

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Gunārs Silabriedis

***EUPOS[®]-RĪGA* ģeodēziskais atbalsta tīkls
un tā daudzfunkcionālā lietošana**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga – 2012

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības fakultāte
Transportbūvju institūts
Ģeomātikas katedra

Gunārs Silabriedis

Būvniecības doktora programmas doktorants

***EUPOS[®]-RĪGA* ģeodēziskais atbalsta tīkls
un tā daudzfunkcionālā lietošana**

Promocijas darba kopsavilkums

Darba zinātniskais vadītājs
Prof. Dr.phys
J.Balodis

Rīga – 2012

UDK 528.422(043)

Si 420 e



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēc doktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

This work has been supported by the European Social Fund within the National Programme, „Support for the carrying out doctoral study programm’s and post doctoral reserches” Project „Support for the development of doctoral studies at Riga Technical University”.

ISBN 978-9934-507-22-9

Satura rādītājs

Satura rādītājs	3
DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS	5
Tēmas aktualitāte	5
Darba mērķis	6
Darba zinātniskā novitāte	7
Darba praktiskā vērtība	7
Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes	7
Darba sastāvs un apjoms	8
Darba aprobācija un publikācijas	8
DARBA SATURS	11
Pirmā nodaļa	11
Otrā nodaļa	11
Trešā nodaļa	13
Ceturtā nodaļa	17
SECINĀJUMI	20
PUBLIKĀCIJU SARAKSTS	22

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

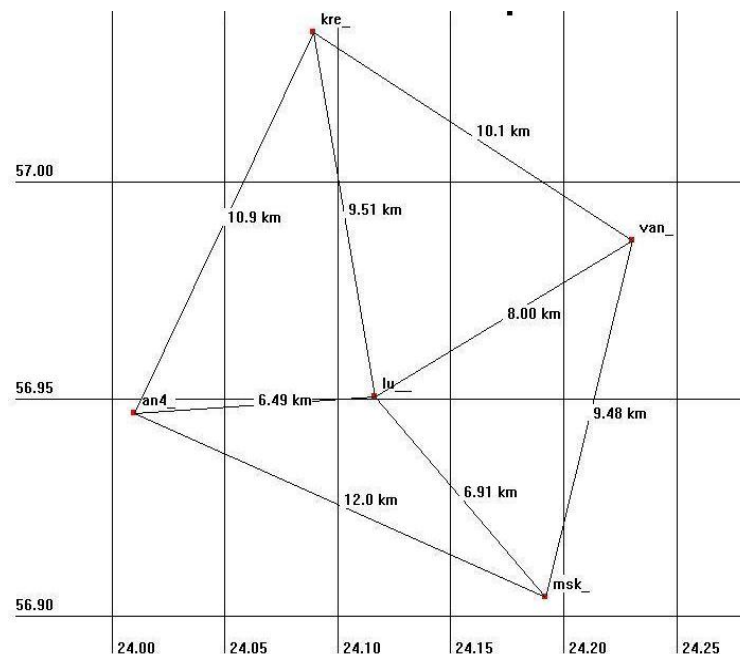
Tēmas aktualitāte

Rīgas ģeodēziskais atbalsta tīkls sen vairs neapmierināja mērniecības darbu izpildes prasības. Poligonometrijas tīkls stipri izpostīts ielu rekonstrukcijas un būvniecības rezultātā. Tas veidojies gadu desmitos. Bet arī palikušās daļas precizitāte vairs neapmierina. Poligonometrijas tīkls tika veidots pa atsevišķiem pilsētas reģioniem līdztekus jauno kvartālu būvniecībai. Pilsētas poligonometrijas tīkls nebija kā viena savstarpēji saskaņota un vienoti izlīdzināta koordinātu atbalsta sistēma. Arī augstuma tīkls bija liela mīklaina sistēma, par kuras precizitāti varēja tikai minēt. Rīgā bija nobriedusi liela nepieciešamība vai nu atjaunot, vai veidot jaunu ģeodēzisko koordinātu atbalsta sistēmu.

Izrādījās, ka līdzīgas raizes ir arī daudzām kaimiņvalstīm. Radās doma veidot Globālās navigācijas satelītu sistēmas (GNSS) uz zemi bāzētu palīgsistēmu GBAS (*Ground Based Augmentation System*).

Nepieciešamības rezultātā veidot plašu GNSS tīklu, kurš aptver vairāku valstu teritorijas un pakļaujas vienotiem standartiem, tika izveidota EUPOS[®] sistēma. Tīkla veidošanā iesaistījās Austrumeiropas valstis. Savukārt balstoties uz EUPOS[®] principiem, tika izveidots lokāls GNSS tīkls – **EUPOS[®]-RĪGA**. Rīgas pilsētas GNSS tīkls balstās uz piecām pastāvīgās darbības bāzes stacijām, no kurām četras aptver Rīgu un viena atrodas centrā - LU galvenajā ēkā (1.att.). Bāzes staciju savstarpējie attālumi nepārsniedz divpadsmit km. Nelielais attālums starp bāzes stacijām nodrošina precīzākus augstuma mērījumus. JAVAD kompānijas aparatūra nodrošina gan GPS, gan GLONASS satelītu signālu uztveršanu, jo pilsētas vidē, kur debess horizontu aizēno apkārtējā apbūve, lielāks satelītu skaits ir nozīmīgs. Darbā aprakstītie pētījumi veikti ar mērķi dziļāk izanalizēt **EUPOS[®]-RĪGA** sistēmas iespējas, darbības drošumu, pielietojamību citās tautsaimniecības nozarēs.

Izveidojot GNSS pozicionēšanas sistēmu Rīgas pilsētā, ir iegūts moderns elektronisko ģeodēzisko koordinātu tīkls ar plašām iespējām to izmantot mērniecībā, kartogrāfijā, Rīgas ģeoinformācijas sistēmas veidošanā un lietošanā, celtniecībā, navigācijā, transporta kustības organizācijā un daudzos citos pielietojumos. Analogi, kā mobilie telefoni, GNSS tehnoloģijas pašreiz plaši ieviešas visā pasaulē, un Rīga kā attīstīta Eiropas pilsēta daudz iegūst, ātrāk apgūstot šo moderno tehnoloģiju.



1. att. *EUPOS-RĪGA* GNSS tīkla shēma

Darba mērķis

Izveidot un pamatot koordinātu noteikšanas ģeodēzisko atbalsta sistēmu Rīgas pilsētas teritorijā, kura ir:

- PRECĪZA – cm precizitāte globālā mērogā ETRF89 sistēmā ar tās realizāciju Latvijā, kura nosaukta par LKS92 sistēmu,
- AKTĪVA – Pastāvīgās darbības referencstaciju integrēta kopa un to iegūtie DGNSS pozicionēšanas RTCM korekcijas dati, kuri nepārtrauktas datu plūsmas veidā saņemami caur mobilās telefonijas GPRS sistēmu GNSS informācijas lietotājiem,
- INTEGRĒTA – nepārtrauktas darbības, pasaules vienotā koordinātu telpā saistīta ar nacionālajiem un starptautiskajiem dienestiem un standartiem (t.i. Eiropas pozīciju noteikšanas sistēmu EUPOS un Latvijas ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LGIA) pastāvīgas darbības staciju tīklu LatPos, Starptautisko GNSS dienestu IGS un Eiropas pastāvīgās darbības GNSS staciju tīklu EPN),
- DAUDZFUNKCIONĀLA – augstas precizitātes atbalsta sistēmas nodrošinājums ģeodēzijai, ģeofizikai, zemes mērniecībai un diferencētas precizitātes lietojumiem navigācijai uz jūras, gaisā un uz sauszemes, kartogrāfijai, jūras kartogrāfijai un dažādiem ģeoinformācijas sistēmu veidošanas un lietošanas mērķiem.

