

Matej Varga, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mvarga@geof.hr
 Daria Dragčević, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: ddragcevic@geof.hr
 Dunja Pinter, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: dpinter@geof.hr
 Martina Ramić, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mramic@geof.hr
 Ivan Topolovec, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▶ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: itopolovec@geof.hr

Regionalni geoidi u svijetu

SAŽETAK: Ovaj pregledni rad nastao je u sklopu kolegija Određivanje oblika Zemlje (diplomski studij Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za geomatiku). Rad je rezultat istraživanja dosadašnjih postignuća na području određivanja regionalnih geoida. Za Europu, Afriku, Australiju, Sjevernu i Južnu Ameriku prezentirana su najnovija rješenja regionalnih (kontinentalnih) geoida s kratkim osvrtom na metode računanja, na vrstu i količinu upotrijebljenih podataka te na pripadajuću ocjenu točnosti.

S obzirom na veliku dinamiku razvoja globalnih geopotencijalnih modela te poboljšanje točnosti regionalnih i lokalnih geoida posljednjih godina, u obzir su uzeti samo najnoviji rezultati. Regionalni se geoidi u suvremeno doba dobivaju iz podataka različite točnosti, gustoća i homogenosti. Podaci se dobivaju kombinacijom različitih svemirskih, satelitskih i terestričkih geodetskih tehnika i zato je posve jasno kako zadatak određivanja regionalnih geoida zahtijeva velike napore i međusobnu suradnju svih nacionalnih geodetskih institucija na regionalnom i globalnom nivou.

KLJUČNE RIJEČI: kvazigeoid, regionalni geoidi, EGG2008, AGP2006, AUSGeoid09, GEOID09, CGG2010, Geoid2010

Regional geoids in the world

SUMMARY: This review paper is a result of the regional geoid research project within the college subject »Determination of the Earth's shape« (graduate studies, Department of Geomatics at Faculty of Geodesy, University of Zagreb). Latest results of regional (continental) geoid models are presented for European, African, Australian, North and South-American continent, with close review on methods of computation, type and quantity of used data and corresponding accuracy and reliability.

Considering fast development in global geopotential modeling and great improvements in accuracy of regional and local models in recent years, only the latest results were presented. In the modern era, regional geoid models are developed from data of different accuracy, density and homogeneity. Nowadays, combination of different space, satellite and terrestrial geodetic techniques results with different types of data and it is therefore quite clear that the task of determining the regional geoid models requires great effort and mutual cooperation of all national geodetic agencies on regional and global level.

KEYWORDS: quasi-geoid, regional geoid, EGG2008, AGP2006, AUSGeoid09, GEOID09, CGG2010, Geoid2010

1. UVOD

Ubrzani proces realizacije horizontalnih i vertikalnih nacionalnih i regionalnih referentnih sustava dovodi GNSS mjerenja u vrlo važan položaj. Rezultat GNSS mjerenja su elipsoidne visine (h) iznad referentnog WGS84 elipsoida. Transformacija visina u ortometrijski ili normalno-ortometrijski visinski sustav (H ili H') zahtijeva poznavanje plohe geoida ili kvazigeoida. Plohu geoida C. B. Gauss definirao je kao (...) fizičku površinu Zemlje koja svugdje pod pravim kutom presijeca smjer ubrzanja sile teže i čiji jedan dio koincidira s površinom oceana. Geoid je ekvipotencijalna nivo-ploha referentna za ortometrijski sustav visina, a veza s elipsoidom uspostavlja se pomoću undulacije geoida (N), kao $N=h-H$ (Bašić, 2006).

U osnovi je geoid, kao nivo-ploha koja najbolje odgovara srednjoj razini mora, idealan datum. Detaljno poznavanje rasporeda (gustoće) topografskih masa između geoida i fizičke površine Zemlje gotovo je nemoguće pa je ispravnije govoriti o definiranju kvazigeoida koji je ujedno referentna ploha za normalno-ortometrijske visine. Kvazigeoid se određuje nanošenjem anomalija visina iznad elipsoida. Anomalija visina je razlika između elipsoidne i normalno-ortometrijske visine (H'). Određivanje geoida, tj. kvazigeoida na području od interesa (lokalnom, državnom, regionalnom ili globalnom) zapravo znači računanje undulacija geoida N ili anomalija visina ζ u diskretnim točkama (Hofmann-Wellenhof i Moritz, 2005).

Globalni geopotencijalni modeli (GGM ili engl. Earth GravitationaModel - EGM) predstavljaju model kuglinih funkcija, tj. kuglinih harmonika, a matematički se definiraju razvojem potencijala Zemljina polja ubrzanja sile teže u red po sfernim funkcijama. Modeli služe za računanje fizikalnih parametara (anomalija ubrzanja sile teže, poremećaja ubrzanja sile teže, anomalija visina, komponenti otklona vertikalne, itd.), tj. geoida za bilo koju točku na fizičkoj površini Zemlje. Točnost i realističnost modela trebala bi rasti porastom reda i stupnja razvoja u red po sfernim funkcijama. Do unazad nekoliko godina, globalni geopotencijalni modeli razvijali su se najčešće do 360-og stupnja i reda. Danas se kombinacijom satelitskih misija i terestričkih podataka dobivaju modeli čak do reda i stupnja 2160 (2190) (Hećimović i Bašić, 2002; Pavasović, 2007).

