

Promocijas darbi

Rīgas Tehniskās universitātes būvzinātnes nozares promocijas padomē

Jānis Kaminskis¹, Jānis Štrauhmanis², ¹⁻²Rīgas Tehniskā universitāte

2010.gada 22.oktobrī Jānis Kaminskis aizstāvēja promocijas darbu „Latvijas ģeoīda modelis un tā attīstība”, recenzenti Dr.sc.ing. Andres Rūdja (Igaunija), PLANSEK AS galvenais inženieris, Dr.sc.ing. Romuald Obuchovski (Lietuva), Viļņas Gediminas Tehniskā universitāte (VGTU) un Dr.sc.ing. prof. Modris Dobelis, Rīgas Tehniskā universitāte.

Ar Promocijas padomes RTU P-06⁽¹⁾ 2010. gada 22.oktobra lēmumu J.Kaminskim piešķirts Dr.sc.ing. zinātniskais grāds. Promocijas darbs glabājas Rīgas Tehniskās universitātes Zinātniskajā bibliotēkā Rīgā, Ķīpsalas ielā 10.

CURRICULUM VITAE

Jānis Kaminskis dzimis 1965. gada 12. martā Alsungā. Absolvējis 1983. gadā Alsungas vidusskolu un 1990. gadā LU Fizikas un matemātikas fakultāti teorētiskās fizikas un astronomijas specialitātē, iegūstot fizika kvalifikāciju. Jau studiju gados un pēc LU beigšanas strādājis LZA Radioastrofizikas observatorijas Saules fizikas daļā, kur nodarbojies ar helioģeofizikālo procesu izpēti (1986-1993). Pēc Saules fizikas daļas likvidēšanas, uzsācis studijas maģistrantūrā RTU Būvniecības fakultātes ģeodēzijas programmā un 1995. gadā aizstāvējis ar izcilību maģistra grādu būvzinātnē ģeodēzijas novirzienā par tēmu „Gravimetriskie mērījumi un to pielietošana”. Maģistra darbu izstrādājis, vienu gadu (1994-1995) stažējoties gravimetrija Somijas Ģeodēzijas institūtā un Helsinku Universitātē. Blakus studijām no 1992. gada nepārtraukti pasniedzis gravimetrijas kursu ģeodēzijas un kartogrāfijas programmas studentiem.

J. Kaminskis pēc maģistra grāda iegūšanas iestājās darbā Valsts Zemes dienesta Nacionālajā mērniecības centrā, kur no 1995. līdz 1999. gadam bija projektu vadītājs un vairākkārt stažējās Kopenhāgenas Nacionālajā kadastra centrā (KMS), kā arī Kopenhāgenas Universitātē (1995-1999), kā arī no 1999. līdz 2005. gadam bija Ģeodēzijas pārvaldes direktors. Pēc VZD reorganizācijas vadīja v/a Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras Ģeodēzijas departamentu (2006-2011).Līdztekus darbam, iestājies RTU doktorantūrā, kur izstrādājis zinātnisko darbu „Latvijas ģeoīda modelis un tā attīstība”, ko aizstāvēja 2010. gadā, iegūstot inženierzinātņu doktora grādu - *Dr. sc. ing.* Kopš 2011. gada 1. marta J. Kaminskis pilda RTU Būvniecības fakultātes dekāna vietnieka pienākumus zinātniskajā darbā.



1.att. Foto autors Kaspars Kojalovičs.

