

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Brglez, R., 2016. Modeliranje plimovanja trdne Zemlje pri določanju 3D položaja točk kombinirane geodetske mreže. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kuhar, M.): 21 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5916/>

Datum arhiviranja: 5-10-2016

University
of Ljubljana
Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Brglez, R., 2016. Modeliranje plimovanja trdne Zemlje pri določanju 3D položaja točk kombinirane geodetske mreže. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kuhar, M.): 21 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5916/>

Archiving Date: 5-10-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

ROBERT BRGLEZ

**MODELIRANJE PLIMOVANJA TRDNE ZEMLJE PRI
DOLOČANJU 3D POLOŽAJA TOČK KOMBINIRANE
GEODETSKE MREŽE**

Diplomska naloga št.: 123/GIG

**MODELLING OF SOLID EARTH TIDES IN 3D
POSITIONING POINTS OF THE COMBINED
GEODETTIC NETWORK**

Graduation thesis No.: 123/GIG

Mentor:

doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 22. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA

Spodaj podpisani študent Robert Brglez, vpisna številka 26203409, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Modeliranje plimovanja trdne Zemlje pri določanju 3D položaja točk kombinirane geodetske mreže

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

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

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

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

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

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

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

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

V: Ljubljani

Datum: _____

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.3(043.2)
Avtor:	Robert Brglez
Mentor:	doc. dr. Miran Kuhar
Naslov:	Modeliranje plimovanja trdne Zemlje pri določanju položaja 3D točk kombinirane geodetske mreže
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	21 str., 3 pregl., 7 sl., 6 graf., 2 en.
Ključne besede:	plimovanje trdne Zemlje, državna kombinirana mreža 0. reda, deformacija Zemlje, nebesna telesa, težni pospešek, sprememba položaja

Izvleček:

V diplomski nalogi smo predstavili vpliv plimovanja trdne Zemlje na spremembo 3D položaja točk nove kombinirane geodetske mreže 0. reda. Opisali smo namen vzpostavitve, stabilizacijo točk in predvideno opremo, ki bo nameščena na petih točkah kombinirane geodetske mreže 0. reda. Prav tako smo predstavili osnovna teoretična ozadja plimovanja trdne Zemlje, opisali različne modele plimovanja in poudarili upoštevanje plimovanja trdne Zemlje pri povezavi terestričnega koordinatnega sistema z višinskim sistemom. Na primeru dveh točk mreže 0. reda, Areh in Priložje, smo modelirali plimovanje trdne Zemlje. Pokazali smo spremembe 3D položaja in spremembe težnega pospeška, ki se pojavijo zaradi vplivov privlačnih sil nebesnih teles. Spremembe smo prikazali za dva različna letna časa. Ugotovili smo, da ima plimovanje trdne Zemlje večji vpliv na spremembe položaja v poletnem času, kadar pride tudi do amplitud, ki znašajo do okoli 35 cm v višinski komponenti. Pomembna je tudi ugotovitev, da položaj točk znotraj Slovenije nima vpliva na spremembe zaradi plimovanje trdne Zemlje, oz. je minimalen.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.3(043.2)

Author: Robert Brglez

Supervisor: Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph. D.

Title: Modelling of solid Earth tides in 3D positioning points of the combined geodetic network

Document type: Graduation thesis – University studies

Notes: 21p., 3 tab., 7 fig., 6 graph., 2 eq.

Keywords: solid Earth tides, national combined geodetic network of zero order, Earth deformation, celestial bodies, gravitational acceleration, change of the position

Abstract:

In this diploma thesis, we present the impact of solid Earth tides on the 3D point position modification of the new combined 0. order geodetic network. We described the purpose of point establishing and stabilization as well as the intended equipment to be installed at five points of the combined 0. order geodetic network. We also introduced a basic theoretical background of solid Earth tides, described different models of tides and emphasized the accountability of solid Earth tides in conjunction of terrestrial coordinate system with vertical coordinate system. We modelled the solid Earth tides on the example of two points of the 0. order network, Areh and Prilozje. We have shown the 3D position modification and the modifications of the gravitational acceleration which occurs due to the impact of celestial bodies attraction. The modifications are shown for two different seasons. We found out that the solid Earth tides have greater impact on the position modification during summertime when there are also the amplitudes of up to about 35 cm of the vertical component. It is also important that the area of Slovenia has no effect on modifications due to solid Earth tide or it is minimal.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Miranu Kuharju za pomoč, nasvete in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge.

Za popestritev dosedanjega študija bi se rad zahvalil sošolcem in prijateljem, predvsem Blažu, Klemenu, Maši in Žanu, ki so mi z marsikatero dogodivščino nemalokrat polepšali trenutke preživetve v učilnicah fakultete in izven nje.

Posebna zahvala gre očetu in mami za finančno podporo skozi celoten študij ter bratu Gorazdu za nasvete in podporo v dobrih in slabih obdobjih študija v Ljubljani.

KAZALO VSEBINE

Stran za popravke, errata	I
Izjava	II
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	III
Bibliographic-documentalistic information and abstract	IV
Zahvala	V
Kazalo vsebine	VI
Kazalo slik	VII
Kazalo grafikonov	VIII
Kazalo preglednic	IX
Okrajšave in simboli	X
1 UVOD	1
1.1 Struktura naloge	1
2 KOMBINIRANA GEODETSKA MREŽA	2
2.1 Državna kombinirana geodetska mreža 0. reda	2
2.1.1 Merila za izbor lokacij točk	3
2.1.2 Vzpostavitev in stabilizacija točk	4
2.1.3 Nameščena oprema in kontrolni center omrežja	7
3 PLIMOVANJE TRDNE ZEMLJE	8
3.1 Vzroki plimovanja trdne Zemlje	8
3.1.1 Rotacija Zemlje	9
3.1.2 Vpliv Lune in Sonca	9
3.2 Elastičnost Zemlje	10
3.3 Modeli plimovanja trdne Zemlje	10
3.3.1 Odstranitev plimovanja v celoti	11
3.3.2 Odstranitev periodičnega dela plimovanja	11
3.3.3 Odstranitev direktnega vpliva, indirektni vpliv ostane	11
3.4 Upoštevanje pojava plimovanja trdne Zemlje pri prehodih med različnimi geodetskimi referenčnimi osnovami	12
4 PRIKAZ PLIMOVANJA TRDNE ZEMLJE NA PRIMERU TOČK DRŽAVNE KOMBINIRANE GEODETSKE MREŽE 0. REDA	13
5 ZAKLJUČEK	20
VIRI	21

KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacije točk državne kombinirane geodetske mreže 0. Reda.	4
Slika 2: Razporeditev referenčnih točk vsake točke državne kombinirane geodetske mreže 0. reda (Medved, 2014, str. 777).	5
Slika 3: Prikaz armiranja antenskega stebra na točki Kog (Medved, 2014, str. 781).....	6
Slika 4: Končni videz točke državne kombinirane mreže 0. reda v Kogu.(Stopar in sod., 2015, str. 43)6	
Slika 5: Deformacija Zemlje zaradi privlačnih sil nebesnih teles (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016, str. 94)	8
Slika 6: Shematski prikaz različnega plimovanja na isti točki v enem dnevu (Lasič, 2000, str. 10).	9

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Primerjava vertikalne spremembe položaja točke Areh, v zimskem in poletnem datumu.	15
Grafikon 2: Primerjava vertikalne spremembe položaja točke Priložje, v zimskem in poletnem datumu.	15
Grafikon 3: Primerjava vertikalnih sprememb položajev točk Areh in Priložje, v zimskem in poletnem datumu.	16
Grafikon 4: Primerjava spremembe težnosti na točki Areh, v zimskem in poletnem datumu.	17
Grafikon 5: Primerjava spremembe težnosti na točki Priložje, v zimskem in poletnem datumu.	17
Grafikon 6: Sprememba horizontalnega položaja v zimskem datumu za točki Areh in Priložje.	18
Grafikon 7: Sprememba horizontalnega položaja v poletnem datumu za točki Areh in Priložje.	18

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Koordinate petih točk kombinirane geodetske mreže 0. reda v koordinatnem sistemu ETRS89 v obliki geodetskih koordinat na elipsoidu GRS80.	13
Preglednica 2: Spremembe položajev točk kombinirane geodetske mreže 0. reda v zimskem datumu.	14
Preglednica 3: Spremembe položajev točk kombinirane geodetske mreže 0. reda v poletnem datumu.	14

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ECGN	ang. European Combined Geodetic Network
EGM	ang. Earth Gravitational Model
ETRS	ang. European Terrestrial Reference System
EVRF	ang. European Terrestrial Reference Frame
GNSS	ang. Global Navigation Satellite System
ITRF	ang. International Terrestrial Reference Frame
ITRS	ang. International Terrestrial Reference System
SIGNAL	Slovenija Geodezija Navigacija Lokacija
VPN	ang. Virtual Private Network

1 UVOD

O plimovanju so znanstveno razpravljali že misleci, kot so Galilei, Kepler in Newton. Slednji je prvi pokazal, da deformacija Zemlje nastane zaradi zunanjih privlačnih sil nebesnih teles. Danes vemo, da je plimovanje trdne Zemlje posledica sprememb gravitacijskega potenciala trdne Zemlje, kar povzročijo privlačne sile nebesnih teles, predvsem Lune in Sonca. Amplitude plimovanja trdne Zemlje lahko znašajo tudi 30 cm dnevno v višinskem smislu in do nekaj centimetrov horizontalnem smislu, kar pomeni, da je potrebno pojav upoštevati pri različnih vrstah meritev in prehodih med različnimi geodetskimi referenčnimi osnovami.