Darba zinātniskā novitāte

- Izveidots jauns, moderns, augstas precizitātes ģeodēziskais atbalsta tīkls Rīgas pilsētai;
- **EUPOS[®]-RĪGA** GNSS staciju kvalitātes analīzei lietotas statistiskās metodes;
- Ar reāliem GNSS mērījumiem parādīts, ka **EUPOS[®]-RĪGA** sistēmas lietošana GNSS mērījumos nodrošina tehniskās prasības ģeodēzisko inženiertehnisko darbu izpildei Rīgā statisko un reālā laika mērījumos;
- Ar **EUPOS[®]-RĪGA** sistēmu pierādīta Rīgas vertikālā atbalsta tīkla lielu deformāciju esamība.

Darba praktiskā vērtība

- Rīgas pilsētai ir radīts nodrošinājums ar augstvērtīgu trīsdimensionālu globālo koordinātu sistēmu kvalitatīvai inženiertehnisko un mērniecības darbu izpildei.
- Veikts pētījums par GNSS bāzes staciju mērījumu rezultātu kvalitāti, un to ietekmējošiem faktoriem.
- Pierādīta GNSS RTK metodes pielietojamība mērniecības, būvniecības (īpaši augstumu noteikšanā) darbos.
- Izstrādāta metodika un principi **EUPOS[®]-RĪGA** un vietējā ģeodēziskā tīkla datu savietošanai, kā arī ortofoto kartes precizitātes pārbaudei.
-

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

1. Izveidota moderna, pēc starptautiskiem standartiem(**EUPOS[®]**), elektroniski nodrošināma telemātiski sasniedzama reālā laika digitālo datu plūsmas palīgsistēma, Globālās navigācijas satelītu sistēmu informācijas izmantošanai. Šīs sistēma nosaukta **EUPOS[®] - RĪGA**;
2. Nodrošināta augstas precizitātes koordinātu noteikšana **EUPOS[®] - RĪGA** bāzes stacijām LKS92 un ETRF89 sistēmās Latvijas un pasaules koordinātu telpā;
3. Pamatotas **EUPOS[®] - RĪGA** plašas pielietošanas iespējas, īpaši uzsverot, zemes vertikālo kustību pētījumus.

Darba sastāvs un apjoms

Promocijas darbs ir patstāvīgs zinātnisks pētījums un tas sastāv no ievada, 4 nodaļām, secinājumiem un bibliogrāfijas. Darba apjoms ir 98 lappuses, 54 attēli, 13 tabulas un literatūras saraksts, kas satur 82 nosaukumus.

Darba aprobācija un publikācijas

Promocijas darba rezultāti ziņoti un apspriesti starptautiskajās konferencēs.

- Abele M., Balodis J., Rubans A., Silabriedis G. Project on the Automated Digital Camera for Vertical Deflection Determination. International Symposium EUREF – 2004. Bratislava, June 2-5, 2004. http://www.euref-iag.net/symposia/symposia_2004_Bratislava.html
- Abele M., Balodis J., Cekule M., Silabriedis G. New Facilities in Riga for the Improvement of Positioning Accuracy with GNSS Application. European Galileo Information Days in Riga, May 12-13, 2005.
- Balodis J., Caunite M., Silabriedis G. Manipulation Within The Large Volume Star Catalog. International Symposium EUREF – 2005. Vienna, June 1-4., 2005. (Poster).
- <http://www.euref-iag.net/symposia/Symposium2005-Vienna.html>
- Ābele M., Balodis J., Mūkins E., Silabriedis G., Štrauhmanis J.. Cooperation in Geomatics. International Conference „Cooperation on Applied Earth Observation/GMES”. Berlīne, 2005.g. 25-27.septembris. www.dlr.de/dlr-eo-conference.
- Balodis J., Silabriedis G. Latvia Case. Galileo Services: Chances for Business. 24-25 April 2006. Prague, Czech Republic. 2 lpp.
- Balodis J., Silabriedis G. Riga Multifunctional RTK Network – Subset of EUPOS® EUREF Symposium 2006, Riga, Latvia, 14-17 June 2006.
- <http://www.euref-iag.net/symposia/2006Riga/Symposium2006-Riga.html>
- Balodis J., Silabriedis G. GOCE misija un EUPOS® devums. Ģeomātika. RTU Zinātniskie raksti, sērija 11, sējums 2. Rīga, 2007. RTU izdevniecība. 11.-19. lpp.
- Silabriedis G., Plotnikov S., Balodis J., Caunite M., Zelinska E. THE EUPOS-RIGA APPLICATION FOR MAPPING CONTROL. 3rd International Conference and 3rd International Trade Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics [GEOS 2008](http://www.geos2008.org). Prague, 27th-28th February 2008. Conference Proceedings. Research

Institute of Geodesy, Topography and Cartography. Volume 54, Publication No.44. ISBN 978-80-5881-29-5. Abstract. P.5. Full text: www.vugtk.cz/geos/2008

- Balodis J., Plotnikovs S., Silabriedis G. Analyses of real time measurement precision in Riga.. Ģeomātika. RTU Zinātniskie raksti, sērija 11, sējums 3. Rīga, 2008. RTU izdevniecība. Pp.15-21.
- Abele M., Balodis J., Mitrofanovs I., Rubans A., Silabriedis G. and Zarinsjh A. EUPOS-RIGA and SLR. Geophysical Research Abstracts. Volume 10, 2008. EGU General Assembly 2008. ISSN: 1029-7006.
- Abele M., Balodis J., Balodis K., Caunite M., Janpaule I., Mitrofanovs I., Rubans A., Silabriedis G. and Zarinsjh A. Implementation of New Positioning System in Riga. International Symposium EUREF – 2008. Brussels, June 18-20, 2008.
- Silabriedis G., Balodis J., Baņuka D. Analyses of the Positioning System EUPOS-RIGA Multipath. Proceedings of the International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications. Berlin, Germany, 11 - 14 November 2008. (Poster). p.125.
- Abele M., Balodis J., Caunite M., Janpaule I., Rubans A., Silabriedis G., Zarinsjh A. Engineering process of SLR for LEO orbiters. Proceedings. 16th International Laser Ranging Workshop. Poznan, Poland, 13-17 October 2008. pp 641-643. Published December 2009. Publisher: Space Research Centre, Polish Academy of Sciences
- Janpaule I., Caunite M., Balodis J., Silabriedis G. *EUPOS*[®] NETWORK SOLUTION. Proceedings of the International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications. Berlin, ISBN 978-3-938373-93-4. Germany, 1-2 December 2009. pp.61-67.
- Balodis J., Silabriedis G., Caunite M., Janpaule I., Balodis K., Rubans A., Aleksejenko I., Otto R., Ratkus B., Reiniks M., Mitrofanovs I., Plotnikovs S., Zvirgzds J. *EUPOS*[®]-RIGA NETWORK ELEVATION ANALYSES. International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications, Berlin, Germany, 30 November – 2nd December 2009; Conference Proceedings. Senate Department for Urban Development, Berlin, Germany 2010; Publication ISBN 978-3-938373-93-4; p. 68-72.
- Balodis J, Janpaule I., Normand M., Rubans, A., Silabriedis, Zarinsjh A. Measuring of the Environmental Changes. EURO-ECO Hannover 2010. 2.-3. Dezember 2010. DAS INTERNATIONALE SYMPOSIUM “OKOLOGISCHE, TECHNOLOGISCHE

UND RECHLISCHE ASPEKTE DER LEBENSVERSORGUNG". Programm Abstrakts. Pp. 14-15.

