

Rīgas ģeodēziskā vertikālā tīkla vēsture un nākotne

Gunars Silabriedis, *Company „Rigas GeoMetr”*

Kopsavilkums - Lai pētītu Rīgas pilsētas augstuma atzīmju vertikālās izmaiņas, jāiepazīstas ar līmetņošanas tīklu attīstības vēsturi, katalogiem un uzmērījumu žurnāliem. 1882.-1895.g. tika izveidots pirmais triangulācijas tīkls. 1882.g. ierīkoja piemās augstumu zīmes, kopumā 288. Nivelēšanas gājienu kopgarums bija 200 km ar precizitāti 2,7 – 3,7 mm/km. Nākošais posms nivelēšanā bija 1902. – 1906.gados, tad tika sasniegta precizitāte 1,19 – 2,18 mm/km. Zīmju skaits sasniedza 743. Pirmās klases nivelēšanas tīklu Latvija izveidoja 1929. – 1939. gados. Datus publicēja 1941.gadā. Bet, pilnīgs vērtējums par līmetņošanas tīkla stāvokli pašreiz iespējams izmantojot DGNSS risinājumu. Vertikālo kustību pētījumi ļoti nepieciešami piem., cauruļvadu spriedzes prognozēšanai, autoceļu un dzelzceļu ekspluatācijā. Salīdzināmas mm un mm desmitdaļu augstas precizitātes sasniegšanai ar DGNSS tehnoloģijām ir nepieciešams desmitkārt un simtkārt lielāks satelītu informācijas uzkrāšanas ilgums. Salīdzināmas mm un mm desmitdaļu augstas precizitātes sasniegšanai ar DGNSS tehnoloģijām ir nepieciešams desmitkārt un simtkārt lielāks satelītu informācijas uzkrāšanas ilgums spriedzes prognozēšanai, autoceļu un dzelzceļu ekspluatācijā.

Atslēgas vārdi - DGNSS, Rīgas līmetņošana, EUPOS-Rīga

I. IEVADS

Globālās navigācijas satelītu (GNSS) lietošana ģeodēzijā paver jaunas iespējas vēsturiski izveidoto ģeodēzisko atbalsta tīklu izvērtēšanai un aktualizēšanai. Pēdējie sasniegumi ģeodēzijas zinātnē pierāda, ka šīs tehnikas pielietošana vertikālo tīklu vienotas sistēmas izveidei Eiropas mērogā kļuvusi par aktuālu šodienas uzdevumu [1-3]. Vēl vairāk, tā paver arī iespējas globālo vertikālo tīklu augstumu skaitlisko vērtību pārvērtēšanai no Zemes kontinentālo un iekškontinentālo kustību viedokļa, kas laiku gaitā piedzīvojušas nozīmīgas izmaiņas. Tādēļ ir arī ļoti svarīgi apzināt ģeodēzisko vertikālo atbalsta tīklu veidošanas vēsturi un augstuma vērtību izmaiņu dinamiku pēdējās simtgades periodā. Pilsētas vidē tektonisko kustību radītajiem efektiem pievienojas arī pilsētvides apbūves un transporta augošās intensitātes radītās zemes vertikālo izmaiņu efekti. Tomēr, kā vertikālo zemes kustību precīzākais indikators kalpo dažādos laikos iebūvētie nivelēšanas reperi un nivelēšanas rezultātu laiku laikus veidotā sasaiste ar vidējo jūras līmeni. Šā raksta mērķis ir saīsināti apskatīt Rīgas pilsētas vertikālo atbalsta tīklu izveides (un nivelēšanas rezultātu sasaistes vēsturi. Vertikālo tīklu (lietosim arī terminus augstuma tīklu un nivelēšanas tīklu) un nivelēšanas gājienu veidošanas vajadzību diktējusi ekonomikas attīstība un būvniecības apjomu un kvalitātes augošās prasības.

II. RĪGAS MĒRŅIEKU PIRMIE PLĀNI

Pirmie materiāli par Rīgas pilsētas uzmērīšanu sākumu ir 15.–16. gadsimta mērījumu materiāli. Šajos materiālos parādās dati par atsevišķiem zemes gabaliem, kas nav savstarpēji saistīti. Atrasti ir materiāli par ārsta Franciska Mura mērījumu darbiem Rīgas pilsētā. Francisks Murs Rīgā pildīja pilsētas inženiera pienākumus kopš 1640. gada. Arhīvos atrodama 1650. gadā sastādītā Rīgas karte. Tai pašā laikā sastādīts arī pirmais priekšpilsētas izbūves projekts, kura autors ir Horns [4]. Pirmā plašākā Rīgas pilsētas uzmērīšana tika veikta 1858. gadā pirms nocietinājuma vaļņu nojaukšanas, to veica inženieris Kotarovskis. Tika sastādīts pilsētas plāns mērogā 1: 600. Šī plāna sastādīšanā tika izmantoti dažādu iepriekš veikto uzmērījumu dati, tādēļ iegūtā plāna precizitāte nebija augsta. Uz šī plāna pamata pilsētas teritorija tika sadalīta atsevišķās grupās. Grupas attiecīgi tika sadalītas gruntīs. Katra grunts noteica atbilstošu zemes lietotāju. Šādu sistēmu var uzskatīt par pašreizējās Kadastra sistēmas aizsākumu, tā ir saglabāta arī mūsdienās. [5].

Pilsētas plāns, kas tika sastādīts 1858. gadā, nebija saistīts ar kādu noteiktu koordinātu sistēmu un punktu augstumu sistēmu. Laika gaitā, izmainoties pilsētas apbūves situācijai, koordinātu trūkuma dēļ tas saglabāja tikai informatīvu vērtību par faktu kā tādu.

III. PIRMĀ TRIANGULĀCIJA

Pirmā triangulācija Rīgas pilsētā veikta pēc Rīgas pilsētas būvvaldes rīkojuma. Periodā no 1880.līdz 1882. gadam tika veikta trigonometriskā tīkla izveide. Par triangulācijas sākuma punktu tika pieņemts akmens stabs uz tagadējās Latvijas Universitātes galvenās ēkas jumta (toreizējā Politehnikuma jumta). X ass pozitīvā vērtība bija virzienā uz dienvidiem, Y ass – uz rietumiem [6]. Triangulācijas tīkla orientēšanai profesors A. Beks ar Erteļa firmas 10” teodolītu noteic astronomisko azimutu uz Trīsvienības baznīcas torņa (185° 48'48.1” precizitāte 1,9”) smaili izmantojot Polārzcvaigznes novērojumus. Tika veikti aptuveni 20 novērojumi, tad aprēķināts vidējais azimuts ar precizitāti 1,9”. Triangulācijas bāze tika ierīkota toreizējo pilsētas ganību teritorijā tagadējā Ganību dambja rajonā. Bāzes galapunktus nostiprināja ar granīta stabiem. Bāzes garums tika mērīts ar Rīgas politehniskā institūta rīcībā esošajiem 4m gariem mērkokiem. Bāzes garums tika aprēķināts, ievērojot temperatūras svārstības (638.328 ± 0.004 m). Mērkoku etalonēšanai tika izmantots misiņa normālmētrs. Šajā laikā tika ierīkoti 9 trigonometriskā tīkla pamatpunkti, 32 trešās klases punkti, 73 ceturtās klases punkti, kas paredzēti poligonometrijas vajadzībām (skat. 1. tabulu).

1.TABULA.
Leņķu mērījumu precizitāte.[7.]

| Precizitātes klase | Punktu skaits | Vidējā kvadrātiskā kļūda |
|--------------------|---------------|--------------------------|
| Pamatpunkti | 9 | 2" |
| Fiksēti punkti | 32 | 3.5" - 4.0" |
| Palīgpunkti | 73 | līdz 5.0" |

Triangulācijai izvēlējās pārsvarā dabā esošus punktus, piemēram, torņu smailes, dūmeņus. [6.]

Pārējais uzmērīšanas tīkls tika izveidots no 1060 punktiem. Poligona līnijas mērīja ar 20m garu tērauda lentu. Nomērīto līniju kopgarums veidoja 282 kilometrus, no tiem Daugavas labajā krastā tika nomērīti 149 kilometri, bet kreisajā krastā 133 kilometri. Leņķu mērīšanai lietoja Kerna firmas instrumentu ar nonija nolasišanas noteiktību 20". Tīkla izlīdzināšana veikta pēc vismazāko kvadrātu metodes, iegūtā virziena vidējā kvadrātiskā kļūda bija 2.2".

Laika periodā no 1880. – 1882. gadam tika uzmērīti 5200 ha. Mērīšanas rezultāti tika attēloti uz planšetēm.

Aprēķinātās punktu koordinātas tika iespiestas katalogā [8]. Uzmērīšanas materiāli pašlaik glabājas pašvaldības kapitālsabiedrības SIA "Rīgas ĢeoMetra" arhīvā.

IV. XIX GADSIMTA BEIGU DAĻA

1879. gadā Rīgas pilsētas būvvalde nodibina speciālu komisiju pilsētas uzmērīšanas darbu vadīšanai. Uzmērīšanas darbos iesaistīja Rīgas Politehniskās skolas (no 1896. gada Rīgas Politehniskais institūts) ģeodēzijas pasniedzējus A.Beku un H. Malheru. Viņiem tika uzticēts izpildīt uzmērīšanas un ģeodēziskā atbalsta tīkla izveidošanas darbus, kā arī Rīgas triangulācijas izveides darbus. Situācijas detālo uzmērīšanu un nivelēšanas darbus nodod atsevišķiem mērniekiem. Plānu sastādīšanai tiek izveidota nodaļa N. Ozmidova vadībā [4].

Rīgas uzmērīšanā tika izmantota metriskā sistēma. Normālmētrus izgatavoja no 1883. – 1887. gadam, bet Krievija tos saņēma tikai 1889. gadā. Tomēr Rīgā metriskā sistēma tika lietota jau agrāk, pateicoties profesoru A. Beka un H. Malhera, N. Ozmidova iegūtajai izglītībai Šveicē (Šveices politehniskajā institūtā).

Uzmērīšanas planšetes tika noteiktas konkrētos mērogos 1: 600 pilsētā, 1:1200 priekšpilsētā.