V diplomski nalogi predstavljamo, kako pojav plimovanja trdne Zemlje vpliva na spremembo 3D položaja točk nove kombinirane geodetske mreže 0. reda. Želimo predstaviti kako do tega pojava prihaja, in če majhnost Slovenije kaj vpliva na izračunane vplive. Izračuni spremembe težnega pospeška in spremembe položaja so bili izvedeni na petih točkah nove kombinirane geodetske mreže 0. reda, to so točke: Areh, Priložje, Kog, Korada in Šentvid pri Stični. Točke so razporejene preko celotnega ozemlja Slovenije in imajo z najvišjo možno natančnostjo določene 3D položaj na elipsoidu, težni pospešek ter normalno višino. V diplomski nalogi je predstavljen tudi pomen vzpostavitve mreže 0. reda, način stabilizacije točk in predvidena oprema na točkah.

1.1 Struktura naloge

Diplomska naloga je sestavljena iz šestih poglavij. Prvo in zadnje poglavje sta uvod in zaključek. V drugem poglavju je opisana nova državna geodetska mreža 0. reda, tretje poglavje opisuje osnovna teoretična ozadja plimovanja trdne Zemlje in problematiko pojava plimovanja trdne Zemlje pri povezavi med različnimi geodetskimi referenčnimi osnovami. V četrtem poglavju je predstavljeno plimovanje trdne Zemlje na primeru točk nove kombinirane geodetske mreže 0. reda.

2 KOMBINIRANA GEODETSKA MREŽA

Kombinacijo meritev merskih tehnik geometričnega nivelmana, gravimetrije, GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) in terestrične meritve se lahko izvede samo preko mreže skupnih točk, ki se imenuje kombinirana geodetska mreža. Na teh točkah se izvajajo stalne (permanentne) in periodične meritve, ki omogočajo modeliranje časovno odvisnih sprememb zemeljskega površja, težnostnega polja Zemlje, njene atmosfere in hidrosfere. Na svetovnem, evropskem in predvsem na državnem nivoju se s tem zagotavlja dolgoročno stabilnost vzdrževanja terestričnih referenčnih sistemov (Medved, 2014).

V Sloveniji obstaja več vrst referenčnih geodetskih mrež višjih in nižjih redov. To so:

- mreža stalno delujočih postaj GNSS (omrežje SIGNAL),
- astrogeodetska mreža,
- nivelmanska mreža,
- gravimetrična mreža,
- trigonometrična mreža,
- mestne geodetske mreže in
- navezovalne mreže.

Točke teh mrež in omrežij so stabilizirane, vendar za razliko od astrogeodetske mreže niso ustrezno zavarovane in lahko pride do posega v geodetsko referenčno podlago države Slovenije s kakršnokoli gradnjo na območju točk ali drugim uničenjem točk. S tem ni zagotovljena dolgoročna časovna stabilnost referenčne osnove naše države, oz. je odvisna od časovne stabilnosti točk v nezavarovanih mrežah (Medved, 2015). Posamezne geodetske mreže so vzpostavljene za točno določen namen in ne omogočajo dobre medsebojne povezave, poleg tega pa je danes možna uporaba tehnologije GNSS, s katero lahko pridobimo kakovostne koordinate točk, ki so pomembne za redukcijo nivelmanskih in gravimetričnih opazovanj v višinski referenčni sistem ter omogočajo vzpostavitev povezave horizontalnega in višinskega sistema z nivelmanskimi in gravimetričnimi meritvami na referenčni GNSS točki (Geodetski inštitut, 2012).

V želji po novitem omrežju točk, ki bi zajelo več merskih tehnik, ki bi omogočale vzpostavitev povezav med različnimi geodetskimi referenčnimi sistemi in bi bilo ustrezno stabilizirano ter geodetsko in pravno zavarovano, da s kakršnimkoli posegom ne bi posegali v realizacijo državnega koordinatnega sistema, se v Sloveniji vzpostavlja nova državna kombinirana geodetska mreža 0. reda.

2.1 Državna kombinirana geodetska mreža 0. reda

Do sedaj so bili označeni sistemi geodetskih mrež kot 1. red, 2. red, 3. red itn., pri čemer je bila geodetska mreža 1. reda najpomembnejša v smislu kakovosti. Z vzpostavitvijo nove državne

geodetske mreže pa so nove točke določene kot najkakovostnejše geodetske točke, mreža pa je zato poimenovana državna kombinirana geodetska mreža 0. (ničtega) reda.

Za vzpostavitev mreže 0. reda je pristojna Geodetska uprava Republike Slovenije. Mrežo sestavlja 5 po vsej Sloveniji enakomerno razporejenih geodetskih točk 0. reda. Zraven spada še točka v okviru mareografske postaje v Kopru. Lokacije točk mreže 0. reda so Areh (Frajhajm na Pohorju), Kog v Prlekiji ob potresni opazovalnici Agencije Republike Slovenije za okolje, Korada (Zapotok v Goriških brdih), Priložje pri Metliki (letališče Bela krajina) in Šentvid pri Stični kot osrednja točka državne kombinirane geodetske mreže 0. reda. Mreža 0. reda se imenuje kombinirana, saj deluje kot povezava in nadgradnja do sedaj najvišjih redov (Režek, 2015):

- terestričnih geodetskih mrež, kjer je določen geometrijski položaj točk (koordinate X,Y,Z in koordinate na elipsoidu λ, φ, h),
- nivelmanskih geodetskih mrež, kjer so določene nadmorske višine točk (normalne višine H) in
- gravimetričnih geodetskih mrež, kjer so določene vrednosti težnega pospeška (g).

Državna geodetska mreža 0. reda ima pomen tudi v tem, da je mogoče povezati točke omrežja SIGNAL s točkami mreže 0. reda na krajši oddaljenosti, s čimer zagotovimo boljšo kakovost vklopa omrežja SIGNAL v globalni koordinatni sestav. S povezavo permanentnih postaj z mrežo 0. reda je mogoče določiti premike na ožjem območju permanentne postaje. Točke omrežja SIGNAL je bilo prej mogoče navezati samo na točke, ki se nahajajo v bližnji okolici Slovenije (Geodetski inštitut Slovenije, 2012).

Vsaka točka državne geodetske mreže 0. reda ima svoj položaj določen z štirimi različnimi merskimi tehnikami. Izvajajo se meritve GNSS, terestrične in gravimetrične meritve ter geometrični nivelman, pri čemer je položaj določen z najvišjo možno natančnostjo.

2.1.1 Merila za izbor lokacij točk

Najbolj pomembno pri izboru lokacij točk je bila primerna razporejenost točk po celotnem ozemlju Slovenije. Enakomerna porazdelitev točk je pomembna za zagotovitev višinskega sistema in spremljanje višinske stabilnosti različnih območij Slovenije. Pri izbiri lokacij so se upoštevala še ostala merila. Vsebovala so tako naravne in družbene dejavnike, kot tudi zahtevano infrastrukturo. Zagotovljena je morala biti geološka primernost, kar pomeni, da se je stremelo k čim večji oddaljenosti točk od tektonskih prelomnic. Poskrbljeno je moralo biti za lokalno stabilnost terena. Tu so se upoštevale karte potresno neaktivnih območij. Pazilo se je na odprtost terena, odsotnost virov elektromagnetnega sevanja in na ustrezne klimatske razmere na izbranih lokacijah, kar na koncu omogoča izvajanje kakovostnih geodetskih meritev. Poleg tega je moralo biti poskrbljeno za ustrezno infrastrukturo, kar je med drugim pomenilo zagotovitev vira električne napetosti ter povezave na svetovni splet zaradi stalnih GNSS opazovanj na vsaki točki, zaščita pred udarom strele ter bližina

ceste za potrebe meritev geometričnega nivelmana. Vsaka lokacija je morala omogočati tudi pridobitev lastninske ali služnostne pravice. (Geodetski inštitut Slovenije, 2012).



Slika 1: Lokacije točk državne kombinirane geodetske mreže 0. Reda.

2.1.2 Vzpostavitev in stabilizacija točk

Ob vzpostavljanju mreže je potrebno zagotoviti stabilizacijo točk, ki mora ustrezati mednarodnim standardom, ki omogočajo povezave z ostalimi evropskimi kombiniranimi mrežami, sodelovanje v globalnem spremljanju težnostnega polja Zemlje in modeliranje časovno odvisnih sprememb v Zemljini skorji. Točke kombinirane geodetske mreže 0. reda morajo biti trajno stabilizirane na tak način, da se s tem v največji meri izogne vplivom narave in človeka ter se s tem poskrbi za najvišjo možno kakovost stabilizacije. Tako bo zagotovljena lokalna stabilnost točk. Vzrok morebitnih sprememb položajev je ob kakovostni stabilizaciji možen samo zaradi regionalne tektonike (Geodetski inštitut Slovenije, 2012).