- Balodis J., Caunīte M., Janpaule I., Kenyeres A., Rubans A., Silabriedis G., Rosenthal G., Zariņš A., Zvirgzds J., Ābele M. EUPOS and SLR Contribution to GOCE Mission // ESA Living Planet Symposium 2010 Proceedings, Norvēģija, Bergena, 28.jūnijs-2. jūlijs, 2010. pp. 1.-7
- Abele M., Balodis J., Rubans A., Silabriedis G., Zarinsjh A. SLR for LEO Ranging. 17th Workshop on Laser Ranging. Bad Koetzting Germany. May 16 – 20, 2011. <http://cddis.gsfc.nasa.gov/lw17/index.html>
- Balodis J., Janpaule I., Normand M., Silabriedis G., Zariņš A., Zvirgzds J. GNSS TĪKLU ANALĪZES LAIKA RINDAS. Proceedings of the International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications. ISBN 978-3-938373-94-1. Germany, 10-11 October 2011.
- Silabriedis G., Balodis J., *EUPOS® -RIGA* permanent station network improvement, United Nations/Latvia Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems, Riga, Latvia, 14 – 18 May 2012.

Galvenie darba rezultāti sniegti deviņās publikācijās.

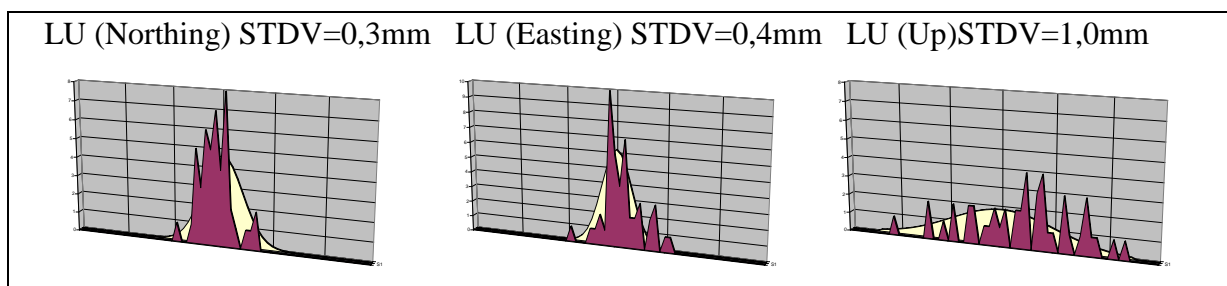
DARBA SATURS

Pirmā nodaļa

Ievadā paskaidrota Rīgas ģeodēziskā atbalsta tīkla ļoti neapmierinošā kvalitāte un nepieciešamība stāvokļa radikālai uzlabošanai. Inovatīvs risinājums nacionālo un starptautisko ģeodēzisko tīklu izveidē radās ASV un Vācijā, un tas strauji pārsviedās uz Austrumeiropas valstīm Eiropas pozicionēšanas sistēmas *EUPOS*[®] iniciatīvas projekta formā. *EUPOS*[®]-*RĪGA* un LatPos bija vienas no pirmajām sistēmām, kas tika izveidotas un aktīvi ieviestas ražošanā mērniecības industrijā. Pēdējā stadijā visa Rīgas nivelēšanas tīkla rekonstrukcijā norisinājās 1975.-1977. gados. Patiesībā tas bija ļoti nozīmīgs darbs, un promocijas darba autora skatījumā tas bija augstas kvalitātes darbs. Tomēr informācija par šo darbu ilgstoši nebija pieejama, kamēr izdevās tehnisko atskaiti atrast arhīvos. Tādēļ pirmās nodaļas beigu daļā detālāk pārstāstīts par šās nivelēšanas rezultātiem. Baltijas 1977. gada augstumu sistēmā šis tīkls ir joprojām lietošanā.

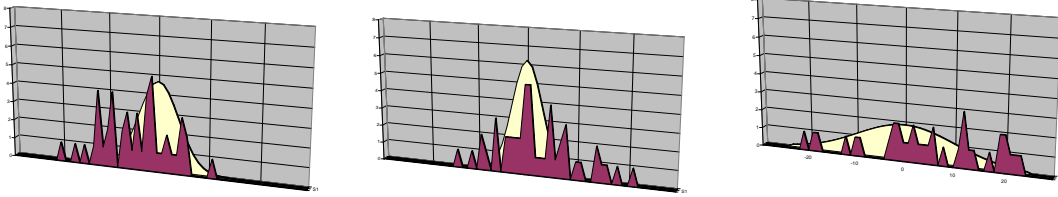
Otrā nodaļa

Otrajā nodaļā aprakstīta *EUPOS*[®]-*RĪGA* sistēmas stabilitātes un darbības kvalitātes pētījumi, salīdzinot ar starptautiskā GNSS dienesta (*IGS – International GNSS Service*) un Eiropas pamattīkla (*EPN – European Permanent Network*) staciju RIGA - 1884. Bāzes staciju koordinātu kvalitāte tika pārbaudīta katru stundu viena mēneša garumā, lai pētītu radioviļņu interferences un atstarošanās ietekmi uz uztvērēju antenu mērījumu precizitāti. Vācijas pilsētā Gārbesenē tika veikta visu piecu GNSS antenu kalibrēšana, izmantojot firmas Geo++ kalibrēšanas robotu. Rezultātā ir iegūta un darbojas augstas precizitātes *EUPOS*[®]-*RĪGA* sistēma, kura 90% gadījumu spēj nodrošināt 1-2 cm mērīšanas precizitāti, mērot dažas sekundes RTK režīmā.



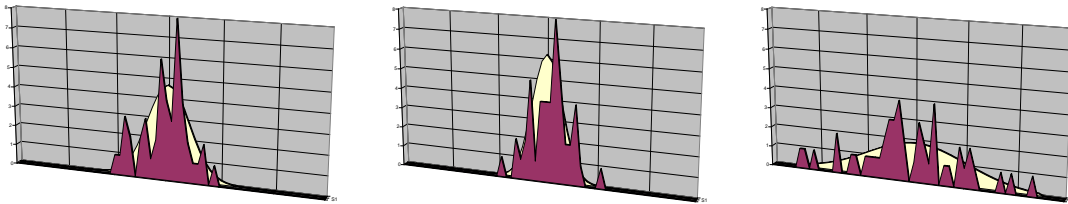
2. att. Stacijas Lu rezultātu sadalījums pa x, y un H (iedaļu dalījums 1mm)

Van (Northing) STDV =0,8mm Van (Easting) STDV =0,8mm Van (Up) STDV =2,2mm



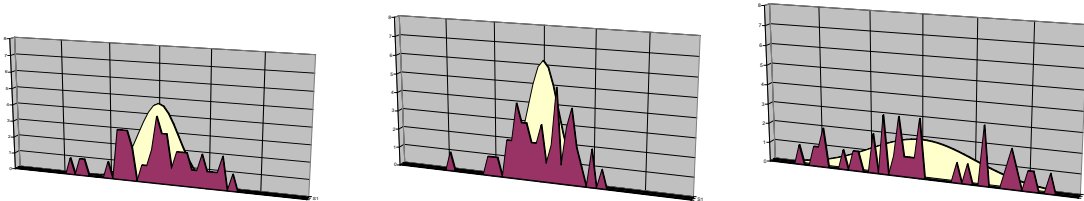
3.att. Stacijas Van rezultātu sadalījums pa x, y un H (iedaļu dalījums 1mm)

