

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,
smer Geodezija

Kandidatka:

Branka Buršič

Vzpostavitev sodobne mareografske postaje

Diplomska naloga št.: 683

Mentor:

izr. prof. dr. Bojan Stopar

Somentor:

doc. dr. Božo Koler

Ljubljana, 22. 6. 2006

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

- UDK:** 528.28: 528.48: 551.46.08 (043.2)
- Avtor:** Branka Buršič
- Mentor:** izr. prof. dr. Bojan Stopar
- Somentor:** doc. dr. Božo Koler
- Naslov:** Vzpostavitev sodobne mareografske postaje
- Obseg in oprema:** 100 str., 7 pregl., 32 sl., 3 en.
- Ključne besede:** mareograf, reper mareografa, kontaktna točka, GPS reper, ARP antena GPS, GPS, geometrični nivelman, trigonometrično višinomerstvo, ITRF2000, ETRS89, EVRS, državni horizontalni in višinski sistem

Izvleček:

Diplomska naloga opisuje geodetska dela pri prenovi in nadgradnji mareografske postaje Koper, ki so se izvajala v času poskusnega delovanja mareografske postaje.

V diplomski nalogi je podrobno opisano kako smo z različnimi geodetskimi postopki, gravimetrijo, geometričnim nivelmanom, opazovanji GPS in terestrično izmero, novo mareografsko postajo Koper vključili v terestrični koordinatni sistem ITRS, evropski terestrični sistem ETRS89, evropski višinski sistem EVRS ter v državni horizontalni in višinski sistem. Opisani so tudi postopki zasnove spremljanja dolgoročne lokalne in globalne horizontalne in višinske stabilnosti mareografske postaje Koper.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK: 528.28: 528.48: 551.46.08 (043.2)
Author: Branka Buršič
Supervisor: assoc. prof. dr. Bojan Stopar
Co-supervisor: assist. prof. dr. Božo Koler
Title: Instalation of modern tide gauge station
Notes: 100 p., 7 tab., 32 fig., 3 eq.
Keywords: tide gauge, tide gauge benchmark, contac point, GPS benchmark, ARP GPS antenna, geometric levelling, trigonometric hight measuring, ITRF2000, ETRS89, EVRS, National horizontal and vertical system

Abstract:

Diploma work describes geodetic activities at the renovation and upgrading the tide gauge station Koper, which were taken in the time of experimental operation of tide gauge station.

In the diploma work the procedures of geodetic fixing of new tide gauge station Koper, with different measurement procedures: gravimetry, geometric levelling, GPS observations and terrestrial observations are presented. The goal we want to achieve was to connect the tide gauge station with the terrestrial reference system ITRS, european terrestrial reference system ETRS89, european vertical reference system EVRS and with National horizontal and vertical reference system. We also present the plan for long term horizontal and vertical stability monitoring of a new tide gauge station Koper.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Bojanu Stoparju ter somentorju doc. dr. Božotu Kolerju, ki sta mi bila v veliko pomoč. Hvala tudi vsem ostalim iz katedre za geodezijo, ki so mi kakorkoli pomagali.

Še posebej bi se rada zahvalila svojim staršema, ki sta mi omogočila, da sem prišla tako daleč. Prav tako pa hvala tudi moji sestri ter prijateljem, ki so vseskozi verjeli vame in mi pomagali.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Namen diplomske naloge.....	3
2	EVROPSKI IN DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM.....	4
2.1	Državni koordinatni sistem Slovenije.....	6
2.1.1	Položajne temeljne geodetske mreže.....	7
2.1.2	Temeljne gravimetrične mreže.....	9
2.1.2.1	Geoid v Sloveniji.....	10
2.1.3	Višinske temeljne geodetske mreže.....	13
2.1.3.1	Vertikalni datum Slovenije v času Avstroogrške in Jugoslavije.....	15
2.2	Določevanje srednjega nivoja morja.....	16
2.3	Absolutni in relativni nivo morja.....	17
2.4	Omrežje permanentnih GPS postaj v Sloveniji.....	18
3	MAREOGRAF.....	21
3.1	Vrste mareografov.....	22
3.1.1	Mehanski mareograf.....	23
3.1.2	Akustični mareograf.....	24
3.1.3	Tlačni mareograf.....	25
3.1.4	Radarski mareograf.....	26
3.2	Satelitska altimetrija.....	28
3.3	Pojmi, ki se nanašajo na mareograf.....	30
3.3.1	Datumi in reperji.....	30
3.3.2	Reper mareografa.....	31
3.3.3	GPS reper.....	32
3.3.4	Kontaktna točka mareografa.....	32
3.3.5	Mareografska ničla.....	33
3.3.6	Ponovni lokalni referenčni datum.....	33

3.3.7	Državna nivelmanska mreža.....	34
4	IZBIRA LEGE MAREOGRAFA	35
5	PERMANENTNE GPS POSTAJE NA MAREOGRAFIH.....	38
5.1	Mareografi in njihov lokalni vertikalni referenčni sistem.....	38
5.2	Postavitev permanentnih GPS postaj na mareografih	41
5.2.1	Izbira mikro lokacije položaja permanentne GPS postaje.....	41
5.2.2	Postavitev nosilca antene.....	43
5.3	Vertikalna povezava med anteno GPS, mareografom in reperji	46
6	GEODETSKA IZMERA MAREOGRAFOV.....	47
6.1	Geodetska izmera reperjev mareografa	47
6.2	GPS.....	49
6.2.1	GPS izmere	50
6.3	Absolutna gravimetrična merjenja.....	52
7	PRENOVA IN NADGRADNJA MAREOGRAFSKE POSTAJE KOPER.....	54
7.1	Stabilizacija geodetskih točk na mareografski postaji Koper.....	55
7.1.1	Spremljanje višinske stabilnosti mareografske postaje Koper	56
7.1.1.1	Stabilizacija in rekognosciranje terena na območju Koper pred novo izmero leta 2001	56
7.1.1.2	Stabilizacija novih geodetskih točk in rekognosciranje terena v bližini nove mareografske postaje Koper pred izmero leta 2005	57
7.1.2	Postavitev antene GPS na mareografski postaji Koper	61
7.1.3	Leica GRX1200 sprejemnik	64
7.1.4	Stabilizacija geodetskih točk za potrebe spremljanja horizontalne stabilnosti ARP mareografske postaje Koper	66
8	GEODETSKA IZMERA MAREOGRAFSKE POSTAJE KOPER	68
8.1	Višinska izmera mareografske postaje Koper	68

8.1.1	Izmera nivelmanske mreže mareografa	69
8.1.1.1	Navezava nivelmanske mreže mareografa na državno nivelmansko mrežo	69
8.1.1.2	Povezava mareografskih opazovanj z nivelmansko mrežo mareografa Koper	71
8.1.1.3	Navezava GPS reperja na nivelmansko zanko mareografa Koper	72
8.1.1.4	Navezava talnih reperjev v objektu na nivelmansko zanko mareografa Koper	73
8.1.1.5	Povezava novega mareografa s starim mareografom	73
8.1.1.6	Uporabljen instrumentarij	73
8.1.1.7	Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost	75
8.1.2	Vključitev mareografske postaje Koper v EVRS sistem	75
8.1.2.1	Navezava mareografske postaje Koper na EVRS sistem.....	77
8.1.2.2	Določitev težnostnega pospeška na ARP antene GPS	79
8.1.2.3	Uporabljen instrumentarij	79
8.1.2.4	Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost	80
8.2	Določitev lege ARP antene GPS mareografske postaje Koper v ITRF2000 in ETRS89 koordinatnih sistemih	81
8.2.1	Izmera GPS za vključitev permenetne postaje Koper v ITRF2000 in ETRS 89	82
8.2.2	Uporabljen instrumentarij	83
8.2.3	Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost	84
8.3	Spremljanje lokalne horizontalne stabilnosti ARP antene GPS mareografske postaje Koper	85
8.3.1	Oblika mreže	85
8.3.2	Metoda izmere.....	87
8.3.3	Uporabljen instrumentarij	88
8.3.4	Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost	90
8.4	Določitev višine ARP antene GPS mareografske postaje Koper.....	91
8.4.1	Določitev višine ARP antene GPS s postopkom geometričnega nivelmana ...	92
8.4.1.1	Uporabljen instrumentarij	93

8.4.2	Določitev višine ARP antene GPS s postopkom trigonometričnega višinomerstva.....	94
9	ZAKLJUČEK	95
VIRI		97

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: *Tehnike, ki so zahtevane za geodetsko izmero mareografskih reperjev*

Preglednica 2: *Višina jambora jadrnic v odvisnosti od oddaljenosti od antene GPS*

Preglednica 3: *Tehnični podatki GPS1200 sprejemnika Leica GRX1200*

Preglednica 4: *Tehnični podatki digitalnega nivelirja Leica NA3000*

Preglednica 5: *Tehnični podatki relativnega gravimetra Scintrex CG-3M*

Preglednica 6: *Tehnični podatki GPS sprejemnikov Trimble 4000SSI in Trimble 4000SSE*

Preglednica 7: *Tehnični podatki elektronskega tahimetra Leica Geosystems TC2003*

KAZALO SLIK

Slika 1: *Trigonometrična mreža I. reda*

Slika 2: *Zemlja, geoid, elipsoid*

Slika 3: *Globalni geoid Slovenije*

Slika 4: *Nivelmanska mreža Slovenije*

Slika 5: *PGPS postaje v omrežju SIGNAL*

Slika 6: *Shema delovanja mehanskega mareografa v sistemu vodnjaka in spojne cevi (levo) in objekt s klasičnim mareografom s plovcem (desno)*

Slika 7: *Osnovni tlačni mehurčkast sistem*

Slika 8: *Radarski in tlačni mareograf Kalesto podjetja OTT-Hydrometrie*

Slika 9: *Radarski mareograf podjetja KROHNE*

Slika 10: *Shema delovanja Jason-1 satelitskega višinomera*

Slika 11: *Nosilec antene GPS s prirobnikom*

Slika 12: *Nosilec antene GPS z vstavljenim adapterjem*

Slika 13: *Pregleden diagram mareografskega sistema za merjenje absolutnih nivojev morja*

Slika 14: *Star mareograf (levo), prestavljen star mareograf (samo cev s plovcem) (sredina), nov mareograf s permanentno GPS postajo (desno)*

Slika 15: *Reper mareografa v skali za hotelom Koper*

Slika 16: *Kontaktna točka na klasičnem mareografu s plovcem – CP_{pl} (levo) in kontaktna točka na mareografu z radarjem – CP_r (desno)*

Slika 17: *Skica položaja talnih reperjev*

Slika 18: *Talni reper MA01 na vhodu v objekt (tudi gravimetrična točka)*

Slika 19: *Merska prizma na nosilcu antene GPS (levo) in antena GPS na nosilcu (desno)*

Slika 20: *GPS sprejemnik vhiški mareografa*

Slika 21: *Stabilizacija merske točke z varnostnim pokrovom (levo), stabilizacija stojišča instrumenta (sredina), merska točka in ekscentrično stojišče (desno)*

Slika 22: *Del nivelmanskega poligona II. NVN med Koprom in Dekani*

Slika 23: *Nivelmanska mreža mareografa*

Slika 24: *GPS reper*

Slika 25: *Digitalni nivelir Leica NA3000 (levo) in komparirana kodirana invar nivelmanska lata (desno)*

Slika 26: *Metoda profila*

Slika 27: *Metoda zvezde*

Slika 28: *Relativni gravimeter Scintrex CG-3M*

Slika 29: *GPS sprejemnik Trimble 4000SSI in GPS antena Trimble L1/L2 z zaščitno ploščo*

Slika 30: *Oblika mikromreže*

Slika 31: *Precizni elektronski tahimeter Leica Geosystems TC2003*

Slika 32: *Niveliranje s preciznim nivelirjem Carl Zeiss Ni002 na anteno GPS*

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARP	Antenna Reference Point (referenčna točka antene)
ARSO	Agencija RS za okolje
ASL	Absolute sea level (absolutni nivo morja)
CP	Contact point (kontaktna točka mareografa)
CTS	Conventional Terrestrial System
DGPS	Diferential GPS
EPN	European Permanent Network
ESEAS	European Sea Level Service (projekt)
ESLS	European Sea Level Service (služba, nastala po projektu)
ESRS	European Spatial Reference System
ETRF	European Terrestrial Reference Frame
ETRS	European Terrestrial Reference System
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EUREF	EUropean REference Frame
EUVN	European Vertical Reference Network
EVD	European Vertical Datum
EVRF2000	European Vertical Reference Frame 2000
EVRS	European Vertical Reference System
EVRS2000	European Vertical Reference System 2000
FP5 ESEAS-RI	FP5 European Sea Level Service - Research Infrastructure
FR	fundamentalni reper
GLOSS	Global Sea Level Observing System
GPSBM	GPS Benchmark (referenčna GPS točka)
GRS80	Geodetic Reference System 1980
IAG	International Association of Geodesy
IAU	International Astronomical Union
IERS	International Earth Rotation Service
IGS	International GPS Service for Geodynamics
IGSN71	International Gravity Standardisation Network 1971
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission

ITRF	IERS Terrestrial Reference Frame
ITRS	IERS Terrestrial Reference System
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
LAT	Lowest Astronomical Tide
LLR	Lunar Laser Ranging
NAP	Normal Amsterdams Peil
NASA/JPL	National Aeronautics Space Administration/Jet Propulsion Laboratory
NVN	nivelmanska mreža velike natančnosti
PSMSL	Permanent Service for Mean Sea Level
RLR	Revised Local Reference Datum
RSL	Relative Sea Level (relativni nivo morja)
RTK-GPS	Real Time Kinematic-GPS
SIGNAL	SlovenIja-Geodezija-Navigacija- Lokacija
SLR	Satellite Laser Ranging Stations
TGBM	Tide Gauge Bechmark (višinska referenčna točka)
TGZ	Tide Gauge Zero (mareografska ničla)
UELN	United European Levelling Network
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WGS84	World Geodetic System 1984

1 UVOD

Naloga geodezije je pridobivanje in upravljanje s podatki o življenjskem prostoru, ki postajajo na različnih ravneh odločanja in upravljanja vse pomembnejši. Lociranje in nujnost povezovanja podatkov zahteva obravnavo prostorskih podatkov v koordinatnem sistemu. V današnjem času poteka vzpostavitev koordinatnih sistemov in njihovo vzdrževanje skoraj izključno z metodami in tehnikami satelitske geodezije za vzpostavitev t.i. horizontalne komponente in geometričnega nivelmana za vzpostavitev višinske komponente koordinatnega sistema (Stopar et al., 2002a).

Vzpostavitev in vzdrževanje državnega koordinatnega sistema je ena od nalog državne geodetske službe, ki jih v Sloveniji opravlja Geodetska uprava Republike Slovenije. Glede na dejstvo, da je uradno veljaven državni koordinatni sistem zastarel in ne izpolnjuje več potreb sodobne družbe je Geodetska uprava Republike Slovenije in z njo vsa slovenska geodezija že v aktivnostih, potrebnih za vzpostavitev novega državnega koordinatnega sistema Slovenije (Stopar et al., 2002b).

Pridružitvev Evropski uniji narekuje vse jasnejše zahteve po poenotenju in izmenjavanju prostorskih podatkov, za kar je potrebno zagotoviti standardizirano geodetsko osnovo. Tudi napredek znanosti in tehnologije omogoča uvedbo povsem novih merskih metod in tehnik, ki postajajo temeljna izhodišča moderne geodetske dejavnosti. Prav tako so v slovenskem prostoru vse jasnejše potrebe in zahteve uporabnikov (izvajalcev geodetskih storitev, uporabniki evidenc), ki jim obstoječi osnovni geodetski sistem ne zadošča več in jim otežuje kakovostni preskok na učinkovitejše izvajanje in ponudbo geodetskih storitev. Vse naštetu zahteva vzpostavitev sodobnega državnega koordinatnega sistema, ki bo del evropskega ESRS sistema (http://www.gu.gov.si/gu/gradiva/files/srecanjeKRIM04_internet.pdf).

Geodetska uprava je že izvedla določene korake na tem področju. Pripravljena je bila Strategija osnovnega geodetskega sistema, ki jo je sprejela Vlada Republike Slovenije. V skladu z njo se v okviru Geodetske uprave in v sodelovanju z drugimi subjekti na področju

geodezije izvaja vrsta dejavnosti, od katerih je pomembna dejavnost tudi vzpostavljanje novega, evropskega koordinatnega sistema in uvajanja tehnologije GPS (Režek, 2004).

Agencija RS za okolje - ARSO je tako v okviru evropskega projekta FP5 ESEAS-RI (FP5 European Sea Level Service - Research Infrastructure) in nacionalnega projekta modernizacije hidrološke mreže pričel s prenovo in nadgradnjo mareografske postaje Koper. Triletni FP5 ESEAS-RI projekt se je začel novembra 2002 v okviru ESEAS (European Sea Level Service) z namenom razvoja infrastrukture Evropske službe za višino morja. Rezultati projekta bodo sodobne standardizirane meritve ter mednarodno priznana arhivska baza podatkov v sklopu Evropske službe za višine morja ESEAS. V okviru nadgradnje mareografske postaje Koper se bo povečala kvaliteta meritev višin morja z metodo GPS, ki je po večletnem obdobju uvajanja postala mednarodna standardna metoda. Izvajanja neprekinjenih opazovanj GPS bodo opravljena na samem mareografu. Z načinom temeljenja prenovljene mareografske postaje bodo v večji meri izključeni možni lokalni zemeljski premiki. Višine morja bodo vezane na zemeljski geoid in kvazigeoid (http://eionet-si.arso.gov.si/Dokumenti/GIS/zrak/vplivi/164_opis.htm).

Projekt mareografa Koper bi naj vključeval postavitev novega, ustrezno temeljenega objekta na lokaciji obstoječe mareografske postaje, postavitev novega instrumenta, postavitev ustrezne meteorološke opreme ter vzpostavitev permanentne GPS postaje, ki bo vključena v slovensko omrežje GPS postaj ter preko projekta ESEAS tudi v EPN. Dodatno bo v bližini mareografa potrebno zagotoviti tudi možnost izvajanja absolutnih gravimetričnih opazovanj (Stopar et al., 2002b).

V diplomski nalogi sem najprej skušala predstaviti teoretične osnove, ki se nanašajo na mareograf. V začetku naloge sta najprej na kratko predstavljena evropski in državni koordinatni sistem. Temu sledi kratka predstavitev mareografa, vrste mareografov ter nekaj splošnih definicij, ki se nanašajo na sam mareograf. Poglavlje 4 opisuje na kaj moramo biti pozorni pri izbiri lege mareografa, medtem ko poglavje 5 podaja nekaj informacij o izbiri primerne mikro lokacije za namestitev permanentne GPS antene. V zadnjem delu teoretičnega dela diplome je predstavljenih še nekaj osnov o geodetski izmeri mareografov.

V okviru praktičnega dela naloge predstavljam opis geodetskih del, ki smo jih s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo – Katedra za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo, Katedra za inženirsko geodezijo ter Katedra za geodezijo, izvajali na mareografski postaji Koper. Geodetska dela so se izvajala v času poskusnega delovanja mareografske postaje Koper (od novembra 2005 do marca 2006).

1.1 Namen diplomske naloge

Namen diplomske naloge je opis geodetskih del na mareografski postaji Koper, ki so se izvajala v okviru evropskega projekta FP5 ESEAS-RI.

Geodetska dela na mareografski postaji Koper smo izvajali z namenom določitve koordinat mareografske postaje Koper ter postavitve takšne mareografske postaje, ki bo omogočala spremljanje srednjega nivoja morja na zelo visoki ravni.

Tako so bila potrebna geodetska dela za vključitev permanentne GPS postaje Koper v terestrični koordinatni sistem - ITRF2000, v evropski koordinatni sistem ETRS89, v državni koordinatni sistem, v evropski višinski sistem EVRS ter v državni višinski sistem. Geodetska dela na mareografski postaji so se prav tako izvajala za potrebe spremljanja lokalne višinske in horizontalne stabilnosti ARP antene GPS permanentne postaje Koper.

Namen diplomske naloge je tudi natančno opisati metode za vse vrste geodetskih opazovanj, ki so bila uporabljena pri vzpostavitvi mareografa (GPS, geometrični nivelman, gravimetrične meritve, trigonometrično višinomerstvo), opisati uporabljen instrumentarij ter podati pričakovano natančnost opravljenih izmer.

2 EVROPSKI IN DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM

Vzpostavitev terestričnega koordinatnega sistema, poteka danes s postopki in tehnikami satelitske geodezije, v povezavi s klasičnimi geodetskimi tehnikami in metodami kot so gravimetrična opazovanja ter geometrični nivelman.

Za usklajeno reševanje tovrstnih nalog je bilo vzpostavljenih več mednarodnih služb. Tako sta IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) in IAU (International Astronomical Union) skupaj ustanovili službo IERS (International Earth Rotation Service) z nalogo praktične realizacije terestričnega koordinatnega sistema ITRS (IERS Terrestrial Reference System). ITRS koordinatni sistem je dogovorjen terestrični koordinatni sistem, ki je geocentričen in pritrjen na telo Zemlje. Praktična realizacija terestričnega koordinatnega sistema je ITRF (IERS Terrestrial Reference Frame).

V okviru IAG (International Association of Geodesy) je bila avgusta 1987 ustanovljena podkomisija EUREF (EUropean REference Frame), z nalogo vzpostavitve enotnega evropskega referenčnega sestava. Ta podkomisija je za področje Evrope definirala ETRS (European Terrestrial Reference System). Glede na letnico nastanka se koordinatni sistem imenuje ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). Praktična realizacija ETRS koordinatnega sistema je koordinatni sestav ETRF (European Terrestrial Reference Frame) (Stopar et al., 2002b). Evropski koordinatni sistem je vezan samo na stabilni del evroazijske litosferske plošče, definiran pa je na elipsoidu GRS80 (Geodetic Reference System 1980), katerega parametri se le za malenkost razlikujejo od WGS84 (World Geographic System 1984) elipsoida, ki je osnova GPS (Lisec, 2002). V praksi obravnavamo in uporabljamo ETRS kot horizontalni koordinatni sistem. Namen vzpostavitve koordinatnega sistema ETRS je bilo poenotenje astrogeodetskih datumov v Evropi.

Zaradi množice višinskih sistemov z različnimi višinskimi izhodišči ter uporabo različnih tipov višin je definiran evropski višinski referenčni sistem EVRS (European Vertical Reference System). Praktično realizacijo tega sistema poznamo pod imenom EVRF2000 (European Vertical Reference Frame 2000) (Stopar et al., 2002c).

EVRS temelji na težnosti, tako da je to sistem v katerem imajo višine fizikalen pomen. EVRS je definiran z višinskim datumom EVD (European Vertical Datum), kot ga definira vrednost težnostnega potenciala W_0 ekvipotencialne ploskve mareografa v Amsterdamu - NAP (Normal Amsterdams Peil). Višina v EVRS je definirana kot razlika težnostnih potencialov ΔW_P NAP in obravnavane točke P. Višinski sistem je torej definiran na osnovi geopotencialnih kot, katere so definirane z izrazom:

$$C_P = \Delta W_P = W_0 - W_P \quad (1)$$

Geopotencialne kote omogočajo izračun poljubnega tipa višin. V okviru EVRS so to normalne višine. Praktično je EVRS realiziran z geopotencialnimi kotami višinskih točk v okviru evropske nivelmanske mreže UELN (United European Levelling Network), ki pokriva območje Severne, Srednje in Zahodne Evrope.

Na področju poenotenja slovenskega višinskega sistema z Evropo so bila opravljena absolutna gravimetrična opazovanja, izdelan idejni projekt nove državne gravimetrične mreže ter vzpostavljene povezave z evropsko nivelmansko mrežo (Koler et al., 2005). Izračunan je bil tudi model absolutnega geoida Slovenije. Višinska komponenta novega državnega sistema bo vzpostavljena skladno s smernicami EVRS2000 (European Vertical Reference System 2000). Ta je načrtovan kot geokinematična višinska mreža in je kombinacija evropskih permanentnih GPS postaj, evropske nivelmanske mreže UELN in evropskega gravimetričnega geoida. Torej tudi pri nas temelji vertikalna komponenta državnega koordinatnega sistema na težnosti, višine točk pa bodo definirane z geopotencialnimi kotami, ki jih moramo določiti na osnovi kakovostnih gravimetričnih in nivelmanskih opazovanj. Za učinkovito uporabo višinske komponente, pridobljene na osnovi GPS opazovanj, je potrebno določiti kakovostno obliko ploskve geoida na območju Slovenije, ki omogoča prehod iz elipsoidnih GPS višin v višine v državnem koordinatnem sistemu (Petrovič et al., 2005).

Koordinatna sistema ETRS89 in EVRS skupaj sestavljata ESRS koordinatni sistem. ESRS naj bi predstavljal homogeno, stabilno in natančno ogrodje za vse geodetske, geodinamične, geofizikalne in druge potrebe (Stopar et al., 2002b). Omogočil naj bi poenotenje koordinat v

vsej Evropi za najrazličnejše potrebe, od katastra in drugih prostorskih informacijskih sistemov do navigacije.