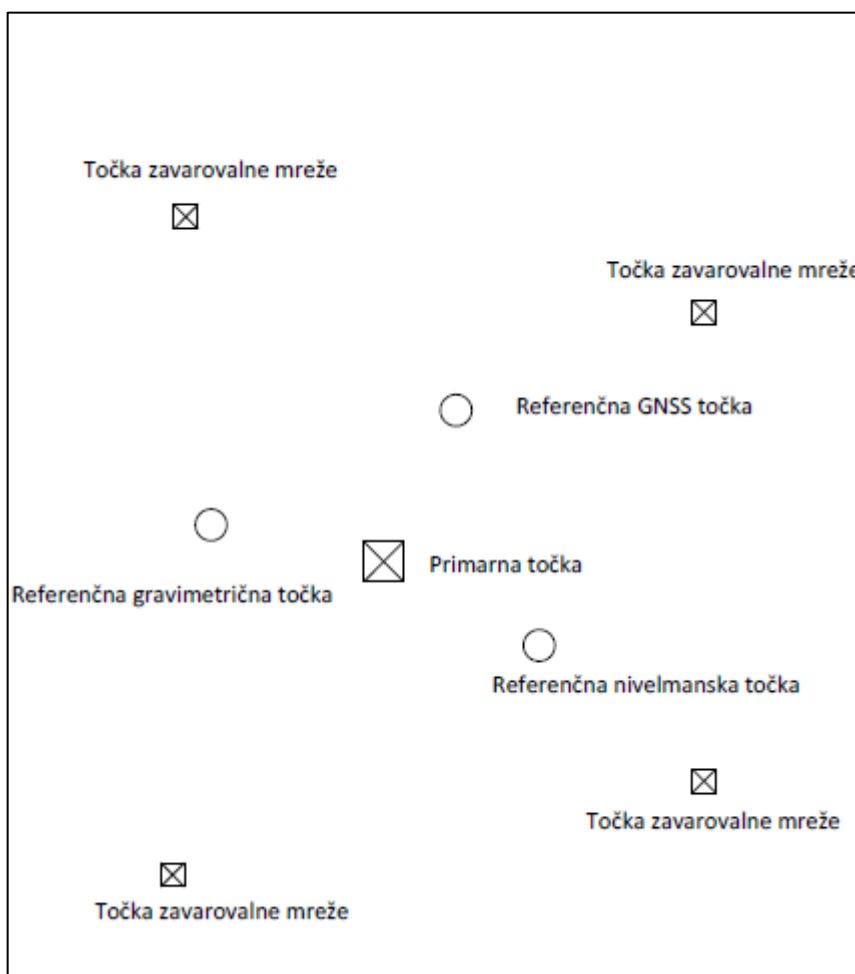
Kot je že navedeno v poglavju 2.1, je kombinirana geodetska mreža 0. reda sestavljena iz petih primarnih točk. Vsaka primarna točka bo okrepljena s pomožnimi točkami, ki omogočajo raznovrstnost meritev. Kot je prikazano na sliki 2 bodo v okolici primarne točke še:

- referenčna GNSS točka,
- referenčna nivelmanska točka,
- referenčna gravimetrična točka in
- točke zavarovalne mreže.

Vključno s primarno bodo na teh točkah možne:

- meritve GNSS,
- nivelmanske meritve,
- gravimetrične meritve in
- terestrične meritve v okviru zavarovalne mreže

Izjema je le referenčna GNSS točka, ki bo omogočala samo GNSS meritve in terestrična opazovanja v okviru zavarovalne mreže (Geodetski inštitut Slovenije, 2012).



Slika 2: Razporeditev referenčnih točk vsake točke državne kombinirane geodetske mreže 0. reda (Medved, 2014, str. 777).

Za gradnjo vsake točke je izdelana projektna dokumentacija. Pri gradnji vsake izmed točk mora biti zagotovljeno globoko temeljenje, izdelava iz masivnega armiranega betona, ustrezna oprema ter oznaka točke.

Primer kakovostne stabilizacije točke prikazujem na primeru gradnje točke Kog, ki je opisana v članku v Geodetskem vestniku. Točka v Kogu se nahaja nad ugodno geološko sestavo tal, zato so mikropiloti stabilizirani do globine 5,5 metra in segajo do glinovca. Temelj antenskega stebra in primarne točke je AB-plošča s premerom 2 metra in debelino 0,4 metra.

Vpetje plošče je narejeno na treh armiranih mikropilotih DN30. Višina antenskega stebra je 2 metra in je pravokotne oblike. V okviru zavarovalne mreže so postavljene 3 zavarovalne točke, ki so na razdalji 30 do 50 metrov od primarne točke in so stabilizirane z vertikalnimi AB-piloti v globino 5 metrov. Na teh točkah je poskrbljeno tudi za drenažo odtekanja podtalne vode (Medved, 2014).



Slika 3: Prikaz armiranja antenskega stebra na točki Kog (Medved, 2014, str. 781).



Slika 4: Končni videz točke državne kombinirane mreže 0. reda v Kogu.(Stopar in sod., 2015, str. 43)

2.1.3 Nameščena oprema in kontrolni center omrežja

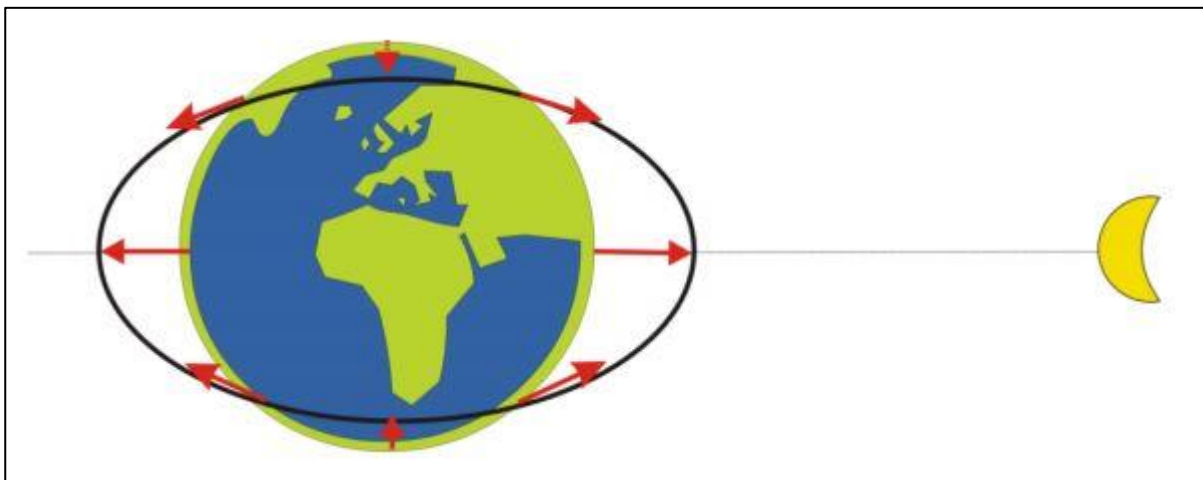
Po stabilizaciji je potrebno na vsako izmed točk 0. reda namestiti ustrezno opremo, ki zagotavlja izvajanje kakovostnih meritev in povezavo s kontrolnim centrom omrežja. Oprema je v veliki večini očem skrita ter zavarovana pred vdorom. Na vsaki točki se predvideva namestitvev:

- sprejemnika Leica in antene,
- meteorološke postaje,
- merilca nagiba oz. inklinometra,
- VPN (angl. Virtual Private Network) povezave z nadzornim centrom v Ljubljani, ki je zavarovana z rezervno linijo v primeru izpada ter
- ostale opreme, ki je potrebna za električno napajanje.

V kontrolnem centru omrežja v Ljubljani se preko VPN povezave neprestano zbirajo podatki z neprekinjeno delujočih postaj GNSS, ki so ali pa še bodo nameščene na točkah. Za upravljanje kontrolnega centra omrežja skrbi služba centra kombinirane geodetske mreže 0. reda, ki te podatke zbira in obdeluje. Podatki se uporabijo za kontinuirano natančno izračunavanje položaja točk mreže 0. reda v skupnem evropskem koordinatnem sistemu ETRS89 (angl. European Terrestrial Reference System 1989) z natančnostjo nekaj milimetrov. Kontrolnemu centru omrežja neprestani podatki o položaju točk z visoko natančnostjo omogočajo spremljanje geodinamičnih premikov in spremljanje sprememb v razporeditvi zemeljskih mas. Programska oprema omogoča sporočanje oz. opozarjanje kontrolnega centra v primeru odstopanja točk od povprečnih vrednosti. S posebnim nadzornim sistemom lahko preko mreže točk 0. reda nadzirajo tudi uporabniško omrežje za določanje položaja s satelitsko tehnologijo (SIGNAL), ki jo lahko uporabniki uporabljajo za določanje koordinat v evropskem koordinatnem sistemu ETRS89 (Režek, 2015).

3 PLIMOVANJE TRDNE ZEMLJE

S pojmom »plimovanje Zemlje« si največkrat predstavljamo gibanje oceanov in velikih jezer, kar lahko vzdolž obal s prostim očesom opazujemo kot pojava plime in oseke. Prav tako pa plimovanje Zemlje pomeni tudi gibanje trdne zemeljske skorje (trdna Zemlja), kar pa s prostim očesom ne opazimo. Pojav pomeni odzivanje Zemlje na privlačne sile nebesnih teles, pri čemer je vpliv Lune dvakrat večji od Sonca, vplivi ostalih nebesnih teles pa so tako majhni, da jih v izračunih ne upoštevamo. Odzivanje oceanov in trdne zemeljske skorje vpliva na spremembe v gravitacijskem polju kar Zemljo deformira.



Slika 5: Deformacija Zemlje zaradi privlačnih sil nebesnih teles (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016, str. 94)

S proučevanjem lahko pojav modeliramo in upoštevamo pri redukciji geodetskih opazovanj, predvsem pri gravimetričnih meritvah in pri merjenju z globalnimi navigacijskimi satelitskimi sistemi (GNSS). Potrebno je tudi upoštevanje plimovanja trdne zemeljske skorje pri obravnavanju različnih vrst koordinatnih sistemov in povezovanju horizontalnih terestričnih koordinatnih sistemov z višinskimi sistemi (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

Trdna zemeljska skorja spreminja svojo obliko do več kot 30 cm s periodo 12 ur. Lahko bi rekli, da se Zemlja stalno deformira v elastičnem smislu (Vaniček, 1980). Takšne premike lahko izmerimo samo z ustrežno natančnimi instrumenti pri čemer opazujemo spremembo težnega pospeška.