Ann (Northing) STDV =0,5mm Ann (Easting) STDV =0,4mm Ann (Up) STDV =1,0 mm



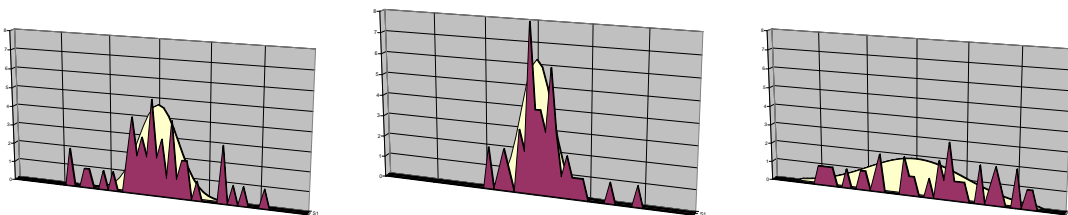
4.att. Stacijas Ann rezultātu sadalījums pa x, y un H (iedaļu dalījums 1mm)

Msk (Northing) STDV =0,9mm Msk (Easting) STDV S=0,6mm Msk (Up) STDV =2,3mm



5.att. Stacijas Msk rezultātu sadalījums pa x, y un H (iedaļu dalījums 1mm)

Kre (Northing) STDV =0,9mm Kre (Easting) STDV =0,5mm Kre (Up) STDV =2,0mm



6. att. Stacijas Kre rezultātu sadalījums pa x, y un H (iedaļu dalījums 1mm)

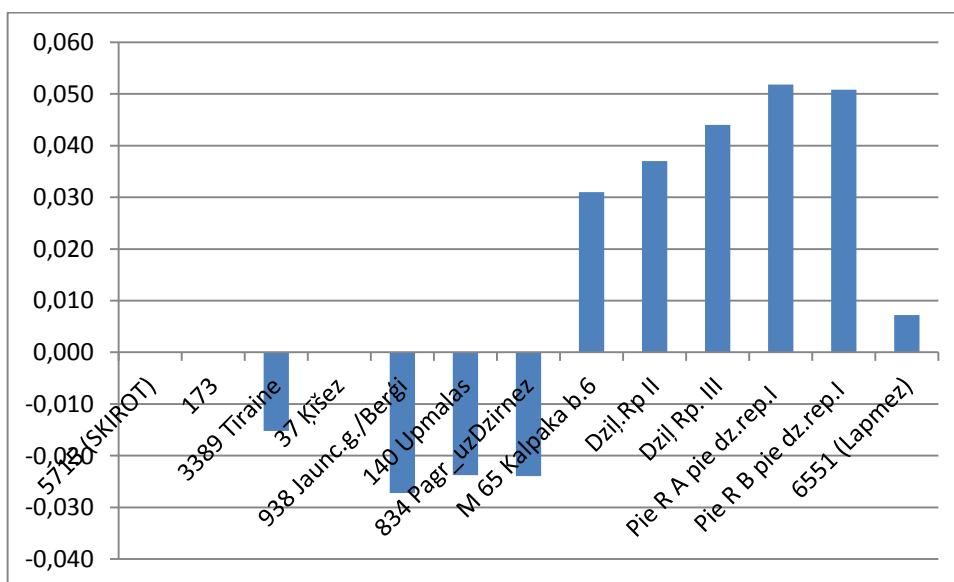
Apskatot attēlus (2.-6.att.), redzam, ka horizontālo koordinātu x, y koordinātas pēc ražošanas programmatūras PINACLE aprēķiniem vistuvāk atbilst normālajam sadalījumam.

Piezīmēsim, ka šie rēķini tika tuvināti reālam mērījumu procesam, kāds ir RTK režīmā – šoreiz neņēmām IGS uzlabotās orbītas, satelītu pulksteņu korekcijas un informāciju par jonosfēru. Lietojām tikai reālo lauka mērījumu datus. Horizontālo koordinātu sadalījums vistālāk no normālā sadalījuma ir Van un Msk stacijām.

Ja apskatām vertikālās koordinātas rezultātu sadalījuma grafikus, tad jāsecina, ka tikai Ann stacijai rezultātu sadalījums ir daudz maz tuvu normālajam. Lu stacijai mediāna novirzīta no centra. Tālu no normālā sadalījuma ir Van, Msk un Kre staciju augstuma noteikšanas rezultāti. Par augstuma koordinātu noteikšanas uzlabojumu iespējām tiek turpināti meklējumi un secinājumi būs tuvākā nākotnē.

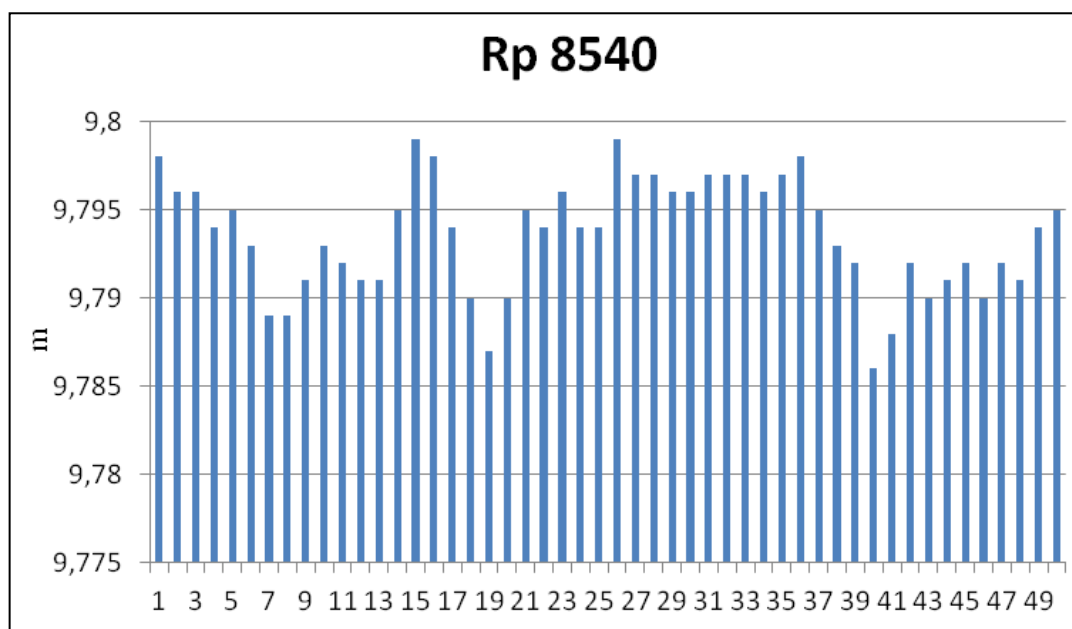
Trešā nodaļa

Sākotnēji 3. nodaļas pētījumi tika plānoti augstuma komponentes precizitātes pētījumiem, izmantojot **EUPOS®-RĪGA**, un galvenokārt RTK mērīšanas Rīgas pilsētas nivelēšanas tīklu bija plānots izmantots kā etalonu turpmākajiem augstuma izmaiņu pētījumiem. Tomēr drīz vien atklājās, ka nivelēšanas tīkls ir stipri deformēts. izmantojot **EUPOS®-RĪGA** RTK mērījumus un klasiskās ģeometriskās nivelēšanas metodes, tika veikti nivelēšanas tīkla punktu kontroles mērījumi. Tika konstatētas ievērojamas nivelēšanas tīkla deformācijas (7.att.).

