

Mudelpindade EST-GEOID2011 ja EST-GEOID2003 omavahelistest erinevustest ning võimalikust üleminekust uuele kõrgussüsteemile

Tõnis Oja¹, Artu Ellmann², Harli Jürgenson³, Tarmo Kall³ – ¹Maa-amet, ²Tallinna Tehnikaülikool, ³Eesti Maaülikool, e-post: tonis.oja@maaamet.ee

Keskonnaministeerium kehtestas 26.10.2011 määrusega nr 64 geoidi uue mudelpinna EST-GEOID2011 Eesti Vabariigi geodeetilise süsteemi koostisosaks. Seega asendab see eelmise „ametliku“ geoidimudeli EST-GEOID2003, mis võeti kasutusele 2004. aastal. Käesolevas ajakirjas ilmuv Ellmann jt artikkel kirjeldab põgusalt EST-GEOID2011 valmimislugu. Ka on eestikeelsele lugejale senist EST-GEOID2003 juba varasemalt tutvustatud (näiteks vt Geodeet nr 28 või 40). Käesolev kirjutis saabki seetõttu ilma pikema sissejuhatuseta keskenduda nimetatud mudelite omavahelistele erinevustele ning nende võimalikele põhjustele.

1. Gravimeetriliste geoidimudelite erinevused

Igapäevaste geodeetiliste mõõtmiste juures on mudelpinnad EST-GEOID2003 ja EST-GEOID2011 kasulikud EUREF-EST97 ellipsoidaalsete kõrguste teisendamiseks Eestis praegu kehtiva Balti kõrgussüsteemi BK77 kõrgusteks ja vastupidi. Ehk siis teisisõnu, nende abil saab üle minna GNSS-põhistest geodeetilistest kõrgustest (lähtuvalt GRS-80 ellipsoidi pinnast) insenerirakendustes vajalikele absoluutkõrgustele (lähtuvalt merepinnast). Mõlema mudeli lähteks on füüsikalist tegelikkust täpsemini¹ kajastavad gravimeetrilised geoidimudelid. EST-GEOID2011 puhul on selleks GRAV-GEOID2011 ning EST-GEOID2003 aluseks on Jürgenson (2003) gravimeetiline geoidimudel (eraldi nime sellele toona ei antud). GRAV-GEOID2011 ja Jürgenson (2003) omavahelised erinevused on toodud joonisel 1. Olgu täheldatud, et joonisel 1 on parema võrreldavuse huvides eemaldatud mudelite omavaheline keskmine erinevus (–7,9 cm). Selle erinevuse üheks põhjuseks võib olla asjaolu, et globaalse trendi saamiseks kasutati vaadeldavates geoidiarvutustes erinevaid globaalseid geopotentsiaali mudeleid. GRAV-GEOID2011 puhul valiti 2011. aasta alguses avaldatud gradiomeetrilise satelliidi GOCE andmetel põhinev ning astmeni 160 (vastab ruumilisele lahutusele 125 km) reaksarendatud globaalne geopotentsiaali mudel, kusjuures Jürgenson (2003) geoidimudel põhines mudeli EGM96 reaksarendusel kuni astmeni 360 (vastab ruumilisele lahutusele 55 km). Nimetagem, et 1996.

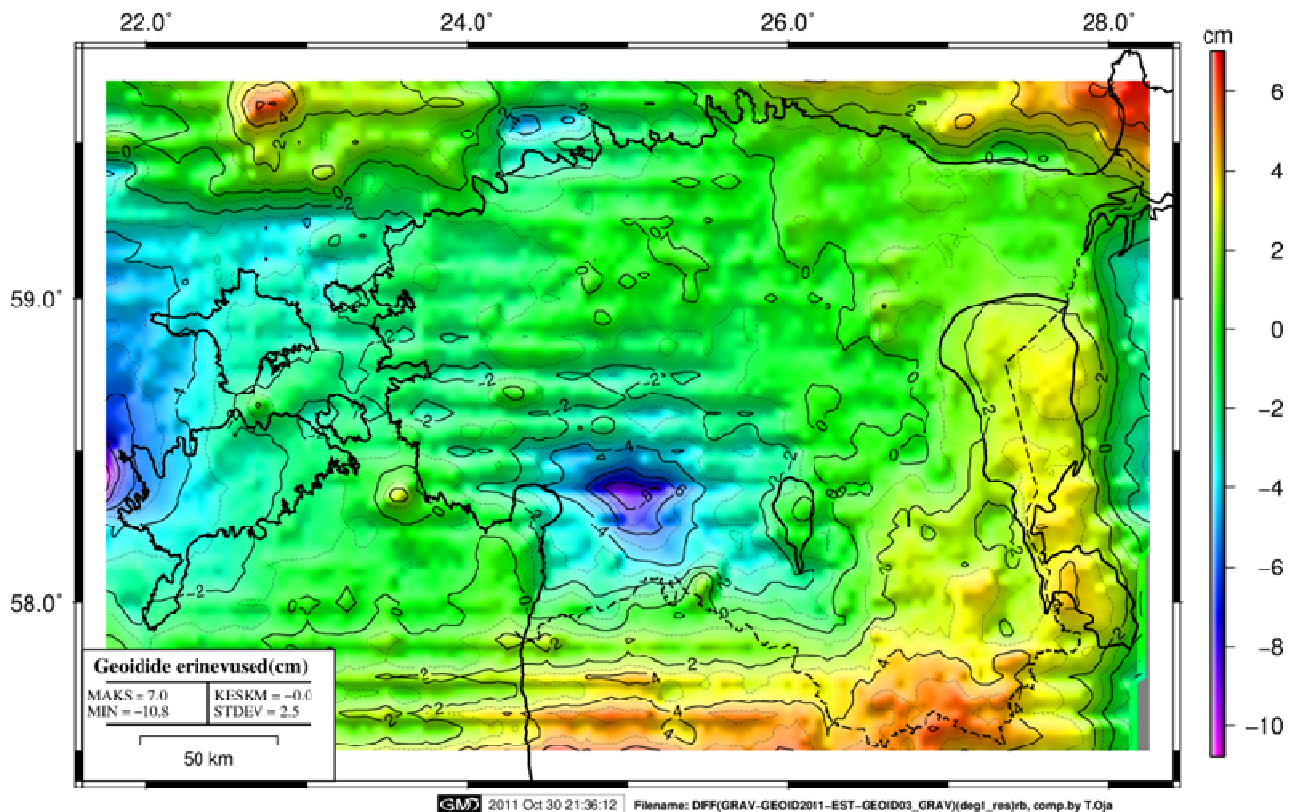
aastal avaldatud kombineeritud EGM96 mudel hõlmab vähe kvaliteetseid satelliitaltimeetria andmeid, puuduvad aga hilisemate ja hoopis olulisemate gravimeetriliste satelliitide (CHAMP, GRACE, GOCE) mõõtmistulemused.