2.1 Državni koordinatni sistem Slovenije

V Republiki Sloveniji je uradno veljaven koordinatni sistem z oznako D48, ki temelji na astrogeodetskem datumu, s katerim je zagotovljena horizontalna komponenta geodetskega datuma, in višinskem datumu, ki zagotavlja višinsko komponento geodetskega datuma. Realizacijo slovenskega državnega koordinatnega sistema (koordinatnega sestava) predstavljajo tri skupne temeljne geodetske mreže (Stopar et al., 2002c):

- položajna temeljna geodetska mreža
- temeljna gravimetrična mreža
- višinska temeljna geodetska mreža

Vsem trem temeljnim geodetskim mrežam pripadajo tudi odgovarjajoči geodetski datumi. Pojem geodetskega datuma ima več pomenov; datum je najmanjše število parametrov (vnaprej danih količin) potrebnih za določitev geometrijske figure (lika) v koordinatnem sistemu. V glavnem uporabljamo pojem geodetski datum za množico danih konstant, ki jih potrebujemo za določitev položaja na Zemeljskem površju. Geodetski datum v splošnem uporabljamo skupaj z vnaprej definiranim koordinatnim sistemom ter privzetimi koordinatami določenega števila točk v tem koordinatnem sistemu (Berk, Radovan, Stopar, 2003).

Pri geodetskem datumu se v splošnem skušamo držati zahteve, da geodetski datum ne sme vplivati na notranjo geometrijo geodetske mreže, oziroma naj bi bil geodetski datum mreže v celoti dan z minimalnim številom vnaprej danih količin, potrebnih za enolično definiranje datuma ter notranjih opazovanj v geodetski mreži.

Matematično pomeni potreba po datumu geodetske mreže, da je poleg števila opazovanj, ki mora biti enako številu neznank v mreži, potrebno zagotoviti minimalno število datumskih parametrov za pridobitev položajev (absolutnih) točk v mreži. V nasprotnem primeru imamo

opravka s singularnim sistemom normalnih enačb, ki ne zagotavlja enoličnih položajev točk v mreži.

2.1.1 Položajne temeljne geodetske mreže

Položajno temeljno geodetsko mrežo uporabljamo za določitev horizontalnih koordinat točk. Tvorijo jo 34 geodetskih točk, ki tvorijo 46 trikotnikov. Mreža vsebuje dve trigonometrični bazi, in sicer v Radovljici in Mariboru ter 2 para Laplacejevih točk. Pokriva območje velikosti približno 230km×140km. Mrežo tvorijo položajna geodetska mreža višjega in nižjega reda. Delitev na dva redova izhaja iz metod določitve horizontalnih koordinat ter stopnje njihove (relativne) natančnosti.

V višji red položajne temeljne geodetske mreže so uvrščene (Stopar et al., 2001):

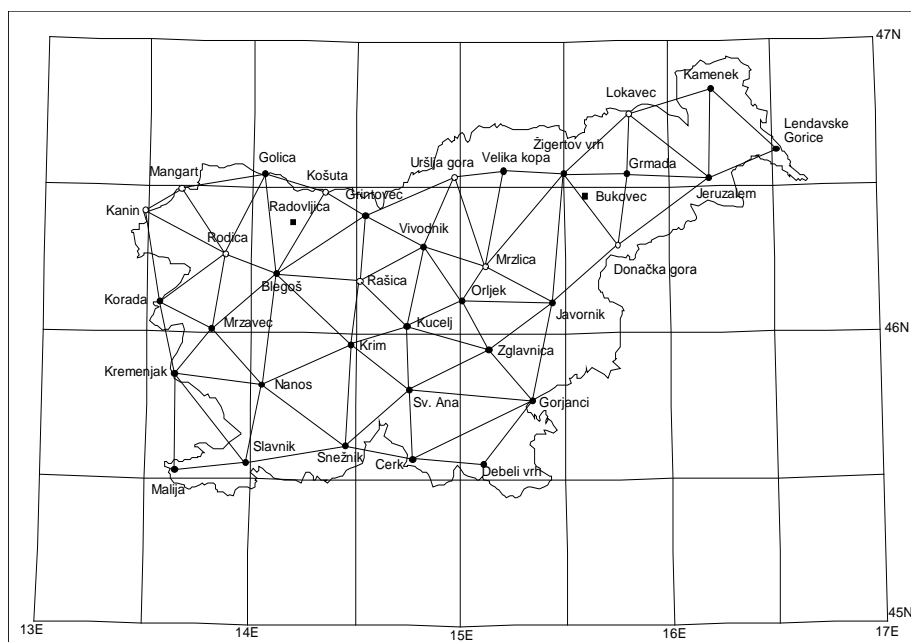
- trigonometrična mreža I. reda, skupaj z astrogeodetsko in t.i. bazno mrežo
- trigonometrična mreža II. glavnega in II. dopolnilnega reda
- trigonometrična mreža III. glavnega reda
- poligonometrična mreža III. glavnega reda
- mestna trigonometrična mreža

V nižji red položajne temeljne geodetske mreže pa so uvrščene:

- trigonometrična mreža III. dopolnilnega reda
- poligonometrična mreža III. dopolnilnega reda
- trigonometrična mreža IV. reda
- navezovalna mreža
- mestni poligonometrični mreži I. in II. reda

Astrogeodetska mreža Slovenije in s tem tudi celotna položajna temeljna geodetska mreža Slovenije ima svoje korenine v astrogeodetski mreži avstroogrsko monarhije in astrogeodetski mreži bivše Jugoslavije. Horizontalni geodetski datum slovenskega državnega koordinatnega sistema predstavlja referenčni elipsoid Bessel 1841. Astrogeodetski datum slovenske

astrogeodetske mreže pa je definiran z astronomskima koordinatama ter nadmorsko višino fundamentalne točke Hermannskogel pri Dunaju, opazovanim astronomskim azimutom na fundamentalni točki proti trigonometrični točki I. reda Hundsheimerberg, privzetimi vrednostmi komponent odklona navpičnice in geoidne višine v fundamentalni točki, ki so enake 0 ter parametroma Besselovega referenčnega elipsoida. Lega astrogeodetske mreže, ki predstavlja horizontalno referenčno osnovo vseh uradnih baz prostorskih podatkov, je napačna za več sto metrov, zasukana za vrednosti več kot $10''$, merilo pa je napačno do vrednosti 30 mm/km (Stopar et al., 2002c).



Slika 1: Trigonometrična mreža I. reda (Stopar et al., 2001)

2.1.2 Temeljne gravimetrične mreže

Temeljna gravimetrična mreža se uporablja za ustrezno obravnavo višin v okviru višinske temeljne geodetske mreže. V zgodovini sta obstajali na območju Slovenije gravimetrični mreži I. in II. reda bivše Jugoslavije. Gravimetrično mrežo I. reda je tvorilo 15 točk. V Sloveniji je točka v Ljubljani. Konec šestdesetih let prejšnjega stoletja sta bili obe mreži združeni v eno t.i. osnovno gravimetrično mrežo bivše Jugoslavije. To mrežo je tvorilo približno 350 točk, od tega v Sloveniji 32 točk. Meritve so se nanašale na stari potsdamski sistem, ki je temeljil na določitvi absolutne vrednosti težnega pospeška na Geodetskem inštitutu v Potsdamu leta 1900.

V Sloveniji obstajata tudi obsežna regionalna in lokalna gravimetrična izmera, ki ju je izvajal Geološki zavod Slovenije v obdobju po letu 1951. Regionalna izmera je bila opravljena z namenom izdelave regionalne gravimetrične karte Slovenije. Skupno je izmera na celem ozemlju vključevala približno 2800 gravimetričnih točk. Lokalno oz. detajlno izmero so izvajali strokovnjaki Geološkega zavoda Ljubljana za potrebe raziskav v zvezi z nafto in zemeljskim plinom. Popolnejši podatki izmer obstajajo samo za obdobje 1985-1991.

Leta 1995 je Geodetska uprava Republike Slovenije začela z obnovo gravimetričnih mrež na območju Slovenije. Tako je bilo stabiliziranih in opazovanih šest novih absolutnih gravimetričnih točk: grad Bogenšerk, Gotenica, cerkev sv. Areha na Pohorju, Sevniški grad, grad Socerb ter trdnjava Kluže pri Bovcu. Točke imajo izmerjeno absolutno vrednost težnostnega pospeška in sestavljajo osnovno gravimetrično mrežo Slovenije. Izmero ter obdelavo opazovanj so opravili nemški in italijanski strokovnjaki.

Gravimetrični datum je določen v okviru gravimetričnih sistemov, med katerimi sta za naše ozemlje pomembna Potsdamski težnostni sistem (1909-1971), ki je temeljil na absolutni določitvi vrednosti težnega pospeška na Geodetskem Inštitutu v Potsdamu leta 1900 ter med leti 1950-1970 zasnovana nova globalna gravimetrična mreža točk t.i. IGSN71 (International Gravity Standardisation Network 1971). IGSN71 mreža tako predstavlja osnovni gravimetrični sestav, kjer je normalno težnostno polje definirano z GRS80 referenčnim

elipsoidom. Gravimetrično mrežo I. reda bo sestavljalo 12-13 točk ter gravimetrična točka mareografa Koper (Stopar et al., 2001).

2.1.2.1 Geoid v Sloveniji

V fizikalnem smislu se obliki Zemlje najbolj prilega geoid, ki je po Gaussu definiran kot potencialna ploskev zemljinega telesa, ponazorjena s srednjo gladino svetovnih morij in v mislih podaljšana pod celinami. Geoid je zaprta, zvezna nivojska ploskev, ki se širi delno znotraj, delno zunaj Zemlje in je v vsaki točki pravokotna na smer vektorja sile teže. Ukrivljenost in nepravilna oblika geoidne ploskve kaže na nepravilne razporeditve in neenake gostote zemljinih mas. Zaradi teh nepravilnosti geoida ne moremo analitično definirati in ga ne moremo uporabiti kot geodetsko referenčno ploskev za določitev položaja točk. Geoid predstavlja referenčno ploskev za višinske in potencialne razlike, ki jih lahko določimo z gravimetričnimi in nivelmanskimi meritvami. (Lisec, 2002)

Da lahko morsko gladino obravnavamo kot dober približek geoida, moramo definirati srednji nivo morja. Morska gladina je podvržena številnim časovnim in prostorskim spremembam. V daljših časovnih obdobjih lahko obravnavamo morsko gladino kot ekvipotencialno ploskev, vendar se ta spreminja zaradi raznih vplivov. Tako lahko na primer tektonski procesi znotraj zemljine skorje spremenijo morsko gladino za nekaj 100 metrov v obdobju 10^8 let. Velik vpliv na gladino morja v krajših časovnih obdobjih $10^3 - 10^5$ let ima izmenjava vode med ledeniki in oceani. V zelo kratkih časovnih obdobjih vplivata na nivo morja predvsem Luna in Sonce. Posledica njenega izmeničnega privlačnega vpliva se kaže v plimovanju (Kuhar, 2001).

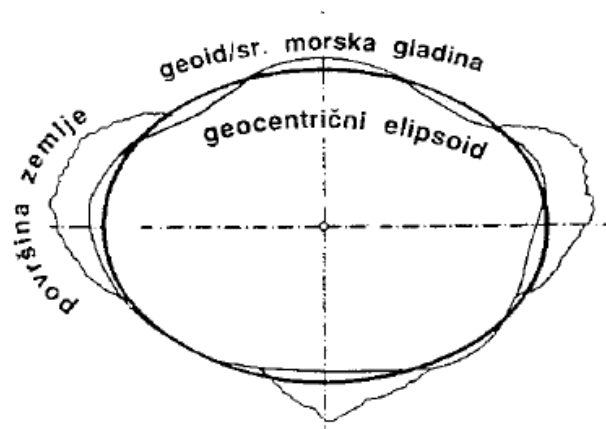
Prve meritve na področju Slovenije za potrebe določitve ploskve geoida so bile opravljene še v času avstroogrške monarhije. V času pred prvo svetovno vojno je bil po poldnevniku Ljubljane izmerjen t.i. geoidni profil. Po drugi svetovni vojni je bila prva objavljena publikacija s področja raziskav težnostnega polja Zemlje za območje nekdanje Jugoslavije doktorska disertacija profesorja Gradbene fakultete v Sarajevu A. Muminagića.

Profesorja K. Čolič in T. Bašič s sodelavci Geodetske fakultete iz Zagreba sta leta 1992 izračunala relativni astrogeodetski geoid, ki zajema območje Slovenije in del Hrvaške. Za izračun tega modela je bilo uporabljenih 117 točk z izračunanimi (izmerjenimi) komponentami odklona navpičnice, od katerih se na ozemlju Slovenije nahaja 32 točk. Geoid je izračunan z metodo »remove-restore« in kolokacijo po metodi najmanjših kvadratov. Kasneje se je pokazalo, da so dobljena odstopanja prevelika in se preveč razlikujejo od merjenih vrednosti (Stopar et al., 2001).

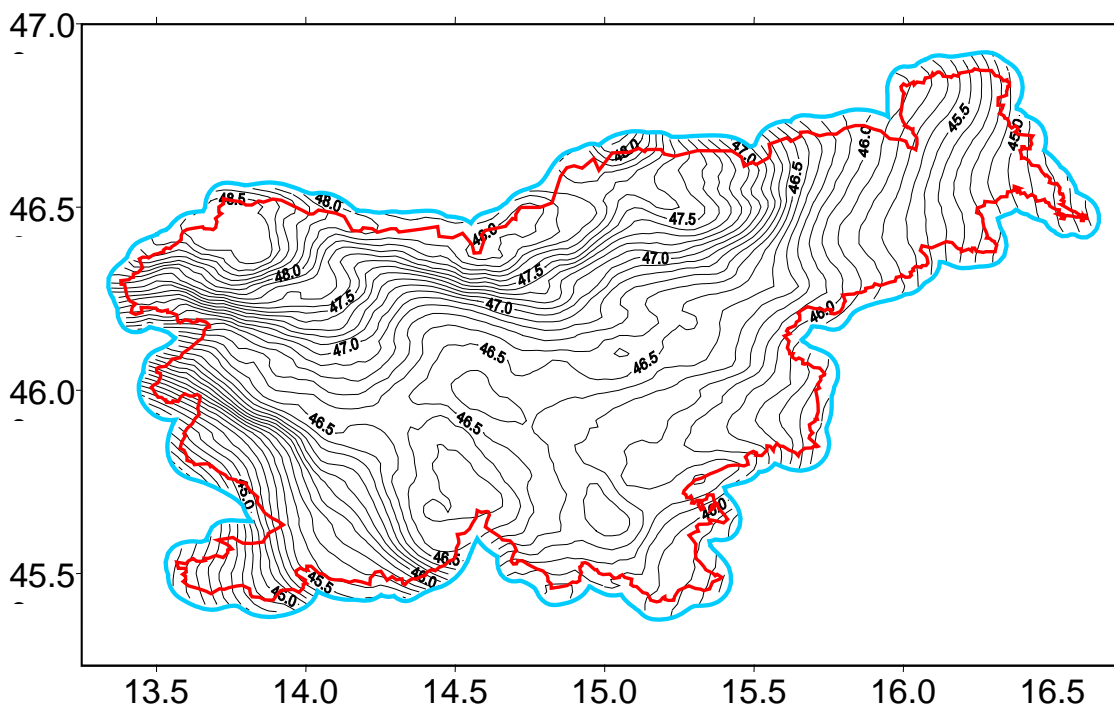
Leta 2000 je bil izračunan nov absolutni geoid na območju Slovenije, ki ga je v okviru doktorske disertacije izračunal B. Pribičević iz Geodetske fakultete v Zagrebu. Pri računanju je uporabil večje število astrogeodetskih meritev in upošteval spremenljivo gostoto Zemljine skorje na osnovi izdelanega digitalnega modela gostote. V izračun je bilo vključenih 98 točk z izračunanimi odkloni navpičnice, in sicer 50 točk z ozemlja Slovenije, ostale točke pa z mejnih območij Avstrije, Madžarske in Hrvaške. V izračun je bilo vključenih še približno 3000 vrednosti anomalij težnosti. Geoid je bil spet izračunan z metodo »remove-restore« z uporabo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov (Stopar et al., 2002b).

Za odstranitev dolgovalovnega vpliva težnostnega polja Zemlje (korak "remove") je bil uporabljen globalni geopotencialni model EGM96. To je prvi tovrstni geopotencialni model, ki je bil določen tudi s podatki z ozemlja Slovenije. Poleg tega so bili za izračun vpliva topografskih mas na merjene količine uporabljeni še fini digitalni model reliefa - DMR (v rastru 11.25"×18.75"), grobi DMR (v rastru 90"×150") in podatki o gostoti površinskih topografskih mas v obliki digitalnega modela gostote - DMG v istih rastrih.

Kot rezultat je bil pridobljen model geoida v katerem so podane geoidne višine v pravilni mreži točk z rastrom 1'×1.5'. Geoidne višine so podane glede na globalni geocentrični elipsoid GRS80. Absolutna orientacija geoida je opravljena na osnovi geoidnih višin, ki so izračunane iz razlik elipsoidnih višin h (določenih s pomočjo GPS meritev) in normalnih ortometričnih višin H , določenih s preciznim nivelmanom. Skupaj je bilo uporabljenih več kot sto točk z znanimi geoidnimi višinami. Natančnost izračunanih geoidnih višin je povprečno 3 cm, vendar je ta višja na območjih, kjer je število točk z znanimi geoidnimi višinami (GPS/nivelman) večje (Stopar et al., 2001).



Slika 2: Zemlja, geoid, elipsoid (Kuhar, 2001)



Slika 3: Globalni geoid Slovenije (Stopar, 2005)

2.1.3 Višinske temeljne geodetske mreže

Višinske temeljne geodetske mreže uporabljamo za določitev »nadmorske« višine točk. Višinsko osnovo državnega ozemlja predstavljata višji in nižji red višinske temeljne geodetske mreže.

V višji red višinske temeljne geodetske mreže spadajo (Stopar et al., 2002c):

- nivelmanska mreža velike natančnosti (NVN)
- nivelmanska mreža I. reda
- nivelmanska mreža II. reda
- mestna nivelmanska mreža I. reda

V nižji red višinske temeljne geodetske mreže pa spadajo:

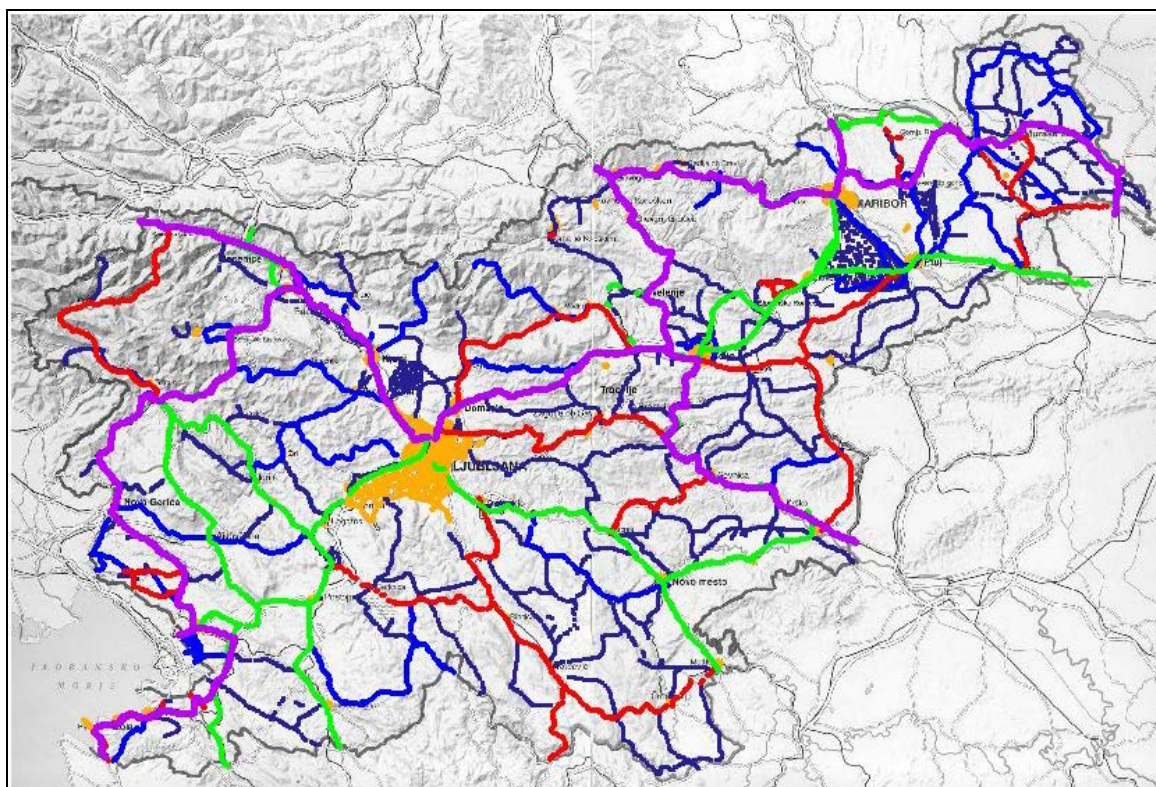
- nivelmanska mreža III. reda
- nivelmanska mreža IV. reda
- mestna nivelmanska mreža II. reda

Po preračunu nivelmanske mreže Slovenije, ki je bil opravljen v letih 1999 in 2000, sestavlja nivelmansko mrežo Slovenije sedem nivelmanskih zank. V nivelmanske zanke so vključeni nivelmanski vlaki iz I. izmere NVN, II. izmere NVN in izmer nivelmanskih vlakov mreže I. reda, ki so jih izvedli po letu 1985. Posamezne nivelmanske zanke na območju Slovenije so lahko zaključene le s pomočjo izmer na območju Hrvaške.

V okviru višinske geodetske mreže so višine točk – reperjev, predstavljene z nadmorskimi višinami. Nadmorske višine reperjev nivelmanske mreže Slovenije so podane v sistemu t.i. normalnih ortometričnih višin. Normalne ortometrične višine so začeli uporabljati v preteklosti, ker so bile meritve težnosti zapletene in dolgotrajne. Tako so namesto izmerjene vrednosti težnosti uporabljali izračunane vrednosti.

V Sloveniji imamo, glede na uporabo normalnih ortometričnih višin za referenčno ploskev, ploskev, ki ne sovпада najboljše z geoidom; verjetno je bliže (lokalnemu) kvazigeoidu kot geoidu, tako kot so normalne ortometrične višine bliže normalnim višinam kot ortometričnim višinam. Normalne ortometrične višine se torej ne nanašajo na nobeno standardno referenčno ploskev, nimajo geometrijskega pomena in niso enolične. (Berk et al., 2003)

Nivelmanska mreža je navezana na fundamentalni reper FR 1049, ki je stabiliziran v bližini Ruš. Fundamentalni reper je bil stabiliziran za potrebe izmere avstroogrške nivelmanske mreže. Nadmorska višina fundamentalnega repera je določena v t.i. višinskem datumu Trst, saj normalni reper za navezavo avstroogrške nivelmanske mreže na ničelno nivojsko ploskev predstavlja reper na pomolu Sartorio v Trstu (Stopar et al., 2002c).



Slika 4: Nivelmanska mreža Slovenije (Stopar, 2005)

2.1.3.1 Vertikalni datum Slovenije v času Avstroogrške in Jugoslavije

Prve višinske meritve na našem ozemlju so bile navezane na mareograf na pomolu Sartorio v Trstu, in sicer na nivo morja, ki je bil določen v letu 1875. Prvič so se nivelmanske meritve vezale na novo višinsko izhodiščno točko z izvajanjem del II. nivelmana visoke natančnosti Jugoslavije v letih 1968-1972, in sicer na normalni reper v Maglaju (BIH). Višina slednjega je bila določena na osnovi opazovanj nivoja morja mareografov, razporejenih vzdolž jadranske obale.

Nadmorska višina normalnega reperja je bila določena na osnovi enoletnih opazovanj nivoja Jadranskega morja v letu 1875. V avstroogrski monarhiji so višino normalnega reperja določili na osnovi enoletnih opazovanj zato, ker so v teh letih v Evropi želeli povezati srednje nivoje Sredozemskega morja s severnimi morji in tako določiti enotni normalni reper za celo Evropo (Stopar et al., 2002c).

Že v Avstro-Ogrski monarhiji in kasneje v Jugoslaviji so se mnogi geodeti in geofiziki ukvarjali z določitvijo srednjega nivoja morja (Bilajbegović, A., 1991 povz. po Lisec, A., 2002). Tako je leta 1904 Sterneck opozoril na neustrezno enoletno določitev srednjega nivoja morja. Na osnovi opazovanj mareografa v Trstu v letih 1875-1878 (brez 1877) in 1901-1904 je ugotovil, da je višina normalnega reperja v Trstu iz leta 1875 prevelika za 8.99 cm. Do podobnih rezultatov je pripeljalo tudi določevanje srednjega nivoja Jadranskega morja na osnovi meritev mareografov vzdolž obale bivše Jugoslavije. Kasumović (1950) je pri opazovanju srednjega nivoja morja v Bakarju (1931-1933, 1935, 1937, 1938) ugotovil, da je srednji nivo morja, določen leta 1875 v Trstu, prenizek za 8.93 cm. S kasnejšimi raziskavami so se v literaturi pojavile različne vrednosti odstopanja ničelnega nivoja morja iz leta 1875 od realne vrednosti. Tako je Bilajbegović na osnovi opazovanj na mareografu v Bakarju (1962.2-1980.8) določil odstopanje višine avstrijskega nivelmana za + 3.83 cm. Raziskava mareografa v Trstu (1960-1978), ki jo je izvajal Istituto Talassografico iz Trsta, je pokazala odstopanje višine ničelnega reperja za +18.5 cm (Lisec, 2002).

