

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:

Grahek, J., 2016. Primerjava globalnega, evropskega in državnega modela geoida na območju Slovenije. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kuhar, M.): 48 str.

Datum arhiviranja: 16-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Grahek, J., 2016. Primerjava globalnega, evropskega in državnega modela geoida na območju Slovenije. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kuhar, M.): 48 pp.

Archiving Date: 16-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA
SMER GEODEZIJA V
INŽENIRSTVU**

Kandidat:

JAKOB GRAHEK

**PRIMERJAVA GLOBALNEGA, EVROPSKEGA IN
DRŽAVNEGA MODELA GEOIDA NA OBMOČJU
SLOVENIJE**

Diplomska naloga št.: 449/GI

**ANALYSIS OF GLOBAL, EUROPEAN AND NATIONAL
GEOID MODELS AT THE TERRITORY OF SLOVENIA**

Graduation thesis No.: 449/GI

Mentor:

doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 12. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Jakob Grahek, vpisna številka 26202914, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »Primerjava globalnega, evropskega in državnega modela geoida na območju Slovenije«

IZJAVLJAM

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

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

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

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

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

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

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

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

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

V: Ljubljani

Datum: 26. 8. 2016

Jakob Grahek

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.21(497.4)(043.2)
Avtor: Jakob Grahek
Mentor: doc. dr. Miran Kuhar
Naslov: Primerjava globalnega, evropskega in državnega modela geoida na območju Slovenije
Tip dokumenta: diplomska naloga
Obseg in oprema: 48 str., 3 pregl., 28sl., 10 en., 2 pril.
Ključne besede: geoid, natančnost, analiza

Izvleček:

Naloga obravnava primerjavo dveh modelov geoida za območje Slovenije, uradno rešitev SLOAMG2000 in testno SLOAMG2010 ter globalnega modela EGM08. Analizo natančnosti in skladnosti na območju Slovenije smo izvedli na osnovi 1200 GNSS nivelmanskih točk z znanimi nadmorskimi in elipsoidnimi višinami. Analiza je pokazala, da za ozemlje Slovenije najboljše rezultate ponuja testni model slovenskega geoida SLOAMG2010, najslabše rezultate pa globalni model geoida EGM08.

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.21(497.4)(043.2)
Author: Jakob Grahek
Supervisor: assist. prof. Miran Kuhar, Ph.D.
Title: Analysis of global, european and national geoid models at the territory of Slovenia
Document type: Graduation Thesis
Scope and tools: 48 p., 3 tab., 28 fig., 10 eq., 2 ann.
Key words: geoid, accuracy, analysis

Abstract:

The thesis discusses the comparison of two geoid models for the area of Slovenia, the official model SLOAMG2000 and the test model SLOAMG2010, and the global geoid model EGM08. The precision and compliance analysis in the area of Slovenia has been carried out based on 1200 GNSS/levelling points with defined altitude and ellipsoidal height. The analysis has shown that the best results for Slovenia are given by the test model of the Slovene geoid SLOAMG2010, and the worst results by the global geoid model EGM08.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Miranu Kuharju za strokovno pomoč, napotke in usmeritve pri nastajanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se staršema, da sta mi omogočila študij, mi stala ob strani in verjela vame.

>>Ta stran je namenoma prazna<<

KAZALO VSEBINE

Izjave	II
Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček	III
Bibliografic-documentalistic information	IV
Zahvala	V
1 UVOD	1
2 OBLIKA ZEMLJE IN NJENO TEŽNOSTNO POLJE	2
2.1 Oblika Zemlje	2
2.2 Težnostno polje Zemlje	3
3 OSNOVNE PLOSKVE V GEODEZIJI	4
3.1 Fizična površina Zemlje	4
3.2 Elipsoid	4
3.3 Geoid	6
3.3.1 Splošno	6
3.3.2 Pomen geoida	7
3.3.3 Oblika geoida	8
4 METODE IZRAČUNA GEOIDA	10
4.1 Gravimetrična metoda	10
4.2 Astrogeodetska metoda	11
4.3 Satelitske metode	11
4.3.1 Dinamične satelitske metode – globalni geopotencialni modeli	11
4.3.2 Geometrijska satelitska metoda ali metoda satelitsko določenih koordinatnih točk na Zemlji	12
4.3.3 Satelitska altimetrija	12
4.4 Kombinirane metode izračuna geoida	13
4.4.1 Astro gravimetrični nivelman	13
4.4.2 Kolokacija po metodi najmanjših kvadratov	13
4.4.3 Metoda "remove-restore"	14
5 UPODOBITEV IZRAČUNANEGA GEOIDA (KVAZIGEOIDA)	14
6 VIŠINSKI SISTEMI V GEODEZIJI	15
6.1 Splošno	15
6.2 Tipi sistemov višin	16

6.2.1	Geopotencialne kote	16
6.2.2	Dinamične višine	17
6.2.3	Ortometrične višine	17
6.2.4	Normalne višine	17
7	DOLOČANJE VIŠIN Z UPORABO GLOBALNIH NAVIGACIJSKIH SISTEMOV V SLOVENIJI	18
8	POVEZAVA ELIPSOIDA, (KVAZI)GEOIDA Z VIŠINSKO REFERENČNO PLOSKVIJO	19
9	GEOID V SLOVENIJI	21
9.1	Zgodovina	21
9.2	Muminagičev model geoida	22
9.3	Bašičev-Čoličev model geoida	22
9.4	Pribičevičev model geoida	23
10	PRIMERJAVA GLOBALNEGA, EVROPSKEGA IN DRŽAVNEGA MODELA GEOIDA NA OBMOČJU SLOVENIJE	25
10.1	Globalni geoid	25
10.2	Globalni geopotencialni model EGM96	27
10.3	Globalni geopotencialni model EGM2008	27
11	REGIONALNI MODELI GEOIDA	29
11.1	Splošno	29
11.2	Evropski gravimetrični geoid EGG08	30
12	LOKALNI MODEL GEOIDA	31
12.1	Slovenski geoid AGM2000	31
12.2	Testni model geoida SLOAMG2010	32
13	PODATKOVNA ANALIZA IN PRIMERJAVA GLOBALNEGA, EVROPSKEGA IN SLOVENSKEGA GEOIDA	34
13.1	Izhodišča za primerjavo in analizo modelov geoida	34
13.1.1	Baza točk	34
13.1.2	Programska oprema	34
13.2	PRIMERJAVA MODELOV GEOIDOV NA OBMOČJU REPUBLIKE SLOVENIJE	35

13.2.1	Primerjava geoidov SLOAMG2000 in SLOAGM2010	36
13.2.2	Primerjava globalnega geoida EGM08 s transformiranim globalnim geoidom EGM08	39
14	ZAKLJUČEK	42
	VIRI	44

KAZALO SLIK

Slika 1: Prvotna razmišljanja o obliki Zemlje	2
Slika 2: J. B. Listing	3
Slika 3: Osnovne ploskve v geodeziji (Urbanč, 2008, str. 6)	4
Slika 4: Elipsoid	5
Slika 5: Geoid	6
Slika 6: Geoid	8
Slika 7: Sila teže	9
Slika 8: Satelitska altimetrija	13
Slika 9: Višinski sistemi (Koler et al., 2007, str. 780)	16
Slika 10: Elipsoidna višina h , nadmorska višina H in geoidna višina N (Koler et al., 2012, str. 95)	20
Slika 11: Prikaz elipsoidnih in geoidnih višin (Režek et al., 2015, str. 6)	21
Slika 12: Muminagić (1974), astrogeodetska rešitev (Besselov elipsoid)	22
Slika 13: Prof. dr. T. Bašić, (GF Zagreb), 1993, astrogeodetska rešitev (Besselov elipsoid)	23
Slika 14: Prof. dr. B. Pribičević (GF Zagreb), 2000, kombinirana rešitev, kolokacija MNK (elipsoid GRS-80)	24
Slika 15: Regionalne gravimetrične točke za določitev ploskve geoida v Sloveniji – stanje oktober 2014 (Stopar et al., 2015, str. 49)	24
Slika 16: Šest podobmočij zgostitve s po 100 dodatnimi regionalnimi gravimetričnimi točkami 2014 (Stopar et al., 2015, str. 49)	25
Slika 17: Globalni geopotencialni model EGM96	27
Slika 18: Globalni geopotencialni model EGM08	28
Slika 19: Testni izračun geoida – prikaz 1 (Kuhar, 2010)	32
Slika 20: Testni izračun geoida – prikaz 2 (Kuhar, 2010)	33
Slika 21: Histogram odstopanj SLOAGM2000	37
Slika 22: Histogram odstopanj SLOAGM2010	37
Slika 23: Graf razpršenosti odstopanj pri SLOAGM2000	38
Slika 24: Graf razpršenosti odstopanj pri SLOAGM2010	38
Slika 25: Histogram odstopanj EGM08	40
Slika 26: Histogram odstopanj EGM08 po transformaciji	40
Slika 27: Graf razpršenosti odstopanj pri EGM08	41
Slika 28: Graf razpršenosti odstopanj pri EGM08_transformirani	41

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 13.1: Prikaz razlik in odstopanj med geoidnimi višinami iz modelov in merjenimi geoidnimi	36
Preglednica 13.2: Prikaz razlik in odstopanj pri transformirani in netransformirani geoidni ploskvi	39
Preglednica 13.3: Transformacijski parametri geoidnih ploskev	39

1 UVOD

Oblika in velikost Zemlje sta bili od nekdaj predmet številnih laičnih in strokovnih razprav. V geodeziji se z obliko in velikostjo ter s težnostnim poljem Zemlje ukvarja gravimetrija. Geodetska stroka jo definira kot vedo o izmeri in analizi velikosti težnosti oziroma težnega pospeška (g). Poznavanje slednjega ima za osnovni geodetski sistem dve vlogi, in sicer zagotovitev ustrezne kakovosti višinske komponente državnega koordinatnega sistema in omogočanje določitve višin z uporabo satelitskih metod geodetske izmere (npr. GPS, Galileo ...)¹. Interpretacijo gravimetričnih meritev nam med drugim omogoča tudi t. i. geoid – ekvipotencialna ploskev², s katerim lahko ponazorimo obliko Zemlje, in ki sovpada s srednjo gladino morja. Geoid je zelo razgibana ploskev, njegovo določanje pa zapleten geodetski postopek. Razlogi za razgibanost geoida so nehomogenost gostote kamnin v notranjosti Zemlje, vplivi topografije in sploščenost Zemlje. Zaradi vsega navedenega, in ker je geoid določen fizikalno ter ker ne more biti referenčna ploskev za določanje položaja točk na Zemlji, se za določanje slednjih uporablja njegov najbližji matematični približek tj. dvoosni rotacijski elipsoid. Z metodami satelitske geodezije dobimo elipsoidno višino nad geocentričnim referenčnim elipsoidom. Zato da lahko z omenjenimi metodami določimo višino točke v težnostnem polju Zemlje, moramo poznati obliko in lego geoida glede na referenčni elipsoid oziroma njuno višinsko razliko vsaj na centimeter natančno. Ta razlika pa zaradi razgibanosti geoida ni konstantna, ampak je praviloma v vsaki točki drugačna. Z metodami satelitske geodezije dobimo elipsoidno višino (h) nad geocentričnim referenčnim elipsoidom. Za določanje višin v državnem višinskem sistemu pa moramo poznati tudi geoidno višino (N) oziroma višino ploskve geoida nad ploskvijo referenčnega elipsoida. Slovenija uporablja sistem normalnih ortometričnih višin (H^{NO}), za katere, upoštevajoč dejstvo, da geoid sovpada s ploskvijo srednjega nivoja morja, uporabljamo tudi izraz nadmorska višina (H). Slednja predstavlja razliko med elipsoidno in geoidno višino. Modele geoida lahko določamo za različna, bodisi večja bodisi manjša območja Zemlje. Lahko se nanašajo na celotno Zemljo, na posamezno regijo, državo ali manjše lokalno območje. Večjo natančnost geoida dobimo z lokalnim modelom geoida. V diplomski nalogi se torej ukvarjam s primerjavo globalnega, evropskega in državnega modela geoida na območju Slovenije.

Vire za diplomsko nalogo sem poiskal s pomočjo svetovnega spleta. Uporabil sem objavljene znanstvene članke, referate profesorjev Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani (FGG) in tujih (H. Moritz) ter domačih strokovnjakov s področja geodezije na temo geoidov, Zemlje in njenega težnostnega polja, metod izračunov geoida, višinskih sistemov, zgodovine geoida v Sloveniji in primerjave globalnih, regionalnih in državnih modelov geoida na splošno in v Sloveniji.

¹http://www.eпростor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/drzavni_koordinatni_sistem/visinski_drzavni_koordinatni_sistem/ (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

² Ploskev z enako vrednostjo potenciala: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Geoid> (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

V pomoč so mi bile diplomske naloge kolegov s FGG, objave gradiv na prostorskem portalu Ministrstva za okolje in prostor, študijski pripomočki profesorja FGG Mirana Kuharja, Geofizika in Fizikalna geodezija (2012).

Naloga je vsebinsko razdeljena na tri glavne dele. V prvem, kratkem uvodnem delu predstavljam temo in vire diplomske naloge ter njeno vsebino. V drugem delu obravnavam Zemljo, njeno težnostno polje in oblike, pri čemer sem posebno pozornost namenil geoidu, njegovemu pomenu, obliki, metodam izračuna, upodobitvi, povezavi geoida in elipsoida, višinskim sistemom itd. Tretji, najpomembnejši del naloge pa je namenjen predstavitvi dveh modelov geoida za območje Slovenje iz obdobja 2000–2010, evropskega geoida EGG08 ter globalnega modela geoida EGM08. V tem delu je obravnavana analiza natančnosti in skladnosti navedenih geoidov na območju Slovenije za 1200 GNSS/nivelmanskih točk.

2 OBLIKA ZEMLJE IN NJENO TEŽNOSTNO POLJE

2.1 Oblika Zemlje

Predstave o obliki in velikosti Zemlje, ki segajo že v stari vek, so se skozi zemeljsko zgodovino spreminjale. Ljudje so nekoč verjeli, da je Zemlja ravna. Asirci in Babilonci so Zemljo označevali kot ravno ploščo, ki jo podpirajo kamniti stebri, in ki jo z vseh strani obdajajo oceani, preko nje pa naj bi bilo čez vrhove gora razpeto nebo. Stare indijske civilizacije so Zemljo obravnavale kot ploščo slonečo na hrbtu treh slonov, ki naj bi stali na želvi.



Slika 1: Prvotna razmišljanja o obliki Zemlje

Zamisel o kroglasti obliki Zemlje so razvili antični Grki. Prvi med njimi je bil Pitagora, enakega mnenja pa je bil tudi Aristotel. Po antičnem obdobju je prišlo do splošnega zatona znanosti, z raziskavami o obliki Zemlje pa so se ponovno začeli ukvarjati šele v 17. stoletju. Francoski astronom Jean Richer je v letih 1672 in 1673 zaradi dejstva, da je njegova ura na nihalo, v glavnem mestu Francoske Gvajane, v bližini ekvatorja, dnevno zaostala za 2,5 minute domneval, da Zemlja ni okrogla, temveč da je na ekvatorju izbočena, na svojih tečajih pa sploščena, kar je značilno za elipsoid. Richerovemu odkritju je pritrdil tudi angleški fizik, matematik in astronom Isaac Newton s hipotezo, da ima Zemlja obliko rotacijskega elipsoida. Poznejše meritve na Zemlji in meritve v novejšem času so pokazale, da se oblika Zemlje razlikuje tudi od elipsoida. Znanstvena odkritja o tem, da se meritve na različnih koncih zemeljskega površja ne ujemajo niti ob upoštevanju tolerance napake, da nihalo niha hitreje na obalah oceanov ali na otokih kot v notranjosti celin, da je sila teže večja na oceanskih območjih kot na območjih celin, da je gostota snovi v notranjosti planeta večja pod oceani kot pod celinami itd., so privedla do tega, da izraz elipsoid v 19. stoletju ni bil več najprimernejši (Vodušek, Klemenčič, 2009). Leta 1873 je nemški matematik in geodet Johann Benedict Listing za planet nepravilne elipsoidne oblike z vdolbinami in izboklinami prvič uporabil izraz geoid.



Slika 2: J. B. Listing

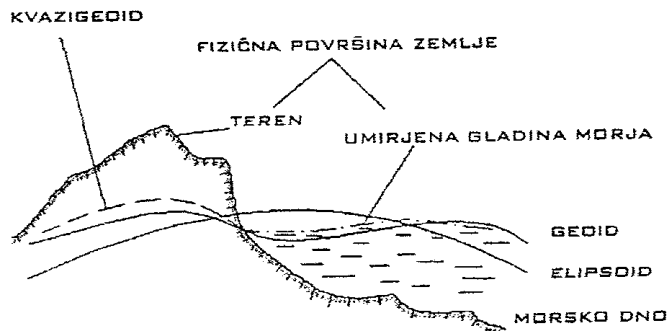
2.2 Težnostno polje Zemlje

Gravimetrija težnostno polje Zemlje obravnava kot funkcijo položaja in časa z merjenjem težnega pospeška in gradienta težnosti (vektor, ki kaže v smeri največjega naraščanja težnosti).³ Najpomembnejša ekvipotencialna ploskev Zemljinega težnostnega polja je geoid, ki ga v praksi uporabljamo za določanje višin, ki imajo fizikalni pomen (Kuhar, Okorn, Stopar, 2010).

³ <http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Solanje/Gravim.htm> (Pridobljeno 24. 8. 2016.)

3 OSNOVNE PLOSKVE V GEODEZIJI

V geodeziji se za pridobitev koordinat določenega števila točk na Zemljinem površju uporabljajo izhodiščne ploskve, kot so fizična površina Zemlje, elipsoid in (kvazi) geoid.



Slika 3: Osnovne ploskve v geodeziji (Urbanč, 2008, str. 6)

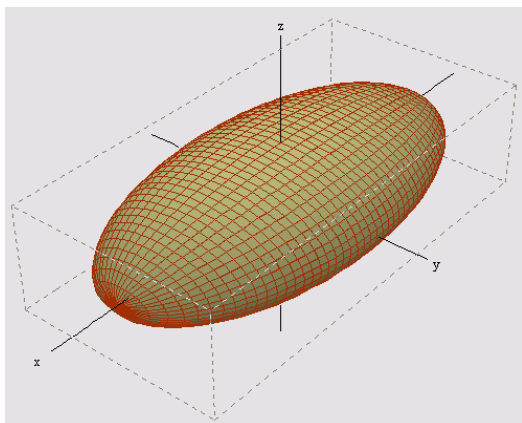
3.1 Fizična površina Zemlje

Geodezija razlikuje med fizično in teoretično površino Zemlje. Fizična površina zemlje je prostor, na katerem živimo in je zgornja površina Zemljine skorje. Je razčlenjena in nepravilne oblike, določajo pa jo lastnosti zunanje Zemljine površine. Oblika Zemeljskega površja je posledica zapletenega součinkovanja endogenih (tektonika plošč, vodoravni in navpični premiki tektonskih plošč, vulkanizem) in eksogenih sil (denudacijski in erozijski procesi), ki so si v nasprotju, saj prve višino površja v splošnem povečujejo, medtem ko eksogene sile višino površja zmanjšujejo.⁴ Prihaja do reliefnih nepravilnosti, ki jih ni mogoče izraziti z matematično pravilno ploskvijo, zaradi česar se v geodeziji uporabljajo aproksimirane ploskve. Teoretična površina Zemlje je podana z obliko, ki jo imenujemo geoid (Povzeto po: Vodušek, Klemenčič, 2009).

3.2 Elipsoid

Elipsoid, za razliko od geoida, pomeni enostavnejšo predstavitev Zemlje. Je matematična ploskev, ki se najbolj približa obliki geoida. Nadomestitev geoida z elipsoidom znatno poenostavi določanje položajev in omogoča matematično enostavne kartografske projekcije za prikaz Zemeljskega površja. Čeprav je elipsoid enostaven za uporabo, pa takšna posplošitev v mnogih primerih ni dopustna, saj se elipsoidne višine od geoidnih lahko razlikujejo tudi do 100 m, v Sloveniji ta razlika znaša približno 45 m (Režek, Berk, Grilc, 2015).

⁴ <https://sl.wikipedia.org/wiki/Topografija> (Pridobljeno 10. 6. 2016.)



Slika 4: Elipsoid

Ker je geoid določen fizikalno, je njegovo težnostno polje težko predstaviti. Zato se kot oblika Zemlje za GPS metodo izmere uporablja dvoosni rotacijski elipsoid. Ta je najbližji matematični približek ploskvi geoida, zaradi česar je izbran kot referenčna ploskev oziroma referenčni model za določanje položaja točk na Zemlji. Zemlja sicer ni idealen elipsoid, ne glede na to pa ima elipsoidno težnostno polje velik praktičen pomen pri proučevanju realnega Zemljinega polja težnosti. Težnostno polje elipsoida je za razliko od geoida možno matematično enostavno izraziti. Njegova odstopanja od realnega polja Zemlje so tako majhna, da jih lahko štejemo za linearna. Razčlenitev težnostnega polja Zemlje na "normalno" težnostno polje in preostali mali del, t. i. "moteče" polje, v veliki meri poenostavlja njegovo določanje.

Za določitev "normalnega" težnostnega polja moramo zagotoviti določeni referenčni "normalni" model Zemlje. Tega predstavlja rotacijski elipsoid. Ploskev slednjega je ekvipotencialna ploskev lastnega težnostnega polja, zato takšen elipsoid imenujemo *nivojski elipsoid*.

Potencial normalnega težnostnega polja nivojskega elipsoida se lahko predstavi z enačbo:

$$U = U(x,y,z) \tag{1}$$

Nivojski elipsoid normalnega težnostnega polja je v popolnosti določen s parametri rotacijskega elipsoida: geometričnima: veliko polosjo a in sploščenostjo f ter fizikalnima: maso M (enako skupni masi Zemlje in atmosfere) in kotno hitrostjo rotacije ω (enako Zemljini) (Povzeto po: Kuhar, 2012). Rotacijski elipsoid je matematično definirana ploskev, ki nastane z rotacijo elipse meridianov okrog male polosi. Rotacijska os je običajno vzporedna rotacijski osi Zemlje.⁵

⁵ <https://gradbenik.files.wordpress.com/2010/01/02-oblika-in-dimenzije-zemlje.pdf> (Pridobljeno 29. 6. 2016.)

Dejansko težnostno polje Zemlje odstopa od normalnega težnostnega polja nivojskega elipsoida. Razliko med dejanskim težnostnim potencialom Zemlje W in normalnim težnostnim potencialom U imenujemo anomalija potenciala oz. moteči potencial (angl. disturbing potential, nem. Störungspotential) in se v geodetski literaturi označuje s T . Torej za moteči potencial velja izraz:

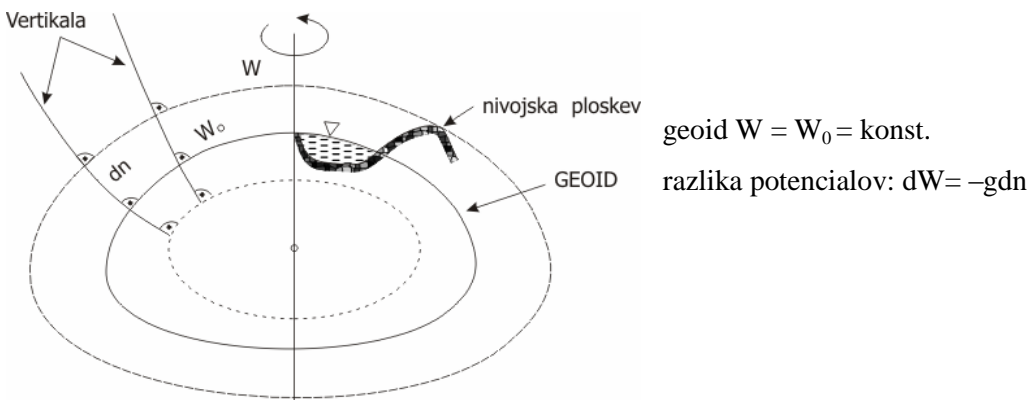
$$W(x,y,z) = U(x,y,z) + T(x,y,z) \quad (2)$$

Za določitev dejanskega težnostnega polja Zemlje W je potrebno poznati vrednost motečega težnostnega polja oz. potenciala T ; normalno težnostno polje nivojskega elipsoida oz. normalni potencial se lahko izračuna s pomočjo ustreznih matematičnih izrazov, saj se ta nanaša na pravilno matematično ploskev. Dejanskega in motečega potenciala ne moremo neposredno izmeriti, vendar obstaja možnost, da T izrazimo s pomočjo količin, ki se jih da določiti z meritvami (Povzeto po: Kuhar, 2012).

3.3 Geoid

3.3.1 Splošno

Nemški matematik, astronom, fizik in geodet Carl Friedrich Gauss⁶ je geoid opredelil kot ekvipotencialno ploskev zemeljskega telesa, ki je ponazorjena s srednjo gladino svetovnih morij in v mislih podaljšana pod celinami.