Nii võib pikalainelise iseloomuga kõrvalekalded (näiteks ka vaevumärgatav ida-läänesuunaline kalle) enamjaolt kirjutada kasutatud globaalmodellite erinevuste arvele. Osa pikalainelistest erinevustest võib tuleneda ka kasutatud arvutusmetoodikate erisustest. Nimelt GRAV-GEOID2011 puhul rakendati vähimruutude meetodil modifitseeritud Stokesi integraalvalemit, kuid Jürgenson (2003) puhul oli selleks eemalda-arvuta-taasta põhimõte ning kiirel Fourier' teisendusel (ingl *Fast Fourier Transform, FFT*) põhinev integreerimine. Neist esimene võimaldab näiteks anda geoidiarvutuses kohalikule anomaaliaväljale suurema kaalu, teise eeliseks on aga oluliselt väiksem ajakulu arvutustes. Nimetatud meetodeid on tutvustatud põgusalt ka eestikeelsena, vt näiteks Geodeedi numbreid 25, 28 ja 29.

Hoopis intrigeerivamad on n-ö kohalikud erinevused, mis võivad maismaal küündida kuni detsimeetriteni – vt näiteks Võrtsjärve ja Liivi lahe vahelist ala. Tõenäoliselt on need tingitud erinevatest terrestrilistest lähteandmetest. Nimelt on Eesti Teadusfondi grandil ETF7356 *Kosmosetehnoloogia rakendused geoidi ja gravitatsiooni-välja täpsustamiseks Eesti alal* (vt ka Ellmann jt artiklit käesolevas ajakirjas) raames alates 2008. aastast kogutud ja mõõdetud hulgaliselt uusi gravimeetrilisi andmeid Kagu-, Lõuna- ja Edela-Eestis. See on võimaldanud nendes piirkondades asendada 1949.–1956. aasta ebatäpsed mõõdistuspunktid kaasaegsete gravimeetriliste andmetega, mis on geoidi füüsikalist lahendust selgelt parandanud.

Märgata võib ka ida-läänesuunalisi „kartulivagude“ taolisi moodustisi, nt Edela- ja Lääne-Eestis. Hetkel selget vastust nähtusele anda ei olegi. Üheks põhjuseks võib olla geoidi mudelite võrgustike erinev resolutsioon. Nimelt GRAV-GEOID2011 võrgustiku samm on 1'x2' (Eestis u 1,9 km x 2,0 km), samas kui Jürgenson (2003) puhul oli see 1,5'x3' (2,8 km x 3,0 km). Ka võib „kartulipõllu“ põhjustajaks osutada 2003. aasta arvutuste metoodilised iseärasused. Täpsema selgituse andmine nõuab täiendavaid uuringuid.

¹ Kuna rakendusmodellid EST-GEOID2003 ja EST-GEOID2011 on mõjustatud riikliku kõrgussüsteemi ja -võrguga seotud süstemaatilistest ja juhuslikest vigadest



Joonis 1. Gravimeetriliste geoidimudelite GRAV-GEOID2011 ja Jürgenson (2003) erinevused (2011 miinus 2003). Ühik on cm.

Kokkuvõtvalt, gravimeetrilise geoidi võrreldud mudelite täpsus sõltub kasutatud geopotsiaali mudeli, gravimeetriliste punktandmete, maastikumudeli jms sisendandmete täpsusest ja tihedusest, samuti kasutatud arvutusmetoodikast ning valitud parameetritest. Paraku ei saa gravimeetrilise regionaalgeoidi mudelit praktilistes töodes ehedal kujul kasutada, kuna see ei ühita kohaliku kõrgussüsteemiga. On ju viimane ajalooliselt seotud mõne mereäärse veemõõdujaama keskmise tasemega (meil on selleks seni Kroonlinn), mis ei pruugi kokku langeda globaalgeoidi (maailmamere) nivoo-pinnaga. Gravimeetrilise geoidi ja kohaliku kõrgussüsteemi erinevused tehakse kindlaks GNSS-nivelleerimise (kõrgused kohalikus vertikaaldataumis) punktide abil. Nii toimubki regionaalgeoidi arvutus reeglina kahes etapis. Esmalt arvutatakse gravimeetrilise regionaalgeoidi pind, mis seejärel ühitatakse GNSS-nivelleerimise punktide geodeetiliste ja normaalkõrgustega. Järgnevalt vaatlemegi ühitatud mudelpindade EST-GEOID2011 ja EST-GEOID2003 omavahelisi erinevusi.