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Visi ģeodēziskie mērījumi ar klasiskās un arī kosmiskās ģeodēzijas metodēm tiek veikti Zemes gravitācijas lauka vidē. Nosakot ģeoīdu, aprēķinot svērteņa līnijas novirzi, reducējot ģeodēzisko mērījumu rezultātus uz kopējo koordinātu sistēmu, kā arī aprakstot Zemes mākslīgo pavadoņu (ZMP) kustību, precīzi jāzina gravitācijas lauka parametru. Pētījuma mērķis ir telpisko mērījumu rezultātā iegūt maksimāli precīzu pozīcijas piesaisti iepriekš definētā ģeodēziskā koordinātu sistēmā, un aktuāli ir šo matemātisko saikni turpmāk saglabāt savstarpēji atbilstošu vispārīgi mainīgajā vidē. Telpiskās trīsdimensiju koordinātu sistēmas augstuma komponentes atskaitē lieto digitālo līmeņvirsmu jeb *ģeoīdu*, ko izmanto visiem tālākiem praktiskiem mērniecības darbiem. Tas sniedz zemeslodei vienotu atskaites matemātisko virsmu. Mūsdienu apstākļos pat jebkura lokālā ģeodēziskā atbalsta tīkla izveidošana dažādu tautsaimniecības uzdevumu uzmērīšanas darbiem tiek veikta, lietojot ekonomiski visizdevīgākās un operatīvi visātrākās DGPS/DGNSS metodes. Tieši tas arī pamato prasības augstas precizitātes ģeoīda modelim, lai mērījumu augstuma komponenti varētu reducēt uz tradicionāli lietoto vidējo jūras līmeņa atskaites virsmu. Jo precīzāks ģeoīda modelis ir mūsu rīcībā, jo precīzāki būs ģeodēzisko mērījumu rezultāti.

Promocijas darba tēmas vispārējā aktualitāte un izstrādātā oriģinālā modeļa praktisko pielietojumu paplašināšanās izraisa

pieaugošu kolēģu interesi un nepieciešamību pamatot paveikto izpētes darbu. Turpinoties tālākai izstrādei tieši saistībā ar jaunāko kosmisko tehnoloģiju izmantošanu, savu nozīmi nezaudē arī tradicionālie virszemes gravimetriskie mērījumi. Tie nodrošina mērījumu pēctecību un bāzi gravimetrisko vērtību teorētiskiem pētījumiem. Šādā darbā visām izpildītajām darbībām, kas lietotas ģeodēzisko sistēmu un datu korekcijām, jābūt precīzi dokumentētām.

PROMOCIJAS DARBA MĒRĶIS

Promocijas darba mērķis ir izveidot zinātniski pamatotu maksimāli augstas precizitātes Latvijas Republikas teritorijas gravitācijas lauka un tā anomālijas aprakstošo matemātisko modeli. Aprēķinu rezultātā noteikto Zemes formas visprecīzāk aprakstošo teorētisko līmeņvirsmu – ģeoīdu – piemērot turpmākai lietošanai Latvijas teritorijā, kad tiek izpildīti dažāda veida mērniecības darbi. DARBA UZDEVUMI

Lai sasniegtu izvirzīto darba mērķi, ir definēti šādi darba uzdevumi:

- Izvēlēties valsts teritorijai piemērotāko gravitācijas lauka izstrādes teoriju un tehnoloģiju;
- Veikt iespējami izmantojamo informācijas avotu analīzi, izvērtēt papildu nepieciešamās informācijas apjomus, tās ieguves veidus un iespējas;
- Izstrādāt nacionālā ģeoīda aproksimācijas formulas un izskaitļot ģeoīda modeli;
- Veikt izstrādātā modeļa precizitātes novērtējumu un piesaisti ģeodēziskajam tīklam.

DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Darbā autors pirmoreiz izstrādājis Latvijas ģeoīda modeļa iegūšanas teorētiskās un praktiskās bāzes izveidi, kas sekmīgi realizēts promocijas darbā.

Disertanta darba rezultātā iegūtais jaunais augstuma pārrēķina ģeoīda modelis - LV'98 GPS-ģeoīds ir savienots kopējā tīklā ar kaimiņvalstīm Lietuvu un Igauniju. Neveidojas pārrāvumi uz robežām, jo tika izmantoti arī kaimiņvalstu ģeodēziskā tīkla punkti augstuma piesaistei, kā arī lietoti vienoti absolūtās gravimetrijas bāzes tīkla punkti gravimetrisko mērījumu reducēšanai. Pēc absolūto un relatīvo gravimetrisko mērījumu rezultātu apkopošanas saskaņā ar visiem pieejamajiem resursiem seko radošs zinātnisks modelēšanas darbs ar GRAVSOF programmatūru. Modelēšanas procesā tika atklāts, ka ir nepietiekams gravimetrisko punktu nosejums Baltijas jūras piekrastes teritorijā, kas pasliktina modeļa precizitāti. Ģeoīda modeļa papildināšanai Baltijas jūras teritorijā pirmoreiz pasaulē tika izmantoti kosmiskā pavadņa ERS-1 altimetriskie mērījumi. Tos iekļāva aprēķinos, kā rezultātā nacionālā ģeoīda modeļa precizitāte uzlabojās par 1,3 cm.