Slika 5: Geoid

Čeprav je Gaussova definicija geoida med geodetsko stroko največkrat omenjena, najdemo v literaturi še nekaj opredelitev. Veliki splošni leksikon (1997) opredeljuje geoid⁷ kot geometrično telo, ki je

⁶ 30. april 1777, Braunschweig, Nemčija, † 23. februar 1855, Göttingen, Nemčija (Dostopno na: https://www.google.si/search?sourceid=navclient&hl=sl&ie=UTF-8&q=Carl+Friedrich+Gau%C3%9F&gws_rd=ssl (Pridobljeno 4. 6. 2016.))

fizikalno definirano tako, da njegova površina leži v vseh točkah pravokotno na navpičnico (smer sile teže). Slovar slovenskega knjižnega jezika geoid razlaga kot poenostavljeno geometrično obliko Zemlje. Geoid je t. i. ničelna referenčna nivojska ploskev za določanje nadmorske višine na Zemeljskem površju oziroma določanje višinskih razlik točk na Zemlji (Kuhar, 2012). Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (Različica 2.0, 15. 11. 2010)⁸ geoid definira kot fizikalno referenčno ploskev, s katero približno določimo (aprosimiramo) Zemljo kot planet. Geografski terminološki slovar (2005) opredeljuje geoid kot poenostavljeno obliko Zemlje, ki ima površino povsod pravokotno na smer težnosti. Zaradi neenakomerno razporejene mase snovi v Zemeljski skorji in plašču so na njej vbokline in izbokline, ki pomenijo manjše odstopanje od matematično definirane oblike zemlje tj. rotacijskega elipsoida (Veliki splošni leksikon).

3.3.2 Pomen geoida

Pomen geoida se je skozi zgodovino spreminjal. Prvotno je geoid predstavljal zgolj nekakšen matematični Zemeljski lik, ki je na znanstveni ravni geodetom pomagal določati obliko in velikost Zemlje, v praksi pa so ga geodeti uporabljali kot referenčno ploskev za nivelmansko določanje višine Zemeljskih točk. Sodobna geodezija zahteva drugačen pristop k obravnavi geoida, saj mora slednji izražati razmerje med opazovanimi srednjimi morskimi gladinami ter nivojskimi ploskvami težnostnega polja Zemlje. Večji pomen so raziskave geoida pridobile z Direktivo Evropskega parlamenta in sveta o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Evropski skupnosti (INSPIRE)⁹, kar se kaže na različnih področjih: Geometrija zemeljskega površja se določa kot teoretična oblika Zemlje. Geoid predstavlja izhodiščno ali ničelno nivojsko ploskev za izračun absolutnih nadmorskih višin, kar omogoča reševanje prenekaterih nalog na področjih geodinamike, oceanografije, hidrografije, hidrologije in ne nazadnje gospodarske javne infrastrukture (komunalne energetske, prometne, vodne, itd). Poseben pomen ima geoid tudi na področju popravkov ali redukcije terestričnih geodetskih meritev glede na privzeti referenčni elipsoid, na področju GPS-višinomerstva, povezav terestrične izmere z meritvami satelitske geodezije, oceanografskih raziskav in raziskav v geofiziki in geodinamiki.¹⁰

⁷ Beseda izhaja iz grščine in pomeni »v obliki Zemlje«

⁸ http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/projekti/DGS/2010p/Navodilo_za_GNSS-visinomerstvo_r2.pdf
(Pridobljeno 5. 6. 2016.)

⁹ Velja od 15. 5. 2007 in ureja izhodišča za vzpostavitev evropske infrastrukture za podatke o prostoru in okolju v državah članicah, v slovenski pravni red pa je bila prenesena z Zakonom o infrastrukturi za prostorske informacije (ZIPI), ki je stopil v veljavo v letu 2010 (<http://www.geoport.gov.si/slo/kaj-je-inspire/>) (Pridobljeno 24. 8. 2016.)

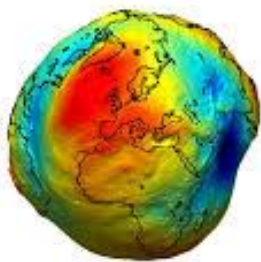
¹⁰ http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/projekti/DGS/2010/Razvoj_DGS_2010_koncno_porocilo.pdf

3.3.3 Oblika geoida

Določanje geoida pomeni določanje oblike Zemlje oz. določitev ene izmed nivojskih ploskev Zemljinega težnostnega polja. Geoid kot ekvipotencialna ploskev poteka deloma zunaj, deloma znotraj Zemlje, zato je njegova določitev brez poznavanja razporeditve gostote v notranjosti Zemlje izjemno težka naloga (Koler s sodelavci, 2012).

Čeprav je koncept geoida star že 150 let, je šele v zadnjih desetletjih na razpolago tehnologija za merjenje gravitacijskega pospeška, ki omogoča določanje ploskve geoida z dovolj veliko (centimetrsko) natančnostjo. Z novimi generacijami te opreme in modeli izračunavanja ploskve geoida se dosednji modeli geoida nadomeščajo z vedno boljšimi. Seveda pa ni samo tehnologija tista, ki se spreminja; z geofizikalnimi spremembami in geotektoniko se spreminja tudi razporeditev zemeljskih mas, kar prav tako vpliva na obliko geoida (Režek, Berk, Grilc, 2015).

Geoid je razmeroma nepravilne oblike, ki najbolj izstopa na območju Indijskega oceana južno od Indije, kjer je najti depresijo z globino 113 metrov od površja sferoida ter na območju severno od avstralske celine, kjer najvišji vrh geoida meri 81 metrov. Geoid je neprimeren oziroma izjemno težaven za risanje kart, zato se v kartografski in več drugih znanostih dela navezujejo na obliko referenčnega ali Zemljinega elipsoida, ki je najboljši matematično izračunljiv približek geoida. Zemljin elipsoid se uporablja kot podlaga za izdelavo zemljevidov velikih meril, astronomska preučevanja idr., večkrat pa se za potrebe različnega dela poenostavi tudi ta oblika, in sicer na obliko pravilne krogle, saj je razlika med referenčnim elipsoidom in pravilno kroglo majhna (Povzeto po: Vodusek, Klemenčič, 2009).



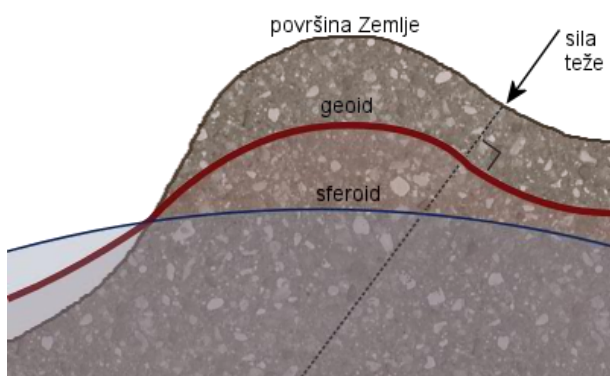
Slika 6: Geoid

Geoid je primeren za proučevanje težnostnega potenciala (določanje potencialnih in višinskih razlik z nivelmanskimi in gravimetričnimi meritvami), ne pa tudi za geodetska računanja, saj ga ni mogoče podati z enostavnimi matematičnimi izrazi. Za upodobitev geoida kot ničelne nivojske ploskve si

pomagamo s srednjo gladino morja, ki pa odstopa od trenutne nivojske ploskve za vrednosti ± 1 do ± 2 m. Geoid ponazorimo z enačbo (Povzeto po: Kuhar, 2012,):

$$W = W(x,y,z) = W_0, \quad (3)$$

pri čemer so (x,y,z) koordinate položaja točke na ekvipotencialni ploskvi in W_0 vrednostni potencial na geoidu. Ker geoid ni z matematično enačbo določljiva oblika oziroma ploskev, izdelamo njen približek oziroma model. Določanje oblike geoida je fizikalni problem, ker zahteva meritve težnostnega pospeška Zemlje. Za čim boljši model geoida potrebujemo čim več točk merjenja težnostnega pospeška na površju (Povzeto po: Režek, 2015). Z merjenjem težnostnega pospeška in s proučevanjem težnostnega polja se ukvarja gravimetrija, ki je zaradi dejstva, da se vse geodetske meritve opravljajo v težnostnem polju za geodezijo izrednega pomena. Na klasična geodetska opazovanja na površini Zemlje vplivajo različni dejavniki okolja, med katerimi velik delež zaseda prav vpliv sile teže (Povzeto po: Kuhar, 2012).



Slika 7: Sila teže

Kadar računamo obliko ploskve geoida moramo upoštevati razporeditev gostote mas na zgornji – vrhni strani Zemlje. Rezultati izračuna so zato manj zanesljivi. V izogib navedenemu je teoretična geodezija uvedla še eno ploskev, pri kateri so odpravljene vse predpostavke, in ki jo je poimenovala kvazigeoid. Za razliko od geoida, ki je izračunan iz dejanske težnosti zemeljske površine, je kvazigeoid izračunan iz normalne težnosti na površini referenčnega elipsoida (Povzeto po: Kuhar, Okorn, Stopar, 2010).

Večina današnjih "rešitev" so kvazigeoidi, saj podatkov, ki jih uporabljamo za izračun (merjene vrednosti težnosti in odklonov navpičnic), ne reduciramo v notranjost Zemlje na ničelno nivojsko ploskev (geoid), temveč jih uporabljamo v obliki, v kakršni so določene, tj. na površini Zemlje (Solheim, 2000). Vendar če želimo tako ploskev, ki je rezultat nekega numeričnega postopka, uporabiti praktično, to je v povezavi z GNSS-določenimi elipsoidnimi višinami, je nujen preračun

(transformacija) v lokalni/državni višinski sistem. Tako "preračunana" ploskev ni več (kvazi)geoid temveč "višinska referenčna ploskev", ki pa vsebuje vpliv nezanesljivega izračuna (kvazi)geoida (pogreški metode, vhodnih podatkov), pogreške določitve elipsoidnih višin in tektonske vertikalne premike na območju izračuna. Ne glede na to lahko omenjeno ploskev uspešno uporabimo za izračun višin (predvsem v manj dostopnih krajih) z metodo t. i. GNSS-višinomerstva. Preračun (transformacijo) je potrebno izpeljati s čim večjim številom točk, enakomerno razporejenih na celotnem območju, ki imajo znane elipsoidne (GNSS) in nadmorske višine. Takšne točke v geodetski terminologiji običajno imenujemo GNSS/nivelmanske točke (Koler s sodelavci, 2012).

Pri obliki geoida upoštevamo naslednje zveze (Kuhar, Okorn, Stopar, 2010):

- dejansko težnostno polje – normalno težnostno polje;
- dejanska ekvipotencialna ploskev (geoid) – normalna ekvipotencialna ploskev (elipsoid);
- dejanska težiščnica – normalna težiščnica;
- navpičnica – normala.

4 METODE IZRAČUNA GEOIDA

Metoda izračuna geoida je odvisna od razpoložljivih podatkov, ki jih dobimo s pomočjo:

- meritve težnosti (težnega pospeška),
- astronomskih opazovanj,
- koordinat točk določenih z metodami satelitske geodezije (Doppler, GPS),
- opazovanj do umetnih satelitov in med njimi,
- meritve satelitske altimetrije.

Metode izračuna geoida načeloma razdelimo v tri glavne skupine:

- a) terestrične metode (gravimetrična metoda, astrogeodetska metoda),
- b) satelitske metode določitve geoida (satelitska altimetrija, dinamična metoda satelitske geodezije, tridimenzionalna satelitska določitev položaja),
- c) integrirane oziroma kombinirane metode izračuna geoida (terestrične in satelitske metode).

4.1 Gravimetrična metoda

Navedena metoda ima najpomembnejšo vlogo pri raziskavah zemeljskega težnostnega polja. Gre za najbolj realno metodo za določanje geoida na celinskih območjih. Ta metoda ponuja dobro lokalno ločljivost, vendar dolgovalovna komponenta polja vsebuje sistematični pogrešek zaradi neenakomerne razporeditve izmerjenih vrednosti anomalij (Kuhar, 2012).

4.2 Astrogeodetska metoda

Za astrogeodetsko metodo je značilno, da astronomske koordinate točk na Zemlji določamo z astronomskimi opazovanji zvezd in Sonca. Prvi, ki je leta 1880 praktično preizkusil to metodo, ki je znana pod imenom astronomski ali astrogeodetski nivelman je bil nemški geofizik Friderich Robert Helmert. Astronomska opazovanja so draga, zamudna in odvisna od vremenskih pogojev. Metoda je primerna za določanje geoida na manjših območjih, ni pa primerna za določanje morskih geoidov. Uporabljamo jo za posredno določitev geoida, preko izračunanih komponent odklona navpičnice. Da dobimo astrogeodetske odklone navpičnic (ζ , η , ϵ), moramo določiti astronomske koordinatne točke na Zemlji (Φ, Λ) in astronomske azimute A ter jih primerjati z geodetskimi (elipsoidnimi) koordinatami in azimuti. Zakonitost astrogeodetske določitve geoida zapišemo z enačbo: $dN = -\epsilon_0 dS$, v kateri je predznak navpičnice določen z dogovorom. Astrogeodetska metoda omogoča določitev zelo natančnega geoida $\pm 0,05 \dots 0,1$ m na 100 km, vendar je tako izračunani geoid relativno orientiran glede na državni referenčni elipsoid. Za njegovo absolutno orientacijo so nujne geoidne točke, katerih koordinate so poznane tudi v geocentričnem koordinatnem sistemu. Zelo pogosto se astrogeodetske meritve uporabljajo v kombinaciji z gravimetričnimi in satelitskimi podatki za izračun geoidov za širša celinska območja (Povzeto po: Kuhar, 2012).

4.3 Satelitske metode

Koordinate točk lahko določamo tudi z metodami satelitske geodezije. Satelitski sistemi za določanje položaja (GPS, GALILEO, GLONASS, Doppler) določajo višino uporabnikovega sprejemnika nad referenčnim elipsoidom. Elipsoidna višina se v profesionalnih instrumentih (GNSS sprejemnikih) preračuna v geoidno višino s pomočjo v instrument vgrajenega modela geoida (Režek, 2015).

4.3.1 Dinamične satelitske metode – globalni geopotencialni modeli

Globalni geopotencialni modeli so izjemno pomembni zaradi svoje uporabnosti na območju celotne Zemlje, saj niso omejeni zgolj na celine oziroma oceane. Njihova slabost je relativno majhna ločljivost v predstavitvi težnostnega polja manjših območij na Zemlji. Najnovejši globalni geopotencialni model je *EGM08* ("Earth Gravitational Model 2008"). Pred tem je bil v uporabi starejši model globalnega geopotencialnega modela *EGM96*.

S sledenjem pravilnosti tirov gibanja satelitov, ki se gibljejo na nižjih višinah, je možno določiti model za zemeljski gravitacijski potencial.

Predstavimo ga v obliki vrste sfernih funkcij. Brunsova enačba nam poda razmerje med geoidno višino, motečim potencialom in težnostjo:

$$N_P = \frac{T_P}{\gamma_Q} \quad (4)$$

Pri razvoju potenciala oz. geoidnih višin v vrsto sfernih funkcij je pomembno določiti neznane koeficiente razvoja. Določimo jih lahko na različne načine: z izključno satelitskimi opazovanji ali v kombinaciji s podatki satelitske altimetrije in gravimetrične izmere (anomalije težnosti). Pri tem se uporablja metoda skupne izravnave oz. metoda integralnih enačb (Povzeto po: Kuhar, 2012).

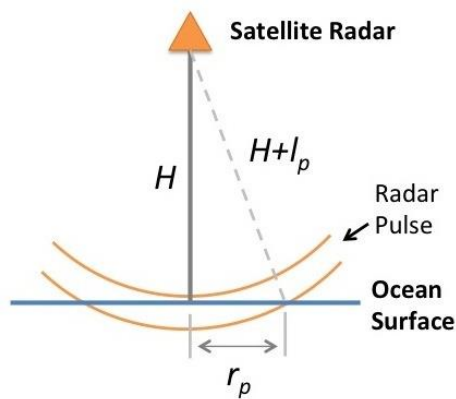
4.3.2 Geometrijska satelitska metoda ali metoda satelitsko določenih koordinatnih točk na Zemlji

Satelitske navigacije za določanje položaja na Zemlji (Doppler, GPS) nam omogočajo, da na Zemlji lahko določimo tridimenzionalne geocentrične koordinate točk. Te se nanašajo na globalni geocentrični koordinatni sistem in globalni zemeljski elipsoid. S transformacijo kartezičnih koordinat oz. koordinate Z v elipsoidno višino h je možna primerjava z ortometričnimi (nadmorskimi) višinami, ki se nanašajo na geoid kot ničelno nivojsko ploskev. Enako velja za normalne višine in anomalije višin.

Z dovolj velikim številom točk je možno za obravnavano območje določiti potek ploskve geoida. Tako dobljeni geoid je običajno dokaj enakomerne natančnosti, ki je odvisna od natančnosti in zanesljivosti elipsoidnih in predvsem nadmorskih višin oz. njihovih razlik. Ploskev geoida je s to metodo mogoče uporabiti tudi za manjša območja, ki jih zajemajo GPS-mreže.

4.3.3 Satelitska altimetrija

Satelitska altimetrija je prva operativna tehnika merjenja Zemlje iz vesolja. Mikrovalovni signali radarja, odposlani s satelitov, se sprejmejo in registrirajo po refleksiji od Zemeljske površine. Zaradi ugodnih refleksnih lastnosti vode daje ta metoda posebno dobre rezultate nad vodnimi površinami. Pojav satelitske altimetrije je omogočil, da so se v zelo kratkem času dosegla veliko boljša spoznanja o morskem kot o kopenskem geoidu. Glavno področje uporabe altimetrijskih podatkov je oceanografija in spremljanje sprememb morske površine v času in prostoru. Altimetrijska merjenja so uporabna predvsem v geodeziji, geodinamiki in oceanografiji. V geodeziji se te meritve uporabljajo za računanje modela geoida za morska prostranstva in globalnih geoidov. V geofiziki se altimetrijski podatki uporabljajo za določanje podmorskega reliefa (Strižak, Vudrag, 2005). Navedene trditve hrvaških strokovnjakov potrjujejo tudi ugotovitve Kuharja, da sateliti, ki krožijo okoli Zemlje, oddajajo radarske impulze, ki se odbijajo od morske gladine in se vrnejo nazaj v sprejemnik satelita, in tako izmerijo dolžino med satelitom in morsko gladino (Kuhar, 2012). Kuhar še navaja, da geoidno višino določimo z enačbo: $N = h_s - a - H_i$, kjer je h_s višina altimetra na elipsoidu, a razdalja med morsko gladino in satelitom in H_i topografija morske gladine.



Slika 8: Satelitska altimetrija

4.4 Kombinirane metode izračuna geoida

Kombinirane metode izračuna geoida so rezultat astronomskih opazovanj, gravimetričnih opazovanj in klasične geodetske izmere (trigonometrično višnomerstvo, triangulacija, trilateracija, nivelman ...).

4.4.1 Astro gravimetrični nivelman

Astro gravimetrični nivelman predstavlja eno od kombinacij gravimetričnih in astrogeodetskih meritev oziroma astrogeodetske in gravimetrične metode določanja geoida. Kot osnovo za izračun težnostne anomalije Δg , ki jo lahko izrazimo z odkloni navpičnice, uporabljamo merjeni težnostni pospešek (Povzeto po: Pogarčič, 2014).

4.4.2 Kolokacija po metodi najmanjših kvadratov

Metoda omogoča kombinacijo različnih merskih podatkov in je izjemnega pomena pri obravnavanju zemeljskega težnostnega polja in geodetskih količin, ki se nanj nanašajo. Na pomenu je pridobila z uvedbo satelitskih meritev v vsakdanjo geodetsko izmero. Uporablja se v problemih transformacije koordinat, pri ugotavljanju nepravilnosti razdelb krogov teodolitov in v fizikalni geodeziji.

Z njo na podlagi vseh danih merskih podatkov določamo optimalno težnostno polje. Ta metoda, ki predstavlja posplošitev izravnave po metodi najmanjših kvadratov, in ki obsega skupne probleme *izravnave, filtriranja in predikcije* oziroma *napredovanja*, temelji na dveh načelih, in sicer, da:

1. je vsako geodetsko opazovanje odvisno od položaja ene ali več točk v prostoru in od zemeljskega težnostnega polja:

$$l = F(x, W) \tag{5}$$

pri čemer so:

l	...	opazovana količina (geodetske meritve)
x	...	vektor sistematičnih parametrov ali neznank (vsebuje koordinate opazovališča, na katero se meritve nanašajo)
W	...	težnostni potencial v opazovališču
F	...	nelinearni funkcijski operator med argumentoma x

2. vsako geodetsko opazovanje vsebuje tri komponente:

- *sistematični del*, ki je funkcija parametrov oz. neznank,
- *signal*, ki predstavlja vpliv motečega težnostnega polja na opazovanja,
- *šum*, slučajna komponenta, ki vključuje vse nesistematične pogreške merjenja.

(Povzeto po: Kuhar, 2012)

4.4.3 Metoda "remove-restore"

Gre za integrirano metodo določanja, zlasti t. i. regionalnih geoidov. Podatke težnostnega polja obravnavanega območja pri tej metodi tvorijo podatki o dolgih valovih (do 200 km – globalni geopotencialni model), podatki o srednjih valovih (200 do 5 km – anomalije težnosti in komponente odklona navpičnice) ter podatki o kratkih valovih (visoko ločljivi digitalni modeli reliefa).

Da dobimo reducirano težnostno polje, odstranimo dolgo in kratkovalovna opazovanja, nato izračunamo reducirane geoidne višine in reducirane anomalije višin. Dobljenemu rezultatu nato vrnemo informacije o kratkih in dolgih valovih (Povzeto po: Pogarčič, 2014).

Z metodo "remove-restore" z uporabo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov sta bila izračunana tudi geoid iz leta 1993, profesorjev K. Čolića in T. Bašića, ki je zajemal območje Slovenije in del Hrvaške ter t. i. Pribičevičev absolutni geoid na območju Slovenije iz leta 2000 (Povzeto po: Kuhar, Okorn, Stopar, 2010).

5 UPODOBITEV IZRAČUNANEGA GEOIDA (KVAZIGEOIDA)

Končni rezultat določitve ploskve geoida (kvazigeoida) so (kvazi)geoidne višine. Podobno kot upodabljamo površino Zemlje, lahko upodobimo tudi ploskev geoida: z množico diskretnih točk, ali pa s pretvorbo teh točk v določen matematičen zapis (funkcija oz. matematična vrsta). Eden takšnih primerov je globalni geopotencialni model oz. razvoj gravitacijskega potenciala v vrsto po sfernih funkcijah. Na osnovi koeficientov razvoja lahko predstavimo geoidne višine, anomalije težnosti ali pa komponente odklona navpičnice. Ker gre za matematično funkcijo, je vsaka izračunana geoidna višina točno povezana z geografskim položajem točke na Zemlji (geocentrična sferna širina in sferna dolžina) in jo je možno izračunati (interpolirati) v poljubni točki. V primeru določitve geoida v

množici diskretnih točk se ploskev predstavi v obliki karte ali pa se množica izračunanih točk preračuna (pretvori) v pravilno točkovno strukturo, celično mrežo točk grid. V splošnem je grid pravilna mreža vertikalnih in horizontalnih koordinatnih linij; lahko je podana v pravokotnih ali pa geografskih koordinatah.

Postopek izračuna (preračuna) grida iz množice diskretno razporejenih točk je znan pod imenom "gridding". Predstavitev ploskve s pomočjo grida ima z računalniškega vidika zelo dobro lastnost: ker so horizontalne koordinate točk v gridu podane v enakih presledkih (oddaljenostih), je planimetrični položaj posamezne točke določen z njeno lego v matriki. V računalniškem spominu moramo hraniti samo prostorsko Z koordinato. *Ločljivost grida* ("resolution") pomeni korak, s katerim je definirana mreža (lahko je enak v obeh smereh, lahko pa tudi ne, odvisno od velikosti in oblike območja izračuna). Ločljivosti celične mreže današnjih geoidnih modelov so manjši kot ustrezni digitalni modeli višin (DMV) oz. releifa (DMR), predvsem zaradi omejitve računalniškega spomina in lažje prenosljivosti (Kuhar, 2012). Navedenemu pritrjujejo tudi Režek, Berk in Grilc (2015), ki poudarjajo, da z gravimetričnimi meritvami na čim več točkah določimo vrednosti težnostnega pospeška in tudi njihov horizontalni položaj. Nato na podlagi teh merjenih podatkov na diskretnih točkah prek izbranega matematičnega modela izračunamo ploskev geoid. Ko je ploskev geoida določena, znan pa je tudi referenčni elipsoid, lahko za poljubno točko na zemeljskem površju, z znanimi horizontalnimi koordinatami na elipsoidu določimo količino N (geoidno ondulacijo). Če izmerimo še višino te točke z GNSS tehnologijo, posredno lahko določimo tudi njeno nadmorsko višino, seveda z natančnostjo modela geoida (in natančnostjo meritve same).