2. Mudelpindade EST-GEOID2011 ja EST-GEOID2003 omavahelised erinevused

Nagu öeldud, on EST-GEOID2011 saamiseks gravimeetrilist geoidimudelit GRAV-GEOID2011 korrigeeritud riikliku geodeetilise võrgu I ja II klassi punktide EUREF-EST97 ellipsoidaalsete ja BK77 normaalkõrguste väärtuste põhjal. Sedasama tehti ka EST-GEOID 2003 mudeli arvutamisel, kuigi tollal oli kasutusel hoopis erinev GNSS-nivelleerimise andmestik. 2003. aastal oli kasutada Eestis ligi 40 riikliku geodeetilise (GPS) võrgu

punkti, kuhu oli lähimatest II klassi reeperitest nivelleeritud normaalkõrgus. Parema katvuse huvides kaasati arvutustesse mõned (GPS) tihendusvõrgu punktid. Ühtekokku oli EST-GEOID2003 ühitamiseks kõrgussüsteemiga kasutada 50 punkti, millest 9 asus väljaspool Eestit.

2011. aasta alguseks oli kõrgtäpseid sobituspunkte hoopis rohkem saadaval. Teatavasti toimub Eestis praegu kõrgusvõrgu neljas kordsnivelleerimine, enamik uue kõrgusvõrgu käikudest on käesolevaks hetkeks nivelleeritud ning ka esialgsed kõrguskasvud arvutatud².

Nende kõrguskasvude põhjal tekkis võimalus arvutada kõrgusvõrgu reeperitele uued ajakohastatud kõrgused, et neid siis geoidimudeli „timmimiseks“ rakendada. Selle jaoks viidi läbi nivelleerimisvõrgu mõõtmistulemuste andmetöötlus ja tasandamine 2010. a lõpukuudel.

Tegemist ei olnud lõpliku ega ametliku tasandusega, kuna peaesmärgiks oli saada geoidimudeli timmimispunktidele esialgsed kõrgused³. Lähteandmetena oli, nagu eelnevalt mainitud, kasutada AS Planserik poolt aastatel 2001–2010 läbi viidud kõrgtäpsete nivelleerimiste keskmised kõrguskasvud (~2250 kõrguskasvu) ja Saaremaa ning Hiiumaa nivelleerimispolügoonide mandriga sidumiseks EMÜ doktorandi A. Liibuski poolt arvutatud kolm nn veeületuse (esialgset) kõrguskasvu

² Ülevaate nendest tööst saab AS Planserik tööaruannetest Maa-ameti arhiivis.

³ Need esialgsed kõrgused peaksid olema siiski märgatavalt täpsemad ja süstemaatilistest vigadest vähem mõjutatud kui ametlikud BK77 kõrgused.

Virtsu-Kuivastu, Sõru-Triigi ning Heltermaa-Rohuküla veemõõdujaamade vahel.

Nivelleeritud keskmistesse kõrguskasvudesse ei olnud veel sisse viidud rangeks andmetötluseks vajalikke parandeid (latt, refraktsioon, geopotentsiaalsetele kõrguskasvudele ülemineku parand jne). Juba ainuüksi seetõttu (rääkimata uuele kõrgussüsteemile üleminekust, vt vastavat arutelu allpool) ei ole meie tasandamisest saadud kõrgused lõplikud ja saavad erinema kindlasti ametlikest kõrgustest, kui uus ametlik tasandus ükskord kunagi valmis saab. Kuna praktilistest kaalutlustest lähtuvalt tuli sobitada gravimeetiline geoidimudel GRAV-GEOID2011 Balti 1977. a kõrgussüsteemiga, tuli uued nivelleerimisandmed tasandada nii, et sobituspunktide (ühtekokku 115 riikliku geodeetilise võrgu I ja II klassi punkti, vt joonis 2) kõrgused ühtiks BK77 süsteemi kõrgustega. Samas on teada, et uued nivelleerimisandmed ei sobitu enam kuigi hästi vanade reeperite kõrgustega ja seda nii mitmelgi

põhjusel, üheks peamiseks neist jääajajärgne maakerge Eestis. Võrgu tasandamiseks fikseeriti 24 üle Eesti paikneva fundamentaalreperi kõrgused BK77 süsteemis (mille normaalkõrgused on leitavad NSVL 1976.–1977. a nn O-kataloogides) ja tasandati uued nivelleerimisandmed nende vahele. Kuigi tegemist on üsnagi vägivaldse lähenemisega, võimaldas see siiski ühitada gravimeetrilist geoidimudelit Eestis kehtiva kõrgussüsteemiga, rakendades samas täpsemaid mõõtmisandmeid. Seda, et uued nivelleerimisandmed ei taha vanade kõrguste vahele hästi sobida, näitasid ka tasandamisjärgsed statistilised näitajad: kaaluühiku standardhälve $S_0 = \pm 2,98$ (a priori väärtus 1, mida enam 1-st erineb, seda suuremad on olnud parandid kõrguskasvudele), maksimaalne ja minimaalne parand kõrguskasvule olid vastavalt +1,7 ja -1,5 mm. Enamik parandeid (~2000-le kõrguskasvule) jäid siiski vahemikku -0,5...+0,5 mm. Uute tasandatud kõrguste ruutkeskmine standardhälve oli $\pm 9,9$ mm. Geoidi mudelpindade ühitamise jääkvigade (GNSS-nivelleerimispunktide asukohtades, vt joonis 2) põhjal võib teatava mõõndusega anda ka hinnangu gravimeetrilise geoidi arvutustäpsusele. EST-GEOID2011 puhul hinnati täpsuseks $\pm 1,3$ cm, EST-GEOID2003 puhul oli see ± 2 cm (põhineb vaid 50 GPS-nivelleerimispunkti ühitamise jääkvigadele).