Ker so s temi raziskavami ugotovili, da je srednji nivo Sredozemskega morja nižji od srednjega nivoja severnih morij za približno 13 cm, so se odločili, da ne bodo določili enotnega normalnega reperja za celo Evropo, temveč bodo posamezne države obdržale svoje normalne reperje (Stopar et al., 2002c).

V Sloveniji se višine, ki so bile navezane na fundamentalni reper v Maglaju, zaradi razpada Jugoslavije niso uveljavile, tako da so uradne višine še danes vezane na mareograf v Trstu. Z uveljavljanjem skupnega višinskega sistema Evrope je vse bolj zanimiva povezava naše višinske referenčne (ničelne) točke z mareografom v Amsterdamu, ki predstavlja nivojsko ploskev evropskega višinskega sistema (Lisec, 2002).

2.2 Določevanje srednjega nivoja morja

Srednji nivo morja določamo kot povprečje dolgoletnih opazovanj na merilnih mestih, razporejenih vzdolž obale. Instrumenti na teh merilnih mestih, ki zaznavajo srednji nivo morja, so mareografi.

Za kvalitetno registracijo je pomembno stalno vzdrževanje mareografa. Zgornja meja natančnosti dnevne registracije znaša 1 mm. Za izhodišče določitve ničelne nivojske ploskve se običajno jemlje povprečje srednjih nivojev morja, izračunanih v časovnem obdobju najmanj 18.6 let, kar je Lunina perioda (Kuhar, 2001).

V bližini mareografa se nahaja višinska referenčna točka, reper mareografa (ang. Tide Gauge Benchmark - TGBM), ki jo z nivelmanom navežemo na državno nivelmansko mrežo. Reper mareografa (TGBM) predstavlja osnovo za višinski sistem, glede na katerega se določa lega ničelne nivojske ploskve. Stabiliziran je na geološko stabilnem območju.

V mrežo mareografov za potrebe EUVN (European Vertical Reference Network) so vključene tri vrste mareografov:

- mareografi, ki so osnova nacionalnim višinskim sistemom in imajo nepoškodovan normalni reper,
- mareografi, ki so vključeni v GLOSS (The Global Sea Level Observing System),
- mareografi, ki že dlje časa obratujejo oziroma so bili opazovani tudi z GPS.

V mrežo je danes vključenih 79 mareografov, ki so bili vključeni v EUVN97 GPS izmero. Pri izboru le-teh je pomembna tudi geografska razporejenost. 54 mareografov je vključenih v mednarodni program opazovanja srednjega nivoja morja PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level).

2.3 Absolutni in relativni nivo morja

Oceanografi uporabljajo mareografe za zapisovanje zgodovine nivoja morja z ozirom na spodaj ležečo čvrsto zemljo, kar je običajno kopno ali priobalni podmorski podaljšek kopnega, lahko pa je tudi led. Položaj morske gladine glede na globalni datum kot je ITRF sistem je znan kot absolutni nivo morja (ang. Absolute sea level – ASL), začasna spremenljivost te morske gladine pa je znana kot absolutna sprememba nivoja morja. Vertikalni premik kopnega ali morskega dna ali bolj splošno, litosfere glede na ITRF elipsoid, je znan kot absolutni vertikalni zemeljski premik. Razlika med tema dvema premikoma, ki določata premik morske gladine glede na bližnje kopno ali spodaj ležeče morsko dno, je tako imenovana relativna sprememba nivoja morja (ang. relative sea level – RSL change).

V principu s satelitskim višinomerstvom merimo absolutne nivoje morja, medtem ko mareografi beležijo relativne nivoje morja. Če je na nekaj točkah na obali postavljena tudi permanentna GPS postaja ali kakšna druga satelitska geodetska tehnika za merjenje vertikalnih premikov zemeljske skorje, lahko te meritve uporabimo za transformiranje dvigovanja relativnega nivoja morja v dvigovanje absolutnega nivoja morja ali obratno. V praksi mora biti ta transformacija narejena z veliko pazljivostjo. Zelo primerno je, da so vse tri meritve opravljene na omejenem številu izhodiščnih položajev po svetu, tako da lahko preverimo

rezultate meritev in s tem potrdimo individualne meritvene sisteme (http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html).

2.4 Omrežje permanentnih GPS postaj v Sloveniji

Državno omrežje permanentnih GPS postaj – SIGNAL (SlovenIja-Geodezija-Navigacija-Lokacija) je del osnovnega geodetskega sistema in je sestavljeno iz:

- servisa za določitev položaja v novem državnem koordinatnem sistemu ESRS,
- omrežja GPS postaj,
- službe za GPS.

Omrežje sestavlja mreža 15 permanentnih GPS postaj. Izgradnja tega omrežja se je začela s postavitvijo prve stalno delujoče postaje v Ljubljani v oktobru 2001.

Z vse večjim številom uporabnikov, razširjanjem storitev ter prehodom na nov koordinatni sistem, se bodo v okviru službe za GPS izoblikovali trije segmenti:

- operativni center, ki bo zagotavljal stalno delovanje omrežja permanentnih postaj GPS v praksi,
- podatkovni center, ki bo skrbel za pridobivanje, arhiviranje in posredovanje podatkov GPS opazovanj v realnem času kot tudi za naknadno obdelavo opazovanj,
- analitični center, ki bo skrbel za definiranje in vzdrževanje državnega koordinatnega sistema kot tudi za povezavo koordinatnega sistema, omrežja permanentnih postaj GPS in službe za GPS (Stopar et al., 2002a).

Permanentne GPS postaje bodo postavljene tako, da bo na celotnem ozemlju Slovenije v vsaki točki prostora vsaj ena permanentna GPS postaja bliže od 25 km, oziroma bodo hkrati vsaj tri permanentne postaje bliže od 60 km. Pri takšni zasnovi omrežja bo mogoča uporaba geodetskih storitev na celotnem državnem ozemlju.

Omrežje permanentnih postaj GPS skupaj z omrežjem stabiliziranih točk GPS v ETRS89 koordinatnem sistemu predstavlja materializacijo horizontalnega dela koordinatnega sistema.

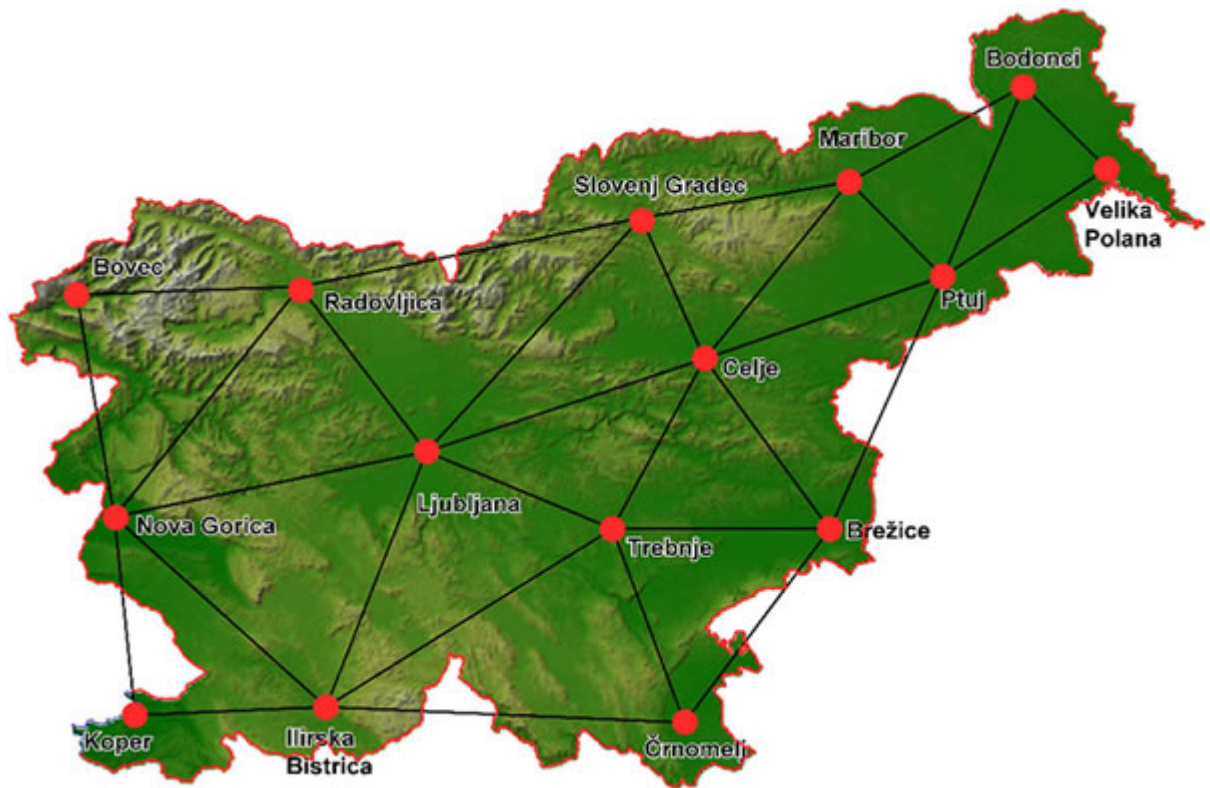
Naloge omrežja so predvsem (Stopar et. al., 2002a):

- praktična realizacija aktualnega ITRS koordinatnega sistema na našem ozemlju,
- praktična realizacija ETRS89 koordinatnega sistema na našem ozemlju,
- obravnava geodinamičnega dogajanja, tako v globalnem kot lokalnem smislu, ki je potrebno za definiranje terestričnih koordinatnih sistemov na našem ozemlju,
- neprekinjeno vzdrževanje koordinatnega sistema,
- izvajanje aktivnosti, potrebnih za vzpostavitev višinskega koordinatnega sistema,
- zagotavljanje potrebnih informacij uporabnikom koordinatnega sistema.

Omrežje permanentnih GPS postaj predstavlja permanentna GPS postaja Ljubljana, ki je del EPN ter še dodatnih 14 permanentnih GPS postaj po Sloveniji kot to prikazuje slika 5. Permanentne GPS postaje vzpostavlja in upravlja Geodetska uprava Republike Slovenije.

V omrežju SIGNAL je do sedaj operativnih že 14 permanentnih GPS postaj. V omrežje je vključenih tudi 5 permanentnih GPS postaj avstrijskega omrežja APOS ter 1 permanentna GPS postaja Zagreb. Prav tako je 5 permanentnih GPS postaj iz našega omrežja vključenih v avstrijsko omrežje.

Omrežje permanentnih postaj GPS naj bi zagotovilo možnost določanja položaja s centimetrsko točnostjo na območju vseh intenzivnih urbanih sredin v realnem času. Izpolnjevati mora zahteve vseh uporabnikov omrežja in sistema GPS in omogočati določitev položaja od metrske natančnosti v načinu DGPS do centimetrske natančnosti v načinu RTK-GPS (Stopar et al., 2002a).



Slika 5: PGPS postaje v omrežju SIGNAL (<http://www.gu-signal.si/index.htm>)

3 MAREOGRAF

Že od nekdaj so strokovnjaki, ki opazujejo oceane, poskušali meriti spremembe nivoja morja, zato da bi razumeli mehanizme, ki povzročajo pojave kot so plima, oseka ter katastrofalne poplave povzročene z neurji in cunami. Študije plimovanja oceanov imajo posebno bogato zgodovino, ki združuje vsakdanje spremembe nivoja morja z gibanjem Lune in Sonca. Tako je sedaj že znano, da se nivo morja spreminja po vsej časovni skali, od sekund (npr. zaradi valov, ki jih povzroča veter) do milijon let (zaradi premikov kontinentov). Naprave, ki se uporabljajo za takšne meritve so mareografi.

Spremljanje (merjenje) sprememb nivoja morja se opravlja s pomočjo osnovnih oceanografskih instrumentov:

- Mareografa, ki neprestano meri spremembe nivoja morja v času na eni lokaciji oziroma v eni točki
- Satelitskega višinomera (ang. satellite altimeter), ki meri višinske spremembe nivoja morja v prostoru in času, z grobo časovno razločnostjo v odvisnosti na mareografe.

Mareografi so naprave, ki z direktno ali indirektno metodo merijo spremembe nivoja morja v času večje od minute.

Z direktno metodo odčitavamo zapis višine nivoja morja, ki ga pridobimo s pomočjo sistema plovec - protiutež ali s pomočjo radarskega/akustičnega snopa. Z indirektno metodo merimo pritisk v morju, pri čemer se na osnovi znanega zračnega pritiska, globine senzorja in gostote stolpca morja s pomočjo hidrostatske aproksimacije lahko določi višina nivoja morja.

Pomembna sestavna dela vseh mareografov sta kontaktna točka in reperji mareografa. Kontaktna točka definira mareografsko konstanto, reperji pa kontrolirajo stabilnost področja na katerem se nahaja mareograf. To področje je velikokrat pod vplivom lokalnih premikov tal.

Mareografska konstanta predstavlja vsoto merjene višine nivoja morja in oddaljenost med kontaktno točko in morsko površino, oziroma oddaljenost med zamišljeno mareografsko ničlo, ki se nahaja pod morsko gladino in kontaktno točko. Ta vrednost mora biti vedno enaka in se kontrolira enkrat do dvakrat na leto. Priporočljivo je, da so mareografi vezani na vsaj pet geodetskih reperjev, povezavo med njimi pa naj bi opravljali v stalnih časovnih razmikih. Poznavanje lokalnih vertikalnih gibanj in stabilnosti tal je izrednega pomena za analizo sprememb nivoja morja v daljših časovnih obdobjih. To pa je nujen predpogoj za analizo in raziskovanje podnebnih sprememb in trendov, ki so izredno aktualni v današnjem času globalnega porasta nivoja morja. Torej redno servisiranje vsakega mareografa vključuje preverjanje dela samega sistema, stabilnosti reperja mareografa ter kontrolo mareografske konstante (<http://skola.gfz.hr/m1.htm>).

3.1 Vrste mareografov

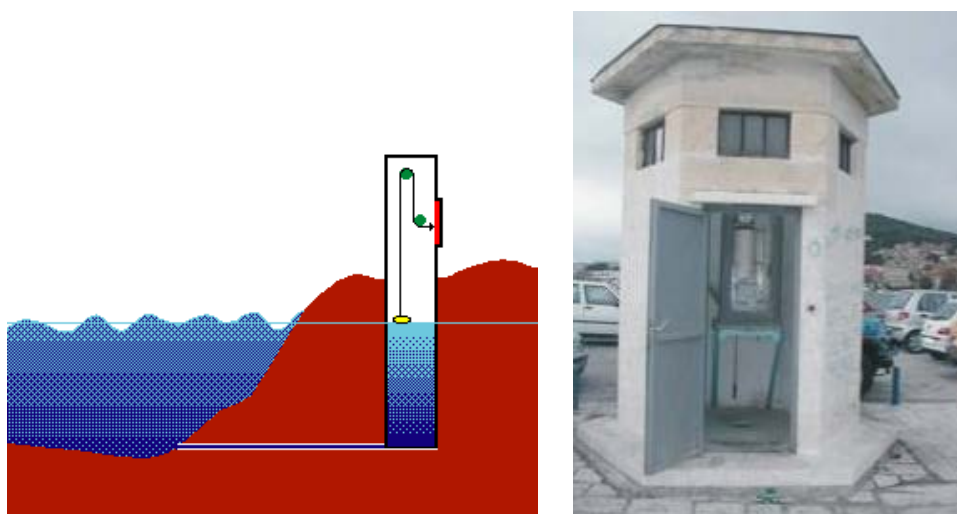
Mareografi imajo dolgo zgodovino. Prve naprave so bila enostavna zaznamovanja napisana na skale, na zidovju ali na plošči na vhodu v pristanišča, kjer so se meritve nivoja morja opravljale vizualno. Na takšen način so bili pridobljeni dolgi zapisniki višin nivojev morja, zbranih iz različnih evropskih pristanišč. Večina meritev je bilo omejenih na opazovanja samo visoke ali nizke vode. Izkazalo se je, da so podatki o srednje visokih vodah, srednje nizkih vodah in kombinaciji obeh (srednja višina morja) velikega pomena za študije podnebnih sprememb. V letu 1830 se je pojavil prvi mehanski mareograf, ki je imel podobno obliko kot moderni mareograf. Opremljen je bil z urami, risalniki, nepremičnim vodnjakom in plovčkasto priredbo za dušenje visokofrekvenčne aktivnosti valov (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

Danes poznamo že več vrst mareografov. Ti so po načinu dela lahko:

- mehanski
- tlačni
- akustični
- radarski

3.1.1 Mehanski mareograf

Je najbolj osnoven tip mareografov. Pogosto se nahaja v objektu, kjer meri spremembe nivoja morja v nepremičnem vodnjaku. Mareograf je z morjem povezan s spojno cevjo. Sistem vodnjaka in spojne cevi duši kratkoperiodične površinske valove, prepušča pa samo dolgoperiodične oscilacije, ki se mehansko zapisujejo na papir ali v digitalni obliki v delovni spomin.



Slika 6: Shema delovanja mehanskega mareografa v sistemu vodnjaka in spojne cevi (levo) in objekt s klasičnim mareografom s plovcem (desno) (<http://skola.gfz.hr/m1.htm>)

V tem sistemu se nivo morja meri z določitvijo dolžine žice plovca relativno glede na raven, ki je pritrjena na reper. Prednosti tega sistema so, da ga je bolj ali manj lahko namestiti in z njim operirati, predvsem pa daje zelo direktne meritve nivoja morja. Vodnjak ni popolnoma odprt, ampak se proti morju odpira le z majhno odprtino na dnu vodnjaka. Metoda, pri kateri voda lahko vstopa v vodnjak, zagotavlja mehanično filtriranje visokofrekvenčnih sprememb površinskih valov. Vendar pa se pri tej odprtinski metodi pojavlja tudi nekaj dinamičnih napak in drugih problemov. Takšne posledice lahko delno odpravi skrbno izdelana naprava in natančno delovanje njenega sistema (http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/ioc_14ii.pdf).

3.1.2 Akustični mareograf

Njihov princip je merjenje potovalnega časa akustičnih impulzov, ki se odbijajo vertikalno od zračno/morske mejne ploskve. Obstajata dva tipa akustičnih mareografov:

- akustični mareograf brez zvočne cevi
- akustični mareograf z zvočno cevjo

Merjenje se lahko opravi na prostem z akustičnim spreminjevalcem, ki je nameščen vertikalno nad morsko gladino. V tem primeru so v določenih okoliščinah odbiti signali lahko izgubljeni. Zato, da bi zagotovili neprekinjeno in zanesljivo delovanje, so akustični impulzi običajno zadržani znotraj vertikalne cevi ali studenca, kar lahko zagotovi, da morska gladina do neke mere miruje. Srednja vrednost meritev bo zaradi mirnega učinka podajala boljšo natančnost.

Za natančno pretvarjanje časa potovanja akustičnih impulzov v srednji nivo morja, je potrebno znanje o hitrosti zvoka med akustičnim spreminjevalcem in morsko gladino. Hitrost zvoka se lahko spreminja v odvisnosti od sprememb temperature in vlage (okoli 0.17%/°C), zato so za natančnost meritev nivoja morja nujno potrebni popravki. Najbolj enostavna metoda je neprestano merjenje temperature zraka v točki zračnega stolpca in uporaba le-te pri izračunu hitrosti zvoka. Da bi utemeljili temperaturne gradiente v zračnem stolpcu so v večih ravneh nameščeni temperaturni senzorji.

Bolj natančna metoda kompenzacije je uporaba akustičnega reflektorja na vedno istem nivoju v zračnem stolpcu. S povezavo odboja od morske gladine in odboja od nepremičnega reflektorja je mogoče dobiti takojšnje popravke za spremembe v hitrosti zvoka med akustičnim spreminjevalcem in nepremičnim reflektorjem. To pa še vedno ne utemeljuje spremembe v hitrosti zvoka med nepremičnim reflektorjem in morsko gladino. Za doseganje popolne kompenzacije bi bili potrebni številni nepremični reflektorji, ki bi pokrivali celotno mareografsko območje (http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/ioc_14ii.pdf).

3.1.3 Tlačni mareograf

Tlačni mareograf zapisuje vrednosti tlaka v morju, pri čemer direktno meri tlak na neki globini ali pa meri ravnotežni tlak s pomočjo tako imenovanega sistema mehurčkov (ang. bubbler pressure gauge).

Slika 7 prikazuje temeljne osnove mehurčkastega sistema. Plin prehaja vzdolž male odprtine v cevi do tlačne točke, ki je pritrjena pod vodnim jaškom in sicer pod najnižje pričakovano raven. Tlačna točka je ponavadi oblike kratkega vertikalnega cilindra, ki je na vrhu zaprt in odprt na dnu. Na polovici cilindra je zvrtna majhna odprtina. Zrak vstopa skozi povezavo na površju. Ko zrak iz cevi doseže tlačno točko, se stisne ter potiska vodo navzdol v komoro vse dokler ni dosežena iztisna raven, kjer zrak iztisne mehurčke iz luknje nazaj do površja. Pod pogojem da je zračni dotok nizek in da dovodna cev ni neprimerno dolga se zdaj enači pričakovan pritisk do globine vode nad iztisno ravnjo, vključno z atmosferskim pritiskom. Instrument, ki zapisuje tlak in je povezan z dovodno cevjo sedaj zapisuje spremembe nivoja morja kot spremembo tlaka v skladu z enačbo:

$$h = (p - p_a) / (\rho g) \quad (2)$$

$$p = \rho g h + p_a$$

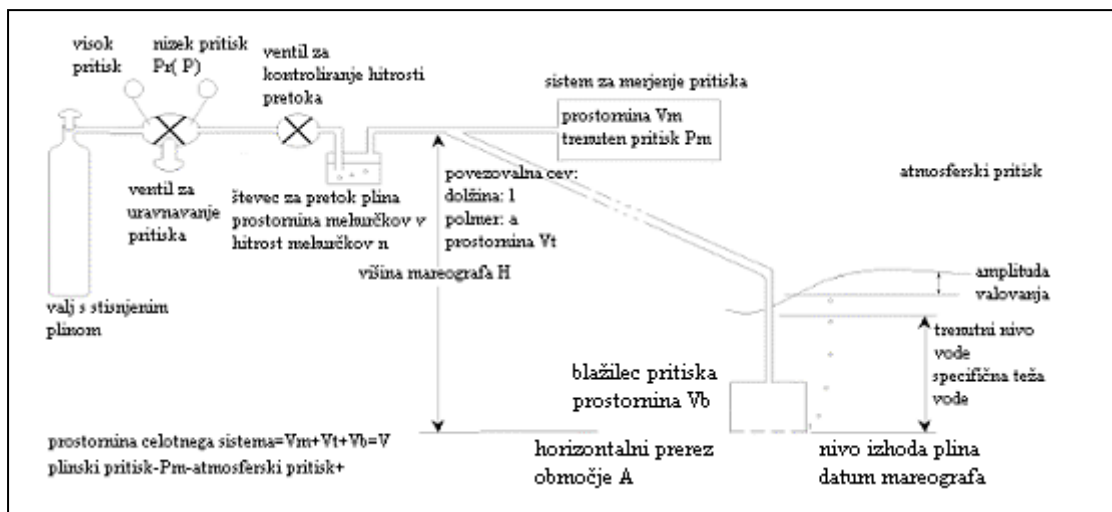
$$\rho = \text{gostota vode}$$

$$g = \text{gravitacijska konstanta}$$

$$h = \text{globina vode nad iztisno ravnjo}$$

$$p_a = \text{atmosferski pritisk}$$

Večina tlačnih mareografov, ki uporabljajo mehurčkast princip, delujejo na diferencialen način. Senzorji so zgrajeni tako, da je tlačni sistem obratnosorazmeren z atmosferskim pritiskom znotraj instrumenta (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).



Slika 7: Osnovni tlačni mehurčkast sistem

(<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>)

3.1.4 Radarski mareograf

Veliko podjetij dandanes rajši uporablja instrumente, ki beležijo spremembe morske gladine tako, da namesto zvoka uporabljajo čas potovanja impulza radarja. V principu mora biti radar neobčutljiv na temperaturne spremembe, katere pa vplivajo na akustične mareografe. Radarski sistem deluje na podoben princip kot akustični sistem, vendar na drugih frekvencah in z drugo vrsto oddanega signala.

Primer radarskih mareografov je instrument Kalesto podjetja Ott. Instrument oddaja radarski vir iz senzorja na gladino vode. Senzor pošilja impulze in sprejema odbite impulze, pri tem pa meri čas potovanja ter domet impulzov. Da bi bili zagotovljeni neovirani odboji, ne sme biti v širini 5° od žarka nobenih struktur (npr. pristaniških zidov). Izkušnje v Franciji so pokazale, da sistem ne more biti uporabljen v mirujočih vodnjakih. Sistem je bil primarno narejen za nadzorovanje rečnih gladin (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).



Slika 8: Radarski in tlačni mareograf Kalesto podjetja OTT-Hydrometrie
(<http://skola.gfz.hr/m1.htm>)

Podjetje Krohne je naredilo novi radarski napravi za merjenje nivoja morja. To sta napravi OPTIWAVE in OPTIFLEX. Napravi imata dobro zanesljivost delovanja in ju je zelo lahko uporabljati. Dobro delujeta v dejanskih pogojih. KROHNE senzorji so izredno odporni na korozijo in niso lepljivi. Oba, OPTIWAVE in OPTIFLEX, dosejata visok standard natančnosti (+/-3 mm).

