



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LAUKU INŽENIERU FAKULTĀTE

LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE
FACULTY OF RURAL ENGINEERING



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Mg.sc.ing. **Armands Celms**

LATVIJAS NIVELĒŠANAS PAMATTĪKLA
NOVĒRTĒJUMS UN PILNVEIDE

**THE EVALUATION AND IMPROVEMENT OF FIRST ORDER
LEVELLING NETWORK OF LATVIA**

Promocijas darba

KOPSAVILKUMS

inženierzinātņu (Dr.sc.ing.) doktora zinātniskā grāda iegūšanai
Būvniecības nozarē, Ģeodēzijas un ģeoinformātikas apakšnozarē

SUMMARY

of the Thesis for Doctoral Degree in Engineering Sciences (Dr.sc.ing), in Civil
Engineering Science branch, subbranch of Geodesy and Geoinformation

Autors/author _____

Jelgava 2014

INFORMĀCIJA

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Lauksaimniecības universitātes, Lauku inženieru fakultātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedrā laika posmā no 2010. līdz 2014. gadam.

Promocijas darbs izstrādāts ESF finansētā projekta *Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai ietvaros*. Vienošanās Nr. 09/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017

Promocijas darba zinātniskā vadītājs

Dr.habil.sc.ing., LLU profesors emeritus **Jānis Valters**

Promocijas darba konsultante

Dr paed., LLU docente **Inese Bīmane**

Oficiālie recenzenti

Dr. phys., Latvijas Universitātes profesors, vadošais pētnieks **Jānis Balodis**
Dr., Aleksandra Stulginska Universitātes asociētais profesors **Donatas Rekus**
Dr.hab.ing. Valsts universitātes Lvivska Politehnika profesors **Igors Trevoga**

Promocijas padomes sastāvs:

Prof. *Dr.habil.sc.in.* Jānis Brauns, padomes priekšsēdētājs
Prof. *Dr.habil.sc.ing.* Uldis Iljins, padomes priekšsēdētāja vietnieks
Asoc.prof. *Dr.sc.ing.* Diāna Bajāre
Prof. *Dr.sc.ing.* Modris Dobelis
Prof. *Dr.sc.ing.* Dmitrijs Serdjuks
Prof. *Dr.sc.ing.* Juris Skujāns
Prof. *Dr.sc.ing.* Arturs Lešinskis
Asoc.prof. *Dr.phys.* Uldis Gross
Profesors, vadošais pētnieks *Dr.Phys.* Jānis Balodis

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2014. gada 25. septembrī plkst 10:00, Jelgavā, Akadēmijas ielā 19, LLU, Lauku inženieru fakultātes 117. telpā.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties:

LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Jelgavā, Lielā iela 2 un tiešsaistē
http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html

Atsauksmes sūtīt Promocijas padomes sekretārei, LLU Lauku inženieru fakultātes docentei Dr.paed. Inesei Bīmanei (Akadēmijas iela 19, LV-3001, Jelgava, Latvia, e-pasts: inese.bimane@llu.lv)

© Armands Celms, 2014

© Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2014

ISBN 978-9984-48-151-7

INFORMATION

The research was carried out at the Department of Land Management and Geodesy, Faculty of Rural Engineering, Latvia University of Agriculture from 2010 up to 2014.

Doctoral thesis has been worked out by support of European Social Fund project "Support to the Implementation of LLU Doctoral Studies" grant support. Agreement No. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

Scientific supervisor: Dr.habil.sc.ing., **Jānis Valters** Professor emeritus of Latvia University of Agriculture

Scientific adviser: Dr.paed. **Inese Bīmane** Assistant professor of Latvia University of Agriculture

Official reviewers:

Dr.phys. Jānis Balodis, Professor, Lead researcher at University of Latvia

Dr.sc.ing. Donatas Rekus, Associated professor of Aleksandras Stulginskis University

Dr.hab.ing. Ihor Trevoho, Professor of Lviv Polytechnic National University

Promotion Board

Prof. *Dr.habil.sc.in.* Jānis Brauns, chairman

Prof.*Dr.habil.sc.ing.* Uldis Iljins, vice-chairman

Asoc.prof. *Dr.sc.ing.* Diāna Bajāre

Prof. *Dr.sc.ing.* Modris Dobelis

Prof. *Dr.sc.ing.* Dmitrijs Serdjuks

Prof. *Dr.sc.ing.* Juris Skujāns

Prof. *Dr.sc.ing.* Arturs Lešinskis

Asoc.prof. *Dr.phys.* Uldis Gross

Professor, Lead researcher *Dr.Phys.* Jānis Balodis

The thesis will be defended at a public session of the Promotion Board to be held at Faculty of Rural Engineering on September 25, 2014, at 10:00. Venue – 19 Akademijas Street, Jelgava, lecture room 117.