XX gadsimta sākumā, paplašinoties Rīgas pilsētas teritorijai, parādījās nepieciešamība domāt par jaunu teritoriju uzmērīšanu. Apsekojot 1880. – 1882. gadam ierīkotos punktus, tika konstatēts, ka saglabājušies tikai 58. Tika pieņemts lēmums Rīgas uzmērīšanas tīklu atjaunot un papildināt ar jaunām zīmēm. Šie darbi tika veikti laika posmā no 1903. – 1909. gadam pilsētas mērnieka R. Štegmaņa vadībā. Šoreiz plāna atbalsta tīkla punktus izveidoja no zīmēm, kas iespējams saglabātos ilgāku laiku – metāla caurules, kuru pamatus iecementēja un pārsedza ar čuguna lietu vāku.

Šis tīkls bija mūsdienu poligonometrijas sākums, jo visā teritorijā tika ierīkoti 222 poligoni, tika aprēķinātas koordinātes 1241 punktam. [10].

V. RĪGAS PILSĒTAS AUGSTUMA TĪKLS XIX GADSIMTĀ

Nivelēšanas tīkla izveidei, laika posmā no 1880.-1882. gadam, tika izveidota komisija, kuras uzdevums bija nodrošināt sekmīgu darbu norisi, kā arī speciālistu piesaisti. Darbu izpildei tika pieaicināti jau iepriekš minētie Baltijas politehnikuma profesori Becks un Malchers.

Pirmie uzmērīšanas darbi Rīgas pilsētā veikti dažādos laika posmos, sākot no 17.gs. Sākotnēji veiktie uzmērīšanas darbi nenodrošināja strauji augošās pilsētas vajadzības, tādēļ darbi ik pa laikam tika veikti atkārtoti, tomēr izmantotās metodes nenodrošināja vēlamo rezultātu. Laika posmā no 1880.-1882. gadam Rīgas pilsētā tika uzsākti visaptveroši pilsētas uzmērīšanas darbi. Vienlaikus tika uzsākti gan pilsētas horizontālā, gan vertikālā tīkla izveides darbi.

Nav iespējams pilnīgi nodalīt nivelēšanas darbus, kas veikti Rīgas pilsētā no nivelēšanas darbiem visā Latvijas teritorijā. Lai labāk izprastu un izanalizētu tā laika situāciju, bieži vien nepieciešams vienlaicīgi apskatīt nivelēšanas darbus Rīgas pilsētā, kā arī darbus, kas veikti Latvijas teritorijā. Lai varētu uzsākt nivelēšanas tīkla izveidi, bija jāizvēlas tā izejas punkts. Par punktu augstumu izejas sistēmu pieņēma Baltijas jūras līmeni pie Kronštates, kas tajā laikā tika novērots jau kopš 1840. gada.

Tajā laikā tika izvirzīti pieci iespējamie varianti:

- Rīgas dabas pētnieku biedrības ūdens līmeņa novērošanas lates nulle Rīgā un Daugavgrīvā.
- Rīgas dabas pētnieku biedrības noteiktais vidējais Baltijas jūras līmenis Daugavgrīvā.
- Vidējais Baltijas jūras līmenis pie Kronštates.
- Jūras līmeņa novērošanas lates nulle Kronstatē.
- Jūras līmeņa novērošanas lates nulle Amsterdamā.[11, 12].

Lai varētu izvēlēties izejas punktu un uzsākt līmetņošanas darbus, Rīgas pilsētas valde vērsās pie Krievijas ģenerālštāba militāri topogrāfiskās daļas ar lūgumu paziņot tai markas Nr.300 augstumu un starpību starp Amsterdamas un Kronštates nullēm. Bija zināms, ka No 1871. – 1893. gadam cariskās Krievijas ģenerālštāba militāri topogrāfiskā daļa veica līmetņojumu no Kronštates līdz Melnajai jūrai. Šis līmetņojums ietvēra toreizējās Baltijas guberņas un Rīgas pilsētu. Līmetņojumā bija ietverta marka Nr. 300, kas atradās vienā no galvenajām Rīgas stacijas ēkām, tomēr vēlākajos gados stacijas ēka nojaukta un marka Nr.300 iznīcināta. Saņemtajā atbildē bija norādīts, ka Marka Nr.300 Rīgas- Daugavpils dzelzceļa Rīgas stacijā atrodas 5,953 m virs Kronštates lates nulles. Vidējais jūras līmenis pie Kronštates atrodas 0,021 m zem Kronštates lates nulles, kā arī, ka augstumu starpība starp Kronštates un Amsterdamas lates nullēm nav zināma, sakarā ar to, ka minētais līmetņojums nav pabeigts.

Pamatojoties uz Krievijas ģenerālštāba militāri topogrāfiskās daļas atbildes vēstuli, par nulles līmeni pieņēma referencvirsmu, kas iet caur Kronštates lates nulli. Marka (reperis) Nr.300 ar

augstumu $h=5,953$ m tika pieņemta par izejas punktu turpmākajos līmetņošanas darbos Rīgas pilsētā. Vēlākajos gados, tika izlīdzināts arī Krievijas ģenerālštāba militāri topogrāfiskās daļas veiktais līmetņojuma no Kronštates līdz Melnajai jūrai precīzās līmetņošanas tīkls. Pie izlīdzināšanas par pamatu referencvirsmas noteikšanai pieņemti Baltijas, Melnās jūras un Azovas jūras līmeņu novērojumi 11 vietās: Baltijas jūra pie Kronštates, Tallinas, Daugavgrīvas, Liepājas, Ventpils, ka arī Melnajā un Azovas jūrā pie: Odesas, Očakovas, Sevastopoles, Ģeničeskas, Mariopoles, Taganrogas. Pēc aprēķinu veikšanas tika konstatēts, ka noteikto līmeņu augstuma starpības atrodas līmetņošanas kļūdu robežās, tādēļ par Krievijas līmetņošanas tīkla referencvirsmu pieņemts aritmētiskais vidējais no visiem Baltijas un Melnās jūras līmeņu novērojumiem. Markas Nr. 300 augstums mainījās no 5,953m uz 6,432m, starpība starp abām virsmām bija – 0,479 m. Šī starpība netika ņemta vērā, turpmākajos mērījumos līdz pat 1940. gadam tika izmantota 1882. gadā pieņemtais markas Nr.300 izejas augstums $h = 5,953$ m.

Līmetņošanas tīkla izveides darbos no 1880. – 1882. gadam tika ierīkoti 288 augstuma punkti. No šiem punktiem 63 atradās aiz pilsētas aizsargvalņa, 78 Daugavas kreisajā krastā, 147 Daugavas labajā krastā, kā arī tika iekļauti divi punkti, kas atradās Jelgavas teritorijā. Šajā laikā ierīkoto reperu biežums bija 4 ½ collas, platumš 3 ½ collas, garums 11 ½ collas (1 colla= 25,4 mm). Reperu virsmas forma bija cilindriska. No precizitātes viedokļa, šāds virsmas risinājums bija nevisai veiksmīgs, jo nenodrošināja vajadzības gadījumā atkārtoti novietot latu tajā pašā vietā. Reperu ierīkošanas laikā tika noteikti arī pilsētas ielu augstumi. Ierīkotajiem reperiem priekšpusē tika izliets repera numurs un tā augstums. Nivelēšanas darbos no 1880.-1882.gada pavisam tika nolīmetņoti 200km. Darbs tika veikts izmantojot 1720 stacijas. Dienā tika nolīmetņoti 5 kilometri. Lates novietošanai tika izmantoti čuguna paliktņi vai akmeņi. Šis līmetņojums atbalsta punktu tīkls tika veidots no 7 slēgtiem gājieniem, kuru kopējais garums sastādīja 50 kilometrus. Ja līmetņojumus veica no vidus, tad nolastījumus veica pie horizontālas vizūras. Maksimālais vizūras garums nepārsniedza 70 metrus. Vidējā kvadrātiskā kļūda svārstījās robežās no 2,7 līdz 3,7 milimetriem.

Rīgas pilsētas augstuma tīkls XX gadsimta sākumā

Ap 1903.gadu radās nepieciešamība pēc jauniem augstuma atbalsta punktiem. Pilsētas inženieriem bija jāveido jauns pilsētas plāns. Tā rezultātā 1905.gadā Rīgas pilsētā tika izveidota komisija, kas nodarbojās ar jauno zemes gabalu uzmērīšanu un līmetņošanas darbiem. Līmetņošanas darbus vadīja inženieris O.Nurms. Par izejas punktu tika pieņemta stacijas ēkas marka Nr.300 ar 1882.gada notikto augstumu - 5,953m. Veicot jaunus līmetņošanas darbus, tika konstatēts, ka no 1880.-1882.gadā ierīkotā līmetņošanas tīkla punktiem bija saglabājušies 220, bet 68 tikuši iznīcināti. Pēc 1905.-1906. gada līmetņošanas darbiem, augstuma tīkla punktu skaits palielinājās līdz 434 punktiem.[13].

Jauno līmetņošanas darbu laikā Rīgas pilsētas teritoriju sadalīja 3 rajonos. Pirmais un otrais rajons atradās Daugavas labajā krastā, bet trešais – kreisajā. Pirmais rajons robežojas ar

Daugavas labo krastu, Klījānu, Sliežu, Kroņu, Līnijas, Vestienas, Rītupe ielām, Rīgas – Daugavpils dzelzceļu.[13]. Otrais rajons atradās uz rītiem no pirmā rajona līdz Ķīšezeram un Juglas ezeram. Trešajā rajonā ietilpa Pārdaugava, Zaķusala, Lielā Klīversala, Mazā Klīversala, Ķīpsala. Katrā rajonā tika izveidoti slēgti līmetņošanas gājieni. 1. un 2. rajonam tika savienotas kopīgā līmetņošanas gājiena malas, bet 3. rajons tika piesaistīts pie stacijas ēkas markas Nr.300.

