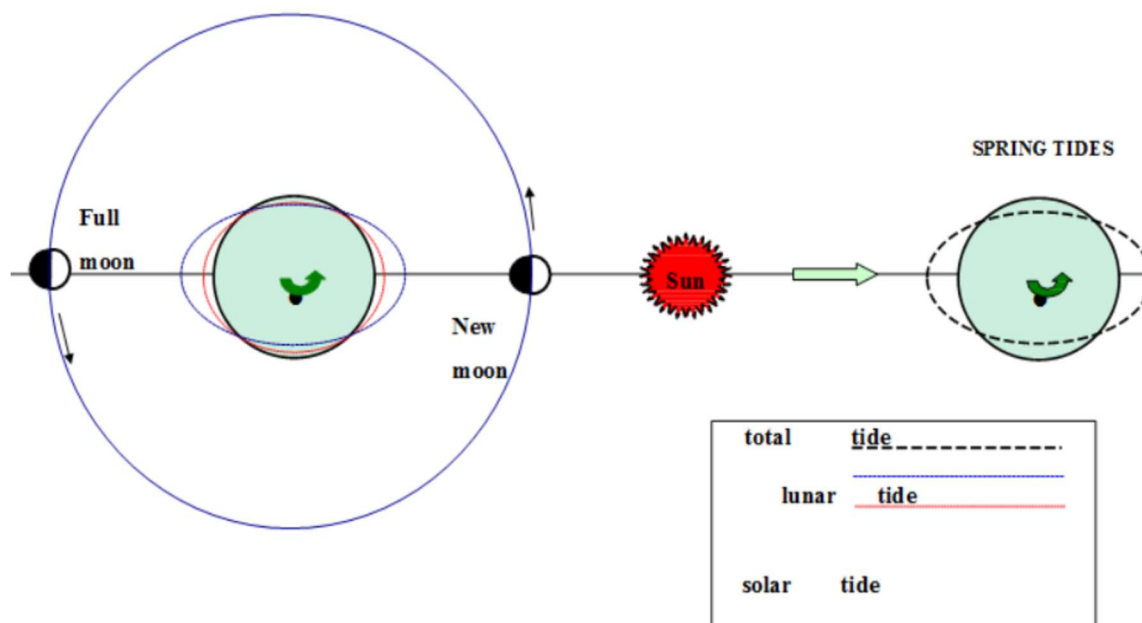
## 2 MORSKA GLADINA

Morska gladina se neprestano spreminja zaradi vplivov, ki jih lahko klasificiramo glede na njihovo periodo. V zelo dolgih časovnih obdobjih ( $10^8$  let) geološki procesi spreminjajo obliko dna. V nekoliko krajših časovnih obdobjih ( $10^3$  -  $10^5$  let) ima velik vpliv na nivo morske gladine izmenjava vode med oceani in ledeniki. Meteorološki dejavniki vplivajo na morsko gladino v periodah od nekaj dni do enega leta. V dnevnih intervalih spreminja nivo morske gladine plimovanje ali bibavica, v še krajših časovnih obdobjih pa nanjo vplivajo valovi (Kuhar, 2007).

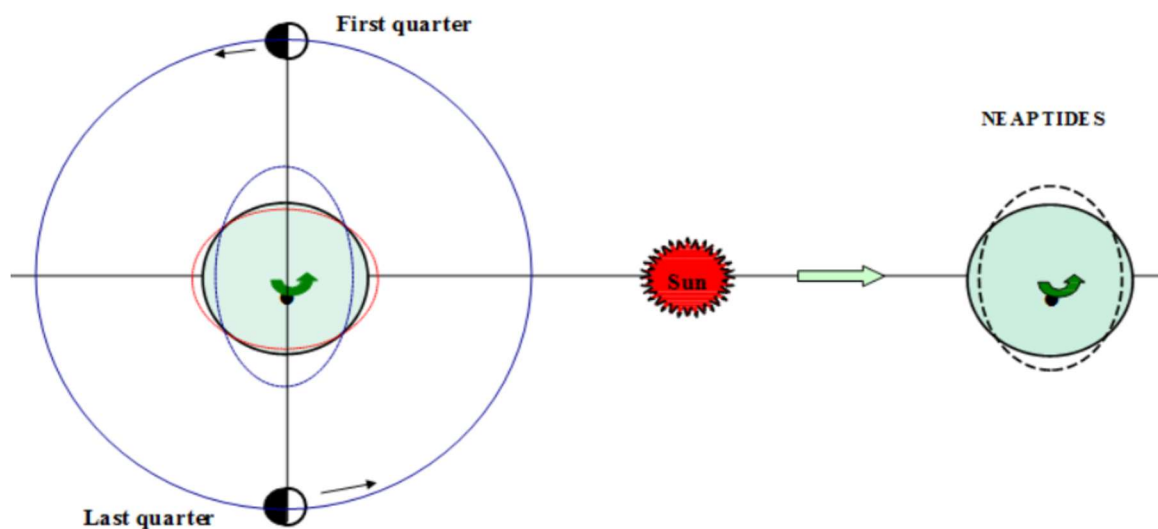
### 2.1 Plimovanje

Plimovanje je izmenično naraščanje in upadanje morske gladine (SSKJ). To je predvsem posledica vpliva gravitacijske sile lune in v manjši meri gravitacijske sile sonca.

Najvišji nivo morja imenujemo plima, najnižjega pa oseka. Plima nastopi hkrati na nasprotnih straneh zemlje: na tisti, ki je najbližje luni, in na tisti, ki je najdlje od nje. Hkrati oseki nastopita za  $90^\circ$  zamaknjeni od plime. Okoli mlaja in ščipa, ko so sonce, luna in zemlja v isti liniji, se vpliv sonca in lune seštejeta in je zato amplituda večja (slika 1), in obratno, ko sta sonce in luna pod kotom  $90^\circ$ , je amplituda najmanjša (slika 2).



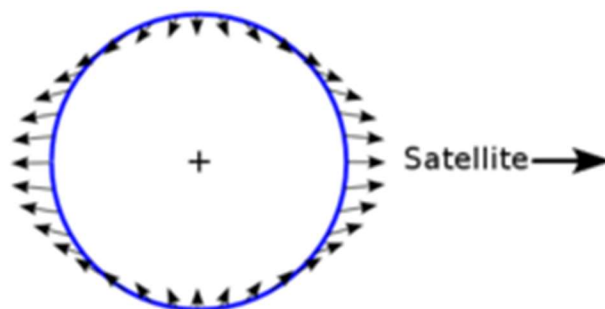
Slika 1: Seštevek vplivov sonca in lune na amplitudo plimovanja (Woodworth, 2014)



Slika 2: Razlika vplivov sonca in lune na amplitudo plimovanja (Woodworth, 2014)

Poleg tega na višino plime in oseke vpliva tudi oddaljenost lune od zemlje; vpliv je največji, ko je luna najbližje (v perigeju), in najmanjši, ko je najdlje (v apogeju).

Tu velja omeniti še fizikalno razlago, zakaj sploh privlačna sila lune (in sonca) na tak način vpliva na vodo. Zemljina skorja je trdna in se premika kot eno telo, kar lahko predstavimo z neko silo iz središča zemlje. Voda na površju se pa lahko prosto giblje. Ker je v točki na površju zemlje, ki je najbližje luni, vodna površina bližje kot pa središče zemlje, na vodno površino deluje večja sila in se tako ta bolj približa luni. Obratno je na točki, ki je najdlje od lune, sila na središče zemlje večja kot pa na vodno površino zato luna zemeljsko gmoto bolj privlači in tako je razdalja med središčem in vodno površino večja. To lahko zelo jasno vidimo, če na vsaki točki površja od sile, ki jo ima luna na vodno površino, odštejemo silo, ki jo ima luna na središče zemlje, kar je razvidno iz slike 3 (<https://sl.wikipedia.org/wiki/Bibavica>).



Slika 3: Rezultante sil, če na vsaki točki površja od sile, ki jo ima luna na vodno površino, odštejemo silo, ki jo ima na središče zemlje (<https://sl.wikipedia.org/wiki/Bibavica>)

Na vsaki točki morja nastaneta dnevno dve plimi (visoka in nizka) in dve oseki (visoka in nizka), in sicer v povprečnem intervalu 12 ur in 26,5 minut. Do takega časovnega intervala pride, ker se poleg tega, da se luna vrtili okoli zemlje, tudi zemlja vrtili okoli svoje osi, in sicer v isti smeri. Luna potuje okoli zemlje 27,33 dni, zemlja pa se okoli svoje osi zavrti v 24 urah, tako lahko izračunamo, da bo luna spet nad isto točko nad zemljo po  $(24 + 24/27,33)$  h (Lasič, 2000).

## **2.2 Srednja morska gladina**

Srednja morska gladina (Mean Sea Level – MSL) predstavlja izhodišče za višine točk na kopnem. V prvem približku jo lahko enačimo z ekvipotencialno ploskvijo – geoidom. Vendar so razlike očitne že v tem, da višinska razlika ne bo 0, če niveliramo med dvema mareografoma. Različna je zato, ker se geoid spreminja s časom in ker srednja morska gladina ni dovolj natančna (Kuhar, 2007).

Podatke o srednji morski gladini zbira in objavlja Mednarodna služba srednje morske gladine (ang. PSMSL – Permanent Service for Mean Sea Level). Poleg tega ta hrani tudi podatke o lokacijah merilnih postaj in definicije datumov, na katere se meritve nanašajo.

## **2.3 Določevanje srednje morske gladine**

Srednjo morsko gladino določamo kot povprečje dolgoletnih opazovanj na merilnih mestih. Opazovanja naj bi za ustrezno natančno določitev srednje morske gladine na merilnih mestih trajala vsaj 18,6 let, ker je čas v katerem ravnina luninega tira opravi popoln obrat in tako luna opiše vse možne položaje glede na zemljo.