KROHNE OPTIWAVE je dvožični radar za merjenje nivojev morij. Temelji na neprenehnem frekvenčno moduliranem kontinuiranem valovanju (ang. Frequency Modulated Continuous Wave - FMCW). Njegov 26 GHz FMCW radarski sistem skupaj z zelo visokim dinamičnim reagiranjem in velikim ter širokim jermenom omogoča doseganje visoke resolucije, natančnosti in zanesljivost delovanja. Visoka signalna dinamika KROHNE OPTIFLEX omogoča stabilne in natančne meritve (http://www.krohne-mar.com/IFAT_2005__KROHNE_radar_level_gauges__the_measure_of_all_things.10077.0.html).

Glede na to, da je radarski impulz prenesen kot osnovni val med žicama, bi lahko bil razvit tudi v nepremičnem studencu. Radarski sistem, ki je brez zaščitne cevi, je enostavnejši za vzdrževanje kot tudi za kontrolo mareografske konstante.

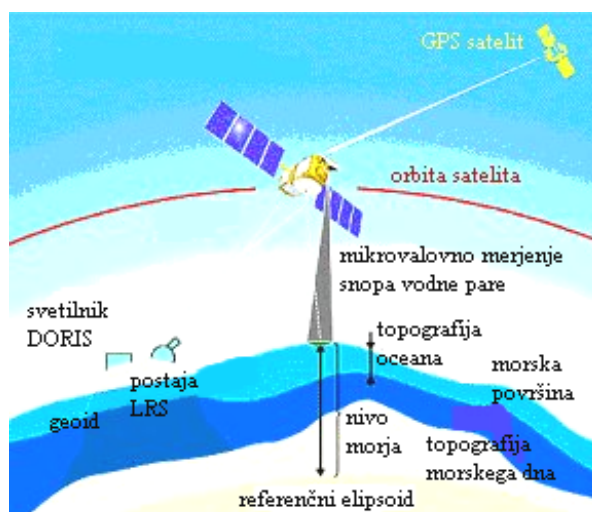


Slika 9: Radarski mareograf podjetja KROHNE (http://www.krohne-mar.com/IFAT_2005___KROHNE_radar_level_gauges___the_measure_of_all_things.10077.0.html)

3.2 Satelitska altimetrija

Na oceanskih območjih je možno neposredno izmeriti nivo morske gladine s pomočjo satelitske altimetrije. Sateliti, ki krožijo okoli Zemlje, odajajo radarske impulze pravokotno na morsko gladino. Impulzi se po odboju vrnejo nazaj v altimetre na satelitu. Merjenja je potrebno dopolniti z natančno določenimi tirnicami satelita, na podlagi česar se lahko določi topografija oceana, ledu in kopnega glede na standardni geodetski elipsoid. Srednja topografija morja je zaradi nehomogenosti oblike in sestave Zemlje v oceanih in gorskih verigah lahko glede na elipsoid premaknjena tudi za več kot 60 m.

Satelitsko določevanje trenutne topografije površine morja se odvija vzdolž potovanja satelitov, ki periodično prehajajo preko istih poti. Višina gladine morja se računa z odvzemanjem trenutne od srednje topografije površine morja. Perioda enega cikla satelita TOPEX/Poseidon, ki je v uporabi od 1992 in Jason-1, ki je v orbiti od 2002, je okoli 10 dni. Zaradi tega satelit ne more meriti/zaznati procesov na manjših periodah, lahko pa odredi karakteristike pravilnih signalov, na primer amplitude in faze plimnih komponent v oceanih. Preciznost določevanja topografije morja je na centimetrski stopnji, tako da se s pomočjo polja gladine morja lahko izračunajo tudi tokovi v oceanih (<http://skola.gfz.hr/m1.htm>).



Slika 10: Shema delovanja Jason-1 satelitskega višinomera
(<http://skola.gfz.hr/m1.htm>)

3.3 Pojmi, ki se nanašajo na mareograf

3.3.1 Datumi in reperji

V vsakdanjih stvareh podzavestno uporabljamo datume. Tako na primer kadar rečemo, da je drevo visoko 10 m, spontano domnevamo, da so zemeljska tla datum, od katerega merimo višino. Če hočemo določiti višino visoke stavbe na nagnjenih tleh potrebujemo več informacij za določitev »višine«, saj naš datum ne morejo biti več neizravnana tla. V takem primeru potrebujemo drugo, jasno definirano točko za naš referenčni datum. Na enak način se morajo tudi opazovanja gladine morja nanašati na nek fiksni datum.

Za opazovanje nivoja morja je kot primarna referenčna točka uporabljen kopenski reper, t.i. reper mareografa (TGBM). Ta reper je jasno označena točka, nameščena na stabilni površini, kot je na primer izpostavljena skala, pristaniški zid ali stabilna stavba. Če je reper mareografa stabiliziran na horizontalni površini ima ponavadi obliko okrogle, medeninaste glave, kjer najvišja točka glave predstavlja referenčni nivo. V primeru, da je reper stabiliziran na vertikalni površini, je lahko oblike horizontalnega žlebiča ali utora. Lahko je stabiliziran na kovinskem sistemu, pripetem na površino.

V praksi se ni izkazalo za dobro, da bi se nanašali na stabilnost samo enega reperja. Po priporočilih IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) je priporočljivo, da bi bilo najmanj 5 reperjev znotraj 100 metrov do 1 km v oddaljenosti od mareografa. Tako imamo v primeru uničenja katerega od reperjev možnost navezave mareografskih opazovanj na drug reper, ki nam predstavlja isto osnovo. Če v daljšem časovnem obdobju v opazovanjih ne bi bilo nobenih sprememb, lahko zanesljivo domnevamo, da je območje okoli mareografa »stabilno«. Pristaniško območje lahko seveda kaže vertikalna gibanja glede na širše območje. To se lahko nazorno prikaže samo z niveliranjem širšega območja ali z GPS meritvami.

Zaželjeno je, ne pa tudi nujno, da so vsi reperji povezani v državno višinsko mrežo in periodično ponovno izmerjeni glede na to mrežo. Reperji bi tako dobili višine, ki se bi

nanašale na datum državne mreže. Priporočljivo je, da višine točk v višinski državni mreži po določenem času ponovno izmerimo. Zaradi teh razlogov se v študijah določitve višine gladine morja za znanstvene namene ne naslanjamo na informacije državne mreže, čeprav lahko kdaj pridobimo tudi zanimive dodatne informacije. Pomembno je, da so reperji jasno identificirani ter da vsebujejo napis imena ali številke. Dodatno morajo biti tudi nedvoumno dokumentirani v mareografskih meta podatkih z opisom same označbe, fotografijo, pozicijo v državni referenčni geodetski mreži in lokalni pristaniški karti (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

3.3.2 Reper mareografa

Reper mareografa (ang. Tide Gauge Benchmark - TGBM) je izbran kot glavni reper mareografa iz niza reperjev stabiliziranih v bližnji okolici mareografa. Ta reper je izjemno pomemben, ker služi kot datum na katerega se bodo nanašale vrednosti višine gladine morja. Izbira reperja mareografa je nekako subjektivna. Načeloma mora biti reper mareografa »najbolj stabilen« ali »najbolje zavarovan« reper iz niza reperjev mreže mareografa.

Velikokrat je izbran reper, ki je najbližje mareografu. Možno je, da bo kasneje prišlo do ponovnega definiranja reperja mareografa zaradi uničenja originalnega mareografa kot posledica razvijanja pristanišča. Prednost niza večih reperjev na območju mareografa je, da omogočajo definiranje novega reperja mareografa, v primeru uničenja posameznega reperja. (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

V nekaterih državah je bila zgodovinska praksa definirati več reperjev za reper mareografa. Za mareografski datum so nato uporabili nekakšno uteženo povprečje posameznih reperjev. Za GLOSS je priporočeno uporabljati enojen, edinstven reper mareografa kot standard.

3.3.3 GPS reper

GPS reper (ang. GPS Benchmark – GPSBM) je referenčna točka za GPS meritve v bližini mareografa. Na nekaterih aktivnih pristaniščih je lahko GPS reper oddaljen nekaj sto metrov od reperja mareografa in mareografa. Kot ostali reperji, mora biti tudi GPS reper v rednih intervalih povezan z reperjem mareografa z nivelmanom visoke natančnosti (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

3.3.4 Kontaktna točka mareografa

Kontaktna točka (ang. Contact Point – CP) mareografa je tip »reperja« ali vertikalnega referenčnega znamenja, povezana z mareografom. Po vzpostavitvi geodetske povezave reperja mareografa in kontaktne točke je omogočeno, da se podatki o nivoju morja na mareografu nanašajo na datum reperja mareografa. Poudariti je potrebno, da določimo/izberemo kontaktno točko za vsak mareograf posebej. To pomeni; če je na območje nameščen drug tip mareografa, bo z novim mareografom povezana druga kontaktna točka. To bo zahtevalo nove geodetske povezave z reperjem mareografa.

Pri navadnem mareografu s plovcem bo kontaktna točka pogostokrat nameščena na vrhu vodnjaka znotraj mareografske hišice. Včasih, predvsem pri starih postajah, je bila kontaktna točka nameščena na najbolj problematičnih in nedosegljivih lokacijah za izvedbo izmere. Nove postaje morajo tako zagotavljati hiter dostop do točke.

V primeru mareografa s plovcem, ki je nameščen v mareografski hišici, kontaktna točka ne sme biti uporabljena kot reper mareografa. Z dobrim nizom lokalnih reperjev bo ta namestitev očitna pri kontroli niveliranja med reperjem mareografa in kontaktno točko (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

3.3.5 Mareografska ničla

Mareografska ničla (ang. Tide Gauge Zero - TGZ) je nivo, za katerega bo mareograf beležil ničelni nivo morja (ang. zero sea level), če bo gladina morja na tem nivoju. Pri navadnem mareografu s plovcem se lahko mareografska ničla poveže s kontaktno točko šele po izvršitvi kontrolnih potapljanj plovca v vodnjaku.

3.3.6 Ponovni lokalni referenčni datum

Ponovni lokalni referenčni datum (ang. Revised Local Reference Datum – RLR) je definiran kot enostaven dodatek reperju mareografa, tako da imajo vrednosti nivoja morja, ki so izražene relativno na ponovni lokalni referenčni datum, numerične vrednosti okoli 7000 mm. Koncept tega datuma je iznašel PSMSL, zato da se lahko pridobijo spremembe nivoja morja daljšega časovnega obdobja, četudi je bilo del podatkov zbranih z uporabo drugega mareografa in drugega geodetsko povezanega reperja mareografa. Približna vrednost 7000 mm je bila izbrana zato, da starejši računalniki (pozna 1960 leta) ne bi imeli nakopičenih negativnih števil. Ponovni lokalni referenčni datum je definiran za vsako mareografsko področje posebej. Ponovni lokalni referenčni datum enega področja ne more biti povezan s ponovnim lokalnim referenčnim datumom drugega področja. Še posebno ne brez večjega znanja o povezavi med reperji mareografov različnih področij.

Poleg podatkov o nivoju morja, mora PSMSL (in ostali centri) nujno dobiti tudi popolno informacijo o geodetskih zvezah med reperjem mareografa in ničlo mareografa. Brez teh informacij je za PSMSL nemogoče vključiti podatke v podatkovni niz ponovnega lokalnega referenčnega datuma (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

3.3.7 Državna nivelmanska mreža

Večina držav je v zadnjih 100 letih razvila državne nivelmanske mreže. Vertikalni datum je določen kot srednji nivo morja na eni ali več mareografskih postajah. Nivelmanske povezave znotraj teh mrež omogočajo, da so višine objektov (npr. gorovij) določene v istem vertikalnem datumu (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

4 IZBIRA LEGE MAREOGRAFA

Preden postavimo mareograf, je izredno pomembno, da si zastavimo nekaj vprašanj kot so: zakaj bo le-ta zares namenjen in kje bi bila najboljša lokacija za postavitev. V nekaterih praktičnih primerih bo izbira položaja mareografa jasna. Na primer, če je zahteva kontrolirati nivo morja v določeni točki, kot je na primer vhod v ladjedelnico, mora biti mareograf nameščen v njeni bližini.

V večini primerov pa izbira položaja ni tako jasna, zato moramo pretehtati, katera od spodnjih omejitev je bolj važna in kateri naj damo večji oziroma manjši poudarek. Ti poudarki so lahko odvisni na primer od tega, ali je mareograf namenjen oceanografskim raziskavam, v primeru česar je edina jasna zahteva, da mora biti nameščen z največjo odprtostjo proti oceanom in ne da je nameščen na reki.

Nadaljnja splošna preišljevanja so:

- a) Postavitev mareografa mora biti zmožna zoperstaviti se najslabšim okoliškim razmeram (zimski led, nevihte in pa drugo), s katerimi se bo najverjetneje srečala. To je brez dvoma tema, ki je primerna za izbiro tipa mareografa in za njegovo predvideno lego. Legam, ki so izpostavljene okoliškim ekstremom naj bi se izogibali. Uporabili naj bi tudi konstrukcijo, ki bi omogočala opazovanja za daljše časovno obdobje.
- b) Tla na katerih je postavljen mareograf morajo biti čim bolj »stabilna«. Ne smejo biti podvržena usedanju zaradi podzemeljskih del ali zemeljskih pogrezanj. Prav tako ne smejo biti podvržena drsenju v primerih daljšega, močnega deževja (območje mora biti primerno osušeno). Tla ne smejo biti spodkopavana zaradi rečnih ali morskih aktivnosti. Postavitev na trdni skali je idealna rešitev.
- c) Če je le možno naj bi se izogibali širokih rečnih ustij. Rečna voda iz ustja se bo tekom periode plime in oseke ter tekom različnih letnih časov mešala z morsko vodo v različnih razmerjih, kar se bo kazalo v specifični teži vode in kot nestalnost oziroma valovanje. To pa lahko ima pomemben vpliv na meritve z mareografom s plovcem v nepremičnem vodnjaku in sicer zaradi nivoja vode, ki je potegnjena v vodnjak v različnih časih, kar se kaže v različnih specifičnih težah znotraj in zunaj vodnjaka. Prav tako bo vplivalo tudi na

meritve s tlačnim mareografom, ker predvidena gostota za pretvorbo med tlakom in nivojem morja ne bo konstantna. Rečni tok lahko v nepremičnih studencih (vključno z zunanjo posodo zvočnih cevi akustičnega mareografa) povzroči poškodbe. Naplavine močnih neviht pa lahko uničijo mareograf.

- d) Območij kjer lahko pri ekstremno nizkih vodnih ravneh pride do zaježitve se moramo izogibati. Izogibati se moramo tudi plitkih, nagnjenih obal.
- e) Izogibati se moramo tudi ostrih rtov in morskih ožin, ker so to območja kjer se pojavljajo visoki tokovi plime in oseke.
- f) Neposredna bližina izlivov ima lahko za posledico turbulence, tokove, razredčitev in usedanje in se jih je potrebno izogibati.
- g) Študije bi morale biti narejene glede na potekanje prevoza z ladjami ali zasedanja ladij glede na predlagano mesto namestitve mareografa, ker lahko pride do trčenja ali gibanja mulja, ki ga povzroči turbulenca propelerja.
- h) Narejene bi morale biti raziskave na podlagi katerih bi določili ali obstaja možnost, da bi se na območju v prihodnosti opravljala gradbena dela, ki bi lahko vplivala na delovanje mareografa (na primer pri gradnji novega pristana) in ki lahko povzročijo preselitev mareografa na novo lokacijo in s tem prekinitev časovne serije meritev nivoja morja.
- i) Območje mareografa mora imeti trajno električno napetost (ali zadostno zalogo baterij ali generatorja) in telefonski ali satelitski dostop za prenos podatkov do analiznih centrov.
- j) Urejen mora biti tudi primeren dostop do območja za namestitev in vzdrževanje. Območje mora biti tudi varno pred vandalizmom in krajo.
- k) Območje mareografa mora biti primerno za opravljanje meritev na reperjih mareografa, ki so pomembni za geodetsko kontrolo podatkov o nivoju morja. Še posebno stabilni morajo biti lokalni reperji in GPS reper, ki morajo biti tudi dobro zavarovani pred slučajnimi poškodbami.
- l) Če bo nameščen nepremični vodnjak ali akustični mareograf, mora biti nepremični vodnjak ali akustična cev dovolj visoka, da bo registrirala najvišje nivoje morja. Če je na primer ta namestitev na prometnih pristaniških področjih, zahteva to dovoljenje pristaniških oblasti.
- m) Za uspešno delovanje mareografa v nepremičnem vodnjaku mora vodna globina segati vsaj dva metra pod najnižjim astronomskim plimovanjem (ang. Lowest Astronomical Tide – LAT). Morsko dno ne sme ovirati izhod nepremičnega vodnjaka, nameščen pa

mora biti dovolj globoko, da omogoča delovanje plovčka okoli en meter nad najnižjim astronomskim plimovanjem.

Jasno je, da je kontrola mareografskega datuma pomembna tema za vsako namestitev mareografa. Če tudi je postaja opremljena z najbolj moderno opremo, je navadno smiselno od časa do časa oskrbeti datum z dokazi cenenege droga za osnovno spremljanje plimovanja (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

5 PERMANENTNE GPS POSTAJE NA MAREOGRAFIH

Geodeti in oceanografi so začeli izvajati korak gradnje permanentno delujočih GPS postaj na večini mareografov po svetu v smislu, da bi njim in njihovim zgodovinskim nivojem morja določili položaj v dobro definiranem globalnem referenčnem sistemu (Carter et al., 1989; Carter, 1994; Neilan et al., 1998, povz. po Bevis, M., Scherer, W., Merriemfield, M.). Razlog temu je, da nekatera znanstvena ali tehnična dela zahtevajo natančno poznavanje prostorskega položaja mareografa. Dela, kot so spremembe v absolutnem nivoju morja preko 100 let, obsegajo ocenjevanje stoletnih vertikalnih premikov mareografa. Določitev položaja mareografa z vertikalno natančnostjo 1 cm glede na dobro definiran globalni datum je zelo zahtevna naloga. Kljub temu so že nekaj letni podatki permanentne GPS postaje lahko zelo uporabni in natančni. Vendar določitev vertikalne hitrosti spremembe položaja mareografa ali spodaj ležeče trdne podlage z natančnostjo boljšo od 1mm/leto tudi z desetletnimi opazovanji s permanentno delujočimi GPS postajami ostaja zelo velik problem.

Za globalna prizadevanja pridobitve rezultatov meritev visokih natančnosti, je izredno pomembno, da so doseženi visoki standardi uporabe instrumentov, namestitve, operativnih postopkov in analize podatkov. Tako je jasno, da je potrebno izdelati vsaj minimalne standarde, ki bodo v pomoč posameznim agencijam in raziskovalnim skupinam pri reševanju teh problemov (http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html).

5.1 Mareografi in njihov lokalni vertikalni referenčni sistem

Mareografi beležijo nivo morja z ozirom na lokalni vertikalni datum, ki je realiziran tako, da uporablja podatke mareografa samega, mrežo reperjev mareografa in ponavadi še pomožne drogove za spremljanje plimovanja (IOC, 2000). Reperji so geodetska znamenja, ki so s preciznim nivelmanom povezana na notranjo ali zunanjo referenčno točko ali s kontaktno točko na mareografu. Idealno je, če je nekaj reperjev stabiliziranih blizu mareografa, medtem ko so ostali reperji stabilizirani od enega do nekaj kilometrov stran od mareografa. Idealno bi

bilo, če bi bilo teh reperjev vsaj 10, vendar jih je v večini primerov manj. Problematično je, če je reperjev manj kot pet, še posebno če nobeden od njih ni stabiliziran v živi skali.

Namen vzpostavitve mreže reperjev mareografa je dvojen:

- Da se nivo morja nanaša na »stabilna tla«
- Za zapisovanje nivoja morja v referenčnem sistemu zunaj mareografa samega, saj se le-ta lahko uniči v nevihtah ali pristaniških nesrečah ali pa bo nekoč lahko nadomeščen z drugim mareografom zaradi prilagoditve, na primer pri razvoju pristanišča.

Zelo pogosto so mareografi grajeni na pomolih, za katere je znano, da se pogrezajo. Nestabilna tla so pogost problem mareografov, ki so zgrajeni v območjih brez živih skal. Ravno zaradi tega je mreža reperjev ponavadi od mareografa oddaljena od enega do treh kilometrov ali celo več. Ti reperji niso povezani samo z mareografom in pomožnim merilnim drogom, če le-ta obstaja, ampak so povezani tudi med seboj in sicer z nivelmanom. Te meritve naj bi se v idealnem primeru ponavljale na eno do dve leti. Pri pregledu podatkov o relativnih višinah reperjev v mreži je mogoče opaziti velikost pogrezanja reperjev in tako določiti kateri reperji niso podvrženi večjemu relativnemu posedanju in so tako lahko obravnavani kot »stabilni«. To pomeni, da se ne premikajo glede na trdno zemeljsko skorjo. Velikokrat je najbolj »stabilen« reper, ki je najbližje mareografu, izbran za reper mareografa. Če se ugotovi, da se je ta reper z leti začel premikati, se namesto njega lahko izbere drug reper.

Na mareografu zabeležen nivo morja je prilagojen za obračunavanje relativnih premikov med mareografom (in opremo, če je ta prisotna) in reperjem mareografa. Včasih so obstajali nizi mareografov na skupnem področju, ki so bili povezani v nivelmansko mrežo mareografa. Nivelmanska mreža mareografa zagotavlja dolgoročna, nepretrgana merjenja nivoja morij. Zaradi tega je postavitve nivelmanske mreže mareografa prav tako pomembna, če ne še bolj, kot postavitve modernega mareografa (http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html).

Večina mareografov po svetu je bila v prvi vrsti narejena za spremljanje periode plimovanja in za podporo pri navigaciji v in iz pristanišč in ne za opazovanje sprememb nivoja morja.

Večina mareografov prvotno ni bila opremljena z nivelmansko mrežo mareografa. V nekaterih primerih tudi potem, ko so bili privzeti za spremljanje nivoja morja za daljše časovno obdobje, niso bili ponovno prilagojeni z ustrezno nivelmansko infrastrukturo. Tudi če se omejimo na mareografe z nivelmansko mrežo mareografa in dobro določenim programom niveliranja, je v večini primerov popolnost lokalnega višinskega sistema, ki je realiziran z uporabo nivelmanske mreže mareografa, že počasi nazadujoče. Nivelmanska merjenja se vse redkeje ponavljajo in tehnična kvaliteta teh meritev je čedalje slabša, saj se agencije oddaljujejo od dragih in časovno potrošnih (ampak izredno natančnih) prvorazrednih standardov niveliranja.

Reperji, ki so uničeni (ponavadi zaradi človeških aktivnosti) niso vedno nadomeščeni z novimi. Skupine, ki gradijo nove mareografe, velikokrat ne razvijejo nivelmanske mreže primerne obsega, s čimer bi zagotovili resnično stabilnost vsaj nekaj reperjev v mreži. Velikokrat se to zgodi zaradi tega, ker ne morejo ali si ne želijo nivelirati preko dolgih razdalj. Tako morajo geodeti, ki se ukvarjajo z izmerami GPS, pri namestitvi nove permanentne postaje, upoštevati ne samo geometrijo nivelmanske mreže mareografa in zgodovino preciznega nivelmana, ampak tudi pristop do nivelmanske mreže.

V nekaterih predelih sveta bi bilo zelo nevarno namestiti permanentno postajo nekaj kilometrov ali več stran od mareografa in enostavno domnevati, da se bodo v prihodnjih letih ponavljale nivelmanske meritve, ki povezujejo permanentno postajo, mareograf in ostale lokalne reperje. Če je permanentna GPS postaja odmaknjena daleč stran od mareografa in ni povezana z nivelmansko mrežo mareografa, ne bo možno omejiti relativnih premikov mareografa in permanentne postaje, zato je kasnejša interpretacija skoraj neuporabna (http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html).

5.2 Postavitev permanentnih GPS postaj na mareografih

5.2.1 Izbira mikro lokacije položaja permanentne GPS postaje

Da bi dosegli čim boljšo vertikalno natančnost permanentne GPS postaje, je pomembno, da GPS antena ni ovirana v nobeni smeri za višinske kote nad 15°. Višinski kot je kot, nad katerim v instrumentu izvajamo opazovanja. Idealni pogoji bi bili, če bi minimalni višinski kot brez ovir znašal pod 10°. To je zahteva IOC, ki jo je potrebno upoštevati. Permanentnih GPS postaj ne smemo graditi na pečinah, niti ob straneh velikih zgradb, ker bodo tako signali, ki jih oddajajo GPS sateliti, ovirani. Na žalost pa je veliko mareografov in reperjev stabiliziran na mestih s skromnim pogledom na nebo. Poleg tega je pomembna tudi varnost GPS opreme, razpoložljivost električne energije in telefonskih linij, ...

Včasih je nemogoče najti dobro lego za postavitev permanentne GPS postaje na ali blizu mareografa. V takšnih primerih se argumenti o »najboljši« legi za postavitev permanentne GPS postaje izkažejo za hipotetične. Kljub temu je bilo opravljenih že veliko diskusij na temo ali je bolje v principu graditi permanentno GPS postajo direktno na mareografu ali blizu enega oziroma več reperjev, za katere je znano, da so postavljeni na »stabilnih« tleh (z domnevo, da bo tam samo ena permanentna GPS postaja).