Pēc visu dažādo gravimetrisko datu izmantošanas un to savstarpējas pārbaudes tika aprēķināts iespējami precīzākais ģeoīda modelis, kas ir savienots ar pārbaudītiem valsts tīkla augstākās klases ģeodēziskajiem punktiem. Tādējādi disertanta iegūtais modelis ne tikai kalpo kā augstuma atskaites līmeņvirsmas darbā ar DGPS/DGNSS mērinstrumentiem, bet arī sniedz precīzu novērtējumu par visas valsts ģeodēzisko tīklu veidu savstarpējo saderību un precizitāti. Tas nosaka, tieši kādos konkrētos virzienos papildus jāveic ģeodēziskie mērījumi, lai būtu iespējams iegūt vēl augstākas precizitātes ģeoīda modeli.

Promocijas darbs ir pabeigta oriģināla izstrādne, kurā aprakstītajiem rezultātiem ir būtiska nozīme būvzinātņu nozares ģeodēzijas zinātnes apakšnozarē.

DARBA PRAKTISKĀ VĒRTĪBA

Praktiskā modeļa izstrāde veikta noslēgtam ciklam, sākot ar gravimetrisko datu apkopošanu, to ciparošanu un absolūtās gravimetriskās vērtības noteikšanu līdz pat jauna ģeoīda modeļa aprēķināšanai. Pilno aprēķinu ciklu vienmēr ir iespējams atkārtot, ja kļuvuši pieejami augstākas precizitātes ģeodēziskie dati.

Darba autors pats piedalījies absolūtajos, relatīvajos, kā arī aerogravimetriskajos mērījumos, izpildījis datu apstrādi un sagatavošanu modelēšanai. Strādājis ar GRAVSOF programmu paketi, kā arī veicis nepieciešamo papildus programmēšanu. Salīdzināti ģeodēzijā zināmie ģeoīda dažādie modeļi, analizēta to atbilstība Latvijas teritorijai un izvērtēta saskaņa ar jauno autora izstrādāto modeli. Tādējādi izvērtēta arī valsts ģeodēziskā atbalsta tīkla kvalitāte un nodrošināta starptautisko datu aprīte. Darbodamies starptautiskos projektos, autors analizē kvalitatīvu Latvijas ģeoīda modeļa risinājuma turpmāko attīstību. Tādas iespējas varētu būt, precizējot valsts ģeodēziskā atbalsta tīklu, pabeidzot nivelēšanas datu apstrādi un zinātniski pamatoti savienojot tos ar DGPS/DGNSS novērojumiem. Turpmāk sagaidāmi globālo gravitācijas modeļu precizējumi saistībā ar jauno kosmisko misiju rezultātiem, kā, piemēram, ZMP GOCE misija. Taču visi tie mērījumu dati, kas iegūti ar autora izstrādāto ģeoīda modeli, ir precīzi šai sistēmā. Tie ir dokumentēti un saglabājami, lai nākotnē nodrošinātu pāreju no vienas praksē lietotās sistēmas uz citu sistēmu.

Darbā aprakstītais modelis ir sekmīgi kalpojis ikdienā Latvijā veiktajos mērniecības darbos jau vairāk kā 10 gadus, un to izmanto joprojām LatPOS. Tas norāda, ka izstrādātais modelis ir izturējies laika pārbaudi un ir ļoti vajadzīgs mērniekiem, ģeodēzistiem un zinātniekiem. Lielākie ieguvēji ir ģeodēzijas nozares speciālisti un aprēķinātā ģeoīda modeļa lietotāji.