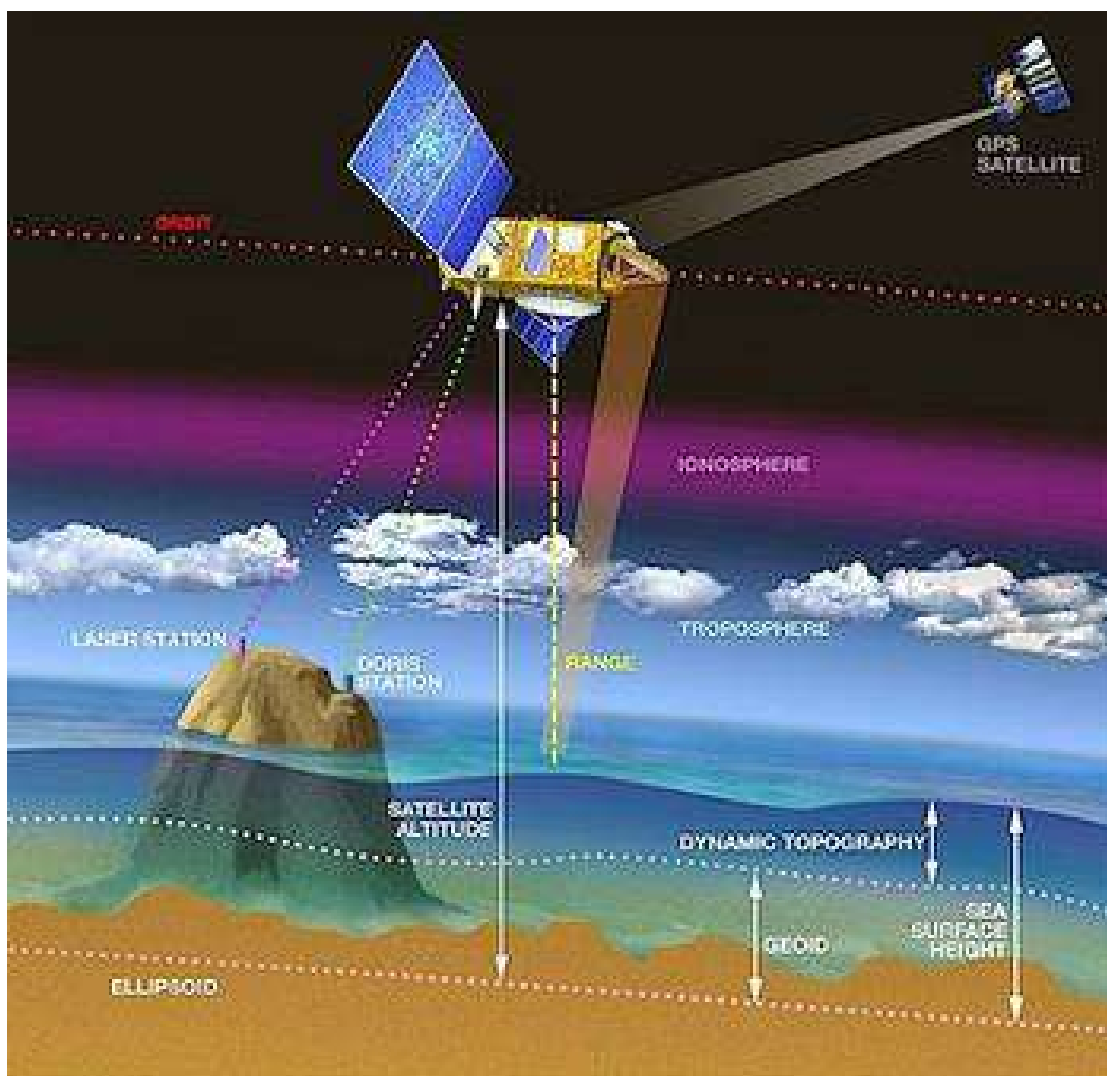
Srednjo morsko gladino registriramo lahko na 2 načina, in sicer:

- s satelitskim višinomerstvom,
- z mareografi.

### **2.3.1 Satelitsko višinomerstvo**

Deluje na principu merjenja časa potovanja signala od oddaje iz antene satelita, preko odboja od morske gladine, do sprejema signala na sprejemniku satelita. Zato je potrebno zelo natančno poznavanje tirnic satelita in njegove pozicije na njih.

Ker signal potuje skozi atmosfero, je potrebno upoštevati tudi njene vplive. Signal lahko namreč upočasnita ionizacija in vodne kapljice v zraku. Po korekciji je razdalja satelit – morska gladina določena na 2 centimetra natančno. Višina morske gladine se nato določi kot razlika med višino satelita nad elipsoidom in izmerjeno razdaljo (<http://www.altimetry.info/radar-altimetry-tutorial/how-altimetry-works/basic-principle>).



Slika 4: Princip delovanja satelitskega višinomerstva (<http://www.altimetry.info/radar-altimetry-tutorial/how-altimetry-works/basic-principle>)



### 3 MAREOGRAF

Mareografi so inštrumenti za registracijo srednje morske gladine. Ti so postavljeni vzdolž obal in z direktno ali indirektno metodo merijo trenutno morsko gladino.

Mareografi imajo dolgo zgodovino. Prvi meritve morske gladine so bile preproste oznake vrezane v skalo ali v lesene deske na vhodih v pristanišča. Take meritve so zavzemale le najvišje in najnižje vodostaje. Kljub temu pa so tej podatki zelo pomembni za študije klimatskih sprememb. Komaj leta 1830 se je z iznajdbo mehanskega mareografa pridobila možnost registracije celotne krivulje plimovanja.

Dandanes poznamo veliko različnih vrst mareografov. Razlog za razvoj toliko različnih tehnologij leži v težavnosti merjenja tekočine, ki se stalno premika. Tako je iz meritev potrebno izločiti spremembe zaradi valov in upoštevati lastnosti vode (slanost, temperatura, gostota). Kako ti dejavniki vplivajo na meritve, je v veliki meri odvisno od uporabljene tehnologije (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

#### 3.1 Vrste mareografov

Glavne vrste mareografov, ki so v uporabi dandanes so naslednje:

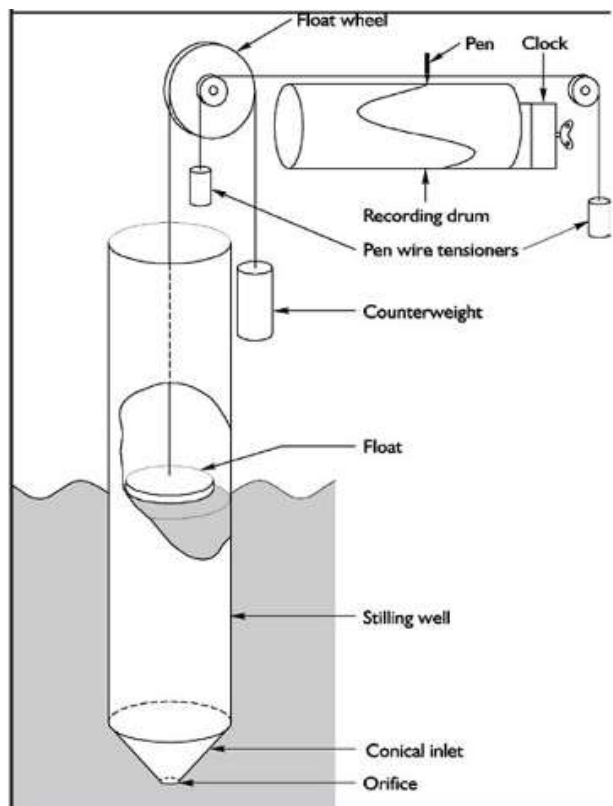
- mehanski mareograf
- tlačni mareograf
- akustični mareograf
- radarski mareograf.

Med temi je najpogostejši mehanski.

### 3.1.1 Mehanski mareograf

To je najosnovnejši in najstarejši tip mareografa. Pojavil se je leta 1830 in njegova struktura se do danes ni bistveno spremenila. Njegovi glavni sestavni del je plovec na žici, ki je prek sistema zobnikov povezan s protiutežjo. Na ta način je položaj protiuteži definiran na podlagi položaja plovca – ko se plovec ob plimi dvigne, se utež spusti in obratno. Pri tem se tudi zobnik zavrti za kot enak spremembi morske gladine. Te spremembe se prenesejo na papir ali v digitalni obliki v delovni spomin.

Najpogosteje meri spremembe morske gladine v vodnjaku, ki je z morjem povezan preko odprtine ali cevi na dnu. Na ta način na plovec ne vpliva veter in sistem zazna le dolgoperiodična nihanja, ne pa tudi kratkoperiodičnih površinskih valov.



Slika 5: Princip delovanja mehanskega mareografa (IOC – Manual on Sea Level Measurement and Interpretation (IV – an update to 2006))

### 3.1.2 Tlačni mareograf

Tlačni mareograf beleži vrednosti tlaka v morju. To lahko počne direktno z merjenjem tlaka na neki določeni globini ali pa meri ravnotežni tlak s tako imenovanim sistemom mehurčkov.

Iz izmerjenega tlaka dobimo nivo morja po enačbi (Pugh, 1996):

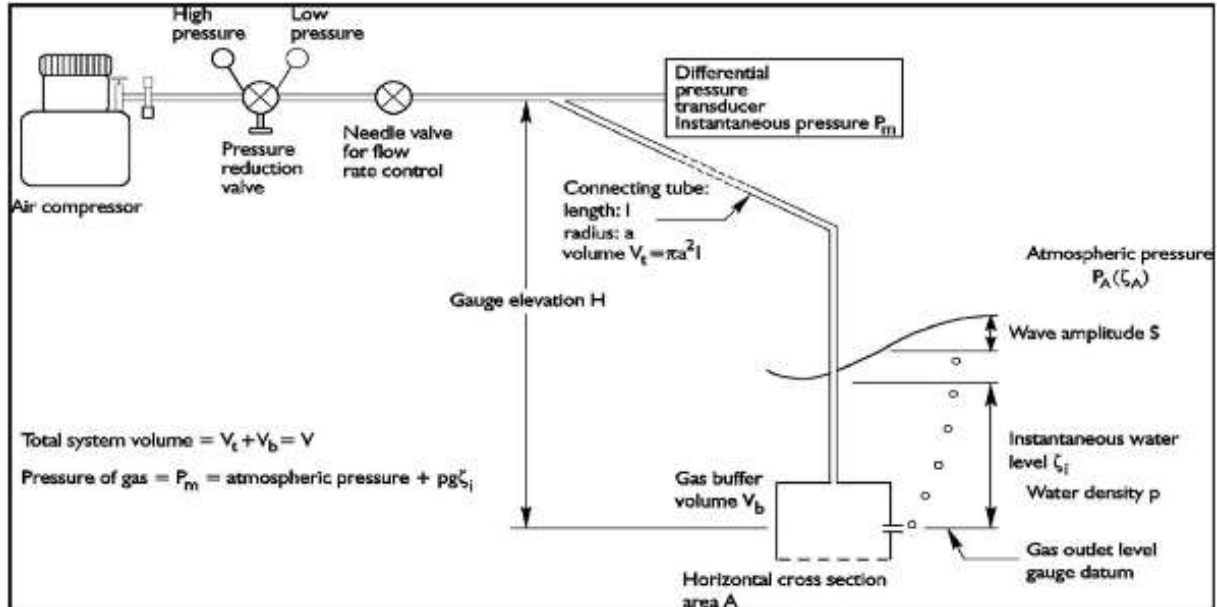
$$P = P_A + \rho g D$$

pri čemer je:

- $P$  - merjen pritisk
- $P_A$  - pritisk atmosfere na vodni gladini
- $\rho$  - gostota vode
- $g$  – gravitacijska konstanta
- $D$  - nivo vode nad mestom merjenja.

#### 3.1.2.1 Sistem mehurčkov

Pri sistemu mehurčkov stisnjen plin počasi prehaja po cevi do tlačne točke. Ta je v vodi pod najnižjim nivojem morja in je običajno v obliki kratkega cilindra, ki je na vrhu zaprt, na dnu pa odprt ter ima odprtino na sredini. Ko zrak doseže tlačno točko, potiska vodo navzdol, vse dokler ni dosežena odprtina, kjer zrak začne uhajati v vodo. Tu se enači pritisk plina in pritisk vode (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).