Prednost postavitve permanentne GPS antene direktno na mareografu je, da se tako zagotovi, da ne bo kasnejših relativnih premikov antene in mareografa. Zatorej je lahko vertikalni odmik med anteno in mareografom določen v času gradnje ter domnevno vzet kot konstanta pri niveliranju v kasnejših merjenjih. Druga prednost takšne namestitve permanentne GPS antene in mareografa je, da je povezavo nivelmana izredno lahko izvesti. Napake niveliranja se povečujejo z dolžino in zato takšna namestitev zahteva večjo natančnost izmere. Ekipa, ki opravlja meritve nivelmana na mareografu, lahko in tudi v bistvu mora povezati permanentno GPS anteno s celotno nivelmansko mrežo mareografa.

Glavna pomanjkljivost namestitve permanentne GPS antene direktno na mareografu je, da so v večini primerov tla blizu mareografa nestabilna in tako vertikalni premiki določeni na tej točki najverjetneje jasno kažejo nestabilnost premikov antene ali spodaj ležečega tankega podpovršinskega sloja kot tudi vertikalnih premikov trde litosfere. Ti vertikalni premiki permanentne GPS postaje pa ne kažejo vertikalnih zemeljskih premikov celotnega območja, ki obdaja mareograf.

Pri iskanju lokacije za novo permanentno postajo je potrebno upoštevati tudi mareografe s stoletno zgodovino, pri katerih je večina merskih instrumentov na mareografu navezanih na mrežo reperjev. Zadnji mareograf v nizu mareografov skozi ta leta je postavljen na koncu očitno deformiranega in majavega pomola. Če se je v takšnem primeru pokazalo, da so vsi reperji, ki so stabilizirani več kot 1 km v notranjosti države od mareografa stabilni skozi daljše obdobje, potem je seveda jasno, da je bolj zaželeno zgraditi permanentno GPS postajo blizu enega ali več stabilnih reperjev, ki so stabilizirani blizu mareografa kot pa na mareografu samem. Lahko pa se zgodi, da je celotno območje res stabilno, vendar pa je močno pogozdeno in ima zelo oviran pogled v nebo.

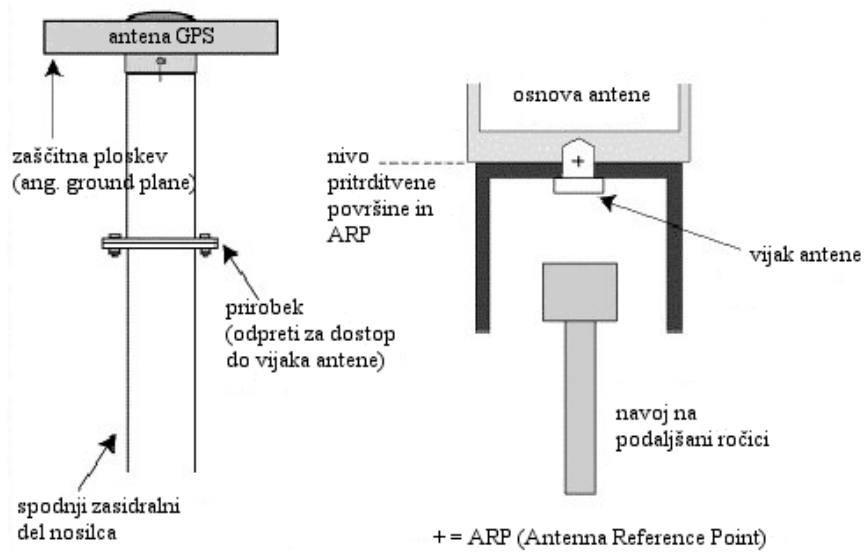
Predpostavimo, da je bila permanentna GPS postaja ponovno vzpostavljena na mareografu zgolj zaradi podpore kalibraciji satelitskega altimetra ter določitve absolutnega položaja mareografa in ne vertikalnega premika mareografa. Predpostavimo tudi, da je ta mareograf star samo 10 let in tako ne more biti uporabljen za ocenjevanje dolgo časovnih relativnih sprememb nivoja morja. Nadalje predpostavimo še, da analiza rezultatov niveliranja kaže, da mogoče nobeden od reperjev ni resnično stabilen in da program niveliranja sedaj nazaduje. V takšnih okoliščinah bi bilo torej bolj pametno graditi permanentno GPS postajo direktno na mareografu, zaradi česar bi v času namestitve GPS, ekipa tudi hitreje in natančneje povezala mareograf in anteno GPS (http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html).

5.2.2 Postavitev nosilca antene

Pri postavitvi antene GPS je obvezna postavitev nosilca, ki bo držal anteno GPS nad vsemi bližnjimi objekti, tako da bo le-ta imela neoviran pogled v nebo za višinske kote nad 15° v vseh smereh, ali če je možno, še bližje horizontu. Ta nosilec mora biti kar se da nepremičen in stabilen. Idealno bi bilo, če bi bil zasidran v trdno skalo, vendar pa to velikokrat ni mogoče.

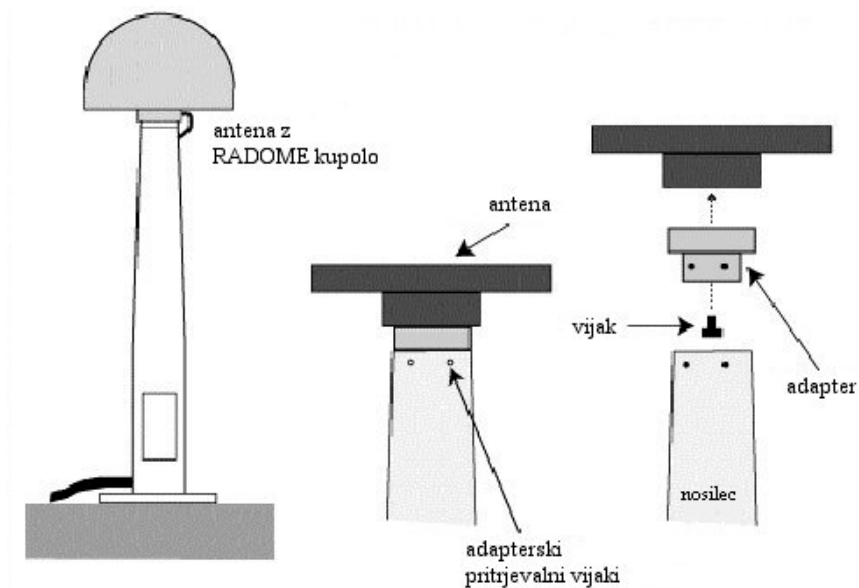
Zelo pomembno je, da antena GPS ni postavljena nad ravno metalno ploščo, ker to povzroča položajne napake (Elosequi et al., 1995). Vendar je kljub dejstvu, da je znano da takšna postavitev antene povzroča sistematčne napake v vertikalnih koordinatah na postaji, opaziti veliko mareografov, kjer so antene postavljene nad metalne plošče ali nad kriva metalna ogrodja. Splošno znano je, da na lastnosti antene GPS, kot je sprememba njenega faznega centra, vpliva nosilec antene, ki leži v notranjosti polja antene. Tako poskušamo pri postavitvi antene GPS zmanjšati učinke nosilca antene s tem, da je le ta čim bolj raven ter tako zagotoviti stabilnost antene celo v velikih nevihtah.

Prednost dajemo nosilcem, ki so osno-simetrične oblike, se pravi nosilcem z vertikalno simetrično osjo, ki gre čez center antene. Nosilci takšnih oblik verjetno manj vplivajo na lastnosti antene, ki se spreminjajo sistematično z azimutom. Priporočljiva je uporaba nosilca antene, ki je cilindričen (ali vsaj približno cilindričen) z ravno okroglo pritrditveno površino, ki se ujema s premerom postavitvene površine antene. Če ni možnega točnega ujemanja se predlaga, da je pritrditvena površina raje manjša kot večja od podnožja antene. Boljša je uporaba nosilca, ki ga je mogoče razstaviti in je tako omogočen dostop do vijaka z matico, s katerim je pritrjena antena na površino nosilca. Na slikah 11 in 12 sta shematično narisani dve tipični izvedbi nosilcev antene za permanentne GPS postaje.



Slika 11: Nosilec antene GPS s prirobkom

(http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html)



Slika 12: Nosilec antene GPS z vstavljenim adapterjem

(http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html)

Če je za odstranitev vrha nosilca uporabljen prirobek, da bi prišli do vijaka antene, mora biti le-ta nameščen vsaj 30 cm pod najvišjim robom nosilca in mora biti kar se da ozek. Luknje v prirobku morajo biti prirejene tako, da se prilegajo samo v eni smeri.

Poudariti je potrebno, da je redkokdaj dobro postaviti anteno na streho, ker je veliko zgradb nestabilnih in redko obdržijo svojo prvotno obliko. Poleg tega je običajno težko nivelirati do antene, če je nameščena visoko nad tlemi. Izjemo lahko naredimo, če se takšni postavitvi res ne moremo izogniti, če je zgradba stabilna (npr. mala, z jeklom okrepljena kvadratna hiška, ki je zgrajena direktno na povezanem, masivnem pomolu) in če je mogoče nivelirati do antene kljub njenemu položaju. Namestitev GPS antene na strehi zgradbe pa naj bo vedno zadnja možnost.

Odkar je GPS osnova za določanje položajev mareografov natančna in dolgočasovna možnost, je izredno pomembno graditi nosilce, ki bodo ohranili mehanske lastnosti skozi dolga leta. Pazljivi moramo biti pri stikanju raznovrstnih kovin, ker lahko to povzroči elektrokemične reakcije, kar lahko vodi v visoko raven korozije. Če sta v uporabi dve različni kovini je dobro, da za preprečitev elektrokemičnih pojavov uporabimo posebne premaze ali kaj podobnega. Upogljivost ali stabilnost nosilca na meritve ne sme vplivati.

Ko izbiramo kovino, iz katere bo nosilec antene, je potrebno preveriti njegovo splošno odpornost proti koroziji. Na primer aluminijasti nosilci so nagnjeni k temu, da so odporni na sonce, dež in celo na topel zrak, ki vsebuje sol. Kdaj ste nazadnje videli zarjavelo letalo? Vendar pa aluminij zelo hitro rjavi v podzemnem okolju. Če bomo pritrdili aluminijasti nosilec antene na živo skalo ali stabilno podlago z uporabo jeklenih vijakov, bomo preprečili direkten kontakt med vijaki ter osnovo aluminijastega nosilca z uporabo plastičnih objemk in tesnil. Nerjaveči jekleni nosilci, ki so dragi in težki pa so odporni na korozijo tako v podzemlju kot na površini. Pozorni moramo biti pri sklapljanju aluminijaste antene z jekleno površino nosilca (http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html).

5.3 Vertikalna povezava med anteno GPS, mareografom in reperji

Ko je antena GPS s preciznim nivelmanom povezana z mareografom, reperji in mareografskim merskim drogom (če ta obstaja), je nivo antenine referenčne točke - ARP (Antenna Reference Point) tisti, ki naj bi pravilno označeval višino antene (slika 10).

ARP je ponavadi določen v ravnini osnovne površine nosilca antene, tako da gre normala na to površino skozi ARP in skozi geometrični center antene. To pomeni, da ARP leži v centru navoja luknje, ki se uporablja za pritrnitev vijaka antene. Ko je antena enkrat združena s površino nosilca, ARP ni več viden in od njega do kontaktne točke ne moremo priti z nivelmanskim lato. Zato mora biti lata obrnjena in postavljena na najnižjo površino zaščitne plošče antene (ang. ground plane) in čim bližje centru antene. Nato mora biti znan vertikalni odmik med najnižjo točko zaščitne plošče antene in ARP. Ta je uporabljen kot popravek v meritvah niveliranja, tako da je ARP dejanska vertikalna referenčna točka.

Popravek mora biti razložen in zapisan v poročilu niveliranja. Ekipa, ki nivelira, mora imeti kopijo poročila permanentne GPS postaje, ki vključuje opis geometrije antene, vključno s položajem ARP in njegovega vertikalnega odmika relativno na najnižjo točko zaščitne plošče antene. Poleg tega morajo imeti tudi zapiske serijske številke antene. Vidnost serijske številke antene nam lahko da zagotovilo, da je poročilo še veljavno.

Ekipa, ki nivelira, naj bi izmerila več kot eno točko na zaščitni plošči antene, da bi s tem zagotovila pravo nivelirano višino antene. Če ekipa tega ni storila, mora biti to zabeleženo v poročilu. Meritve naj bi bile opravljene na dveh točkah, in sicer na nasprotnih si straneh, vendar enako oddaljenih od ARP, tako da lahko sklepamo kolikšna je višina ARP (http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html).

6 GEODETSKA IZMERA MAREOGRAFOV

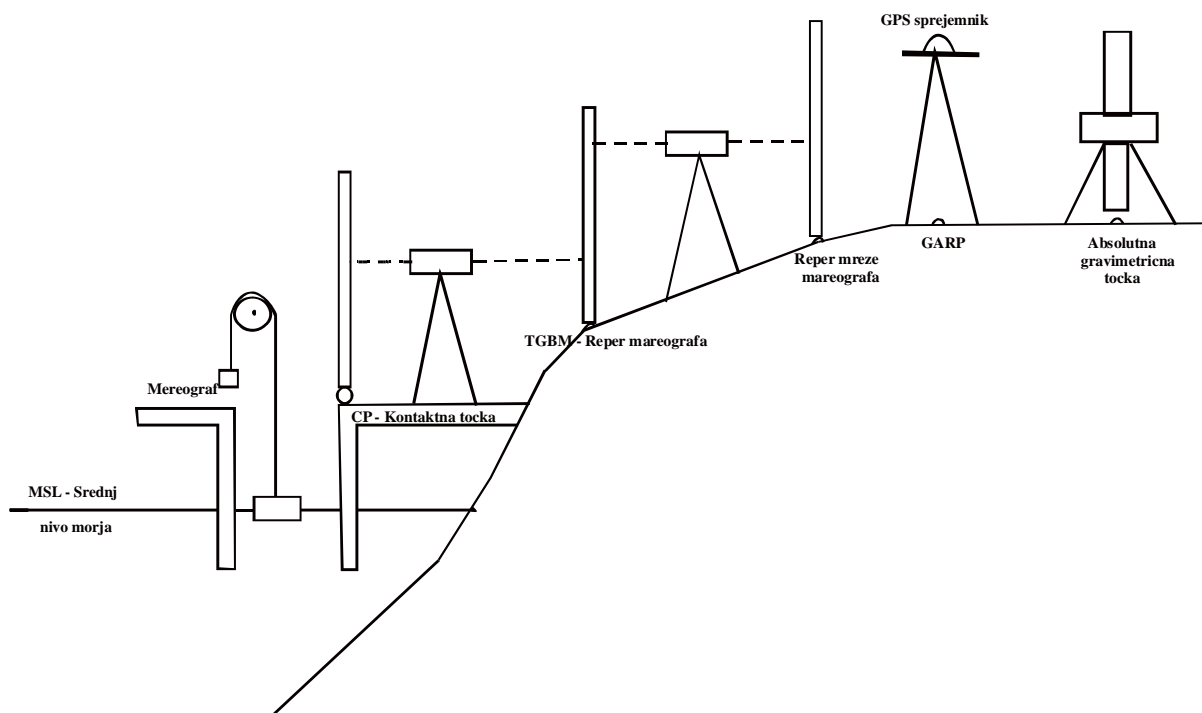
Natančnost nivelmana I. reda znaša običajno pri razdaljah nekaj kilometrov do 2 mm. Zaradi tega so ponovna vsakoletna merjenja zelo primerna za ugotavljanje kakršnihkoli vertikalnih premikov reperja mareografa glede na lokalne reperje. Ugotovljeno je bilo, da na izmero s preciznim nivelmanom preko zelo dolgih razdalj vplivajo pomembne sistematične napake. Dolge povezave do točke državnega datuma dajejo samo nominalno višino mareografa in navadno niso uporabne za določevanje zemeljskih premikov na mareografu, ki so ponavadi le nekaj milimetrov na leto. Zaradi teh sistematičnih napak lahko ponovno merjenje višinske mreže da nepravilne navidezne spremembe v višini reperja mareografa. To je tudi razlog, da PSMSL zahteva podatke srednjega nivoja morja definiranega glede na reper mareografa in ne glede na točko državnega datuma (http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/ioc_14ii.pdf).

6.1 Geodetska izmera reperjev mareografa

V preteklih nekaj letih so napredki v modernih geodetskih tehnikah dali nove metode za geodetsko izmero reperjev mareografa. To so tehnike satelitske geodezije (GPS, DORIS) in absolutna gravimetrija. Meritve satelitske geodezije so lahko uporabljene za geocentrično stabilizacijo GPS reperja (ta je lahko z nivelmanom povezan z reperjem mareografa), zaradi česar bo srednji nivo morja na mareografu definiran v globalnem geocentričnem referenčnem sistemu. Tako bomo dobili absolutni srednji nivo morja relativno na vsak lokalni reper ali celo na širše območje. Nivo morja je tako definiran v enakem geocentričnem referenčnem sistemu kot je uporabljen za satelitsko altimetrijo in je tako lahko direktno primerjan z nivoji morja.

Vsakoletne ponovitve meritev satelitske geodezije na mareografu, bodo omogočile, da bo vertikalni zemeljski premik neomajen in odstranjen iz trenda spreminjanja srednjega nivoja morja in bo tako lahko dajal pravo tendenco spreminjanja nivoja morja zaradi podnebnih vplivov. Merjenje sprememb težnostnega pospeška z absolutnim gravimetrom v bližini mareografa omogoča popolnoma neodvisno določanje vertikalnih zemeljskih premikov.

Slika 13 prikazuje povezavo mareografskih opazovanj z geodetsko mrežo. Preglednica 1 pa prikazuje tehnike, ki so zahtevane za geodetsko izmero reperjev mareografa in njihove natančnosti (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).



Slika 13: Skica povezave mareografskih opazovanj z geodetsko mrežo (povzeto po <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>)

Preglednica 1: Tehnike, ki so zahtevane za geodetsko izmero reperjev mareografa
(povzeto po <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>)

Zahtevane tehnike	Razdalja: Natančnost
(1) Nivelmanska mreža mareografa	0 do 1km: < 1mm
(2) Širše območje niveliranja	1km do 10km: < 1cm
(3) Širše območje GPS	1km do 10km: < 1cm
(4) Absolutna gravimetrija na območjih v bližini mareografa	< 2 μ gal
(5) GPS na območjih v bližini mareografa	< 1cm

6.2 GPS

Zadnjih nekaj let so bili izstreljeni sateliti, ki temeljijo na globalnem navigacijskem sistemu, imenovanem Global Positioning System (GPS). Ko je bila v letih 1990 skupina satelitov dokončna, je obstajalo 21 satelitov (in 3 rezerve) na višini 20 200 km razporejenih tako, da so v kateremkoli času iz katerekoli točke na Zemeljskem površju vidni vsaj 4 sateliti.

Sateliti prenašajo kodne modulacije na dveh nosilnih valovanjih (nosilna valovna dolžina 19 in 24 cm). Z dostopom do kod lahko uporabnik s satelitskim sprejemnikom GPS določi njegov dejanski položaj z natančnostjo v okviru 10 m. Bistven razvoj, ki daje danes boljšo natančnost, zahtevano za zemeljsko deformacijsko delo, je uporaba faznih opazovanj na dveh frekvencah. Z uporabo parov dvofrekvenčnih sprejemnikov GPS je bil dosežen relativni pozicijski vektor centimetrske stopnje za bazne linije daljše kot 1000 km.

V poročilu neke delovne skupine (Carter et al., 1989) je predlagano, da bi moral nadzorovalni sistem globalnega absolutnega nivoja morja temeljiti na osnovnih SLR postajah (ang. satellite laser ranging stations – SLR) in VLBI (ang. Very Long Baseline Interferometry – VLBI) radijskih teleskopih IERS terestričnega referenčnega sistema. Mnogo položajev teh postaj v mreži je znanih v okviru 2 cm (Ray et al., 1991, Carter in Robertson, 1990). Opazovanja SLR pa so že uporabljena za določevanja vertikalnih premikov postaj v okviru 1 mm/leto (Kolenciewicz et al., 1992).

Postopek, ki je bil predlagan, je povezati reper mareografa z najbližjo osnovno SLR ali VLBI postajo z uporabo diferencialnega dvofrekvenčnega GPS. Če je vidnost satelitov na reperju mareografa omejeno, je lahko v bližini postavljen nov reper za GPS meritve in povezan z reperjem mareografa z nivelmanom (http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/ioc_14ii.pdf).

6.2.1 GPS izmere

V prejšnjem desetletju se je GPS tehnika hitro razvila, in sicer do take mere, da je sedaj zelo pomembna na mnogih področjih geofizikalnih raziskav. IGS (The International GNSS Service) sprejema podatke od globalne mreže GPS postaj in računa informacije o orbitah GPS satelitov. Te informacije so veliko bolj natančne kot prenesene efemeride od samih satelitov. Informacije o orbitah GPS satelitov nato naknadno uporabljajo raziskovalci s sprejemniki GPS (na primer na mareografih) za izračun natančnih položajev. GPS podatki iz IGS mreže so arhivirani v IGS centralni pisarni (ang. IGS Central Bureau).

Uporaba GPS za merjenje horizontalnih zemeljskih premikov je danes že dobro uveljavljena. Za vertikalno komponento pa so merjenja zemeljskih premikov boljša od 1 mm/leto še vedno velik izziv.

Obstaja veliko učinkov, ki imajo velik vpliv na višinsko komponento položaja. Med temi učinki, ki se še vedno raziskujejo, so izboljšave v modeliranju mokre komponente troposfere in modeliranju deformacije Zemlje zaradi vplivov na površje (valovanja oceanov, sprememb nivoja morja, sprememb atmosferskega pritiska, ...). Po tehnični plati pa so tu problemi večpotja signalov (ang. multipath), natančno modeliranje sprememb električnega faznega centra antene ter problem monumentalnosti in stabilnosti področja. Vsi ti faktorji morajo biti za daljše časovno obdobje (ponavadi za 10 let ali več) upoštevani pri postavljanju in delovanju postaje GPS na mareografu.

IOC predlaga namestitev dvofrekvenčnega permanentnega sprejemnika GPS direktno na mareografu, če je le to izvedljivo. Tako lahko v najvišji meri nadzira premikanje reperja mareografa, ki je ponavadi tik ob mareografski hišici. Če je sprejemnik nameščen točno na

reper mareografa, sta GPS reper in reper mareografa enaki točki (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

Reper mareografa in GPS reper morata biti redno povezana (vsaj letno) s kontaktno točko mareografa, ničelnim nivojem morja in nizom lokalnih reperjev. Reper mareografa je potem takem fundamentalna točka, ki je geocentrično locirana z meritvami GPS in s katero so povezane vse meritve nivoja morja.

Da bi zmanjšali učinek »multipath« signalov v meritvah GPS, je predlagana uporaba »choke ring« antene. Kadarkoli je možno, naj bi bili surovi podatki meritev GPS (normalno 30 sekundni interval registracije) avtomatsko preneseni in vsak dan posredovani do centralnega GPS podatkovno predelovalnega in arhivskega centra.

Normalno je, da pri izbiri novega področja za postajo GPS veliko pozornost namenimo okolju tega področja (dostop do trdne podlage, nizko »multipath« okolje,...). V primeru mareografov je okolje daleč od idealnega. Velikokrat se le-ta nahaja v prometnem pristanišču. Kljub temu pa je še vedno priporočljivo, da so meritve GPS opravljene na mareografu.

Za postaje, na katerih ni mogoče opraviti meritve GPS direktno na mareografu (zaradi motene vidljivosti neba, prekomernega večpotja »multipath« in radio interference), je potrebno izbrati lego, ki je čim bližje mareografu. Idealno bi bilo to znotraj nekaj 100 metrov od mareografa. GPS reper in antena GPS morata biti nato vsaj enkrat letno z nivelmanom povezana z reperjem mareografa. Izkušnje kažejo da so te povezave velikokrat zanemarjene tudi po več let. Največkrat je to v primerih, ko je razdalja med njimi večja od nekaj 100 metrov.

Nikakor pa seveda ne moremo domnevati, da se sorazmerno bližja področja ne premikajo diferencialno za nekaj mm/leto. Ravno zaradi tega so v nekaterih državah namestili še drugi permanentni sprejemnik GPS, in sicer nekaj kilometrov v notranjost države, na območju z dobrim »multipath« okoljem in z dobro povezavo s trdnimi tlemi. Čeprav je takšno področje boljši prostor za testiranje geofizikalnih modelov vertikalnih zemeljskih premikov, ne more priti v upoštevanje, da bi to zamenjalo permanenten sprejemnik GPS na mareografu. To pa predvsem zaradi težav povezave sprejemnika GPS, ki je nameščen v notranjosti države, z

mareografom, kjer bi bile napake manjše kot 1mm/leto. Takšni podvigi pa so prav tako tudi velik strošek.

Zahteva meritev GPS na mareografu, je odstraniti vertikalna gibanja na mareografu (ali geofizikalno ali bolj lokalno) iz trenda v srednjih nivojih morja, v smislu da bodo dajali absolutne ali podnebne spremembe v srednjih nivojih morja. Če so na voljo dodatni viri, potem bo ena (ali idealno več) permanentna GPS postaja v notranjosti države kazala kakršenkoli diferencialen vertikalni premik v odnosu na mareograf. To daje pomembne informacije o prostorskih spremembah relativnih srednjih nivojev morja v širšem območju, kar je potrebno za obrambna dela proti poplavam.