V naslednjem podpoglavju bodo predstavljeni nekateri glavni dejavniki plimovanja.

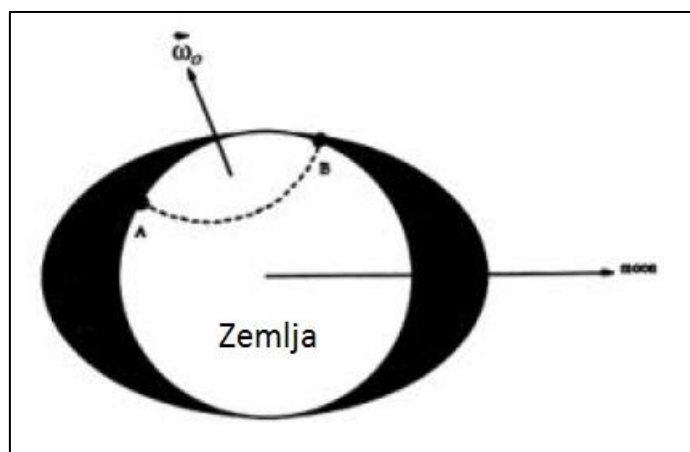
3.1 Vzroki plimovanja trdne Zemlje

Že Galileo Galilei je v svojem Dialogu o dveh svetovnih sistemih razpravljal, da je eden od vzrokov za plimovanje rotacija Zemlje, vendar pri tem ni upošteval delovanja privlačnih sil nebesnih teles. Predpostavil je, da gravitacijska sila Lune deluje najbolj na del Zemlje, ki je najbližji nebesnemu telesu in najmanj na najbolj oddaljene dele Zemlje, zato je sklepal, da privlačnih sil nebesnih teles ne sme upoštevati, ker bi plimovanje zato moralo imeti dvakrat daljšo periodo. Johannes Kepler je razmišljal drugače in zagovarjal, da na plimovanje najbolj vplivajo privlačne sile nebesnih teles in

pojavnima povezavi z rotacijo Zemlje. Kasneje je Isaac Newton razrešil nesoglasje med obema trditvama in dokazal Keplerjevo domnevo s tem, da je modeliral gravitacijske sile vzdolž zveznice med nebesnim telesom in Zemljo. Dokazal je, da se celotna Zemlja deformira v elipsoid zaradi zunanjih privlačnih sil nebesnih teles, in da plima nastane tudi na Luni najbolj oddaljenem delu Zemlje, a je tam amplituda plimovanja manjša v primerjavi z Luni najbližjimi deli Zemlje zaradi manjše gravitacijske napetosti (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

3.1.1 Rotacija Zemlje

Zaradi vrtenja Zemlje okoli svoje osi plimovanje na dani točki nastopi dvakrat na dan. Ker pa Luna kroži okoli Zemlje s periodo 27,33 dni v isti smeri, kot pa se Zemlja vrti okrog svoje osi, se to zgodi vsak dan približno 53 minut kasneje. Poleg tega je Zemljina rotacijska os nagnjena za približno 23 stopinj, kar privede do tega, da v dani točki amplituda plimovanja ni enaka ob obeh prehodih Lune nad točko, kar je prikazano na sliki 2 (Lasič, 2000).



Slika 6: Shematski prikaz različnega plimovanja na isti točki v enem dnevu (Lasič, 2000, str. 10).

3.1.2 Vpliv Lune in Sonca

Največji vpliv na plimovanje imajo privlačne sile Sonca in Lune. Sonce ima največji vpliv takrat, ko so težišče Zemlje, Lune in Sonca približno poravnana na skupni premici. To se zgodi ob novi in polni Luni, ko se oba vpliva seštejeta, kar se kaže v večjem plimovanju. Vpliv je manjši, ko sta Luna in Sonce pod pravim kotom glede na Zemljo, to je ob prvem in zadnjem krajcu Lune. Takrat si oba vpliva nasprotujeta, zato je vpliv toliko manjši (Lasič, 2000).

Preučevanja so pokazala, da je vpliv Lune na plimsko deformacijo 2,2 krat večji od vpliva Sonca. Razlog za to je bližina Zemljinemu površju. Privlačne sile Lune so največje v trenutku, ko je Luna v perigeju. Takrat je le-ta najbližje Zemlji, pojav pa se ponovi ob preteku 15 luninih ciklov, kar pomeni približno vsakih 14 mesecev. V letu 2016 se bo ta pojav zgodil 14. novembra in takrat bodo posledično amplitude plimovanja trdne Zemlje največje. Pomembno je tudi dejstvo, da je ena stran površja Zemlje za 12.740 km bližje Luni, zato so tam privlačne sile Lune za 7% večje kot na nasprotni

strani Lune. Na plimovanje trdne Zemlje privlačne sile ostalih nebesnih teles vplivajo tako malo, da jih lahko zanemarimo (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

3.2 Elastičnost Zemlje

Zaradi stalnega in periodičnega plimovanja Zemlje bi lahko rekli, da se Zemlja deformira v elastičnem smislu. Elastičnost lahko numerično opišemo z dvema konstantama, ki ju poznamo pod imenom Love in Shida. Direktni vplivi plimovanja, to so vplivi privlačnih sil Lune in Sonca, spremenijo elastičnost Zemlje, kar je indirektni odziv Zemlje na vpliv zunanjih sil in pomeni spremembo oblike Zemlje. S tem pride tudi do prerazporeditve zemeljskih mas v notranjosti Zemlje, kar pa vpliva na spremembo gravitacijskega polja Zemlje (Vaniček, 1980). S poznavanjem konstant Love in Shida lahko numerično izračunamo indirektni odziv Zemlje vendar bolj na globalnem nivoju. To za seizmološke študije, kjer se spremljajo lokalna dogajanja, ni dovolj, saj je potrebno uporabiti večje število tako imenovanih elastičnih parametrov. Ker v geodeziji Zemljo obravnavamo kot osnovo za določanje položaja, je bolj pomembno globalno obravnavanje indirektnega odziva na direktni vpliv zunanjih sil (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

3.3 Modeli plimovanja trdne Zemlje

Za opisovanje plimovanja trdne Zemlje z modeli, moramo poznati ravnotežni potencial plimovanja. Ta nastane zaradi vpliva zunanjih sil na Zemljo in ga lahko izračunamo s poznavanjem gravitacijske in astronomske teorije. Poznamo modele, ki opisujejo odziv oceanov, modele s katerimi predstavimo odziv trdne Zemlje na delovanje zunanjih sil in model, ki opisuje spremembe položaja točk. Pri modelu plimovanja oceanov se upošteva odziv oceanov kot tudi elastičnost zemeljske skorje. Tu pride do spremembe zemeljskega površja zaradi spremenljivosti položajev vodnih mas, ki so posledica plimovanja. Model plimovanja trdne Zemlje pa nam podaja informacije o odzivu brezoceanskih območij na delovanje zunanjih sil (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

Vsota vseh odzivov podaja spremembo trdnega dela zemeljske skorje. Računsko lahko pojav predstavimo z enačbo (Agnew, 2007):

$$y(t) = \int x_T(t - \tau)w_T(\tau)d\tau + n(t) \quad (1)$$

kjer $x_T(\tau)$ predstavlja silo plimovanja, $n(t)$ pripadajoči šum, $w_T(\tau)$ pa funkcijo, s katero opišemo kako se lokalno območje odziva na plimovanje.

Modeliranje plimovanja trdne Zemlje zaradi časovne odvisnosti pojava razdelimo na stalno komponento, ki je časovno neodvisna in na periodično komponento, ki je časovno odvisna. Na tak način obravnavamo tako modeliranje spremembe potenciala trde Zemlje, kot tudi modeliranje deformacije Zemlje (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016), vendar se pojavljajo definicije, kjer odstranimo različne vplive, da dobimo ustrezen model plimovanja trdne Zemlje. Ekman (1996) opisuje tri različne definicije, ki bi rešile ta problem. V prvem primeru odstranimo plimovanje iz

modeliranja potenciala in deformacije Zemlje v celoti (angl. tide free geopotencial/crust). V drugem primeru odstranimo samo periodičen del plimovanja, pri čemer pa ostane stalna komponenta vplivov na potencial in deformacijo Zemlje (angl. mean tide potencial/crust). V tretjem primeru pa odstranimo direkten vpliv v celoti, indirektni vpliv, tj. elastičen odziv Zemlje, pa ostane (angl. zero tide).

3.3.1 Odstranitev plimovanja v celoti

V prvem primeru torej odstranimo plimovanje v celoti. To pomeni, da odstranimo stalno deformacijo Zemlje in njen odziv na privlačne sile nebesnih teles. Pri tem se iz vseh količin, ki jih izmerimo na Zemlji in so v povezavi s potencialnim poljem Zemlje, odstranijo periodični in stalni direktni vplivi nebesnih teles in tudi indirektni odziv Zemlje na te vplive. V matematičnih izračunih postavimo nebesna telesa v neskončnost in v taki obliki ne morejo vplivati na spremembo potenciala ali obliko Zemlje. To pomeni, da se Zemlja nekoliko razlikuje od svoje dejanske oblike. Koordinatni sistemi v tem primeru niso obremenjeni s plimovanjem (angl. tide free systems), med te uvrščamo tudi koordinatne sisteme mednarodnega terestričnega referenčnega sistema ITRSyy kamor spada tudi koordinatni sistem ETRS89 (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016). Na ta model so se navezovali tudi izračuni predstavljeni v četrtem poglavju.