The thesis and summary of thesis is available at the Fundamental Library of Latvia University of Agriculture, 2 Liela Street, Jelgava and online http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html

References should be addressed to the secretary of the Promotion Board, Assistant professor of Faculty of Rural Engineering of the Latvia University of Agriculture Dr. paed Inese Bīmane (19 Akademijas Street, LV-3001, Jelgava, Latvia, e-mail: inese.bimane@llu.lv)

SAUTRS/CONTENT

INFORMĀCIJA	2
INFORMATION	3
IEVADS	6
PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTU APROBĀCIJA	9
1. PRECĪZĀ NIVELĒŠANA LATVIJĀ LĪDZ 1990. GADAM.....	14
1.1. Vispārēja nivelēšana Livonijas teritorijā	15
1.2. Latvijas precīzās nivelēšanas izveide no 1929. līdz 1939. gadam	16
1.3. Precīzie nivelējumi Latvijas teritorijā no 1947. līdz 1990. gadam	17
1.4. LLA Ģeodēzijas katedras nivelējumi Pļaviņu ģeodinamiskajā poligonā	18
2. LATVIJAS NIVELĒŠANAS TĪKLA REKONSTRUKCIJA NO 1990. GADA.....	20
2.1. Situācijas apzināšana un nivelēšanas instrukcijas izstrāde	20
2.2. Valsts nivelēšanas pamattīkla rekonstrukcijas darbi.....	23
2.3. Ģeodēziskās zīmes nivelēšanas tīkla punktu nostiprināšanā	25
3. LATVIJAS NIVELĒŠANAS PAMATTĪKLA REKONSTRUKCIJA NO 2000. GADA LĪDZ 2010. GADAM.....	28
3.1. Precīzās nivelēšanas darbu process.....	28
3.2. Precīzie nivelējumi pāri ūdenstilpēm.....	28
3.3. Latvijas rekonstruētā nivelēšanas tīkla precizitātes novērtējums.....	32
4. VALSTS AUGSTUMA SISTĒMA	36
4.1. Augstuma sistēma – Valsts ģeodēziskās telpas sastāvdaļa	36
4.2. Valsts augstuma sistēmas funkcionālā nozīme, veidošana un uzturēšana	36
4.3. Ietekmes faktori uz valsts augstumu sistēmas funkcionalitāti un stabilitāti	37
4.4. Augstumu sistēmas maiņas struktūras un metodikas pamatojums	40
SECINĀJUMI	42
PRIEKŠLIKUMI	43

INTRODUCTION	44
APROBATION OF THE RESEARCH RESULTS	48
1. PRECISE LEVELLING IN LATVIA UP TO THE YEAR 1990	53
1.1. General levelling in the territory of Livonija	54
1.2. The formation of Latvian precise levelling from the year 1929 to the year 1939.....	55
1.3. Precise levelling in the territory of Latvia from the year 1947 to 1990	57
1.4. Levelling of the Geodesy department of Latvia University of Agriculture at the Pļaviņi geodynamic polygin.....	58
2. THE RECONSTRUCTION OF THE LEVELLING NETWORK SINCE THE YEAR 1990	60
2.1. The exploration of the situation and creation of levelling instructions .	60
2.2. The reconstruction works of state levelling network	63
2.3. Geodetic signs in the fixation of the points of levelling network.....	65
3. THE RECONSTRUCTION OF THE LEVELLING BASE NETWORK OF LATVIA, THE YEAR 2000. - 2010.	69
3.1. The process of precise levelling.....	69
3.2. Precise levelling over reservoirs	69
3.3. The evaluation of the precision of the reconstructed levelling network of Latvia.....	73
4. THE STATE HIGHT SYSTEM	77
4.1. The hight system - a component of State geodetic space.....	77
4.2. The functional importance, creation and maintainance of the State hight system.	77
4.3. The affecting factors on the functionality and stability of the State hight system	78
4.4. The justification of the structure and methodology of the change of the hight system	82
CONCLUSIONS	84
PROPOSALS.....	85
IZMANTOTĀ LITERATŪRA/BIBLIOGRAPHY	86