AIZSTĀVĒŠANAI IZVIRZĪTĀS TĒZES

- **Paveikta Latvijas Republikas teritorijas gravitācijas lauka un tā anomālijas aprakstoša matemātiskā modeļa zinātniski pamatota izstrāde.** Iegūta teorija un izstrādes algoritms ģeoīda modelēšanai.
Pirmo reizi pasaulē teritorijās bez gravimetriskiem datiem Baltijas jūrā, pielietojot ZMP altimetriskos datus, iegūts ģeoīda modeļa precizitātes uzlabojums par 1,3 cm, kas pirmo reizi nodrošina 6 – 8 cm precizitātes gravimetriskā ģeoīda modeli ar plašu praktisko pielietojumu visā valsts teritorijā.
- **Noteikta gravimetriskā atbalsta vērtība ar precizitāti 5 μ Gal trīs īpaši izvēlētas vietās Rīgā, Popē, Višķos un noteikta Potsdamas vērtības korekcija -14,0 mGal.**
- **Ciparotie gravimetriskie dati iekļauti starptautiskā datu bāzē (\approx 12 000 punkti), kas nodrošina precīzāka ģeoīda modeļa aprēķināšanu.**

SECINĀJUMI

- **Promocijas darbā izvirzītais mērķis ir sasniegts.**
Darba izpildes gaitā ir veikta Latvijas Republikas teritorijas gravitācijas lauka un tā anomāliju matemātiskā modelēšana. Aprēķinu rezultātā noteikta Zemes fiziskās virsmas aprakstošā matemātiskā forma – ģeoīda modelis – Latvijas teritorijā, kuram esmu piešķīris apzīmējumu **LV'98**. Tas ieviests praktiskā lietošanā darbā ar DGPS/DGNSS instrumentiem.
- **Modernas augstuma atskaites sistēmas pielietojuma būtība un nepieciešamība.**
Smaguma spēka lauka precīza informācija nepieciešama augstuma atskaites sistēmas mūsdienīgai nodrošināšanai valstī, jo īpaši izpildot ģeodēziskos mērījumus ar GPS/GNSS uztvērējiem. Minētie uztvērēji izmēra trīs Dekarta telpas koordinātas un nodrošina augstumu virs matemātiskas elipsoīda virsmas, nevis izmēra augstumu attiecībā pret jūras līmeni. Lai noteiktu augstumu virs jūras līmeņa, ir nepieciešams zināt ģeoīda modeļa vērtību katrā atbilstīgajā mērījumu punktā. Jo precīzāks ir ģeoīda modelis, jo precīzāk mēs varēsim noteikt augstumu virs jūras līmeņa, ja šādam darbam lietojam GPS/GNSS uztvērējus. Jo iegūtie mērījumu rezultāti ir precīzāki, jo to pielietojums paplašinās, un ieguvums ir ne tikai ekonomiskas dabas, bet arī ļoti praktisks un atvieglo ģeodēziskos darbus kopumā. Piemēram, ja ir ļoti precīzs ģeoīda modelis, tad varam aizstāt precīzo ģeometrisko nivelēšanu, kas ir dārga un laikietilpīga, ar DGPS/DGNSS metodi augstuma pārveidāšanā. Tas būs uzskatāmāk, ja runājam par lielākiem attālumiem, kas mērāmi simtos kilometru.
- **Modelēšanai nepieciešamo datu nodrošināšana ārpus modelēšanas teritorijas robežām un Baltijas jūrā. Datu apmaiņa.**
Būtiski ir nodrošināt gravimetriskos datus gan modelēšanas teritorijā, gan arī vēl ārpus tās robežām. Nav nekādu sadarbības problēmu par datu apmaiņu ar Lietuvu un