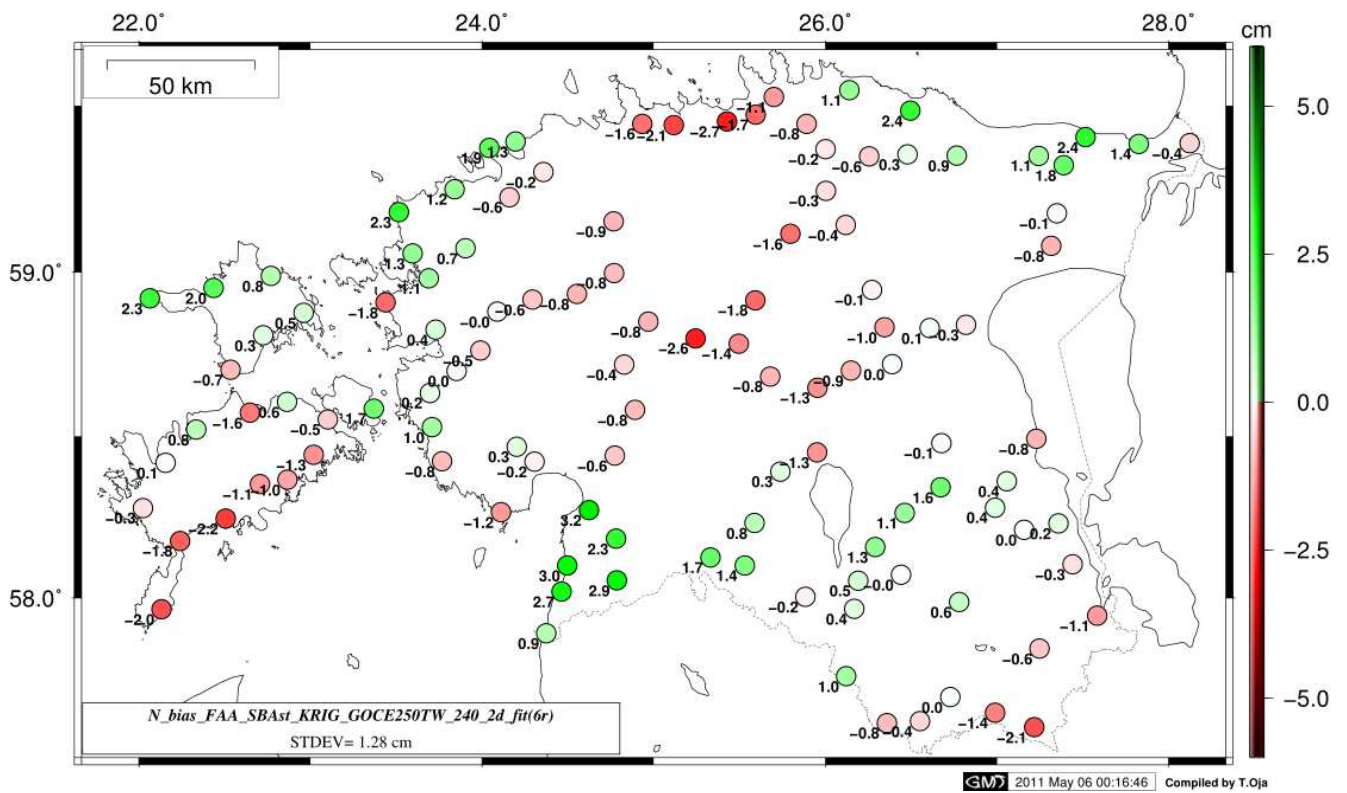
Samas muidugi neid numbreid omavahel otseselt võrrelda ei saa, sest nii korrigeerimispunktide arv, kõrgusväärtuste täpsused ning arvutusalgoritmid olid mõlema mudelpinna puhul erinevad. Näiteks kui uue mudeli puhul ühitati gravimeetrilist geoidi ning geodeetilise ja kõrgusvõrgu kõrgusi 6-parameetrilise polünoompinna abiga (deterministlik lähenemine), siis 2003. a mudeli ühitamine toimus vähimruutude kollokatsiooni meetodil (stohhastiline lähenemine). Ehk

parema ettekujutuse olukorrast annab tulemuseks saadud mudelpindade omavaheline võrdlemine. Mudelpindade EST-GEOID2011 ja EST-GEOID2003 omavahelised erinevused on kujutatud joonisel 3.