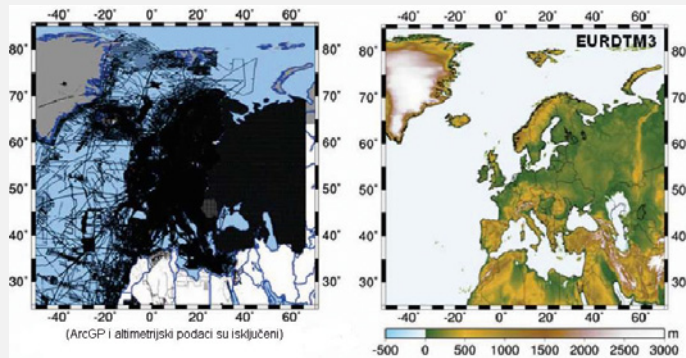
Najnovijim satelitskim misijama (CHAMP, GRACE, GOCE) očekuje se rješenje globalnog GGM-a točnosti oko 1 – 2 centimetra na udaljenosti do 100 km. Nakon što je GOCE u orbiti proveo tek 2 godine, Europska svemirska agencija (engl. European Space Agency - ESA) je u ožujku 2011. godine objavila prvi GOCE GGM globalne točnosti nekoliko cm. No, i u slučaju da GOCE misija na koncu da rezultat dugovalne undulacije geoida s pogreškom od jednog centimetra, to i dalje ne bi bilo dovoljno za određivanje dovoljno točnih i geodetski primjenjivih regionalnih geoida.

Zato se suvremeni (regionalni) geoidi najčešće određuju kombiniranom uporabom različitih podataka (Bašić i dr., 1999):

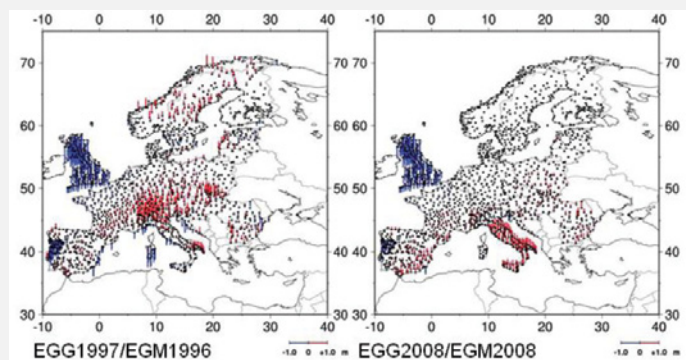
- Podaci iz GGM-a: koriste se za modeliranje dugovalnih komponenti gravitacijskog polja, a zadaju se razvojem u red po sfernim funkcijama koji se računaju rješavanjem Stokesovog problema graničnih vrijednosti.
- Diskretni terestrički podaci: za modeliranje srednjevalnih komponenti gravitacijskog polja. Uključuju podatke poput: poremećaja ubrzanja sile teže, anomalija slobodnog zraka, komponenti otklona vertikalne, GPS/nivelmanske ili altimetrijske geoidne undulacije ili visinske anomalije, itd.
- Podaci iz digitalnih modela reljefa - DMR-a (engl. Digital Elevation Model - DEM) ili digitalnih modela terena - DMT-a (engl. Digital Terrain Model - DTM): za modeliranje kratkovalnih i ultrakratkih struktura gravitacijskog polja zbog visoke korelacije s lokalnom topografijom. DMR uključuje topografske i batimetrijske podatke vezane za Zemljinu površinu, bez vegetacije i izgrađenih objekata, dok DMT uključuje vegetaciju, izgrađene objekte i prijelomne linije u svrhu bolje aproksimacije terena. Za određivanje geoida prikladnije je koristiti DMR.

Posljednjih je godina predloženo mnogo različitih metoda za određivanje regionalnog geoida. Izvjesno je da nijedna od poznatih metoda u svim slučajevima i kombinacijama podataka različite točnosti, homogenosti i gustoće ne daje najbolje rezultate. Predložene metode mogu se klasificirati na različite načine, a osnovna je razlika koristi li se tzv. tehnika *remove-compute-restore* s obzirom na GGM i topografiju ili se izravno koriste nereducirane anomalije ubrzanja sile teže (u skladu s teorijom Molodenskog). Metode se razlikuju i u načinu procjene undulacija geoida (visinskih anomalija) iz anomalija ubrzanja sile teže. Tri najkorištenije metode su: numerička integracija uz pomoć modificirane Stokesove formule (tzv. kernel modifikacija), kolokacija po najmanjim kvadratima i tzv. tehnika modeliranja točka-masa. *Remove-compute-restore* tehnike međusobno se razlikuju ovisno o korištenim topografskim redukcijama. Helmertova kondenzacijska redukcija i rezidualno modeliranje topografije (engl. Residual Terrain Modelling - RTM) dvije su najkorištenije metode topografskih redukcija (Agren, 2004).

Projekti određivanja regionalnih geoida odvijaju se pod nadležnošću Međunarodne unije za geodeziju i geofiziku (engl. International Union of Geodesy and Geophysics - IUGG), odnosno Međunarod-



Slika 2.1. Gravimetrijski (lijevo) i visinski podaci (desno)



Slika 2.2. Usporedba EGG1997 i EGG2008 s EUVN-DA podacima

ne udruge za geodeziju (engl. International Association of Geodesy - IAG). Na IUGG kongresu u Sapporou (Japan) 2003. godine, u sklopu Komisije II. (Komisija za gravitacijsko polje), dani su pregledi dotadašnjih postignuća i ustanovljeni planovi i okviri za budući razvoj regionalnih i kontinentalnih geoida (URL-1, završno izvješće Komisije II: URL-2).