Slika 6: Princip delovanja sistema mehurčkov (IOC – Manual on Sea Level Measurement and Interpretation (IV – an update to 2006))

### 3.1.3 Akustični mareograf

Deluje na podlagi merjenja časa potovanja zvočnih impulzov do vodne površine in nazaj. Teoretično se take meritve lahko izvajajo na odprtem, vendar se na ta način odbit signal lahko porazgubi. Zato je senzor ponavadi nameščen znotraj cevi, ki štiti opremo in omogoča mirnejšo vodno gladino.

Za izračun razdalje med sistemom in nivojem morske gladine je potrebno dovolj natančno poznavanje hitrosti potovanja zvočnega signala skozi zrak. Hitrost potovanja zvoka skozi zrak se precej spreminja s spremembami temperature in vlage v zraku, približno za 0,17% na 1°C. Da bi dosegli zadovoljivo natančnost, so zato potrebni določeni popravki meritev. Najlažji način za to, je konstantno merjenje temperature na neki točki potovanja zvočnega signala in iz tega izračun hitrosti zvoka. Bolj natančna metoda je uporaba zvočnega reflektorja na neki fiksni točki zračnega stolpca. S povezavo odboja signala od reflektorja in od morske gladine dobimo takojšnje popravke za spremembe v hitrosti zvoka na razdalji od izvora signala pa do reflektorja.

Vendar pa na ta način ne dobimo popravkov za razdaljo med reflektorjem in morskno gladino (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

### **3.1.4 Radarski mareograf**

V zadnjih letih se vedno več agencij odloča za to vrsto mareografov pri nadomestitvi starih sistemov in izgradnji novih. Razlog za to leži v tem, da se meritve razdalje med sistemom in vodno površino izvajajo s pomočjo merjenja časa potovanja radarskega signala namesto akustičnega. Tako kot akustični sistemi so preprosti za uporabo, vendar so neodvisni od temperature zraka. Poleg tega je prednost teh sistemov tudi relativno nizka cena in dokaj preprosta postavitvev. Njihova slabost je pa relativno visoka poraba energije (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

### **3.2 Izbira lokacije mareografa**

V veliko primerih je odločitev o lokaciji mareografa jasna glede na njegov namen. Vendar to ne velja vedno. V teh primerih je potreben sprejeti odločitev o lokaciji na podlagi tega, kateri od spodaj naštetih dejavnikov je pomembnejši:

- Instalacija mora biti sposobna prenesti najtežje okoljske vplive, s katerimi je verjetno, da se bo srečala ( led, nevihte, ...). To je predvsem faktor, ki bo vplival na tip inštrumenta in njegovo lokacijo, saj so pri postavitvi mareografa cilj meritve na dolgi rok.
- Tla pod instalacijo morajo biti kolikor se da stabilna. To pomeni, da ne smejo biti podvržena posedanju zaradi podzemeljskih del, ne sme obstajati možnost drsenja v primeru močnega in dolgotrajnega dežja in ne sme priti do spodkopavanja tal zaradi rečne ali morske erozije. Idealna rešitev je postavitvev na trdni skali.
- Če je možno, naj bi se izogibali rečnim ustjem. To pa zaradi tega, ker se tam rečna voda meša z morskno na zelo različne načine med plimskim ciklom in v različnih letnih obdobjih, kar povzroča velike razlike v gostoti vode. To ima velik vpliv na meritve znotraj

vodnjakov, saj se voda, ki se v vodnjak steka v različnih časih, plasti in zaradi tega nastane razlika v gostoti v in izven vodnjaka. Mešanje vode vpliva tudi na tlačne mareografe, saj gostota potrebna za izračun morske gladine iz merjenega pritiska ne bo konstantna. Poleg tega pa lahko pride tudi do poškodb mareografa zaradi povečanega rečnega toka in naplavin, ki jih ta prinese s seboj.

- Izogibati se moramo območij, kjer lahko ob izredno nizki oseki pride do izolacije vode od odprtega morja. Poleg tega se moramo izogibati dolgih in plitvih obal.
- Izogibati se moramo ozkih rtov in ožin, saj se tam pojavljajo veliki tokovi plimovanja.
- Izogibati se moramo neposredni bližini izlivov, saj ti povzročajo turbolence, tokove, razredčitve in usedline.
- Preučiti je potrebno vodni promet v okolici, saj ladje lahko poškodujejo mareograf in motorski propelerji dvigajo mulj.
- Preučiti je potrebno možnost, da se bodo na lokaciji v prihodnosti izvajala gradbena dela in bo zaradi tega potrebno premestiti mareograf ter tako prekiniti serijo meritev.
- Lokacija mora imeti konstantno zagotovljeno elektriko, preko glavnih vodov ali pa prek zadostne zaloge akumulatorjev, generatorjev ali sončnih celic, in telefonsko ali satelitsko povezavo za prenos podatkov o meritvah analitičnim centrom.
- Lokacija mora biti dostopna za popravila in zaščitena pred vandalizmom in krajo.
- Območje mora omogočati stabilizacijo točk, ki so potrebne za geodetsko kontrolo podatkov o morski gladini. Še posebno stabilni in varni pred poškodbami morajo biti lokalni reperji in GPS reper.
- Vodnjak pri mehanskih oziroma cev pri akustičnih mareografih mora biti dovolj visok za registracijo najvišjih možnih morskih gladin.
- Morsko dno mora biti pri mareografu z nepremičnim vodnjakom vsaj 2 metra pod najnižjo astronomsko plimo (ang. Lowest Astronomical Tide – LAT). Odprtina za dotok vode ne sme biti na morskem dnu a hkrati dovolj globoko, da plovec deluje do 1 metra pod najnižjo astronomsko plimo  
(<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

### **3.3 Datumi in reperji**

Pri opazovanjih morske gladine je osnovna referenčna točka kopenski reper. To je jasno označena točka na stabilni površini, kot je recimo skala ali zid. Če se nahaja na horizontalni površini, je navadno v obliki medeninastega vijaka z okroglo glavo, katere najvišji del predstavlja referenčno višino. Na vertikalni površini je lahko v obliki horizontalnega utora z referenčnim robom, na katerega lahko postavimo prizmo. V praksi pa se ni dobro zanašati na le en reper. Priporoča se, da jih je vsaj pet znotraj območja nekaj sto metrov okoli mareografa. Pri tem je pomembno, da so vsi reperji jasno identificirani z imenom ali številko ter da o vseh obstaja dokumentacija v metapodatkih mareografa z opisom, fotografijami, koordinatami in lokalno karto. Med njimi se morajo v rednih intervalih izvajati meritve z nivelmanom visoke natančnosti (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

#### **3.3.1 Reper mareografa**

Reper mareografa (ang. Tide Gauge Benchmark – TGBM) je en izmed kopenskih reperjev, ki je izbran kot glavni reper za dotični mareograf. Ta služi kot datum, na katerega se nanašajo nivoji morske gladine. Za reper mareografa ponavadi izberemo najbolj stabilen, najbolj zavarovan in najbližji reper (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

#### **3.3.2 GPS reper**

GPS reper (ang. GPS Benchmark – GPSBM) je en izmed kopenskih reperjev, ki je referenčna točka za GPS meritve v okolici mareografa. Kot vsi reperji mora biti tudi ta v rednih intervalih povezan z reperjem mareografa z nivelmanom visoke natančnosti (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

### 3.3.3 Kontaktna točka mareografa

Kontaktna točka mareografa (ang. Gauge Contact Point – CP) definira konstanto mareografa. Konstanta mareografa je vsota merjene morske višine in oddaljenosti med kontaktno točko in morsko gladino. Ta mora biti vedno enaka, kontrolira se do dvakrat na leto.

Po vzpostavitvi geodetske povezave med reperjem mareografa in kontaktno točko lahko podatke o morski gladini izražamo glede na datum kontaktne točke.

Pri mareografih z vodnjakom se kontaktna točka običajno nahaja na vrhu vodnjaka. Pri akustičnih in radarskih mareografih se običajno nahaja na vrhu oddajnika (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

### 3.3.4 Mareografska ničla

Mareografska ničla (ang. Tide Gauge Zero – TGZ) je nivo gladine, pri katerem bi mareograf beležil ničelni nivo morja. V praksi se morska gladina ne sme spustiti do tega nivoja (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

### 3.3.5 Ponovni lokalni referenčni datum

Ponovni lokalni referenčni datum (ang. Revised Local Reference Datum – RLR Datum) je datum, definiran na podlagi reperja mareografa na ta način, da imajo merjeni nivoji morske gladine vrednosti okoli 7000 mm. Ta koncept je iznašel PSMSL zato, da je možno pridobiti spremembe nivoja morja na območju v dolgih časovnih obdobjih, tudi z različnimi mareografi. Vrednost 7000 je bila izbrana, da računalnikom iz tistega obdobja (pozna 60-a leta) ni bilo potrebno shranjevati negativnih števil. Za povezavo ponovnih lokalnih referenčnih datumov različnih mareografov je potrebno poznati povezavo med njihovim reperji mareografa (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).



### **3.3.6 Državna nivelmanska mreža**

Večina držav je v zadnjih 100 letih razvila državne nivelmanske mreže, ki so definirane na podlagi srednje morske gladine na enem ali več mareografih. Ta koncept doživel velike spremembe z implementacijo GPS opazovanj. Vendar je že pred tem koncept imel svoje pomanjkljivosti iz vidika morske gladine. Prvi razlog za to je, da morska gladina ob obalah ni plosčata, torej ne sledi geoidu, ampak se spreminja zaradi tokov, različnih gostot, meteoroloških vplivov... Poleg tega se srednja morska gladina spreminja različno na različnih lokacijah. Če niveliramo med dvema mareografoma, razlika med srednjo morsko gladino na enem in drugem ne bo nič. In nazadnje, večina srednjih morskih gladin je narobe definirana tudi do nekaj 10 centimetrov zaradi sistematičnih instrumentalnih napak (<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf>).

### **3.4 Mednarodna služba za srednjo morsko gladino (PSMSL)**

Mednarodna služba za srednjo morsko gladino je bila ustanovljena leta 1933. Njen sedež je v Britanskem oceanografskem observatoriju v Liverpoolu. Njena primarna naloga je zbiranje, objavljanje, analiza in interpretacija podatkov o morski gladini, ki jih pridobi iz več kot 2000 mareografskih postaj po celem svetu (slika 7). Iz teh podatkov nato računa mesečna in letna povprečja, ki so v mejah 1 mm. Poleg tega nudi tudi usluge in svetovanje, organizira izobraževanja in objavlja publikacije.