Līmetņošanas darbus veica ar līmetni, kura tālskats bija griežams ap ģeometrisko asi un pārliekams balstos. Tālskata palielinājums bija 40x; objektīva fokusa garums 44 cm; objektīva caurmērs 40,5 mm. Līmetņprāža skala sastāvēja no 40 pamatiedaļām. Līmetņošanas vajadzībām lietoja abpusīgās lates ar centimetru un pus milimetru iedalījumu. Lates tika izgatavotas no viengabalaina 3m gara koka ar tērauda apkaluma augšgalā. Lates metra garuma noteikšanai lietoja niķeļtērauda normālmētru, kas tika pārbaudīts Berlīnē – Šarlotenburgā. Lates metra garumu bija jāpārbauda katru darba dienu izmantojot jau minēto normālmētru. Lai līmetni varētu pasargāt no saules stariem, tika izmantots saulesargs. Līmetņošanu starp nosakāmajiem punktiem veica turp un atpakaļ. Mērījumu maksimālais pielaižamais vizūras garums bija 50m. Tīkls tika izlīdzināts pēc vismazāko kvadrātu metodes. Kilometriskās kļūdas pirmajā rajonā bija 2,18 mm, otrajā rajonā 1,29 mm, bet trešajā rajonā 1,34mm. Līmetņošanas gājienu kilometriskās kļūdas svārstījās robežās no 1,29-2,18 mm.

VI. RĪGAS PILSĒTAS AUGSTUMA TĪKLS LATVIJAS NEATKARĪBAS GADOS

Laika periodā no 1933.-1940. gadam Rīgas pilsētas teritorijā tika veikti samērā plaši precīzās nivelēšanas darbi. 1906.gada līmetņošanas tīkla papildināšanas darbu rezultātā tīkla atbalstpunktu skaits tika palielināts no Nr.443 līdz Nr.715. No jauna tika ierīkoti 272 punkti. [13].Veiktie papildināšanas darbi bija saistīti ar aizvien pieaugošo būvniecību un prasībām pēc precīziem augstuma atbalsta punktiem. Reperu augstums tika noteikts, balstoties uz 1906. gadā noteiktajiem līmetņošanas tīkla reperu datiem. Kā jau tika minēts, reperu skaits tika palielināts, bet to augstumu noteiktība ar laiku izrādījās nepietiekoša, lai reperu augstumus varētu droši izmantot par atbalstu tehniskās līmetņošanas darbiem.

Rīgas pilsētas valde izdeva rīkojumu par jaunu līmetņošanas darbu organizēšanu. Tika plānots radīt jaunu augstumu atbalsta punktu tīklu ar precīzākiem augstumiem. Veidojot jauno nivelēšanas tīklu, par jaunā tīkla atbalstu tika pieņemti visā Latvijas teritorijā izdarītās precīzās līmetņošanas tīkla piecu punktu augstumi, kas atradās Rīgas teritorijā. Četri punkti atradās Daugavas labajā krastā, bet piektais punkts atradās Daugavas kreisajā krastā. Precīzās līmetņošanas tīkla punktu augstumi noteikti virs Latvijas teritorijā precīzās līmetņošanas augstumiem pieņemtās referencvirsmas. Minētā referencvirsmā atrodas 6.2 milimetri zem vidējā jūras līmeņa pie Liepājas, 5.0 milimetri virs vidējā jūras līmeņa pie Kolkas, 12.5 milimetri virs vidējā jūras līmeņa pie Ventpils un 14.1mm virs vidējā jūras līmeņa pie Ainažiem. Latvijas līmetņošanas darbi veikti laika periodā no 1929.- 1939. gadam. Iegūtie nivelēšanas tīkla dati izlīdzināti pēc vismazāko kvadrātu metodes. Augstuma atbalsta punktu katalogs sastādīts 1940. gadā un izdots 1941. gadā.[13].

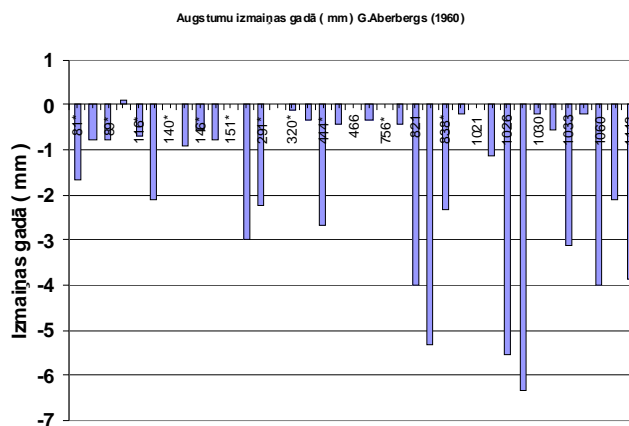
No 1933.-1940.gadam veidotais precīzās līmetņošanas tīkls pārklāja visu Rīgas teritoriju, izņemot Rīgas jūrmalu. Šajos gados veidotajā līmetņošanas tīklā ietverts 171 punkts. Gājienu kopgarums veido 196.9 kilometru. Tika izveidoti 13 slēgti gājieni. Jau iepriekšējos gados ierīkoti reperi tika papildināti ar jauna veida reperiem. Jaunie reperi tika iebetonēti visstabilākajās mūra ēkās un viaduktu balstos, jeb fundamentālās būvēs. Ja nebija šādu ēku, zemē tika ierakti speciāli gatavoti betona monolīti, kuriem sānos bija iebetonēts jaunā veida repers, bet galā atradās kniede. Betona monolītus ieraka dziļi zemē tā, lai sals tos nespētu izcilāt (izkustināt). Repers tika iebetonēts monolīta sānos un mazliet zem zemes. Betona monolīta šķērsgriezums veidoja kvadrātu, apakšā 0.50x0.50 metri, bet augšā 0.25x0.25 metri; monolīta garums 1.50 metri. Nivelēšanas darbos tika izmantoti K. Ceisa firmas nivelieri ar invara latu komplektu. Šī niveliera tālskata palielinājums bija 40x. Pie tālskata bija piestiprināts kontaktlīmeņrādis, tā jūtība bija apmēram 10" uz 2 mm. Nolasīšanu no lates izdarīja pie horizontālas vizūras, izmantojot plānparalēles plati. Tika izmantotas lates, kur svītriņu sadalījums bija ik pa pus centimetram. Maksimālais vizūras garums bija 50 metri. Nivelēšanas darbos izmantotajai latei tika piestiprināts rokturis un sfēriskais līmeņrādis, lai latu varētu noturēt vertikāli. Katras darba sezonas sākumā un beigās lati invaras slokšņu skalas salīdzināja ar "Dennert und Pape" firmas normālmētru. Tāpat katras darba sezonas sākumā un beigās noteica lates nulles punktus. Pēc izlīdzināšanas ar mazāko kvadrātu metodi līmetņošanas darbu noteiktību vislabāk raksturo kilometriskā kļūda. Tās vērtība 1,38 mm [13].

No 1937. gada Rīgas pilsētā paralēli precīzai līmetņošanai, augstuma atbalsta punktu skaita palielināšanai un sabiezīšanai sāka izbūvēt pilsētas aizpildošo līmetņošanas tīklu. Tīklu kopīgais augstuma atbalsta punktu skaits tika palielināts līdz 1368, tai skaitā aizpildošās līmetņošanas tīkla punktu skaitu līdz 1197. Aizpildošais līmetņošanas tīkls, kopā ar pamattīklu pārklāj 11 000 ha no visas Rīgas pilsētas teritorijas. Pilsētas apbūvētajos rajonos reперus centās ierīkot katrā ielu krustojumā tā, lai tos varētu izmantot tehniskās līmetņošanas vajadzībām. Aizpildošajos līmetņošanas darbos, tika lietota tāda pati aparatūra, kā precīzai līmetņošanai. Vizūras maksimālais garums bija noteikts 50 metru. Latu uzlikšanai nelietoja ķīļus, bet gan čuguna paliktņus. Aizpildošā līmetņošanas tīkla paaugstinājumus izlīdzināja, vadoties no iepriekš izlīdzinātajiem pamattīkla augstumiem. Līmetņojuma dati tika sadalīti 15 grupās, lai vieglāk varētu veikt izlīdzināšanas darbus. Raksturojošu datu par aizpildošā līmetņošanas tīkla noteiktību, Rīgas ģeodēziskā dienesta arhīva materiālos nav. Aizpildošā tīkla raksturošanai pēc tīkla izlīdzināšanas tika aprēķināta katras grupas kilometriskā kļūda. Mērījumu kilometriskā kļūda atradās robežās no 0,86mm līdz 4,72 mm. Jaunā aizpildošā tīkla kopējā kilometriskā kļūda, kas raksturo līmetņojuma noteiktību, bija 1,80mm.

VII. RĪGAS PILSĒTAS AUGSTUMA TĪKLS PĒC 1940.GADA

Sākoties okupācijas laikam 1940. gadā, daudzi nozīmīgi materiāli tiek nenovērtēti un izvazāti. Tikai pateicoties

Lai pārbaudītu 7 gadus ilgušos līmetņošanas darbu rezultātus, 1939.gadā tika veikts pārbaudes līmetņojums 1934.gadā nolīmetņotajam gājienam Vm 316 - Vm 250. Pārbaudes līmetņojuma garums bija 9.3km un to veidoja divpadsmit posmi. Gājienā bija ietverti 11 reperi Nr.: 835, 836, 837, 414, 841, 839, 838, 840, 59, 40,2. Izrādījās, ka šai periodā notikušas augstumu izmaiņas ir no 0 līdz -28mm. Tas nozīmē, ka izmaiņu intensitāte gada laikā ir no 0 līdz -5.6mm. Gājiena Vm 316- Vm 250 augstumu izmaiņu aprēķins uzrāda augstumu izmaiņas. G.Aberbergs vēlāk veic papildus pētījumus [13,18]. Šie rezultāti attēloti 1. attēlā.



1. attēls. Vertikālās izmaiņas gadā [13]. Vidējais -1,5 mm/gadā.

cilvēkiem, kas zināja materiālu vērtību, tos varam lasīt arī šodien. Darbs tika sarežģīts, jo lielai daļai materiālu tika uzlikta slepenības zīme. Pārsvārā pieeja slepeniem dokumentiem bija cilvēkiem, kas iebraukuši no Padomju Savienības un tikai retai daļai mūsu valsts pilsoņu. Sakarā ar daudzo speciālistu izsūtīšanu vai emigrēšanu iestājās pārtraukums mērniecības nozarē. Tika likvidēta pastāvošā Zoldnera koordinātu sistēma. Tika veikta pāreja uz Padomju Savienības 1942. gada koordinātu sistēmu. No 1965. gada Rīgā tiek ieviesta vietējā Rīgas koordinātu sistēma.