Igauniju. Tur dati ir savstarpēji pieejami un labi izmantojami aprēķinos. Nepieciešams blīvāks gravimetrisko datu noklājums par Baltkrievijas un Krievijas teritorijām, kā arī par teritoriju Baltijas jūrā. Problēmas risināšanas gaitā nonācu pie atziņas, ka šo datu iztrūkums ir jākompensē ar **ZMP altimetriskajiem datiem Baltijas jūrā**. Tas bija ļoti novatorisks un sekmīgs mēģinājums, kad teritorija ieguva gravimetrisko vērtību noklājumu pēc ZMP ERS-1 altimetriskajiem mērījumiem. Altimetrijas mērījumu sasaisti ar pieejamiem gravimetriskajiem datiem veicu ar GRAVSOFT speciālajām programmām. Turpmākā modelēšanas procesā konstatēju, ka ERS-1 datu izmantošana sniedz Latvijas ģeoīda precizitātes uzlabojumu par 1,3 cm. Apgalvoju, ka šis ir pirmais sekmīgais altimetrijas rezultātu pielietošanas gadījums pasaulē lokālu ģeoīdu modeļu aprēķināšanā. Minētie rezultāti ir analizēti atsevišķās autora publikācijās.

- **Savietoto speciālo ģeodēzisko punktu atlase un sasniedzamā ģeoīda modeļa precizitātes novērtējums.**

Pirms sākam izmantot aprēķināto jauno ģeoīda modeli praktiskā darbā, ir jāpārbauda un jānodrošina modeļa atbilstība vietējai un apstiprinātajai valsts augstumu sistēmai. Šeit visa atbildība un noteicošā loma ir valsts ģeodēziskajam atbalsta tīklam. Kā izejas atbalsta punkti sākumā tiek ņemti nulltās un pirmās klases ģeodēziskā tīkla punkti visā valsts teritorijā. Tiem vienlaicīgi ir jābūt sasaistītiem ar valsts augstuma tīklu. Teritoriālajam noklājumam jābūt maksimāli viendabīgam. Izvēlētie punkti nedrīkst saturēt ne GPS mērījumu, ne arī nivelēšanas kļūdas, jo tad tas viss sekojoši tiek iestrādāts augstuma atskaites modelī. Speciālo **savietoto DGPS/DGNSS un nivelēšanas punktu atlasē** ir jāņem vērā šo vērtību iegūšanas ticamība, veicot salīdzināšanu gan ar ģeoīda modeli, gan ar tuvumā esošajiem ģeodēziskajiem punktiem. Rezultātā pēc ģeoīda modeļa piesaistes izpildes tas teorētiski vairs nav īsts ģeoīds, nedz arī kvazi-ģeoīds, lai gan visiem savietotajiem punktiem ir lietoti normālie augstumi. Vienkāršāk ģeogrāfiski piesaistīto ģeoīda modeli saukt par GPS-ģeoīdu. Darba autors piedalījās darba grupās kopīgi ar Dānijas, Igaunijas un Lietuvas ģeodēzistiem, kurās tika izstrādāta turpmākā darbu gaita un ģeodēzisko tīklu attīstība nākotnē. Darbi, kas aizsākās Dānijas–Baltijas sektora programmas laikā, turpinās vēl arī šodien. Izvērtējot pēc speciālajiem punktiem mūsu GPS-ģeoīda modeļa **LV'98 precizitāti**, tā nav augstāka par **6-8 cm**. Citu rezultātu visas valsts teritorijai sasniegt pašlaik nav reāli, kamēr nav iegūts pietiekami drošs un pārbaudīts savietoto ģeodēzisko punktu tīkls, pabeigti gravimetriskie mērījumi. Teorētiski sasniedzamā GPS-ģeoīda modeļa precizitāte ir 1–2 cm robežās. Tas nodrošina gan lokālu augstuma tīklu, gan ģeodēzisko sistēmu savstarpēju integrāciju un sasaisti starptautiskā mērogā.