6 VIŠINSKI SISTEMI V GEODEZIJI

6.1 Splošno

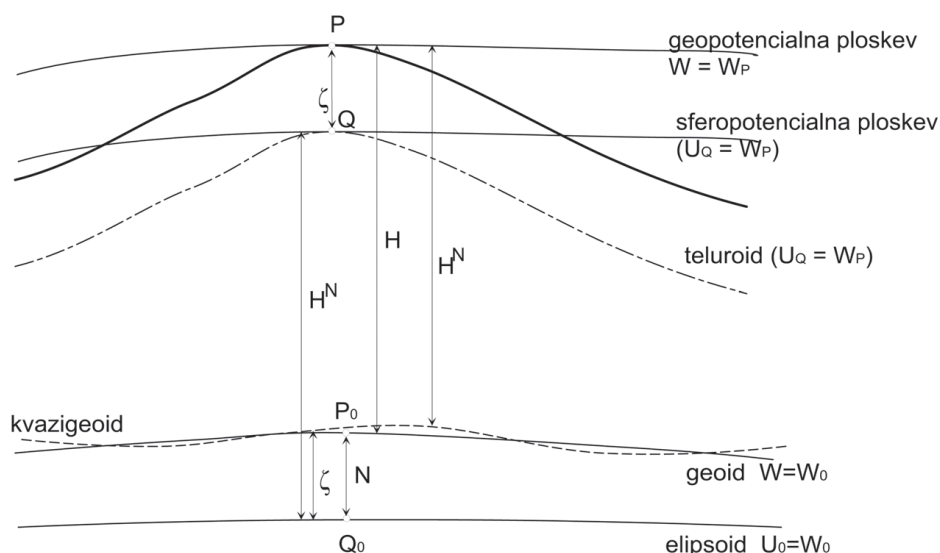
Za določitev višin s sodobnimi geodetskimi merskimi tehnikami, kot je GNSS (Global Navigation Satellite Systems), je dobro določen sodoben višinski sistem nujen. Dobro določen višinski sistem nam omogoča povezavo med geometričnimi višinami, ki so rezultat izmere GNSS s fizikalnimi višinskimi sistemi, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero (Koler, Medved, Kuhar, 2007). Avtorji znanstvenega referata z naslovom Analiza vpliva težnostnega polja na določitev višin točk v različnih višinskih sistemih (2004), profesorji na FGG, Anka Lisec, Božo Koler in Miran Kuhar se strinjajo, da je definicija višinskega sistema dokaj težavna naloga, ker je višina neločljivo povezana s težnostnim poljem Zemlje, in da je pri definiciji višinskega sistema potrebno upoštevati zahteve čim širšega kroga uporabnikov.

6.2 Tipi sistemov višin

Glede na metodo, kako se upošteva vpliv težnostnega polja Zemlje na geometrično določeno nadmorsko višino, poznamo normalne, ortometrične, normalne ortometrične in dinamične nadmorske višine (Režek, Berk, Grilc, 2015).

Sisteme višin v geodeziji tvorijo (Slika 11):

- geopotencialne kote
- dinamične višine
- ortometrične višine
- normalne višine



Slika 9: Višinski sistemi (Koler et al., 2007, str. 780)

6.2.1 Geopotencialne kote

Geopotencialne kote predstavljajo podlago za vse fizikalne višinske sisteme, izrazimo pa jih z naslednjo enačbo:

$$C_{P_i} = W_{P_i^0} - W_{P_i} = \int_{P_i^0}^{P_i} g dh_{P_i^0}^{P_i} \quad (6)$$

Kjer so:

- C_{P_i} ... geopotencialna kota
 $W_{P_i^0}$... potencial ničelne nivojske ploskve

W_{P_i}	...	potencial nivojske ploskve skozi točko P_i
P_i^0	...	točki P_i prirejena točka na nivojski ploskvi
g	...	težni pospešek

Če določimo, da je višina ničelne nivojske ploskve oziroma geoida enaka 0, potem nam razlika potencialov predstavlja naravno fizikalno mero za višine točk na zemeljski površini. Enoto za geopotencialne kote imenujemo geopotencialno število ali GPU (angl. Geopotential Unit), kjer je $1 \text{ GPU} = 1 \text{ kgalm} = 10 \text{ Nm/kg} = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Da dobimo višine točk podane v metrih, je treba geopotencialno koto deliti s težnostnim pospeškom. Glede na to, s kakšno vrednostjo težnega pospeška delimo geopotencialne kote, poznamo različne vrste višin. (Povzeto po: Koler, Medved, Kuhar, 2007). Geopotencialne kote niso primerne za geodetsko izmero, ker jih ne moremo geometrično interpretirati. Imajo pa velik pomen v izravnavi državnih nivelmanskih mrež višjih redov (Kuhar, 2012).

6.2.2 Dinamične višine

Dinamično višino dobimo z delitvijo geopotencialnih kot s konstantno vrednostjo težnostnega pospeška. (Povzeto po: Koler, Medved, Kuhar, 2007). V praksi se ne meri težni pospešek na vsakem reperju, ampak samo na posameznih. Vmesne vrednosti interpoliramo. Točke na isti nivojski ploskvi imajo enako dinamično višino. Problem dinamičnih višin je v tem, da so lahko popravki niveliranih višinskih razlik zelo veliki in višine nimajo geometričnega pomena. Ne moremo jih povezati z elipsoidnimi višinami (h). Dinamične višine so pomembne za različne inženirske objekte (npr. hidrotehnične) (Kuhar, 2012).

6.2.3 Ortometrične višine

Ortometrična višina je oddaljenost točke na površju Zemlje od geoida, merjeno po ukrivljeni težiščnici. Natančnost določitve ortometričnih višin je odvisna od števila in natančnosti razpoložljivih podatkov o gostoti zemeljske skorje. Imajo geometrični pomen, vendar točke z enakimi ortometričnimi višinami ne ležijo na istih nivojskih ploskvah (razen na geoidu). Povezava z elipsoidnimi višinami h je preko geoidnih višin N , $h = H + N$ (Kuhar, 2012).

6.2.4 Normalne višine

Da bi se izognil uvedbi hipotez o vrednosti težnega pospeška v notranjosti Zemlje, je M. S. Molodenski leta 1954 predlagal uvedbo *normalnih višin* (H_N). Normalno višino dobimo če geopotencialno koto delimo s srednjo vrednostjo normalnega težnega pospeška na odseku "normalne

težiščnice" točke P_i . Srednjo vrednost normalnega težnega pospeška iščemo na odseku težiščnice v normalnem težnostnem polju ("normalna težiščnica") med točko Q_0 na nivojskem elipsoidu in točko Q na teluroidu. Teluroid je ploskev (bolje povedano geometrijsko mesto točk), za katero velja, da je v vsaki njeni točki Q izpolnjeno $U_Q=W_P$. Teluroid ni nivojska ploskev, namreč njegova oblika ponazarja fizično površino Zemlje. "Normalne težiščnice" imajo zelo majhno ukrivljenost, tako da se v praksi ta lahko zamenja z odsekom normale na elipsoid (odstopanje je manjše od 0,1 mm). Normalne višine so določene na osnovi vrednosti normalne težnosti točke na elipsoidu in težnosti pripadajoče točke na teluroidu, pri tem pa so višine neodvisne od porazdelitve mas pod površjem Zemlje (Kuhar, 2012).

7 DOLOČANJE VIŠIN Z UPORABO GLOBALNIH NAVIGACIJSKIH SISTEMOV V SLOVENIJI

V Sloveniji so strokovnjaki Geodetskega inštituta Slovenije, FGG in GURS pripravili Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih sistemov (Različica 2.0, 15. 11. 2010, ki v državnem višinskem sistemu obravnava določanje nadmorskih višin točk z uporabo GNSS-tehnologije. Danes je v Sloveniji uradni sistem višin, sistem normalnih ortometričnih višin (H^{NO}) oziroma nadmorskih višin. Natančnost nadmorskih višin, določenih z uporabo GNSS-tehnologije, je odvisna od natančnosti elipsoidne višine določene z GNSS-metodo izmere in od natančnosti določitve geoidne višine. Zahtevana natančnost določitve elipsoidne višine v okviru GNSS-izmere je odvisna od namena uporabe teh višin. V navodilu so obravnavani trije nivoji natančnosti višin: nekajcentimetrski, nekajdecimetrski nivo ter metrski nivo natančnosti.

Za nekajcentimetrski nivo natančnosti se ne priporoča uporaba GNSS-višinomerstva, temveč uporaba klasične metode določanja višin (geometrični nivelman). O natančnosti elipsoidne višine točke govorimo, ko je standardni odklon elipsoidne višine manjši od 3 cm, polovična dolžina intervala s 95 % zaupanjem višine točke pa krajša od 6 cm.

Ta nivo natančnosti je primeren za določanje višin v inženirski geodeziji (razen za natančnejša dela, kot je npr. zakoličba, kanalizacije, vodovod ipd.), izdelavo geodetskih načrtov velikih meril (1 : 1.000 in 1 : 500), izmero nekaterih objektov zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture in druge naloge, kjer je zahtevana nekajcentimetrska natančnost višin.

Za nekajdecimeterski nivo natančnosti se elipsoidne višine točk določijo z RTK- ali kinematično metodo izmere, geoidne višine pa s pomočjo absolutnega modela geoida. Če se ugotovi, da je absolutni model geoida na konkretnem območju slabe kakovosti, se nadmorsko višino lahko določi s pomočjo 7-parametrične podobnostne transformacije. Nekajdecimeterska natančnost elipsoidne višine točke je, če je standardni odklon elipsoidne višine manjši od 10 cm, polovična dolžina intervala s 95 % zaupanjem v višino točke pa krajša od 20 cm. Ta nivo natančnosti je primeren za izmero v zemljiškem katastru, izmero v katastru stavb, izdelavo geodetskih načrtov merila 1 : 5.000 in topografskih kart merila 1 : 10.000, izdelavo trirazsežnih modelov mest in druge naloge, kjer je zahtevana

nekajdecimetrski natančnost višin. Osnovni metodi izmere pri tej natančnosti sta RTK in kinematična metoda.

Za *metrski nivo natančnosti* določitve nadmorskih višin se elipsoidne višine točk določijo z DGPS- ali kinematično metodo izmere, geoidne višine pa določimo s pomočjo absolutnega modela geoida ali pa z uporabo karte geoidnih višin. Kot podmetrsko natančnost elipsoidne višine točke razumemo natančnost, ko je standardni odklon elipsoidne višine manjši od 50 cm, polovična dolžina intervala s 95 % zaupanjem v elipsoidno višino točke krajša od 1 m. Ta nivo natančnosti je primeren za: izmero višin v GIS, kjer je zahtevana višinska natančnost podatkov boljša od enega metra, vzdrževanje kart merila 1 : 5.000 in manjših meril ter druge naloge, kjer je zahtevana natančnost višine boljša od enega metra. Osnovni metodi izmere sta DGPS- in kinematična metoda.

8 POVEZAVA ELIPSOIDA, (KVAZI)GEOIDA Z VIŠINSKO REFERENČNO PLOSKVIJO

Za izhodiščno ekvipotencialno ploskev za določanje višin je izbrana mirujoča morska gladina. Ekvipotencialna ploskev, ki poteka skozi izbrano izhodiščno točko-mareograf predstavlja referenčno višinsko ploskev. V praksi običajno nadomešča eno samo višinsko točko množica višinskih referenčnih točk, ki pa vse ne ležijo na isti ekvipotencialni ploskvi. To pa vodi do višinske referenčne ploskve, ki pa ni ekvipotencialna ploskev (Stopar et al., 2002).

Režek, Berk in Grilc (2015) navajajo, da je za odgovor, kako določiti višino do posamezne točke na zemeljskem površju, nujno poznavanje pojmov, kot so elipsoid, geoid in nivelman. Višine nad geoidom so odvisne od Zemljinega gravitacijskega polja in se imenujejo tudi višine nad srednjim nivojem morja. Če ne bi bilo plimovanja, morskih tokov, vetrov, potem bi se voda v morjih popolnoma izenačila z obliko geoida. Če bi jo lahko celo 'razlili pod zemeljsko površje', potem bi zavzela ploskev geoida. V naravi pa vse ni tako preprosto, zato se oblika geoida določa z lokalnimi gravimetričnimi meritvami in izračunava z zahtevnimi matematičnimi in fizikalnimi modeli.

Tudi avstrijski geodetski strokovnjak Helmut Moritz je zapisal, da je osnovna formula za terestrične višine:

$$\begin{aligned} h &= H + N \\ \text{ali} & \\ H - h + N &= 0 \end{aligned} \tag{7}$$

pri čemer je:

h	...	višina nad elipsoidom ali elipsoidna višina
H	...	višina nad geoidom ali ortometrična (nadmorska višina)
N	...	višina geoida nad elipsoidom ali geoidna višina. ¹¹

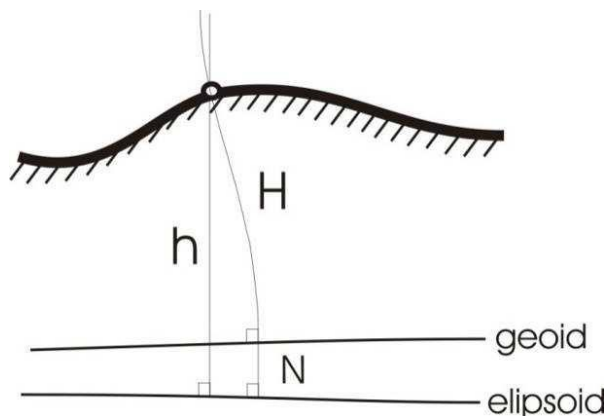
¹¹ <http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Zalozba/Fizikalna%20geod%20po%20GPS.pdf> (Pridobljeno 10. 7. 2016.)

Z GNSS-višinomerstvom določamo nadmorske višine točk na osnovi izmerjenih elipsoidnih/geometrijskih višin in interpoliranih geoidnih višin iz ustreznega modela geoida. Elipsoidne višine¹² se nanašajo na ploskev elipsoida in jih ni možno uporabiti v geodetski praksi niti v vsakdanjem življenju, ker niso določene v težnostnem polju Zemlje. Elipsoidne (h) in nadmorske višine – ortometrične (H) ali normalne višine (H^N) – povezuje znana enačba:

$$h = H + N \quad (8)$$

$$h = H^N + \zeta \quad (9)$$

pri čemer je N geoidna višina¹³ in ζ kvazigeoidna višina. Za kakovostno GNSS-višinomerstvo potrebujemo model geoida (kvazigeoida), ki je enakovredne natančnosti, kot je natančnost določitve elipsoidnih višin (Koler et al., 2012).

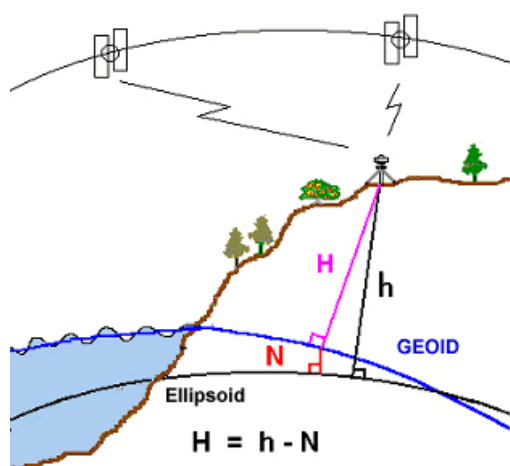


Slika 10: Elipsoidna višina h , nadmorska višina H in geoidna višina N (Koler et al., 2012, str. 95)

V kolikor pa želimo dobiti nadmorsko višino točke terena, pa je treba od elipsoidne višine odšteti razliko med ploskvijo elipsoida in geoida, ki jo imenujemo geoidna ondulacija. Za določanje višin z GNSS tehnologijo moramo nujno poznati ploskev referenčnega geoida (Režek, Berk, Grilc, 2015).

¹² Je višina točke nad referenčnim elipsoidom, merjena vzdolž normale na elipsoid. Definirana je popolnoma geometrijsko. Za preračun med elipsoidnimi in nadmorskimi višinami je treba poznati vrednost geoidne višine v točki. (Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov, različica 2.0, 15. 11. 2010)

¹³ Geoidna višina (N) je višinska razlika med referenčnim elipsoidom in geoidom. Ločimo absolutno in relativno geoidno višino, pri čemer se absolutna nanaša na geocentrični elipsoid (npr. GRS 80), relativna pa na lokalne referenčne elipsoide (npr. Besslov). (Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov, različica 2.0, 15. 11. 2010)



Slika 11: Prikaz elipsoidnih in geoidnih višin (Režek et al., 2015, str. 6)

9 GEOID V SLOVENIJI

9.1 Zgodovina

Prve meritve za določitev ploskve geoida na območju Slovenije so bile izvedene v obdobju avstro-ogrške monarhije. Geoidni profil je bil po poldnevniku Ljubljane izmerjen pred prvo svetovno vojno. (Povzeto po: Stopar et al., 2002). Za območje Slovenije so bili po drugi svetovni vojni izračunani Muminagičev model geoida (1970), Bašičev-Čoličev model geoida (1993), t. i. Pribičevičev model (2000) ter testni, absolutni model geoida leta 2010. Obstoječi geodetski višinski sistem Slovenije je še iz obdobja prejšnjega stoletja in je v razkoraku s satelitskimi tehnologijami za določanje položajev in uporabo višinske predstave, pridobljene s tehnikami daljinskega zaznavanja. V pripravi je nov višinski referenčni sistem, povezan z novim horizontalnim georeferenčnim sistemom. Rezultat bo novi slovenski geoid, matematična ploskev z datumom 2016, ki bo v najboljši možni meri predstavljal relief Slovenije, in ki bo vgrajen v različne strokovne modele in v vse sodobne instrumente za terensko določanje položaja, tudi višin.¹⁴

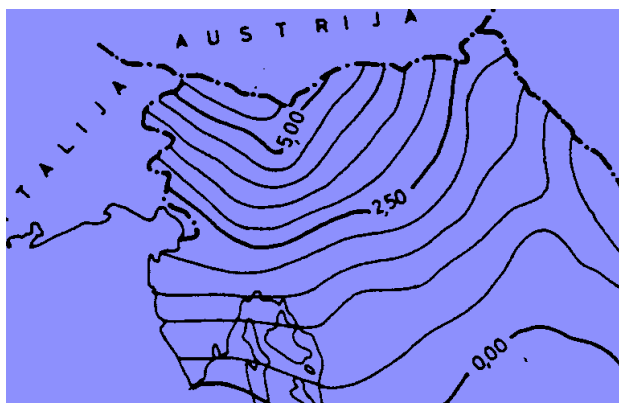
Z raziskavami težnostnega polja Zemlje, gravimetrično izmero in izračunom geoida se je od nastanka Jugoslavije dalje ukvarjala vojaška geodetska služba na čelu z Vojaškim geografskim inštitutom (VGI), s sedežem v Beogradu. Raziskave in njihovi rezultati niso bili dostopni javnosti, še zlasti ne po drugi svetovni vojni. Slovenski geodeti so se v tem času ukvarjali z raziskavami na področju razvoja geodetskih mrež, kartografije, katastra in drugih dejavnosti znotraj geodetske službe. Prvo meritev je v času pred prvo svetovno vojno pomenil izmerjen geoidni profil na meridianu Ljubljane. Prva

¹⁴ Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav (Poročilo o izvajanju projekta za leto 2014, dostopno na: www.gurs-egp.si/files/3b1_Projekt_EGP_LP_2014.pdf (22. 5. 2016)

publikacija s področja geofizikalnih raziskav težnostnega polja za območje nekdanje SFRJ je bila objavljena po 2. svetovni vojni, njen avtor je A. Muminagić.

9.2 Muminagićev model geoida

Muminagić se je v svojih raziskavah ukvarjal predvsem s problemom orientacije jugoslovanske trigonometrične mreže, pri tem pa je izračunal tudi prvi astrogeodetski geoid za območje nekdanje Jugoslavije, ki pa se v praksi ni uporabljal. Zanj je uporabil podatke astronomskih meritev na 170 točkah. Geoidne višinske razlike (360) je izračunal po Ölanderjevi enačbi (Muminagić, 1974), vse višinske razlike, ki so bile vključene v mrežo, pa so bile izravnane s pogojno izravnavo. Po odstranitvi grobih pogreškov se je izkazalo, da so največja neskladja nastala zaradi neprimerno izbranih astronomskih točk, saj so bila določena opravljena na pobočjih ali ob vznožju velikih planin in gora (Velebit, Korab, itd.), kar je imelo za posledico velike lokalne odklone navpičnice.



Slika 12: Muminagić (1974), astrogeodetska rešitev (Besselov elipsoid)

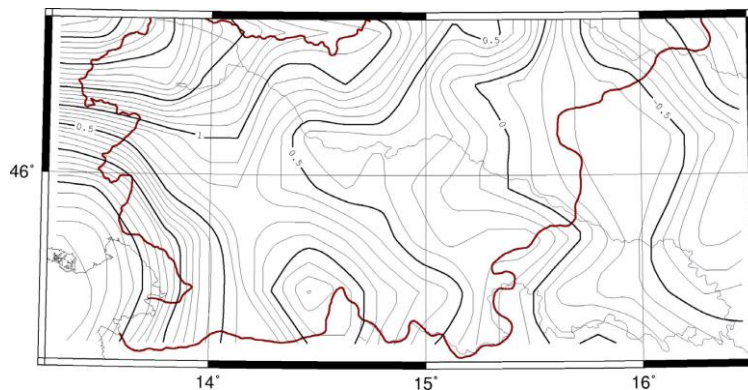
9.3 Bašićev-Čolićev model geoida

Prvi model geoida, ki je bil dejansko tudi praktično uporaben, je iz leta 1993 izračunan za območje Slovenije in dela Hrvaške (Bašić, 1993). To je relativni geoid, izračunan glede na Besselov referenčni elipsoid in ni uporaben pri geodetski izmeri GNSS (Kuhar, Okorn, Stopar, 2010). V izračun astrogeodetskega geoida je bilo vključenih 117 točk (od tega 32 v Sloveniji) z izračunanimi (izmerjenimi) komponentami odklona navpičnice. Astronomska opazovanja so bila izvedena z modificiranim in razširjenim Zeiss NI-2 astrolabom, šlo pa je za najnatančnejša opazovanja te vrste. Astronomske koordinate so bile določene z metodo enakih višin. Geoid je izračunan z metodo "remove-restore" z uporabo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov, in sicer v treh korakih:

- iz merjenih komponent odklona navpičnice je odstranjen vpliv topografskih mas, upoštevajoč teorijo izostazije (odstranjevanje topoizostatskega vpliva);
- z reduciranimi količinami oz. odstopanji so izračunane geoidne višine s pomočjo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov;

- povrnjen je odstranjeni topoizostatski vpliv v merjenih in računskih (prediciranih) točkah.

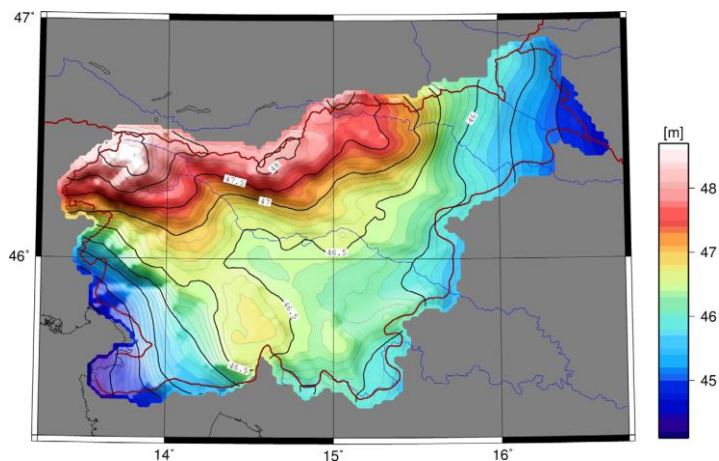
Kljub ustaljeni praksi v postopku kolokacije iz merjenih podatkov ni bil odstranjen globalni trend. Pri poskusu redukcije merjenih podatkov z globalnim geopotencialnim modelom OSU91A se je izkazalo, da so odstopanja prevelika in se preveč razlikujejo od merjenih vrednosti, kar je posledica dejstva, da je astrogeodetska mreža lokalno orientirana (prisotni so zamiki, ki imajo korenine še iz časa povezave naše mreže z Avstro-Ogrsko), poleg tega pa v izračun globalnega geopotencialnega modela niso vključeni podatki iz obravnavanega območja.