Kā zināms, tad Latvijas civilajām iestādēm ģeodēzisko koordinātu informāciju PSRS varas struktūras neuzticēja. Ģeodēzisko informāciju sargāja un pārvaldīja PSRS Ministru padomes Galvenā ģeodēzijas un kartogrāfijas pārvalde (GĢKP). Ģeodēzisko atbalsta tīklu veidošanu un attīstību Rīgā veica Ļeņingradas inženier-izmeklēšanas trests. Tas pārvaldīja Rīgas augstumu tīklu un „vietējā koordinātu sistēmā” šifrēto Rīgas poligonometrijas tīklu, kā arī veica citus inženiertehniskos izpētes darbus. 3.attēlā parādīta šā institūta speciālistu interpretācija par Rīgas hidroģeoloģiskās izpētes rezultātā pazemes ūdeņu līmeņu izveidojušos „piltuvi”, kas radusies intensīvas pazemes ūdeņu izmantošanas dēļ 1960-80.gados [29]. Krievu ģeodēzisti šo informāciju skaita par nozīmīgu un iekļāvuši to Tehniskajā atskaitē līdz ar informāciju par augstuma atzīmju izmaiņām. Rīgas pilsētas teritorija atrodas Baltijas artēziskā baseina centrālajā daļā, kur nogulumiežu segas

biezums ir apmēram 1300 m. Nogulumiežu segu veidojošajiem ūdens nesošajiem un ūdeni necaurļaidīgajiem (sprostslāņiem) slāņiem ir raksturīgs neliels kritums dienvidu un dienvidrietumu virzienā. Divi, visā Latvijas teritorijā izplatītie sprostslāņi, sadala nogulumiežu segu trīs hidrodinamiskās zonās – *aktīvā ūdensapmaiņas zona* (saldūdens), *palēninātā ūdens apmaiņas zona* (sālūdens) un „*stagnācijas*” zona (sālsūdens). Katras zonas pazemes ūdeņiem piemīt atšķirīgs ieguluma dziļums, barošanās un atslodzes hidrodinamiskais režīms, kā arī ķīmiskais sastāvs. Šajā **sprostslānī** ir sastopami tā saucamie hidroģeoloģiskie loģi, caur kuriem notiek ūdens apmaiņa ar blakus horizontiem. A.Slaidiņš ar kolēģiem ir izstrādājis Remo (Reģionālais Modelis) sprostslāņa saišu vizualizācijai un to 3D attēlojumam virsmas izometriskā diagrammā [30]. Lielākās līmeņu izmaiņas izraisa **hidroģeoloģiskais** logs gQ sprostslānī (Daugava un tās krastu zona), mazākas – plūsmas gradienta normālās komponentes.

4.un 5.attēls vedina pārbaudīt reperu augstuma izmaiņas saistībā ar hidroģeoloģisko logu izvietojumu. To, ka augstumu izmaiņas nav vienmērīgas, apliecina arī mūsu pētījumi [31,32], kuru rezultāts atainots attēlos 6.un7.

VIII. LATVIJAS AUGSTUMU SISTĒMAS

Pēckara tīkls tika veidots pakāpeniski vairākos etapos, kur iegūtie punktu augstumi dažādos katalogos attiecas uz dažādām augstumu sistēmām, dažādiem laika momentiem, kā arī dažādiem tīklu izlīdzināšanas variantiem. Neatkarīgās Latvijas nivelēšanas tīkli tika iesaistīti PSRS augstumu sistēmā un veikti papildus mērījumi. Laika periodā no 1947.-1948. gadam tika veikti jauni līmetņošanas I klases gājieni: Lomonosova – Rīga, Rīga – Baranoviča. Sešdesmitajos gados Rīgas pilsētas teritorijā netika veikti nivelēšanas darbi, tomēr Latvijas teritorijā tika atkārtoti 1947.-1948. gadu I klases nivelējumi. Pēc 1967. gada tika veikti II klases līmetņojumi gandrīz visām Latvijas precīzās nivelēšanas līnijām. 1975-77.gados II klases līmetņošana tika veikta Rīgā [29].Zināms, ka atkārtoti nivelējumi vēl veikti no 1987.-1990. gadam, taču nivelējumu dati atrodas Galvenās ģeodēzijas un kartogrāfijas pārvaldes Minskas uzņēmumā un Latvijā nav pieejami. Vienas no lielākajām tīklu izmantošanas problēmām visos laikos ir bijušas vairākkārtējās augstumu sistēmas izmaiņas:

- No 1882. gada līmetņojuma izejas punkts ir marka Nr. 300 Rīgas- Daugavpils dzelzceļa Rīgas stacijā, tās augstums $H=5,953$ m virs Kronšates nulles. Par nulles līmeni pieņēma referencvirsmu, kas iet caur Kronšates nulli.
- No 1933. Gada tika pieņemta 1929.-1939. gada līmetņojumu Latvijas teritorijā izlīdzināšanas virsma. Izmantoti Baltijas jūras līmeņa novērojumi Liepājā, Ventspilī, Ainažos, Kolkasragā (ortometriskā sistēma).
- No 1941. Gada I, II klases līnijas izlīdzinātas no jauna un aprēķināti jauni ortometriskie augstumi no Kronšates nulles līmeņa.
- Kopš 1971. gada sāk lietot normālo augstuma sistēmu. Pēdējā izlīdzināšanas variantā iegūtos rezultātus uzskata par 1977. gada Baltijas normālo augstuma sistēmu.Lietotā normālo augstumu sistēma ir pasaulē

vispārāzīta un, salīdzinot ar ortometrisko augstumu, tai ir vairākas ievērojamas priekšrocības. 1977. gadā tika izveidots pēdējais izlīdzināšanas variants un iegūta 1977. gada Baltijas augstumu sistēma.

1986. gadā notika Baltijas jūras līmeņa novērošanas posteņu piesaiste PSRS precīzajam nivelēšanas tīklam. Piesaiste notika sekojošos Latvijas piekrastes posteņos: Pāvilosta, Ventspils, Kolka, Roja, Mērsrags, Daugavgrīva, Skulte, Salacgrīva. Šo darbu laiki tiks ierīkota virkne nivelēšanas zīmju ar tādu aprēķinu, lai katrs jūras līmeņa novērošanas postenis būtu apgādāts vismaz ar diviem paisatreperiem un vienu līmeņa novērošanas ierīces kontroles reperi. Šo darbu laika tika ierīkota virkne jaunu fundamentālo reperu. Posteņu reperu piesaiste valsts I vai II klases nivelēšanas punktiem veikta ar II klases precizitāti saskaņā ar instrukciju.

Tagad Latvijas zinātnieki secinājuši, ka Baltijas jūras līmenis pie Rīgas (8.attēls) paaugstinājies 100 gados par 26 cm [33,34]. Cik tur ir jūras līmeņa celšanās saistībā ar globālo sasilšanu cik ir zemes augstumu izmaiņa, to varbūt varētu spriest K.Lapuška [35]. Baltijas modeļa augstumi vienotā globālā koordinātu sistēmā ir mērīti vairākkārt, bet jautājums atkārtoti tiek uzdots pēc katra ģeoida modeļa izstrādes [3,9]

XI. ZEMES VERTIKĀLO KUSTĪBU PĒTĪJUMI

Jau neatkarīgās Latvijas laikā Latvijas Universitātes Ģeodēzijas institūtā J.Biķis bija uzsācis Zemes vertikālo kustību pētījumus [12,14], analizējot ilglaicīgas mareogrāfu vidējā jūras līmeņa pierakstu rindas. Pēckara gados bijušie LU Ģeodēzijas institūta pētnieki un mācībspēki turpināja darbu Latvijas lauksaimniecības akadēmijas Ģeodēzijas katedrā. Līmetņošanas un ģeodēzisko mērījumu izlīdzināšanas teorētiskie jautājumi bija katedras mācībspēku pētniecisko darbu galvenā tēma [14,15]. Zemes vertikālo kustību pētījumus turpināja O.Jakubovskis [16,17], G.Aberbergs [18], Ē.Indriksons, R.Krūpens, M.Kronbergs, B.Helfriča un citi [19,20,21,22]. Grūti pārvērtēt J.Lazdāna ieguldījumu atjaunotās Latvijas koordinātu telpas sakārtošanā [23]. Pēdējā laikā viņam piedalās arī kolēģi no RTU un LLU [38], strādājot pie Latvijas augstumu sistēmas piesaistes EUVN (9.attēls) [1].Arī Igaunijas un Lietuvas ģeodēzisti risināja šo tēmu [24-27], kas bija kļuvusi īpaši aktualizēta Somijā [9] sakarā ar Fennoskandijas pēcledus laikmeta zemes vertikālo kustību.

Saistībā ar Rīgu jāmin G. A. Aberberga veiktos nivelēšanas darbus, kā arī veiktos apkopojumus, pētījumus un vērtējumus par Rīgas pilsētā veiktajiem nivelēšanas darbiem, kas apkopoti doktora disertācijā (D-1401). [13,18]. Nozīmīgu darbus veicis J.Lazdāns [23] un J.Klētņieks, kura vadībā RTU pētnieki veikusi būvju deformāciju pētījumus un ierīkojuši dziļumreperus [38].

Latvija

1991. gadā tika veikta I un II klases nivelēšanas zīmju apsekošanu dabā Pavisam apsekotas 1405 nivelēšanas zīmes. No tām saglabājušās 915 (65%, neatrastas 171 (12%) un iznīcinātas 319 (23%). Saskaņā ar tīkla apsekošanas rezultātiem no apsekoto zīmju kopskaita 35% zīmju gājušas bojā. Ņemot vērā, ka iznīcināto zīmju % iegūts no visu apsekoto zīmju skaita, (tur ietilpst arī zīmes, kas

ierīkotas pēc kara un pēdējos gadu desmitos) bojā gājušo pirmskara zīmju procentuālais daudzums ir vēl lielāks.

Pēc pētījumiem Igaunijā, kur apstākļi ir līdzīgi Latvijai, noskaidrots, ka tikai ap 30 % sienas zīmju (marku un reperu) ir bijušas stabilas, bet ap 70 % zīmēm ievērojami mainījušas savu augstumu.

1929.-1939. gados izveidots precīzi nivelēšanas tīkla nostiprināšana ar sienas zīmēm dzelzceļu un autoceļu tiešā" tuvumā jāuzskata par šī tīkla izveidošanas rupju kļūdu.