Idealno bi bilo, če bi bil vsak mareograf opremljen s permanentnim sprejemnikom GPS. Vendar pa v praksi za to ni dovolj finančnih sredstev. Večina držav zato namešča permanentne sprejemnike GPS le na nekaterih mareografih ter nato s kampanjskimi meritvami GPS zgoščuje GPS/mareografsko mrežo (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

6.3 Absolutna gravimetrična merjenja

Predlog IOC je, da bi meritve z absolutnim gravimetrom morale biti opravljene v bližini mareografa. To bi dalo pomembno, popolnoma neodvisno kontrolo za vertikalne zemeljske premike na območju mareografa, neodvisno od GPS.

Zadnji prenosni absolutni gravimeter FG5 instrument je naredilo podjetje Micro-g solutions, Inc., USA (Niebauer et al., 1995). Posebnosti tega instrumenta so preciznost, ki je boljša kot 1 μ Gal in natančnost 2 μ Gal.

Absolutni balistični gravimeter FG5 določa težnostni pospešek iz meritev časa in dolžine prostopadajočega telesa v brezračnem prostoru. Dolžina se meri z interferometrom, ki za vir svetlobe uporablja laser. Razdalja prostega pada je 0.2 m. Prosto padajoče telo je opremljeno z oglatimi kockastimi ploščicami, od katerih se odbijajo laserski svetlobni žarki. Odbiti

svetlobni žarek je nato kombiniran z direktnim svetlobnim žarkom, ki je rezultat tako imenovanih interferenčnih robov (minimum in maksimum svetlobne jakosti). Časi sprememb svetlobne jakosti med minimumom in maksimumom so registrirani (Palinkaš, Kostelecky, 2005).

Gradient težnostnega pospeška v zraku na Zemeljskem površju je $3 \mu\text{Gal}/\text{cm}$. V praksi je, odkar se območje Zemeljskega površja istočasno premika. Za zemeljska deformacijska dela je izmerjena gravitacijska sprememba ranga $2 \mu\text{Gal}/\text{cm}$. Absolutna gravimetrija in GPS se vse bolj približujeta ustrezni natančnosti 1 centimetra, kar je zahtevana natančnost za merjenje vertikalnih zemeljskih premikov.

Absolutne gravimetrične merteve so ponavadi narejene v ustrezni zgradbi, ki omogoča nadzor nad temperaturnimi spremembami. To področje mora biti nato s preciznim nivelmanom povezano z reperjem mareografa in lokalnimi reperji. Zaradi večjih stroškov absolutne gravimetrije v primerjavi s sprejemniki GPS, je število mareografov, ki nadzirajo spremembe gravitacije, majhno v primerjavi z mareografi z GPS-om. Priporočljivo je, da bi bila merjenja absolutne gravimetrije osredotočena na bistvene mareografe v GLOSS-LTT mreži. Tako bodo najbolj uporabna za prispevanje k določitvi vertikalnih zemeljskih premikov, natančnosti boljše kot 1 mm/leto (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001251/125129e.pdf>).

7 PRENOVA IN NADGRADNJA MAREOGRAFSKE POSTAJE KOPER

Prenova in nadgradnja mareografske postaje Koper je potekala pod okriljem ARSO. Z vključitvijo ARSO v evropski projekt FP5 ESEAS-RI je bilo potrebno mareografsko postajo v Koprju prilagoditi evropskim standardom tako s pogleda opazovanja višine morja kot tudi s pogleda geodezije. Velikega pomena je postavitvev permanentne postaje na mareografski postaji in vključitev le-te v državno in evropsko mrežo permanentnih GPS postaj.

Za doseg svojih ciljev je ARSO sodeloval z različnimi slovenskimi institucijami kot so Geodetski inštitut Slovenije, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Morska biološka postaja Piran, Harphasea d.o.o. idr.

V nadaljevanju se bom osredotočila na geodetska dela na mareografski postaji Koper, ki smo jih opravljali s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo. Geodetska dela so se na mareografu izvajala v času poskusnega delovanja mareografa do uradne predaje mareografske opreme naročniku, kar je obsegalo približno 3 mesece. Pri geodetskih delih na mareografu smo upoštevali zahteve in priporočila ESEAS, IOC/PSMSL ter IOC/GLOSS/MEDGLOSS.

7.1 Stabilizacija geodetskih točk na mareografski postaji Koper

V Kopru je bil leta 2004 zgrajen nov mareograf, ki je postavljen na mesto starega mareografa. Objekt, v katerem je bil star mareograf je porušen, na istem mestu pa je zgrajen nov objekt v katerem se nahaja nov mareograf. Star mareograf (samo cev s plovcem) je premaknjen ob carinski pomol.



Slika 14: Star mareograf (levo), prestavljen star mareograf (samo cev s plovcem) (sredina), nov mareograf s permanentno GPS postajo (desno)

Za potrebe spremljanja dolgoročne stabilnosti lege mareografske postaje Koper tako v lokalnem kot v globalnem koordinatnem sistemu, je bilo potrebno na objektu in v njegovi bližini stabilizirati nove referenčne točke.

7.1.1 Spremljanje višinske stabilnosti mareografske postaje Koper

7.1.1.1 Stabilizacija in rekognosciranje terena na območju Koper pred novo izmero leta 2001

Stari mareograf je bil vključen v nivelmansko mrežo II. NVN leta 1971. Mareografska opazovanja so bila navezana na reper 5486, ki se nahaja v steni hotela Koper. Leta 2001 je na območju mareografa Koper potekala nova izmera. Celotna nivelmanska mreža mareografa je bila navezana na reper CP88 v Dekanih.

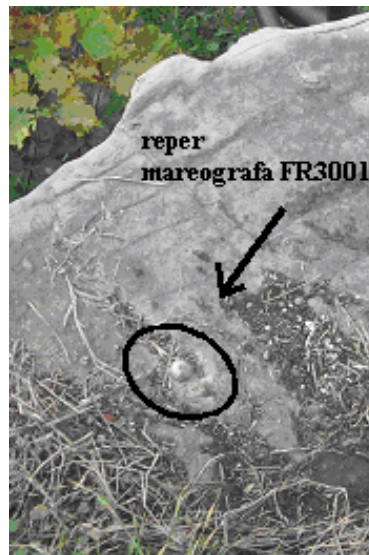
Pred novo izmero, opravljeno leta 2001, je bilo opravljeno natančno pregledovanje stabilnosti in uničenosti vseh reperjev na tem področju. V okviru stabilnosti so s svojim znanjem pomagali geologi. Ti so na osnovi ogleda območja ugotovili, da so reperji, ki se nahajajo v bližini mareografa nestabilni, saj so stabilizirani v objekte, ki so večinoma temeljeni na nasutih ali močvirnatih mehkih podlagah.

Po podatkih geologov večji del obale v Koprju leži na nasutem otoku in je zaradi tega nestabilen. Ker mora biti reper mareografa na čim bolj stabilnem območju, so geologi predlagali stabilizacijo dveh reperjev v skali za hotelom Koper, ki naj bi bila stabilna. Tako so tam stabilizirali dva reperja (FR3000 (nova oznaka 9001) in FR3001 (nova oznaka 9000)).

Pred izvedbo nove izmere na območju Koper je bilo izvedeno tudi rekognosciranje terena. Uničene nivelmanske reperje so nadomestili z novimi.

7.1.1.2 Stabilizacija novih geodetskih točk in rekognosciranje terena v bližini nove mareografske postaje Koper pred izmero leta 2005

Na podlagi izmere v letu 2001 je bilo ugotovljeno, da je reper 5486 res nestabilen in ne ustreza potrebam mareografske nivelmanske mreže. Za nov mareograf je bil tako izbran nov reper mareografa, ki izpolnjuje zahteve IOC, saj leži na lokalno stabilnem območju. Ta reper je bil reper FR3001 (9000), ki je stabiliziran v skali za hotelom Koper.



Slika 15: Reper mareografa (9000) v skali za hotelom Koper

Pri ocenjevanju stabilnosti se je upoštevalo tudi stanje objekta ter stabilnost tal na katerih je objekt temeljen. Ker prejšnji mareograf ni bil dobro temeljen, bil je namreč samo privezan ob pomol, se je novemu mareografu izvedlo boljše temeljenje, in sicer s pilotom. S tem je stabilnost mareografa manj vprašljiva kot je bila pri prejšnjem mareografu.

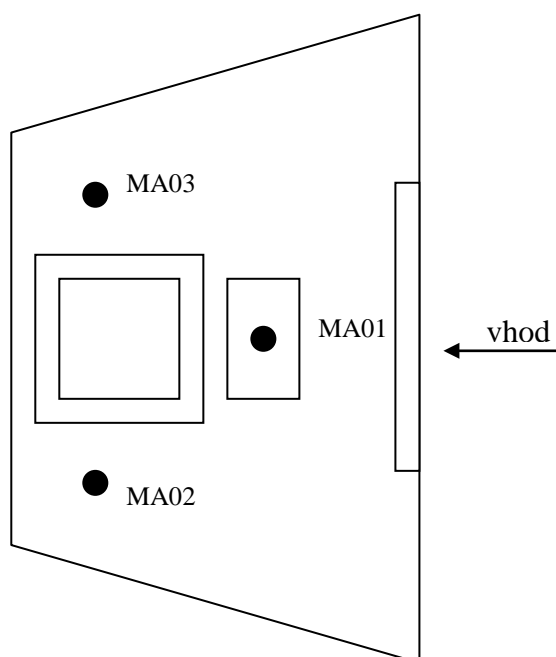
Za navezavo mareografskih opazovanj z vertikalnim datumom nivelmanske mreže je bilo potrebno na mareograf stabilizirati kontaktno točko CP. ARSO se je odločil za nakup tako klasičnega mareografa s plovcem kot tudi za mareograf z radarjem. Ker mora imeti vsak tip mareografa svojo kontaktno točko, ima tako mareograf v Kopru dve kontaktni točki. Ena kontaktna točka je tako nameščena na klasičnem mareografu s plovcem - CP_{pl} , druga pa na mareografu z radarjem - CP_r . Kontaktna točka je vijak z glavo kroglaste oblike, tako da je enolično definirana najvišja točka vijaka. To omogoča enolično postavitve nivelmanske late in s tem enolično določitev višine kontaktne točke.



Slika 16: Kontaktna točka na klasičnem mareografu s plovcem - CP_{pl} (levo) in kontaktna točka na mareografu z radarjem - CP_r (desno)

Notranja višina objekta, v katerem je nameščen mareograf, znaša glede na projektno dokumentacijo 2.20 m. Takšna višina omogoča postavitve talnih reperjev znotraj objekta, saj obstajajo nivelmanske late različnih višin. Zaradi tega so torej možne nivelmanske meritve znotraj objekta in s tem določanje stabilnosti mareografa.

Trije reperji so v talno ploščo objekta stabilizirani tako, da je vizura na njih možna z zunanega stojišča skozi vrata objekta. Približen položaj talnih reperjev kaže slika 17. V tla so izvrtane luknje, vanje so vstavljeni čepi in zaliti s cementnim lepilom. Čepi so nad nivojem tal nekaj cm. Vizuelno torej ti reperji niso moteči, poleg tega pa jih lahko tudi pohodimo.



Slika 17: Skica položaja talnih reperjev

Za potrebe opravljanja gravimetričnih meritev je gravimetrična točka postavljena znotraj objekta. S tem so med meritvami odstranjeni moteči zunanji vplivi. Tako je talni reper (MA01), ki je najbližje vratom postavljen tako, da je nanj možno postaviti gravimeter. Reperja v vogalih (MA02, MA03) sta postavljena tako, da se figurant z merilčkom lahko postavi za točko (gledano z vrat).



Slika 18: Talni reper MA01 na vhodu v objekt (tudi gravimetrična točka)

Na objektu Ministrstva za promet, Urad RS za pomorstvo v Kopru smo stabilizirali nov reper (reper 9004), saj na že stabilizirani reper (reper 3002) ni bilo možno postaviti nivelmanske late višine 3 m, s katero smo opravljali meritve v nivelmanski mreži mareografa Koper. Nov reper smo zato stabilizirali nižje in s tem omogočili te meritve. Višino iz starega repera smo na novega prenesli z niveliranjem.

Reperja 9003 in 9002 nista imela točno definirane najvišje točke. Reperja smo popravili in pobrusili, tako da smo s tem zagotovili enolično postavitev nivelmanske late.

7.1.2 Postavitev antene GPS na mareografski postaji Koper

Za postavitev GPS antene je bila izbrana lokacija na strehi objekta, v katerem je postavljen nov mareograf (slika 13). S tako postavitvijo se bomo izognili kasnejšim relativnim premikom antene in mareografa.

Pri postavitvi GPS antene na tej lokaciji je potrebno upoštevati veliko motečih vplivov, kot sta zakrivanje sprejema signalov zaradi bližnjih objektov in plovil in tako imenovani »multipath« ali odboj signala od morja in plovil.

Problem pri postavitvi antene in s tem sprejemanje signalov iz satelitov predstavljajo ovire na južni strani neba, saj je le tam največ uporabnih satelitskih signalov. Na tej lokaciji predstavljajo problem predvsem visoki jambori jadrnic, ki se zasidrajo v neposredni bližini južno od antene. Zaradi tega je bilo potrebno dvigniti anteno GPS nad objekt mareografa toliko, da smo se tem oviram izognili.

Pri proučevanju višine droga antene GPS je bila predlagana višina 4 metre. Glede na to višino je bil opravljen izračun, ki kaže koliko metrov od antene s to višino mora biti oddaljen jambor določene višine, da ne bi oviral sprejema signalov. Pomembno vlogo ima tudi elevacija signalov, ki je zahtevana pri antenah GPS. Ta znaša največ do 15°, optimalno pa do 5°. V primeru, da je jadrnica oddaljena od antene GPS 10 metrov, znaša višina elevacijskega kota signalov 2.68 m. Tako pridobimo višino jambora jadrnice pri oddaljenosti 10 m od antene GPS z izračunom:

- 3 m (mareografski objekt)
- + 4 m (drog antene GPS)
- + 2.68 m (višina elevacijskega kota)
- 9.68 m (višina jambora jadrnice)

Z zgornjim izračunom, kjer je upoštevana višina mareografskega objekta (3 m), višina droga antene GPS (4 m), ki je stabiliziran v mareografski objekt ter višina elevacijskega kota (2.68 m) pridobimo, da mora biti višina jambora jadrnice, ki je od antene GPS oddaljena 10 m, vsaj 9.68 m.

Če upoštevamo, da se jambor začne na višini vsaj 1 m pod pomolom, ne sme biti na oddaljenosti 10 m od antene GPS nobene jadrnice z jamborom višjim od okvirno 11 m. Optimalno bi bilo, če bi bila ta razdalja še večja. Preglednica 2 prikazuje oddaljenosti od antene GPS in višine jambora, ki ne bi kritično oviral sprejema signalov.

Preglednica 2: Višina jambora jadrnic v odvisnosti od oddaljenosti od antene GPS (povzeto po Trajkovska et al., 2003).

Oddaljenost od antene GPS (m)	Višina kota 15° (m)	Jadrnica pod pomolom (1 m)	Višina jambora (m)
10	2.68	1	10.68
15	4.02	1	12.02
20	5.36	1	13.36
30	8.04	1	16.04

Z Upravo RS za pomorstvo je tako dogovorjeno, da se plovila z višjimi jambori privezujejo na ustrezno večji oddaljenosti od mareografske postaje Koper (Trajkovska et al., 2003).

Nosilec oziroma drog, na katerem je postavljena antena GPS, je karbonska cev, ki je izolirana in zaščitena z nerjavečim jeklom. V bistvu gre za cev v cevi, s čimer je zmanjšan temperaturni vpliv na cev. Drog antene ima pomembno funkcijo nosilca antene, zato je fiksno podprt s pomožnimi cevmi in čvrsto vgrajen v objekt mareografa. Med samim vlivanjem betona se je preverjala vertikalnost droga z geodetskimi instrumenti in se tako zagotovila zadostna stabilnost in horizontalna postavitev antene GPS. Drog je povezan z mareografsko postajo. S tem je omogočeno spremljanje sprememb direktno z mareografom.

Na vrhu droga se nahaja nastavek, tako imenovana glava droga, ki ima na zgornji strani navoj, na katerega se privije antena. Navoj je standardni Leicin navoj, tako da je mogoče anteno GPS odstraniti in jo nadomestiti z drugo mersko opremo, na primer mersko prizmo. Merska prizma se tako nahaja na enakem mestu kot antena GPS. Z zamenjavo antene GPS z mersko prizmo je omogočeno opravljanje terestričnih geodetskih meritev.

»Multipath« ali odboj signala od vodne površine, plovil ter sosednjih objektov je mogoče vsaj delno preprečiti z izbiro ustrezne antene in z manjšimi tehničnimi dodatki ob glavi antene. Tako je bila izbrana choke ring antena, ki jo priporoča tudi IOC. Tip antene je Leica AT504 LEIS z Dorne Margolin elementom in radome kupolo, ki ščiti anteno pred vremenskimi razmerami.

Leica AT504 LEIS antena je IGS antena, ki jo je izdelala NASA/JPL (National Aeronautics Space Administration/Jet Propulsion Laboratory). Je dvofrekvenčna antena, ki jo odlikuje odlična odpornost na interference in odbite signale (multipath) ter brezkompromisna stabilnost faznega centra (<1 mm) (<http://www.leica.loyola.com/products/accessories/at504.html>).



Slika 19: Merska prizma na nosilcu antene GPS (levo) in antena GPS na nosilcu (desno)

7.1.3 Leica GRX1200 sprejemnik

Antena GPS je preko zaščitnega elementa z nizko izgubnim kablom povezana z GPS1200 sprejemnikom Leica GRX1200, ki se nahaja v objektu mareografa.

GPS 1200 sprejemniki omogočajo določitev položaja z milimetrsko natančnostjo v globalnem pozicijskem sistemu. Izdelani so po najzahtevnejših MIL standardih in so kos ekstremnim temperaturam, najslabšemu vremenu in najzahtevnejšim terenskim situacijam. Instrument je vodotesen (<http://www.geoservis.si/main.php?pg=instrumenti/leica/System1200.htm>).

Preglednica 3: Tehnični podatki GPS1200 sprejemnika Leica GRX1200 (povzeto po <http://www.geoservis.si/instrumenti/leica/GRX1200.pdf>)

GPS tehnologija	SmartTrack
Tip	Dvofrekvenčni
Kanali	12L1 + 12L2
RTK/DGPS prenos	da
Teža	1.2 kg
Temperaturno območje	Delovanje: -40°C do +65°C
ISO9022	
MIL-STD-810F	Shranjevanje: -40°C do +80°C
Vlaga	
ISO9022	Deluje tudi v do 100% relativni zračni vlažnosti
MIL-STD-810F	
Vodotesnost	
MIL-STD-810F	Začasna potopitev do 1 m
Dež, prah, pesek veter	
MIL-STD-810F	Odporen
IP67/IP57	
SmartTrack	- Čas, ki je potreben za pridobitev vseh satelitov, ko instrument prižgemo: tipično 30 sek. - Ponovna pridobitev satelitov po izgubi signala: tipično znotraj 1 sek.

	<ul style="list-style-type: none"> - Zelo visoka občutljivost: pridobi več kot 99% od vseh možnih opazovanj nad 10° elevacije. - Zelo nizek šum signala. Močno sledenje. - Ublažitev multipatha. - Odporen na interference. 				
Merska natančnost nosilna faza koda (pseudorazdalja)	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">L1:0.2 mm rms</td> <td style="text-align: center;">L2: 0.2 mm rms</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">L1:20 mm rms</td> <td style="text-align: center;">L2: 20 mm rms</td> </tr> </table>	L1:0.2 mm rms	L2: 0.2 mm rms	L1:20 mm rms	L2: 20 mm rms
L1:0.2 mm rms	L2: 0.2 mm rms				
L1:20 mm rms	L2: 20 mm rms				
Natančnost post-procesiranja Z Leica GeoOffice softwarom	Statično, dolge linije, dolga opazovanja, AT504 antena Horizontalna: 3 mm + 0.5 ppm rms Vertikalna: 6 mm + 0.5 ppm rms				
AT504 choke-ring geodetska antena IGS tip "T" antena JPL model	Aluminijska strojno izdelana choke-ring antena z Dorne in Margolin elementom. Zaduši multipath. Stabilnost faznega centra je boljša od 1.0 mm. Na voljo tudi radome kupola za zaščito pred vremenom.				
Kontrolni software	Leica GPS Spider				

GPS sprejemnik za permanentne postaje Leica GRX1200 in antena Leica AT504 z Dorne Margolin elementom predstavljata najboljšo osnovo za permanentne postaje, Takšna oprema je bila izbrana tudi za permanentno postajo v Kopru.

Območje mareografa je oskrbljeno s trajno električno močjo in standardno telefonsko linijo, kar preko ADSL povezave omogoča prenos podatkov do analiznih centrov. Območje je varno pred vandalizmom in krajo, prav tako pa tudi vsa oprema, saj se ta nahaja v objektu mareografa, ki je zaklenjen. Vsa oprema na postaji spoštuje uveljavljene standarde (RINEX, RTCM, CMR/CMR+) in je združljiva z EUREF standardi za permanentne GPS postaje.



Slika 20: GPS sprejemnik v objektu mareografa

7.1.4 Stabilizacija geodetskih točk za potrebe spremljanja horizontalne stabilnosti ARP mareografske postaje Koper

Za potrebe spremljanja lokalne stabilnosti ARP GPS antene mareografske postaje Koper smo v neposredni bližini mareografske postaje (na oddaljenosti do 100 m od mareografske postaje) vzpostavili tako imenovano geodetsko mikromrežo. Mikromrežo sestavljajo 3 lokalno stabilne geodetske točke. 2 točki (KP02, KP03) sta stabilizirani na novo, tretja točka (SMKP = KP01) pa je točka na pomolu, ki se uporablja za GPS izmero.

Kadar ugotavljamo stabilnost tal in stabilnost umetno zgrajenih objektov je pogosto potrebno definirati premike reda 0.1 mm. Da lahko z največjo verjetnostjo določimo tako majhne premike, je poleg precizne izmere in izravnave izredno pomembna tudi lastna stabilnost merskih točk, s pomočjo katerih opišemo premike. V praksi srečujemo vrsto različnih načinov stabilizacije geodetskih točk, od najenostavnejših načinov pa vse do masivnih temeljev z betonskimi stebri in mehanizmom, ki omogočajo prisilno centriranje.

V primeru določevanja horizontalnih premikov na mareografski postaji Koper smo se odločili za nov način stabilizacije, ki je enostaven in cenovno nezahteven. Merske točke so definirane z dvema fizično stabiliziranimi točkama. Točke, na katere prisilno centriramo reflektor, predstavljajo merske točke, katerih premike ugotavljamo. Vse meritve pa opravimo na točkah, ki so glede na merske točke postavljene ekscentrično. Tako govorimo o ekscentričnih stojiščih. Oddaljenost ekscentra od centra točke znaša od 10 do 20 m.

Pri stabilizaciji merskih točk smo uporabili 18 cm dolgo palico iz nerjavečega jekla. Z ustreznim strojem smo izvrtali luknjo s premerom, ki je enak premeru palice. Nato smo v luknjo spustili jekleno cev, jo zalili z betonom in nanj vgradili nastavek za prisilno centriranje (to je omogočalo tudi postavitvev GPS antene). Cev smo na vrhu pokrili s pokrovčkom, tako da je točka popolnoma zaščitena. Stojišče instrumenta smo stabilizirali z običajno talno stabilizacijo, in sicer navadnim čepom oziroma klinom geodetske izmere.



Slika 21: Stabilizacija merske točke z varnostnim pokrovom (levo), stabilizacija stojišča instrumenta (sredina), merska točka in ekscentrično stojišče (desno)

8 GEODETSKA IZMERA MAREOGRAFSKE POSTAJE KOPER

Tako kot v vsakdanjem življenju, se tudi v geodeziji srečamo s tradicionalno ločeno obravnavo horizontalnega in višinskega položaja. Razlog temu je, da je definicija višine predvsem fizične narave, medtem ko je horizontalni položaj definiran geometrijsko. Seveda lahko tudi višino definiramo geometrijsko, kadar uporabljamo postopke satelitske geodezije v kombinaciji z gravimetrijo.

8.1 Višinska izmera mareografske postaje Koper

Višinska komponenta koordinatnega sistema je sestavljena iz nivelmanske in gravimetrične geodetske mreže. Gravimetrija skupaj z nivelmanom omogoča določitev višin (nadmorskih višin) v težnostnem polju Zemlje s klasičnimi geodetskimi metodami izmere. Prav tako lahko določamo višino s pomočjo satelitske tehnologije GPS v kombinaciji z gravimetrijo. O tem več v poglavju 8.2.