Slika 7: Mareografske postaje v bazi PSMSL ([http://www.psmsl.org/products/data\\_coverage](http://www.psmsl.org/products/data_coverage))

Mednarodna služba za srednjo morsko gladino odgovarja komisiji za srednji nivo morja in plimovanje pri Mednarodnem združenju za fizikalne vede oceanov (International Association for the Physical Sciences of the Oceans – IAPSO). Občasno poroča tudi Mednarodnem združenju za geodezijo (International Association of Geodesy – IAG) in Mednarodnem združenju za geodezijo in geofiziko (International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG).

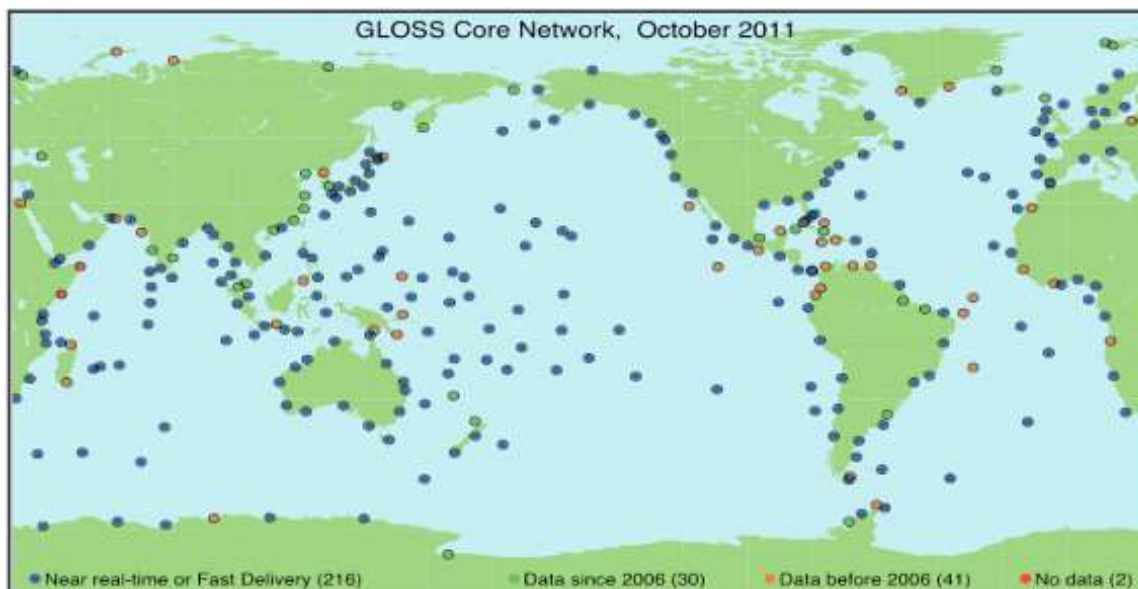
### 3.5 Globalni sistem za opazovanje morske gladine (GLOSS)

Globalni sistem za opazovanje morske gladine (Global Sea Level Observing System - GLOSS) je mednarodni program ustanovljen leta 1985 pod vodstvom svetovne meteorološke organizacije (World Meteorological Organisation - WMO) in mednarodne oceanografske komisije (International Oceanographic Commission - IOC). Sistem strmi k vzpostavitvi visoko kvalitetnih globalnih in regionalnih mrež za opazovanje morske gladine.

V prvem izvedbenem načrtu leta 1990 je bil ustanovljen jedrni globalni sistem (Global Core Network - GCN), sestavljen iz več kot 290 mareografskih postaj po celem svetu (slika), na katerih se na dolgi rok izvajajo opazovanja podnebnih sprememb in sprememb morske gladine. Definirani so bili tehnični standardi v sistem vključenih mareografskih postaj ter osnovna terminologija in naloge držav vključenih v sistem.

Drugi izvedbeni načrt leta 1997 je program razširil tako, da vsebuje tudi pod mreže mareografskih postaj, pri katerih je poudarek na dolgoročnih opazovanjih, kalibracijsko mrežo za namene satelitske altimetrije in mrežo namenjeno za opazovanje globalne oceanske cirkulacije. Poleg tega je bila razvita strategija za integracijo GPS opazovanj na in v okolici mareografskih postaj.

V izvedbenem načrtu leta 2012 poudarek ostaja na jedrnem globalnem sistemu. Predvideva namreč, da vse postaje tega sistema pošiljajo podatke v skoraj realnem času ter da se v bližini vseh postaja neprestano izvajajo GNSS meritve ([http://www.gloss-sealevel.org/publications/documents/GLOSS\\_Implementation\\_Plan\\_2012.pdf](http://www.gloss-sealevel.org/publications/documents/GLOSS_Implementation_Plan_2012.pdf)).



Slika 8: Mareografske postaje v sistemu GLOSS ([http://www.gloss-sealevel.org/publications/documents/GLOSS\\_Implementation\\_Plan\\_2012.pdf](http://www.gloss-sealevel.org/publications/documents/GLOSS_Implementation_Plan_2012.pdf))

#### 4 POMEN MAREOGRAFSEKIH OPAZOVANJ ZA DRŽAVNI VIŠINSKI SISTEM

Državni prostorski koordinatni sistem zagotavlja pogoje za enolično določanje in izražanje položaja objektov in pojavov s prostorskimi koordinatami na ozemlju Republike Slovenije. Državni prostorski koordinatni sistem je določen s parametri horizontalne in vertikalne sestavine ter z državno kartografsko projekcijo (ZDGRS, 2014).

Horizontalni koordinatni komponenti sta geometrijsko definirani. Višina pa mora imeti poleg geometrijske definicije tudi fizikalno. Za premik predmeta na določeno višino je namreč potrebna večja sila, kot če ga premaknemo le horizontalno, ker pri tem na telo vpliva sila teže. Vektorsko polje sile teže je konservativno, torej ga lahko obravnavamo kot skalarno – potencial sile teže. Geometrijsko gledano je "oblika" potenciala polja sile teže enaka potencialu pospeška sile teže, zato se v praksi uporablja potencial pospeška sile teže oziroma težnostni potencial. Višina je torej sorazmerna razliki potencialov oziroma razdalji med ekvipotencialnimi ploskvami (ploskve enakih potencialov). Za izhodiščno ekvipotencialno ploskev je izbrana srednja mirujoča morska površina. Ta pa je določena s pomočjo mareografskih opazovanj.

Vlada prediše parametre horizontalne sestavine in gravimetričnega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. Parametri višinskega dela državnega prostorskega koordinatnega sistema po tem zakonu naslednji:

- višinski datum: Trst, epoha 1875;
- sistem višin: normalne ortometrične višine;
- ime: Slovenski višinski sistem 2000 - SVS2000 (ZDGRS, 2014)

Višinski datum je torej srednja morska gladina izmerjena v Trstu v letu 1875. Višino normalnega reperja so določili na podlagi opazovanj le enega leta zato, ker so takrat v Evropi želeli povezati srednje nivoje Sredozemskega morja s severnimi morji in na podlagi tega določiti enotni normalni reper za celo Evropo. Ta ideja je bila opuščena ob ugotovitvi, da se nivoja razlikujeta za 13 cm.

#### **4.1 Vertikalni datum vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema**

Srednji nivo morja ima po dogovoru višino enako nič in nam predstavlja ničelno nivojsko ploskev. Lega ničelne nivojske ploskve pa je definirana z oddaljenostjo od normalnega reperja, ki se nahaja na geološko stabilnem območju.

Kot že rečeno, se normalni reper za navezavo nivelmanske mreže na ničelno nivojsko ploskev za naše območje, nahaja na pomolu Sartorio v Trstu. Ta je služil že za navezavo avstroogrške nivelmanske mreže.

Da ničelna nivojska ploskev ni dovolj natančno določena, je podvomil Sterneček leta 1904. Opazovanja so bila namreč izvedena v prekratnem obdobju. Tako je primerjal višine osnovnih reperjev mareografov v Trstu, Puli in Dubrovniku, dobljenih na osnovi večletnih opazovanj. Za to je moral ponovno določiti višino normalnega reperja v Trstu za leto 1901. Določil jo je na podlagi opazovanj iz let 1875-1879 (brez 1877) in od 1901-1904. Tako je ugotovil, da se stare avstroogrške višine reperjev ne nanašajo na srednji nivo morja v Trstu, temveč na primerjalno nivojsko ploskev, ki je za 8,99 cm nižja od ničelne.

S tem problemom so se ukvarjali še mnogi drugi in določili različne vrednosti odstopanj primerjalne nivojske ploskve od ničelne:

- Kasumović je leta 1950 izračunal na podlagi meritev v Bakru, da naj bi odstopanje leta 1933 znašalo 8,93 cm;
- Na osnovi istih podatkov vendar s konstanto mareografa v Bakru določeno leta 1984 naj bi odstopanje znašalo 10,57 cm;
- Bilajbegović je na podlagi meritev v Bakru izračunal odstopanje 13,83 za leto 1971;
- Oceanografski inštitut v Trstu (Istituto Talassografico Trieste) je na podlagi meritev v Trstu izračunal odstopanje 18,5 cm za leto 1969.

Razlike v vrednostih se po Bilajbegovičevem mnenju pojavljajo zaradi razlike med linearnima trendoma nihanja srednjega nivoja morja v Trstu in Bakru.

V času izmere in izravnave nivelmanskih vlakov I. nivelmana visoke natančnosti (v nadaljevanju NVN) v nekdanji SFRJ še ni bilo stabiliziranega normalnega reperja, zato se je kot ta določil isti kot pri avstroogrski nivelmanski mreži.

Za navezavo II. NVN je bil stabiliziran normalni reper v Malagaju. Na vzhodni obali Jadranskega morja je bilo takrat 7 mareografov, in sicer v Kopru, Rovinju, Bakru, Dubrovniku, Baru ter dva v Splitu. Vertikalni datum II. NVN je določen za 3.7.1971 na podlagi nihanj nivoja morja med leti 1962,2 in 1980,8 (polna perioda 18,6 let), z izjemo mareografa v Baru, ki je začel delovati šele leta 1965. Nadmorska višina normalnega reperja je bila določena z izravnavo višinskih razlik med mareografi in normalnim reperjem izmerjenih v letih 1962, 1963 in 1970-1973 ter višinskih razlik med osnovnimi reperji mareografov (Koler, 1994).

Preglednica 1: Podatki o neprekinjeni registraciji nivoja morja do leta 1989 in podatki o vključitvi mareografov v NVN (Koler, 1994)

<i>Mareograf</i>	<i>Neprekinjena registracija od leta</i>	<i>Leto vključitve mareografa v nivelman velike natančnosti</i>
<i>Koper</i>	<i>1962</i>	<i>1964, 1972</i>
<i>Rovinj</i>	<i>1955</i>	<i>1957, 1964, 1972</i>
<i>Bakar</i>	<i>1954</i>	<i>1957, 1964/65, 1970/72</i>
<i>Split – pristanišče</i>	<i>1954</i>	<i>1957, 1964/65, 1970/72</i>
<i>Split – Marjan</i>	<i>1954</i>	<i>1957, 1962/63</i>
<i>Dubrovnik</i>	<i>1954</i>	<i>1957, 1962/63, 1970/71</i>
<i>Bar</i>	<i>1965</i>	<i>ni podatkov</i>

## 5 REGISTRACIJA SREDNJE MORSKE GLADINE V JADRANSKEM MORJU

Prva opazovanja morske gladine v Jadranskem morju so se začela že v srednjem veku. Da bi dobili neprekinjene meritve, pa je bilo potrebno počakati do razvoja modernejše tehnologije. Prvi mareografi so bili postavljeni v Jadranskem morju sredi 19. stoletja. Eden izmed prvih je bil postavljen leta 1859 v Trstu. Poleg tega je bilo v tistem času postavljenih še nekaj mareografov: Benetke Santo Stefano (1871), Benetke Arsenale (1889), Porto Corsini (1897) in Pula (1897). Do danes se jih večina ni ohranila, vendar je bilo vmes zgrajenih še veliko drugih. Tako je prva mreža nastala leta 1954.