Zemes garozas vertikālo kustību pētījumi ļauj secināt, ka kustības ātrumu starpība dažādos Latvijas rajonos sasniedz vismaz 2 mm gadi (pēc citiem datiem 3 un vairāk mm/gadā). Šī parādība tika konstatēta 1935. -1940. gadu kontroles nivelējumos. Tas nozīmē, ka 60 gadu laikā (līdz mūsdienām) nivelēšanas zīmju relatīvie augstumi dažādos Latvijas rajonos var būt izmainījušies pat līdz 100 mm un vairāk. Latvijā nav saglabājušies nivelēšanas oriģināli, mērīšanas žurnāli un nav publicētas mērīto paaugstinājumu vērtības; nav arī datu par atsevišķu līniju nivelēšanas laiku.[21]

Ziņas par konkrētu līniju nivelējumu precizitāti nav pieejamas. Tās glabājās atbilstošajos NVS GGKP

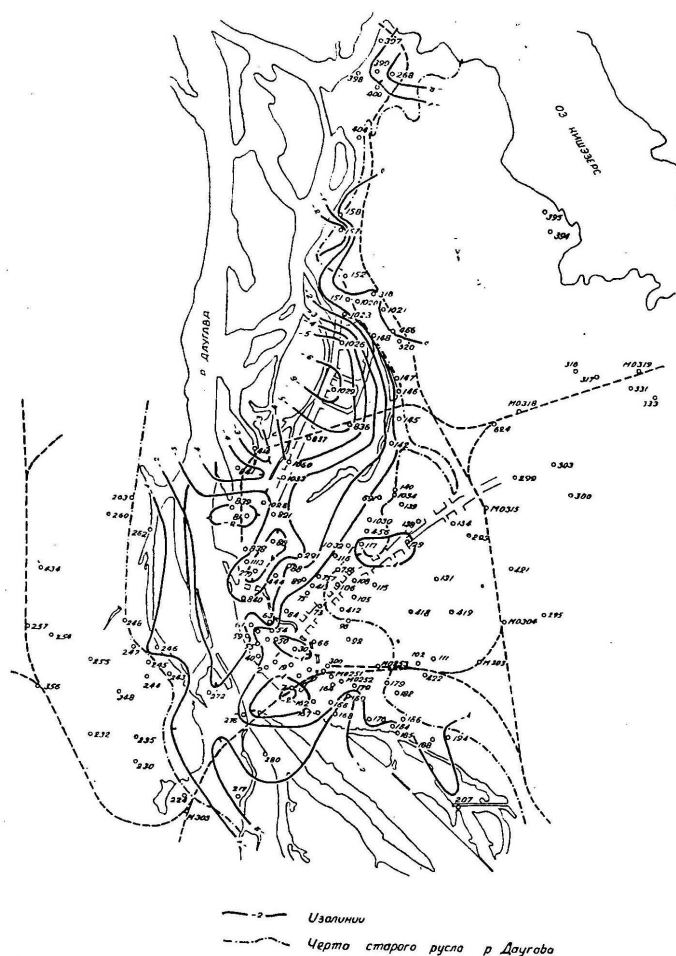
uzņēmumos. Pieņemot, ka nivelēšanas darbi veikti saskaņā ar instrukcijas prasībām, var iegūt pietiekoši labu veikto nivelējumu precizitātes raksturojumus vid. kvadrātiskā kļūda [28].

I klases nivelējumos $\eta < 0.8 \text{ mm/km}$
 $\delta < 0.08 \text{ mm/km}$

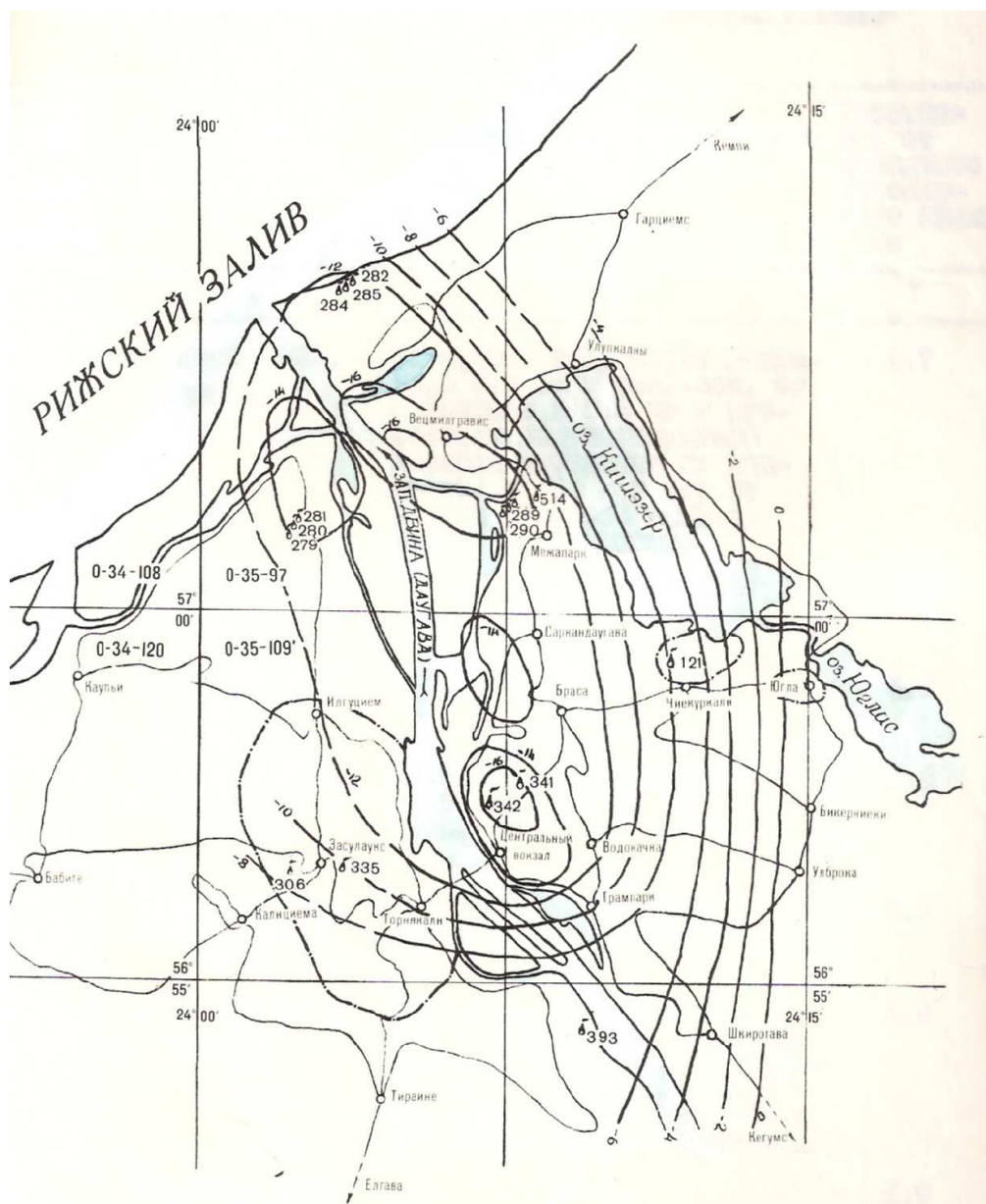
II klases nivelējumos $\eta < 2.0 \text{ mm/km}$
 $\delta < 0.20 \text{ mm/km}$

1967.-1974. gados Latvijā atkārtoja 1947.- 48. gadu I klases nivelējumus pa līnijām Ainaži – Rīga –

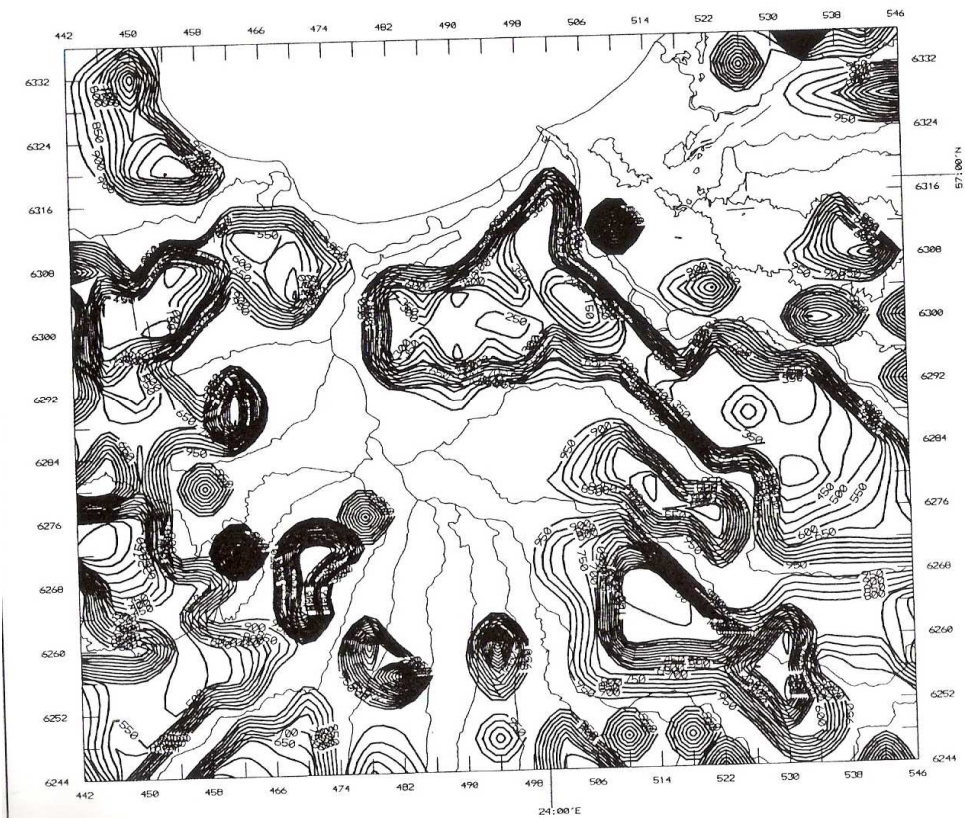
Jelgava - Meitene, kā arī pa līniju Jelgava - Liepāja. Šais pašos gados izdarīja jaunus I klases nivelējumus pa līnijām Rīga – Pļaviņas – Krustpils – Rēzekne – Zilupe - Kuzņecova (Krievija), Liepāja – Rucava - Klaipēda (Lietuva) un Rīga - Sloka līdz gadsimtu reperim Slokā. [21]