3.3.2 Odstranitev periodičnega dela plimovanja

V drugem primeru odstranimo periodični del delovanja vplivov nebesnih teles. Kot je opisano v poglavju 3.3 je sprememba potenciala razdeljena na dve komponenti, torej stalno in periodično. Z odstranitvijo periodičnega dela plimovanja v tem sistemu pridemo do obravnavanja srednjega plimovanja, ki ima časovno neodvisno komponento. Potencialno polje srednjega plimovanja pa je določeno s sistemom, ki v globalnem smislu opisuje kako voda in ura pravzaprav tečejo. Bistveno v tem sistemu je to, da se obravnavajo spremembe v gravitacijskem potencialu zaradi delovanja mase znotraj Zemlje in posebej tudi mase nebesnih teles, ki nastopajo izven Zemlje (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

3.3.3 Odstranitev direktnega vpliva, indirektni vpliv ostane

V tretjem primeru obravnavamo sistem, kjer odstranimo obe komponenti direktnega vpliva spremembe potenciala Zemlje, pri čemer pa ostane indirektni vpliv, torej deformacija Zemlje zaradi elastičnega odziva na vplive privlačnih sil nebesnih teles. Gravitacijsko polje je v tem primeru določeno z masami v notranjosti Zemlje in centrifugalno silo, mase izven Zemlje pa se ne upoštevajo. Nebesna telesa se postavijo v neskončnost pri obravnavanju direktnega vpliva, pri indirektnem odzivu pa se Zemlja na zunanje sile v neskončnosti ne odziva. Sistem, ki je vzpostavljen po tem modelu, je evropski višinski referenčni sistem EVRF 2007 (angl. European Vertical Reference Frame 2007) (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

3.4 Upoštevanje pojava plimovanja trdne Zemlje pri prehodih med različnimi geodetskimi referenčnimi osnovami

Problem povezave terestričnih koordinatnih sistemov (ITRSy in ETRSy) z višinskimi koordinatnimi sistemi je v tem, da se upoštevanje plimovanja trdne Zemlje obravnava na drugačen način v obeh vrstah geodetskih referenčnih osnov. Realizacije terestričnih koordinatnih sistemov ITRSxx in ETRS89 so določene v sistemu, kjer se plimovanje trdne Zemlje ne upošteva, oz. je v celoti odstranjeno (angl. tide free). Za določanje gravitacijskega polja Zemlje in za določanje 3D položaja pa se uporablja sistem, v katerem se upošteva samo indirektni vpliv plimovanja trdne Zemlje (angl. zero tide). Prav tako prihaja do razhajanja pri obravnavanju vpliva plimovanja trdne Zemlje v razlikah geopotencialnih kot, ki so določene z gravimetričnimi meritvami in geometričnim nivelmanom. Geopotencialne kote so določene z Zemljinimi geopotencialnimi modeli, pri le-teh pa se vpliv plimovanja upošteva na dva različna načina. V eni različici je vpliv plimovanja trdne Zemlje v celoti odstranjen, v drugi različici pa se upošteva samo indirektni vpliv, tj. elastični odziv Zemlje na privlačne sile nebesnih teles. Takšni so npr. modeli EGM (angl. Earth Gravitational Model), ki so določeni na koordinatni osnovi ITRFyy. Razlika med obema je v obravnavanju sfernega koeficienta C_{20} . Pri obdelavi merjenih količin pri preciznem geometričnem nivelmanu se računa le direktni vpliv plimovanja trdne Zemlje, medtem ko indirektnih vplivov na območju Slovenije ne upoštevamo. Če bi te vplive upoštevali (takim popravkom rečemo luni-solarni popravki), bi to vodilo do sistema, kjer je plimovanje v celoti odstranjeno. Samo indirektno vplive upoštevajo le v skandinavskih deželah, kjer je prisotno post-ledenodobno dvigovanje površja in morajo zaradi tega obravnavati višine na specifičen način (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016).

V različnih državah se tako uporabljajo različne vrste višinskih sistemov, kjer večina njih temelji na definiciji EVRF 2000, kjer se upošteva le vpliv Lune in Sonca, višine z GNSS višinomestvom pa so določene v sistemu brez plimovanja. Najnovejša je definicija EVRF 2007, kjer se obravnava le indirektni vpliv delovanja privlačnih sil nebesnih teles (Pavlovčič Prešeren, Kuhar, 2016). Z namenom povezave terestričnih in višinskih sistemov se v Evropi vzpostavlja omrežje ECGN (angl. European Combined Geodetic Network), katerega cilj je dolgoročno vzdrževanje terestričnega koordinatnega sestava v povezavi z višinskim sistemom. Želja je povezati geometrični prostor (GNSS) s fizikalno določenim prostorom z natančnostjo 1 cm ter spremljati spremembe skozi čas. Nekaj točk državne kombinirane mreže 0. reda bo povezanih tudi v to omrežje (Geodetski inštitut Slovenije, 2012).

4 PRIKAZ PLIMOVANJA TRDNE ZEMLJE NA PRIMERU TOČK DRŽAVNE KOMBINIRANE GEODETSKE MREŽE 0. REDA

Plimovanje trdne Zemlje pomeni spremembo težnega pospeška in spremembo oblike Zemlje ter s tem spremembo položaja točk. Pri izračunih spremembe položaja točk oziroma amplitude plimovanja zaradi plimovanja trdne Zemlje smo uporabili položaje točk nove kombinirane geodetske mreže 0. reda. Za izračun smo uporabili koordinate točk, ki so v preglednici 1.

Preglednica 1: Koordinate petih točk kombinirane geodetske mreže 0. reda v koordinatnem sistemu ETRS89 v obliki geodetskih koordinat na elipsoidu GRS80.

Točka	φ	λ	h [m]
Areh	46° 29' 40.59929" S	15° 30' 31.60195" V	1292.1504
Kog	46° 26' 53.52754" S	15° 15' 01.67105" V	292.4253
Korada	46° 03' 54.15322" S	13° 33' 39.05267" V	858.1111
Priložje	45° 35' 26.73469" S	15° 15' 38.37829" V	212.8971
Šentvid pri Stični	45° 57' 17.19420" S	14° 50' 09.58813" V	390.3907

Izračune plimovanja smo izvedli preko spletnega programa na spletni strani Calsky (<https://www.calsky.com/>). Program omogoča napovedovanje plimovanja trdne Zemlje za izbran položaj, ob določeni uri ter v določenem intervalu. Sprememba položaja je izračunana kot vektor s komponentami $[\Delta n, \Delta e, \Delta up]$, kjer Δn predstavlja premik v smeri severa, Δe premik v smeri vzhoda in Δup kot premik v višinskem smislu. Vektor je v programu izračunan na podlagi naslednje enačbe (Haitao Yin in sod., 2010):

$$\Delta \vec{r} = \sum_{j=2}^3 \frac{GM_j R_e^4}{GM_{\oplus} R_j^3} \left\{ h_2 \hat{r} \left(\frac{3}{2} (\hat{R}_j \hat{r})^2 - \frac{1}{2} \right) + 3l_2 (\hat{R}_j \hat{r}) [\hat{R}_j - (\hat{R}_j \hat{r}) \hat{r}] \right\} \quad (2)$$

pri čemer so:

- GM_j - gravitacijska konstanta Lune ($j = 2$) oz. Sonca ($j = 3$),
- GM_{\oplus} - gravitacijska konstanta Zemlje,
- R_e - radij Zemlje,
- \hat{R}_j, R_j - enotski vektor in razdalja od središča Zemlje do Lune oz. Sonca,
- \hat{r}, r - enotski vektor in razdalja od središča Zemlje do računanane točke,
- h_2 - konstanta Love in
- l_2 - konstanta Shida.

Za izračun smo izbrali dva datuma za vsako točko. To sta 1. 2. 2016 kot izbran datum v zimskem času in 1. 8. 2016 kot izbran datum v poletju. Z izborom dveh datumov želimo prikazati časovno odvisnost plimovanja trdne Zemlje.

V preglednici 2 so predstavljeni rezultati spremembe položajev za pet točk kombinirane mreže 0. reda v zimskem času, ki so izračunani glede na uro ob polnoči. Prikazani so premiki v višinskem in

horizontalnem smislu ter komponente vektorja, ki predstavljajo premike v smeri sever, vzhod in po višini glede na koordinatni sestav ITRF, na katerega se nanaša tudi ETRS89 koordinatni sistem. V preglednici 3 pa so predstavljeni rezultati spremembe položajev za poletni čas, prav tako za uro ob polnoči.

Preglednica 2: Spremembe položajev točk kombinirane geodetske mreže 0. reda v zimskem datumu.

Točka	višinsko [cm]	horizontalno [cm]	Δn [m]	Δe [m]	Δup [m]
Areh	-3.25	1.82	-0.01694	-0.00666	-0.03247
Kog	-3.27	1.82	-0.01699	-0.00644	-0.03272
Korada	-3.06	1.81	-0.01662	-0.00712	-0.03058
Priložje	-3.04	1.78	-0.01655	-0.00651	-0.03045
Šentvid pri Stični	-3.10	1.80	-0.01666	-0.00672	-0.03100

Ob pregledu rezultatov iz preglednice 2, ki so izračunani za datum 1. 2. 2016, lahko opazimo, da je razlika v spremembah v horizontalnem smislu med točkami zelo majhna in znaša največ 0.3 mm. V višinskem smislu so spremembe položaja pri vseh točkah spet zelo podobne, največja razlika znaša 2.1 mm.