V nadaljevanju se bomo podrobneje posvetili tržaškemu mareografu, saj nam normalni reper za navezavo avstroogrske nivelmanske mreže na ničelno nivojsko ploskev predstavlja reper na pomolu Sartorio v Trstu, katerega višina je bila določena na podlagi enoletnih opazovanj leta 1875, ter seveda koprskemu mareografu.

### 5.2 Mareografska postaja v Trstu

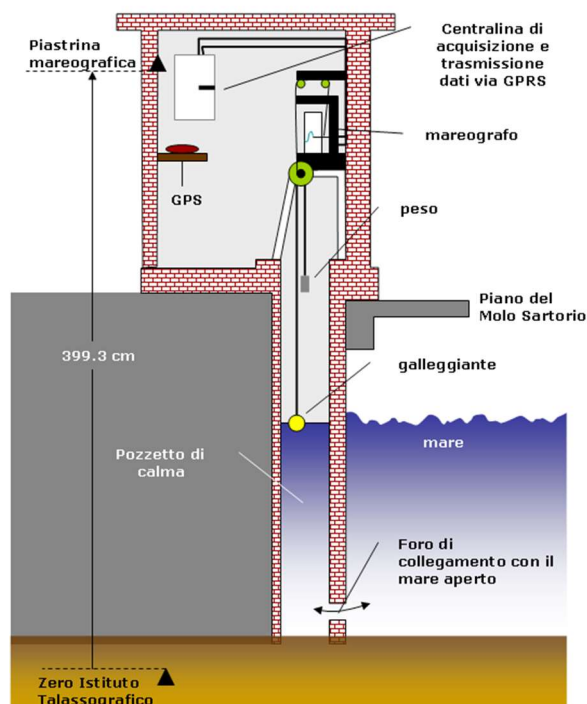
Najstarejša opazovanja morske gladine v Trstu so bila zabeležena decembra 1859, ko je bil na pomolu Sartorio postavljen mehanski mareograf. Prvi inštrument je imel redukcijsko razmerje (razmerje med amplitudo plimovanja na papirju proti dejanski amplitudi)  $R = 1 / 4.5$ , valj s papirjem se je zavrtil v 24 urah in vrtel se je s hitrostjo 40 mm/h. Pred letom 1884 (točno leto ni znano) so ta inštrument zamenjali z novim, z  $R = 1 / 6.112$ , 24-urno rotacijo in hitrostjo valja 35 mm/h. Januarja 1911 so inštrument znova zamenjali, tokrat z  $R = 1 / 10$ , 24-urno rotacijo in hitrostjo valja 30 mm/h (Raicich, 2005).

Leta 1926 je bil mareograf prestavljen za 10 do 20 metrov po pomolu, na trenutno lokacijo  $45^{\circ}38'50,5''$  N in  $13^{\circ}45'30,5''$  E.

Zdaj so v mareografski postaji 4 mareografi: 2 digitalna in 2 analogna. Prvi digitalni mareograf je povezan s centralo regionalne civilne zaščite, ki vsakih 30 minut pošilja podatke o trenutni morski gladini. Drugi digitalni mareograf je vključen v mrežo Inštituta za morske znanosti (Institute of Marine Sciences – ISMAR), izvaja meritve morske gladine vsako minuto, pošilja pa jih vsakih 5 minut. Analogne meritve se pobirajo tedensko ob kalibraciji. Mareografov je več zato, da je zagotovljen neprekinjen niz meritev tudi v primeru okvar in napak (<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/34>).

Mareografska ničla se od leta 1919 imenuje Ničla oceanografskega inštituta (Zero Istituto Talassografico – ZIT). Od leta 1859 do 1910 je bila to Ničla pomola Sartorio (Zero Molo Sartorio – ZMS), ki jo je predstavljal zgornji del pomola, in sicer 2537 mm nad sedanjo, od 1911 do 1918 pa je bila 377 mm nad sedanjo (Raicich, 2005).

Sezione della cabina mareografica presso il Molo Sartorio



Slika 9: Mareografska postaja v Trstu (<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/34>)



### 5.2.1 Zgodovina mareografskih opazovanj v Trstu

Zgodovino mareografskih opazovanj v Trstu lahko v grobem razdelimo v dve kategoriji:

- na obdobje pred letom 1905, za katerega ni nobenega originalnega materiala (tabel, grafov). Podatke smo pridobili samo iz omemb v raznih virih, ki so navedene v nadaljevanju tega poglavja.
- na obdobje po letu 1905, za katerega obstaja originalni material in za katerega vrednosti hrani PSMSL.

Najstarejši podatki zavzemajo nekaj meritev iz let 1862, 1863 in 1865, ki jih je objavil MAYER (1866). Ta tudi piše, da mareograf neprekinjeno deluje že od začetka.

Naslednji, ki je objavil podatke, je bil LORENZ (1875), in sicer za leto 1869. Podatki so o plimah in osekih od januarja do začetka novembra ter o 12-urnih opazovanjih po kulminacijah lune (prehodih čez lokalni meridian), iz katerih je izračunana letna srednja morska gladina.

Za obdobje od 1875 do 1889 obstajajo podrobnejši podatki, saj je tržaška luška kapitanija objavljala mesečne in letne (za leto 1886 samo letne) meteorološke podatke in podatke o morski gladini v letni publikaciji imenovani 'Annuario Marittimo'. Od 1875 do 1885 publikacija navaja mesečne povprečja plim in osek ter ekstreme, do leta 1884 pa tudi število meritev, iz katerih so bila povprečja izračunana. Podatki o urnih meritvah so na voljo tudi od naslednjih avtorjev: BUSIN (1878), GRABLOVITZ (1883) in OSNAGHI (1886).

Za obdobje od 1890 do 1900 so na voljo le podatki o letnih povprečjih (POLLI, 1974), za obdobje 1901 do 1904 pa tudi o mesečnih (STERNECK, 1905). Poleg tega imamo tudi nekaj podatkov o zaporedjih urnih opazovanj - MAZELLE (1895a, 1895b, 1896a, 1896b), STERNECK (1905) in celo podatke o ekstremnih plimah zaradi 9 neviht med leti 1875 in 1903.

V obdobju 1875 – 1885 in verjetno 1886 – 1889 so bila mesečna povprečja izračunana kot

aritmetična sredina srednjih plim in osek, torej tu govorimo o srednji plimski gladini (Mean tide level – MTL), ne pa o srednji morski gladini. V Trstu je letna srednja plimska gladina za  $0,1 \pm 0,1$  cm višja. V publikacijah so navedene tudi natančnosti mesečnih povprečji, in sicer milimetrski za 1882 – 1887 in centimetrski za 1875 – 1881, 1888 – 1889 in 1901 – 1904.

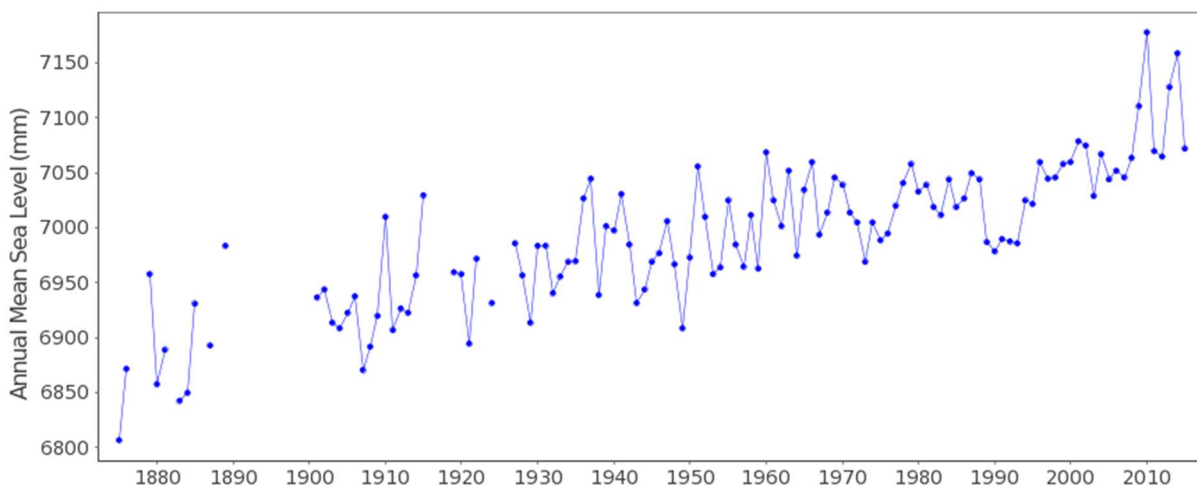
V preglednici 2 so prikazane mesečne in letne vrednosti glede na Ničlo oceanografskega inštituta (ZIT).