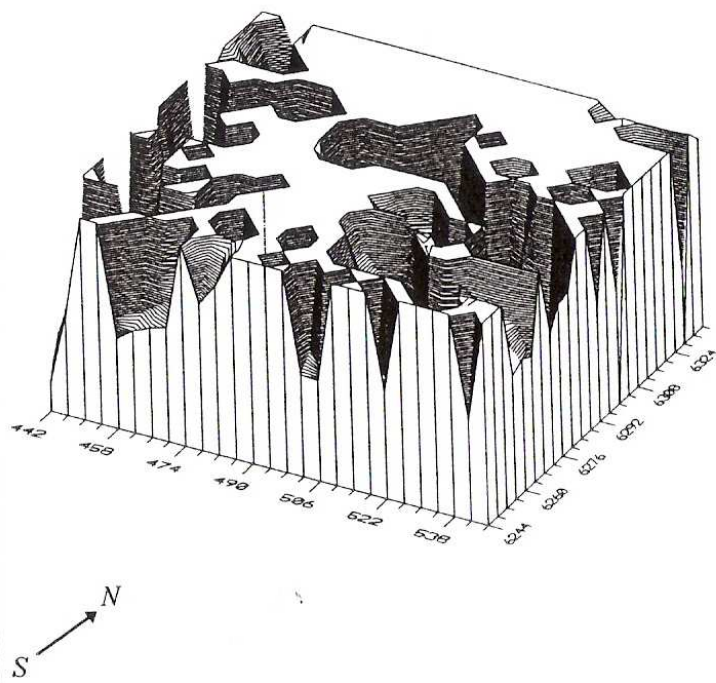
2. attēls. G.Aberberga 1960.gada viedoklis par vertikālām izmaiņām gada laikā.[18].



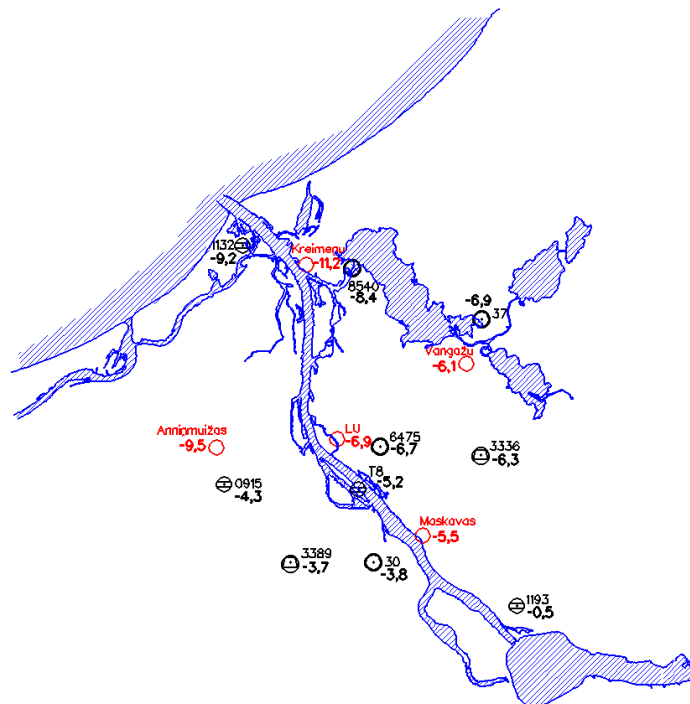
3. attēls. Pazemes ūdens slāņu ģimeņi Rīgā 1975-78.gados [29].



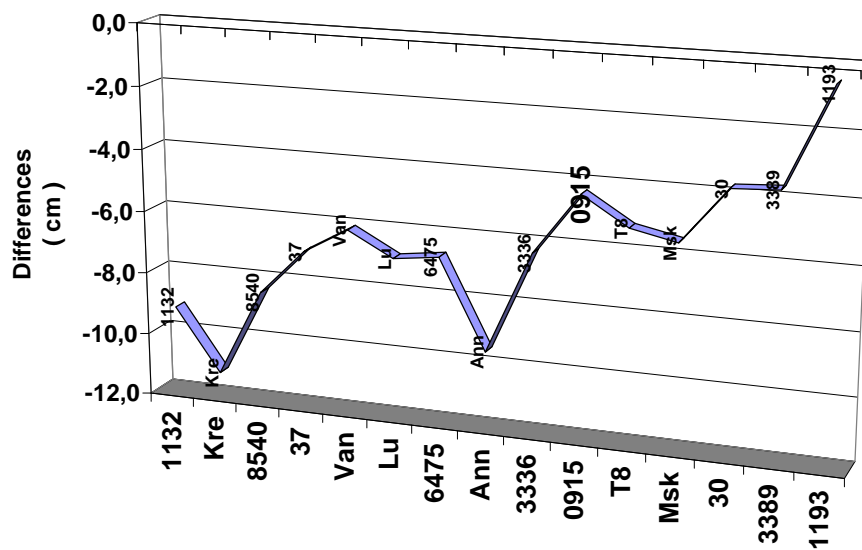
4. attēls. Remo režģa sprotslāņa saites [30].



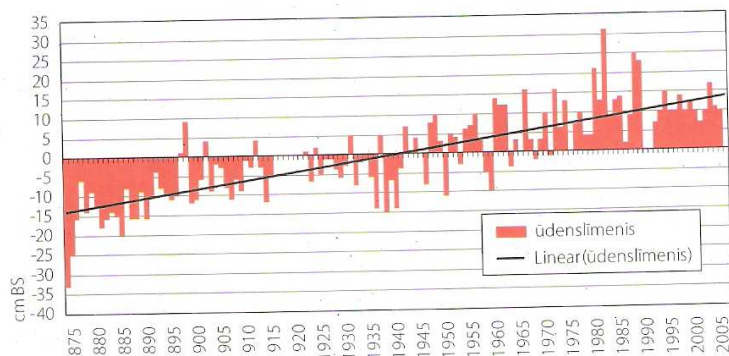
5. attēls. Virsmas izometriskā diagramma [30]



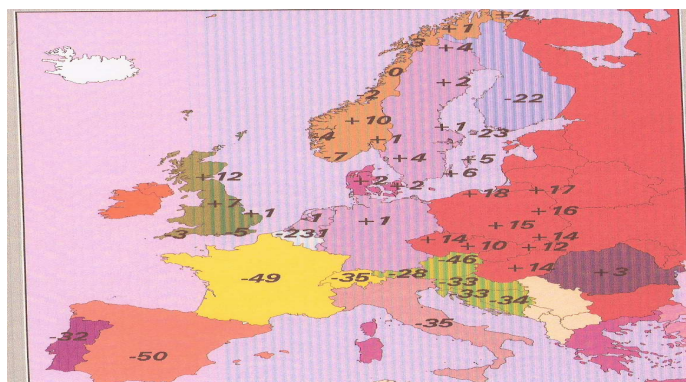
6. attēls. Kontroles reperu izvietojums Rīgā [31,32].



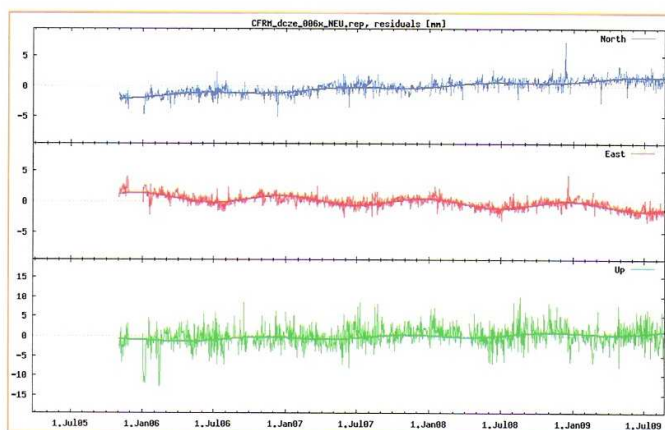
7. attēls. Kontroles reperu augstumu atšķirības no kataloga vērtībām [32].



8. attēls. Baltijas jūras vidējā relatīvā ūdens līmeņa izmaiņas 1875-2005.gg.[33,34]



9. attēls. Nacionālo augstuma sistēmu atšķirība no Eiropas vienotās sistēmas (cm) [1].



10. attēls. Periodisko koordinātu izmaiņas grafiks mm (Northing, Easting, Up) [36,37]

XI. LĪMETŅOŠANAS AUGSTUMA DATU KATALOGI KĀ EPOHĀLO PAAUGSTINĀJUMU MĒRĪJUMU APKOPOJUMS

Tikai XIX gadsimta beigās sākās pirmie ģeometriskās līmetņošanas jeb nivelēšanas atbalsta tīklu veidošanas darbi Latvijā. Tomēr nedaudz vairāk kā simts gadu laikā ģeodēzisko augstuma punktu kopu skaits, to apjoms un blīvums Latvijā un arī Rīgā nav pietiekošs inženiertehnisko darbu veikšanai. Valsts attīstībai izvirzās jauni uzdevumi ceļu un dzelzceļu būvei, apbūves projektēšanai, meliorācijai,

inženiertehnisko komunikāciju ierīkošanai un citiem darbiem. Visu šo darbu izpildei pa priekšu nāk mērnieks, kurš izgatavo topogrāfisko plānu un pēcāk darbu izpildes gaitā gādā par pareizo plaknes koordinātu un augstuma atzīmju nodrošināšanu. Ģeodēzisko atbalsta tīklu izveidošana ir viens no ģeodēzistu pamatzdevumiem. Klasisko mērījumu metodes augstuma tīklu izveidošanai pamatā ir saglabājušās tās pašas, kādas bija simts gadu senā pagātnē. Tikai aparatūras nolasījumus veic elektroniski un aprēķinus datorizēti, bet uz naktsmītni līmetņošanas komanda pārbrauc nevis ar zirdziņu, bet ar auto. Pats nivelēšanas process ar

statīvu pārstādīšanu un mērniecības latu pārņemšanu saglabāties iepriekšējais. Augstākās jeb 1.klases līmetņošanas darbu periodiskā atkārtošā īpaši ieinteresētas tās valstis, kuru teritorijā konstatētas Zemes garozas vertikālās kustības. Īpaši aktuāli tas ir Skandināvju valstīs. Arī tādās, kuras apdraud jūras radītie plūdi, kā Nīderlandi. Pēdējais minējums kļūst arvien aktuālāks sakarā ar globālo sasilšanu un tās izraisītām pārmaiņām uz planētas Zeme.