- **Atšķirīgu metožu ceļā iegūto ģeoīdu modeļu integrācija.**
Darbā tiek lietotas divas neatkarīgas metodes ģeoīda virsmas noteikšanai. Viena metode ir balstīta uz gravimetriskiem mērījumiem, bet otra – pēc DGPS/DGNSS

un nivelēšanas tīklu savietotajiem punktiem. Darba noslēguma posmā abi šie rezultāti tiek **apvienoti vienā GPS-ģeoida modeli** ar nosacījumu, lai tas visprecīzāk atbilstu valstī lietotajai ģeodēziskajai atskaites sistēmai LKS-92. Iegūtajam modelim ir piešķirts nosaukums LV'98. Strādājot no bāzes staciju tīkla LatPOS gan reālā laikā uz lauka, gan vēlāk datu pēcapstrādē, tiek lietots šis normālā augstuma noteikšanai izstrādātais modelis. Tas ir iestrādāts lietošanai pēc izvēles vairākos GPS/GNSS firmu ražotajos uztvērējos. Gan firmu *Trimble*, gan *Leica* uztvērēju ģeodēzisko aprēķinu programmatūrā jau ir ievietots šis GPS-ģeoida modelis, gan arī starptautiskajā datu apstrādes programmas paketē MOVE3.

- Globālo kosmisko metožu izmantošana ģeoida modelēšanā. Nākotnē ģeoida modeļa precizēšanai un tā vērtību daudzkārtējai kontrolei iespējams izmantot neatkarīgas fundamentālās ģeodēzijas metodes. Kopā ar Rīgas absolūto gravimetrisko punktu turpat darbojas ZMP lāzera lokācijas stacija (SLR), kas sniedz neatkarīgu ģeodēzisko modeļa novērtējumu. Jāizmanto arī Ventspils novadā Ances pagastā esošā Irbenes radioteleskopa tehniskās iespējas, veicot ļoti garas bāzes interferometrijas (VLBI) mērījumus un pielietojot iegūtos rezultātus ģeodēziskās atskaites sistēmas nostiprināšanā un zinātniski novatorisku globālu risinājumu radīšanā. Latvijai visās šajās fundamentālajās jomās Baltijas valstu vidū saglabājas lielākās attīstības iespējas.
- Visu pieejamo gravimetrisko datu izvērtēšana. Plašāki mērījumi tika veikti Latvijā pirms Otrā pasaules kara zinātnieka Voldemāra Junga vadībā, kas bija arī vienīgie pieejamie gravimetriskie dati Ziemeļvalstīs līdz pat Latvijas neatkarības atgūšanai un datu bāzes informācijas papildināšanai 1994. gadā. Savukārt visu padomju laika periodu pēc Otrā pasaules kara un līdz pat 1991. gadam šī informācija bija slepena kā militāras un stratēģiskas nozīmes informācija, kas nebija brīvi pieejama pat savas valsts pilsoņiem, nemaz nerunājot par ārzemniekiem, kaut vai tikai vienīgi zinātniskiem mērķiem.
- Speciālistu trūkums un ārzemju kolēģu atbalsts. Līdz ar to pēc valsts neatkarības atgūšanas šis slepenības aizplīvurotais temats bija īpaši zinātniski saistošs kā līdz šim neaizsniedzams, bet tagad pēkšņi kļuvis pieejams. Neviena speciālista Latvijā nebija. Interesi par gravimetriju pastiprināja ārzemju kolēģu atbalsts, lai risinātu kopējus zinātniskus uzdevumus. Sadarbības ar Somijas Ģeodēzijas institūtu un vēlāk arī ar Dānijas ģeodēzistiem rezultātā tika sākti fundamentāli gravimetriskie darbi ar lielu paliekošu nozīmi.
- Teorētiskā sagatavošanās un gravimetrisko vietu izvēle. Pēc teorētiskās sagatavošanās posma pabeigšanas darba autors sāka absolūto gravimetrisko vietu izvēli valsts teritorijā, apmeklējot daudzas Latvijas baznīcas gan Kurzemē, gan Latgalē, t.sk. Aglonas baznīcu, ar mērķi ierīkot gravimetriskās bāzes vietu. Tas nepieciešams tādēļ, lai ierīkotais gravimetriskais punkts saglabātos neskarts maksimāli ilgi vēl daudzām nākamajām paaudzēm. Ilgstošam pielietojumam atbilstīgs punkts tika izveidots

Popes baznīcā Ventspils rajonā. Kā īpaša vieta tika izvēlēts LU Astronomijas institūtam piederošais pulksteņa pagrabs Botāniskajā dārzā. Uz šiem trīs bāzes punktiem (Pope, Rīga, Višķi) jeb nosacīti – trīs vaļiem, ir balstīts viss Latvijas turpmākais gravimetriskais tīkls. Gan valsts gravimetriskās atbalsta sistēmas izveide, gan turpmākie mērījumi ir šī darba autora tiešs nopelns un ieguldījums.