2. EUROPSKI GRAVIMETRIJSKI GEOID – EGG2008

Najnovija rješenja europskog geoida EGG2007 i EGG2008 rezultat su Europskog projekta za silu težu i geoid (engl. European Gavity and Geoid Project - EGGP). EGGP se intenzivno počeo razvijati na IFE-u (njem. Institut für Erdmessung) u Hannoveru, nakon kongresa u Sapporou. Osnovna razlika između EGG2007 i EGG2008 rješenja je u upotrijebljenom GGM-u. U EGG2007 rješenju koristio se kombinirani GRACE GGM EIGEN-GL04C, a u EGG2008 rješenju EGM2008. Baza gravimetrijskih podataka je do 2007. godine popunjena novim ili revidiranim podacima za gotovo sve europske zemlje. U novo rješenje uključeni su i podaci ArcGP (Arktik) i KMS2002 modela altimetrijskih anomalija te je upotrijebljen zajednički položajni (ETRS89) i visinski (EVRS) referentni sustav i sustav za silu težu (sustav apsolutnih vrijednosti ubrzanja sile teže). U 2008. godini popravljene su gravimetrijske vrijednosti za područje Grčke i Turske (apsolutni nivo), dodani su novi izvori podataka i 1' altimetrijske anomalije te su nedostajući podaci u Africi i na Kavkazu popunjeni EGM2008 vrijednostima (slika 2.1 lijevo). Za potrebe dobivanja visoko-frekventnog dijela Zemljina polja ubrzanja sile teže priređen je 3"x3" EURDTM3 model topografije s 6,6 milijardi visina (slika 2.1 desno) (Denker i Bašić, 2011). Kao metoda računanja europskog geoida primijenjena je metoda numeričke integracije, poznata kao spektralna kombinacija transformacije polja, koristeći 1D brzu Fourierovu transformaciju (engl. Fast Fourier Transform - FFT) i posebno definirane spektralne težine u uobičajenoj *remove-restore* tehnici računanja (Denker i Bašić, 2011).

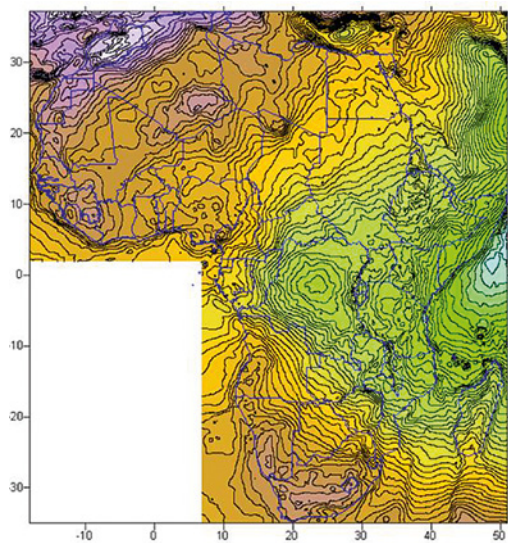
Upotreba globalnih geopotencijalnih modela koji su rezultat GRACE satelitske misije, kao i novih ili ažuriranih podataka za silu težu i topografiju, rezultirala je poboljšanim europskim geoidom

EGG2008 u odnosu na ranija rješenja. Značajno poboljšanje kvalitete zadnjeg rješenja vidljivo je u njegovom puno boljem slagaju s GNSS/nivelnanskim podacima na kontrolnim točkama u više zemalja Europe. U pojedinim zemljama poboljšanje prelazi i 70%. Usporedba na 1536 EUVN-DA točaka (geodetske točke uspostavljene u sklopu projekta European Vertical Reference Network - Densification Action) pokazuje 50%-tno poboljšanje EGG2008 u odnosu na EGG1997 na razini cijele Europe, s izuzetkom Velike Britanije i Italije koje su zbog sustavnog neslaganja isključene iz usporedbe (Denker i Bašić, 2011). Srednje kvadratno odstupanje za EGG1997 rješenje iznosi $\pm 16,8$ cm, dok za EGG2008 rješenje srednje kvadratno odstupanje iznosi $\pm 8,3$ cm (slika 2.2).

3. AFRIČKI REGIONALNI GEOID – AGP2006

Afrički geodetski referentni okvir (AFREF) zamišljen je kao univerzalni kontinentalni referentni okvir konzistentan s Međunarodnim terestričkim referentnim okvirom (engl. International Terrestrial Reference Frame - ITRF). Realizacija horizontalnog okvira u Africi odvija se uspostavom permanentnih GNSS stanica na nacionalnoj razini, dok se realizacija vertikalnog okvira odvija u sklopu projekta za određivanje afričkog geoida (engl. African Geoid Project - AGP). Jedan od ciljeva projekta je postavljanje GNSS/nivelnanskih kontrolnih točaka u svakoj zemlji na kritičnim točkama nacionalnih vertikalnih mreža (Merry, 2003). J.L. Merry (Južnoafrička Republika-JAR), H. A. Elmoatai (Egipat) i A. Parker (JAR) su trojica znanstvenika s najvećim doprinosom u određivanju afričkog modela geoida.