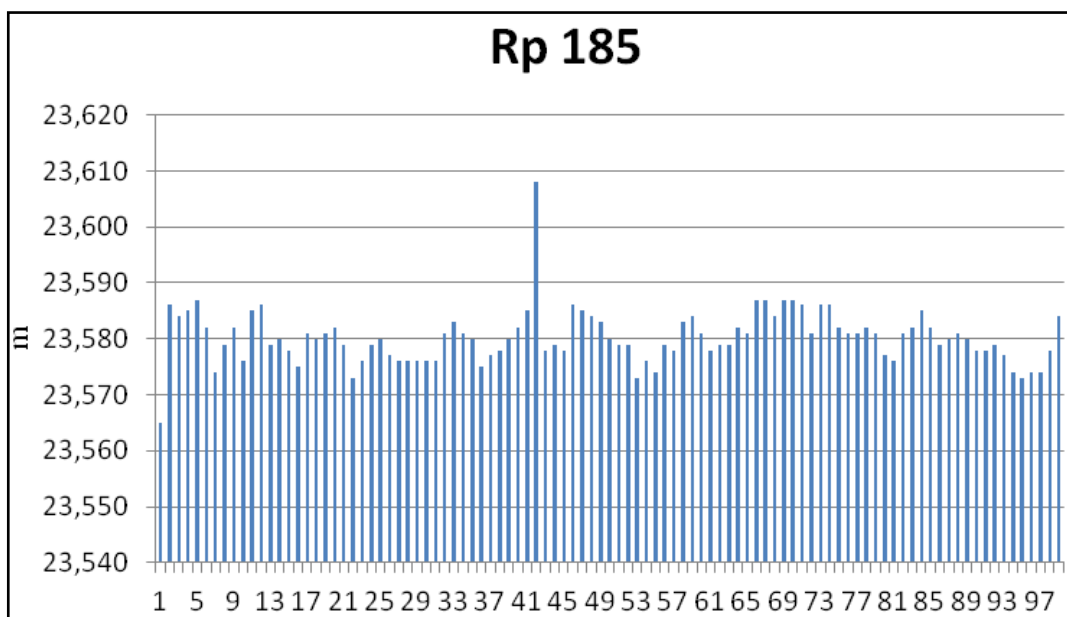


7. att. Pirmās klases nivelēšanas zīmju augstuma atšķirības (m), (RTK – LGIA)

Lai detālāk izpētītu iespējamo grunts vertikālo kustību procesus Rīgas pilsētā, tika apkopota mērījumu informācija par augstuma tīklu punktu jau iepriekš veiktiem DGNS mērījumiem un veikti arī jauni DGNS statistiskie un RTK mērījumi. Mērīšanai tika izmantota galvenokārt RTK metode, divu iemeslu dēļ. Pirmkārt, rezultāti ir iegūstami tūlīt mērīšanas gaitā un nav jāzaudē laiks pie bāzes staciju informācijas vākšanas, kā arī pie pēcapstrādes. Otrkārt, pēc novērojumu datu izlādēšanas datorā, varēja apskatīt jonosfēras fluktuāciju izraisīto mērījumu kļūdu amplitūdu. Tas deva arī iespēju izvērtēt, cik daudz mērījumu jāatkārto vienā mērīšanas vietā, lai gūtu pārliecību par gala rezultāta precizitāti un ticamību. Piemēram, Rp 8540 mērījumu kopa apskatāma 8. attēlā. Dažādos attēlojumos apskatāma Rp 185 mērījumu kopa attēlos (9.att.).

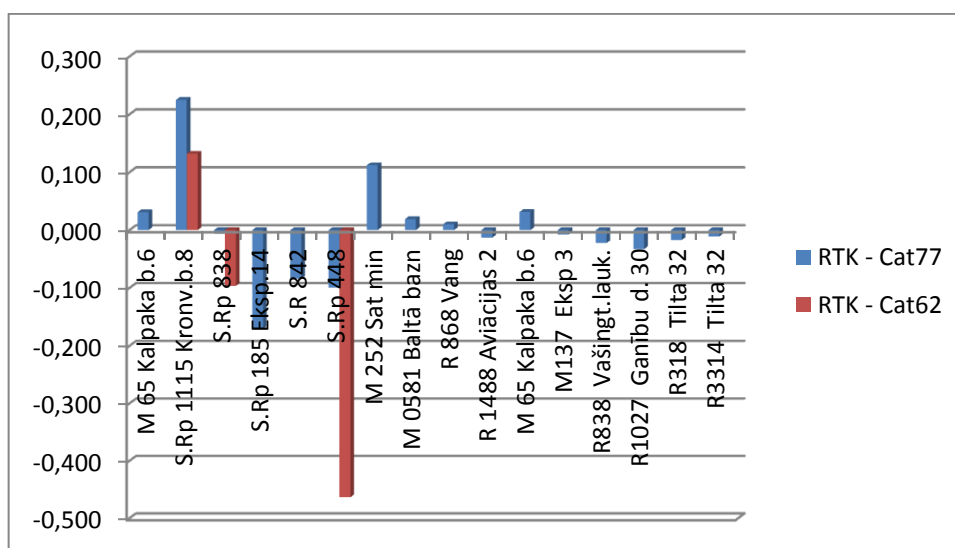


8. att. Augstuma mērīšanas rezultātu kopa no 50 mērījumiem pa 10 sekundēm



9. att. Augstuma mērīšanas rezultātu kopa no 100 mērījumiem pa 10 sekundēm

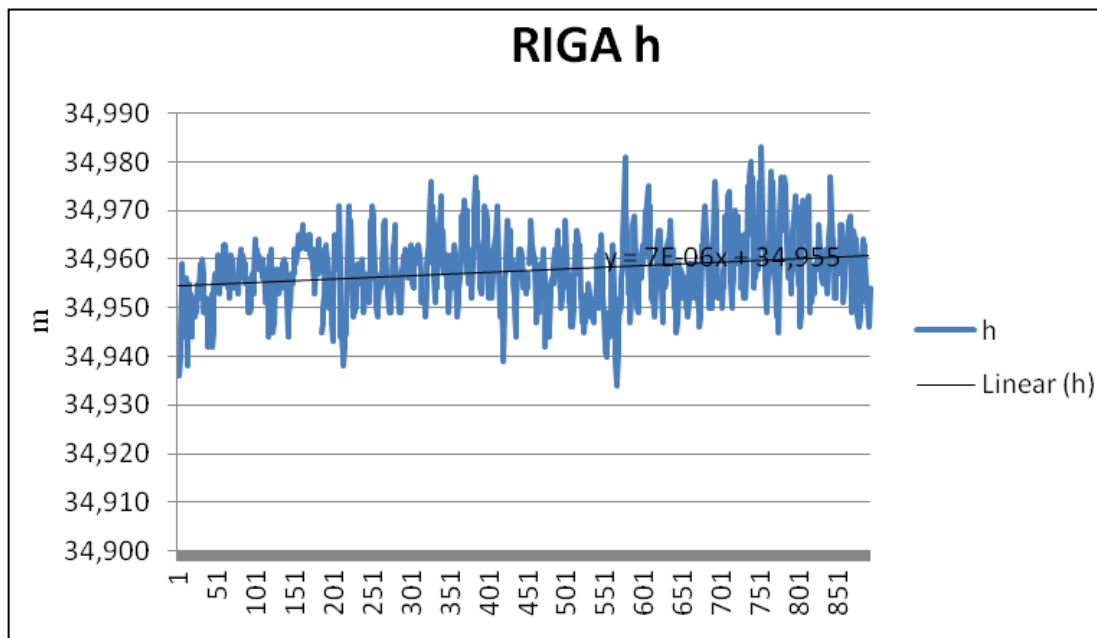
Mērījumu rezultātu fluktuācijas galvenokārt rada jonosfēra. Jo tuvāk atrodas bāzes stacija, jo fluktuācijas ir ar mazāku amplitūdu. Bāzes stacija spēj precīzāk aproksimēt jonosfēras izmaiņu modeli un precīzāk noteikt RTCM korekciju parametrus.