Taču dzīvē viss mainās. Kosmiskās tehnoloģijas ir ienākušas arī ģeodēzijā, kura kļuvusi par vienu no nozīmīgākajām kosmisko tehnoloģiju komponentēm gan planētas Zeme pētījumos, gan Mēness, Marsa un citu planētu un to dabīgo pavadoņu pētījumos ģeodēzijas metodes kļuvušas par galvenajām metodēm globālo mainīgās Zemes ģeodēzisko koordinātu sistēmu noteikšanā un to monitoringā. Satelītu ģeodēzijas metodes kļuvušas par galvenajām arī kontinentu un katras nacionālās valsts ģeodēzisko koordinātu sistēmu pārveidošanā un aktualizēšanā. Pēdējo gadu progress globālo un nacionālo valstu ģeodēzisko modeļu izstrādē pakāpeniski kļūst par motivāciju klasisko, ļoti darbietilpīgo nivelēšanas metožu aizstāšanai ar Globālās navigācijas satelītu sistēmu (GNSS) pielietošanu augstuma tīklu precizēšanā un aktualizēšanā. Pamatojoties uz šīm metodēm, noteikta vienotā Eiropas augstumu sistēma EVRS2000 un EVRS2005 [39]. Pamatojoties uz satelītu ģeodēzijas metodēm, noteiktas un regulāri tiek aktualizētas ITRF (International Terrestrial Reference Frame), ETRS (European Terrestrial Reference System) un WGS84 koordinātu sistēmas un Zemes rotācijas parametri. Lietojot GNSS tehnoloģijas, radīta LKS92 koordinātu sistēma Latvijā, un GNSS tehnoloģijas tiek lietotas ikdienā koordinātu piesaistei mērniecības praksē. GNSS tehnoloģijas pozicionēšanas jautājumu risināšanā ir vispārārstītas un guvušas strauju attīstību jaunu GNSS kosmisko segmentu izstrādē. NavStar GPS, GLONASS, Galileo, Compass/Beidou, QZSS un virkne uz zemes bāzēto palīgsistēmu nodrošinājums (IGS, EPN, EUPOS, LAIPOS, EUPOS-Rīga) rada sistēmu-sistēmu, veidotu no dažādu valstu GNSS. Ir tikai laika jautājums, kad katrā zemeslodes vietā virs horizonta būs 40-60 satelīti pašreizējo 12-20 vietā. Pozicionēšanas, navigācijas un precīzā laika dienestu visaugstāko precizitāti palīdz nodrošināt uz zemes bāzētās palīgsistēmas, tai skaitā arī EUPOS-Rīga. Tas ir apgādāts ar modernāko aparātūru un DGNSS programmatūru. Eiropā patreiz risinās šādu DGNSS tehnoloģiju pielietošana zinātniskos pētījumos par zemes vertikālām kustībām un par klasisko augstumu tīklu precizitāti. Atšķirībā no gadu desmitiem ilgās klasisko līmetņošanas tīklu veidošanas, DGNSS mērījumus iespējams attiecināt uz ļoti īsiem laika intervāliem ar vienlaicīgiem mērījumiem ļoti plašās teritorijās. Principā var klasificēt klasiskās līmetņošanas tīklu veidošanas procesu kā dažādās epohās nomērīto paaugstinājumu apkopošanu vienā augstumu sistēmā. Taču planētas Zeme cietā garoza ir mainīga laikā un telpā. To apliecina gan tektonisko plātņu kustības izraisītās zemestrīces, gan Saules sistēmas dinamikas izraisītās plūdmaiņas arī cietajā Zemes garozā, gan klimatisko, meteoroloģisko, ģeoloģisko un hidroģeoloģisko apstākļu izraisītās augstumu izmaiņas. Rīgas teritorijas hidroģeoloģisko struktūru ieskicē pētījums [30] attēlos 4 un 5., bet koordinātu mainību labi parāda B.Droščaka un

J.Šimeka grafiki 10.attēlā [36,37] Piemēra pēc varam salīdzināt klasisko 1.klases augstuma tīklu līmetņošanas darbus Latvijā, kuri tiek veikti periodā no maija līdz oktobrim [38]. Šai laikā 4 cilvēku brigāde veic nivelēšanu vairāku km garumā, nosakot paaugstinājumus starp 2 punktiem ar precizitāti 0,5 mm uz 1 km. Tas ir smags un darbietilpīgs lauku darbs. Lietojot DGNSS tehnoloģijas, dažādu valstu pētnieki Eiropas referencētīklu komisijas EUREF ikgada simpozijos [39] un zemes garozas vertikālo kustību darbnīcā [2]. Arī mūsu neilgie pētījumi Latvijā [31,32] apliecina kosmisko tehnoloģiju pozitīvās īpašības – vienas epohas vienlaicīgus augstuma mērījumus plašā teritorijā. Taču jāatzīst, ka rezultāta precizitāte patreiz ir atkarīga no daudziem faktoriem un pielietotām metodēm. Nelielos attālumos klasiskā līmetņošana nodrošina paaugstinājumu noteikšanu ne tikai ar augstāko precizitāti, bet arī ar augstāko ticamību. Salīdzināmas milimetru un milimetru desmitdaļu augstas precizitātes sasniegšanai ar DGNSS tehnoloģijām ir nepieciešams desmitkārt un simtkārt lielāks satelītu informācijas uzkrāšanas ilgums.

XII. SECINĀJUMI

1. Zemes vertikālo kustību apzināšana ir ļoti nozīmīga pilsētvides inženierbūvju projektēšanai un deformāciju novēršanai. tuneļu, gāzes un naftas vadu sprādziendraudu un potenciālo piesārņojumu novēršanai, kā arī daudzu citu apakšzemes un virszemes inženierkomunikāciju v draudu novēršanai.
2. Zemes vertikālo kustību informācija ir nepieciešama arī augstas kvalitātes ceļu, dzelzceļu un hidrobūvju projektēšanas un ekspluatācijas vajadzībām. Informācija par zemes vertikālām kustībām ir īpaši nozīmīga spriedzes izvērtēšanai ilgāka laika ekspluatācijā esošo naftas un gāzes maģistrālo vadu drošībai, kad tos sāk apdraudēt korozijas postošās sekas.
3. Vēsturisko līmetņošanas datu izmantošana kopā ar mūsdienīgu DGNSS statistiskajiem un RTK mērījumiem paver jaunu iespēju zemes vertikālo kustību identificēšanai un noteikšanai plašās teritorijās.
4. Tas rada jaunas metodes zemes ģeofizikālo procesu pētīšanai un zemes vertikālo kustību identificēšanai, kā arī jaunus aktualizētus datus ģeodēzijas modeļa precizēšanai.
5. Augstas precizitātes mērījumu sasniegšanai nepieciešami gan modernie nivelieri un elektroniskie tahimetri, gan GNSS sensori un DGNSS mērījumu lietošanas pareizas metodes un rezultātu apstrādes programmatūra un tehnoloģijas.

Raksta nobeigumā vēlos izteikt pateicību prof. J.Balodim par šī raksta kritisku rediģēšanu.

LITERATŪRA

1. **Kenyeres A., Sacher M., Ihde J., Denker H., Marti U.** EUVN Densification Action. Realization of a Continental GPS/levelling network.
2. **Richter A., R.Dietrich, A.Groh.** Geodetic observation of sea-level change and coastal deformation in the Baltic Sea region. *Abstract.DynaQlim/GGOS Workshop 23-26 June 2009.*
3. **Lidberg M., J.M. Johansson, H.G. Scherneck.** The search for the true crustal deformations in Fennoscandia from BIFROST. *Workshop: DynaQlim/GGOS Understanding Glacial Isostatic Adjustment.* Espoo,