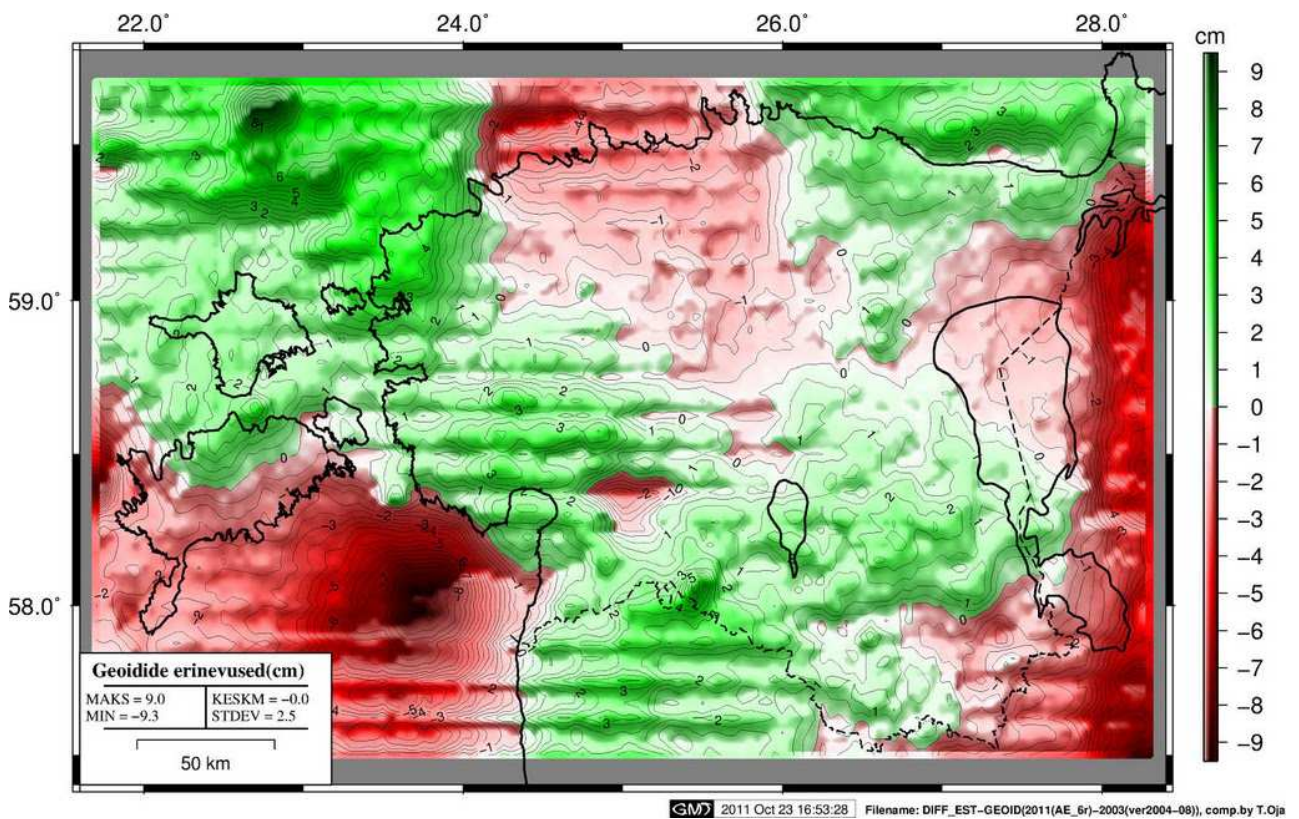
Erinevused ühitatud mudelpindade vahel joonisel 3 võib jagada põhimõtteliselt kaheks, ühed on seotud gravimeetrilise geoidimudeli täpsuse, teised aga GNSS/nivelleerimise punktide kõrgusväärtuste täpsusega. Võrtsjärve ja Riia lahe vaheline piirkond ning horisontaalsed „vaod“ on seotud gravimeetriliste geoidide erinevustega, need olid märgatavad juba joonisel 1. Erinevused Riia lahel ja põhjarannikul aga seostuvad GNSS/nivelleerimisandmestiku kvaliteediga. Nii näiteks erinevused (ca 10 cm) Riia lahe piirkonnas on põhjustatud Ruhnu ja Kihnu punktide normaalkõrguste vigadest 1970-ndate kataloogides. Kuna tegemist oli nn ametlike kõrgustega, siis otsustati nad siiski 2003. aasta lahendusse kaasata. Samas on tekkinud olukord Riia lahes heaks näiteks, kui ettevaatlikult peaks suhtuma GNSS/nivelleerimise andmestiku rakendamisele geoidi pinna ühtlustamisel geodeetilise ja kõrgusvõrgu punktide kõrgusväärtustega. Seda nii andmestiku kui ka meetoodika koha pealt. Ehk siis enne geoidi korrigeerimist tuleks ära otsustada, kui palju lubada geoidimudelil „väänduda ja loksuda“, enne kui geoidimudel kui füüsikalist tähendust omav pind (ekvipotentsiaalipind!) oma eesmärgist (modelleerida merepinda kuival maal!) liialt eemaldub.

Madalama astme polünoompind, mida rakendati GRAV-GEOID2011 teisendamisel EST-GEOID2011 mudeliks, ei võimalda lokaalseid järsked võnkumisi sarnaselt Riia lahe lohule. Selle asemel ilmneks arvutustest suured jääkhälbed süstemaatiliselt nihkes kõrgusväärtustega punktides. Samas arvestades BK77 kõrguste süstemaatilisi vigu (mis hetkel kehtiva riikliku kõrgussüsteemi ja selle realisatsiooniga paratamatult kaasnevad) võib polünoomidel põhinev meetod osutada ka liialt lihtsustavaks lähenemiseks. Geoidi korrigeerimise meetoodika vajaks Eesti tingimustes veel kindlasti uurimist.

Ka peaks uurima veel GNSS/nivelleerimise punktide paiknemise tihedust ja ruumilist jaotust Eestis. Neid (punkte) võiks olla senisest rohkem ning nende jaotus peaks olema ühtlasem. Hetkel jäävad need punktid peamiselt kõrgusvõrgu käikude vahetusse lähedusse, mis aga ei taga ühtlast jaotust, sest näiteks suured alad nivelleerimiskäikude polügoonide sees on korrigeerimispunktidega katmata. Sellest, milliseks kujuneb geoidi mudelpinna täpsus piirkondades, kus GNSS/nivelleerimise punktidele lisaks on puudu ka gravimeetrilistest mõõdistuspunktidest, on näitlikustatud T. Oja artiklis käesolevas ajakirjas. Samast kirjatükist võib leida vastuse ka küsimusele, kas GNSS/nivelleerimise punktide oluliselt suurem tihedus Eestis võimaldaks geoidi pinna täpsuse märgatavat suurendamist, jättes tähelepanuta ebatäpse ja hõreda gravimeetrilise andmestiku.



Joonis 2. Gravimeetrilise geoidimudeli GRAV-GEOID2011 sobitamise jääkvead GNSS-nivelleerimise punktide asukohtades peale 6-parameetrilise polünoompinnaga lähendamist. Ühik on sentimeeter.