Preglednica 2: Mesečna srednja morska gladina (Raicich, 2005)

	Mesečna srednja morska gladina (mm)												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETNA
1875	1367	1377	1342	1327	1362	1427	1427	1417	1337	1562	1487	1387	1402
1876	1227	1332	1432	1527	1472	1512	1412	1417	1507	1527	1577	1667	1471
1877	1507	1492	1517	1622	1577	1547	-	-	-	-	-	-	-
1878	-	-	-	1487	1512	1517	1517	1602	1637	1667	1807	1677	-
1879	1597	1752	1512	1717	1492	1502	1537	1577	157	1497	1537	1382	1553
1880	1222	1392	1317	1472	1522	1452	1452	1574	1487	1577	1567	1432	1457
1881	1552	1452	1397	1577	1437	1497	1432	1562	1557	1452	1437	1462	1484
1882	1246	1265	1446	1476	-	-	1638	1518	1618	1616	1628	1612	-
1882	1524	1345	1466	1382	1456	1485	1480	1425	1513	1534	1351	1290	1438
1884	1366	1330	1382	1595	1426	1496	1458	1477	1449	1485	1395	1482	1449
1885	1495	1472	1417	1580	1537	1464	1484	1529	1585	1661	1652	1436	1526
1886	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1547
1887	1457	1274	1396	1429	1483	1449	1473	1513	1523	1573	1702	1572	1484
1888	1428	1576	1623	1667	1522	1602	1678	1588	1572	-	-	-	-
1889	1487	1577	1607	1707	1627	1637	1587	1547	1537	1717	1467	1447	1574
...													
1901	1417	1467	1567	1497	1487	1547	1507	1507	1627	1577	1527	1627	1526
1902	1477	1627	1507	1527	1527	1537	1547	1557	1497	1667	1497	1487	1533
1903	1397	1247	1407	1527	1497	1567	1517	1497	1517	1617	1587	1687	1503
1904	1437	1547	1497	1477	1477	1557	1477	1497	1467	1517	1507	1567	1502

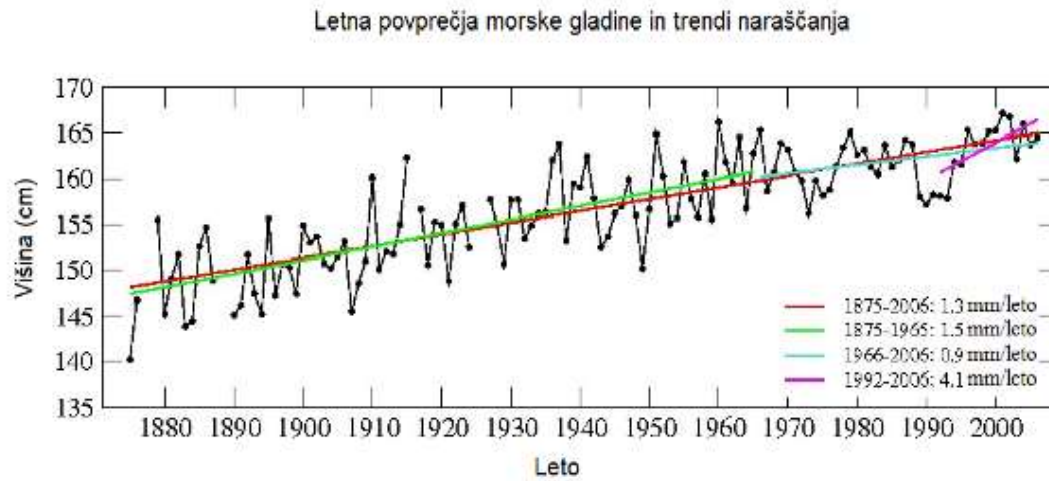
Kot že omenjeno, se od leta 1905 podatki nahajajo v bazi službe PSMSL, zato tu vrednosti mesečnih in letnih povprečij ne bodo posebej navedene. Kar se tiče teh podatkov, so vrednosti za leta 1917 – 1919 in 1923 – 1938 podatki o srednji plimski gladini (MTL), tisti za leta 1918 – 1922 in od 1939 dalje pa o srednji morski gladini (MSL). Za leto 1915 podatka o tem ni (Raicich, 2005)

Nekaj podatkov manjka tudi po letu 1905 zaradi okvar mareografa in drugih razlogov za prekinitve opazovanj, kar je razvidno iz grafa letnih povprečij (graf 1).



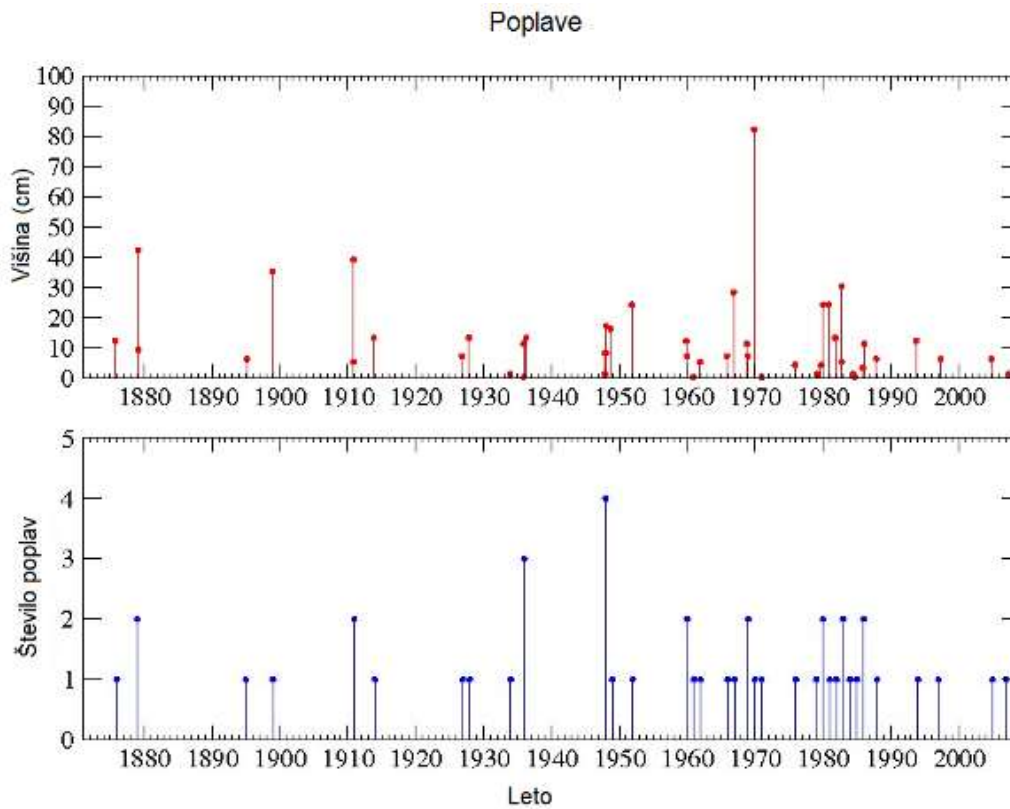
Grafikon 1: Letna srednja morska gladina v Trstu  
(<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/154.php>)

Vsi omenjeni podatki se nahajajo v arhivih Inštituta za morske znanosti (ISMAR) v Trstu. Spodnji graf prikazuje podatke o morski gladini iz njihove baze ter trende naraščanja morske gladine v posameznih obdobjih. V primerih, ko so ta obdobja krajša, so izraženi trendi manj zanesljivi. Trend po letu 1992 vključuje tudi meritve satelitske altimetrije.



Grafikon 2: Letna povprečja morske gladine in trendi naraščanja v Trstu  
(<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/36>)

Naslednja grafa pa prikazujeta poplave, torej ko je morska gladina segala preko pomola Sartorio.



Grafikon 3: Višina in število poplav prek pomola Sartorio v Trstu  
(<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/36>)

Po nekaterih napovedih naj bi se morska gladina glede na obdobje 1980 do 1999 dvignila za približno 18 cm do leta 2050 in za 35 cm do leta 2100 (<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/36>).

### 5.3 Mareografska postaja v Kopru

Mareografska postaja v Kopru se nahaja na pomolu pri luški kapetaniji, na koordinatah  $45^{\circ}34' N$  in  $13^{\circ}45' E$ . Postavljena je bila leta 1958, leta 2005 pa je bila prenovljena. Na postaji se spremlja višina morja, temperatura morja ob površini, zračni tlak, veter in temperatura zraka. Podatke hrani Agencija republike Slovenije za okolje (v nadaljevanju ARSO).



Slika 10: Stara mareografska postaja (levo) in nova mareografska postaja (desno) v Kopru (Strojan, 2006)

#### 5.3.1 Zgodovina mareografskih opazovanj v Kopru

Mareografska opazovanja v Kopru so se začela leta 1958 s postavitvijo prvega mareografa. Meritve in zapise o meritvah je opravljal Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije (HMZ)

RS), podatke je pa pošiljal Jugoslovanski vojni mornarici (Jugoslovanska ratna mornarica – JRM) v Split (Strojan, 2006).

Prvi mareograf je bil postavljen kot navaden limnigraf pod enakimi pogoji kot vsi tisti na slovenskih rekah. Tu so bila zanemarjena dejstva, da upadanje in naraščanje gladine morja ni enako gladini rek, da gladina rek nima takega valovanja kot morska gladina in da je nanos muljastega materiala na dnu drugačen. Zaradi tega je prišlo do prevelikega nihanja plovca, kar je povzročilo mnogo problemov in napak:

- črta grafikona na mareogramu je bila predebela, ob plimi in oseki je prišlo do zalivanja črnila, zato se je črnilo prehitro porabilo (predvsem ob močnem vetru);
- žice plovca in uteži so se pogosto pretrgale;
- konusni vijaki, ki predstavljajo os vrtenja registrirne naprave, so se pogosto obrusili;
- registrirno pero se je močno izrabilo.

Cev, v kateri se nahajata plovec in utež, je bila namreč na dnu preveč odprta. S tem se je najmanjše nihanje morske gladine preneslo direktno na plovec.

Sčasoma se je zaradi nalaganja materiala odprtina vedno bolj zapirala in s tem so se te napake odpravile. Vendar se je zapiranje nadaljevalo, dokler ni prišlo do skoraj popolnega zaprtja. To je povzročilo očitne višinske razlike na mareogramu ob plimah in osekah ter zakasnitve. Napako se je odpravilo v začetku 70. let z zamenjavo cevi, ki je imela zaprto dno, bočno pa na vsaki strani po 3 luknje premera 10mm (Štefančič, 1970).

Maja 1978 je bil star inštrument Matra (podjetje KOVO, Praga) zamenjan z novim sistemom Seba-Bandschreiberpegel Delta (podjetje Seba Hydrometrie, Nemčija) (<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1009.php>).

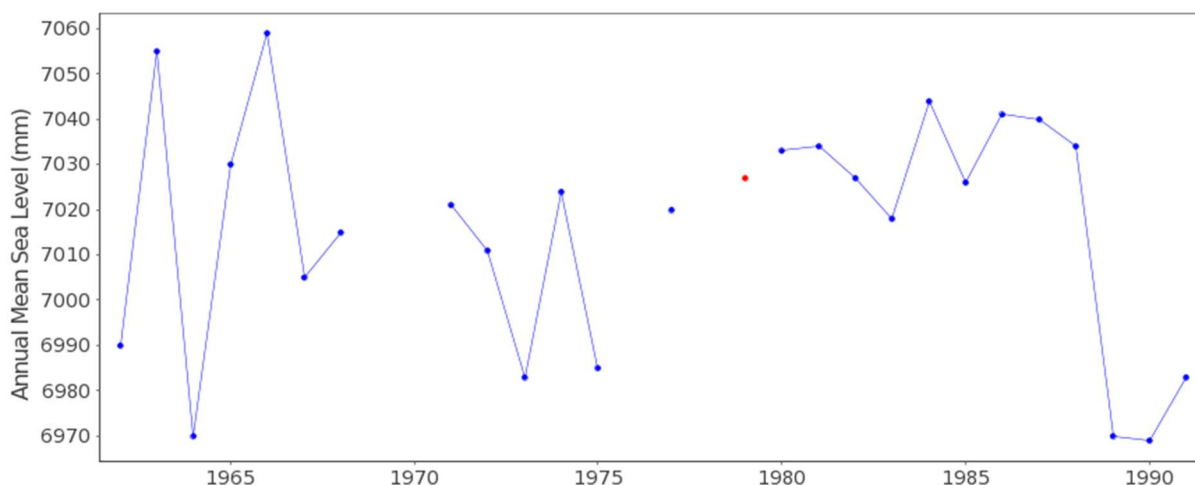
Leta 1990 je Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije pričel upravljati vse dejavnosti v povezavi z monitoringom morja. Poleg tega je bila istega leta postavljena tudi avtomatska mareografska postaja v Luki Koper, in sicer ob strojnici za pogon tekočega traku, ki prenaša

razsuti tovor na deponijo. Ta mareograf je bil tipa SEBA Delta, postavljen je bil na plastični cevi premera 20 cm, rotacija valja je bila 5 mm/h, razmerje med amplitudo plimovanja na papirju proti dejanski amplitudi je bilo  $R = 1/10$ . Ob postavitvi je bila kota tega vodomera za 42 mm nižja od tistega pri luški kapetaniji. Ta postaja je bila ukinjena leta 2005 (Bradač, 1990).