Slika 13: Prof. dr. T. Bašić, (GF Zagreb), 1993, astrogeodetska rešitev (Besselov elipsoid)

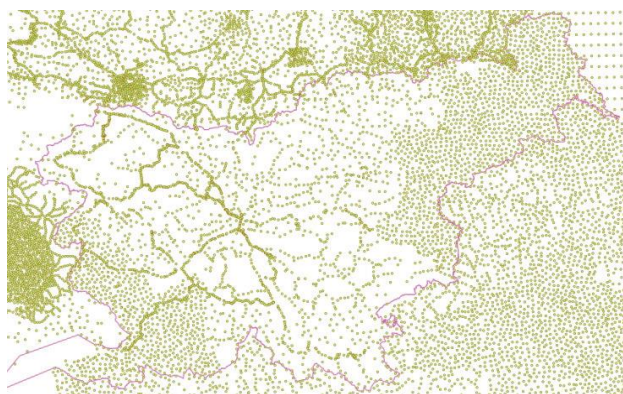
9.4 Pribičevićev model geoida

Model geoida, ki je uporaben z izmero GNSS, pa je bil določen leta 2000 (Pribičević, 2000). To je absolutni geoid, izračunan s kolokacijo po metodi najmanjših kvadratov z uporabo tehnike "remove-restore" glede na GRS-80 referenčni elipsoid. V izračun je bilo vključenih 99 točk z merjenimi vrednostmi odklonov navpičnice, več kot 4000 točkovnih anomalij težnosti ter okoli 100 točk z znanimi geoidnimi višinami, pridobljenimi iz elipsoidnih višin na podlagi GPS-izmere in nivelmana visoke natančnosti. Model geoida je podan v obliki pravilne gridne mreže ($1',0 \times 1',5$), ki omogoča izračun (interpolacijo) geoidne višine v poljubni točki znotraj območja modela geoida. Model zajema območje: $45^{\circ}15' < \varphi < 47^{\circ}00'$, $13^{\circ}15' < \lambda < 16^{\circ}45'$. Geoidne višine v gridu so podane do meje Slovenije, izračunane pa so s povprečno natančnostjo približno treh centimetrov. Težavo predstavljajo nadmorske višine točk uporabljenih za višinsko orientacijo ploskve geoida, ki so po izračunu geoida spremenile svoje vrednosti. To je povzročilo tudi nekajdecimetske razlike med nadmorskimi višinami in tistimi višinami, ki jih izračunamo z merjenjem elipsoidnih in interpoliranih geoidnih višin. (Povzeto po: Kuhar, Okorn, Stopar, 2010).



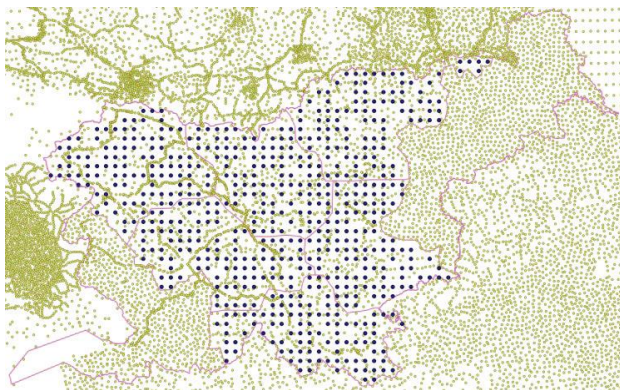
Slika 14: Prof. dr. B. Pribičević (GF Zagreb), 2000, kombinirana rešitev, kolokacija MNK (elipsoid GRS-80)

V Sloveniji imamo poleg točk gravimetričnih mrež 0. in I. reda tudi veliko regionalnih gravimetričnih točk, ki so potrebne za določitev geopotencialnih kot reperjev nivelmanske mreže in za izračun oblike ploskve geoida oziroma kvazigeoida. Od leta 2006 se sočasno z niveliranjem na vseh reperjih izvaja tudi relativna gravimetrična izmera. Do danes (2015) je bilo tako izmerjenih okoli 1500 točk (reperjev), ki so vključene v novo nivelmansko mrežo I. reda. Seveda se te točke lahko uporabi tudi za izračun ploskve geoida, vendar so neenakomerno razporejene, saj se nahajajo samo vzdolž nivelmanskih linij. Za izračun ploskve geoida (različica iz leta 2000 in testna različica iz leta 2010) so bili uporabljeni stari jugoslovanski podatki takratne regionalne gravimetrične izmere, opravljene med letoma 1951 in 1964, pa tudi med letoma 1985 in 1991. Analiza prostorske razporeditve teh meritev je pokazala, da na določenih območjih gostota točk ni ustrezna.



Slika 15: Regionalne gravimetrične točke za določitev ploskve geoida v Sloveniji – stanje oktober 2014 (Stopar et al., 2015, str. 49)

Zato je bil pripravljen predlog zgostitve regionalnih gravimetričnih točk na območju večjega dela osrednje Slovenije, ki obsega ozemlje s površino 13.812 km². Predlog zgostitve regionalnih gravimetričnih točk izhaja iz težnje po čim bolj enakomerni razporeditvi teh točk. Empirično je bila določena velikost celice grida na 4 km × 4 km. Tako je bilo pridobljenih 600 novih regionalnih gravimetričnih točk, ki enakomerno zgostijo izbrano območje (Stopar et al., 2015).



Slika 16: Šest podobmočij zgostitve s po 100 dodatnimi regionalnimi gravimetričnimi točkami 2014 (Stopar et al., 2015, str. 49)

V okviru projekta, katerega temeljni cilj je vzpostaviti višinsko sestavno državnega prostorskega koordinatnega sistema, bo izračunan tudi novi slovenski geoid z datumom 2016, ki bo omogočal določitev višin z natančnostjo pod 10 cm, oziroma okrog 5 cm. Za njegov izračun so bile v okviru projekta izvedene zahtevne absolutne in relativne gravimetrične meritve na približno 2100 točkah v Sloveniji. Za namene izračuna novega geoida, v sodelovanju z norveško in islandsko geodetsko upravo bo v okviru projekta uporabljeno tudi približno 4000 točk na območju Slovenije, ki so bile izmerjene v 70-ih letih, pridobljeni pa so tudi podatki merjenega težnostnega pospeška na območju sosednjih držav (Povzeto po: Režek, Berk, Grilc, 2015)¹⁵.

10 PRIMERJAVA GLOBALNEGA, EVROPSKEGA IN DRŽAVNEGA MODELA GEOIDA NA OBMOČJU SLOVENIJE

Geoid lahko zajema celotno Zemljo (globalni geopotencialni model), določeno regijo ali državo (regionalni model geoida) ali manjše lokalno območje (lokalni model geoida).

10.1 Globalni geoid

Globalni modeli geoida se uporabljajo za območje celotne Zemlje. Za nekatera območja Zemlje so edini dostopni modeli geoida globalni geopotencialni modeli. Podani so v obliki vrste sfernih funkcij. Natančnost določitve geoidnih višin iz globalnega geopotencialnega modela večinoma ne zadostuje zahtevam geodezije, kljub temu pa ima pomembno izhodiščno vlogo pri določitvi dolgovalovnega vpliva zemeljskih mas na lokalni potek ploskve geoida. V primerih, ko potrebujemo model geoida večje natančnosti, moramo določiti lokalni model geoida, s čimer dosežemo večjo natančnost geoidnih višin (Kuhar, Prešeren, 2000).

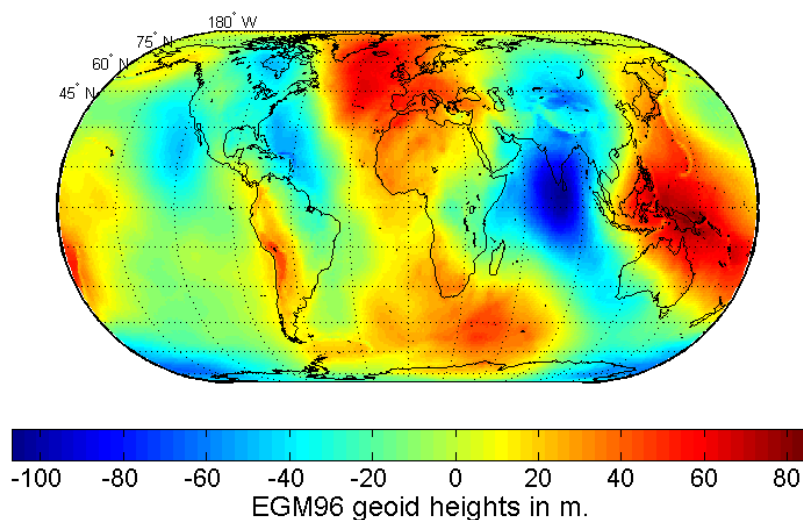
¹⁵ Veljavni geoid v Sloveniji (AGM2000) z natančnostjo 20 cm. V okviru projekta bo izračunan nov z natančnostjo 10 cm.

Globalni geopotencialni modeli (GGM ali angl. Earth Gravitational Model – EGM) visoke ločljivosti imajo ključno vlogo v geodeziji in geoznanostih, tako s praktičnega stališča (npr. natančno določanje orbite) kot s stališča znanosti (npr. raziskovanje gostote struktur v notranjosti Zemlje). Današnji globalni modeli gravitacijskega polja, ki so dobljeni praviloma s satelitskimi meritvami, postajajo vse bolj natančni. S pomočjo globalnega geopotencialnega modela je mogoče izračunati vrednosti vseh fizikalnih parametrov, tako tudi globalnega geoida za vsako točko na Zemlji v razmerju do referenčnega elipsoida (Hećimović i Bašić, 2003). Do nekaj let nazaj so se globalni geopotencialni modeli razvijali najpogosteje do reda in stopnje 360. Danes se s kombinacijo satelitskih odprav in terestričnih podatkov dobivajo modeli celo do reda in stopnje 2160 (2190) (Hećimović i Bašić, 2002; Pavasović, 2007). Z najnovejšimi satelitskimi misijami (CHAMP, GRACE, GOCE) se pričakuje rešitev globalnega GGM-a natančnosti okrog enega do dveh centimetrov na oddaljenosti do 100 km. Potem ko je bil GOCE v orbiti celo dve leti, je Evropska vesoljska agencija (angl. European Space Agency – ESA) leta 2011 objavila prvi GOCE GGM nekajcentimetske globalne natančnosti, pa vendar tudi to ni zadoščalo za določanje dovolj natančnih točnih in geodetsko sprejemljivih regionalnih geoidov (Povzeto po: Varga et al., 2012).

Ploskev geoida za celotno Zemljo lahko predstavimo v obliki enačbe tako, da razvijemo privlačni potencial Zemlje v vrsto po sfernih funkcijah. Tako predstavljeni obliki zemeljskega geoida pravimo »globalni geopotencialni model« (GGM). V zadnjem desetletju sta bila določena dva globalna geopotencialna modela, ki ju v geodetski praksi uporabljamo v povezavi s tehnologijo GNSS. To sta modela EGM96 (angl. Earth Gravitational Model 1996) in novejši model EGM08 (angl. Earth Gravitational Model 2008) (Koler et al., 2012).

10.2 Globalni geopotencialni model EGM96

EGM96 je podan v obliki vrste sfernih funkcij gravitacijskega potenciala in je razvit do stopnje in reda $n=m=360$ (Kuhar, Prešeren, 2000). Referenčni elipsoid (elipsoid, nad katerim podajamo geoidne višine) je v primeru EGM96 rotacijski geocentrični elipsoid WGS84. To dejstvo je pomembno, ker so koordinate dobljene z GPS opazovanji, podane v koordinatnem sistemu, ki se nanaša na elipsoid WGS84. Ker EGM96 le v grobem ponazarja potek geoidne ploskve, se ga uporablja predvsem za izračun lokalnih in regionalnih modelov geoida (Kuhar, Prešeren, 2000).



Slika 17: Globalni geopotencialni model EGM96

10.3 Globalni geopotencialni model EGM2008

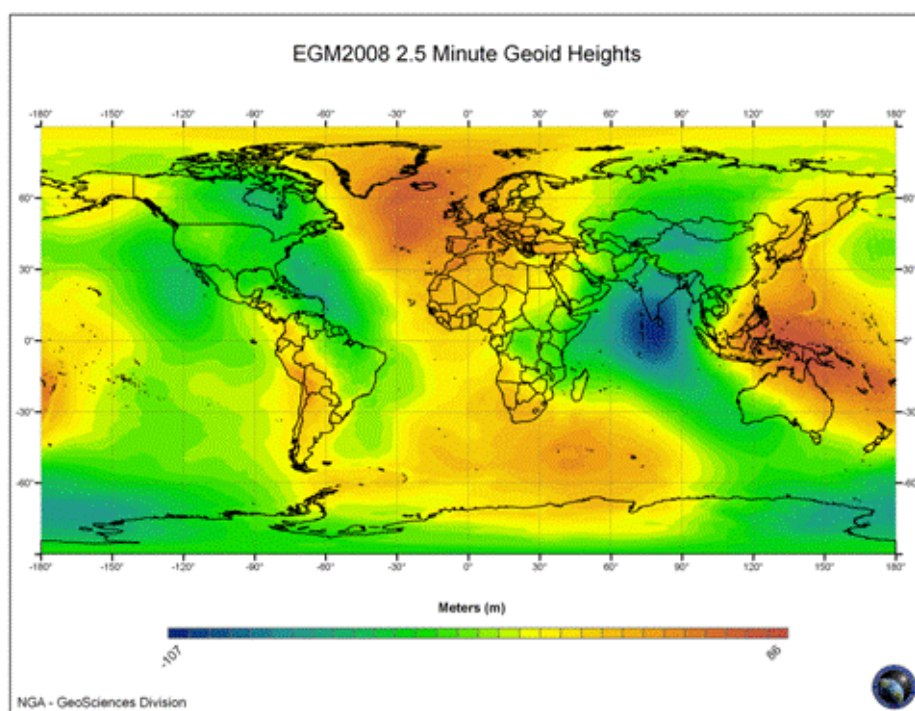
EGM08 je nastal kot kombinacija kolokacije po metodi najmanjših kvadratov ITG-GRACE03S gravitacijskega modela in kovariacijske matrike. ITG-GRACE03S temelji na podatkih GRACE Satellite-to-Satellite Tracking (SST), pridobljenih v razdobju od septembra 2002 do aprila 2007. ITG-GRACE03S je v popolnosti razvit do reda in stopnje razvoja 180. V EGM2008 modelu je vsebovan Dynamic Ocean Topography model (DOT2008A), ki temelji na srednjem nivoju morja DNSC08B in EGM2008 geoidu. DOT2008A je razvit do reda in stopnje razvoja 180. Mreža je oblikovana s kombiniranjem terestričnih, izvedenih altimetrijskih ter letalskih in satelitskih gravitacijskih podatkov, kasneje pa dopolnjena z gravitacijskimi podatki, dobljenimi na podlagi topografije. EGM2008 je razvit do reda in stopnje 2159 ter vsebuje dodatne koeficiente do stopnje 2190 in reda 2159 (Pavlis i dr., 2012) (Povzeto po: Idžanović et al., 2014). Predstavljen je v obliki sfernih funkcij gravitacijskega potenciala. Podatke za izračun navedenega modela je zagotovila Vojaška geografska služba ZDA (ang. National Geospatial-Intelligence Agency). Metoda, uporabljena za izračun, je "remove-compute-restore", z uporabo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov, z referenčnimi podatki, ki so težnostne anomalije predstavljene z gridom ločljivostjo $1' \times 1'$, ki vsebujejo popravke

elipsoida in popravke povezane z uporabo ortometričnih namesto normalnih višin. V primeru EGM2008 je referenčni elipsoid WGS84, ki je geocentrični, ekvipotencialni nivojski elipsoid in geodetski datum. Določen je z nizom konstant in parametrov modela, ki opisujejo geometrijske in fizikalne lastnosti zemeljskega telesa.

Parametri elipsoida WGS84¹⁶

Parameter	Oznaka	Velikost
Velika polos	a	6378137,0m
Recipročna vrednost sploščenosti	1/f	298,257223563
Kotna hitrost Zemlje	ω	$7292115,0 \times 10^{-11}$ rad/sek
Gravitacijska konstanta Zemlje	GM	$3,986004418 \times 10^{14}$ m ³ /s ²
Normalni težnostni potencial elipsoida	U ₀	62636860,8497 m ² /s ²
Masa Zemlje (vključno z atmosfero)	M	$5,9733328 \times 10^{24}$ kg

Za definicijo WGS84 elipsoida sta pomembna parametra hitrost svetlobe $c=299792458$ m/s in gravitacijska konstanta $G=6,673 \times 10^{-11}$ m³/kg s² (Povzeto po: Pogarčič, 2014).



Slika 18: Globalni geopotencialni model EGM08

¹⁶ http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

Med globalnimi geopotencialni modeli geoida pa v razdobju od 2006 do 2016 najdemo še naslednje geoida: EIGEN-GLO4C, GO_CONS_GCF_2_DIR_R4, EIGEN-6C2, EIGEN 6C, EIGEN-GLO4C. (Idžanović et al., 2014).

11 REGIONALNI MODELI GEOIDA

11.1 Splošno

Regionalni modeli geoida se uporabljajo za območja kontinentov ali skupin držav. Sodobni regionalni geoidi so najpogosteje določeni na podlagi različnih podatkov, tj. podatkov iz globalnih geopotencialnih modelov, terestričnih podatkov, podatkov iz digitalnih modelov reliefa – DMR (angl. Digital Elevation Model – DEM) ali digitalnih modelov terena – DMT (angl. Digital Terrain Model – DTM), pri čemer je za določanje geoida primerneje uporabiti DMR. V zadnjih letih se je pojavilo veliko različnih metod za določanje regionalnih geoidov. Vendar nobena od znanih metod ne daje zadovoljivih rezultatov. Projekti določanja regionalnih geoidov se odvijajo pod okriljem Mednarodne zveze za geodezijo in geofiziko (angl. International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG) oziroma Mednarodnega združenja za geodezijo (angl. International Association of Geodesy – IAG). Na IUGG kongresu v Sapporu leta 2003 so bili v sklopu Komisije za gravitacijsko polje pregledani dotedanji dosežki in zastavljeni načrti ter okviri za bodoči razvoj regionalnih in kontinentalnih geoidov (Povzeto po: Varga et al., 2012).

Primeri regionalnih modelov geoida so:

Evropski gravimetrični geoid – EGG2008, ki bo predstavljen v nadaljevanju;

Afriški regionalni geoid – AGP2006, ki je zamišljen kot univerzalni kontinentalni referenčni okvir združljiv z Mednarodnim terestričnim referenčnim okvirjem. Realizacija horizontalnega okvirja se v Afriki odvija z vzpostavitvijo permanentnih GNSS postaj na nacionalni ravni, medtem ko se realizacija vertikalnega okvirja odvija v sklopu projekta za določanje afriškega geoida (angl. African Geoid Project – AGP);

Avstralski geoid – AUSGEOID09 – je najnovejši gravimetrični model geoida v ločljivosti 1' x 1';

Geoid Združenih držav Amerike – GEOID09. Temelji na gravimetričnem geoidu USGG2009 za območje ZDA. Izračunan je s pomočjo podatkov 1' x 1', gravimetrične mreže (NGS baza gravimetričnih podatkov), DNSC08 altimetrijskih gravitacijskih anomalij, SRTM-DTED1 3" digitalnega modela terena in globalnega geopotencialnega modela EGM2008, ki je v *remove-compute-restore* tehniki uporabljen do reda in stopnje $n=m=120$;

Kanadski geoid – CGG2012 je najnovejši kanadski uradni geoid, za katerega so pred samim izračunom opravljene analize povprečnih gravimetričnih mrež, analize različnih globalnih geopotencialnih modelov (satelitske rešitve so GOCE in GRACE/GOCE, kombinirane rešitve

EGM2008 in EGM2008/GOCO01S), analize različnih stopenj modifikacije pri metodi Stokesove enačbe oziroma integrala. Na podlagi dostopnih podatkov je izračunanih 54 predhodnih modelov geoida, nato pa je bilo na podlagi različnih kombinacij globalnih geopotencialnih modelov dobljeno 20 modelov;

Južnoamerški regionalni geoid – GEOID2010 (Povzeto po: Varga et al., 2012).

11.2 Evropski gravimetrični geoid EGG08

Evropski gravimetrični geoid EGG08 je rezultat evropskega projekta imenovanega European Gravity and Geoid Project – EGGP. Glede na predhodne rešitve pomeni EGG08 izboljššan evropski geoid. To je razvidno v boljši usklajenosti GNSS in nivelmanskih podatkov na kontrolnih točkah v več državah Evrope. Srednji kvadratni odklon znaša $\pm 8,3$ cm (Varga et al., 2012). Osnovna razlika med EGG07 in EGG08 je v uporabi GGM-ja. V EGG2007 je bil uporabljen kombinirani GRACE GGM EIGEN-GL04C, v EGG08 pa EGM08. Baza gravimetričnih podatkov je od leta 2007 izpopolnjena z novimi ali revidiranimi podatki za skoraj vse evropske države. V novo rešitev so vključeni tudi podatki ArcGP (Arktika) in KMS2002 (Global Marine Gravity Field) ter skupni evropski koordinatni sistem ETRS89, višinski EVRS referenčni sistem ter sistem sile teže. V letu 2008 so bile popravljene gravimetrične vrednosti za območje Grčije in Turčije (absolutni nivo), dodani so bili novi izvori podatkov in 1' altimetrijske anomalije, nepopolni podatki v Afriki in Kavkazu pa so bili dopolnjeni z vrednostmi EGM2008. Uporaba globalnih geopotencialnih modelov, ki so rezultat GRACE satelitskih odprav, kot tudi novih ali ažuriranih podatkov za silo teže in topografijo, je posledično privedla do izboljššanega evropskega geoida. V nekaterih državah to izboljšanje presega 70 %. Primerjava na 1536 EUVN-DA točkah (geodetske točke, vzpostavljene v sklopu projekta European Vertical Reference Network – Densification Action) kaže na 50-odstotno izboljšanje EGG08 v primerjavi z EGG1997 na ravni cele Evrope, z izvzetjem Velike Britanije in Italije, ki sta bili zaradi sistemskih razlik izključeni iz primerjave (Denker i Bašić, 2011). Srednji kvadratni odklon za EGG97 znaša $\pm 16,8$, za EGG2008 pa $\pm 8,3$ cm. (Povzeto po: Varga et al., 2012).

12 LOKALNI MODEL GEOIDA

Lokalni modeli geoida omogočajo boljše ujemanje na lokalnem območju, kot je npr. območje države. Zaradi boljšega ujemanja dosežemo večjo natančnost določitve geoidnih višin.

12.1 Slovenski geoid AGM2000

Absolutni geoid za območje Slovenije, ki trenutno še vedno velja v Sloveniji, je leta 2000 v okviru doktorske disertacije izdelal Boško Pribičević. Ploskev je bila izračunana s tehniko kolokacije po metodi najmanjših kvadratov. Geoid AGM2000 je bil izračunan glede na referenčni elipsoid GRS-80. Za izračun je bilo uporabljenih 99 točk z merjenimi odkloni navpičnice, od tega 51 v Sloveniji, 23 na Hrvaškem, 20 v Avstriji in 5 na Madžarskem. Uporabljenih je bilo tudi 4.605 točkastih vrednosti anomalij težnosti. Izračunana ploskev je bila vpeta na 163 GNSS/nivelmanskih točk, ki so dokaj enakomerno razporejene po celotnem ozemlju Slovenije, vendar je bila višina večine točk določena s trigonometričnim višinomerstvom, ki po kakovosti ne dosega geometričnega nivelmana. Nekatere točke ležijo na ozemlju Hrvaške in so bile tudi vključene v izračun, saj naj bi se nanašale na isti višinski datum. Višinska referenčna ploskev je bila izračunana z vpetjem geoidne ploskve na 24 GNSS/nivelmanskih točk, na katerih sta obe višini določeni z najvišjo možno natančnostjo. Na vseh teh točkah so se GNSS-opazovanja (elipsoidna višina) izvajala neprekinjeno vsaj 36 ur s statično metodo. Z geometričnim nivelmanom so te točke navezane tudi na nivelmanske poligone višjega reda (nadmorska višina). Razpon geoidnih višin na območju Slovenije je med 41,972 m in 49,837 m, pri čemer je povprečna geoidna višina 45,930 m. Glede na obstoječo rešitev iz leta 2000 so pri novem, testnem modelu uporabljeni novejši in izboljšani vhodni podatki (Koler et al., 2012).

Model geoida iz leta 2000 zajema območje:

$$45^{\circ}15' < \varphi < 47^{\circ}00'$$

$$13^{\circ}15' < \lambda < 16^{\circ}45'$$

pri čemer so geoidne višine v gridu podane samo do meje Slovenije. Natančnost izračunanih geoidnih višin je v povprečju ± 3 cm, vendar je ta na območjih, kjer je bilo število točk z znanimi geoidnimi višinami večje, višja. Za prehod z elipsoidnih višin na nadmorske višine se uporabi absolutni model geoida Slovenije, ki vsebuje podatke o oddaljenosti geoida od ploskve elipsoida (GRS80). Absolutni model geoida je podan v obliki pravilne mreže z velikostjo celice $1' \times 1,5'$, ki omogoča izračun oziroma interpolacijo geoidne višine v poljubni točki znotraj območja modela geoida. Formata zapisa sta ASCII CSV in GRD (Surfer-grid). Pridobiti ga je mogoče na Geodetski upravi Republike Slovenije. Možnosti uporabe podatkov absolutnega modela geoida so naslednje:

- v realnem času: če GNSS-sprejemnik podpira uporabo modela geoida, lahko le-tega uporabljamo za določitev nadmorskih višin novih točk neposredno na terenu v okviru RTK- ali

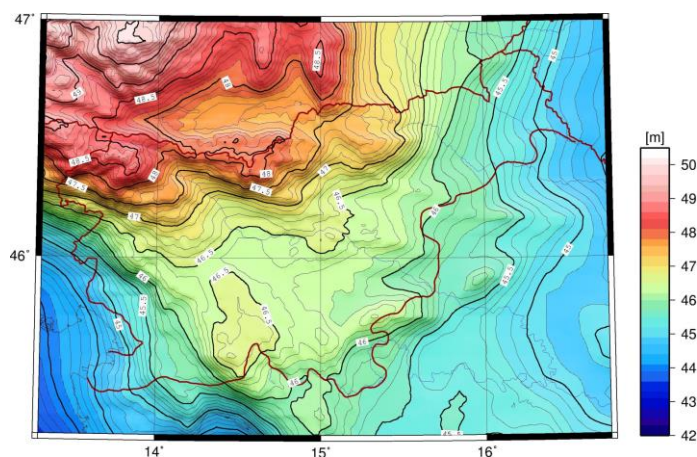
DGPS-metode izmere; elipsoidne višine se pretvorijo v nadmorske na podlagi interpolacije geoidne višine iz modela geoida;

- pri naknadni obdelavi GNSS-opazovanj: če programska oprema za obdelavo GNSS-opazovanj podpira uporabo modela geoida, lahko le-tega uporabljamo za pretvorbo elipsoidnih višin v nadmorske; pretvorba poteka na podlagi interpolacije geoidne višine iz modela geoida;
- z naknadno pretvorbo s programsko opremo (npr. SiTra), ki omogoča interpolacijo geoidne višine na podlagi horizontalnih koordinat in elipsoidne višine točke.