Prvo rješenje afričkog regionalnog geoida AGP2003 (slika 3.1) odredila je skupina znanstvenika sredinom 2003. godine, dok je posljednji model AGP2006 izračunat krajem 2006. godine.



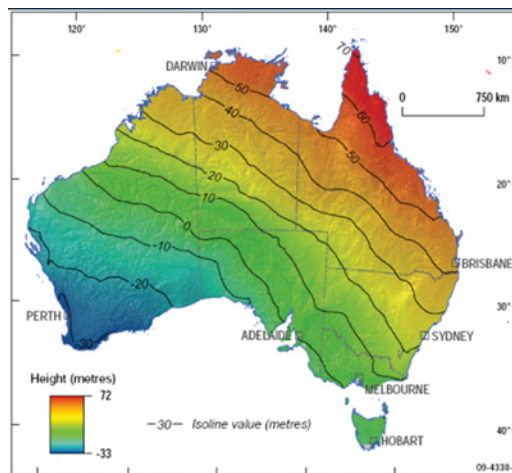
Slika 3.1. AGP2003 model

Podaci korišteni za računanje AGP2006 modela su iz CHAMP-GRACE kombiniranog globalnog gravitacijskog modela CG03C (sa stupnjem razvoja do 120), EGM2006 globalnog geopotencijalnog modela, terestričkih točaka i srednjih anomalija (dobivenih sa Sveučilišta u Cape Town-u u JAR-u i Leeds-u u Ujedinjenom Kraljevstvu), KMS02-2' x 2' modela srednjih vrijednosti gravitacijskih anomalija dobivenih oceanskom altimetrijom (dobivenih iz danskog svemirskog centra; Danish National Space Center - DNSC) i SRTM 30" DMR-a. Točnost AGP2006 modela testirana je usporedbom s GPS/nivelnanskim podacima na točkama u JAR-u i Alžiru. Za 62 točke u JAR-u dobivena je srednja kvadratna pogreška oko ± 18 cm, dok je za 14 točaka u Alžiru to ± 27 cm (Merry, 2003). Bit će potrebno još puno truda i vremena da se za cijeli afrički kontinent realizira ploha geoida sa zadovoljavajućom točnošću (kao npr. u najvećem dijelu Europe).

4. AUSTRALSKI GEOID – AUSGEOID09

Projekt određivanja australskog geoida započeo je krajem šezdesetih godina prošlog stoljeća. Prvi gravimetrijski model geoida odredio je Mather 1969. godine. Ti prvi modeli geoida nisu obuhvaćali područje cijelog kontinenta, već su određivani za lokalna područja. Devedesetih godina prošlog stoljeća pokrenut je projekt određivanja regionalnog geoida za područje cijelog australskog kontinenta. Prvi regionalni model geoida je AUSGeoid91, nakon kojega su uslijedili modeli AUSGeoid93, AUSGeoid98 i najnoviji model AUSGeoid09.

AUSGeoid09 (slika 4.1) je najnoviji gravimetrijski model geoida u rezoluciji 1' x 1'. Naknadno je uklopljen u Australski visinski datum iz 1971. godine (AHD), a budući da je AHD većinom realiziran temeljem podataka nivelmana trećeg reda, javlja se nagib u smjeru sjever-jug od oko 1 metra, uz regionalne deformacije od 0,5 metara u odnosu na geoid. To zapravo znači da elipsoidne visine iz GNSS mjerenja i normalno-ortometrijske visine u AHD-u nisu ni približno jednake.



Slika 4.1. AUSGeoid09 model

Gravimetrijska komponenta modela geoida izračunata je kombinacijom *remove-compute-restore* tehnike i determinističke modifikacije Stokesovog kernela stupnja 40, preko sferne kape radijusa 1°.

Za referentno polje korišteni su potpuno normalizirani sferni harmonijski koeficijenti globalnog geopotencijalnog modela EGM2008 do stupnja 2190. U računanje je uključeno i oko 1,4 milijuna anomalija ubrzanja sile teže za kopneno područje, 1' x 1' altimetrijski model anomalija ubrzanja sile teže DNSC2008GRA (s danskog DNSC-a) za područja na moru, 9" x 9" GEODATA-DEM9S digitalni model visina za Australiju i ponovno izjednačeni podaci Australske nacionalne nivelnanske mreže (ANLN). Parametri numeričke integracije određeni su usporedbom gravimetrijske komponente AUSGeoid09 modela geoida s 911 GNSS/nivelnanskih točaka. Standardno odstupanje GNSS i AHD razlika visina na svim točkama iznosi $\pm 22,2$ cm, a za ponovno izjednačene GNSS-ANLN visine $\pm 13,4$ cm. To je ukazalo na probleme postojećeg visinskog sustava i važnost kvalitetnog razvoja precizne nivelnanske mreže za određivanje geoida.

Dostupna verzija AUSGeoid09 modela uključuje i geometrijsku komponentu koja modelira razliku između gravimetrijskog geoida i površine nulte elevacije AHD-a na 6794 repera. To aposteriori uklapanje površine izvedeno je provjerom u zajedničkim čvorištima, uz primjenu metode najmanjih kvadrata. Nakon uklapanja, standardno odstupanje je smanjeno na ± 30 mm, od čega je jedna trećina pripisana nepouzdanosti GNSS-om dobivenih elipsoidnih visina.