Joonis 3. Mudelpindade EST-GEOID2011 ja EST-GEOID2003 omavahelised erinevused. Heledad piirkonnad tähistavad alasid, kus erinevused on minimaalsed. Ühik on cm.

Kokkuvõttena võib öelda, et korrigeerimisandmestiku oluline tihendamine ei osutu ei optimaalsemaks ega ka efektiivsemaks lähenemiseks geoidi mudelpinna täpsuse parandamisel. Hetkel on parimaks lahenduseks jätkata gravimeetriliste mõõdistamistega hõreda ja ebatäpse graviandmestikuga aladel.

Eesti maismaal on kahe mudelpinna erinevused enamasti alla $\pm 2... \pm 3$ cm. Võib arvata, et tulevikus veelgi täiustunud andmestikuga geoidi mudelpinnad ei hakka täpselt ühituma ka praeguse EST-GEOID2011 mudeliga, erinevused üksikutes kohtades võivad ikkagi küündida optimistlikul hinnangul ± 1 cm, pessimistlikul hinnangul üle sellegi. Seega teatud pessimism GNSS-seadmetega kõrguste määramisel ja mõõtmistulemustele täpsushinnangute andmisel on igati omal kohal!

3. Muutused seoses võimaliku üleminekuga uuele kõrgussüsteemile

Kuigi keskkonnaministri allkirja tint geodeetilise süsteemi määramisel pole korralikult veel kuivadagi jõudnud, on õhus märke, et mõne aasta pärast võib meid taaskord oodata geodeetilise süsteemi uus muudatus. Esmajoones seondub see muidugi Eesti kõrgussüsteemi täpsustamisega peale kõrgtäpse nivelleerimise arvutustööde tulemuste avaldamist. Aga mitte ainult. Tuletagem meelde, et Eestis (nagu ka enamikus Ida-Euroopa riikides) võeti peale Teist maailmasõda kasutusele Kroonlinna nullpunkt kõrguste arvestamise lähtena. Uudistekünnise ületab Kroonlinna null tavaliselt seonduvalt kas saartevahelise praamiliikluse katkemisega madala vee tõttu või mõne linna (Pärnu, Haapsalu) ülejutamise tõttu tormilmadel. Nullnivoo ühtib Kroonlinnas ajavahemikul 1825–1840 mõõdetud keskmise mereveetasemega. Üleüldise „eurostumise“ tuhinas on meie erialaringkondadesse jõudnud tungivad soovitusel, et peaksime ennast lahti rakendama Kroonlinnast ning selle asemel koos „edumeelsema“ Euroopaga kõrguste lähtepunktina kasutusele võtma Amsterdam nulli.

Isegi vabariiklikku meediasse lipsas hiljuti see halvastivarjatud (kuid avalikkusele siiski sensatsiooniline!) saladus võimalikust üleminekust Amsterdam nullile. Näiteks jäi silma, et põhiuudisena serveeriti 20 lisasentimeetrit, mida Suur Munamägi oma senisesse kõrgusesse seetõttu juurde saavat (nt loe kasvõi Rudi 2011). Erinevates ringkondades on see tekitanud ärevust ja erutust, ning nüüd peaks geodeet olema see, kes „kõrgustoodet“ reaalselt tarbivale spetsialistile, olgu selleks projekteerija, ehitaja või selliste tööde tellija, need muutused ära selgitaks. Vaatleme alljärgnevalt siis seda probleemi lähemalt.

See, et reeperite kõrgused siinkandis aegade jooksul muutuvad, on üsna loogiline. Enamus Eestist on mõjustatud ju maakerke nähtusest, kusjuures Kagu-Eestis maapind langeb, seda siis geoidi ehk keskmise merepinna suhtes. Parema pildi kõrguste muutumistest

viimase ~50 a jooksul⁴ annab see, kui uute nivelleerimisandmetega teha n-ö vaba tasandus, kus võrk võib tasandamisel „vabalt loksuda“ ühe fikseeritud lähtepunkti ümber, nii kuidas mõõtmisandmed vähimruutude meetodil paremini kokku sobivad. Et saadud kõrgused oleksid vana kõrgussüsteemi kõrgustega võrreldavad, tuleb ühele fikseeritud lähtepunktile kõrgus anda BK77 süsteemis. Nii tehtigi tasandus ka ühe fikseeritud reeperi (maakerke servaalal paikneva Põltsamaa fundamentaalreperi, mille kõrgus võeti 1977. a kõrguskataloogist) suhtes. Saadud täpsushinnangud ei sõltu nüüd lähtepunktide ja mõõtmisandmete omavahelisest sobivusest: kaaluühiku standardhälve $\pm 0,81$, min ja max parand vastavalt $-0,3$ ja $+0,3$ mm, enamik parandeid vahemikus $-0,1...+0,1$ mm. Tasandatud kõrguste ruutkeskmine standardhälve $\pm 6,1$ mm. Kui nüüd võrrelda saadud kõrgusi vanade kõrgustega (nendes vanades kõrgusvõrgu reeperites, mis olid kaasatud ka uude nivelleerimisse), siis näeme, et kõrgused on muutunud -9 cm-st Kagu-Eestis kuni $+7$ cm-ni Loode-Eestis. Kui siia veel lisada (vastavalt EVRF2007⁵ ja BK77 kõrguste võrdlusanalüüsile Eesti alal) Kroonlinna ja Amsterdam nullide keskmine erinevus $+19,5$ cm (CRS-EU⁶ BK77 ja EVRF2007 vahelise transformeerimise kirjeldus kodulehelt www.crs-geo.eu), siis näeme, kui palju muutuksid meie reeperite senised (BK77) kõrgused juhul, kui toimuks üleminek Euroopa kõrgussüsteemile. Kasutame siinkohal illustatsiooniks eelnevalt kirjeldatud geoidi mudelpindade sobitamise kõrvalprodukti. Selleks võeti GRAV-GEOID2011 timmimisel aluseks kõrgtäpse nivelleerimise vabatasanduse tulemused ning võrreldi tulemust mudeliga EST-GEOID2011 (põhineb fikseeritud tasandusel). Joonis 4 kujutabki [ligikaudselt](#), mis juhtuks reeperite olemasolevate BK77 kõrgusväärtustega peale uue kõrgusvõrgu tasanduse tulemuste teatavaks saamist ning võimalikku üleminekut Amsterdam nullile.