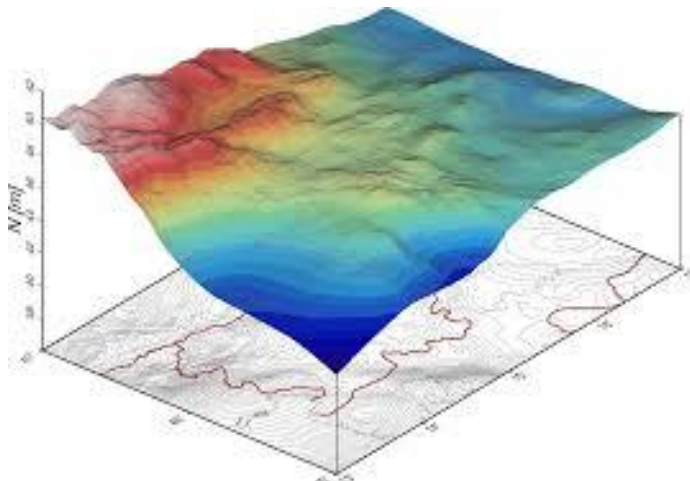
Na podlagi razpoložljivih točk za oceno natančnosti geoidnih undulacij je dobljena homogena ocena natančnosti za celotno Slovenijo in znaša 2 do 3 cm (Pribičević, 2000). V praksi lahko odstopanja med vrednostmi geoidnih višin v absolutnem modelu geoida Slovenije in pravimi geoidnimi višinami znašajo tudi 20 centimetrov in več. Zato je treba pred vsako uporabo modela geoida preveriti kakovost le-tega na območju izmere. Ustreznost modela geoida preverimo s primerjavo na podlagi opazovanj določenih geoidnih višin (razlika nadmorske in elipsoidne višine) in geoidnih višin, ki smo jih določili z interpolacijo modela geoida. Če se ugotovi, da absolutni model geoida ne ustreza zahtevam nekajdecimetskega nivoja natančnosti, se priporoča izračun nadmorske višine s 7-parametrično podobnostno transformacijo (Triglav Čekarda et al, 2010).

12.2 Testni model geoida SLOAMG2010

S ciljem izračuna geoida centimetske natančnosti na območju celotne Slovenije je bil oktobra leta 2010, v okviru projekta "Vzpostavljanje evropskega prostorskega referenčnega sistema v Sloveniji", opravljen izračun novega, testnega modela geoida za območje Slovenije. Tokrat je rešitev gravimetrična, kar pomeni, da so uporabljene izključno vrednosti težnega pospeška, ki je bil izmerjen na skoraj 12.000 točkah. Ploskev je bila izračunana z numerično integracijo Stokesove enačbe po metodi hitre Fourierjeve transformacije (Omang, 2000) (Koler et al., 2012).



Slika 19: Testni izračun geoida – prikaz 1 (Kuhar, 2010)



Slika 20: Testni izračun geoida – prikaz 2 (Kuhar, 2010)

Glede na rešitev iz leta 2000 so pri novem, testnem modelu geoida iz leta 2010 uporabljeni novejši in izboljšani vhodni podatki. Uporabljeni sta dva nova digitalna modela višin za območje izračuna, kjer se položaji točk nanašajo na ETRS89 (Berk et al., 2009; Oven et al., 2010):

- model visoke ločljivosti $3'' \times 4,5''$ ($1200 \times 800 = 960.000$ celic; približna širina celice je 93 m),
- model nizke ločljivosti $30'' \times 45''$ ($120 \times 80 = 9600$ celic; približna širina celice je 926 m).

Poleg obstoječih gravimetričnih podatkov na ozemlju Slovenije je bilo v izračun vključenih več kot 700 merjenih vrednosti težnega pospeška, ki jih je GURS določila od 2007 do 2010. GURS je v okviru izmenjave podatkov z Avstrijo pridobila podatke, ki pokrivajo mejno območje države južno od vzporednika 47° . Gre za skoraj 4000 merjenih vrednosti težnega pospeška. V izračunu so bile izločene točke iz Italije, ker je analiza teh podatkov pokazala preveliko odstopanje od pričakovanih vrednosti (Koler et al., 2012). Analizo natančnosti obeh modelov ploskve geoida je opravljena na podlagi geoidnih višin, ki jih dobimo kot razlike merjenih elipsoidnih in nadmorskih višin (»merjene geoidne višine«) s tistimi, ki jih določimo z interpolacijo iz obeh modelov (»interpolirane geoidne višine«). GURS v zadnjih letih sistematično opravlja GNSS-meritve na reperjih državne nivelmanske mreže. Prav tako so posamezne točke gravimetrične mreže ter posamezne točke omrežja stalnih postaj SIGNAL višinsko povezane z državno nivelmansko mrežo. Tako je nastala obsežna baza »GNSS/nivelmanskih« točk, ki trenutno obsega več kot 400 točk. Primerjavo »merjenih« in interpoliranih geoidnih višin smo opravili na 345 »GNSS/nivelmanskih« točkah.

Pri obeh modelih so odstopanja normalno porazdeljena, pri geoidu iz leta 2000 je sredina odstopanj $-0,108$ m, mediana je $-0,101$ m. Pri modelu geoida iz leta 2010 je sredina odstopanj $-0,002$ m in mediana $-0,003$ m, kar kaže na razliko v orientaciji obeh modelov geoida za okrog 10 cm. Analiza

obstoječega modela geoida kaže, da imamo težave predvsem v obmejnem pasu na zahodu države, ki pa so rešljive s pridobitvijo bolj kakovostnih podatkov iz Italije (Stopar, 2015).

13 PODATKOVNA ANALIZA IN PRIMERJAVA GLOBALNEGA, EVROPSKEGA IN SLOVENSKEGA GEOIDA

Kot je bilo že večkrat omenjeno v diplomski nalogi, med seboj primerjamo lokalne modele geoida na območju Republike Slovenije, tj. uradni model ploskve geoida iz leta 2000 imenovan SLOAMG08 ter testni model geoida iz leta 2010 (SLOAMG08), nato pa oba omenjena modela lokalnih geoidov primerjamo še z globalnim geopotencialnim modelom geoida EGM08. Kuhar in Prešeren (2000) navajata, da globalni modeli geoida praviloma pri določanju višin, v pogledu natančnosti, ne zadovoljujejo zahtev geodezije. Ne glede na to pa imajo pomembno izhodiščno vlogo tudi na lokalni potek ploskve geoida. Prvotno je bila v nalogi zamišljena tudi primerjava z evropskim gravimetričnim geoidom EGG08, vendar smo se med nastajanjem naloge odločili, da te primerjave, čeprav je navedena v naslovu diplome, ne bomo izvedli. V navedeno primerjavo smo vključili več 1220 GNSS/nivelmanskih točk z določenimi nadmorskimi in elipsoidnimi višinami.

13.1 Izhodišča za primerjavo in analizo modelov geoida

Podlago, brez katerih primerjava in analiza geoidov ne bi bila mogoča, predstavljata baza točk in ustrezna programska oprema.

13.1.1 Baza točk

V navedeno primerjavo je vključenih 1220 GNSS/nivelmanskih točk z določenimi nadmorskimi in elipsoidnimi višinami. Tekom izdelave naloge se je izkazalo, da je bilo v izračun in primerjavo dejansko vključenih 926 GNSS/nivelmanskih točk iz baze podatkov GURS, ki jo vodi Geodetska uprava Republike Slovenije v okviru Ministrstva za okolje in prostor, pri čemer je seznam točk razviden iz priloge A te diplomske naloge.

13.1.2 Programska oprema

Drugi temeljni pogoj za uspešno analizo natančnosti in skladnosti obravnavanih geoidov predstavlja ustrezna programska oprema. V nalogi smo uporabili programe, ki omogočajo primerjavo interpoliranih geoidnih višin iz modela z geoidnimi višinami pridobljenimi na GNSS/nivelmanskih točkah. Interpolacijo geoidnih višin smo opravili z naslednjimi programi. Za geoid SLOAMG2000 je bil uporabljen program INTGEO (interpolacija geoida v gridu: 1' x 1.5'), za geoid SLOAMG2010

program za določitev INTGEO10 (interpolacija geoida 2010 v gridu: 30" x 45") in za globalni geopotencialni geoid EGM08 program EGM08SLO (interpolacija EGM08 za območje Slovenije: 1' x 1'). Uporabljeni programi interpolirajo geoidne višine na obravnavanem območju. Sledila je primerjava interpoliranih višin in višin pridobljenih iz razlik elipsoidnih ter ortometričnih višin. Sledila je še statistična analiza za enostavne razlike in za razlike po opravljeni transformaciji geoidnega modela v ploskev, ki je določena z danimi geoidnimi višinami. Seznam in izračun točk je pripravljen v programu Microsoft Excel. Omenjeni program pa smo uporabili še za izris histogramov odstopanj in različne statistične analize.

Transformacijo smo opravili s pomočjo programa CMPGPS.

Transformacijo predstavljata vertikalni premik (bias) in nagib geoidne ploskve (tilt) po enačbi:

$$N_{GPS} = N_{GRV} + \cos\varphi\cos\lambda X_0 + \cos\varphi\sin\lambda Y_0 + \sin\lambda Z_0 \quad (10)$$

kjer je:

N_{GPS}	geoidna višina izračunana iz razlike elipsoidne in ortometrične višine
N_{GRV}	geoidna višina interpolirana iz modela
X_0, Y_0, Z_0	parametri premikov v smeri koordinatnih osi

Parametri premikov so izračunani glede na težišče mreže. Parametre premika in nagiba uporabimo za transformacijo interpoliranih gravimetričnih geoidnih višin v lokalni višinski sistem. Rezultati izvedbe programa so podani v izhodni datoteki programa za transformacijo geoidnih višin iz priloge B (Povzeto: Pogarčič, 2014: str. 32–33).

13.2 Primerjava modelov geoidov na območju republike slovenije

Naloga, kot je bilo že večkrat omenjeno, obravnava medsebojno primerjavo slovenskih geoidov, tj. uradnega modela geoida iz leta 2000 in testnega modela geoida iz leta 2010 ter primerjavo obeh z globalnim geopotencialnim geoidom. Analiza natančnosti obeh geoidov je opravljena med "merjenimi" geoidnimi višinami in interpoliranimi geoidnimi višinami. Za analizo smo uporabili vse točke, pri čemer smo v primeru geoida SLOAMG10 odstranili točke, katerih razlika med interpoliranimi geoidnimi višinami in merjenimi geoidnimi višinami pridobljenimi znaša več kot 3 dm. Teh točk je 12: 209CP, 590CP, 591CP, 600CP, 680CP, 682CP, 683CP, 684CP, 890CP, 896CP, 1137CP, 1208CP. Globalni model geoida EGM08 se ne nanaša na vertikalni datum Slovenije, zato smo interpolirane geoidne višine transformirali.

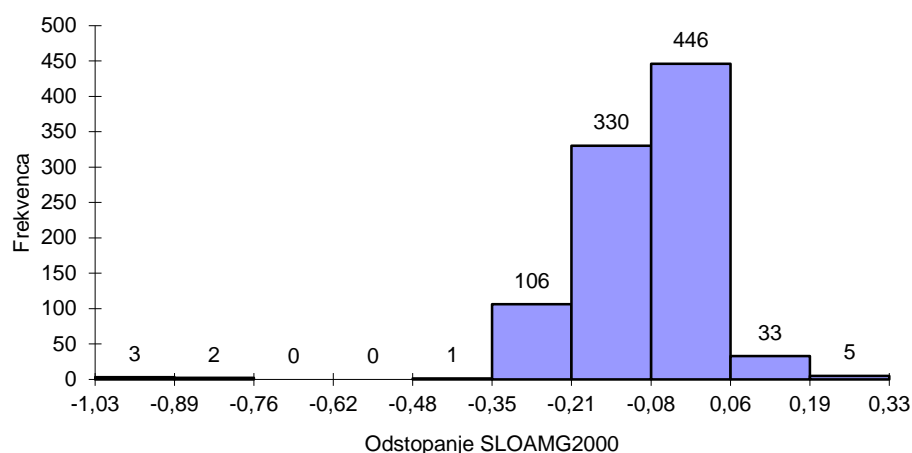
Preglednica 13.1: Prikaz razlik in odstopanj med geoidnimi višinami iz modelov in merjenimi geoidnimi višinami

Parameter\model	AMG00	AMG10 (brez grobih pogreškov)	EGM08	EGM08 (transformirani)
Min. odstopanje	-1,027 m	-0,127 m	-1,544 m	-0,976 m
Max. odstopanje	0,329 m	0,244 m	-0,080 m	0,491 m
Standardni odklon	0,113 m	0,037 m	0,086 m	0,084 m
Srednje odstopanje	-0,074 m	-0,014 m	-0,556 m	0,000 m

Preglednica dokazuje, da je pri geoidu iz leta 2000 sredina odstopanj $-0,074$ m, pri modelu geoida iz leta 2010 $-0,014$ m in pri globalnem geopotencilnem modelu $-0,556$ m. Sicer je najmanjši interval med razlikami pri testnem modelu Slovenskega geoida SLOAMG10. Pri tem modelu so razlike pravilno razporejene, zaradi česar lahko sklepamo, da se ozemlju Slovenije najbolje prilega prav ta testni model. Najslabše se ozemlju Slovenije prilega globalni geopotencialni model EGM08. Pri slednjem so vse razlike v odstopanjih negativne, kar je posledica dejstva, da so merjene točke uporabljene pri konkretni analizi večinoma razporejene po nivelmanskim linijam, ki potekajo po nižinskem delu slovenskega ozemlja. Standardni odklon je najmanjši za testni model SLOAMG10 in največji za SLOAMG00. Pri ostalih ploskvah je standardni odklon slabši zaradi prisotnosti sistematičnega pogreška.

13.2.1 Primerjava geoidov SLOAMG2000 in SLOAGM2010

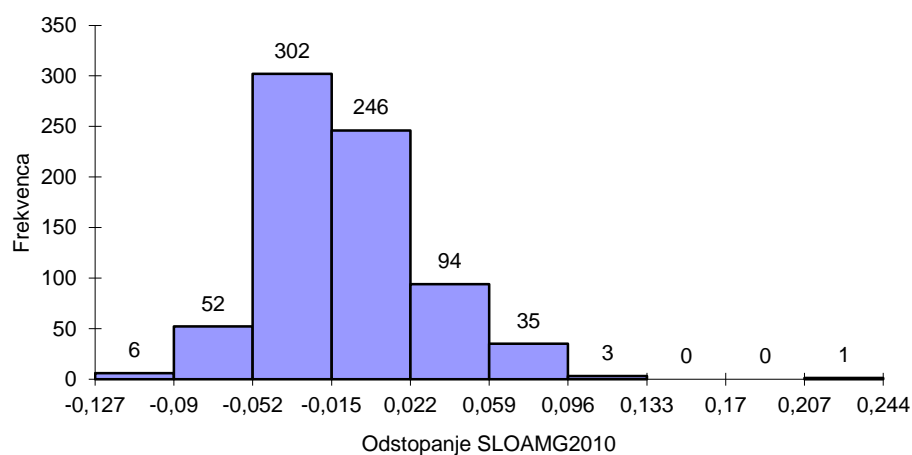
Rezultati analize, kot so razvidni iz preglednice 13.1, prikazujejo, da so pri starejši verziji geoida večja odstopanja in standardni odklon. Navedeno je mogoče razlagati s tem, da je bilo v novejšem, testnem modelu geoida SLOAMG10 upoštevanih večje število točk, in da so bili pri njem uporabljeni novejši in izboljšani vhodni podatki, ki ne ustrezajo več modelu geoida SLOAMG00. Zaradi navedenega dejstva prihaja do velikih razlik med "merjenimi" geoidnimi višinami in tistimi, ki jih določimo z interpolacijo obeh modelov.



Slika 21: Histogram odstopanj SLOAGM2000

Pri histogramu odstopanj SLOAGM2000 (slika 21) lahko opazimo, da se pet točk z vrednostmi med $-0,76$ in $-1,03$ kar precej razlikuje od preostalega intervala vrednosti odstopanj, zato lahko sklepamo, da v vzorcu obstaja prisotnost grobih pogreškov.

Pri histogramu odstopanj SLOAMG2010 (slika 22) pa kljub temu, da smo odstranili točke, katerih razlika med interpoliranimi geoidnimi višinami in "merjenimi" geoidnimi višinami znaša več kot 3 dm, lahko opazimo, da obstaja še ena točka, ki kar precej odstopa od preostalega intervala.



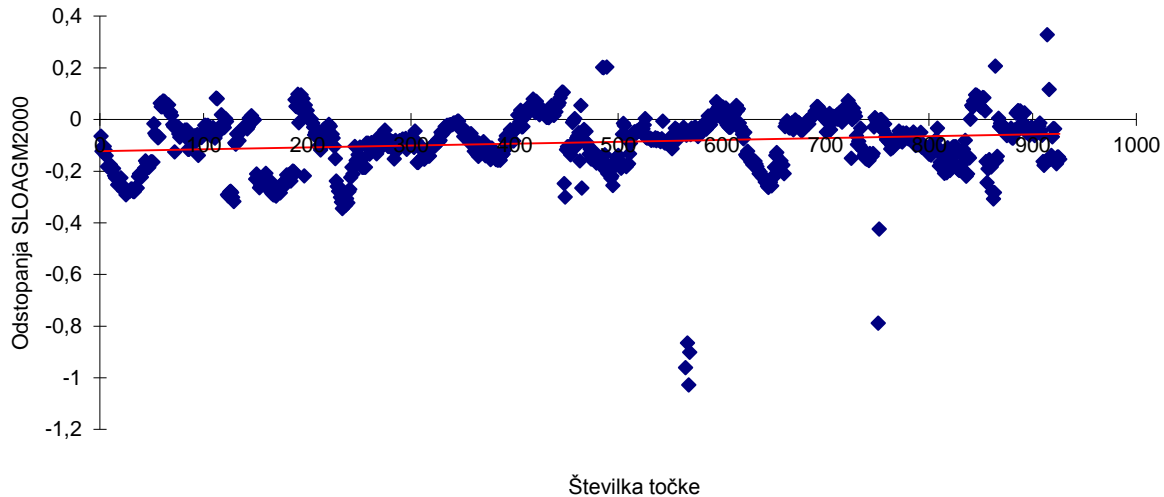
Slika 22: Histogram odstopanj SLOAGM2010

Če zgoraj omenjene, verjetno grobo pogrešene, točke izločimo, imamo interval vrednosti odstopanj za SLOAMG2000 med $-0,48$ m in $0,33$ m, za SLOAMG2010 pa med $-0,127$ m in $0,133$ m.

Iz tega lahko še enkrat sklepamo, da so rezultati testnega geoida Slovenije SLOAMG2010 boljši od starega Slovenskega geoida SLOAMG2000.

Največje odstopanje pri starem geoidu znaša $0,329$ m, srednje odstopanje znaša nekaj več kot 7 cm, standardni odklon pa več kot 11 cm, kar je slab rezultat. Rezultati testnega geoida Slovenije

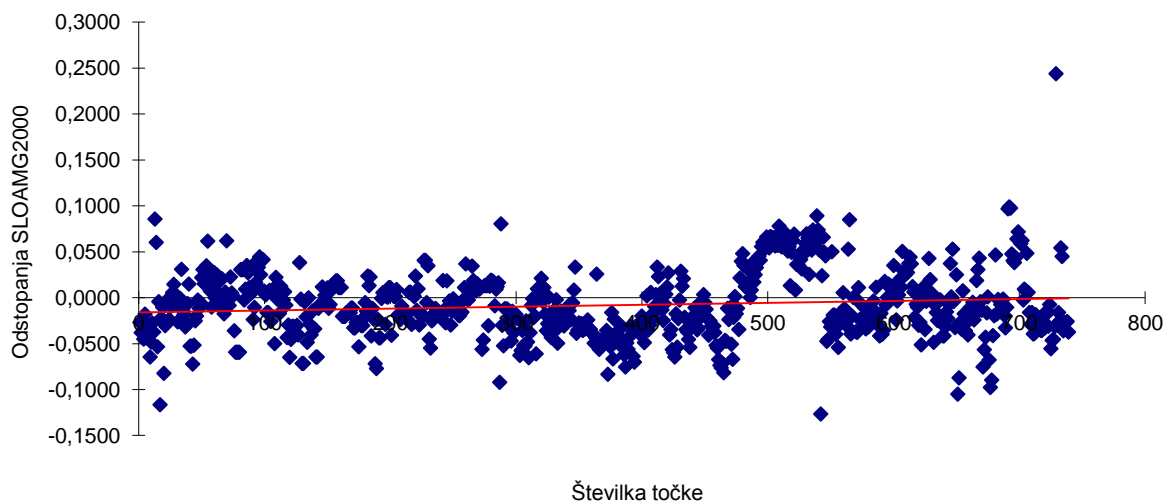
SLOAMG2010 so boljši: največja napaka znaša malo več od dveh decimetrov, srednje odstopanje je malo večje od 1 cm, standardni odklon pa malo manjši od 4 cm.



Slika 23: Graf razpršenosti odstopanj pri SLOAMG2000

Iz grafa razpršenosti odstopanj pri SLOAMG2000 (Slika 23) lahko opazimo grobo pogrešena opazovanja, ki precej odstopajo od abscise grafa.

Pri grafu razpršenosti odstopanj za geoid SLOAMG2010 (Slika 24) opazimo, da so napake dobro razporejene (razen seveda že omenjene točke, ki precej odstopa), da regresijska premica ni ravna, ampak postopno rahlo narašča. Navedeno kaže na to, da je v vzorcu več pozitivnih odstopanj. Na veliko naraščanje trendne črte dokazuje odsotnost sistematičnih napak.



Slika 24: Graf razpršenosti odstopanj pri SLOAMG2010

13.2.2 Primerjava globalnega geoida EGM08 s transformiranim globalnim geoidom EGM08

V nadaljevanju smo izvedli še transformacijo geoidne ploskve za geoid EGM08 in jo primerjali z netransformirano geoidno ploskvijo. Preračun geoidne ploskve izvajamo tako, da jo v težiščni točki premaknemo po vertikali, tako premaknjeni ploskvi pa spreminjamo nagib, da se interpolirana ploskev čim bolj prilega mejnim vrednostim.