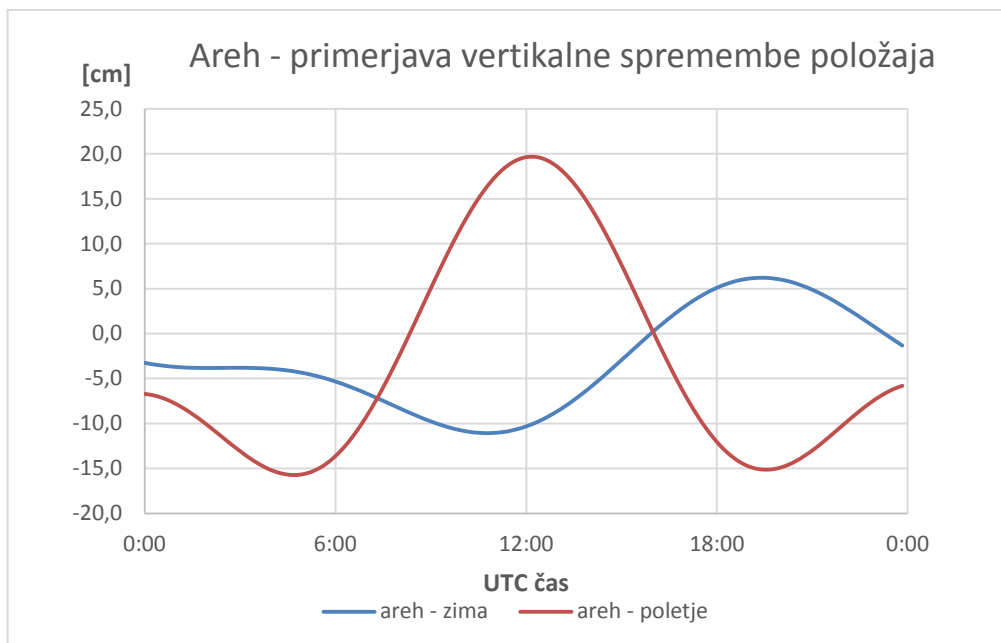
Preglednica 3: Spremembe položajev točk kombinirane geodetske mreže 0. reda v poletnem datumu.

Točka	višinsko [cm]	horizontalno [cm]	Δn [m]	Δe [m]	Δup [m]
Areh	-6.70	5.13	-0.05128	-0.00240	-0.06702
Kog	-6.70	5.14	-0.05127	-0.00306	-0.06696
Korada	-6.39	5.20	-0.05204	-0.00070	-0.06386
Priložje	-6.11	5.27	-0.05264	-0.00226	-0.06111
Šentvid pri Stični	-6.34	5.22	-0.05214	-0.00185	-0.06338

Ob pregledu rezultatov iz preglednice 3, ki so izračunani za datum 1. 8. 2016, lahko opazimo, da so horizontalne spremembe položajev točk tudi tu med seboj zelo podobne. Največja razlika znaša 1.4 mm. Razlike med točkami v višinskem smislu so do 5.9 mm.

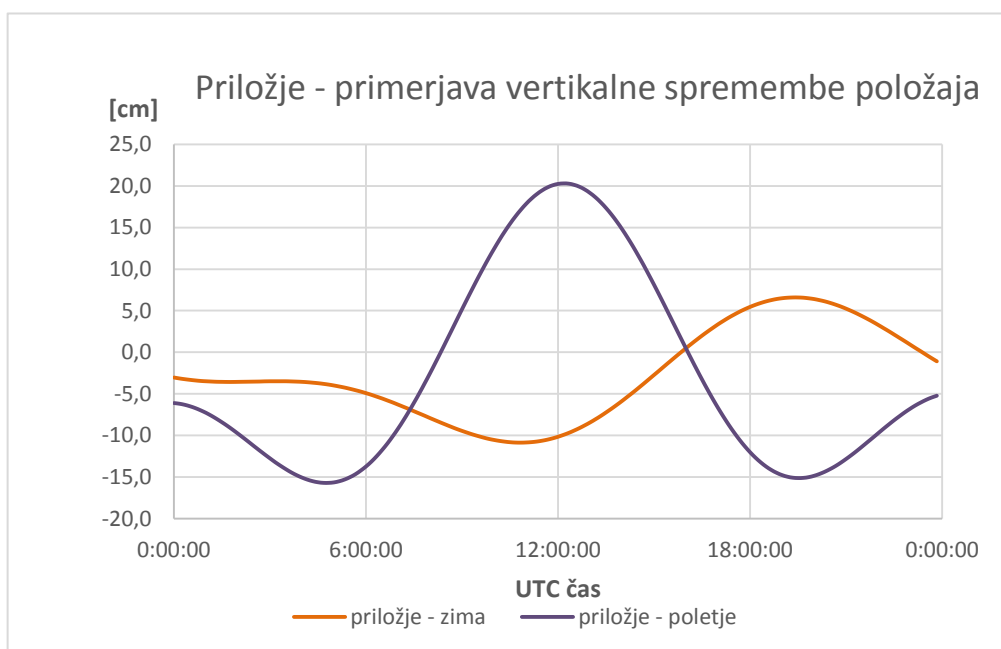
Večjo pozornost velja posvetiti primerjavi sprememb položajev med zimskim in poletnim datumom. Spremembe na datum 1. 2. 2016 v višinskem smislu znašajo nekaj več kot 3 cm, v horizontalnem pa nekaj manj kot 2 cm. Šest mesecev kasneje so izračuni sprememb položajev v višinskem in horizontalnem smislu za več kot 3 cm večji. Večjo spremembo položajev v poletnem datumu gre pripisati položaju Zemlje v primerjavi z Luno in Soncem. Vplivi zunanjih privlačnih sil so v tem času večji kot v zimskem času in zato toliko bolj deformirajo Zemljo.

Različno plimovanje trdne Zemlje v zimskem in poletnem datumu prikazujemo v spodnjih grafikonih, kjer primerjamo višinske spremembe položajev točk zaradi plimovanja, v obeh datumih. Prav tako smo izračunali spremembo težnega pospeška za oba datuma. V obeh primerih so spremembe količin zaradi plimovanja trdne Zemlje prikazane za točki Areh in Priložje, in sicer za obdobje 24 ur. Vsi spodnji grafikoni se nanašajo na izračune v spletnem programu na spletni strani Calsky, izdelani pa so v programskem orodju Microsoft Excel 2013.



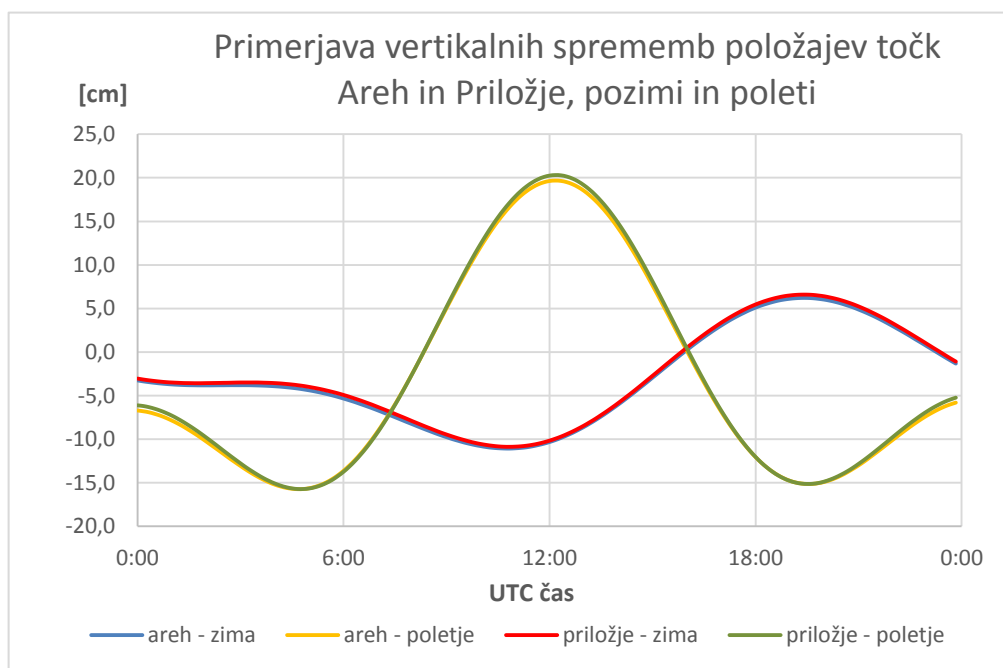
Grafikon 1: Primerjava vertikalne spremembe položaja točke Areh, v zimskem in poletnem datumu.

V grafikonu 1, ki se nanaša na točko Areh, lahko opazimo bistveno razliko v plimovanju trdne Zemlje pozimi in poleti. V poletnem času je plimovanje izrazito večje kot v zimskem. Največja razlika znaša 30 cm in se pojavi okoli poldneva. Amplituda plimovanja trdne Zemlje za poletni datum znaša nekaj več kot 35 cm, pozimi pa je amplituda veliko manjša in znaša nekaj več kot 15 cm v enem dnevu. V obeh krivuljah lahko opazimo dva vrhova. To pomeni, da nastopi plima dvakrat na dan, kar je posledica vrtenja Zemlje okoli svoje osi, velikost plimovanja pa je različna velika zaradi nagnjenosti Zemljine vrtilne osi.



Grafikon 2: Primerjava vertikalne spremembe položaja točke Priložje, v zimskem in poletnem datumu.