10. att. Sienas reperu augstuma starpību (m) grafiks

Iegūtās punktu augstumu atšķirības liecina par iespējamām grunts vertikālām kustībām. Rīgas pilsētas teritorijā pārsvarā novērojami grunts sēšanās procesi (visintensīvākie Ganību dambja un Sarkandaugavas rajonos), kaut arī atsevišķās vietās vērojama neliela grunts

celšanās. Izraudzīto punktu lielākais vairums atrodas šajās vietās. Augstuma izmaiņas Rīgas centrā vizualizētas (10.att.) tomēr novērojumu daudzums nav pietiekošs.

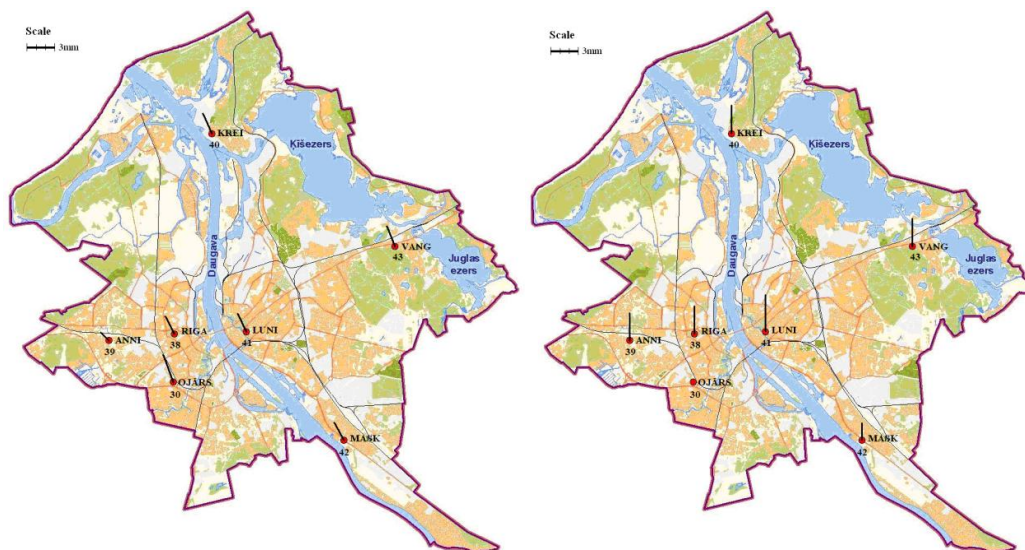


11. att. Starptautiskā EPN/IGS staciju tīkla RIGA stacijas augstuma novērojumu laika rinda

Var izdarīt slēdzienu, ka Rīgas tektoniskā vertikālā kustība uz Eirāzijas plātnes periodā no 2008. gada 1. jūlija līdz 2010. gada 31. decembrim bijusi vērsta uz augšu ar kustības ātrumu 2-4 mm/gadā. Staciju koordinātu izmaiņas starptautiskajos tīklos viennozīmīgi liecina par augstuma koordinātas palielināšanos (11., 12., 13.att.)

Mainība	RTK-LGIA	RTK - RG2	RTK - Cat77	RTK - Cat62
Augstāk ≥ 0	8	3	9	1
Zemāk ≤ 0	4	11	17	2
Kopā	12	14	26	3
Augstāk %	67%	21%	35%	33%
Zemāk %	33%	79%	65%	67%

12.att. Augstuma atzīmju mainības kopsavilkums (mm)



13. att. Rīgas GNSS staciju koordinātu izmaiņu gadā ātruma vektori (x, y un H)

Augstumu izmaiņu lielums ir nepieļaujams, veicot pilsēt būvniecības darbus. Analizējot *EUPOS*[®]-*RĪGA* uzkrātos mērījumu datus kopumā, GNSS novērojumu laika rindas uzrāda zemes virsmas paaugstināšanos 3-4 mm gadā ik gadus 2,5 gadu periodā. Detalizētāki pētījumi uzrāda, ka atsevišķās teritorijās novērojami arī grunts grimšanas procesi.

Jāsecina, ka Rīgas pilsētas augstumu tīkls ir ievērojami deformēts. To nevajadzētu izmantot civilā būvniecībā. RTK mērīšanas metode ir lietojama augstas precizitātes mērījumu rezultātu iegūšanai. RTK mērījumu augstumu precizitāte ir atkarīga no atkārtotu mērījumu daudzuma, no attāluma līdz tuvākajai bāzes stacijai un no ģeoīda modeļa precizitātes.