Servis za transformaciju elipsoidnih u AHD visine dostupan je na službenim internetskim stranicama australske Agencije za geoznanosti (URL-3), (Featherstone i dr., 2011).

5. GEOID SJEDINJENIH AMERIČKIH DRŽAVA – GEOID09

NOAA (engl. National Oceanic and Atmospheric Administration) je američka organizacija kojoj je jedan od ciljeva razumijevanje i predviđanje promjena u Zemljinu okolišu te očuvanje i upravljanje obalnim i morskim resursima kako bi se zadovoljile ekonomske, socijalne i ekološke potrebe SAD-a. NGS (engl. National Geodetic Survey) je institucija u nadležnosti NOAA-e, zadužena za definiranje i održavanje nacionalnog prostornog referentnog sustava (NSRS). NSRS je koordinatni sustav koji definira širinu, dužinu, visinu, mjerilo, silu težu i orijentaciju točaka geodetskih mreža (prostornih i visinskih)

preko cijelog teritorija SAD-a. U nadležnosti NGS-a je i objavljivanje službenih modela geoida. Najnoviji model geoida je GEOID09 (slika 5.1). GEOID09 je uglačani hibridni (kombinirani) model geoida koji je zamijenio prethodne GEOID06, GEOID03, GEOID99, GEOID96, GEOID93 i GEOID90 modele. Ovaj je model namijenjen transformaciji visina iz NAD83 elipsoidnog referentnog okvira u visinske datume NAVD88, GUV04, ASVD02, NMVD03, PRVD02 i VIVD09.

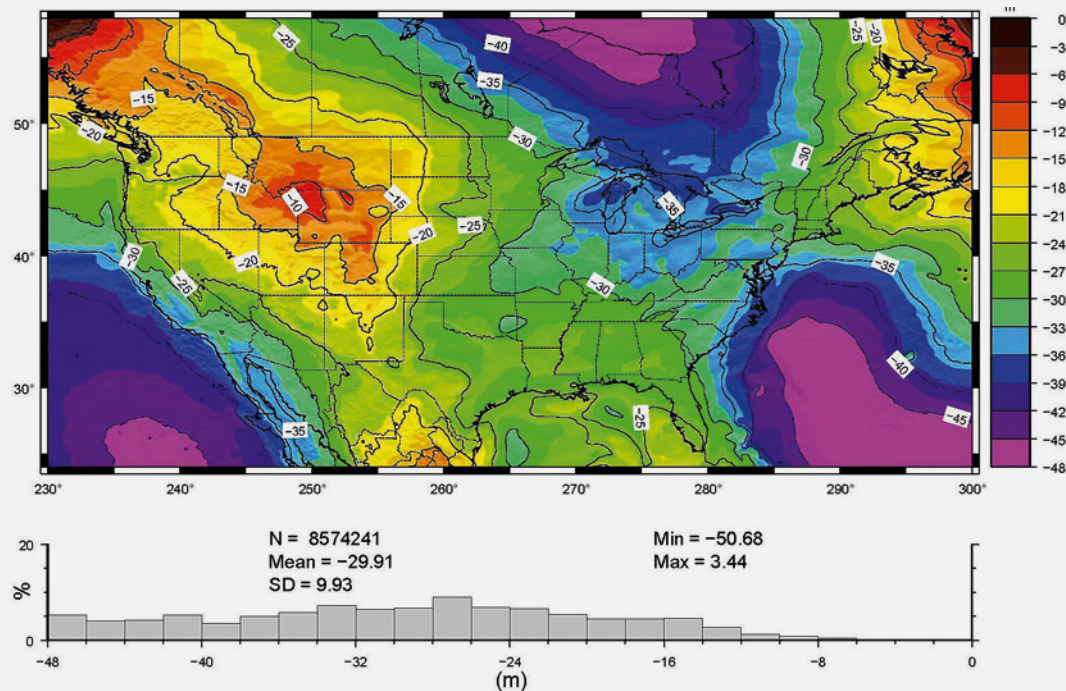
GEOID09 se temelji na gravimetrijskom geoidu USGG2009 koji je razvijen za područje SAD-a, a u osnovi je izračunat pomoću podataka 1' x 1' gravimetrijske mreže (NGS baza gravimetrijskih podataka), DNSC08 (engl. Danish National Space Center) altimetrijski dobivenih gravitacijskih anomalija, SRTM-DTED1 3" digitalnog modela terena i globalnog geopotencijalnog modela EGM2008 koji je u *remove-compute-restore* tehnici računanja korišten do reda i stupnja $n=m=120$.

Za kontrolu USGG2009 geoida korišteni su kontrolni podaci repera na kojima su poznate elipsoidne i nivelirane ortometrijske visine. Za modeliranje sustavnih pogrešaka u nastalim rezidualima korištena je MMLSC (engl. Multi Matrix Least Squares Collocation) tehnika. MMLSC tehnikom dobivene su matematičke funkcije pomoću kojih se odredila konverzijska površina za transformaciju USGG2009 u GEOID09. Točnost modela GEOID09 je 3 cm s 95%-tnom razinom pouzdanosti, što je duplo bolji rezultat od prethodnog GEOID06 modela (URL-5).