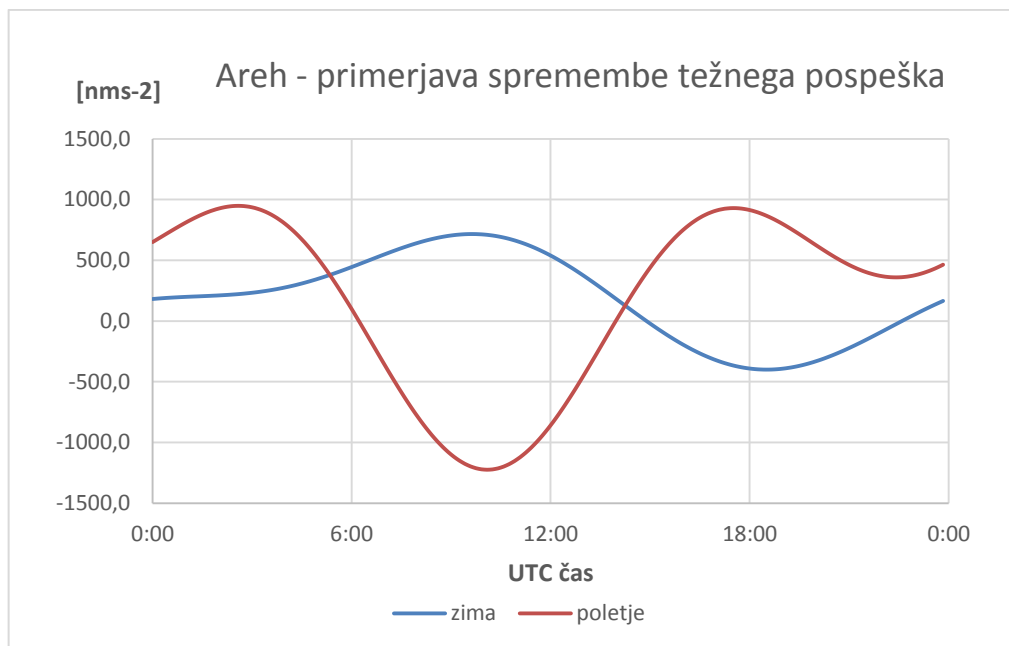
V grafikonu 2 je prikazano plimovanje trdne Zemlje v višinski komponenti za točko Priložje. Opazimo lahko podobne amplitude, ki imajo v zimskem in poletnem času zelo podobne vrednosti kot točka Areh. Točki Priložje in Areh sta sicer na jugu in severu Slovenije, ampak v globalnem smislu nista toliko oddaljeni in je amplituda plimovanja enaka, oz. so razlike minimalne. Razlike v plimovanju med točkama za oba datuma in uro ob polnoči so predstavljene zgoraj v preglednicah 2 in 3, za lažjo predstavbo pa so prikazane še v grafikonu 3.



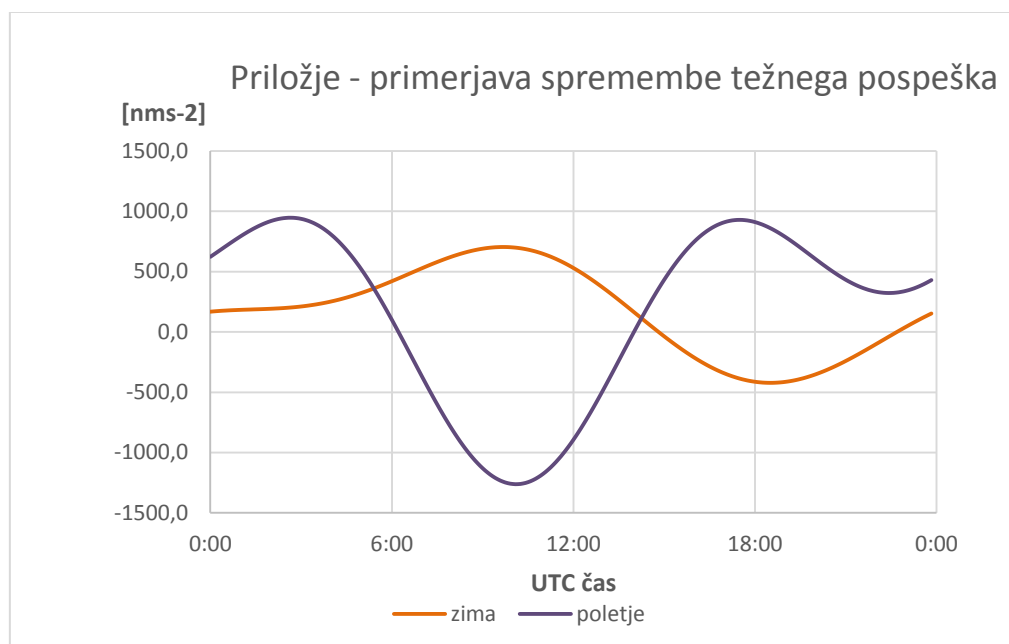
Grafikon 3: Primerjava vertikalnih sprememb položajev točk Areh in Priložje, v zimskem in poletnem datumu.

Iz grafikona 3 je razvidno, da imata točki Areh in Priložje, tako za zimski kot poletni datum, skoraj enake amplitude plimovanja trdne Zemlje.

Za točki Areh in Priložje smo izračunali še dnevne spremembe težnega pospeška, ki nastanejo zaradi vplivov privlačnih sil nebesnih teles. Spremembe težnega pospeška lahko znašajo tudi do $3 \mu\text{ms}^{-2}$ (Ducarme, 2002) in vplivajo na fizikalno določitev višin, zato je potrebno v primeru gravimetričnih meritev plimovanje ustrezno modelirati in upoštevati v izračunih. Spremembe težnega pospeška so prikazane so v grafikonih 4 in 5.



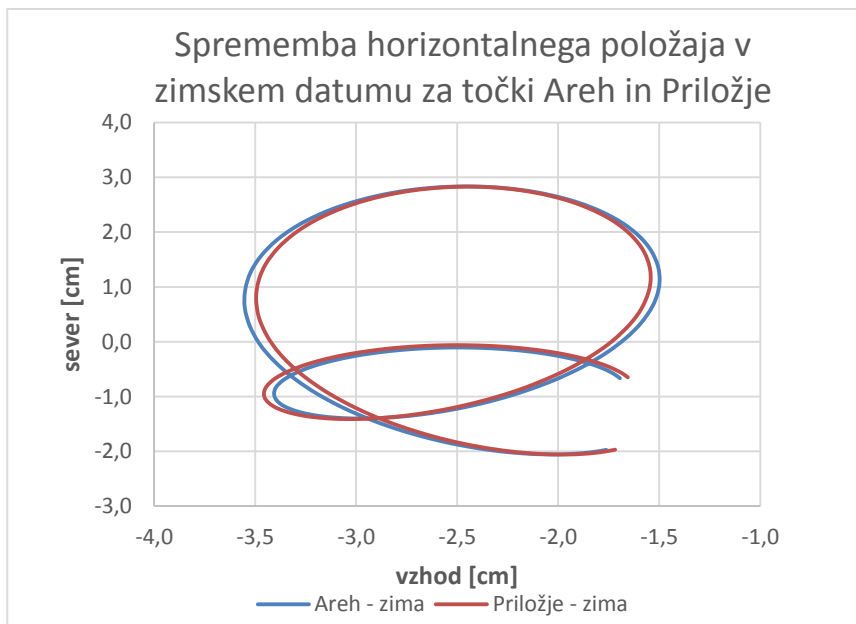
Grafikon 4: Primerjava spremembe težnosti na točki Areh, v zimskem in poletnem datumu.



Grafikon 5: Primerjava spremembe težnosti na točki Priložje, v zimskem in poletnem datumu.

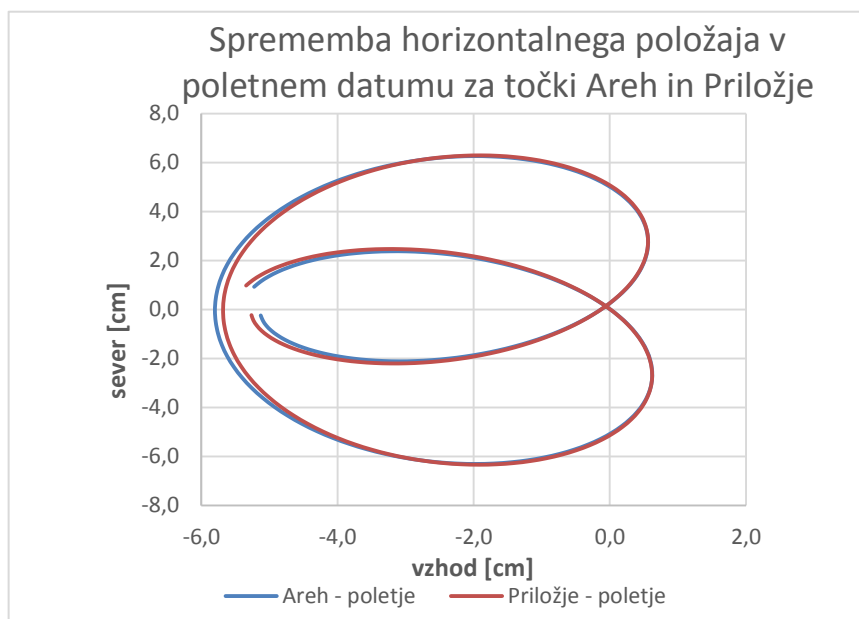
Ob primerjavi spremembe težnosti med točkama Areh in Priložje lahko pridemo do enakih zaključkov, kot v primerjavi sprememb teh dveh točk v vertikalni komponenti, ob pogledu na graf pa naletimo na zrcalno sliko. Spremembe težnega pospeška sta na obeh točkah skoraj popolnoma enake. Amplitude v zimskem datumu znašajo nekaj več kot 1100 nms^{-2} , v poletnem datumu pa nekaj več kot 2100 nms^{-2} .