Z geometričnim nivelmanom določamo geometrično višinsko razliko med poljubno točko v prostoru in izbrano izhodiščno točko. Geoid je zaradi sploščenosti Zemlje, vpliva topografije in nehomogenosti gostote kamnin v notranjosti Zemlje razgibana ploskev, ki ni vzporedna referenčnemu elipsoidu. Razlika med vrednostjo težnostnega pospeška g med dvema ekvipotencialnima ploskvama je povsod enaka, geometrična višinska razlika med tema ploskvama pa se zaradi razgibanosti obeh ploskev (in ploskve geoida) krajevno spreminja. Za ohranitev natančnosti določitve višin na večjih oddaljenostih, je potrebno vzpostaviti mrežo reperjev nivelmana visoke natančnosti. V nadmorski višini reperjev mora biti upoštevana korekcija zaradi razhajanja med geometričnimi višinskimi razlikami in razlikami težnostnega potenciala. Ravno zaradi tega moramo na reperjih nivelmana visoke natančnosti v primerni gostoti točk na enoto površine ozemlja poznati težnostni pospešek g , ki ga lahko pridobimo

samo z gravimetrično izmero (http://www.gu.gov.si/gu/podatki/Geod_toc/Grav_toc/Grav_toc.asp).

8.1.1 Izmera nivelmanske mreže mareografa

Naloga:

- Navezati nivelmansko mrežo mareografa na državno nivelmansko mrežo.
- Po zahtevah za izmero NVN izmeriti nivelmansko mrežo mareografa, ki povezuje kontaktno točko mareografa, reper mareografa (reper 9000) in ostale reperje v bližini mareografa.
- Povezati nov mareograf s starim mareografom.

8.1.1.1 Navezava nivelmanske mreže mareografa na državno nivelmansko mrežo

Nadmorske višine točk v nivelmanski mreži mareografa morajo biti navezane na državno višinsko mrežo (NVN II) ter izračunane v državnem višinskem sistemu.

Analiza višinskih premikov reperjev mareografa glede na izmero v letu 2001

Pred navezavo nivelmanske mreže mareografa na državni višinski sistem smo najprej opravili analizo vertikalnih premikov reperjev mareografa glede na izmero opravljeno v letu 2001. Ker smo vedeli, da je širše območje Kopra nestabilno, smo ponovno izmerili del nivelmanskega poligona II. NVN med Koprom in Dekani ter nivelmansko mrežo mareografa, ki je bila stabilizirana zaradi starega mareografa. Izmero nivelmanske mreže smo navezali na reper CP88, ki je stabiliziran v Dekanih.

Na podlagi ponovne izmere smo ugotovili, da so reperji, ki so stabilizirani v starem delu mesta stabilni, medtem ko so reperji na nasutem delu mesta Koper nestabilni. Reper 5486, ki

je veljal pri prejšnjem mareografu za reper mareografa, je stabiliziran v objektu, ki je zgrajen na nasutem območju in je nestabilen glede na zahtevano natančnost. Pokazalo se je, da sta reperja 9000 in 9001, ki sta stabilizirana na skali za hotelom Koper res stabilna. Ker mora biti reper mareografa stabiliziran na čim bolj stabilnem območju in tako izpolnjevati zahteve IOC, smo za reper mareografa določili nov reper, in sicer reper 9000 (FR 3001). Višinsko razliko med dvema reperjema v nivelmanu smo določili z niveliranjem iz sredine.



Slika 22: Del nivelmanskega poligona II. NVN med Koprom in Dekani

Nivelmanska mreža mareografa

V okolici mareografske postaje Koper je stabiliziranih 6 reperjev (9004, 9003, 9002, 9001, 9000, 5486), ki so povezani v nivelmansko mrežo mareografa Koper. Nivelmansko mrežo mareografa Koper smo navezali na reperje državne mreže. Višinsko razliko med njimi smo ponovno določali z niveliranjem iz sredine.

Ker je nivelmanska mreža mareografa Koper zanka, smo imeli pri izvajanju meritev poleg primerjave merjenih višinskih razlik tja in nazaj tudi kontrolo zapiranja nivelmanske zanke. Dolžina nivelmanske zanke mareografa Koper je znašala približno 1 km.



Slika 23: Nivelmanska mreža mareografa Koper

8.1.1.2 Povezava mareografskih opazovanj z nivelmansko mrežo mareografa Koper

Da smo in da bomo tudi v prihodnosti lahko spremljali in kontrolirali višinske premike mareografske postaje Koper, je bilo potrebno mareografska opazovanja povezati z nivelmansko mrežo mareografa Koper in s tem torej z državno nivelmansko mrežo.

Kontaktna točka je reper oziroma višinska točka, na katero je možno navezati mareografska opazovanja oziroma spreminjanje nivoja morja. Ker je to fizična točka (reper), je mogoče na njej opravljati nivelmanske meritve. To nam omogoča, da mareografska opazovanja povežemo z vertikalnim datumom nivelmanske mreže.

Kontaktne točke smo povezali z na novo stabiliziranim reperjem na objektu Ministrstva za promet, Urad RS za pomorstvo v Kopru (reper 9004), ki je eden izmed reperjev nivelmanske mreže mareografa Koper. S tem smo povezali kontaktne točke tudi z reperjem mareografa.

Reper mareografa je izredno pomemben reper, saj je vključen v nivelmansko mrežo Slovenije in ima nadmorsko višino določeno v vertikalnem datumu nivelmanske mreže Republike Slovenije. Predstavlja torej izhodišče za višinsko navezavo mareografskih opazovanj oziroma predstavlja vertikalni datum mareografskih opazovanj. Geodetska povezava med kontaktnima točkama in reperjem mareografa je torej nujna, saj imata s tem kontaktni točki nadmorsko višino določeno v vertikalnem datumu nivelmanske mreže Republike Slovenije, s čimer je omogočeno, da se podatki o višini gladine morja nanašajo na datum reperja mareografa.

Višinsko razliko med kontaktnima točkama in reperjem 3003 smo prav tako določili z niveliranjem iz sredine, vendar smo za opravljanje meritev uporabili drug instrumentarij.

8.1.1.3 Navezava GPS reperja na nivelmansko zanko mareografa Koper

Obstaja še ena izredno pomembna točka, ki smo jo prav tako morali povezati z reperjem mareografa preko niza reperjev nivelmanske mreže mareografa. To je referenčna točka za GPS meritve v bližini mareografa (SMKP), ki predstavlja zemeljski center "z" mareografa Koper. To točko je potrebno vključiti v vsa opazovanja, tako položajna kot višinska.



Slika 24: GPS reper

Poleg referenčne točke za GPS meritve (SMKP), smo za potrebe spremljanja horizontalne stabilnosti ARP antene GPS, stabilizirali še točki KP02 in KP03. Med vsemi tremi točkami smo nivelirali, ter točke navezali na reper 9004. Vsem trem točkam smo tako določili nadmorske višine v državnem višinskem koordinatnem sistemu.

8.1.1.4 Navezava talnih reperjev v objektu na nivelmansko zanko mareografa Koper

V objektu smo stabilizirali tudi talne reperje. Talni reperji tvorijo mikromrežo za spremljanje vertikalne stabilnosti mareografske postaje Koper. Reperje smo z nivelmanom povezali tako z nivelmansko zanko mareografa kot tudi s kontaktnima točkama mareografa. S tem smo omogočili spremljanje stabilnosti mareografa Koper v državni nivelmanski mreži.

Pri opravljanju meritev smo uporabili enak nivelir kot pri navezavi kontaktne točke na nivelmansko mrežo mareografa. Na reperja v vogalih zaradi prostorske stiske nismo postavljali nivelmanske late temveč merilček (lineal).

8.1.1.5 Povezava novega mareografa s starim mareografom

Ker smo star mareograf prestavili na nov položaj, ga je bilo potrebno povezati z novim mareografom. S tem smo zagotovili ustrezno povezavo starega in novega mareografa v enotni nivelmanski mreži mareografa in obenem dosegli, da nismo izgubili dolgotrajnih neprekinjenih opazovanj, ki so bila opravljena s starim mareografom.

8.1.1.6 Uporabljen instrumentarij

Del nivelmanskega poligona II. NVN med Koprom in Dekani kot tudi nivelmanska mreža mareografa sta bila izmerjena z digitalnim nivelirjem Leica NA3000 in kompariranima kodiranima invar nivelmanskima latama. V času izmere smo merili tudi temperaturo invarja.

Tako se bo pri izračunih lahko upoštevala sprememba dolžine metra nivelmanske late zaradi spremembe temperature.

Preglednica 4: Tehnični podatki digitalnega nivelirja Leica NA3000 (povzeto po http://www.rost.co.at/rn/daten/prospekte/rovi/Prospekt_NA2000_NA2002_NA3000_NA3003.pdf)

Povečava daljnogleda	24x
Temperaturno območje delovanja	-20°C do + 50°C
Standardno odstopanje (1 km dvakratni nivelman/merilno območje)	Invar nivelmanska lata GPCL2/GPCL3 (elektronsko merjenje): 0.4 mm/1.8 m – 60 m
Natančnost pri merjenju razdalj	3 mm – 5 mm/10 m (centimetrsko točnost)
Tipičen merski čas	ca. 3 – 4 sek.
Horizontalni krog	400 gon ali 360°
Kompensator	Kompensatorsko grezilo z elektronskim nadziranjem območja



Slika 25: Digitalni nivelir Leica NA3000 (levo) in komparirana kodirana invar nivelmanska lata (desno)

Za navezavo mareografske postaje Koper na nivelmansko mrežo mareografa smo uporabili nivelir Carl Zeiss CONI007, stativ na katerega smo postavili instrument, komparirane klasične invar nivelmanske late z dvojno razdelbo različnih dolžin ter merilček.

8.1.1.7 Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost

Za potrebe določitve višinskih premikov mareografa Koper smo v času poskusnega delovanja mareografa do predaje mareografa, kar je obsegalo približno 3 mesece, vsak mesec izmerili nivelmansko mrežo mareografa in jo povezali s kontaktnima točkama mareografa ter talnimi reperji v objektu mareografa.

Del nivelmanskega poligona II. NVN med Koprom in Dekani smo izmerili samo enkrat z namenom analize višinskih premikov reperjev glede na izmero v letu 2001. Nivelmansko zanko točk SMKP (KP01), KP02 in KP03, z navezavo na nivelmansko zanko mareografa, smo izmerili dvakrat, in sicer z namenom ugotavljanja stabilnosti teh točk. Prav tako smo dvakrat izmerili tudi povezavo starega mareografa z novim.

Glede na uporabljen instrumentarij in natančnost nivelirjev, ki jih navaja proizvajalec, je pričakovana natančnost opravljenih izmer nad 1 mm. Razlog temu je tudi to, da se višine prenašajo na kratke razdalje.

8.1.2 Vključitev mareografske postaje Koper v EVRS sistem

Glede na to, da se v Evropi vzpostavlja skupna evropska višinska mreža, kjer so uporabljene normalne višine, bi bilo najbrž smotrno tudi pri nas uvesti normalne višine. Le-te namreč izpolnjujejo največ pogojev idealnega višinskega sistema, za katerega naj bi veljalo (Bilajbegović, 1989):

1. Višine točk morajo biti enolično določene in neodvisne od poti niveliranja.
2. Višine se morajo določiti enolično na osnovi fizikalnih meritev na fizični površini Zemlje brez uvedenih hipotez in predpostavk o notranji sestavi Zemlje.

3. Iz višin naj bi se določila geoidna ondulacija z zadovoljivo natančnostjo na čim bolj enostaven način. Tako bi bila mogoča enostavna povezava višin izbranega sistema z elipsoidnimi višinami, ki jo zahteva satelitska metoda določevanja položaja točk na površini Zemlje (GPS).
4. Višine točk naj bi bile podane v metrih, za katere mora obstajati geometrična razlaga.
5. Točke z isto višino morajo ležati na isti nivojski ploskvi.
6. Popravki merjenih višinskih razlik naj bodo čim manjši, da jih pri niveliranju nivelmanskih vlakov nižjega reda lahko zanemarimo.
7. Preračun obstoječih višin, normalnih ortometričnih višin, v novi sistem naj bi bil enostaven, popravki naj bi bili čim manjši.

(Lisec et al., 2004)

Če torej želimo mareografska opazovanja navezati na EVRS sistem je potrebno točkam določiti normalne višine glede na višinski datum NAP. To lahko naredimo z navezavo nivelmanske mreže mareografa na UELN oziroma EUVN97 točke.

Osnova za izračun višin v različnih višinskih sistemih so nivelirane višinske razlike Δh in vrednosti težnostnega pospeška g na opazovani točki. Tako so določene geopotencialne kote, ki jih v praksi določimo kot:

$$C_p \approx \sum_{i=1}^n g_{mi} \Delta h_i \quad (3)$$

Enoto za geopotencialno koto imenujemo geopotencialno število ali GPU (geopotencial unit), kjer je $1 \text{ GPU} = 10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ali v starih enotah $1 \text{ GPU} = \text{Galm}$, saj se vrednosti geopotencialnih kot ne razlikujejo od nadmorskih višin za več kot 2% (Lisec, 2002).

Ko poznamo geopotencialno koto neke točke, lahko z računskimi postopki pridemo do katerih koli višin, torej tudi do normalnih višin, ki jih potrebujemo za vključitev mareografske postaje Koper v EVRS višinski sistem.

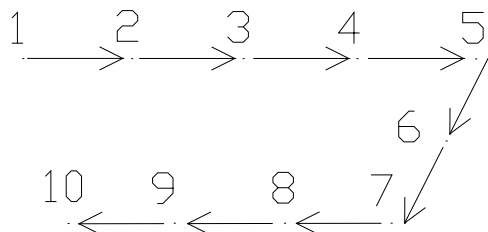
8.1.2.1 Navezava mareografske postaje Koper na EVRS sistem

Za potrebe navezave mareografske postaje Koper na UELN in EUVN97 smo izvedli gravimetrično izmero, ki smo jo navezali na absolutno gravimetrično točko Socerb. Reper 5486, ki je eden izmed reperjev nivelmanske mreže mareografa, je izhodiščni reper za evropsko mrežo - reper UELN mreže (7010 – UELN). Navezan je na EUVN97 točko in na absolutno gravimetrično točko Socerb. EUVN97 točka je točka 180 na Maliji (SI03 Malija – EUVN97).

V gravimetrično izmero smo vključili vse reperje nivelmanske mreže mareografske postaje Koper kot tudi vse reperje nivelmanskega poligona II. NVN med Koprom in Dekani. Gravimetrično izmero smo opravili tudi na kontaktnih točkah, na gravimetrični točki v objektu mareografa (MA01) ter na geodetski točki SMK, ki se nahaja na carinskem pomolu ob mareografu.

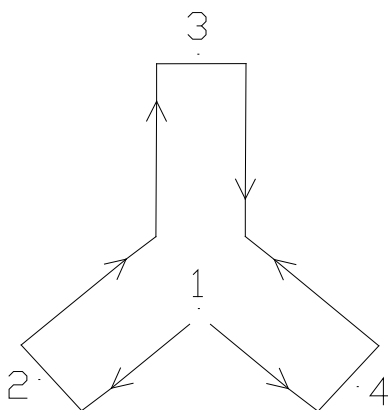
Gravimeter je zelo občutljiv instrument. Spreminjanje temperature in pritiska v notranjosti instrumenta, staranje vzmeti ter razni tresljaji povzročajo, da gravimeter tekom časa spremeni ničelni odčitek, kar imenujemo hod instrumenta. Hod instrumenta je potrebno upoštevati pri meritvah. Koeficienti hoda se lahko določijo s ponovljenimi meritvami na istih točkah, pri čemer morajo biti ponavljanja čim bolj enakomerno razporejena.

Nivelmanski poligon II. NVN med Koprom in Dekani smo tako izmerili po metodi profila. Pri tej metodi gre za enkratno, dvokratno ali večkratno merjenje na posamezni točki profila. Naše meritve nivelmanskega poligona so bile opravljene dvakrat na posamezni točki profila, torej smo težnostni pospešek na reperjih poligona merili tja in nazaj.



Slika 26: Metoda profila

Nivelmansko mrežo mareografske postaje Koper smo merili po metodi zvezde, pri čemer smo zvezdo tudi zapirali. Tukaj gre za povezavo na centralno točko in kontrolo hoda v realnem času. Dobra lastnost takšnega merjenja je, da imamo ogromno ponovitev meritev in s tem ugotovitev hoda instrumenta. Z dodatnim merjenjem med obodnimi točkami smo zapirali trikotnike, kar nam je omogočilo dodatno kontrolo izmerjenega hoda. (Urek, 2005)



Slika 27: Metoda zvezde

Relativne gravimetrične meritve na reperjih oziroma točkah smo opravljali 5x po eno minuto. Zaradi preverjanja pogojev v času merjenja smo merili tudi temperaturo in pritisk. Po vsakem horizontiranju in centriranju instrumenta smo izmerili tudi višino od reperja/točke do vrha instrumenta. Določitev težnostnega pospeška na reperjih oziroma točkah nam je skupaj z nivelmanom omogočalo določitev geopotencialnih kot reperjev in točk.

8.1.2.2 Določitev težnostnega pospeška na ARP antene GPS

Ker na ARP antene GPS ni bilo mogoče opravljati gravimetričnih meritev, se bo težnostni pospešek za to točko izračunal na osnovi vertikalnega gradienta od kontaktne točke CP_{pl} . Vertikalni gradient podaja spremembo težnostnega pospeška v višini. V praksi se na zemeljskem površju uporablja gravitacijski gradient $3 \mu\text{Gal}/\text{cm}$. Mi te vrednosti ne bomo vzeli kot dane. Vertikalni gradient za stanje mareografske postaje Koper se bo vsakokrat izračunal na osnovi meritev.

Med talnim reperjem MA01 in kontaktno točko CP_{pl} , med katerima je približno 1 m višinske razlike, smo na obeh točkah opravili 10 enominutnih ponovitev meritev težnostnega pospeška. S tem smo določili za koliko se težnostni pospešek spreminja na 1 m višine. Ob poznani višinski razliki med kontaktno točko CP_{pl} in ARP antene GPS, se tako na osnovi dobljenega vertikalnega gradienta ter znanim težnostnim pospeškom na kontaktni točki CP_{pl} , lahko izračuna težnostni pospešek na ARP antene GPS.

8.1.2.3 Uporabljen instrumentarij

Relativne gravimetrične meritve smo opravljali z relativnim gravimetrom Scintrex CG-3M, ki je last MOPE GURS-a.

Preglednica 5: Tehnični podatki relativnega gravimetra Scintrex CG-3M (povzeto po <http://www.georentals.co.uk/cg3m.htm>)

Tip senzorja	Varovalni kremenjak z uporabo elektrostatične nule
Temperaturno območje delovanja	-40°C do + 45°C
Bralna resolucija	1 μGal
Standardna deviacija	<5 μGal
Natančnost gravimetra	± 10 do $\pm 30 \mu\text{Gal}$
Teža	11.0 kg
Spomin	48 kRAM, primerno za nekje do 1200 odčitkov
Območje avtomatske kompenzacije nagnjenosti	± 200 arc sek.



Slika 28: Relativni gravimeter Scintrex CG-3M

8.1.2.4 Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost

V času poskusnega delovanja mareografa in do predaje mareografa (približno 3 mesece) smo vsak mesec na kontaktni točki mareografa s plovcem (CP_{pi}) in gravimetrični točki v objektu mareografske postaje Koper (MA01) z relativnimi gravimetričnimi meritvami določili težnostni pospešek in s tem natančno vrednost vertikalnega gradienta. Na ostalih točkah smo meritve opravljali enkrat.

Natančnost relativne določitve vrednosti težnostnega pospeška je od ± 0.02 do ± 0.03 mGal. Z zelo natančnimi postopki merjenja lahko povečamo natančnost na ± 0.01 mGal ($1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$) (Kuhar, 2001). Iz tehničnih podatkov instrumenta, ki smo ga uporabljali, je razvidno, da je le-ta zelo natančen. Ker smo uporabljali tudi zelo natančne postopke merjenja lahko pričakujemo natančnosti meritev težnostnega pospeška od ± 0.01 do ± 0.02 mGal.

8.2 Določitev lege ARP antene GPS mareografske postaje Koper v ITRF2000 in ETRS89 koordinatnih sistemih

ETRS89 koordinatni sistem naj bi sovpadal z ITRS koordinatnim sistemom za čas 1989,0 in naj bi bil »pritrjen« na stabilen del Evrazijske plošče. Realizacija ETRF89 koordinatnega sestava je bila izvedena na osnovi ITRF89 koordinat evropskih SLR in VLBI postaj v epohi 1989,0 in prve EUREF GPS kampanje EUREF GPS89, z navezavo na izhodiščne točke, dane v ETRF89 koordinatnem sestavu in izvedenimi povezavami s točkami SLR/VLBI. Zgoščevanje ETRF89 koordinatnega sestava poteka predvsem z evropskimi GPS kampanjami in z vzpostavljanjem permanentnih GPS postaj. Pri nas so bile v fazi izvajanja meritev na mareografski postaji Koper delujoče permanentne postaje v Ljubljani, Mariboru, Črnomlju, Bovcu ter tudi na novo vzpostavljena permanentna postaja v Kopru.

Koordinatni sistem $ITRF_{yy}$ temelji na poznavanju (modelu) premikov tektonskih plošč, dvigovanj zemeljskega površja ter na poznavanju plimovanja čvrste zemeljske skorje. Realizacija je izvedena tudi ob upoštevanju drugih modeliranih in poznanih vrednosti popravkov velikostnega reda milimeter. Sloni na SLR, LLR (Lunar Laser Ranging), VLBI in GPS opazovanjih (<http://www.km.fgg.uni-lj.si/gosti/sbogatin/pdf/predstavitev.pdf>).

Mareografi merijo srednji nivo morja relativno na reperje, ki so postavljeni na zemeljskem površju. Tako so podatki o relativnem nivoju morja obremenjeni z vertikalnimi premiki Zemlje (npr. posedanje obale). Dobro je poznati srednji nivo morja v globalnem geocentričnem referenčnem sistemu (GPS), ki omogoča določevanje absolutnih sprememb srednjega nivoja morja relativno na vsak reper v nivelmanski mreži mareografa.

Nivo morja lahko merimo tudi s satelitsko altimetrijo, ki se prav tako nanaša na globalni geocentrični referenčni sistem. Te podatke lahko potem primerjamo z izmerjenim nivojem morja na mareografu. S to primerjavo je mogoče določiti vertikalne zemeljske premike tudi do 1 mm/ leto (<http://www.eseas.org/eseas-ri/deliverables/d2.1/eseas-ri-d2.1a.pdf>).

8.2.1 Izmera GPS za vključitev permanentne postaje Koper v ITRF2000 in ETRS 89

Za potrebe določitve lege ARP antene GPS mareografske postaje Koper v ITRF2000 in ETRS89 koordinatnih sistemih smo na 6 geodetskih/geodinamičnih točkah izvajali GPS opazovanja. Te točke so bile: Socerb, Malija, GPS točka na carinskem pomolu v Kopru (SMKP), na novo stabilizirani točki v bližini mareografa KP02 in KP03 ter točka na novo postavljenem nosilcu GPS antene mareografske postaje Koper. Točki Socerb in Malija imata koordinate dane v ETRS89 koordinatnem sistemu in tako omogočata vključitev ARP antene GPS mareografske postaje Koper v ETRS89 in s tem tudi v ITRF2000 koordinatni sistem.

GPS opazovanja so se na vseh točkah, razen na novo postavljeni permanentni postaji Koper, izvajala 8 ur. Interval registracije opazovanj je bil 15 sekund, višinski kot pa 0° . Opazovanja so bila opravljena s 5 geodetskimi GPS sprejemniki proizvajalca Trimble tipa 4000SSI in 4000SSE.

Permanentna postaja v Kopru je delovala ves čas. Dvofrekvenčni GPS1200 sprejemnik Leica GRX1200 na postaji 24 ur na dan sprejema in beleži signale, oddane s satelitov sistema GPS. Podatki se sproti preko interneta prenašajo v center Službe za GPS, kjer so obdelani s programsko opremo GPSNet in RTKNet in pretvorjeni v zapis RINEX, ki je neodvisen od tipa uporabnikovega sprejemnika. Podatke za čas izmer smo tako prevzeli od Službe za GPS.

Na podlagi teh meritev smo lahko spremljali horizontalno stabilnost mareografske postaje Koper v globalnem smislu in neodvisno od ostalih izmer (geometrični nivelman, terestrična izmera).

8.2.2 Uporabljen instrumentarij

Pri izvedbi GPS opazovanj smo potrebovali sledeč instrumentarij:

- 5 sprejemnikov GPS: Trimble 4000SSI in Trimble 4000SE
- 5 GPS anten Trimble L1/L2 z zaščitno ploščo
- 5 nosilcev višine
- 5 žepnih trakov

Preglednica 6: Tehnični podatki GPS sprejemnikov Trimble 4000SSI in Trimble 4000SSE
(povzeto po <http://www.geoplane.com/trimble/pdfs/4000geodeticsurveyor.pdf>)

Natančnost	milimetrska natančnost, geodetsko kvalitetne meritve
Temperaturno območje delovanja	-20°C do + 55°C
Teža	3.1 kg (brez baterij)
Statične meritve - natančnost	- horizontalna: 5 mm + 1 ppm - vertikalna: 5 mm + 1 ppm - azimut: 1 arc sek. + 5/(dolžina baznega vektorja v kilometrih)



Slika 29: GPS sprejemnik Trimble 4000SSI in GPS antena Trimble L1/L2 z zaščitno ploščo
(<http://www.geoplane.com/trimble/pdfs/4000geodeticsurveyor.pdf>)

Pričakovana natančnost izmere je glede na uporabljen instrumentarij in natančnost sprejemnika GPS, ki jo navaja proizvajalec, nad 1 cm.