- Jauna gravimetra iegāde un sabiezinošie tīkla mērījumi Baltijas valstīs. Sabiezinošā tīkla mērījumi Latvijā aizsākās Dānijas–Baltijas sektora ģeodēzijas programmas izpildes laikā, kad 1998. gadā sāka veidot valsts gravimetrisko pamattīklu, saslēdzot saistītā ķēdē 9 Baltijas valstu gravimetriskos bāzes punktus. Pēc tam ar dāņu organizācijas KMS atbalstu iegādājāmie relatīvo gravimetru CG-3, kas ir pirmais modernākais gravimetrs Baltijas valstīs. Arī minētā pamattīkla izveide, sabiezinošie tīkla mērījumi un sākotnējais darbs ar jauno relatīvo gravimetru ir šī darba autora personīgais devums.
- Gravimetrisko datu ciparošana un sakārtošana vienā atskaites sistēmā. Tā kā valsts teritorijas gravimetriskās uzmērīšanas darbs ir ļoti laikietilpīgs, par ko autors pārliecinājies personīgi, tad vienīgā un ātrākā iespēja iegūt precīzu ģeoida modeli bija operatīvi izmantot jau uzmērītos un pieejamos ģeodēziskos datus. Visu nepieciešamo datu iegūšana, sakārtošana un apstrāde bija darba autora svarīgs uzdevums, lai varētu uzsākt ģeoida modeļa aprēķinus. Gravimetriskie dati bija pieejami galvenokārt tikai papīra karšu lapu mērogā 1 : 200 000 formātā, pie kam šie dati katrā lapā bija attēloti savā atskaites sistēmā. Visu karšu lapu nociparošana tika veikta personīgi, tādējādi izvairoties no atšķirīgu izpildītāju radītajām sistemātiskajām kļūdām un līdz minimumam samazinot datu nehomogenitāti. Rezultātā tika iegūta gravimetriskā informācija par 12 000 punktiem. Taču, lai šādu punktu apjomu samērītu ar gravimetru, tad vienam ģeodēzistam būtu jāstrādā 20 gadus. Tas balstās uz pieņēmumu, ka vidēji sezonā ar vienu gravimetru viens cilvēks vidēji uzmēra 600 punktus. Pēc šo datu pārceļšanas no papīra formāta uz digitālo vēl bija jāveic to pārbaude un transformēšana uz vienotu atskaites sistēmu.
- Programmatūra GRAVSOFIT un programmēšanas veikšana. Koordinātu pārrēķināšanu un citus standartizētus aprēķinus veicu, pielāgojot Latvijas situācijai atvērtā koda programmpaketes GRAVSOFIT sniegtos risinājumus. Programmas ir uzrakstītas programmēšanas valodā FORTRAN, kas ir darba autoram zināma programmēšanas valoda. Tādējādi varēju droši izpildīt nepieciešamos teorētiskos aprēķinus. Latvijas datu specifikas dēļ bija jāveic daudzi nestandarta pārrēķini, kad gravimetriskās vērtības iegūšanas formulas jāizstrādā un jāpārbauda pašam. Līdz ar to tādi speciāli risinājumi nebija pieejami GRAVSOFIT paketē. Tādos gadījumos bija jāveic patstāvīgi programmēšanas darbi, paplašinot programmu paketes GRAVSOFIT aprēķinu iespējas un pielietojumu.
- Nociparoto karšu datu zinātniska un praktiska izvērtēšana.