IEVADS

Atbilstoši mūsdienu izpratnei izpildītie precīzās nivelēšanas darbi Latvijas teritorijā veikti salīdzinoši regulāri. Var uzskatīt, ka šī teritorija zināmā veidā pat ir kalpojusi par vēsturisku poligonu – izmēģinājumu vietu daudzu nivelēšanas vai zemes virsmas augstumu uzmērīšanas darbu organizācijai, un šeit līdzīgi darbi tika sākti un attīstīti gandrīz paralēli ar daudzviet pasaulē un sevišķi Eiropā uzsāktiem ģeodēzisko mērījumu pētījumiem un nopietna apjoma darbiem. Jau pieminot tikai tādu pasākumu kā Strūves meridiāna loka uzmērīšanu, kura veidojošie elementi šķērsoja mūsdienu Latvijas teritoriju, jāatzīst, ka daudzi nopietni ģeodēzijas darbu pirmsākumi koncentrējās un sākās šajā Eiropas reģiona teritorijā.

Latvijas teritorijā nivelēšanas darbus sāka izpildīt sākot no 19.gs. 70-tajiem gadiem un ar nelieliem pārtraukumiem turpinājās līdz mūsdienām. Piemēram, Latvijas teritorijā 20. gadsimtā tika izpildītas trīs I klases (augstākās precizitātes) nivelēšanas kampaņas. Pirmo veica laika periodā no 1929. gada līdz 1939. gadam, otro no 1967. gada līdz 1974. gadam un pēdējā – trešā, kuru sāka gatavot minētā gadsimta pēdējos gados, tika reāli izpildīta laikā no 2000. gada līdz 2010. gadam, t.i., jau 21. gadsimta sākumā.

Padomju laikā izpildītie nivelējumi kalpoja par bāzi jaunas augstuma sistēmas ieviešanai PSRS teritorijā, tajā skaitā tai daļai, kura attiecināma uz Latvijas teritoriju. Iegūtos rezultātus nosauca par 1977. gada Baltijas normālo augstumu sistēmu, kuru Latvijā lietojam arī līdz šai dienai, kad tiek risināts jautājums par valsts augstuma sistēmas maiņu – turpmāk to piesaistot Amsterdamas augstumam jeb EVRS.

Atgūstot valstisko neatkarību 1991. gadā Latvijas valstij bija jāatsāk savas – valsts ģeodēziskās sistēmas atjaunošana, praktiski veidošana no jauna. Tajā skaitā tika uzsāka arī valsts augstuma sistēmas atjaunošanu kā kopējās Valsts Ģeodēziskās atbalsta sistēmas sastāvdaļu. Augstuma sistēmas izveides sākumā par pamatu tika izvērtēta un lietota visa uz neatkarības atgūšanas laiku pieejamā un iegūstamā informācija par valsts teritorijā un tās tuvumā lietotajām augstuma sistēmām, kā arī to izveidei un uzturēšanai lietotie augstuma mērījumu dati vai to apstrādes rezultāti. Esošās informācijas padziļināta izpēte un jaunas sistēmas projektēšana izvirzīja prasības pēc nopietniem pamatojumiem, saistāmiem ar vērā ņemamiem izpētes un analīzes darbiem, kuri bija laikietilpīgi. Tajā pašā laikā praktiski bija nekavējoties jānodrošina augstuma sistēmas pakalpojumi dažādu valsts, pašvaldību funkciju un sabiedrības vajadzību realizācijai, tāpēc sākotnēji pieņēma lēmumu pārņemt un turpināt lietot valsts teritorijā uz neatkarības atjaunošanas brīdi lietoto augstuma sistēmu, kuras sākuma punkts nu jau atrodas citas valsts teritorijā – Kronstatē (Krievijā). Pārņemtie dokumenti par lietošanā esošo augstuma sistēmu un to kvalitāti iezīmēja virkni problēmu šīs sistēmas veidotājiem un uzturētājiem.