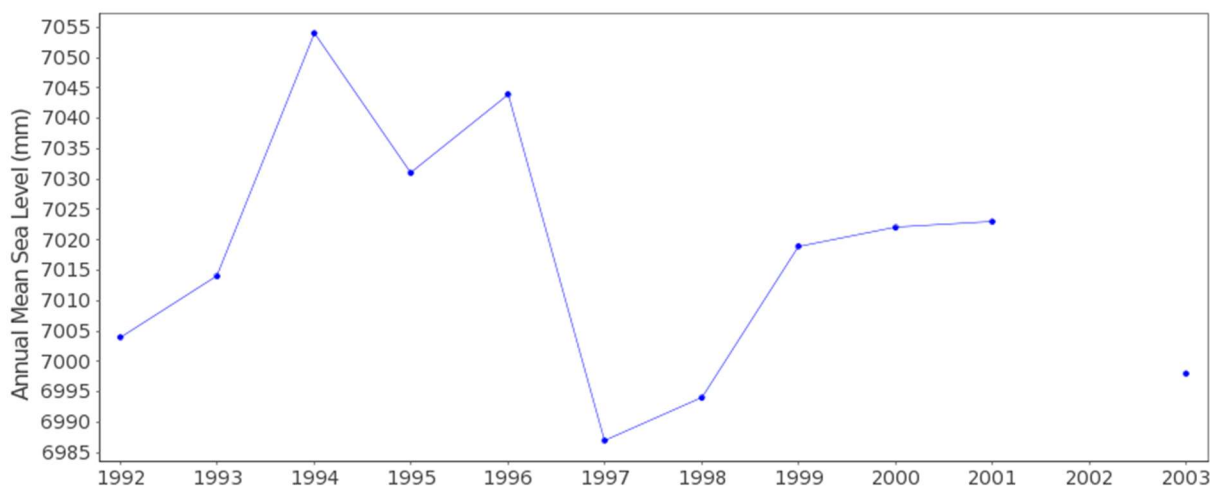
Prvi predlog prenove mareografske postaje je bil podan leta 1994. Takrat se je tudi pričelo z mednarodnimi geodetskimi kampanjskimi meritvami in meritvami absolutne gravimetrije v bližini mareografske postaje Koper. Te je opravljala državna geodetska služba.

Leta 1996 je Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije ustanovil interno projektno nalogo z naslovom "Program opazovanja višine morja". Predlog o ustanovitvi mešane komisije v okviru tega programa je bil podan naslednje leto. Takrat se je tudi začelo sodelovanje v projektu "Evropski opazovalni sistem za višine morja" (European Sea-Level Observing System).

Leta 2000 se je Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije včlanil v Evropsko službo za višino morja (European Sea-Level Service – ESEAS), v sklopu katere se je leta 2002 začel projekt "Razvoj infrastrukture Evropske službe za višino morja (European Sea-Level Service – Research Infrastructure - ESEAS-RI), v katerega se je vključila tudi ARSO (prej Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije). V sklopu tega projekta in s podporo državne geodetske službe je bila mareografska postaja v Kopru leta 2005 prenovljena (Strojan, 2006).



Grafikon 4: Letna srednja morska gladina mareografske postaje Koper  
(<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1009.php>)



Grafikon 5: Letna srednja morska gladina mareografske postaje Luka Koper  
(<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1817.php>)

### 5.3.2 Nova mareografska postaja v Kopru

Nova mareografska postaja je bila postavljena na istem mestu kot prejšnja. Da ne bi izgubili dolgoletnega niza opazovanj pridobljenega s starim mareografom, je bil le-ta nekoliko prestavljen in je bila zagotovljena ustrezna povezava med njima. Ker se je iz raziskav stabilnosti območja starega mareografa vedelo, da je le-to nestabilno, je bilo temeljenje nove mareografske postaje



izvedeno s pomočjo pilotov v trdno podlago 10 metrov pod morskim dnom (Strojan, 2006). Poleg tega sta bila stabilizirana tudi nova reperja 9000 in 9001, in sicer na skali, katero je geolog potrdil kot stabilno, ki sta nadomestila star reper mareografa 5485 na hotelu Triglav (Stopar et al., 2007).

Višine morje se merijo istočasno z mehanskim inštrumentom na plovec ter dvema radarskima inštrumentoma, od katerih je en nameščen zunaj objekta drugi pa v njem. Podatki o neprestanih meritvah se na postaji zbirajo v polurnih datotekah ali pa še z višjo frekvenco. Tako so podatki v skoraj realnem času dostopni na nacionalnih in internacionalnih centrih.

Postaja je vključena v državni višinski sistem ter opremljena s permanentno GPS-postajo vključeno v omrežje SIGNAL. GPS sprejemnik je tipa Leica GRX1200, antena pa Leica AT504. V okolici postaje se izvajajo tudi relativne gravimetrične meritve, ki so navezane na absolutno gravimetrično točko Socerb AGT501 (Strojan, 2006).



GPS antena Leica



Radarski inštrument  
Krohne



Mehanični inštrument  
s plovcem tipa  
Thalimedes  
podjetja Ott

Slika 11: GPS antena ter radarski in mehanski mareograf kopske mareografske postaje (Strojan, 2006)

## 6 VKLJUČITEV MAREOGRAFA KOPER V NOV VIŠINSKI SISTEM

Zahteve za natančnost izvajanja geodetskih meritev za potrebe mareografskih opazovanj podaja IOC. V preglednici so navedene priporočila iz priročnika (Intergovernmental Oceanographic Commission – Manuals and Guides 14: Manual on Sea level Measurement and Interpretation – Volume III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000, UNESCO, 2002).

Preglednica 3: Priporočila IOC za natančnost izvajanja geodetskih meritev za potrebe mareografskih opazovanj (Stopar et al., 2007)

Merska tehnika	Dolžina: Natančnost
1. Niveliranje nivelmanske zanke mareografske postaje	0 – 1 km: < 1 mm
2a. Niveliranje na širšem območju	1 – 10 km: < 1 cm
2b. GNSS-izmera na širšem območju	Enako
3. Absolutna gravimetrična izmera v bližini mareografske postaje	< 2 $\mu$ gal
4. GNSS-izmera na točkah v bližini mareografske postaje	< 1 cm

Geodetske točke koprskje mareografske postaje so z državno nivelmansko mrežo povezane preko reperjev nivelmanskega poligona z oznako N1-100, ki poteka med reperjem mareografske postaje 9001 in vozliščnim reperjem 2839 v Divači.

Nivelmanska mreža stare mareografske postaje je bila prvič izmerjena leta 2001. S povezavo reperjev v nivelmansko mrežo je bila pridobljena kontrola za posamezne izmere (z izračunom odstopanja v zaključeni zanki), možnost izravnave ter možnost ocene stabilnosti reperjev.

Ob izmeri pri postavitvi novega mareografa so bili reperji nivelmanske zanke koprškega mareografa preštevilčeni. V zanko se je vključil tudi nov reper MA 1, ki je stabiliziran na mareografski postaji. Naslednja preglednica prikazuje podatke o oznakah reperjev.

Preglednica 4: Preštevilčenje točk nivelmanske zanke koprške mareografske postaje

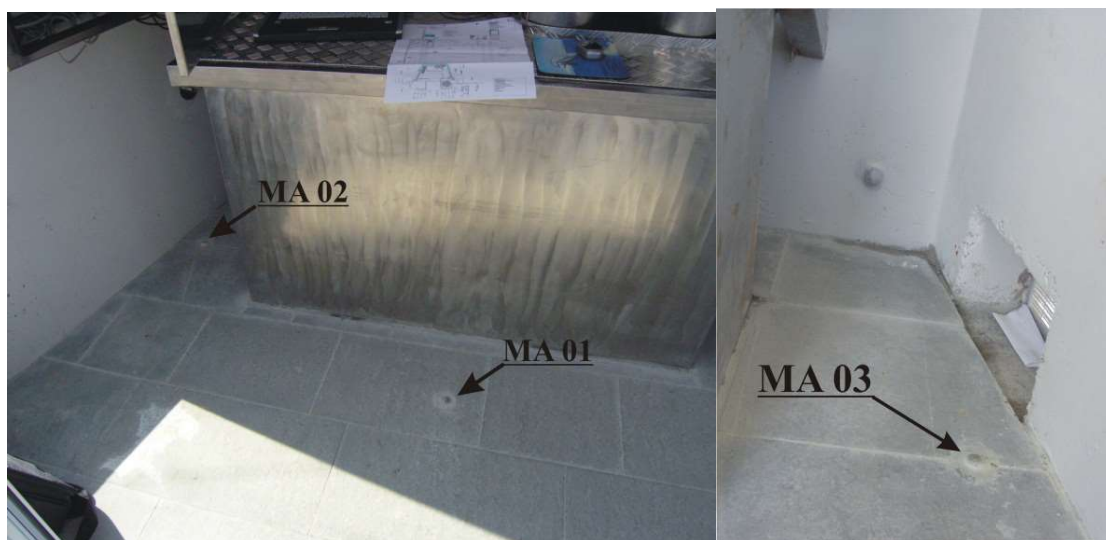
Nova številka točke	Stara številka točke
9000	3001
9001	3000
9002	R24
9003	R11
9004	Namesto 3002

Pri pregledu reperjev je bilo ugotovljeno, da reperja 9002 in 9003 ne omogočata enolične postavitve late ter da je reper 3002 previsoko in nanj ni možno postaviti 3-metrске late. Pomanjkljivosti pri reperjih 9002 in 9003 so bile odpravljene z brušenjem, reper 3002 pa je bil zamenjan z novo stabiliziranim reperjem 9004 (slika 12).



Slika 12: Zamenjava reperja 3002 z reperjem 9004

Pri izgradnji mareografa so bili za potrebe spremljanja vertikalne stabilnosti objekta v ploščo stabilizirani trije reperji: MA01, MA02 in MA03.