- Finland, June 23-26m2009. Pieejams:http://dynaqlim.fgi.fi/files/GGOS_DynaQlim.htm
4. **Balodis J. and J. Kletnieks** (1992). Activities on Cadastral and Land Information Systems in Latvia and at the Universities of Riga in Particular. In: *Proceedings of the First Seminar "Education in Land Information Systems'92"*. Delft, the Netherlands, June 3-5, 1992, 4.1-4.11.
 5. **Eglitis M., Balodis J.** Surveyors and Land Reform in Latvia. In: *Proc. of the XX General Assembly of International Association of Surveyors*. Melbourne, Australia, 1994. pp. 709.4/1-709.4/10.
 6. *Ведомость реперовь расположенных в проектированных границах города Риги*, Рига, 1909г.
 7. **Озол Л. П.** Возможность использования Латвийских ивелиршвцл для шпределения вертикальных движений земной коры, Таллин, 1960г.
 8. *Die Triangulierungsarbeiten zur Vermessung Rigas.* – R., 1882. – 14.
 9. **Kakkuri J., I. Balodis, V.I. Bogdanov, J. Davis, D. Dietrich, E. Grafarend, E. Groten, T. Parm, M. Petrovskaya, M. Poutanen, B. Schutz, H. Seeger, L.E. Sjoberg, K.A. Taybatorov, M. Vermeer, E.Zaharchenko, and J.B. Zielinski.** Activity Report of the IAG/SSG 5.147 "Studies of the Baltic Sea". In: Final Results of the Baltic Sea Level 1993 GPS Campaign, Research Works of the SSG 5.147 of the International Association of Geodesy. *Reports of Finnish Geodetic Institute. Helsinki*, 1995. pp. 3-7.
 10. **Jakubovskis O., Kronbergs M., Helfriča B.** Pastāvošā precīzā augstuma atbalstītīkla analīze un novērtējums. *Latvijas ģeodēziskā augstuma atbalstītīkla rekonstrukcijas projekts*, Jelgava (1994).
 11. **Torim A.** Improvement of the Vertical Network in Estonia. *Proceedings from Seminar of the Danish & Baltic Sector Programme held in (Riga, March 2 and 3, 1999)*, Copenhagen, February 2001.
 12. **Biķis J.** (1940), Zemes garozas kustību ietekme precīzas līmetņošanas darbos Baltijas jūras piekrastē. *Latvijas Universitātes raksti*, ser. II nr. 6, 201 Rīga, 1940.
 13. **Aberbergs G. A.** Doktora disertācija (D-1401), (1954).
 14. **Freijs V. Jakubovskis O.** Jāņa Biķa dzīve un darbība. *Latvijas Lauksaimniecības Akadēmijas raksti*, 98. sēj., 1976.g
 15. *Ģeodēzija*, Rīga (1974).
 16. **Якубовский О. В.**, Уточненная карта вертикальных движения земной коры побережья Балтийского моря.// *Современные движения земной коры, Академия наук Эстонской ССР институт Астрофизики астрономии*, Тарту (1973).
 17. **Якубовский О. В.**, О возможных причинах расхождения карт вертикальных движения земной коры Прибалтики.// *Современные движения территории Прибалтики*, Академия наук Эстонской ССР институт Астрофизики атмосферы, Тарту (1975), 37-47.
 18. **Аберберг Г.А.** *Изменения высот пунктов нивелирной сети города Риги* Таллин, 1960г.
 19. **Озол Л. П.** Возможности использования латвийских нивелировок для определения вертикальных движений земной коры.// *Материалы совещания по вопросам неотектонических движения в Прибалтике*, Академия наук Эстонской ССР, Тарту (1960).
 20. **Индриксон Э.** Вертикальные движения земной поверхности на Плявиньском геодинамическом полигоне. *Latvijas Lauksaimniecības Akadēmija*, Jelgava (1976).
 21. **Jakubovskis O., Kronbergs M., Helfriča B.** Pastāvošā precīzā augstuma atbalstītīkla analīze un novērtējums. *Latvijas ģeodēziskā augstuma atbalstītīkla rekonstrukcijas projekts*, Jelgava (1994).
 22. **Jakubovskis O., Kronbergs M., Helfriča B.** Nivelešanas zīmju konstrukcijas. *Latvijas ģeodēziskā augstuma atbalstītīkla rekonstrukcijas projekts*, Jelgava (1994).
 23. *SIA Ģeoplāns, Rīgas pilsētas ģeodēziskā GPS tīkla RG2 tehniskā atskaite*, Rīga (2005).
 24. **Орвику К. К., Желнин Г. А., Гуделис В. К., Спрингис Л. Я., Виллманн Ч. И.** О неотектонических движениях в Эстонской ССР на основе геологических данных. // *Материалы совещания по вопросам неотектонических движения в Прибалтике*, Академия наук Эстонской ССР, Тарту (1960).
 25. **Рандярв Ю.** Вертикальные движения земной коры в Прибалтике по данным высокоточных нивелировок 1930—1970 гг. *Latvijas Lauksaimniecības Akadēmija*, Jelgava (1976).
 26. **Лесис И. П.** Современные движения земной коры на территории юго-западной Прибалтики по данным точных и высокоточных нивелировок.// *Материалы совещания по вопросам неотектонических движения в Прибалтике*, Академия наук Эстонской ССР, Тарту (1960).
 27. **Petroskevicius P. Zakarevicius A. and Tulevicius V.** Possibilities of the Geodynamic Investigations in Lithuania, *First Workshop of the Subcommission IAG SSC 8.1*, Riga, Latvia (March 28.-29.,1996)
 28. *VZD I, II un III klases nivelēšanas instrukcija*, Rīga (2000)
 29. **Fjodorovs J.** Tehniskā atskaite par II klases nivelēšanu Rīgas objektā. PSRS Ministru padomes Galvenās ģeodēzijas un kartogrāfijas pārvaldes Uzņēmums Nr.10. Šifrs 10-03-0023. 1975.-77.gg. Lpp,1-130. (krievu valodā).
 30. **Spalvins A., J.Slangens, R.Janbickis.** Preprocessing of initial data for creating hydrogeological models.// *Proceedings of the 9th International Symposium „System-Modelling-Control”*. Zakopane, Poland, 1998.Pieejams: http://omega.rtu.lv/www_emc/smc98.pdf
 31. **I.Janpaule, M.Caunite, J.Balodis, G.Silabriedis.** 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.
 32. **Balodis, J., Silabriedis, G., Caunite M., Janpaule, I., Balodis, K., Rubans, A., Aleksejenko, I., Otto, R., Ratkus, B., Reiniks, M., Miņofanovs, I., Plotnikovs, S., Zvirgzds, J.** EUPOS®-Riga network elevation analyses.// *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. 68-72.
 33. **Kļaviņš M., Aigars J., Apsīte E., Bethers U., Bruņņiece I., Eberhards G., Ikauniece A., Jansons V., Lapinskis J., Seņņikovs J., Sprinģe G.** Klimata mainība Latvijā: aktualitātes un piemērošanās pasākumi. KALME. *Valsts pētījumu programma Klimata izmaiņas ietekme uz Latvijas ūdeņu vidi*. Rīga, 2009.
 35. **Ulsts V.** Baltijas jūras krasta zona. Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Valsts Ģeoloģijas dienests. Rīga 1998.
 36. **K.Lapuška** Augstas precizitātes satelītu lāzermērījumi starptautisko ģeodinamikas programmu ietvaros, mērīšanas tehnikas un metožu izstrāde un pilnveidošana. *Latvijas Zinātnes padome (2005 -2007)*.
 37. **Droščak B.** SKPOS contributions to geokinematic research. . // *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. 104-107.
 38. **Šimek J.** EUPOS – Standards for single site design and reference frames.// *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. 47-51.
 39. **Lazdāns J., Aleksejenko I., Kaminskis J., Celms A., Kaļinka M., Klīve J., Reiniks M.** Aktualitāte Latvijas saistē ar Eiropas augstumu sistēmu. // *LU 67.Zinātniskā konferences Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*. 2009.g.12.februārī Rīgā.
 40. *International Symposium EUREF – 2008*. Brussels, June 18-20, 2008.Pieejams:<http://www.euref-iaf.net/>

Gunars Silabriedis. Msc sc.eng., Company „Rīgas GeoMetrics” Head of council; PhD student at the Riga Technical University. Adress: Amatu str. 4, Riga LV-1050, Latvia.

Gunars Silabriedis. History and Future of Riga Geodesic Vertical Network.

The last improvement of levelling records in Riga city dated at 1975-77. The first triangulation network was developed during 1882-85. 288 levelling benchmarks were fixed at 1880-82. Currently it is available un Rigas GeoMetrS SIA archive. 200km was levelled with an accuracy 2,7-3,7 mm/km. 1902-1906 is the next epoch of the extension of Riga levelling network with an accuracy 1,29-2,18 mm/km. Properly made and calibrated rod was used, additionally new benchmarks were installed. The number of benchmarks achieved 743 together with 222 still existing from the first network. The national 1st order levelling network covering whole territory of Latvia was developed in 1929-1939. The levelling results were published at 1941 and the catalog is available now. The improved Riga 2nd order levelling network was developed in period 1933-1940. High quality 171 benchmarks were fixed in solid walls of stable houses and bridges. Levelling length of 196,9 km in 13 loops were carried out with an accuracy of 1,38 mm/km. The network was tied to the national levelling network. The levelling time span appears 7 years long. The discrepancies appeared within the range of 0 to -28 mm. It was assumed that the vertical movement occurred. Levelling RMS were different in range of 0,86 mm/km till 4,72 mm/km. However, the Riga levelling average RMS is 1,8 mm/km. In order to tie the Latvian national levelling network to Soviet one at 1947/48 the Lomonosovo-Riga and Riga Baranovitch 1st order levelling were performed by Soviet geodesists. Commencing at 1967 the II order levelling by Soviets were done in Latvia. The last levelling network adjustment were performed at 1977 and the resulted system is named Baltic 1977 normal height system. The last 2nd order levelling campaign in Riga were carried out at 1975-1977 by Leningrad geodetic enterprise the vertical movement of Riga levelling network discovered recently by using RTK DGNSS technique in Riga the Sea level rise is about 26 cm in 100 years. Mainly DGNSS and SLR technologies should be used for EUVN development (Fig.9). J.Šimek tests (Fig. 10) approve the instability of the ground level. It seems that several years long levelling campaigns are capable to represent the random epochal elevations between closest benchmarks.

Гунарс Силабриедис. История и будущее геодезической вертикальной сети Риги.

В 1882 – 1895 гг. была создана первая сеть триангуляции. В 1882 г. установили первые 288 высотных знаков. Общая длина ходов нивелирования - 200 км с точностью 2,7 – 3,7 мм/км. Следующая эпоха ходов нивелирования была в 1902 – 1906 гг., когда точность достигла 1,19 – 2,18 мм/км. Использовались специально изготовленные измерительные рейки, а также дополнительно устроенные новые. Общее количество марок достигло 743. Сеть нивелирования первого класса по всей территории Латвии создали в 1929 – 1939 гг. Референцсистемой сети нивелирования приняли зарегистрированную 5 мареографами при среднем уровне Балтийского моря у берегов Латвии. Результаты нивелирования опубликовали в 1941 г. и этот материал сохранен до настоящего времени. Улучшенную сеть нивелирования второго класса в Риге создали в 1940 х годах. В стенах домов и опорах мостов установили 171 марку. Ходы нивелирования образовали 13 закрытых полигонов с общей длиной 196,9 км и точностью 1,38 мм/км. Нивелирование по времени заняло семь лет. В 1939 году провели контрольные измерения на одном из полигонов, созданных в 1934 году. Несоответствие превышений было в пределах 0 – 28 см, и предположили что это следствие вертикальных движений. В 1937 году при уплотнении нивелирной сети дополнительно устроили 1197 знаки. Средние квадратические ошибки ходов были в интервале от 0,86 до 4,72 мм/км. Но общая средняя квадратическая ошибка нивелирных сетей Риги была 1,8 мм/км. В 1947 – 1948 гг. геодезисты провели ходы нивелирования Ломоносово – Рига и Рига – Барановичи с целью привязки сетей Латвии к сети СССР. Начиная с 1967 года геодезисты начали повторную нивелировку второго класса; уравнивание сетей закончили в 1977 году и полученную систему высот назвали Балтийской. Последнюю нивелировку второго класса в Риге проводили специалисты Ленинградского треста инженерных изысканий в 1975 – 1977 годах, отчет о работах в наличии. Недавно раскрыты вертикальные движения нивелирной сети Риги используя технологию ГНСС РТК (рис. 6,7). Но весьма сложно использовать данные мареографа по измерениям уровня Балтийского моря для оценки вертикальных движений земли. Среднее повышение уровня моря у г.Риги - 26 см в течение столетия.