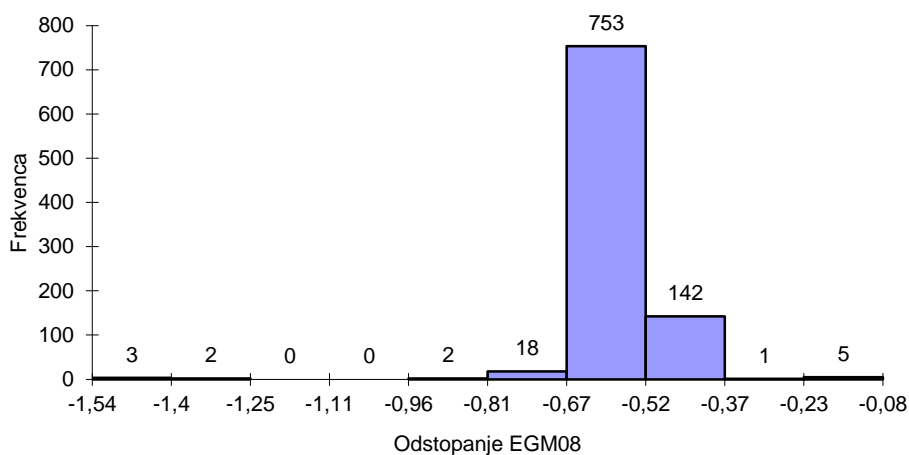
Preglednica 13.2: Prikaz razlik in odstopanj pri transformirani in netransformirani geoidni ploskvi

Parameter\model	EGM08	EGM08 (transformirani)
Min. odstopanje	-1,544 m	-0,976 m
Max. odstopanje	-0,080 m	0,491 m
Standardni odklon	0,086 m	0,084 m
Srednje odstopanje	-0,556 m	0,000 m

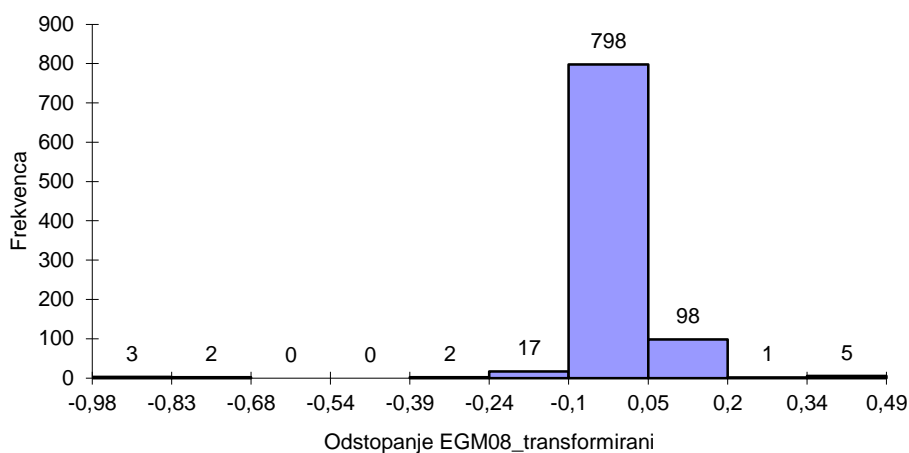
Preglednica 13.3: Transformacijski parametri geoidnih ploskev

Parametri vertikalnega premika pri EGM08	
X_0	-0,060 m
Y_0	0,016 m
Z_0	0,065 m
Sprememba nagiba geoidne ploskve (m/1000km)	
Smer sever-jug	0,978
Smer vzhod-zahod	-0,862

Iz preglednice 13.2 je razvidno, da smo s transformacijo geoidne ploskve v višinski referenčni sistem popravili rezultate. Če primerjamo histograma odstopanj (Sliki 25 in 26) opazimo, da smo s transformacijo izboljšali vrednosti mej intervalov, hkrati pa opazimo tudi prisotnost grobih pogreškov pri enakih točkah.

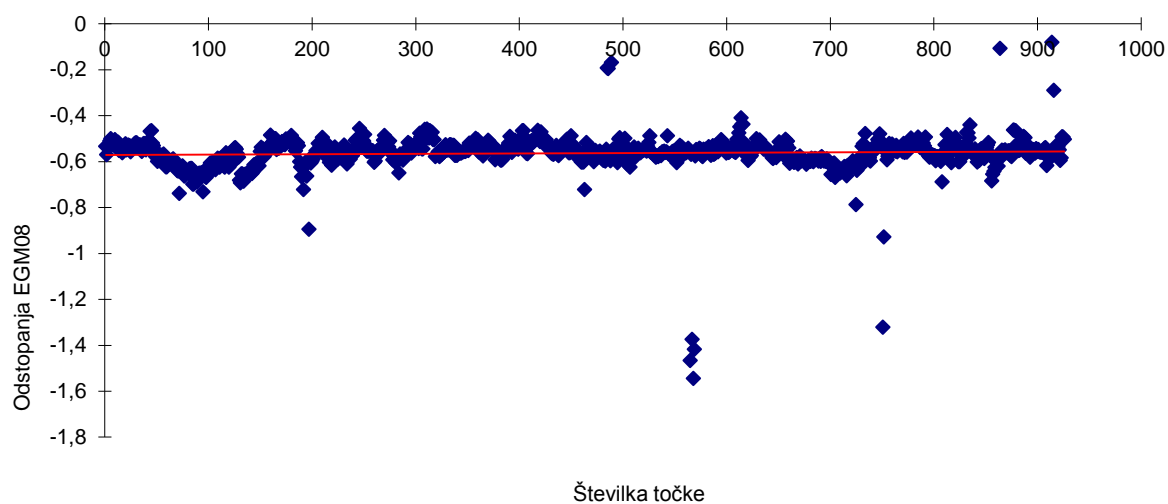


Slika 25: Histogram odstopanj EGM08

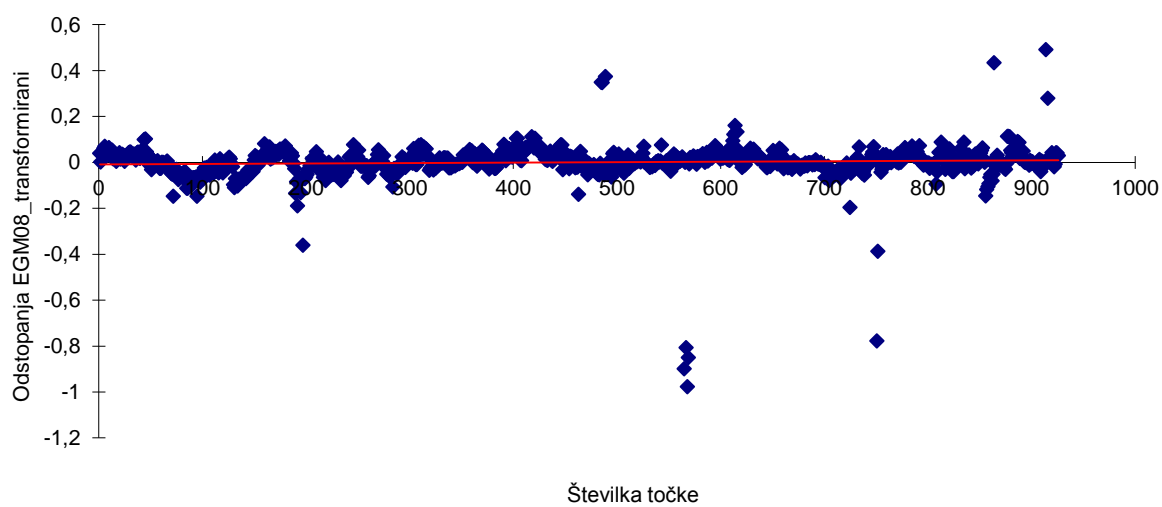


Slika 26: Histogram odstopanj EGM08 po transformaciji

Iz grafa razpršenosti (Sliki 27 in 28) je razvidno, da so odstopanja geoidnih višin, pridobljenih iz transformirane geoidne ploskve EGM08 enako razporejena, saj je regresijska premica približno enaka abscisi grafa. Razpon razlik je pri netransformiranem EGM08 relativno velik (med $-1,54$ in $-0,08$ m), pri transformiranem EGM08 pa že veliko manjši (med $-0,98$ m in $0,49$ m).



Slika 27: Graf razpršenosti odstopanj pri EGM08



Slika 28: Graf razpršenosti odstopanj pri EGM08_transformirani

14 ZAKLJUČEK

Ena od pomembnih nalog geodezije je tudi določanje velikosti in oblike Zemlje ter njenega težnostnega polja. Za pridobitev koordinat določenega števila točk na Zemljinem površju se uporabljajo izhodiščne ploskve, kot so fizična površina Zemlje, elipsoid in kvazigeoid. Ker je geoid določen fizikalno, in ker ne more biti referenčna ploskev za določanje položaja točk na Zemlji, se za določanje slednjih uporablja njegov najbližji matematični približek tj. dvoosni rotacijski elipsoid. S pomočjo GNSS tehnologije dobimo geometrične oziroma elipsoidne višine posnetih točk. Tem točkam z GNSS-višinomerstvom določamo nadmorske višine na osnovi izmerjenih elipsoidnih/geometrijskih višin in interpoliranih geoidnih višin iz ustreznega modela geoida. Elipsoidne višine se nanašajo na ploskev elipsoida in jih ni možno uporabiti v geodetski praksi niti v vsakdanjem življenju, ker niso določene v težnostnem polju Zemlje. Elipsoidne (h) in nadmorske višine – ortometrične (H) ali normalne višine (H^N) – povezuje znana enačba: $h = H + N$. Za transformacijo iz elipsoidnih v nadmorske višine pa poleg kvalitetnega višinskega sistema potrebujemo tudi kvaliteten model globalnega, regionalnega ali lokalnega geoida. V primerih, ko potrebujemo model geoida večje natančnosti, moramo uporabiti lokalni oziroma regionalni model geoida, s čimer dosežemo večjo natančnost geoidnih višin. Temeljna geodetska višinska mreža v Republiki Sloveniji uporablja normalen ortometričen sistem višin.

Na ozemlju Slovenije se kot uradni geoid še vedno uporablja absolutni geoid SLOAGM 2000 ali t. i. Pribičevičev geoid, ki je izračunan glede na referenčni elipsoid GRS-80, in ki zajema območje $45^{\circ}15' < \varphi < 47^{\circ}00'$, $13^{\circ}15' < \lambda < 16^{\circ}45'$. S ciljem izračuna geoida centimetrske natančnosti na območju celotne Slovenije je bil oktobra leta 2010 izračunan nov, testni model geoida za območje Slovenije SLOAMG2010. Tokrat je rešitev gravimetrična, kar pomeni, da so uporabljene izključno vrednosti težnega pospeška, ki je bil izmerjen na skoraj 12.000 točkah. V analizo obeh omenjenih modelov geoida in globalnega geopotencialnega modela geoida EGM2008, kjer je njegov referenčni elipsoid WGS84, smo obravnavali 1220 GNSS/nivelmanskih točk z območja Republike Slovenije, z izjemo 12. točk pri geoidu SLOAMG10, pri katerem je bila razlika med "merjenimi" geoidnimi višinami in interpoliranimi geoidnimi višinami več kot 3 dm. Analiza obravnavanih modelov geoidov je pokazala, da se teritoriju Slovenije najbolj prilega testni model SLOAMG10, najmanj pa globalni geopotencialni model EGM08, da je pri njem tudi najmanjši standardni odklon, ki pa je največji pri starem slovenskem modelu SLOAMG00. Gre za pričakovane rezultate, saj so bili pri geoidu SLOAGM 10 uporabljeni kvalitetnejši podatki. Pri ostalih ploskvah geoida je standardni odklon slabši zaradi prisotnosti sistematičnega pogreška. Primerjava globalnega geoida EGM08 s transformiranim globalnim geoidom EGM08 je pokazala veliko boljše rezultate pri transformiranem modelu EGM08.

Za območje Slovenije je v pripravi nov višinski referenčni sistem, katerega rezultat bo tudi novi slovenski geoid z letnico 2016, ki bo v najboljši možni meri predstavljal relief Slovenije, in ki bo omogočal določitev višin z natančnostjo pod 10 cm.

VIRI

Denker, H., Bašić, T. 2011. Evropski gravimetrijski geoid EGG2008 i hrvatski geoid HRG2009 (European gravimetric geoid EGG2008 and Croatian geoid HRG2009). Zagreb, Geodetski fakultet: 60–61.

https://www.researchgate.net/publication/272175724_Europski_gravimetrijski_geoid_EGG2008_i_hrvatski_geoid_HRG2009_European_gravimetric_geoid_EGG2008_and_Croatian_geoid_HRG2009

(Pridobljeno 12. 7. 2016.)

Idžanović, M., Krešić, I., Baraba, S., Juretić, T., Rumora, L., Videković, M., Švarc, M., Matišić, I. 2014. Globalni geopotencijalni modeli od 2006. do 2014. Godine. Ekscentar 17: 82–86.

<http://hrcak.srce.hr/file/185409> (Pridobljeno 11. 7. 2016.)

Javornik, M. (ur.). 1997. Veliki splošni leksikon v osmih knjigah. Druga knjiga Ch-Gh. Ljubljana, DZS: 1234.

Kladnik, D., Lovrenčak, F., Orožen, M. 2005. Geografski terminološki slovar. ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika: 112–113.

Koler, B., Urbančič, T., Medved, K., Vardjan, N., Berk, S., Omang, O. C. D., Solheim, D., Kuhar, M. 2012. Novi višinski sistem Slovenije in testni izračun geoida. V: Kuhar, M. (ur.). 17. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 26. januar 2012. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 91-101.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2012/SZGG_2012_Koler_in_drugi.pdf (Pridobljeno 23. 6. 2016.)

Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. 2007. Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik 51, 4: 777, 779–780.

http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4_777-792.pdf (Pridobljeno 23. 6. 2016.)

Kovačič, B. 2004. Geodezija za gradbene inženirje. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo.

<https://gradbenik.files.wordpress.com/2010/01/geodezija-geodezija-za-gradbene-inzenirje-stari-ucbenik.pdf>. (Pridobljeno 11. 6. 2016.)

Kuhar, M. 2012. Fizikalna geodezija. Študijski pripomoček. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 17, 40–42, 46, 62–64, 79, 80–88, 90–93.

http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Zalozba/FG_skripta.pdf (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Kuhar, M. 2007. Geofizika. Študijski pripomoček. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 64.

<http://documents.tips/documents/geofizikaskripta.html> (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Kuhar, M., Okorn, M., Stopar, B. 2010. Določitev odklona navpičnic in geoidnih višin. Geodetski vestnik 54/4: 595–605.

http://www.geodetski-vestnik.com/54/4/gv54-4_595-605.pdf (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Kuhar, M., Prešeren, P. 2000. Evropski in globalni model geoida na območju Slovenije. Geodetski vestnik 44, 3: 177–184.

<http://www.geodetski-vestnik.com/44/gv44-3.pdf> (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Lisec, A., Koler, B., Kuhar, M. 2004. Analiza vpliva težnostnega polja na določitev višin točk v različnih višinskih sistemov: 33–43.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Lisec_et_al.pdf (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Moritz, H. Fizična geodezija po GPS.

<http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Zalozba/Fizikalna%20geod%20po%20GPS.pdf> (Pridobljeno 10. 12. 2016.)

Pogarčič, M. 2014. Analiza različnih modelov geoida na območju Slovenije. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 8, 14–18, 26–29.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/4748/1/GEU955_Pogarcic.pdf (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Razvoj DGS 2010. Prehod na nov koordinatni sistem, končno poročilo, zvezek 1/2. 2010. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije: 75–76.

http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/projekti/DGS/2010/Razvoj_DGS_2010_koncno_porocilo.pdf (Pridobljeno 24. 8. 2016.)

Režek, J., Berk, S., Grilc, M. 2015. Lahko slabi prostorski podatki »spremenijo tok vode«? Ljubljana, Urbanistični inštitut Republike Slovenije: 6, 38–46.

http://www.gurs-egp.si/files/editor/ddba074d_Rezek_Sedlarjeva_zdru%C5%BEeno_poned_poslana.pdf

(Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Režek, J. 2014. Beseda vodje projekta Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav. Letno poročilo o izvajanju projekta za leto 2014.

www.gurs-egp.si/files/3b1_Projekt_EGP_LP_2014.pdf (Pridobljeno 22. 5. 2016.)

Režek, J., Duhovnik, M., Medved, K., Petek, T., Savšek, B., Puhar, M., Kete, P., Grilc, M. (ur.). 2014. Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav. Poročilo o izvajanju projekta za leto 2014. Ljubljana.

www.gurs-egp.si/files/3b1_Projekt_EGP_LP_2014.pdf (Pridobljeno 22. 5. 2016.)

Režek, J. 2015. Ima lahko ista lokacija različne višine? Lahko voda teče navzgor?. Glasilo inženirske zbornice Slovenije 74, letnik 18.

<http://www.izs.si/prirocniki-publikacije/glasilo-izsnovo/letnik-2015/letnik-18-stevilka-76/mnenja/ima-lahko-ista-lokacija-razlicne-visine-lahko-voda-tece-navzgor/> (Pridobljeno 1. 5. 2016.)

Stopar, B., Režek, J., Komadina, Ž., Medved, K., Berk, S., Bajec, K., Oven, K., Koler, B., Urbančič T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O. 2015. Aktivnosti pri vzpostavitvi sodobnega geodetskega referenčnega sistema v Sloveniji. Zbornik posveta 43. geodetskega dne: 49, 50–51.

http://www.gis.si/media/pdf/Stopar_et_al_2015_GD_43.pdf (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Stopar, B., Kuhar, M. 2001. Moderni geodetski koordinatni sistemi in astrogeodetska mreža Slovenije. Geodetski vestnik 45, 1–2: 14–18.

<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-N4SNCKZD> (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Stopar, B., Vodopivec, F., Bilc, A., Čuljak, H. 2002. 4M Projekt povezave 4 mareografov Severnega Jadrana. 65–72.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Vodopivec_et_al2002.pdf (Pridobljeno 12. 7. 2016.)

Strižak, Z., Vudrag, V. 2005. Satelitska altimetrija i razumijevanje topografije oceana. Ekscenter 7: 75.

<http://hrcak.srce.hr/9697> (Pridobljeno 4. 7. 2016.)

Triglav Čekada, M., Mesner, N., Bajec, S., Berk, S., Stopar, B., Kuhar, M., Koler, B., Mozetič, B., Medved, K., Komadina, Ž. 2010. Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov, različica 2.0: 9.

http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/projekti/DGS/2010p/Navodilo_za_GNSS-visinomerstvo_r2.pdf (Pridobljeno 23. 6. 2010.)

Urbanč, M. 2008. Ocena natančnosti geoidnega modela Slovenije. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Smer Geodezija v inženirstvu: 6. http://drugg.fgg.uni-lj.si/478/1/GEV_0252_Urbanc.pdf (Pridobljeno 20. 6. 2016.)

Varga, M., Dragčević, D., Pinter, D., Ramić, D., Topolovec, I. 2012. Regionalni geoidi u svijetu. Ekscentar 15: 82–87. <http://hrcak.srce.hr/file/121455> (Pridobljeno 11. 7. 2016.)

Vodušek, T., Klemenčič, M. 2009. Oblika in velikost zemlje ter zgradba zemlje. Ljubljana, Ministrstvo za šolstvo in šport, Konzorcij šolskih centrov. http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/Strukturni_skladi/Gradiva/MUN_US2/MUNUS2_31_2Prepoznavanjezemeljske.pdf (Pridobljeno 11. 5. 2016.)

EGM2008 – WGS 84 Version

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

Likar, V. (ur.) Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana, Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU. http://bos.zrc-sazu.si/cgi/a03.exe?name=sskj_testa&expression=geoid&hs=1 (Pridobljeno 11. 5. 2016.)

Oblik Zemlje i njena kretanja. 2016.

<http://www.oslobodioci.com/v2/index.php/typography/nastavni-materijal/geografija/172-oblik-zemlje-i-njena-kretanja> (Pridobljeno 4. 6. 2016.)

Johann Benedict Listing. 2016.

https://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Benedict_Listing#/media/File:J-B-Listing.jpg (Pridobljeno 21. 6. 2016.)

Elipsoíd. 2016.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Elipsoid#/media/File:Ellipsoide.png> (Pridobljeno 21. 6. 2016.)

Oblika in dimenzija Zemlje. 2016.

<https://gradbenik.files.wordpress.com/2010/01/02-oblika-in-dimenzije-zemlje.pdf> (Pridobljeno 24. 6. 2016.)

Geoid. 2016.

<http://alkemichar.voxxyz.com/wp-content/uploads/sites/59/2014/12/geoid-c2.jpg> (Pridobljeno 5. 6. 2016.)

Oblika Zemlje. 2016.

https://sl.wikipedia.org/wiki/Oblika_Zemlje (Pridobljeno 21. 6. 2016.)

Radar altimeter. 2016.

https://en.wikipedia.org/wiki/Radar_altimeter (Pridobljeno 23. 6. 2016.)

Earth Geodetic Model. 2016.

<http://www.open-terrain.org/index.php/Data/EGM> (Pridobljeno 21. 6. 2016.)

EGM2008 – WGS 84 Version. 2016.

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: BAZA TOČK

PRILOGA B: IZHODNA DATOTEKA PROGRAMA ZA TRANSFORMACIJO GEOIDNIH
VIŠIN

>>Ta stran je namenoma prazna<<

PRILOGA A: BAZA TOČK

Ime točke	ϕ [°]	λ [°]	N merjena
1CP2	46,5496478	15,4531526	47,0405
2CP2	46,5595118	15,4545260	46,9931
3CP2	46,5630471	15,4314031	47,0691
4CP2	46,5630471	15,4314031	47,0691
5CP2	46,5747714	15,4064340	47,1254
6CP2	46,5820725	15,3526780	47,2095
7CP2	46,5918473	15,3341314	47,2052
8CP2	46,5918473	15,3341314	47,2052
9CP2	46,5891820	15,3191729	47,2329
10CP2	46,5878147	15,3002835	47,2704
11CP2	46,5864416	15,2800093	47,2789
12CP2	46,5864416	15,2800093	47,2789
13CP2	46,5877282	15,2687151	47,2937
14CP2	46,6000543	15,2485708	47,2801
15CP2	46,5959326	15,2229580	47,3091
16CP2	46,6026395	15,2062515	47,3320
17CP2	46,6118563	15,1881396	47,3524
18CP2	46,5937459	15,1584644	47,3686
19CP2	46,5937459	15,1584644	47,3686
20CP2	46,5925187	15,1545456	47,3965
21CP2	46,5939032	15,1260332	47,4050
22CP2	46,6053178	15,1107868	47,4695
23CP2	46,6041907	15,0678518	47,5247
24CP2	46,5870960	15,0268555	47,4972
25CP2	46,5807382	15,0244125	47,4530
26CP2	46,5729970	15,0311016	47,4430
27CP2	46,5729970	15,0311016	47,4430
31CP2	46,5482674	15,0496434	47,3757
33CP2	46,5419168	15,0652577	47,3544
34CP2	46,5347334	15,0719500	47,3343
35CP2	46,5291424	15,0779389	47,3181
37CP2	46,5038556	15,0859289	47,2459
38CP2	46,5038556	15,0859289	47,2459
39CP2	46,4980182	15,0953259	47,2363
40CP2	46,4900661	15,1043782	47,2120
41CP2	46,4584174	15,1436598	47,1169
42CP2	46,4491938	15,1649303	47,1400
43CP2	46,4462322	15,1780152	47,1471
45CP2	46,4404906	15,1959901	47,1324
46CP2	46,4328624	15,1894356	47,0880
47CP2	46,4245074	15,1874811	47,0789
48CP2	46,4245074	15,1874811	47,0789
49CP2	46,4226888	15,1827002	47,0840
51CP2	46,4034320	15,1790464	47,0441
52CP2	46,3955543	15,1707633	47,0067
54CP2	46,3499328	15,1352159	46,7600
56CP2	46,3412243	15,1745563	46,7164
57CP2	46,3056695	15,1733397	46,5696
60CP2	46,2833407	15,1777204	46,4875
61CP2	46,2833407	15,1777204	46,4875
63CP2	46,2560815	15,1929377	46,4008
64CP2	46,5577373	15,6214138	46,5316

65CP2	46,5589023	15,5829774	46,6466
66CP2	46,5576240	15,5541794	46,7471
67CP2	46,5576240	15,5541794	46,7471
68CP2	46,5433002	15,5102940	46,8738
69CP2	46,5342319	15,4925467	46,9332
70CP2	46,5635165	16,4526436	44,9323
71CP2	46,5676745	16,4504065	44,9194
72CP2	46,5676745	16,4504065	44,9194
73CP2	46,5782987	16,4462276	44,9435
74CP2	46,5837568	16,4471818	44,9397
75CP2	46,5997815	16,4241399	44,9505
76CP2	46,6091478	16,4132105	44,9522
77CP2	46,6166562	16,4025688	44,9749
78CP2	46,6268399	16,3886106	44,9997
79CP2	46,6464431	16,3640036	45,0201
80CP2	46,6513085	16,3505122	45,0539
81CP2	46,6614312	16,3257794	45,1042
82CP2	46,6719596	16,2797562	45,1684
83CP2	46,6812648	16,2444589	45,2440
84CP2	46,6832731	16,2351319	45,1674
85CP2	46,6855759	16,2296889	45,2823
86CP2	46,6853696	16,2183284	45,2922
87CP2	46,6849530	16,1825773	45,3770
88CP2	46,6713135	16,1800187	45,3323
89CP2	46,6669247	16,1763685	45,3199
90CP2	46,6637028	16,1650471	45,3594
91CP2	46,6626752	16,1608172	45,3676
92CP2	46,6568951	16,1576752	45,3660
93CP2	46,6559791	16,1557350	45,3701
94CP2	46,6472521	16,1094072	45,4630
95CP2	46,6535484	16,0936615	45,5028
96CP2	46,6535484	16,0936615	45,5028
97CP2	46,6539802	16,0582756	45,5138
98CP2	46,6539802	16,0582756	45,5138
99CP2	46,6426498	16,0380424	45,5763
100CP2	46,6487136	16,0290788	45,6067
101CP2	46,6538815	16,0226310	45,6047
102CP2	46,6718602	15,9947000	45,6997
103CP2	46,6799148	15,9881682	45,7260
104CP2	46,6799148	15,9881682	45,7260
105CP2	46,6799148	15,9881682	45,7260
106CP2	46,6811993	15,9705443	45,7670
107CP2	46,6700340	15,9469763	45,7280
108CP2	46,6182960	15,8987687	45,8652
109CP2	46,6182960	15,8987687	45,8652
110CP2	46,6071073	15,8914560	45,8618
111CP2	46,5788116	15,8764312	45,8760
112CP2	46,5801464	15,8618001	45,8939
113CP2	46,5815079	15,8371608	45,9684
114CP2	46,5745044	15,8012929	46,0288
115CP2	46,5723356	15,7949206	46,0284
116CP2	46,5680589	15,7797001	46,0616
117CP2	46,5681615	15,7685351	46,0796
118CP2	46,5681615	15,7685351	46,0796
119CP2	46,5702013	15,7594713	46,0730
120CP2	46,5948490	15,6769010	46,3399
121CP2	46,5864999	15,6646483	46,4018