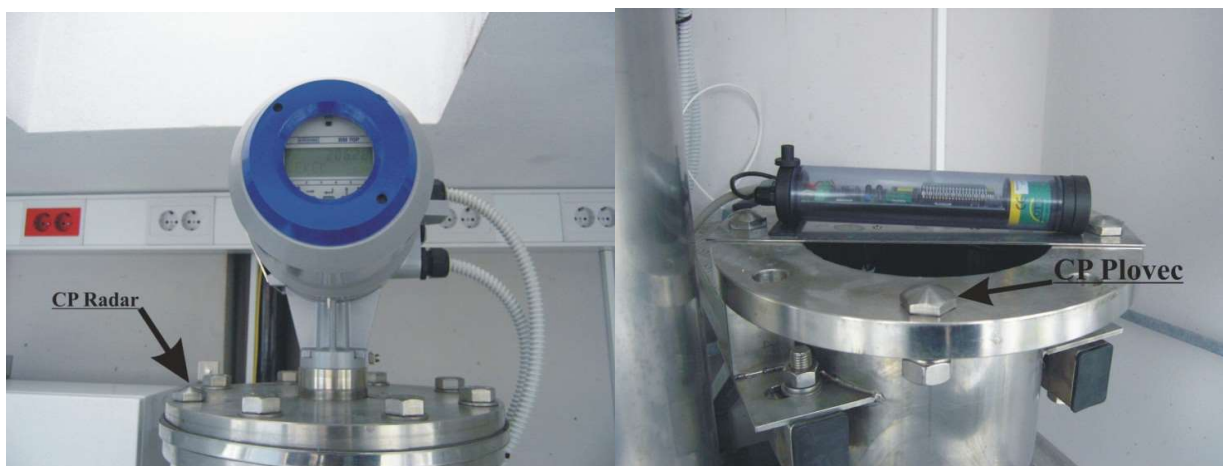


Slika 13: Reperji v plošči mareografske postaje

Kasneje se je izkazalo, da reper MA02 zaradi ovire ni uporaben, saj nanj ni mogoče postaviti late, zato je bil nadomeščen z reperjem MA04.

Za potrebe navezave mareografske postaje na državno višinsko mrežo sta bili stabilizirani dve kontaktni točki mareografa (CP): ena na mehanskem in ena na radarskem mareografu.

Stabilizirani sta z vijakoma z zaobljeno glavo.



Slika 14: Kontaktni točki (CP) mareografa

Za navezavo kontaktnih točk (CP) in vključitev v nivelmansko mrežo mareografa je bil uporabljen reper MA01.



Slika 15: Nivelmanska zanka mareografske postaje Koper (Stopar et al., 2007)

## 6.2 Določitev srednje morske gladine na mareografski postaji Koper

Srednji nivo morja je bil določen na podlagi mesečnih povprečij v obdobju od januarja 1997 do januarja 2006, ki so bila pridobljena s starim mareografom, ter mesečnih povprečij od januarja 2006 do julija 2015 pridobljenih z novim mareografom. Ocenjuje se, da znaša natančnost merjenja morske gladine na stari mareografski postaji 2 cm in 1 cm na novi.

Srednji nivo morja je bil določen za datum 10.10.2010. Od tod tudi ime novega slovenskega višinskega sistema – Slovenski višinski sistem 2010 (SVS2010). Srednji nivo znaša 224,01 cm.

Za pridobitev koordinat reperjev nivelmanske mreže 1. reda v novem višinskem sistemu je potrebna še izravnava. Ta je opravljena v sistemu normalnih višin in sistemu geopotencialnih kot. Prva izravnava meritev privzema kot dano točko najstabilnejši reper nivelmanske mreže

mareografske postaje. V tem primeru je bil to reper 9000. Na osnovi te izravnave pridobimo višino normalnega reperja FR-1049.

Sledi nova izravnava, v kateri se novo pridobljena vrednost normalnega reperja FR-1049 privzame kot dana. Na podlagi te izravnave pridobimo končne višine reperjev.

Natančnost izravnanih višin pada z oddaljevanjem od izhodišča koordinatnega sistema, kar je v našem primeru reper FR-1049. Da bi dobili optimalen vpogled v ocenjeno natančnost reperjev, opravimo izravnavo meritev v prosti mreži, kar pomeni, da vse višine privzamemo kot neznane, vendar kot približne vrednosti višin prevzamemo izravnane vrednosti višin iz predhodne izravnave (FR-1049) dan.



## 7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi so prikazana mareografska opazovanja na mareografskih postajah v Trstu in Kopru, ki so uporabljena za določitev vertikalnega datuma nivelmanskih mrež v Sloveniji.

Mareografska postaja v Trstu je bila postavljena leta 1859, v Kopru pa skoraj stoletje kasneje, in sicer 1958. V času izgradnje avstroogrške nivelmanske mreže je bila mareografska postaja v Trstu edina na tem ozemlju. Zato je bil vertikalni datum določen na osnovi opazovanj v Trstu. Žal pa so bila za njegovo določitev vzeta le enoletna opazovanja iz leta 1875, kar je občutno premalo.

Vertikalni datum Trst je v preteklosti predstavljal osnovo za izračun višin vseh reperjev na območju Slovenije. Ta datum pa ne predstavlja ničelne nivojske ploskve, temveč primerjalno ploskev, ki se od nje razlikuje za vrednosti od 8,93 cm (Kasumović, 1950) do 18,5 cm (Bilajbegović in Marchesini, 1991) .

S pojavom GNSS tehnologij v modernejših časih se je pojavila potreba po povezavi med geometričnimi višinami, pridobljenimi z GNSS opazovanji, in fizikalnimi višinami. Za to pa je nujno potreben dobro določen vertikalni datum, čemur stari ne ustreza več.

S postavitvijo nove mareografske postaje v Kopru se je ob vzpostavitvi novega višinskega sistema pridobila možnost določitve novega vertikalnega datuma. Nova mareografska postaja sicer ne obratuje še 18,6 let, kolikor je polna perioda plimovanja, vendar je bila ob njeni postavitvi zagotovljena povezava s staro mareografsko postajo in tako dovolj dolg neprekinjen niz meritev. Nova mareografska postaja ustreza mednarodnim standardom za dolgoročno spremljanje nivoja morja. Poleg tega je bila geodetska mreža mareografske postaje Koper izvedena po priporočilih Mednarodne oceanografske komisije (IOC).

Iz vsega tega izhaja, da srednja morska gladina izmerjena na mareografski postaji v Kopru izpolnjuje vse pogoje za določitev novega vertikalnega datuma novega višinskega sistema.



Nov višinski sistem v času izdelave te diplomske naloge še ni bil zakonsko uveljavljen, vendar upajmo, da bo kmalu izvedeno vse potrebno in pripravljena vsa potrebna dokumentacija, da bi tudi uradno prišel v veljavo.

## VIRI

Bibavica. 2016.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Bibavica> (Pridobljeno 24.8.2016)

Bradač, B. 1990. Poročilo o postavitvi mareografske postaje v Luki Koper. Hidrometeorološki zavod SRS: 2 str.

Koler, B. 1994. Vertikalni datumi nivelmanskih mrež v Sloveniji. Geodetski vestnik 38: 7-10.

Koler, B. Medved, K. Kuhar, M. 2007. Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik 51/4: 777-792. [http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4\\_777-792.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4_777-792.pdf) (Pridobljeno 24.8.2016)

Kuhar, M. 2007. Geofizika. Študijski pripomoček. Verzija december 2007. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG. Oddelek za geodezijo: 122 str.

Lasič, S. 2000. Plimske sile in plimovanje. Maj 2000. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FMF. 19 str.

La stazione mareografica di Trieste. 2016.

<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/34> (Pridobljeno 24.8.2016)

Manual on sea level measurement and interpretation: Volume III: Reappraisals and Recommendations as of the year 2000. Manuals and guides No. 14. IOC. 2002 UNESCO: 55 str. <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf> (Pridobljeno 18.5.2016)

Manual on sea level measurement and interpretation: Volume IV: An update to 2006. Manuals and guides No. 14. IOC. 2006 UNESCO: 78 str. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147773e.pdf> (Pridobljeno 18.5.2016)

PSMSL data coverage. 2016.

[http://www.psmsl.org/products/data\\_coverage](http://www.psmsl.org/products/data_coverage) (Pridobljeno 24.8.2016)

PSMSL Koper. 2016.

<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1009.php> (Pridobljeno 24.8.2016)

PSMSL Luka Koper. 2016.

<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1817.php> (Pridobljeno 24.8.2016)

PSMSL Trst. 2016.

<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/154.php> (Pridobljeno 24.8.2016)

Pugh, D. T. 1996. Tides, Surges and Mean-Sea Level. Velika Britanija. Antony Rowe Ltd. 472 str.

Radar alrimetry tutorial. 2016.

<http://www.altimetry.info/radar-altimetry-tutorial/how-altimetry-works/basic-principle>  
(Pridobljeno 24.8.2016)

Raicich, F. 2005. A Study of Early Trieste Sea Level Data (1875-1914). Italija. CNR – Istituto di Scienze Marine. 20 str.

Stopar, B. Koler, B. Kogoj, D. Sterle, O. Ambrožič, T. Savček-Safić, S. Kuhar, M. Radovan, D. 2007. Geodetska navezava mareografske postaje Koper.

[http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2007/SZGG2007\\_Stopar\\_et\\_al.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2007/SZGG2007_Stopar_et_al.pdf) (Pridobljeno 24.8.2016)

Stopar, B., Vodopivec, F., Bilc, A., Čuljak, H. 2002. 4M Projekt povezave 4 mareografov severnega Jadrana. [http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Vodopivec\\_et\\_al2002.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Vodopivec_et_al2002.pdf)  
(Pridobljeno 24.8.2016)

Strojan, I. 2006. Hidrološki monitoring morja na Agenciji Republike Slovenije za okolje in sodelovanje v projektu ESEAS RI.

[http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2006/SZGG2006\\_Strojan.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2006/SZGG2006_Strojan.pdf) (Pridobljeno 13.8.2016)

Strojan, I. Rogelj, D. Černač, B. Robič, M. 2006. Tide gauge station Koper.

[http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2006/SZZG2006\\_posterStrojan.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2006/SZZG2006_posterStrojan.pdf) (Pridobljeno 13.8.2016)

Štefančič, P. 1970. Poročilo o ugotovitvi napake na mareografskem aparatu postaje Koper – Jadransko morje.

The Global Sea Level Observing System Implementation Plan 2012. 2012. Pariz. UNESCO IOC. 41 str.

[http://www.gloss-sealevel.org/publications/documents/GLOSS\\_Implementation\\_Plan\\_2012.pdf](http://www.gloss-sealevel.org/publications/documents/GLOSS_Implementation_Plan_2012.pdf)  
(Pridobljeno 23.8.2016)

Woodworth, P. L. 2014. Introduction to sea level and its variations. 2014 GLOSS training course Thailand: 104 str.

[http://www.ioc-goos.org/index.php?option=com\\_oe&task=viewDocumentRecord&docID=12959](http://www.ioc-goos.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=12959)  
(Pridobljeno 23.8.2016)

Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list RS, št. [25/14](#).

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6446> (Pridobljeno 23.8.2016)