Iepriekšējos periodos iegūto I klases nivelējumu rezultātu lauku datu analīze kā pirmajā, tā arī otrajā kampaņā (epohā) nebija realizējama, jo lauku mērījumu dati atrodas ārpus Latvijas un izpētei nav pieejami. Pieejami bija tikai katalogi ar izrēķinātām ģeodēzisko punktu augstuma un izlīdzināto paaugstinājumu vērtībām – t.i jau apstrādāti dati. Šāda situācija nedeva iespējas ne tikai pilnvērtīgi izvērtēt šīs informācijas kvalitatīvos rādītājus, bet arī nodrošināt šo datu kvalitatīvu transformāciju uz patreizējo zemes virsmas stāvokli, ņemot vērā Zemes garozas kustību ietekmes ilgstošos laika posmos. Arī valsts teritorijas vertikālo kustību modelis varēja balstīties tikai uz agrāk izstrādātiem secinājumiem, bet ne reālu mērījumu apstrādes rezultātiem. Situācija izgaismoja jaunās Valsts augstumu sistēmas izveidošanas un turpmākās uzturēšanas kvalitātes problēmām, kuras laika gaitā pieaugtu. Lai risinātu problēmas, tika izstrādāts valsts augstuma sistēmas attīstības plānojums, kura ietvaros tika uzsākta sistemātiska augstumu mērījumu datu ieguve un uzkrāšana – tika sākti valsts nivelēšanas darbi.

Jaunie valsts nivelēšanas tīkla atjaunošanas darbi, kuru sastāvā ietilpa iepriekšējo nivelēšanas līniju atjaunošana un rekonstrukcija un I klases (augstākās precizitātes) lauka mērījumi tika izpildīti laikā no 2000. gada līdz 2010. gadam. Iegūtie lauka mērījumu dati radījuši bāzi pašreiz lietošanā esošās sistēmas pilnvērtīgam novērtējumam, gan iepriekšējās lietotās informācijas kvalitātes un precizitāšu izvērtēšanai, gan zemes virsmas vertikālo kustību modeļa atbilstības izvērtējumam un aktualizēšanai un visbeidzot esošās augstumu sistēmas atbilstības izvērtēšanai šodienas prasībām.

Promocijas darbā tiek risinātas iepriekš minēto augstumu sistēmas attīstības priekšlikumu izstrādes un to pamatojumi. Pamatojumu radīšanai tika izmantoti jauno mērījumu rezultāti. Darba ietvaros tika noteikti un novērtēti izpildīto I klases nivelējumu precizitātes rādītāji un to vērtības, veicot lauku datu analīzi. Lai iegūtu iespējami pilnvērtīgāku rezultātu, mērījumu lauku datu analīze tika veikta dažādos griezumos, nosakot dažādu kļūdu lielumus. Tās ļauj identificēt dažādu faktoru ietekmi uz mērījumu procesiem, lietotajiem instrumentiem un to komplektiem, iegūtajiem rezultātiem un nivelēšanas darbiem kopumā, piemēram, refrakcija, tapu noturība, temperatūru ietekme, instrumentu un tehnisko risinājumu izvēle u.c. Līdz šim Latvijā šāds nivelēšanas lauka darba rezultātu novērtējums nav veikts. Tā izpilde ļauj pārbaudīt līdz šim veikto mērījumu metodiku, nodrošina analīzes iespējas dažādu faktoru ietekmes samazināšanai, lai nākotnē paaugstinātu nivelējumu precizitātes rādītājus. Iepriekšminētais radīja iespēju salīdzināt rezultātus ar kaimiņvalstu precizitātes rādītājiem. Tika izmantota iespēja konsultēties un iepazīties ar skandināvu speciālistu pieredzi, kas šos darbus jau pildījuši lielākos apjomos. Daba autors, pētot datu apstrādes metodikas, ir guvis atziņu, ka mūsu valsts speciālistu un ārvalstu kolēģu uzskati par galvenajiem mērījumu kļūdu rādītājiem un to pieļaujamajiem lielumiem ir vienādi.

Pētījuma noslēgumā secināts, ka, balstoties uz iegūto materiālu apstrādi un analīzi, izdevās izstrādāt un pamatot tehniskus un organizatoriskus priekšlikumus valsts augstumu sistēmas tālākās attīstības modeļa izstrādei, kā arī izstrādāt priekšlikumu modeļa prototipam.

Pētījuma objekts: Latvijas nivelēšanas pamattīkla izpēte.

Pētījuma priekšmets: Latvijas nivelēšanas tīkla rekonstrukcija.

Pētījuma mērķis: veikt Latvijas nivelēšanas pamattīkla novērtējumu, pamatojoties uz I klases nivelēšanas rezultātiem, izstrādāt un pamatot tehniskus un organizatoriskus priekšlikumus valsts augstumu sistēmas tālākās attīstības modeļa izstrādei.