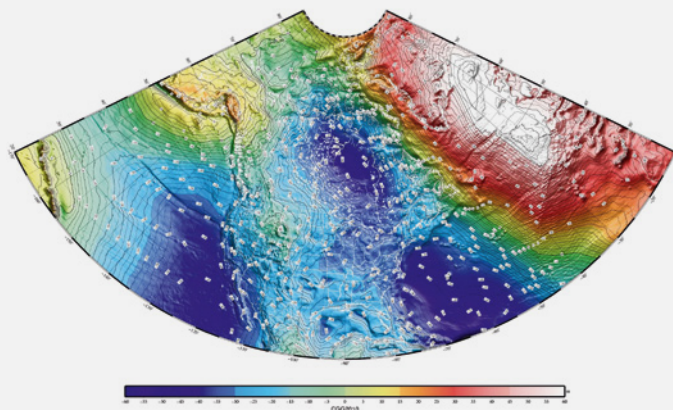
6. KANADSKI GEOID – CGG2010

NRCan (engl. Natural Resources Canada) je službena državna organizacija odgovorna za održavanje Kanadskog prostornog referentnog sustava (CSRS) čiji servisi omogućuju dobivanje geodetskih veličina (geodetsku širinu i dužinu, visinu i vrijednost ubrzanja sile teže) u službenom položajnom, visinskom i gravimetrijskom datumu (URL-4). U nadležnosti NRCan-a je i objavljivanje službenih modela geoida, tako da je tijekom posljednjih 20 godina objavljeno pet gravimetrijskih modela.

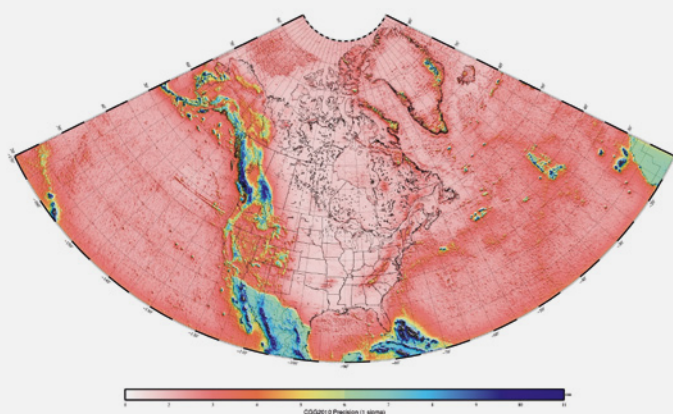
CGG2010 model (slika 6.1) najnoviji je kanadski službeni geoid za koji su prije samoga računanja obavljene analize postojećih gravimetrijskih mreža, analize različitih globalnih geopotencijalnih modela (satelitska rješenja su GOCE i GRACE/GOCE, dok su kombinirana rješenja EGM2008 i EGM2008/GOCO01S), analize različitih stupnjeva modifikacije kod metode Stokesovog kernel integrala. Na temelju



Slika 5.1. GEOID09 model



Slika 6.1. CGG2010 model



Slika 6.2. Procijenjena točnost modela CGG2010

dostupnih podataka izračunata su 54 preliminarna modela geoida, a nakon uključivanja različitih kombinacija globalnih geopotencijalnih modela dobiveno je 20 modela. Najbolje rješenje dobiveno je kernel modifikacijom Stokesovog integrala do stupnja 120, čime je određena detaljna struktura geoida, dok je za modeliranje dugovalnih komponenata geoida i eliminaciju rubnih efekata korišten kombinirani GGM model EGM08/GOCO01S (do reda i stupnja $n=m=2190$).

Na slici 6.2 dana je procjena točnosti modela CGG2010. U budućnosti će SAD i Kanada, zbog točnosti koja je heterogena u od-

nosu na regionalnu i lokalnu razinu, zamijeniti trenutačno korištene visinske datume s gravimetrijskim visinskim datumima kojima bi osnova bila najnovije izračunati geoidi. Trenutačno su u fazi realizacije dva projekta; projekt modernizacije referentnog sustava Kanade i projekt uspostave gravimetrijske mreže za redefiniranje američkog visinskog datuma (GRAV-D) (URL-4).

7. JUŽNOAMERIČKI REGIONALNI GEOID – GEOID2010

Južnoamerički regionalni geoid – Geoid2010 izračunat je korištenjem podataka anomalija slobodnog zraka (925878 gravimetrijskih podataka mjerenja), podataka potpunih Bouguerovih anomalija i Helmertovih anomalija ubrzanja sile teže, globalnog geopotencijalnog modela EGM2008 (do reda i stupnja $n=m=150$), digitalnog modela terena SAM_3sv2 i gravimetrijskog altimetrijskog satelitnog modela DNSCO8.

Brazilski institut za geografiju i statistiku (port. Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia IBGE), Nacionalna Geoprostorna Agencija (engl. National Geospatial Agency - NGA), Geophysical Technology (GETECH), Međunarodni gravimetrijski biro (engl. International Gravimetric Bureau - IGB) te razne civilne i vojne institucije doprinijele su pokrivenosti gravimetrijskim podacima i validaciji ostalih postojećih podataka. Određivanju južnoameričkog geoida naročiti doprinos dale su Argentina, Brazil, Čile, Kolumbija, Urugvaj i Paragvaj.