122CP2	46,5769057	15,6574987	46,4086
123CP2	46,5691289	15,6581222	46,3610
124CP2	46,5858726	16,4499002	44,9467
125CP2	46,5966507	16,4614789	44,9204
126CP2	46,6022442	15,6761923	46,3586
127CP2	46,6114949	15,6750457	46,3686
128CP2	46,6298535	15,6741377	46,3778
129CP2	46,6373780	15,6681454	46,4578
130CP2	46,6576469	15,6597834	46,4355
131CP2	46,6671953	15,6623826	46,4126
132CP2	46,6740226	15,6579045	46,4078
133CP2	46,6802440	15,6523722	46,4444
134CP2	46,6839805	15,6486784	46,4339
135CP2	46,5894268	15,0236073	47,4843
136CP2	46,5894992	15,0217412	47,4806
137CP2	46,5900304	15,0192227	47,4990
138CP2	46,5910838	15,0144858	47,5084
139CP2	46,5962668	15,0019577	47,5214
140CP2	46,5979941	14,9957059	47,5092
141CP2	46,6034813	14,9861374	47,5119
142CP2	46,6808942	15,9693885	45,7367
143CP2	46,6870488	15,9456264	45,7784
144CP2	46,6905768	15,9378172	45,8362
145CP2	46,6905766	15,9378434	45,8357
146CP2	46,6943409	15,9196424	45,8441
147CP2	46,6978658	15,9097383	45,8968
148CP2	46,6975600	15,9097332	45,8962
149CP2	46,6967310	15,8962119	45,9213
150CP2	46,6962144	15,8863051	45,9433
151CP2	46,6966616	15,8737858	45,9748
152CP2	46,6944484	15,8666895	45,9843
153CP2	46,6954686	15,8566638	46,0021
154CP2	46,6973058	15,8418517	46,0231
155CP2	46,7018349	15,8290150	46,0543
156CP2	46,7058832	15,8165221	46,1071
157CP2	46,7058830	15,8165483	46,1067
158CP2	46,7099128	15,7923345	46,1517
159CP2	46,7064400	15,7858231	46,1503
160CP2	46,7062539	15,7854149	46,1512
161CP2	46,7062717	15,7854414	46,1517
162CP2	46,5963477	15,2357633	47,2866
163CP2	46,5984788	15,2327358	47,3094
164CP2	46,6051355	15,2367413	47,2955
165CP2	46,6109533	15,2248474	47,3200
166CP2	46,6142628	15,2255139	47,2867
167CP2	46,6150782	15,2179447	47,3077
168CP2	46,6164223	15,2112391	47,3287
169CP2	46,6198194	15,2130351	47,3477
170CP2	46,6205938	15,2120650	47,3561
171CP2	46,6265618	15,2129135	47,3544
172CP2	46,6295793	15,2139675	47,4100
173CP2	46,6373695	15,2129952	47,3737
174CP2	46,6395477	15,2116802	47,3846
175CP2	46,6420607	15,2091629	47,4049
176CP2	46,6448789	15,2062030	47,4215
177CP2	46,6451672	15,2059820	47,4230
178CP2	46,5735031	15,0211086	47,4448

179CP2	46,5679176	15,0110489	47,4429
180CP2	46,5678906	15,0110228	47,4433
181CP2	46,5616203	14,9968435	47,4562
182CP2	46,5575295	14,9889501	47,4507
183CP2	46,5505986	14,9869594	47,4574
184CP2	46,5472925	14,9661096	47,4589
185CP2	46,5436020	14,9603748	47,4750
186CP2	46,5432679	14,9504970	47,4707
187CP2	46,5447134	14,9323397	47,5133
188CP2	46,5463357	14,9226493	47,5211
189CP2	46,5450706	14,9147624	47,5190
190CP2	46,5424862	14,9118197	47,5220
191CP2	46,5466585	14,8982908	47,5350
192CP2	46,5486429	14,8939969	47,5641
193CP2	46,5467631	14,8824516	47,5634
194CP2	46,5462153	14,8693439	47,5547
195CP2	46,5507345	14,8640646	47,5574
196CP2	46,5541474	14,8596924	47,5305
197CP2	46,5560264	14,8581304	47,5467
198CP2	46,5571220	14,8558602	47,5674
199CP2	46,5614674	14,8495338	47,5594
200CP2	46,5562295	16,4476365	44,9517
201CP2	46,5602071	16,4504031	44,9221
202CP2	45,4706125	13,6184495	44,3947
203CP2	45,4756932	13,6182814	44,4427
204CP2	45,4830549	13,6230564	44,3464
205CP2	45,4913460	13,6109044	44,4168
206CP2	45,4960579	13,6125491	44,4355
207CP2	45,5250400	13,6103685	44,3485
208CP2	45,5303716	13,6416621	44,4657
209CP2	45,5422535	13,6759448	44,2303
210CP2	45,5414347	13,7512274	44,7028
211CP2	45,5431423	13,7629033	44,7150
212CP2	45,5489888	13,7704828	44,7351
213CP2	45,5465463	13,8071711	44,8483
214CP2	45,5434751	13,8347198	44,9507
215CP2	45,5352709	13,8717532	45,0745
216CP2	45,5428527	13,8673322	45,0735
217CP2	45,5500739	13,8753256	45,1020
218CP2	45,5684925	13,8982972	45,2274
219CP2	45,5726579	13,9029336	45,2217
222CP2	45,5790975	13,9121174	45,2771
225CP2	45,6217771	13,9630009	45,4881
227CP2	45,6453575	13,9674759	45,5330
228CP2	45,6648450	13,9726764	45,4973
229CP2	45,6876448	13,9680300	45,5037
230CP2	45,6900824	13,9636076	45,4801
231CP2	45,6998753	13,9363461	45,4156
232CP2	45,7029880	13,9277000	45,4146
233CP2	45,7045621	13,9072556	45,3780
236CP2	45,7410345	13,8650531	45,2123
237CP2	45,7410345	13,8650531	45,2123
238CP2	45,7510135	13,8596453	45,1908
239CP2	45,7552058	13,8443407	45,1744
242CP2	45,7894107	13,8370330	45,2167
244CP2	45,8001924	13,8412355	45,2471
249CP2	45,8376001	13,8290246	45,2664

250CP2	45,8511125	13,8039837	45,2442
252CP2	45,8759020	13,7579988	45,1947
255CP2	45,8977864	13,6883915	45,0617
256CP2	45,9130156	13,6678075	45,0376
258CP2	45,9797140	13,6553158	45,3681
259CP2	45,9924450	13,6430667	45,4101
261CP2	46,0033619	13,6312181	45,4359
263CP2	46,0158104	13,6092534	45,4685
264CP2	46,0342993	13,5988293	45,5113
265CP2	46,0389905	13,5939820	45,5193
267CP2	46,0529379	13,6132065	45,6319
269CP2	46,0540215	13,6204344	45,6811
270CP2	46,0598101	13,6294488	45,7654
271CP2	46,0754394	13,6309882	45,8364
275CP2	46,0865624	13,6319027	45,9320
276CP2	46,0920799	13,6358270	45,9540
278CP2	46,1006896	13,6493767	46,0535
279CP2	46,1075454	13,6785994	46,1546
280CP2	46,1142140	13,6888805	46,2588
281CP2	46,1364299	13,7207227	46,4554
282CP2	46,1423161	13,7160689	46,4575
283CP2	46,1398339	13,7185729	46,4743
284CP2	46,1496627	13,7350448	46,6180
285CP2	46,1453810	13,7664302	46,5955
286CP2	46,1453810	13,7664302	46,5955
287CP2	46,1595844	13,7837221	46,7386
288CP2	46,1614339	13,8268725	46,8312
289CP2	46,1515579	13,8568763	46,8531
290CP2	46,2056687	13,9595803	47,2889
291CP2	46,2119898	13,9690646	47,3046
292CP2	46,2119898	13,9690646	47,3046
293CP2	46,2119898	13,9690646	47,3046
294CP2	46,2119898	13,9690646	47,3046
295CP2	46,2684982	13,9587164	47,6054
296CP2	46,2684982	13,9587164	47,6054
297CP2	46,2684982	13,9587164	47,6054
298CP2	46,2741766	13,9588424	47,5843
299CP2	46,2796136	13,9611141	47,6164
300CP2	46,2815685	13,9683441	47,6480
301CP2	46,2885083	13,9928856	47,6630
302CP2	46,2890658	14,0020771	47,6422
303CP2	46,2884676	14,0111138	47,6386
304CP2	46,2852088	14,0211463	47,6274
305CP2	46,2907615	14,0329360	47,6102
307CP2	46,3153002	14,0624984	47,6224
308CP2	46,3201367	14,0598186	47,6594
309CP2	46,3245244	14,0572760	47,6939
310CP2	46,3316547	14,0600109	47,6781
311CP2	46,3388988	14,0601856	47,6975
312CP2	46,3462442	14,0617226	47,6861
313CP2	46,3484266	14,0645436	47,6638
314CP2	46,3500041	14,0704285	47,6782
315CP2	46,3514900	14,0781705	47,6202
317CP2	46,3571454	14,0925281	47,5821
318CP2	46,3595511	14,0986480	47,5487
319CP2	46,3595511	14,0986480	47,5487
320CP2	46,3698014	14,1070058	47,5758

321CP2	46,3706061	14,1040681	47,5531
322CP2	46,3695735	14,1124034	47,5578
323CP2	46,3682913	14,1187928	47,5408
324CP2	46,3666678	14,1261813	47,4559
326CP2	46,3643528	14,1451606	47,5001
327CP2	46,3636701	14,1525530	47,4704
328CP2	46,3636701	14,1525530	47,4704
329CP2	46,3611915	14,1592711	47,4449
330CP2	46,3687089	14,1533517	47,5054
332CP2	46,3889993	14,1408233	47,6023
333CP2	46,3889993	14,1408233	47,6023
334CP2	46,3951110	14,1375935	47,6495
336CP2	46,4098736	14,1302590	47,7407
338CP2	46,4177026	14,1094112	47,7666
339CP2	46,4232827	14,1016183	47,8084
340CP2	46,4268043	14,0884452	47,7981
341CP2	46,4286447	14,0789682	47,8404
343CP2	46,4329154	14,0620059	47,8888
344CP2	46,4329154	14,0620059	47,8888
345CP2	46,4367154	14,0558374	47,9028
346CP2	46,4389053	14,0476007	47,9199
347CP2	46,4416746	14,0387806	47,9418
349CP2	46,4475742	14,0204673	47,9776
357CP2	46,4661052	13,9373123	48,2301
359CP2	46,4703583	13,9199753	48,2444
360CP2	46,4760176	13,9076739	48,2083
361CP2	46,4760176	13,9076739	48,2083
362CP2	46,4754807	13,8995324	48,2955
365CP2	46,4800699	13,8619182	48,3638
367CP2	46,4825117	13,8496894	48,3365
368CP2	46,4820442	13,8381597	48,3968
370CP2	46,4873467	13,8104716	48,3948
371CP2	46,4880271	13,7743624	48,4116
372CP2	46,4902690	13,7619891	48,4491
374CP2	46,4961477	13,7246615	48,4509
375CP2	46,4961477	13,7246615	48,4509
376CP2	46,4979988	13,7156158	48,4203
377CP2	46,4979988	13,7156158	48,4203
380CP2	46,3554106	14,1723071	47,4244
382CP2	46,3408901	14,1873564	47,3676
383CP2	46,3408901	14,1873564	47,3676
384CP2	46,3357445	14,2184385	47,3217
386CP2	46,3200531	14,2303362	47,2375
388CP2	46,3126559	14,2395157	47,2096
389CP2	46,3126559	14,2395157	47,2096
391CP2	46,3030457	14,2613158	47,1616
392CP2	46,2992173	14,2774760	47,1204
393CP2	46,2930803	14,2801786	47,0995
394CP2	46,2805731	14,2944348	47,0636
398CP2	46,2513702	14,3446902	46,8700
399CP2	46,2437347	14,3547533	46,8352
400CP2	46,2437347	14,3547533	46,8352
401CP2	46,2389576	14,3484816	46,8463
402CP2	46,2389576	14,3484816	46,8463
403CP2	46,2304514	14,3541570	46,8112
404CP2	46,2304514	14,3541570	46,8112
405CP2	46,2304514	14,3541570	46,8112

406CP2	46,1576637	14,3954700	46,5867
407CP2	46,1576637	14,3954700	46,5867
408CP2	46,1576637	14,3954700	46,5867
409CP2	46,1465833	14,4100896	46,5655
410CP2	46,1465833	14,4100896	46,5655
411CP2	46,1465833	14,4100896	46,5655
412CP2	46,1465833	14,4100896	46,5655
413CP2	46,1427063	14,4120079	46,5657
414CP2	46,1427063	14,4120079	46,5657
415CP2	46,1076849	14,4511618	46,4672
416CP2	46,1076849	14,4511618	46,4672
417CP2	46,1056268	14,4630051	46,4560
418CP2	46,1056268	14,4630051	46,4560
419CP2	46,1185658	14,5507463	46,4156
420CP2	46,1306045	14,5600279	46,4643
421CP2	46,1350236	14,5746432	46,4684
422CP2	46,1350236	14,5746432	46,4684
423CP2	46,1377413	14,5920563	46,4852
424CP2	46,1525162	14,6238726	46,5305
425CP2	46,1553685	14,6322169	46,5311
426CP2	46,1580612	14,6414694	46,5827
427CP2	46,1627504	14,6751054	46,6120
428CP2	46,1699020	14,6908498	46,6656
429CP2	46,1657078	14,7573682	46,6575
430CP2	46,1770607	14,8254329	46,7584
432CP2	46,1841793	14,8592583	46,7775
433CP2	46,1865236	14,8781779	46,7230
434CP2	46,1882105	14,8836157	46,7150
435CP2	46,1892139	14,8883291	46,7636
436CP2	46,2072526	14,8969233	46,7762
437CP2	46,2072526	14,8969233	46,7762
438CP2	46,2090557	14,9120696	46,7953
439CP2	46,2130111	14,9196452	46,8006
441CP2	46,2402535	14,9483659	46,7886
442CP2	46,2459237	14,9529125	46,7559
444CP2	46,2489920	14,9888467	46,6994
445CP2	46,2480388	15,0012191	46,6665
446CP2	46,2477685	15,0089354	46,6649
447CP2	46,2477685	15,0089354	46,6649
448CP2	46,2467742	15,0565552	46,5402
450CP2	46,2540637	15,0946819	46,5370
451CP2	46,2557472	15,1221564	46,5002
452CP2	46,2557472	15,1221564	46,5002
454CP2	46,2543218	15,1410637	46,4859
455CP2	46,2516989	15,1647524	46,4290
456CP2	46,2516989	15,1647524	46,4290
458CP2	46,2447738	15,2022609	46,3840
459CP2	46,2417278	15,2148538	46,3879
460CP2	46,2371881	15,2356727	46,3632
461CP2	46,2258747	15,2661403	46,3558
464CP2	46,2186027	15,2631888	46,3647
465CP2	46,2186027	15,2631888	46,3647
468CP2	46,1991054	15,2342918	46,4019
470CP2	46,1804130	15,2385561	46,4357
472CP2	46,1545990	15,2325234	46,4242
473CP2	46,1499059	15,2352093	46,3800
474CP2	46,1460531	15,2317107	46,4137

475CP2	46,1466492	15,2070791	46,4331
476CP2	46,1387736	15,1985460	46,4567
477CP2	46,1303021	15,1962250	46,4193
478CP2	46,1150121	15,2131188	46,4256
479CP2	46,1095489	15,2188285	46,3851
480CP2	46,0856532	15,1702960	46,4317
481CP2	46,0856532	15,1702960	46,4317
482CP2	46,0856532	15,1702960	46,4317
483CP2	46,0463843	15,2259042	46,3565
484CP2	46,0463843	15,2259042	46,3565
485CP2	46,0048520	15,3271823	46,1886
486CP2	45,9996358	15,3378597	46,2137
487CP2	45,9932522	15,3745987	46,1070
488CP2	45,9897740	15,3958704	46,0790
489CP2	45,9893821	15,4061609	46,1018
490CP2	45,9915504	15,4182281	46,0951
491CP2	45,9921132	15,4319028	46,0932
492CP2	45,9888650	15,4475960	46,0863
493CP2	45,9877229	15,4694560	46,0603
494CP2	45,9877229	15,4694560	46,0598
495CP2	45,9835643	15,4768910	46,0485
496CP2	45,9753801	15,4835677	46,0337
497CP2	45,9709361	15,4860637	46,0250
498CP2	45,9668541	15,4884763	46,0446
499CP2	45,9648021	15,4890498	46,0033
500CP2	45,9616248	15,4883967	45,9856
501CP2	45,9587909	15,4897595	46,0223
502CP2	45,9563104	15,4933146	45,9837
503CP2	45,9563104	15,4933146	45,9894
504CP2	45,9540786	15,4965917	45,9532
505CP2	45,9516946	15,5001069	45,9584
506CP2	45,9498401	15,5056413	45,9597
508CP2	45,9484598	15,5141860	45,9346
509CP2	45,9473498	15,5207383	45,9217
510CP2	45,9469233	15,5244979	45,9147
511CP2	45,9466347	15,5340517	45,8940
512CP2	45,9427453	15,5464900	45,8664
513CP2	45,9398748	15,5528648	45,8560
514CP2	45,9378599	15,5577886	45,8472
515CP2	45,9351075	15,5638926	45,8481
516CP2	45,9315792	15,5722855	45,8480
517CP2	45,9294347	15,5773265	45,8657
518CP2	45,9263131	15,5840019	45,8206
519CP2	45,9237759	15,5898522	45,8085
520CP2	45,9201423	15,5986951	45,8107
521CP2	45,9176953	15,6042883	45,8021
522CP2	45,9147121	15,6109343	45,8293
523CP2	45,9122570	15,6168249	45,8158
524CP2	45,9065810	15,6299367	45,8061
525CP2	45,9012331	15,6459851	45,7977
526CP2	45,8995212	15,6514697	45,8011
527CP2	45,8952691	15,6654774	45,7882
528CP2	45,8939091	15,6698509	45,7802
529CP2	45,9840830	13,6563215	45,3994
530CP2	46,5728798	15,0319625	47,4208
531CP2	46,4974173	13,7063275	48,4397
532CP2	45,8944231	14,1908138	46,3772

533CP2	45,8944231	14,1908138	46,3772
534CP2	45,8944231	14,1908138	46,3772
535CP2	45,7714258	14,1965418	46,1046
536CP2	46,4022510	15,5929203	46,2764
545CP2	46,4525329	15,6416945	46,2899
546CP2	46,4584890	15,6478591	46,2835
549CP2	46,4861052	15,6519883	46,3280
551CP2	46,3938762	15,6677543	46,0400
552CP2	46,4007750	15,7546399	45,8752
553CP2	46,4007033	15,7669737	45,8601
554CP2	46,4008618	15,8003076	45,8183
555CP2	46,4035178	15,8352663	45,6600
556CP2	46,4032804	16,1560052	45,4285
557CP2	46,5165771	15,0815577	47,2920
558CP2	46,1010036	14,5199863	46,3807
559CP2	46,0988286	14,5162674	46,4149
561CP2	46,0920000	14,5142709	46,3997
562CP2	46,0920000	14,5142709	46,3997
563CP2	46,0181900	14,3898111	46,4025
564CP2	46,0060390	14,3546431	46,4124
565CP2	45,9873146	14,3189386	46,3917
566CP2	45,9589261	14,2892656	46,4232
569CP2	45,9448909	14,2467378	46,4109
572CP2	45,9164815	14,2239332	46,3697
574CP2	45,9008626	14,2006309	46,3517
575CP2	45,8831244	14,2040032	46,3356
578CP2	45,8277293	14,2499567	46,2930
579CP2	45,8213685	14,2432472	46,2442
581CP2	45,7998749	14,2368616	46,2213
584CP2	45,7769802	14,1557373	46,0323
586CP2	45,7648983	14,1249616	45,9560
587CP2	45,7621671	14,1103616	45,9241
589CP2	45,7508784	14,0548228	45,8386
590CP2	45,7306632	14,0508981	46,1423
591CP2	45,7238410	14,0474551	46,1194
595CP2	45,7002788	13,9902868	45,5666
598CP2	45,9346259	14,1308584	46,3616
600CP2	45,9526722	14,1036547	46,8062
601CP2	45,9576099	14,0920030	46,3980
602CP2	45,9638590	14,0846886	46,4334
603CP2	45,9695465	14,0637040	46,4128
604CP2	45,9901399	14,0352939	46,3934
605CP2	45,9992188	14,0342453	46,4219
606CP2	46,0020497	14,0285409	46,3828
607CP2	46,0319736	14,0261565	46,5587
608CP2	46,0600323	14,0150909	46,6463
609CP2	46,0692722	13,9943600	46,6477
610CP2	46,0962293	13,9582392	46,6941
611CP2	46,1155857	13,9235767	46,7041
613CP2	46,0944179	13,8984336	46,5949
614CP2	46,1187153	13,8056726	46,5480
615CP2	46,1395050	13,7780939	46,5639
616CP2	46,5383360	15,6465246	46,3747
619CP2	46,5090758	15,6532923	46,3465
621CP2	46,4996128	15,6482412	46,3416
622CP2	46,4791089	15,6563669	46,2346
623CP2	46,2528895	15,2935076	46,3269

624CP2	46,2502605	15,2798370	46,3329
625CP2	46,2338758	15,2688887	46,3251
626CP2	46,2292018	15,2630320	46,3678
627CP2	45,9833896	14,5924558	46,2822
628CP2	45,9776140	14,6055326	46,3131
629CP2	45,9760168	14,6120739	46,3162
630CP2	45,9750094	14,6175139	46,3263
631CP2	45,9564138	14,6521120	46,3267
632CP2	45,9473692	14,6823767	46,3251
633CP2	45,9402864	14,6850739	46,3347
634CP2	45,9402864	14,6850739	46,3347
635CP2	45,9402864	14,6850739	46,3347
636CP2	45,9369343	14,6925498	46,3431
637CP2	45,9386816	14,7012225	46,3520
638CP2	45,9396981	14,7074658	46,3373
639CP2	45,9381941	14,7190596	46,3593
640CP2	45,9450587	14,7233493	46,3791
641CP2	45,9526219	14,7285800	46,4125
642CP2	45,9523102	14,7561597	46,3462
643CP2	45,9471569	14,7674699	46,3405
644CP2	45,9412109	14,7802226	46,3348
645CP2	45,9386161	14,7928455	46,3176
646CP2	45,9394557	14,8046685	46,3127
647CP2	45,9379793	14,8117881	46,2992
648CP2	45,9370253	14,8202415	46,2979
649CP2	45,9350538	14,8294757	46,2882
650CP2	45,9360321	14,8371954	46,2892
651CP2	45,9382347	14,8433908	46,2958
652CP2	45,9404587	14,8564322	46,2827
653CP2	45,9457603	14,9042713	46,2788
654CP2	45,9408458	14,9073908	46,2678
655CP2	45,9382679	14,9169837	46,2630
656CP2	45,9365253	14,9318211	46,2474
657CP2	45,9404103	14,9549206	46,2507
658CP2	45,9370650	14,9622612	46,3125
659CP2	45,9352495	14,9679906	46,2297
660CP2	45,9306117	14,9690403	46,2176
661CP2	45,9259963	14,9734236	46,2128
662CP2	45,9202024	14,9787963	46,2061
663CP2	45,9127536	14,9802648	46,2051
664CP2	45,9081360	14,9912988	46,2007
665CP2	45,9079685	15,0012889	46,2030
666CP2	45,9057429	15,0268344	46,2024
667CP2	45,9030046	15,0372982	46,1494
668CP2	45,8981705	15,0418951	46,1835
669CP2	45,8941477	15,0459131	46,1774
670CP2	45,8870504	15,0544742	46,2130
671CP2	45,8838553	15,0624731	46,1592
672CP2	45,8828765	15,0710678	46,2006
673CP2	45,8775449	15,0760342	46,1720
674CP2	45,8710506	15,0783143	46,1716
675CP2	45,8666591	15,0911756	46,1698
676CP2	45,8620837	15,0975001	46,1515
677CP2	45,8549722	15,0970374	46,1506
678CP2	45,8451564	15,1097452	46,1506
679CP2	45,8418209	15,1156029	46,1302
680CP2	45,8338352	15,1360715	45,2007