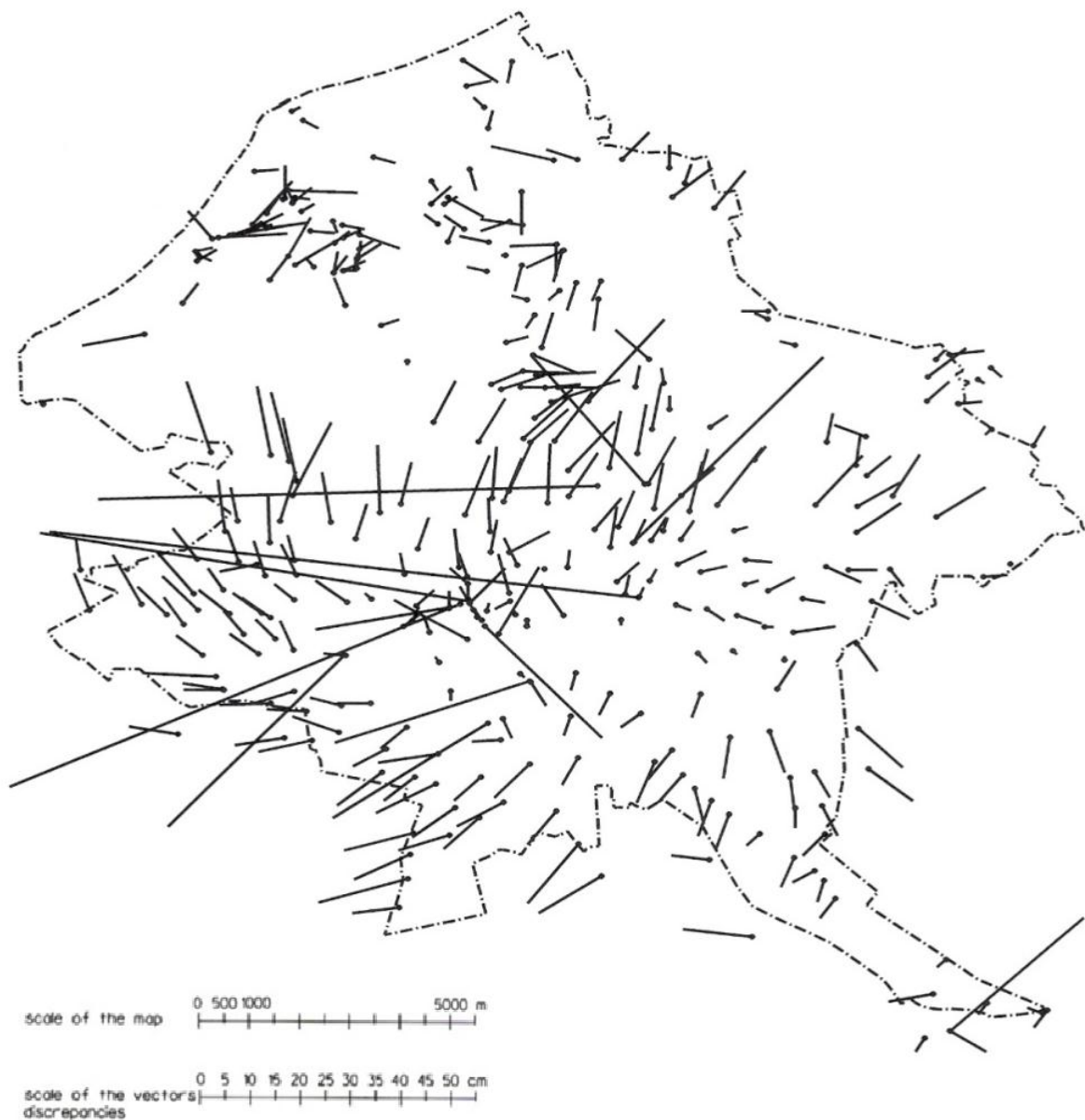
Ceturtnā nodaļa

Darba ceturtnajā nodaļā aprakstītas *EUPOS*[®]-*RĪGA* sistēmas daudzfunkcionālās pielietojšanas iespējas. Jau trešajā nodaļā diskutēts par augstuma noteikšanas iespējām, bet ceturtnajā nodaļā aprakstīta arī ortofoto kartes kvalitātes pārbaude, apakšzemes inženierkomunikāciju datu iegūšanu un uzturēšanu. Apzināta ārzemju pieredze GNSS uz zemes bāzētu pastāvīgi darbojošos bāzes staciju tīklu daudzfunkcionālai lietošanai.

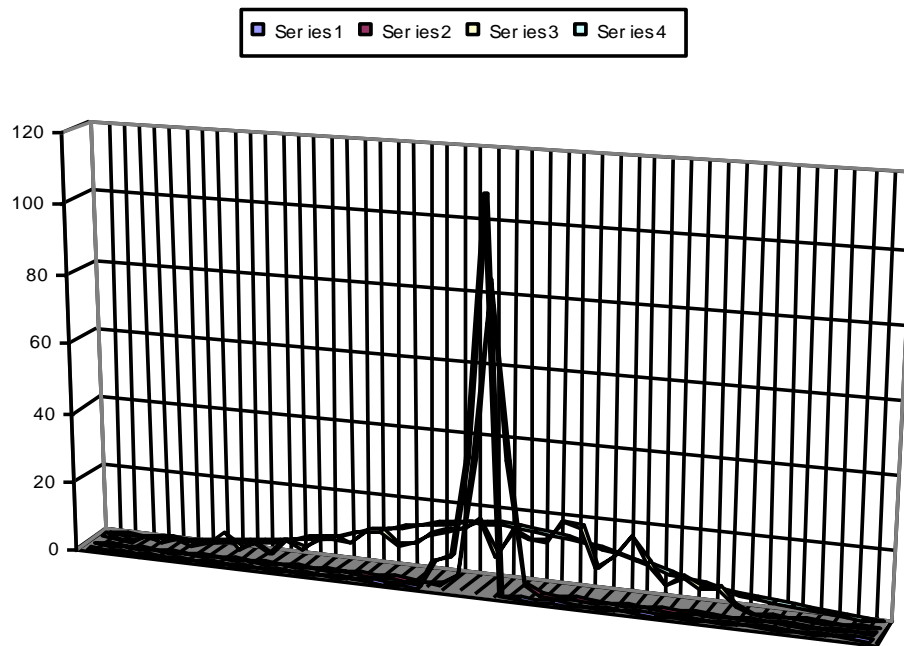
Manā vadībā (2007.-2008.g.) tika veikta ortofoto kartes pārbaudes procedūra, kas ir ļoti atbildīgs darbs. Lai iegūtu augstas kvalitātes karti, ir jāatrod vislabākās matodes gan kartes piesaistes punktu koordinātu noteikšanai, gan kļūdu un neprecizitāšu konstatācijai, novērtējot kartes precizitātes kvalitāti. Veicot kontroles mērījumus ar DGNSM metodi, mums nepieciešams nodrošināt visaugstāko precizitāti, un mērījumu punktiem ir jābūt pietiekoši teritoriāli blīvi izvietotiem un nekļūdīgi identificējamiem ortofoto kartē.

Darbā izmantojām Topcon HIPer+ ar L1,L2 frekvencēm un R8 GNSS TRIMBLE ar L1, L2, L2C un L5 frekvencēm DGNSS uztvērējus. Tika veikti 7-10 minūšu statistiskie mērījumi 344punktos, kuri pēcstrādē tika aprēķināti ar Pinnacle programmatūru. Aprēķinos tika izmantotas trīs (*no piecām*) tuvākās DGNSS bāzes stacijas, lai attālums līdz kontrolmērījumu vietai nepārsniegtu 10 km.

Mērījumu koordinātas tika aprēķinātas statistiskajā metodē, kur vidējā kvadrātiskā kļūda horizontālā plaknē ir RMS 0,8cm, augstumos 1,02 cm. Ortofoto kartes kļūdu noviržu vektori ir aptuveni 15 cm robežās un saskaņā ar mērījumiem vidējā vietas attēlojuma ortofoto kartes kļūda ir 8,1 cm (14., 15. att.)



14. att. Ortofoto kartes identificēto punktu lineārās novirzes ģeodēziskās kontroles rezultātā



15. att. Ortofoto kartes novirzes (*lower curves*) un RTK mērijumu precizitātes novirzes (*upper curves*). Horizontālās ass dalījums -1 cm, vertikālās ass dalījums – frequency of precision values in performed experiment

SECINĀJUMI

Promocijas darbs „**EUPOS[®]-RĪGA** ģeodēziskais atbalsta tīkls un tā daudzfunkcionālā lietošana” veltīts Globālās navigācijas satelītu sistēmas (*GNSS*) uz zemes bāzētas palīg sistēmas izveidei par Eiropas globālās pozicionēšanas sistēmas *EUPOS[®]* apakškopu. Darba mērķis bija izveidot **EUPOS[®]-RĪGA** pastāvīgi darbojošos GNSS bāzes staciju ģeodēziskā atbalsta tīklu Rīgas pilsētā un izpētīt tā atbilstību augstas precizitātes, nepārtrauktas darbības, aktīvu ar RTCM korekciju nodrošinājumu reālā laika (RTK) mērījumiem to daudzfunkcionālam lietojumam.

Veikti **EUPOS[®]-RĪGA** sistēmas stabilitātes un darbības kvalitātes pētījumi, salīdzinot ar starptautiskā GNSS dienesta (*IGS – International GNSS Service*) un Eiropas pamattīkla (*EPN – European Permanent Network*) staciju RIGA - 1884. Bāzes staciju koordinātu kvalitāte tika pārbaudīta katru stundu viena mēneša garumā, lai pētītu radioviļņu interferences un atstarošanās ietekmi uz uztvērēju antenu mērījumu precizitāti. Vācijas pilsētā Gārbsenē tika veikta visu piecu GNSS antenu kalibrēšana, izmantojot firmas Geo++ kalibrēšanas robotu. Rezultātā ir iegūta un darbojas augstas precizitātes **EUPOS[®]-RĪGA** sistēma, kura 90% gadījumu spēj nodrošināt 1-2 cm mērīšanas precizitāti, mērot dažas minūšu RTK režīmā.