Podaci potpunih Bouguerovih anomalija izračunati su iz anomalija slobodnog zraka na opažanim točkama, uz dodavanje Bougerove korekcije kao funkcije visine iz gravimetrijske baze podataka (slika 7.1) i korekcije reljefa. Podaci srednjih anomalija slobodnog zraka izračunati su iz potpunih Bouguerovih anomalija rezolucije 5', dok su podaci za ocean dobiveni iz altimetrijskog modela DNSCO8. Podaci Helmertovih anomalija ubrzanja sile teže dobiveni su sumiranjem srednjih anomalija slobodnog zraka, direktnih i sekundarnih indirektnih topografskih utjecaja na gravitacijsko privlačenje, direktnog atmosferskog utjecaja i geoidne korekcije. Računanje modela Geoid2010 (slika 7.2) obavljeno je programskim paketom SHGEO (engl. Stokes-Helmert's Geoid software) (URL-6). Za računanje je korišten modificirani Stokesov integral, uz primjenu brze Fourierove transformacije (FFT). Prosječna vrijednost visinske anomalije na području Južne Amerike je 0,44 m, minimum -57,83 m, a maksimum 48,46 m.

Kao prva kontrola napravljena je usporedba Geoida2010 s visinskim anomalijama dobivenima iz geopotencijalnog modela

Tablica 7.1. Razlika Geoid2010-EGM08

Min. [m]	Maks. [m]	Sred. [m]	St. dev. [m]
-10,51	3,61	-0,02	0,42

EGM2008 ($n=m=2160$) (slika 7.3). U tablici 7.1. dana je statistika razlika južnoameričkog regionalnog geoida i globalnog geopotencijalnog modela EGM08, pri čemu srednje kvadratno odstupanje razlika iznosi ± 42 cm (URL-7).

Točnost Geoid2010 modela također je testirana usporedbom s GPS/nivelmanskim podacima na 1304 repera nivelmanske mreže Južne Amerike. Dobiveno srednje kvadratno odstupanje iznosi ± 72 cm, što jasno ukazuje na potrebu daljnjih istraživanja.

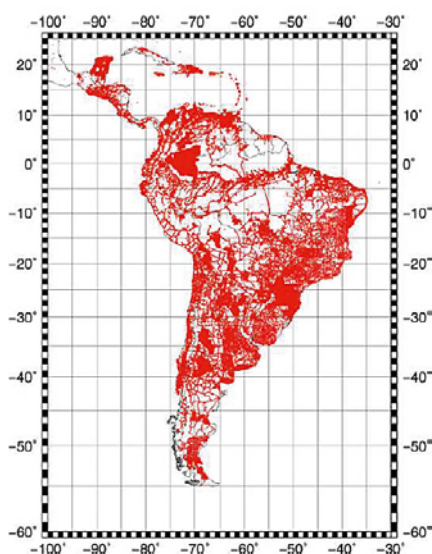
8. ZAKLJUČAK

U okviru EGGP-a u Europi je do danas ostvaren značajan napredak vezan uz prikupljanje i homogenizaciju gravimetrijskih i topografskih podataka visoke preciznosti i rezolucije. Također, upotreba GRACE globalnih geopotencijalnih modela rezultirala je znatno poboljšanim europskim modelom geoida EGG2008 u odnosu na ranija rješenja. U nekim europskim državama vidljivo je značajno poboljšanje kvalitete EGG2008 rješenja (čak preko 70% u odnosu na prethodno rješenje).

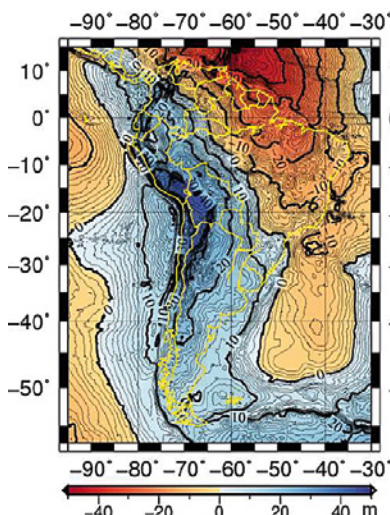
I novi model australskog geoida AUSGeoid09 dao je poboljšanje u odnosu na prethodni AUSGeoid98 model, ali i ukazao na nedostatke postojećeg visinskog datuma. Izvjesna je potreba za definiranjem novog visinskog datuma koji će se temeljiti na preciznijim nivelmanskim mjerenjima. Ipak, AUGGeoid09 je korisnicima omogućio brže i praktičnije dobivanje visina u službenom Australskom visinskom datumu, uz garantirano standardno odstupanje od ± 30 mm.

Određivanje službenih modela regionalnih geoida u SAD-u i Kanadi započelo je prije dvadesetak godina. U zadnjim je modelima CGG2010 i GEOID09 postignut značajan napredak uslijed korištenja točnijih GGM-ova, većeg broja gravimetrijskih podataka te poboljšanja metode i tehnike određivanja geoida.