Jooniselt 4 nähtub, et Eesti piires pole erinevused sugugi mitte konstantsed. Erinevuste väärtused kasvavad Kagu-Eesti Loode-Eesti suunaliselt enam-vähem ühtlaselt alates 14 kuni 24 cm. Nii või teisiti moodustub terve Eesti piires varemkasutatud BK77 kõrgustega terve trepiastme suurune erinevus. Kus rohkem, kus vähem, aga üleminekuajal võib ette tulla tõsiseid probleeme praktilistes töödes. Võib ette kujutada segadust, kui tuleb uute kõrgustega projekteeritud objekti välja kanda olemasolevate, kuid BK77 kõrgusi omavate objektide piirkonda.

Ka võib ettearvamatuks (või pigem siiski tõrjuvaks) jääda sadamate ning laugete rannikualadega tegelevate spetsialistide reaktsioon nendele muudatustele. On ju raske eeldada, et Kroonlinna nulliga juba harjunud kasutajaskond võtaks valutult omaks tavapärase veepiiri uued (ja oluliselt erinevad!) kõrgusväärtused. Senise nulli asemel „hüppaks“ keskmine veepiir siis üleöö $+2$ dm!

⁴ BK77 kataloogidesse koondatud kõrgtäpsete nivelleerimiste keskmine mõõtmisepohh on hinnanguliselt 1960. a kandis ja uute nivelleerimiste keskmiseks mõõtmisepohhiks võib hinnata 2007 (2010. a lõpu seisuga).

⁵ EVRF2007 - The European Vertical Reference Frame 2007 (Euroopa vertikaalne referentsraamistik epohhiga 2008).

⁶ CRS-EU - Coordinate Reference Systems in Europe (koordinaatide referentssüsteemid Euroopas)

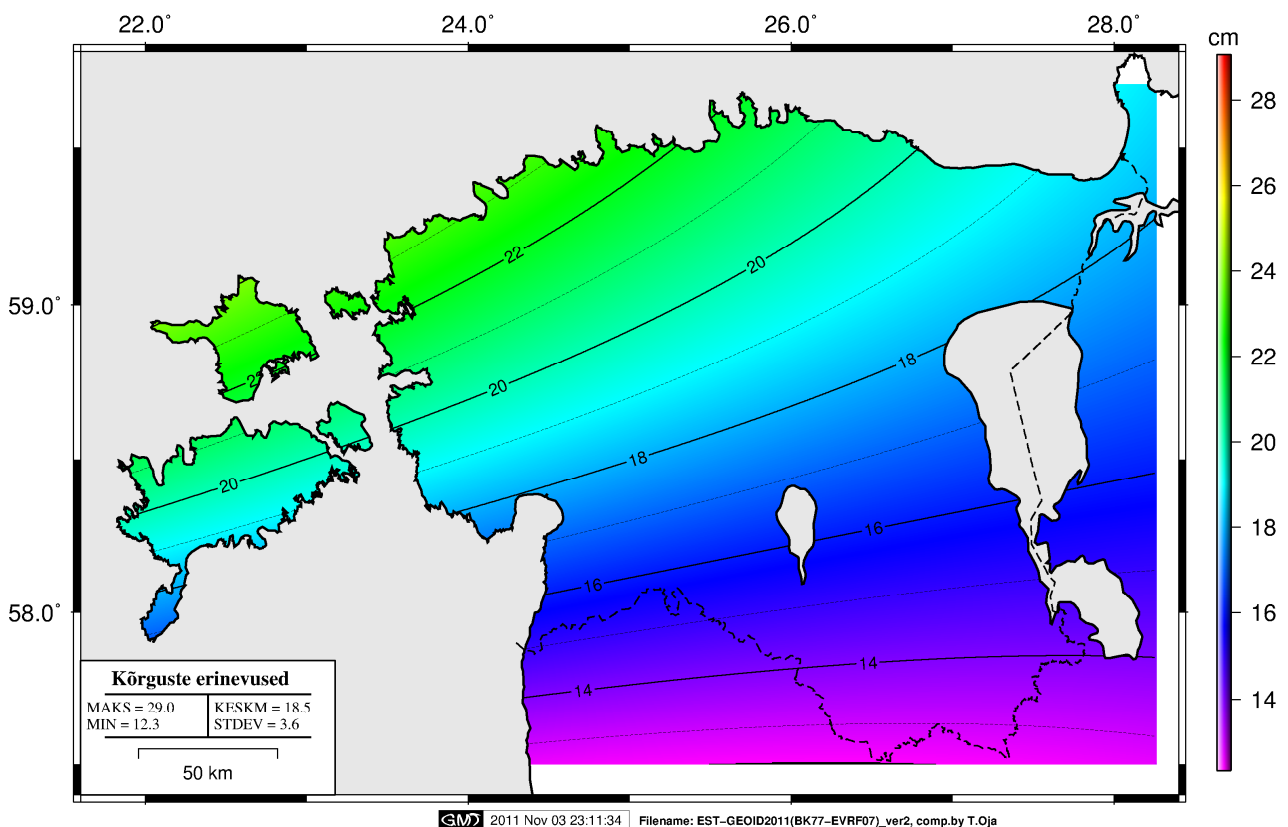
Nii et paralleelselt rõõmuhoisetege meie „mägede“ kasvamise üle pole kuigi raske ette kujutada meedias peatselt kostuma hakkavat hädakisa paaridetsimeetrisest merevee „tõusust“ ja selle mõjust – näiteks kinnisvara hindadele. Seda hoolimata asjaolust, et meri oma tavapärasel looduslikus sängis endistviisi loksub. Kui siia veel lisada maailmamere üldine tõus u +1 mm aastas, siis on geodeetidel ja okeanoloogidel/merefüüsikutel küllaga tegevust veemöödujaamade ning kõrgusmärkide tegeliku asendi kindlaksmääramisega. Kui aga probleem väljub ühe riigi piirest (näiteks kogu Läänemerd hõlmavate okeanograafiliste mudelprognooside teadus- või rakenduslikes väljundites), siis koostöö Amsterdami nulli omaksvõtnud maadega (nt Rootsi ja Soome) mõnevõrra lihtsustab, kuna vabaneme kõrguslike lähtesüsteemide erinevustest tingitud vigadest. Küll aga samas tekitavad peamurdmist võrdlused ajalooliste andmetega.