8.2.3 Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost

V času poskusnega delovanja mareografa in do predaje mareografa (približno 3 mesece) smo 8 urna GPS opazovanja na omenjenih točkah opravili enkrat mesečno. S tem smo dobili nadštevilna opazovanja, na podlagi katerih smo lahko natančno določili absoluten položaj ARP antene GPS.

S primerjavo teh opazovanj z ostalimi meritvami bo mogoče na daljši rok ugotoviti ali se pogreza obala ali se dviguje nivo morske gladine. Dobra stvar permanentnih GPS postaj je, da ponovitve meritev satelitske geodezije na mareografu skozi daljše časovno obdobje (npr. desetletje) omogočajo, da bo nekoč vertikalni zemeljski premik neomajen in odstranjen iz tendence (trenda) srednjega nivoja morja. Tako bomo lahko dobili pravo tendenco nivoja morja zaradi podnebnih vplivov.

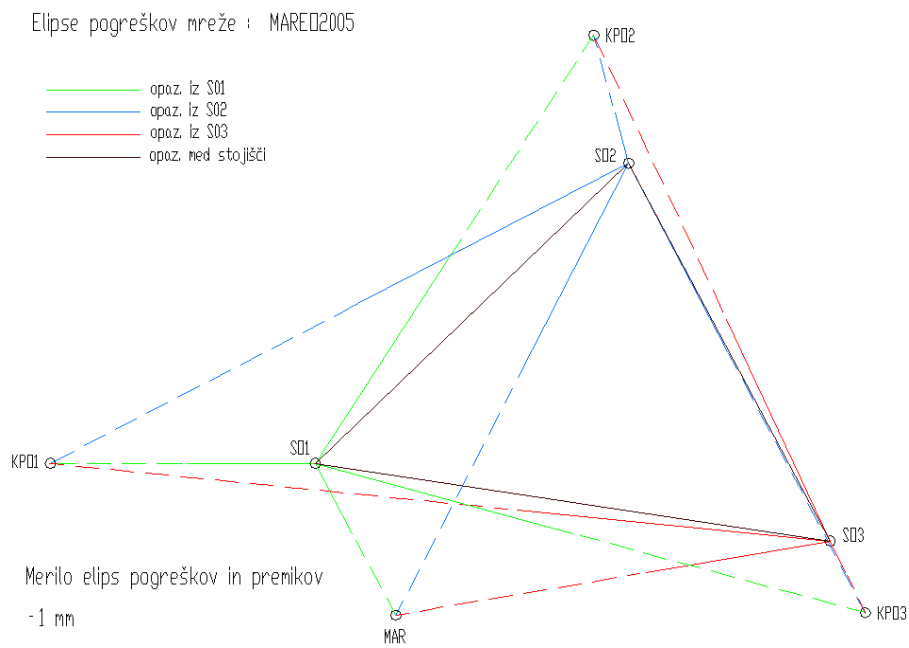
8.3 Spremljanje lokalne horizontalne stabilnosti ARP antene GPS mareografske postaje Koper

Z geodetskimi meritvami določamo stabilnost referenčnih (opazovalnih) točk, prostorske koordinate kontrolnih točk ter višine reperjev. Opazovane točke povežemo v geodetsko mrežo, kjer ugotavljamo premike točk na osnovi primerjave vsaj dveh terminskih izmer (Kogoj et al., 2005).

V neposredni bližini mareografske postaje Koper smo tako razvili geodetsko mikrotrigonometrično mrežo, v kateri smo izvedli geodetsko izmero.

8.3.1 Oblika mreže

Geodetska horizontalna mikromreža mareografske postaje Koper je kombinirana mreža, se pravi terestrična triangulacijsko trilateracijska mikromreža. Mrežo sestavljajo 3 referenčne točke (SMKP (KP01), KP02, KP03), 1 kontrolna točka (ARP antene GPS) ter 3 tako imenovane vezne točke (S01, S02, S03), ki jih predstavljajo ekscentrična stojišča točk SMKP (KP01), KP02 in KP03. Geometrija mreže je homogena in zagotavlja zahtevano natančnost določitve položaja kontrolne točke, ki mora biti boljša od 1 mm. Oblika mreže, to je položaj danih točk, položaj novih točk in medsebojne povezave, je razviden iz slike 30.



Slika 30: Oblika mikromreže

8.3.2 Metoda izmere

Glede na dimenzijo mreže in razpoložljiv instrumentarij je bila v geodetski mikro mreži mareografske postaje Koper izbrana klasična terestrična izmera. Uporabljena je bila klasična metoda triangulacije in trilateracije. V mreži so bili merjeni:

- **horizontalni koti po girusni metodi**, in sicer 3 girusi iz ekscentričnih stojišč na referenčne točke in kontrolno točko,
- **poševne dolžine**, 3x obojestransko med ekscentričnimi stojišči in 4x enostransko iz vsakega ekscentričnega stojišča na referenčne točke in kontrolno točko,
- **zenitne razdalje v treh ponovitvah**, obojestransko med stojišči in enostransko na referenčne točke in kontrolno točko z namenom redukcije poševno merjenih dolžin na izbrano nivojsko ploskev.

Med stojišči so bile realizirane vse možne povezave, medtem ko je na referenčne točke ter kontrolno točko bilo realiziranih maksimalno število možnih povezav.

Določitev horizontalnega položaja točk v mreži je bilo izvedeno ločeno od določitve višin. Za določitev višine ARP antene GPS in višin referenčnih točk je bila izbrana metoda trigonometričnega višinomerstva, kjer smo za določitev višinskih razlik med točkami upoštevali merjene zenitne razdalje in poševne dolžine.

Koordinatni sistem horizontalne mreže je definiran s tremi referenčnimi točkami KP01, KP02 in KP03. Tako dolžine kot zenitne razdalje bodo reducirane na nivo najnižje točke v mreži, to je točka SMK (KP01).

Meritve na anteni GPS smo opravili tako, da smo iz nosilca sneli anteno in na isto mesto nataknil reflektor. Razdaljo med točko, ki predstavlja ARP antene GPS in centrom reflektorja smo izmerili z žepnim trakom. Vsem reflektorjem, ki so bili uporabljeni v mreži, je bila skupaj z razdaljemermom uporabljenega elektronskega tahimetra določena adicijska konstanta - metoda merjenja kombinacij dolžin treh točk v liniji. Meritve so se opravljale na katedri za geodezijo na fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, decembra 2005.

V približnem težišču mikrotrigonometrične mreže smo merili temperaturo (mokra in suha) ter zračni tlak. Pri redukciji dolžin na izbrano nivojsko ploskev smo tako upoštevali meteorološke popravke kot tudi instrumentalne, geometrične in projekcijske popravke ter ukrivljenost Zemlje.

8.3.3 Uporabljen instrumentarij

Meritve smo opravljali s preciznim elektronskim tahimetrom Leica Geosystems TC2003, ki je namenjen najnatančnejšim meritvam kotov in dolžin v preciznih terestričnih geodetskih mrežah. Poleg elektronskega tahimetra smo uporabili še dodatni pribor, ki služi za centriranje instrumenta, signalizacijo opazovalnih in kontrolnih točk in merjenje meteoroloških parametrov za določitev prvega popravka hitrosti pri merjenju dolžin.

Uporabljen instrumentarij:

- 7 originalnih reflektorjev Leica Wild.
- 3 podnožja z nosilci reflektorjev
- 1 žepni trak
- 1 precizni aspiracijski psihrometer, ki zagotavlja natančne meritve temperature in psihrometske diference. Ločljivost termometrov je 0.1°C (Kogoj et al., 2005).
- 1 digitalni barometer Paroscientific, model št. 760-16B, št. 70472, s katerim je bil merjen zračni tlak na stojiščih inštrumenta. Ločljivost barometra je 0.01 mbar, natančnost pa 0.01% (Kogoj et al., 2005).
- 3 stative Leica Wild, ki so bili uporabljeni za centriranje na ekscentričnih stojiščih točk SMKP (KP01), KP02 in KP03.

Preglednica 7: Tehnični podatki elektronskega tahimetra Leica Geosystems TC2003 (Kogoj et al., 2005)

Teodolit	
Povečava daljnogleda	30 x
Način čitanja na krogih	dinamična metoda
Temperaturno območje delovanja	-20°C do + 50°C
Standardni odklon	
DIN 18723	0.15 mgon (0.5")
Razdaljemer	
Nosilno valovanje	0.850 µm
Merska frekvenca	50 MHz/3 m
Referenčni pog.: n_0 , p_0 , t_0	1.0002818, 1013,25 hPa, 12°C
Doseg	2.5 km/1 prizma, 5 km/3 prizme
Standardni odklon	
$a[mm]; b[ppm]$	1 mm; 1 ppm

Modulacijska frekvenca in adicijska konstanta razdaljemera tahimetra ter indeksni in kolimacijski pogrešek teodolita tahimetra so bili kontrolirani na pooblaščenem servisu skladno s preizkusno metodo definirano s strani proizvajalca. Instrument je brezhiben in ustreza deklarirani točnosti [*Geoservis d.o.o.* Poročilo o kontroli instrumenta 137/2005 z dne 08.06.2005 instr.št. 438260]. (Kogoj et al., 2005)



Slika 31: Precizni elektronski tahimeter Leica Geosystems TC2003
(http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_5253.htm)

8.3.4 Ponovitvene izmere in pričakovana natančnost

V obdobju vzpostavitve mareografske postaje Koper (predvidoma 3 mesece) smo vsak mesec enkrat ponovili izmero mikrotrigonometrične mreže mareografske postaje Koper. Na podlagi primerjav teh izmer je bilo tako mogoče pridobiti morebitne spremembe položaja ARP antene GPS ter kot končno, horizontalni položaj ter višino ARP antene GPS mareografske postaje Koper.

Metode so bile izvedene z mersko opremo in po metodah, ki zagotavljajo zahtevano natančnost določitve položajev kontrolnih točk (< 1 mm).

8.4 Določitev višine ARP antene GPS mareografske postaje Koper

Za postavitev permanentne GPS postaje je ena izmed najpomembnejših nalog tudi kakovostna postavitev antene GPS in določitev njene višine.

Fazni center je točka v anteni na katero se nanaša vrednost izmerjene količine. Je točka do katere ni mogoče opravljati meritev. Ravno zaradi tega je potrebno poznati vertikalno razdaljo od faznega centra antene GPS do ARP antene GPS. ARP antene GPS je nivo antenine referenčne točke, ki naj bi pravilno označeval višino antene. Določen je z dejansko zunanjo točko do katere lahko fizično merimo. Razdaljo med faznim centrom antene in ARP smo dobili s kalibracijo antene. Parametre kalibracije smo prevzeli od IGS službe. Le tako lahko povežemo meritve GPS z nosilcem antene ali s točko, katere položaj želimo pridobiti.

Višino ARP antene GPS mareografske postaje Koper smo določili tako v državnem višinskem sistemu (normalne ortometrične višine) kot tudi v evropskem višinskem sistemu (normalne višine). Neodvisno od teh višin, pa smo z opazovanji GPS določili tudi elipsoidno višino ARP antene GPS.

Višino v državnem in evropskem višinskem sistemu smo določili na dva načina:

- z geometričnim nivelmanom,
- s trigonometričnim višinomerstvom.

8.4.1 Določitev višine ARP antene GPS s postopkom geometričnega nivelmana

Za določitev normalne ortometrične višine in normalne višine ARP antene GPS mareografske postaje Koper, je bilo potrebno le-to navezati na državno oziroma evropsko mrežo. Do ARP antene GPS smo nivelirali direktno in sicer z navezavo na reper 9004. Ta reper je del nivelmanske mreže mareografa in torej vključen v državni in evropski višinski sistem.

Ker na anteno GPS ni mogoče postaviti nivelmanske late, na kateri bi brali odčitek, smo na rob nosilca antene GPS obesili merski trak in brali odčitek na njem. Višino od roba do ARP antene GPS smo izmerili naknadno z merskim trakom.

Z niveliranjem direktno do ARP antene GPS smo dobili višinsko razliko med kontaktnima točkama in ARP anteno GPS. Zahtevana natančnost določitve višinske razlike med CP in ARP antene GPS je morala biti večja kot 1 mm. Na podlagi znane višine (normalne ortometrične in normalne višine) kontaktnih točk, višinske razlike med kontaktnima točkama in ARP antene GPS ter težnostnega pospeška na ARP antene GPS, bo mogoče določiti višino ARP antene GPS z natančnostjo, ki bo boljša od 1 mm.



Slika 32: Niveliranje s preciznim nivelirjem Carl Zeiss Ni007 na anteno GPS

8.4.1.1 Uporabljen instrumentarij

Pri niveliranju od reperja 3003 do ARP antene GPS smo uporabili sledeč instrumentarij:

- Precizni nivelir Carl Zeiss Ni007
- 1 stativ
- 1 merski trak
- 2 nivelmanski lati Zeiss 2 m

Precizni nivelir Ni007 je v 70. letih naredilo podjetje Carl Zeiss Jena (Oberkochen, Nemčija). Ta nivelir je bil prvi kompenzacijski instrument z nihalom. Različica Ni007 je Ni002, ki ga je izdelalo isto podjetje. Ni002 ima vrtljiv okular, kar omogoča merjenje na 360° krogu. Ima tudi nitni križ v objektivu, zaradi česar ni napak paralakse (http://www.pobonline.com/CDA/Archives/5645f0b5ba0f6010VgnVCM100000f932a8c0_____).

8.4.2 Določitev višine ARP antene GPS s postopkom trigonometričnega višinomerstva

Na osnovi merjenih poševnih dolžin in zenitnih razdalj med točkami v mreži kot je opisano v poglavju 8.3, smo s trigonometričnim višinomerstvom določili višinske razlike med referenčnimi točkami, ekscentričnimi stojišči in kontrolno točko ARP antene GPS.

Točke SMKP (KP01), KP02 in KP03 so bile nivelirane in navezane na državno ter evropsko nivelmansko mrežo. V mikro trigonometrični mreži smo prevzeli njihove nivelirane višine. Na podlagi teh višin ter višinskih razlik med točkami v mreži, pridobljenih s trigonometričnim višinomerstvom, bo mogoče izračunati nadmorsko višino, tako normalno ortometrično višino kot normalno višino, kontrolne točke ARP antene GPS.

Iz znanih nadmorskih višin ARP antene GPS in kontaktnih točk CP_{pl} in CP_r , smo lahko izračunali višinsko razliko med ARP antene GPS in posamezno kontaktno točko. Zahtevana natančnost določitve višinske razlike med posamezno kontaktno točko in ARP antene GPS mora biti večja kot 1 mm.

9 ZAKLJUČEK

Cilj diplomske naloge je bil predstaviti geodetska dela, ki so se izvajala na mareografski postaji v Kopru. Cilj izvedenih geodetskih del je predvsem postavitev nove, ustrezno stabilne mareografske postaje ter natančno pozicioniranje le-te v prostoru.

Osnovni višinski sistem pri nas predstavljajo normalne ortometrične višine. Z navezavo mareografskih opazovanj na državno višinsko mrežo je tako mogoče spremljati premik morske gladine glede na bližnje kopno, se pravi spremljanje t.i. relativnih vertikalnih premikov. V višinskem smislu smo tako mareografska opazovanja srednjega nivoja morja preko kontaktne točke CP na mareografu povezali z reperjem mareografa, ki predstavlja izhodišče za vertikalni datum mareografskih opazovanj in ima tako nadmorsko višino določeno v vertikalnem datumu nivelmanske mreže Republike Slovenije.

V Evropi se vzpostavlja skupen evropski višinski sistem v katerem so kot tip višin normalne višine. Ker smo ena izmed članic EU, bi bilo dobro tudi naša opazovanja navezati na to mrežo. Tako smo za potrebe navezave mareografskih opazovanj na EVRS točkam določili normalne višine glede na višinski datum NAP z navezavo nivelmanske mreže mareografa na absolutno točko Socerb, na UELN reper 5486 ter na EUVN97 točko, ki je točka na Maliji.

Na podlagi opazovanj že delujoče permanentne postaje Koper ter izvajanjem opazovanj GPS na geodetskih oziroma geodinamičnih točkah, smo ARP anteni GPS mareografske postaje Koper določili položajne koordinate v ETRS89 in ITRF2000 koordinatnih sistemih. S povezavo kontaktne točke in ARP antene GPS je tako srednji nivo morja na mareografu definiran v globalnem geocentričnem referenčnem sistemu, kar omogoča izmero absolutnih zemeljskih premikov.

Za natančno določitev stabilnosti, tako horizontalne kot višinske, ARP antene GPS, smo v neposredni bližini mareografske postaje vzpostavili terestrično triangulacijsko trilateracijsko mikromrežo. Lokalno horizontalno stabilnost točk v mreži smo ugotavljali s terestričnimi opazovanji in neodvisno od teh opazovanj tudi z opazovanji GPS. Lokalno višinsko stabilnost

točk pa smo ugotavljali z geometričnim nivelmanom, terestričnimi opazovanji in opazovanji GPS. Za ugotovitev natančnih premikov ARP antene GPS smo meritve večkrat ponovili.

Za natančno pridobljena opazovanja GPS je poleg stabilnosti antene GPS izredno pomembna tudi njena višina. Višino antene smo merili do ARP antene GPS. Zaradi natančnosti določitve višine, smo le-to izmerili na dva med seboj neodvisna načina, in sicer s postopkom geometričnega nivelmana ter s postopkom trigonometričnega višinomerstva. Zaradi navezave mareografske postaje na državno in evropsko višinsko mrežo imamo tako višino ARP antene GPS podano tako v sistemu normalnih ortometričnih višin kot tudi v sistemu normalnih višin. Neodvisno od teh višin pa imamo še elipsoidno višino ARP antene GPS, pridobljeno z opazovanji GPS.

Permanentne GPS postaje na mareografih so za prihodnost zelo velikega pomena, saj bodo omogočile točno določitev tektonskih premikov. Tako bo mogoče le-te odstraniti iz trenda srednjega nivoja morja, zaradi česar bo mogoče dobiti pravo tendenco morja zaradi vplivov podnebja. Uporaba GPS je za merjenje horizontalnih zemeljskih premikov danes že dobro uveljavljena in lahko daje tudi milimetrsko natančnost, medtem ko ostaja merjenje vertikalnih zemeljskih premikov z GPS-om z natančnostjo boljšo od 1 mm/leto še vedno velik izziv.

Glede na natančnost merske opreme, ki jo navajajo proizvajalci ter natančnost metod, ki smo jih uporabljali pri izmerah na mareografski postaji Koper, lahko pričakujemo točnost določitve horizontalnega položaja permanentne GPS postaje Koper v globalnem, evropskem ter državnem koordinatnem sistemu z milimetrsko natančnostjo. Prav tako lahko v smislu višinske navezave mareografske postaje Koper na državno in evropsko višinsko mrežo pričakujemo točnost določitve višine permanentne GPS postaje Koper z natančnostjo boljšo od 1 mm.

Da bi ohranili dobro delovanje mareografske postaje Koper, jo je potrebno skrbno vzdrževati. Prav tako je v prihodnosti nujno potrebno vzdrževati tudi geodetska dela na mareografski postaji. Predlagam, da bi se geodetske izmere vsaj prvih pet let ponavljale vsako leto, nato pa vsaj na dve leti. Le tako bo mogoče resnično spremljati zemeljske premike, dobiti njihovo pravo vrednost in jih ločiti od meritev srednjega nivoja morja.

VIRI

AT504 Choke Ring Antenna

<http://www.leica.loyola.com/products/accessories/at504.html> (3.3.2005)

Berk, S., Radovan, D., Stopar, B. 2003. Razvoj osnovnega geodetskega sistema. Končno poročilo. Ljubljana, GURS: 26 str.

Bevis, M., Scherer, W., Merrieffield, M. Technical issues and recommendations related to the installation of continuous GPS stations at tide gauges. http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html (30.11.2005)

CG-3/3M Specifications

<http://www.georentals.co.uk/cg3m.htm> (7.3.2006)

Dviganje gladine morja.

http://eionet-si.arso.gov.si/Dokumenti/GIS/zrak/vplivi/164_opis.htm (22.9.2005)

Geodetic Surveyor SSI

<http://www.geoplane.com/trimble/pdfs/4000geodeticsurveyor.pdf> (7.3.2006)

Geodetska izmera-obeti in realnost.

http://www.gu.gov.si/gu/gradiva/files/srecanjeKRIM04_internet.pdf (4.10.2005)

Kierulf P. H., Plag, H. 2004. ESEAS CGPS Processing Strategy: Determination of High Accuracy Vertical Velocities. Norwegian Mapping Authority. Geodetic Institute: 31 str.

<http://www.eseas.org/eseas-ri/deliverables/d2.1/eseas-ri-d2.1a.pdf> (13.7.2005)

Kogoj in sodelavci. 2005. XX. izmera HE Vrhovo. Ljubljana, UL, FGG, Katedra za geodezijo.

Koler, B., Kuhar, M., Medved, K., Mestner, N., Radovan, D. 2005. Študija stanja del na gravimetrični mreži v Republiki Sloveniji in predlog nadaljnjih del: končno poročilo. Razvojni projekt za Geodetsko upravo Republike Slovenije. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.

Kuhar, M. 2001. Geofizika. Študijski pripomoček. Verzija oktober 2001. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG. Oddelek za geodezijo: 91 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Zalozba/Geofizika_skripta.pdf (9.1.2006)

Leica Geosystems TC2003

http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_5253.htm (14.3.2006)

Leica GRX1200 and GRX1200Pro – Technical Specifications

<http://www.geoservis.si/instrumenti/leica/GRX1200.pdf> (7.3.2006)

Leica System 1200 - GPS 1200

<http://www.geoservis.si/main.php?pg=instrumenti/leica/System1200.htm> (7.3.2006)

Lisec, A. 2002. Analiza višinskih sistemov na osnovi nivelmanske in relativne gravimetrične izmere nivelmanske zanke Malija. Diplomska naloga. Ljubljana. UL, FGG, Oddelek za geodezijo.

Lisec, A., Koler, B., Kuhar, M. 2004. Analiza vpliva težnostnega polja na določitev višin točk v različnih višinskih sistemih. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo: 11 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Lisec_et_al.pdf (12.7.2005)

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> (4.10.2005)

Manual on sea level measurement and interpretation: Volume II: Emerging Technologies.
Manuals and guides No. 14. IOC. 1994 UNESCO: 52 str.

http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/ioc_14ii.pdf (4.10.2005)

Mjerenja razine mora.

<http://skola.gfz.hr/m1.htm> (22.9.2005)

NA2000/NA2002/NA3000/NA3003 Technische Daten

http://www.rost.co.at/rn/daten/prospekte/rovi/Prospekt_NA2000_NA2002_NA3000_NA3003.pdf (3.3.2006)

Ni002

http://www.pobonline.com/CDA/Archives/5645f0b5ba0f6010VgnVCM100000f932a8c0_____
(21.3.2006)

Palinkaš, Vojtech., Kostelecky, J. 2005. Absolute gravimeter FG5 No. 215 at the geodetic observatory Pecny. Research Institute of Geodesy. Topography and Cartography: 7 str.

http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/sb2005/Sbornik_50_let_VUGTK/Part_1-Scientific_Contribution/10-Palinkas-Kostelecky-jun.pdf (15.3.2006)

Petrovič, D., Brumec, M., Radovan, D. 2005. Geodetski in topografski sistem v prostorskem načrtovanju – od geodetskih podlag do koordinate. Geodetski vestnik 49/4: 511-674.

http://www.geodetski-vestnik.com/49/4/gv49-4_545-557.pdf (8.1.2006)

Predstavitev GPS

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/gosti/sbogatin/pdf/predstavitev.pdf> (24.1.2006)

Režek, J. 2004. Mednarodno srečanje: geodetska izmera – obeti in realnost. Geodetski vestnik 48/3: 283-468.

http://www.geodetski-vestnik.com/48/3/gv48-3_463-465.pdf (5.10.2005)

Stopar, B., Pavlovčič, P. 2001. GPS v geodetski praksi. Študijsko gradivo. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo: 115 str.

Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Bilc, A. 2002a. Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitev GPS-službe.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Stopar_et_al2002.pdf (21.7.2005)

Stopar, B., Vodopivec, F., Bilc, A., Čuljak, H. 2002b. 4M Projekt povezave 4 mareografov severnega Jadrana.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Vodopivec_et_al2002.pdf (21.7.2005)

Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M. 2002c. Osnovni geodetski sistem. Strokovni izpit iz geodetske stroke. Matična sekcija geodetov.

http://www.izs.si/mgeo/gradivo/OSNOVNI_GEO_SISTEM.pdf (8.10.2005)

Trajkovska, H., Stopar, B., Radovan, D. 2003. Strokovno mnenje o postavitvi antene GPS na lokaciji mareografske postaje Koper.

Urek, D. 2005. Avtomatska obdelava in analiza testnih meritev z relativnim gravimetrom Scintrex CG-3M. Diplomska naloga. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 106f.

Vloga gravimetrije v osnovnem geodetskem sistemu (GURS)

http://www.gu.gov.si/gu/podatki/Geod_toc/Grav_toc/Grav_toc.asp (22.2.2006)

Vodopivec, F., Kogoj, D. 2005. Nov način precizne stabilizacije geodetskih točk za opazovanje premikov. Geodetski vestnik 49/1: 1-168.

http://www.geodetski-vestnik.com/49/1/gv49-1_009-017.pdf (3.3.2005)