Iegūtie vairāk nekā 12 000 punktu dati bija rūpīgi jāpārbauda. Detalizēti analizējot gravimetrisko punktu vērtības, tika veikts ievērojams salīdzināšanas un modelēšanas darbs. Lai šos datus varētu izmantot ne tikai Latvijas, bet arī visu Ziemeļvalstu zinātnieki, tie ir ievadīti kopējā Ziemeļvalstu ģeodēziskās komisijas NKG datu bāzē un atrodas starptautiskā aprītē, t.sk. tos lieto amerikāņu zinātnieki globālu problēmu pētniecībā.

▪ Globālā vispasaulē gravitācijas modeļa un digitālā augstuma modeļa pielietošana Latvijas teritorijā.

Tālākajā darba gaitā iegūtie uzmērītie lokālie gravimetriskie dati lietoti GRAVSOFTE programmās ģeoīda virsmas modelēšanai. Vienlaikus obligāti jālieto arī globālie Zemes gravitācijas lauka modeļi, kas noteikti kosmisko pavadoņu lidojumu laikā, pielietojot summētās vidējās gravimetriskās vērtības uz zemes. Darbā kā atskaites globālais gravitācijas lauks tiek izmantots pārbaudītais vispasaulē gravitācijas modeļis **EGM96**. Modelēšanas aprēķinos tiek izmantota šī globālā lauka vērtību un lokālā gravimetriskā lauka vērtību starpība, jo šīs starpības vidējā vērtība ir tuva nullei un līdz ar to virsmas integrāļa aprēķinos iegūstam ātrāku matemātisko atrisinājumu. Ģeoīda aprēķināšanas gaitā vēl nepieciešams teritorijas digitālais augstuma modelis. Tas patstāvīgi iegūts no interneta tīmekļa un izmantots aprēķinos. Augstuma modeļa saīsinātais starptautiskais nosaukums ir GLOBE.

▪ Gravimetriskās sistēmas starptautiskā uzturēšana.

Lai nodrošinātu precīzus gravimetriskos un telpiskos datus jebkurā atskaites momentā, tiek veikti regulāri atkārtotie gravimetriskie mērījumi sistēmas bāzes punktos. Jaunākie

atkārtotie absolūtie gravimetriskie mērījumi ir izpildīti Rīgā 2007. gada decembrī. Kā specifisks elements gravimetrisko datu kontrolē un sasaistē ir 1999. gadā notikušie aerogravimetriskie mērījumi Baltijas jūrā. To laikā tika veikta speciāli aprīkotās lidmašīnas nosēšanās Liepājas lidostā, un darba autors izpildīja lidmašīnas gravimetra kalibrēšanu Latvijas gravimetriskajā tīklā. Turpmāk nepieciešams veikt šādus aerogravimetriskos uzmērījumus Rīgas jūras līcī, ko uzrāda gan Latvijas, gan Igaunijas zinātnieku gravimetriskā lauka pētījumi.

▪ Turpmākie darbi jauna precizitātes līmeņa ģeoīda modeļa iegūšanai.

Viena centimetra ģeoīda modeļa precizitātes sasniegšanai tiek veikta plānveidīga valsts pirmās klases nivelēšanas tīkla atjaunošana 3000 km kopgarumā Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras vadībā. Darbu pilnīga pabeigšana tiek plānota 2011. gadā. Izpildes gaitā darbi tiek starptautiski koordinēti ar Lietuvas un Igaunijas speciālistiem, kā arī regulāri analizēti Ziemeļvalstu ģeodēziskās komisijas darba grupās. Uzdevumu izpildi sekmē globālā zemes gravitācijas lauka modeļa attīstība, kur principiāli jaunas kvalitātes rezultāti ir sagaidāmi pēc ZMP **GOCE** misijas noslēguma rezultātiem. Var apgalvot, ka šie jaunās kosmiskās misijas rezultāti uzlabos mūsu valsts ģeodēzisko pamattīklu un ģeoīda modeļa precizitāti. Ģeodēzistu ilggadējais darbs kalpo arī jaunāko kosmisko misiju rezultātu izvērtēšanai. Tādējādi no darbā aprakstītā tehnoloģiskā procesa ieguvēji ir visi tanī iesaistītie ģeodēzijas nozares speciālisti un aprēķinātā GPS-ģeoīda lietotāji, kā arī visa starptautiskā zinātnisku saime.