Izmantojot **EUPOS[®]-RĪGA** RTK mērījumus un klasiskās ģeometriskās nivelēšanas metodes, tika veikti nivelēšanas tīkla punktu kontroles mērījumi. Tika konstatētas ievērojamas nivelēšanas tīkla deformācijas. To lielums ir nepieļaujams, veicot pilsētbūvniecības darbus. Analizējot **EUPOS[®]-RĪGA** uzkrātos mērījumu datus kopumā, GNSS novērojumu laika rindas uzrāda zemes virsmas paaugstināšanos 3-4 mm gadā ik gadus 2,5 gadu periodā. Detalizētāki pētījumi uzrāda, ka atsevišķās teritorijās novērojami arī grunts grimšanas procesi.

Jāsecina, ka Rīgas pilsētas augstumu tīkls ir ievērojami deformēts.

Pamatota **EUPOS[®]-RĪGA** sistēmas daudzfunkcionālās pielietošana ortofoto kartes kvalitātes pārbaude. Veikto darbu rezultātā ievērojami pieauga ortofoto kartes noteiktība. Ar **EUPOS[®]-RĪGA** sistēmas izmantošanu ievērojami uzlabojušies apakšzemes inženierkomunikāciju datu iegūšanas un uzturēšanas procesi.

Promocija darba veikto pētījumu rezultātā:

1. Izveidots jauns uz kosmiskām tehnoloģijām balstīts Rīgas pilsētas ģeodēziskais atbalsta tīkls **EUPOS[®]-RĪGA**.
2. **EUPOS[®]-RĪGA** ģeodēziskais atbalsta tīkls iesaistīts Latvijas LKS92 un Eiropas ETRS89 koordinātu sistēmā, kā arī globālās pasaules koordinātu sistēmās ITRF un WGS84.
3. Veikta detalizēta **EUPOS[®]-RĪGA** sistēmas stabilitātes un precizitātes pārbaude un darbības analīze attiecībā pret LatPos, EPN (*European Permanent Network*) un IGS (*International GNSS Service*) ģeodēziskajiem atbalsta punktiem, kas izvietoti Latvijas kaimiņu valstīs Zviedrijā, Somijā, Krievijā, Lietuvā, Igaunijā un Polijā.
4. EUPOS-RĪGA staciju horizontālo koordinātu precizitāte ir ± 1 mm. Vertikālo koordinātu precizitāte ± 3 mm.
5. Īpaši pētīta lauka mērījumu koordinātu noteikšanas precizitāte, veicot ģeodēziskos mērījumus ar Globālās navigācijas satelītu sistēmas (GNSS) ģeodēzisko aparāturu reālā laika režīmā, izmantojot GPS, GLONASS un **EUPOS[®]-RĪGA** informāciju vienlaicīgi.
6. 92% gadījumā lauka mērījumos nepilnas minūtes laikā koordinātas nosakāmas ar 1-2 cm precizitāti.
7. **EUPOS[®]-RĪGA** informācija lietojama ģeodēziskos mērījumos kadastrā, inženierģeodēzijā, topogrāfiskajā uzmērīšanā un kartogrāfijā, kā arī citos pozicionēšanas mērījumos inženierkomunikāciju piemērīšanai, GIS pielietojumos u.c.
8. **EUPOS[®]-RĪGA** ir pozicionēšanas palīg sistēma, kura ievērojami paātrina ģeodēzisko lauka darbu izpildi.
9. **EUPOS[®]-RĪGA** ir pamatlīdzeklis topogrāfiskās uzmērīšanas kvalitātes pārbaudei un apakšzemes inženierkomunikāciju uzmērīšanai.
10. Rīgas ĢeoMetrā izveidota inženierkomunikāciju un topogrāfisko mērījumu datu bāze, kas nodrošina daudzu Rīgas inženiertehnisko darbu izpildes drošību un kvalitāti.

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

1. Balodis. J., Silabriedis G. GOCE misija un *EUPOS*[®] devums. Ģeomātika. RTU Zinātniskie raksti, sērija 11, sējums 2. Rīga, 2007. RTU izdevniecība. 11.-19. lpp.
2. Silabriedis G. *EUPOS*[®] - Rīga 2008 un antenu novietojuma analīze // RTU zinātniskie raksti. 11. sēr., Ģeomātika. - 5. sēj. (2009), 32.-40. lpp.
3. Silabriedis G., Plotnikov S., Balodis J., Caunite M., Zelinska E. THE *EUPOS*-RIGA APPLICATION FOR MAPPING CONTROL. 3rd International Conference and 3rd International Trade Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics [GEOS 2008](#). Prague, 27th-28th February 2008. Conference Proceedings. Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography. Volume 54, Publication No.44. ISBN 978-80-5881-29-5. Abstract. P.5. Full text: www.vugtk.cz/geos/2008
4. Balodis J., Plotnikovs S., Silabriedis G. Analyses of real time measurement position in Riga.. Ģeomātika. RTU Zinātniskie raksti, sērija 11, sējums 3. Rīga, 2008. RTU izdevniecība. Pp.15-21.
5. Janpaule I., Caunite M., Balodis J., Silabriedis G. *EUPOS*[®] NETWORK SOLUTION. Proceedings of the International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications. Berlin, ISBN 978-3-938373-93-4. Germany, 1-2 December 2009. pp.61-67.
6. Balodis J., Silabriedis G., Caunite M., Janpaule I., Balodis K., Rubans A., Aleksejenko I., Otto R., Ratkus B., Reiniks M., Mitrofanovs I., Plotnikovs S., Zvirgzds J. *EUPOS*[®]-RIGA NETWORK ELEVATION ANALYSES. International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications, Berlin, Germany, 30 November – 2nd December 2009; Conference Proceedings. Senate Department for Urban Development, Berlin, Germany 2010; Publication ISBN 978-3-938373-93-4; p. 68-72.
7. Balodis J., Caunite M., Janpaule I., Kenyeres A., Rubans A., Silabriedis G., Rosenthal G., Zariņš A., Zvirgzds J., Ābele M. *EUPOS* and SLR Contribution to GOCE Mission // ESA Living Planet Symposium 2010 Proceedings, Norvēģija, Bergena, 28.jūnijs-2. jūlijs, 2010. pp. 1.-7
8. Silabriedis G. RĪGAS ĢEODĒZISKĀ VERTIKĀLĀ TĪKLA VĒSTURE UN NĀKOTNE Ģeomātika. RTU Zinātniskie raksti, sērija 11, sējums 7, Rīga, 2010. RTU izdevniecība. Pp.14-26.

9. Balodis J., Janpaule I., Normand M., Silabriedis G., Zariņš A., Zvirgzds J.; GNSS TĪKLU ANALĪZES LAIKA RINDAS; Latvijas Universitātes 70. konference, Ģeomātika (ĢIS un tālzpēte), 2012.gada 3.februāris; publicēts http://www.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/gzzf/Konferences/Tezu_kra_jumi/70.pdf, 29.-31.lpp.

Promocijas darbs

Izvirzīts Rīgas Tehniskā Universitātē

Inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013. gada 25.janvārī plkst. 14:15 Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātē, Āzenes ielā 16, sēžu zālē.

Oficiālie recenzenti

1) Dr.sc.ing. Modris Dobelis

Rīgas Tehniskā universitāte

2) Dr.sc.ing. Eimuntas Paršeliūnas

Viļņas Tehniskā universitāte

3) Dr.sc.ing. Jānis Kaminskis

Rīgas Tehniskā universitāte

Apstiprinājums

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai.

Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Gunārs Silabriedis(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 54 attēlus, 13 tabulas, kopā 98 lappuses. Literatūras sarakstā ir 82 nosaukumi.