681CP2	45,8309032	15,1429944	46,0939
682CP2	45,8264214	15,1430421	45,2851
683CP2	45,8125511	15,1534291	45,1067
684CP2	45,8100317	15,1571736	45,2314
685CP2	45,8086844	15,1646251	46,0737
686CP2	45,8129720	15,1736963	46,0987
687CP2	45,8336262	15,2096007	46,0769
688CP2	45,8334012	15,2179759	46,0833
689CP2	45,8396448	15,2364273	46,0888
690CP2	45,8463225	15,2474108	46,0783
691CP2	45,8517839	15,2534570	46,0460
692CP2	45,8565497	15,2548308	46,0399
693CP2	45,8747360	15,3055385	46,0380
694CP2	45,8760872	15,3277286	46,0182
695CP2	45,8794121	15,3619259	46,0017
696CP2	45,8813028	15,3790243	45,9809
697CP2	45,8775855	15,3813147	45,9908
698CP2	45,8691651	15,3868806	46,0150
699CP2	45,8637173	15,4004741	46,0093
700CP2	45,8586442	15,3999741	46,0000
701CP2	45,8503850	15,4198082	46,0291
702CP2	45,8644067	15,4448772	46,0198
703CP2	45,8679458	15,4513033	45,9716
704CP2	45,8794389	15,4722735	45,9429
705CP2	45,8821590	15,4774046	45,9708
706CP2	45,8843461	15,5197204	45,9206
707CP2	45,8822067	15,5053364	45,9307
708CP2	45,8856466	15,5304263	45,9196
709CP2	45,8880559	15,5480369	45,9152
710CP2	45,8902721	15,5599914	45,9324
711CP2	45,8914794	15,5710453	45,9120
712CP2	45,8918508	15,5767000	45,8892
713CP2	45,9018771	15,5929711	45,8412
714CP2	45,8845998	15,5232658	45,9235
715CP2	45,8875641	15,5441447	45,8912
716CP2	45,8938169	15,5916434	45,8623
717CP2	45,9118512	15,5903575	45,8237
718CP2	45,9144075	15,5901912	45,8246
719CP2	45,9217533	15,5912232	45,8359
720CP2	45,8045408	15,1677263	46,1096
721CP2	45,8010265	15,1712021	46,1164
722CP2	45,7919980	15,1793292	46,1015
723CP2	45,7778011	15,1805464	46,1112
724CP2	45,7724545	15,1904145	46,1185
725CP2	45,7603250	15,2013158	46,1953
726CP2	45,7511107	15,2020533	46,1782
727CP2	45,7353761	15,2237743	46,2551
728CP2	45,7321633	15,2285669	46,2854
729CP2	45,7165944	15,2296595	46,3167
730CP2	45,7082921	15,2377505	46,2795
731CP2	45,7045756	15,2451273	46,2758
732CP2	45,6906189	15,2660680	46,1645
733CP2	45,6893680	15,2737270	46,1404
734CP2	45,6755650	15,2847241	46,0678
735CP2	45,6686317	15,2901692	46,0274
736CP2	45,6539042	15,2996393	45,9547
737CP2	45,5774554	13,8754144	45,1155

738CP2	46,2681546	15,0931623	46,5362
739CP2	46,2743760	15,0878012	46,5542
740CP2	46,2817252	15,0747565	46,6102
741CP2	46,2801542	15,0559667	46,6182
742CP2	46,2907466	15,0502149	46,6461
743CP2	46,3062011	15,0325470	46,7217
744CP2	46,3161637	15,0204510	46,7968
745CP2	46,3281796	15,0374823	46,7831
746CP2	46,3292875	15,0334568	46,7988
747CP2	46,3321098	15,0316634	46,8202
748CP2	46,3419610	15,0192029	46,8688
749CP2	46,3416048	15,0157693	46,8654
750CP2	46,3473171	15,0099361	46,8886
751CP2	46,3541410	15,0180614	46,8862
752CP2	46,3683296	15,0165714	46,9629
753CP2	46,3776763	15,0234378	46,9750
754CP2	46,3810306	15,0304204	46,9678
755CP2	46,3798599	15,0341247	46,9563
756CP2	46,3776983	15,0411690	46,9278
757CP2	46,3774271	15,0445876	46,9050
758CP2	46,3763461	15,0480705	46,8923
759CP2	46,3767593	15,0495527	46,8765
760CP2	46,3753079	15,0499062	46,8653
761CP2	46,3694988	15,0631268	46,8265
762CP2	46,3648040	15,0886350	46,7873
763CP2	46,3669613	15,0920042	46,7784
764CP2	46,3658848	15,1000215	46,8024
765CP2	46,3647110	15,1047500	46,7933
766CP2	46,3597871	15,1074306	46,8104
767CP2	46,2884587	15,0850075	46,6022
768CP2	46,2951245	15,0864715	46,6341
769CP2	46,3063670	15,0899375	46,6222
770CP2	46,3139520	15,0910457	46,6269
771CP2	46,3311132	15,0975553	46,7077
772CP2	46,3409533	15,1036122	46,7594
773CP2	46,3386483	15,1122086	46,7223
774CP2	46,3489354	15,1087216	46,7742
775CP2	46,3569259	15,1124969	46,7713
776CP2	46,5556865	15,7969337	46,0064
777CP2	46,5431553	15,8158914	45,9696
778CP2	46,5378394	15,8161817	45,9739
779CP2	46,5300281	15,8134787	45,9620
780CP2	46,5250146	15,7905103	45,9772
781CP2	46,5197814	15,7824239	45,9852
782CP2	46,5111842	15,7882978	45,9681
783CP2	46,5053025	15,7903676	45,9708
784CP2	46,4931050	15,7942604	45,9191
785CP2	46,4874878	15,8037134	45,9062
786CP2	46,4792275	15,8216034	45,8928
787CP2	46,4727849	15,8279523	45,8520
788CP2	46,4653833	15,8351370	45,8381
789CP2	46,4495130	15,8427167	45,8098
790CP2	46,4394002	15,8513005	45,7880
791CP2	46,4282695	15,8618234	45,7581
792CP2	46,4193274	15,8664699	45,7358
793CP2	46,4181599	15,8685589	45,7468
794CP2	46,4179132	15,8714169	45,7462

795CP2	46,4186185	15,8756692	45,7395
796CP2	46,4136494	15,8934756	45,7189
797CP2	46,4121414	15,9078764	45,7182
798CP2	46,4175640	15,9556831	45,6557
799CP2	46,4166671	15,9766375	45,6301
800CP2	46,4166259	15,9980881	45,6205
801CP2	46,4118496	16,0163417	45,6041
802CP2	46,4124941	16,0282129	45,5862
803CP2	46,4152707	16,0732129	45,5295
804CP2	46,4152440	16,0894465	45,5004
805CP2	46,4161473	16,1104997	45,4854
806CP2	46,4072708	16,1375942	45,4349
807CP2	46,4075716	16,1444159	45,4460
808CP2	46,4141223	16,1686181	45,4044
809CP2	46,4247527	16,1793930	45,3752
810CP2	46,4461203	16,1677867	45,3870
811CP2	46,4616546	16,1578078	45,3866
812CP2	46,4586248	16,1565381	45,4009
813CP2	46,4636229	16,1560711	45,3823
814CP2	46,4727042	16,1557425	45,3699
815CP2	46,4841464	16,1514782	45,3646
816CP2	46,5009689	16,1552209	45,2980
817CP2	46,4986408	16,1576860	45,3343
818CP2	46,5040414	16,1852379	45,3033
819CP2	46,5082438	16,2033501	45,2801
820CP2	46,5164151	16,2007972	45,2114
821CP2	46,5106042	16,2244511	45,2201
822CP2	46,5106042	16,2244511	45,2201
823CP2	46,5148795	16,2441850	45,1986
824CP2	46,5200248	16,2628327	45,1655
825CP2	46,5200450	16,2736037	45,1424
826CP2	46,5273331	16,2754573	45,1476
827CP2	46,5479383	16,2733432	45,1212
828CP2	46,5521986	16,2777595	45,1231
829CP2	46,5466874	16,2919241	45,1206
830CP2	46,5486253	16,3125737	45,0900
831CP2	46,5500122	16,3290882	45,0304
832CP2	46,5503275	16,3580924	45,0399
833CP2	46,5553659	16,3696006	45,0008
834CP2	46,5539053	16,3831754	45,0079
835CP2	46,5557908	16,3926019	44,9906
836CP2	46,5553392	16,4094261	44,9667
837CP2	46,5519709	16,4206194	44,9860
838CP2	46,5525593	16,4289943	44,9619
839CP2	46,4047481	16,2021291	45,3248
840CP2	46,4022792	16,2093059	45,1324
841CP2	46,3987041	16,2239870	45,2540
842CP2	46,3974761	16,2386022	45,2696
843CP2	46,3972015	16,2589895	45,2155
844CP2	46,3886688	16,2881881	45,1485
845CP2	46,1669194	14,3164490	46,6965
846CP2	46,1798341	14,2654882	46,8415
847CP2	46,1840107	14,2625366	46,8670
848CP2	46,1937629	14,2545160	46,8903
849CP2	46,2050286	14,2391053	47,0202
850CP2	46,2180654	14,2159788	47,0360
851CP2	46,2218206	14,2079793	47,0670

852CP2	46,2230686	14,1931946	47,0893
853CP2	46,2264209	14,1734306	47,1623
854CP2	46,2224454	14,1604656	47,1687
855CP2	46,2075869	14,0823949	47,2905
856CP2	46,2103966	14,0675718	47,3227
857CP2	46,2111161	14,0591065	47,3222
858CP2	46,2067748	14,0486564	47,3324
859CP2	46,1969259	14,0366614	47,2810
860CP2	46,1940108	14,0295868	47,2736
861CP2	46,2152375	14,0001211	47,3912
876CP2	45,5724350	14,2378341	45,9197
877CP2	45,5575707	14,2426810	45,9180
886CP2	45,4993553	14,1851438	45,6916
887CP2	45,5217530	14,1458280	45,6921
890CP2	45,5423022	14,0872391	44,8928
896CP2	45,5746091	14,0066869	45,1832
901CP2	46,1589619	14,3908723	46,6132
902CP2	46,1589619	14,3908723	46,6132
903CP2	46,1581124	14,3784604	46,5898
904CP2	46,1689297	14,3407425	46,6621
905CP2	45,9299873	14,6717445	46,3642
906CP2	45,8895090	14,7041731	46,3561
907CP2	45,8596511	14,7029393	46,3759
908CP2	45,8583263	14,6921793	46,3958
909CP2	45,8588919	14,6389220	46,4083
910CP2	45,8511083	14,6242047	46,4362
911CP2	45,8305284	14,6392033	46,4289
912CP2	45,8107748	14,6677190	46,4498
913CP2	45,7734434	14,6876807	46,4422
914CP2	45,7642853	14,6969303	46,4482
915CP2	45,7531760	14,7134761	46,4456
916CP2	45,7463842	14,7194426	46,4419
917CP2	45,7416105	14,7257280	46,4453
918CP2	45,7217000	14,7425200	46,4198
919CP2	45,7136686	14,7482856	46,4513
920CP2	45,7097603	14,7510003	46,4110
921CP2	45,6958248	14,7553121	46,4287
922CP2	45,6901245	14,7569716	46,4135
923CP2	45,6197203	14,7441993	46,4257
924CP2	45,5749781	14,8026816	46,2431
925CP2	45,5718038	14,8147105	46,2264
926CP2	45,5709263	14,8781092	46,2245
927CP2	45,5875433	14,8840783	46,2433
928CP2	45,6049167	14,8884322	46,2641
929CP2	45,6122081	14,8912275	46,2829
930CP2	45,6069446	14,8962723	46,2701
931CP2	45,5893685	14,9264875	46,2413
932CP2	45,5858805	14,9307714	46,2340
933CP2	45,5617427	14,9680647	46,2220
934CP2	45,5579490	14,9926806	46,2035
935CP2	45,5530856	14,9991355	46,1629
936CP2	45,5470358	15,0182546	46,1613
937CP2	45,5437651	15,0269005	46,1510
938CP2	45,5453212	15,0334555	46,1621
939CP2	45,5458722	15,0365322	46,1503
940CP2	45,5498479	15,0403751	46,1984
941CP2	45,5475982	15,1447986	45,9733

942CP2	45,5531967	15,1400675	45,9916
943CP2	45,5623741	15,1475369	45,9817
944CP2	45,5630743	15,1559511	45,9574
945CP2	45,5611287	15,1699339	45,9292
946CP2	45,5665476	15,1804296	45,9223
947CP2	45,5831100	15,1999050	45,9068
948CP2	45,5893878	15,2200919	45,8752
949CP2	45,5996969	15,2307075	45,8860
950CP2	45,6050524	15,2386905	45,8656
951CP2	45,6109454	15,2433824	45,8900
952CP2	45,6142326	15,2462430	45,8928
953CP2	45,6169505	15,2774904	45,8720
954CP2	45,6280993	15,2954234	45,8982
955CP2	45,6432469	15,3110126	45,9106
956CP2	46,5512542	16,3456405	44,9830
957CP2	46,2871921	13,9784209	47,6497
958CP2	46,2990232	15,3019579	46,4544
960CP2	46,3167989	15,3162612	46,5371
961CP2	46,3315133	15,3180085	46,5935
962CP2	46,3386903	15,3253635	46,6659
970CP2	46,3402293	15,4264907	46,4728
974CP2	46,3423936	15,4710537	46,3590
977CP2	46,3708257	15,5244979	46,3367
978CP2	46,3786741	15,5580861	46,2324
981CP2	45,8201045	14,2902362	46,3620
989CP2	45,7812450	14,3887746	46,4789
992CP2	45,7602148	14,4636675	46,5300
998CP2	45,7681840	14,5239164	46,5969
1002CP2	45,7656630	14,5858675	46,5718
1007CP2	45,7641955	14,6302320	46,5292
1020CP2	46,0846866	14,8222839	46,4045
1021CP2	46,0846866	14,8222839	46,4045
1025CP2	46,0871189	14,7023214	46,4260
1027CP2	46,3753675	15,5468919	46,2814
1028CP2	46,3734092	15,5329571	46,3043
1029CP2	46,3574009	15,4935833	46,3586
1035CP2	46,1834399	13,7125470	46,7772
1037CP2	46,2022927	13,6843763	46,8859
1039CP2	46,2092422	13,6348080	46,8880
1047CP2	46,3330308	13,5413144	47,7761
1048CP2	46,3379139	13,5586674	47,8016
1049CP2	46,3434314	13,5746205	47,9158
1051CP2	46,3371032	13,6438783	47,8871
1052CP2	46,3409126	13,6540858	47,9486
1063CP2	46,2218726	15,3309467	46,3171
1064CP2	46,2192588	15,3351681	46,3066
1090CP2	46,1672520	15,6033919	46,0525
1096CP2	46,1214957	15,5990752	46,0186
1098CP2	46,1085181	15,6031258	45,9951
1100CP2	46,0966954	15,6182710	45,9841
1101CP2	46,0905588	15,6183318	45,9764
1107CP2	46,0560019	15,6628041	45,9235
1109CP2	46,0179504	15,6917564	45,8373
1111CP2	46,0068937	15,6900303	45,8018
1112CP2	45,9999481	15,6929134	45,7980
1114CP2	45,9810230	15,6978398	45,7309
1118CP2	45,9558843	15,6797732	45,7285

1119CP2	45,9507794	15,6696365	45,7708
1121CP2	45,9413107	15,6530659	45,7926
1123CP2	45,9231210	15,6347350	45,8151
1124CP2	45,9176211	15,6303696	45,7708
1125CP2	46,2350312	15,5642001	46,1044
1126CP2	45,8872760	13,8969310	45,5655
1127CP2	45,8884103	13,8630214	45,4995
1128CP2	45,8900599	13,8163562	45,3849
1130CP2	45,9331092	13,7352325	45,3596
1131CP2	45,9481503	13,7072583	45,3529
1134CP2	45,8810546	13,9991270	45,9761
1135CP2	45,8764730	14,0102879	45,9691
1136CP2	45,8705262	14,0377777	46,0673
1137CP2	45,8660438	14,0603043	46,6013
1138CP2	45,8814194	14,1581892	46,3199
1139CP2	46,2291253	15,3013540	46,3324
1140CP2	46,3623093	15,8693108	45,8236
1141CP2	46,1857783	14,4053308	46,6220
1142CP2	46,1905184	14,4033105	46,6480
1143CP2	46,1982518	14,3990417	46,6533
1144CP2	46,2038629	14,3950153	46,6757
1145CP2	46,2087089	14,3909576	46,6941
1146CP2	46,2113063	14,3870668	46,7034
1147CP2	46,2158195	14,3761403	46,7047
1148CP2	46,2199565	14,3663089	46,7191
1149CP2	46,2269584	14,3577287	46,7735
1150CP2	46,2422294	15,5838286	46,2148
1151CP2	46,2400161	15,5925707	46,2090
1152CP2	46,2397339	15,6052233	46,2026
1153CP2	46,2408206	15,6239985	46,1385
1154CP2	46,2403453	15,6302691	46,1263
1155CP2	46,2317174	15,6382864	46,1001
1156CP2	46,2278919	15,6481854	46,0936
1160CP2	46,2246485	15,6978353	46,0760
1163CP2	46,2417292	15,7146888	46,1006
1166CP2	46,2523113	15,7371602	46,1080
1170CP2	46,2696182	15,7797777	46,0637
1171CP2	46,2742344	15,7914687	46,0422
1173CP2	46,2844464	15,8081749	45,9486
1176CP2	46,2891929	15,8362522	45,9193
1178CP2	46,2990150	15,8488503	45,8980
1182CP2	46,3212208	15,8750229	45,8844
1185CP2	46,3482275	15,8718549	45,8097
1188CP2	46,0960791	14,4963098	46,4067
1189CP2	46,1044885	14,4658748	46,4478
1190CP2	46,0982694	14,4911035	46,4177
1191CP2	46,1039197	14,5354311	46,4005
1192CP2	46,1138767	14,4385124	46,4862
1193CP2	46,1014235	14,4782308	46,4384
1194CP2	46,1063702	14,4584834	46,4559
1195CP2	46,0993841	14,4848462	46,4234
1196CP2	46,0928486	14,5128279	46,3854
1197CP2	46,1111859	14,4402215	46,4842
1198CP2	46,1111859	14,4402215	46,4842
1199CP2	46,1212492	14,4374024	46,5019
1200CP2	46,1212492	14,4374024	46,5019
1201CP2	46,1148153	14,4427593	46,5023

1202CP2	46,0953375	14,5162591	46,4056
1203CP2	46,5472559	15,6473999	46,3759
1204CP2	46,2595311	15,2821282	46,3635
1205CP2	46,2292035	15,2954945	46,3003
1206CP2	46,2222686	15,3214345	46,3046
1207CP2	46,2190515	15,3536260	46,2775
1208CP2	46,2216736	15,3313214	46,7896
1209CP2	46,2298548	15,2906493	46,3264
1210CP2	46,2308111	15,2787658	46,6050
1211CP2	46,2310408	15,2877385	46,3285
1212CP2	46,2296174	15,2954968	46,3388
1213CP2	46,1455553	14,6009045	46,4963
1214CP2	46,2260214	15,6384278	46,1082
1215CP2	46,2228137	15,6440683	46,0897
1216CP2	46,3959196	15,5766101	46,2551
1217CP2	46,3854497	15,5670739	46,2531
1218CP2	46,4865613	13,7853888	48,4131
1219CP2	46,4859008	13,7892850	48,4100
1220CP2	46,4849551	13,7917416	48,3984

PRILOGA B: IZHODNA DATOTEKA PROGRAMA ZA TRANSFORMACIJO GEOIDNIH VIŠIN

```
#####  
#  
# Program CMPGPS:  
#  
# =====  
#  
#  
# No. of stations read: 926  
#  
# No. of stations skipped (undefined undulations): 0  
#  
# No. of stations accepted: 926  
#  
# No. of stations accepted having no flag: 926  
#  
# No. of stations accepted having a flag: 0  
#  
#  
#  
  
#####  
#####  
#  
# Output from subroutine NFIT3:  
#  
#  
#####  
  
Subroutine NFIT3:  
=====
```

Undulations for stations without error flag:
=====

Note: Stations without flag are used for the computation
of the fit parameters.

N[GPS]... GPS undulation
N[GRV]... gravimetric undulation
N[GR_B]... gravimetric undulation after bias correction
N[GR_BT]... gravimetric undulation after bias+tilt correction

No.	Station	Latitude	Longitude	N[GPS]	N[GRV]	N[GR_B]	N[GR_BT]
1	1CP	46.549648	15.453153	47.041	47.574	47.011	47.001
2	2CP	46.559512	15.454526	46.993	47.564	47.001	46.991
3	3CP	46.563047	15.431403	47.069	47.602	47.039	47.030
4	4CP	46.563047	15.431403	47.069	47.602	47.039	47.030
5	5CP	46.574771	15.406434	47.125	47.636	47.073	47.064
6	6CP	46.582072	15.352678	47.209	47.710	47.147	47.140
7	7CP	46.591847	15.334131	47.205	47.731	47.168	47.161
8	8CP	46.591847	15.334131	47.205	47.731	47.168	47.161
9	9CP	46.589182	15.319173	47.233	47.751	47.188	47.182
10	10CP	46.587815	15.300284	47.270	47.775	47.212	47.206

...

916	1210C	46.230811	15.278766	46.605	46.895	46.332	46.325
917	1211C	46.231041	15.287739	46.328	46.890	46.327	46.320
918	1212C	46.229617	15.295497	46.339	46.886	46.323	46.316
919	1213C	46.145555	14.600904	46.496	47.023	46.459	46.468
920	1214C	46.226021	15.638428	46.108	46.645	46.082	46.066
921	1215C	46.222814	15.644068	46.090	46.639	46.076	46.061
922	1216C	46.395920	15.576610	46.255	46.850	46.287	46.274
923	1217C	46.385450	15.567074	46.253	46.837	46.274	46.261
924	1218C	46.486561	13.785389	48.413	48.905	48.342	48.371
925	1219C	46.485901	13.789285	48.410	48.903	48.339	48.369
926	1220C	46.484955	13.791742	48.398	48.902	48.339	48.369

No stations with error flag found.

Discrepancies/residuals for stations without flag:

=====

Note: Stations without flag are used for the computation
of the fit parameters.

dn0... discrepancies before fit (N[GPS]-N[GRV])

dn1... residuals after bias fit (N[GPS]-N[GR_B])

dn2... residuals after bias+tilt fit (N[GPS]-N[GR_BT])

No.	Station	Latitude	Longitude	dn0	dn1	dn2
1	1CP	46.549648	15.453153	-0.534	0.029	0.039
2	2CP	46.559512	15.454526	-0.571	-0.008	0.002

3	3CP	46.563047	15.431403	-0.533	0.030	0.039
4	4CP	46.563047	15.431403	-0.533	0.030	0.039
5	5CP	46.574771	15.406434	-0.510	0.053	0.061
6	6CP	46.582072	15.352678	-0.501	0.062	0.070
7	7CP	46.591847	15.334131	-0.526	0.037	0.044
8	8CP	46.591847	15.334131	-0.526	0.037	0.044
9	9CP	46.589182	15.319173	-0.518	0.045	0.051
10	10CP	46.587815	15.300284	-0.504	0.059	0.065

...

916	1210C	46.230811	15.278766	-0.290	0.273	0.280
917	1211C	46.231041	15.287739	-0.562	0.001	0.008
918	1212C	46.229617	15.295497	-0.547	0.016	0.023
919	1213C	46.145555	14.600904	-0.526	0.037	0.028
920	1214C	46.226021	15.638428	-0.537	0.026	0.042
921	1215C	46.222814	15.644068	-0.550	0.013	0.029
922	1216C	46.395920	15.576610	-0.595	-0.032	-0.019
923	1217C	46.385450	15.567074	-0.584	-0.021	-0.008
924	1218C	46.486561	13.785389	-0.492	0.071	0.042
925	1219C	46.485901	13.789285	-0.493	0.071	0.041
926	1220C	46.484955	13.791742	-0.504	0.059	0.030

 Statistics of differences (stations without flag):
 =====

No. of differences:	926	926	926
Mean difference:	-0.563	-0.000	-0.000
RMS difference:	0.570	0.086	0.084
Std. dev. of differences:	0.086	0.086	0.084
Min. difference:	-1.544	-0.981	-0.976
Max. difference:	-0.080	0.483	0.491

 Adjusted fit parameter (bias fit):
 =====

 Adjusted bias (m): -0.563+- 0.003

Corresp. approx. to shift par. X0 (m): -0.376+- 0.002
 Corresp. approx. to shift par. Y0 (m): -0.101+- 0.001
 Corresp. approx. to shift par. Z0 (m): -0.406+- 0.002

Adjusted fit parameters (bias+tilt fit):
 =====

 Standard deviation of weight unit: 0.084

Adjusted shift parameter X0 (m): -0.007+- 0.352

Adjusted shift parameter Y0 (m):	-2.046+-	0.379
Adjusted shift parameter Z0 (m):	-0.266+-	0.376

NS tilt resp. deflect. chg. in P0 ("):	-0.00654+-	0.0176
EW tilt resp. deflect. chg. in P0 ("):	0.06386+-	0.0109
Bias resp. undulation chg. in P0 (m):	-0.563+-	0.003

NS tilt (ppm resp. m/1000 km):	-0.032+-	0.085
EW tilt (ppm resp. m/1000 km):	0.310+-	0.053

Coord. of center of gravity point P0:	46.19612	14.98700