Zaradi plimovanja trdne Zemlje prihaja tudi do premikov v horizontalnem smislu. Horizontalno spremembo položaja razdelimo na dve komponenti, in sicer na spremembo položaja v smeri severa in na spremembo položaja v smeri vzhoda. Spremembe v horizontalnem položaju so veliko manjše kot v višinski komponenti, znašajo pa do nekaj centimetrov. Rezultati za zimski datum pri obeh točkah so za obdobje enega dneva prikazani v grafikonu 6.



Grafikon 6: Sprememba horizontalnega položaja v zimskem datumu za točki Areh in Priložje.

Iz grafikona 6 lahko razberemo horizontalno gibanje točk Areh in Priložje zaradi plimovanja trdne Zemlje. V vzhodni in severni komponenti se amplitudi gibljeta okoli petih centimetrov, gibanje točk pa je med seboj zelo podobno, razlike v horizontalni spremembi položaja so predstavljene v preglednici 2. V grafikonu 7 pa so predstavljene spremembe položaja še za poletni datum.



Grafikon 7: Sprememba horizontalnega položaja v poletnem datumu za točki Areh in Priložje.

Horizontalne spremembe položaja v poletnem datumu so bistveno večje v primerjavi s spremembami izračunanimi za zimski datumom. Podobnost amplitud med točkama Areh in Priložje ostaja enaka, dimenzije amplitude pa so večje. V vzhodni komponenti znašajo nekaj manj kot 7 cm, v severni komponenti pa znašajo malo več kot 12 cm.

Vplivi privlačnih sil nebesnih teles, ki povzročajo plimovanje trdne Zemlje, so poleti večji kot pozimi, razlika pa je opazna tako v višinski komponenti kot tudi v spremembi horizontalnega položaja. Točke kombinirane geodetske mreže 0. reda so po ozemlju Slovenije v globalnem smislu razporejene na relativno kratke razdalje, zato plimovanje trdne Zemlje na njih nima vpliva, oz. je izredno majhen.

5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo predstavili vpliv plimovanja trdne Zemlje na spremembo 3D položaja točk nove kombinirane geodetske mreže 0. reda. Ker je državna kombinirana mreža 0. reda na novo vzpostavljena, pri čemer nekateri elementi vzpostavitve še niso dokončno izvedeni, smo želeli predstaviti namen vzpostavitve kombinirane mreže 0. reda, način stabilizacije točk ter mersko opremo, ki je predvidena za vsako točko mreže 0. reda. Bistvo vzpostavitve nove kombinirane mreže je v možnosti določitve položaja največje možne natančnosti s štirimi različnimi merskimi tehnikami, to so GNSS opazovanja, gravimetrične opazovanja, geometrični nivelman in terestrična opazovanja. Raznovrstne meritve omogočajo vzpostavitev povezave med različnimi vrstami geodetskih referenčnih sistemov. Omogočeno je tudi sodelovanje globalnem spremljanju težnostnega polja Zemlje, modeliranje časovno odvisnih sprememb v Zemljini skorji in povezovanje med ostalimi evropskimi kombiniranimi mrežami.

Glavni namen naloge je bil raziskati vplive na plimovanje trdne Zemlje in spremembe, ki se dogajajo zaradi tega pojava, na primeru točk mreže 0. reda. Privlačne sile nebesnih teles, predvsem Lune in Sonca, povzročajo plimovanje trdne Zemlje. Na pojav plimovanja prav tako vpliva vrtenje Zemlje okoli nagnjene rotacijske osi. Ti vplivi deformirajo Zemljo in spremenijo njeno gravitacijsko polje. Pojav se pojavlja v globalnem smislu in je periodičen. Z izračuni in izrisanimi grafikoni sprememb težnega pospeška ter sprememb položaja točk v horizontalni in višinski komponenti na točkah Areh in Priložje, smo modelirali plimovanje trdne Zemlje. Ker smo želeli pokazati razsežnosti plimovanja trdne Zemlje v daljšem časovnem obdobju, smo izračune izvedli za en dan v zimskem letnem času in en dan v poletju.

Glavne ugotovitve so bile, da ima plimovanje trdne Zemlje v enem dnevu dva vrhunca, pri čemer je ob enem vrhuncu sprememba težnega pospeška in 3D položaja točke, večja kot ob drugem. Razlog za to je v vrtenju Zemlje okoli rotacijske osi. Največje amplitude plimovanja trdne Zemlje se pojavljajo v poletnem času, ko imajo zaradi medsebojnega položaja Zemlje, Lune in Sonca, privlačne sile večji vpliv na plimovanje. Amplitude znašajo okoli 35 cm v višinski komponenti in okoli 12 cm v horizontalnem smislu, spremembe težnega pospeška pa znašajo do 2100 nms^{-2} . V zimskem času so spremembe zaradi plimovanja veliko manjše. Spremembe težnega pospeška znašajo do 1100 nms^{-2} , vertikalni položaj točke pa se spremeni do 20 cm.

Na koncu je potrebno poudariti, da so spremembe težnega pospeška in spremembe položaja točk na celotnem območju Slovenije skoraj enake. V grafikonih smo na primeru točk Areh in Priložje pokazali podobnost v spremembi položaja tako v višinskem in horizontalnem smislu, kot tudi v spremembi težnega pospeška. Lahko rečemo, da položaj točk znotraj Slovenije nima vpliva na spremembe zaradi plimovanja trdne Zemlje, oz. je minimalen. Plimovanje trdne Zemlje pa ima vpliv na spremembo položaja točk in spremembo težnega pospeška.

VIRI

Agnew, D. C. 2007. Earth tides. Treatise on Geophysics. Volume 3: Geodesy. Elsevier, New York: 163-195.

<http://dx.doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00056-0>. (Pridobljeno 15. 8. 2016.)

Calsky.2016. Solid Earth Tides.

<https://www.calsky.com/cs.cgi/Calendar/3/6?obs=10058250914244> (Pridobljeno 18. 7. 2016.)

Ducarme, B. 2002. Introduction to the theory of tides. Proceedings of the joint BGI/ICET 2002 Summer School on Terrestrial Gravity Data Acquisition Techniques, Louvain-la-Neuve, Belgija: 4-11.

Ekman, M. 1996. The permanent problem of the permanent tide: What to do with it in geodetic reference systems? Bulletin d'Informations Marees Terrestres, No. 125: 9508-9513.

http://www.eas.slu.edu/GGP/BIM_Past_Issues/1996_bim125_septembre.pdf (Pridobljeno 16. 8. 2016.)

Geodetski inštitut Slovenije. 2012a. Obeležitev/stabilizacija točk kombinirane geodetske mreže Slovenije. Zasnova temeljne večnamenske državne geoinformacijske infrastrukture. Končno poročilo: 81-93.

<http://cobiss7.izum.si/scripts/cobiss?ukaz=DISP&id=1506259058680735&rec=1&sid=1> (Pridobljeno 7. 4. 2016.)

Geodetski inštitut Slovenije. 2012b. Pregled in analiza že obstoječih kombiniranih geodetskih mrež. Zasnova temeljne večnamenske državne geoinformacijske infrastrukture. Končno poročilo: 45-74.

<http://cobiss7.izum.si/scripts/cobiss?ukaz=DISP&id=1506259058680735&rec=1&sid=1> (Pridobljeno 7. 4. 2016.)

Geodetski inštitut Slovenije. 2012c. Analiza potreb za kakovostno geoinformacijsko infrastrukturo. Zasnova temeljne večnamenske državne geoinformacijske infrastrukture. Končno poročilo: 4-12.

<http://cobiss7.izum.si/scripts/cobiss?ukaz=DISP&id=1506259058680735&rec=1&sid=1> (Pridobljeno 7. 4. 2016.)

Haitao, Y., Jie, L., Pifeng, M., Shipeng, Z., Duan, X. 2010. Effect of solid-earth-tide on GPS time series. Geodesy and Geodynamics: 64-69.

<http://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1246.2010.00064> (Pridobljeno 24. 8. 2016.)

Lasič, S. 2000. Plimske sile in plimovanje. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko: 21 str.

<http://www-fl.ijs.si/~rudi/sola/plima.pdf> (Pridobljeno 7. 4. 2016.)

Medved, K. 2014. Postavljeni sta prvi dve točki kombinirane geodetske mreže. Geodetski vestnik 58, 4: 774-782.

http://www.geodetski-vestnik.com/58/4/gv58-4_medved.pdf (Pridobljeno 17. 8. 2016.)

Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M. 2016. Modeliranje plimovanja trdne Zemlje za geodetsko določanje 3D-položaja točk kombinirane geodetske mreže. Zbornik raziskave s področja geodezije in geofizike 2015: 93-102.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2016/9-SZGG_2016_Pavlovicic_Kuhar.pdf (Pridobljeno 7. 4. 2016.)

Režek, J. 2015. Odprtje prve državne geodetske točke 0. reda-Priložje . Geodetski vestnik 59, 3: 634-636.

http://www.geodetski-vestnik.com/59/3/gv59-3_novice1.pdf (Pridobljeno 17. 8. 2016.)

Stopar, B., Režek, J., Komadina, Ž., Medved, K., Berk, S., Bajce, K., Oven, K., Koler, B., Urbančič, T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O. 2015. Aktivnosti pri vzpostavitvi sodobnega geodetskega referenčnega sistema v Sloveniji. Geodetska revolucija. Zbornik posveta 43. geodetskega dne: 37-56.

http://www.gis.si/media/pdf/Stopar_et_al_2015_GD_43.pdf (Pridobljeno 17. 8. 2016.)

Vaniček, P. 1980. Tidal Corrections to Geodetic Quantities. NOAA Technical Report NOS 83 NGS 14.

http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/TRNOS83NGS14.pdf (Pridobljeno 7. 4. 2016.)