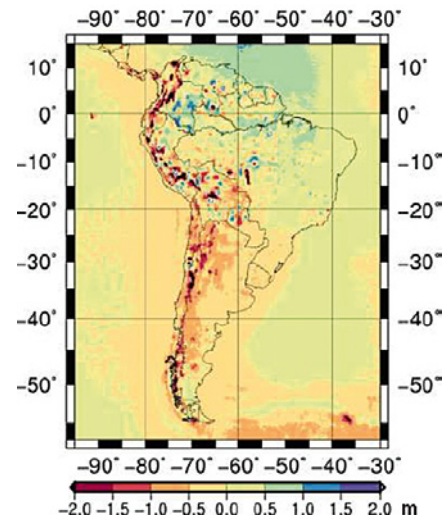
U usporedbi GPS/nivelmanskih podataka na identičnim točkama EGM2008 modela i južnoameričkog Geoida2010 pokazalo se kako najnoviji model geoida nije zadovoljavajuće točnosti. Nužno je u budućim projektima određivanja južnoameričkog geoida usmjeriti pozornost i djelovanje na uspostavu jedinstvene i zajedničke nivelmanske mreže, odnosno unificiranog modela geoida radi konačne uspostave novog unificiranog visinskog referentnog sustava.



Slika 7.1. Pokrivenost gravimetrijskim podacima u Južnoj Americi 2010. god.



Slika 7.2. Južnoamerički regionalni model Geoid2010



Slika 7.3. Grafički prikaz razlika visinskih anomalija Geoida2010 i EGM08

Evidentno je da je od svih dostupnih regionalnih geoida stanje u Africi najgore. Prilikom određivanja AGP2003 i AGP2006, znanstvenici su se susretali s mnogim problemima poput nepoznate preciznosti GGM-a na području Afrike, nehomogenosti dostupnih podataka, nepostojanja preciznih nivelmanskih i GNSS permanentnih mreža, slabe pokrivenosti gravimetrijskim podacima itd. Zbog svih tih problema i nepostojanja pouzdane ocjene točnosti, ne zna se kolika je realna vrijednost izračunatih AGP2003 i AGP2006 geoida. Pred Afrikom je još mnogo godina rada, dok se ne stvore uvjeti za računanje zaista upotrebljivog regionalnog geoida.

LITERATURA

- Agren, J. (2004): Regional geoid determination Methods for the Era of Satellite Gravimetry, Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Bašić, T., Brkić, M., Sünkel, H. (1999): A New, More Accurate Geoid for Croatia, Physics and Chemistry of the Earth (A), vol. 24, no. 1 i Solid Earth and Geodesy, Special Issue: Recent Advances in Precise Geoid Determination Methodology, Science Ltd, str. 67-72.
- Bašić, T. (2006): Državna izmjera, skripta i folije s predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- Denker, H., Bašić, T. (2011): Europski gravimetrijski geoid EGG2008 i hrvatski geoid HRG2009, Zbornik radova 2. CROPOS konferencije, Zagreb, 8. travnja 2011., str. 59-69.
- Featherstone, W. E. i dr. (2011): The AUSGeoid09 model of the Australian Height Datum, Journal of Geodesy, vol. 85, no. 3, str. 133-150.
- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2002): Globalni geopotencijalni modeli na teritoriju Hrvatske, Geodetski list, god. 57 (80), broj 2, str. 73-89.
- Hofmann-Wellenhof, B., Moritz, H. (2005): Physical geodesy, Springer Verlag Wien, ISBN-10 3-211-23584-1, str. 157-173.
- Merry, C. L. (2003): The African Geoid model Project and its relevance to the unification of African vertical reference frames (AFREF). 2nd FIG Regional conference, Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.
- Pavasović, M. (2007): Analiza globalnih geopotencijalnih modela reda i stupnja do 360 na području Republike Hrvatske, Ekscentar, br. 10, str. 70-78.
- URL-1: International union of Geodesy and Geophysics, XXIII General Assembly, <http://www.iugg.org/assemblies/2003sapporo/>, (prosinac 2011.).
- URL-2: International Association of Geodesy, Commission 2, [http://www.iag\(...\)-\(...\).aig.org/attach/\(9316bd52b9894897de444a340660ae5f/commission2.pdf](http://www.iag(...)-(...).aig.org/attach/(9316bd52b9894897de444a340660ae5f/commission2.pdf), (prosinac 2011).
- URL-3: Australian Government, Geoscience Australia, <http://www.ga.gov.au/geodesy/ausgeoid/nvalcomp.jsp>, (siječanj 2012.).
- URL-4: Natural Resources Canada, http://www.geod.nrcan.gc.ca/index_e.php, (prosinac 2011).
- URL-5: National Oceanic and Atmospheric Administration http://sos.noaa.gov/noaa_descrip.html, (prosinac 2011.).
- URL-6: University of New Brunswick, SHGEO software manual, http://gge.unb.ca/Research/GRL/GeodesyGroup/SHGeo/Manual/SHGeo_manual_II_v2.pdf, (prosinac 2011.).
- URL-7: SIRGAS, Recent progress of the geoid in South America, http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol15/42_Blitzkow_et_al_Geoid_in_South_America.pdf, (studen 2011.). ☺

Akcija
do 1.6.2012.
49.000,00 kn + PDV

- GPS + GLONAS 220 kanala
- GPRS povezivanje na CROPOS
- UHV primopredajnik (baza/rover)
- Baterije za 10 sati rada
- BlueTooth povezivanje sa registratorom
- HDS2003 program za izjednačenje mreža
- Registrator WIN CE sa 3Mpix kamerom.

JEDNOSTAVAN
ZA KORIŠTENJE

+
besplatan program za
IZRADU ZIS (nove teh.spec.)
datoteka i sve transformacije

+
sve poznate transfor.
i visinski sustavi
UGRAĐENI u registrator

CADCOM 01/6554-541