Loomulikult on siintoodud erinevused veel üsna „kirvega lõõdud“. Lõplikud erinevused selguvad ikkagi peale uue kõrgussüsteemi kehtestamist. Seni aga võiks joonist 4 meeles pidada harjumiseks. Ka on geodeedil vaja oma tellijat eesootavatest muutustest hoiatada ning vajadusel teda ka harida.

4. Kokkuvõte

On loogiline, et uue geoidi mudelpinna tutvustamisega kaasneb ka selle võrdlus varasemate mudelitega. Käesolevas kirjutises võrreldi omavahel geodeetide seas juba tuntust kogunud mudelpinda EST-GEOID2003 (ja selle aluseks olnud gravimeetrist geoidi) ning geoidi uusimat mudelit EST-GEOID2011 (GRAV-GEOID2011). Suuremad erinevused on lihtsalt selgitatavad ning seotud kas gravimeetrisel geoidi ebatäpsusega (ehk siis puudustega gravimeetrisel andmestikis ja eks ka kõrgusmudelites) või siis süstemaatiliste nihetega GNSS/nivelleerimise andmestikis (Eestis põhiliselt probleemiks BK77 kõrgused).

Kokkuvõtvalt, arvutustööde tulemused viitavad kõrgusvõrkude andmete ajakohastamise vajadusele. Ajakohastatud andmed oleksid eelduseks geoidi kaasaegsete mudelite optimaalsel ühitamisel kõrgussüsteemi praktilise realiseerimisega. See omakorda võimaldaks paljude rakenduslike ülesannete lahendamisel kasutada GNSS tehnoloogiat ka tehnilise täpsusega kõrgusmääranguks.



Joonis 4. Amsterdami nulli suhtes määratletava uue kõrgussüsteemi ja BK77 kõrguste ligikaudsed erinevused (Eestis)⁷. Ühik sentimeeter. Aluseks on nivelleerimisvõrgu eri tasanduste põhjal korrigeeritud EST-GEOID2011 mudelpinnad ning kaasatud on konstant +19,5 cm.

⁷ Rangelt võttes on joonisel 4 võrreldud Eestis hetkel kehtivate BK77 ja EUREF-EST97 kõrguste põhjal korrigeeritud geoidi (ehk siis EST-GEOID2011) ning hüpoteetilise EVRF2007-EST (Eesti lahendus epohhiga 2008) ja EUREF-EST uue lahenduse (samuti epohhiga 2008) põhjal korrigeeritud geoidi. Ajaliste parandite sisseviimiseks rakendati NKG2005LU mudelit (Ågren, Svensson 2007).

Lõpuosas vaadeldi muutusi, mis kaasneksid võimaliku üleminekuga uuele kõrgussüsteemile. Ilmne, et see muutus puudutab hoopis suuremaid (ning oluliselt mõjukamaid) ruumiandmetega igapäevaselt tegelevate spetsialistide kogukondi Eestis. Nende poolehoiu saamiseks tuleks juba praegu alustada selgitustöö tegemist, rõhutades seejuures positiivseid asjaolusid, mis kaasneksid praeguse ajast ja arust kõrgussüsteemi asendamisega uuega.

Mudeli EST-GEOID2011 täpsuseks võib hetkel hinnata $\pm 1,3$ cm. Uue riikliku kõrgussüsteemi ning -võrgu tutvustamisega lähitulevikus peaks osutama reaalseks ka geoidi mudel täpsusega ± 1 cm, uute gravimeetriliste andmete lisandumisega võib välja jõuda ka väiksemate numbriteni. Eks me näe!

Viited

1. Ågren, J., Svensson, R. (2007): Postglacial Land Uplift Model and System Definition for the New Swedish Height System RH 2000. LMV-Rapport 2007:4.
2. CRS-EU BK77 ja EVRF2007 vahelise transformeerimise kirjeldus (Description of Transformation - EE_KRON / NH to EVRF2007). http://crs.bkg.bund.de/crseu/crs/descrtrans/eudescrtrans.php?crs_id=RUVfS1JPTiAvIE5I&op_id=RUVfS1JPTiAvIE5IHRvIEVWUkYyMDA3&tr_on_e=0 (vaadatud 03.11.2011).
3. Jürgenson, H. (2003): Eesti täppisgeoidi arvutus. Väitekiri, Tartu, EMÜ, 157 lk (pdf fail on vaadatav EGÜ kodulehel).
4. Rudi, H. (2011): Amsterdami nullpunkt lisab Munamäele sentimeetreid. Postimees, 11. okt. 2011, <http://www.postimees.ee/594340/> (vaadatud 03.11.2011)