Pētījuma hipotēze: Latvijas nivelēšanas pamattīkls pilda tautsaimniecībai nepieciešamās funkcijas, ja:

1. tas ir rekonstruēts atbilstoši precīzās nivelēšanas prasībām;
2. tiek ņemtas vērā Zemes garozas vertikālās kustības Latvijā;
3. tas funkcionē atbilstoši promocijas darbā izstrādātajam augstumu sistēmas tālākās attīstības modelim.

Pētījuma uzdevumi:

1. analizēt iepriekš veikto precīzo nivelējumu rezultātus Latvijā;
2. analizēt atjaunotā (2000. – 2010.) I klases nivelēšanas tīkla mērījumu precizitāti, tai skaitā galvenos kļūdu avotus, atjaunotā tīkla kvalitāti un sniegt rekomendācijas nivelēšanas darbu precizitātes paaugstināšanai;
3. izstrādāt Zemes garozas vertikālo kustību dinamikas modeli, prognozēt tā ietekmi uz nivelēšanas tīkla precizitāti;
4. izstrādāt priekšlikumus nivelēšanas tehnoloģiju uzlabošanai;
5. izstrādāt un pamatot tehniskus un organizatoriskus priekšlikumus valsts augstuma sistēmas tālākās attīstības modeļa izstrādei.

Pētījumā izmantotās pētnieciskās metodes: Promocijas darba izstrādē procesā izmantotas šādas pētījumu metodes:

- monogrāfiskā jeb aprakstošā pētījumu metode – izmantota pētījuma problēmas raksturošanai un izpētei, apkopojot informāciju un pamatojoties uz literatūras avotiem, raksturots pētījuma problēmas pašreizējais stāvoklis;
- datu matemātiskās statistikas metode – pielietota I klases nivelēšanas līniju paaugstinājumu starpību noteikšanā, salīdzinot punktu paaugstinājumus vairākās nivelēšanas kampaņās;
- analīzes un sintēzes metode – pielietota I klases nivelēšanas līniju paaugstinājumu un to punktu iegūto starpību raksturošanā;
- korelatu un parametru metode – nivelēšanas rezultātu un nivelēšanas tīkla precizitātes;

- grafiskā metode - izmantota, lai uzskatāmi atainotu aprakstītos un analizētos procesus kopumā.

Pētījuma teorētiskā nozīmība un novitāte:

1. izpētīta precīzo nivelējumu vēsture Latvijā;
2. izvērtēti jaunāko precīzo nivelējumu rezultāti Latvijā;
3. izstrādāts Zemes garozas vertikālo kustību dinamikas modelis;
4. izstrādāts un pamatots valsts augstuma sistēmas attīstības modelis.

Pētījuma praktiskā nozīmība:

1. izstrādāts patents Nr. 14529 par “Palīgierīce un paņēmieni precīzās nivelēšanas svītru latus nolasīšanai lielā attālumā”;
2. ieviesti uzlabojumi ģeodēzisko grunts zīmju ārējā noformējumā;
3. organizēti Priekules fundamentālo (slepeno) reperu grupas atrašanas darbi;
4. aprobēts paņēmieni LatPos bāzes staciju antenu piesaistei precīzās nivelēšanas tīklam ar ģeometrisku nivelēšanu;
5. veikti GNSS mērījumi Latvijas nivelēšanas pamattīkla punktos.

Tēzes aizstāvēšanai:

1. zinātniski izpētīti un sistematizēti agrākie precīzās nivelēšanas darbi Latvijas teritorijā ir pamats valsts nivelēšanas pamattīkla rekonstrukcijai pēc neatkarības atjaunošanas;
2. Latvijas nivelēšanas pamattīkls pilda tautsaimniecībai nepieciešamās funkcijas, ja tas rekonstruēts atbilstoši precīzās nivelēšanas prasībām;
3. izstrādātais Zemes garozas vertikālo kustību modelis Latvijas teritorijai pierāda nivelēšanas pamattīkla regulāras uzturēšanas nepieciešamību;
4. pašreizējais nivelēšanas pamattīkla pilnveidošanas etaps nosaka nepieciešamību izstrādāt jaunu valsts augstuma sistēmas tālākas attīstības modeli.

PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTU APROBĀCIJA

Publikācijas vispāratzītos recenzējamos izdevumos (16)

1. Celms A., Bimane I., Reke I. (2014) European Vertical Reference System in Baltic Countries. *International Scientific Journal BALTIC SURVEYING*, Vol.1, p. 49–55. ISSN 2255–999X
2. Celms A., Ratkevics A., Rusins J. (2014) Research of National Geodetic Network Elevations at Eastern Part of Latvia. *International Scientific Journal BALTIC SURVEYING*, Vol. 1, p. 84–91. ISSN 2255-999X

3. Celms A., Ratkevičs A., Brants A., Kauranens E. (2013) Accuracy of Height Measurements for Leveling Across Wide Water Bodies. **In:** *Proceeding of the Intenational Scientific Methodical Conference „Geoforum 2013”*. Lviv: National University of Politehnics, p. 97-101. ISSN 1819-339
4. Celms A., Kronbergs M., Cintina V., Baumanes V. (2013) Precision of Latvia Leveling Network nodal point Height. **In:** *Proceedings of 4th International Scientific Conference „Civil Engineering’13”*, 16–17 May, 2013, Jelgava, Latvia. Vol. 4., Part 1, Jelgava: LLU, p. 310–317. ISSN 2255–7776
5. Brants A., Kronbergs M., Celms A., Ancikēvičs Z. (2013) Dispersion of Global Positioning Measurements in Real-time Correction Networks. **In:** *International Scientific-Methodical Conference „Baltic Surveying’13”: proceedings*. Kaunas, Lithuania, May 8–10, 2013. Kaunas, p. 47–51. ISSN2243–5999
6. Celms A., Ratkevičs A., Reķe I. (2013) General procedure of national height system’s replacement. **In:** *International Scientific-Methodical Conference „Baltic Surveying’13”: proceedings*. Kaunas, Lithuania, May 8-10, 2013. Kaunas, p. 40–46. ISSN2243-5999
7. Celms A., Kronbergs M., Cintina V. (2012) Accuracy Estimation of the Latvia First Order Leveling Network. **In:** *International Scientific and Technical Conference „Geoforum 2012”*. Lvivska Politehnika, p.44–47. ISSN 1819–1339
8. Celms A., Kronbergs M. (2011) Precise Leveling across Lielupe and Daugava. **In:** *Research for Rural Development 2011: Annual 17th International Scientific Conference Proceedings*. Jelgava, 18-20 May 2011.Jelgava: LLU. Vol. 2, p. 170–174. ISSN 1691–4031
9. Celms A., Kronbergs M., Cintina V. (2011) Precise Leveling in Vidzeme. **In:** *Proceedings of the International Scientific Conference of Agriculture Universities of Baltic States „Baltic Surveying’11”*, Jelgava, Latvia, 11th – 13th of May, 2011. Jelgava: LLU, p. 59–66.
10. Celms A., Kronbergs M. (2008) Results of Leveling of First Order Lines in the Eastern Part of Latvia. **In:** *BALTIC SURVEYING `08. International Scientific-Methodical Conference of Agricultural Universities in the Baltic States and Other Countries: Proceedings*. Jelgava, Latvia, the 7th and 9th May, 2008 Jelgava: LUA, p. 22-27. ISBN – 978–9984–784–70–0
11. Целмс А., Хелфрича Б., Кронбергс М. (2007) Результаты нивелирования I класса в западной части Латвии. **In:** *BALTIC SURVEYING `07 International Scientific-Methodical Conference: Proceedings*. Kaunas, p.14–18. ISBN 978–9955–448–85–3

12. Celms A. (2005) Assessment of elevation Differences of Precise Levelling Between Different Epochs of Measurements. **In:** *The International Conference „Cadastrre, Photogrametry, Geoinformatics – Modern Technologies and Development Perspectives”*: Proceedings, Vol. 66. Lviv, p. 113-117. ISSN – 0130-1039
13. Celms A. (2005) The Analysis of the X Polygon of the First Order Levelling Network. **In:** *International Conference „Modern Progress of Geodetic Sciences and Industry”*: Proceedings. Lviv, p. 117–122.
14. Celms A., Kaminskis J. (2005) Comparison of the Leveling Results in Line Kolka – Rucava. **In:** *The 6th International Conference „Environmental Engineering”*: Proceedings. Vilnius, May 26-27, 2005. Vilnius Gediminas Technical University. Vol. 2, p. 831–835. ISBN 9986–05–851–1. Pieejams: WEB of Science datu bāzē.
15. Celms A., Kaminskis J. (2005) Leveling results of first order line Kolka – Rucava. **In:** *„BALTIC SURVEYING '05” International Scientific–Methodical Conference of Agricultural Universities in the Baltic States and Other Countries: Proceedings*. Jelgava, 12th and 13th May, 2005, Jelgava: LUA, p. 165–170. ISBN9984–596–94–X
16. Celms A., Helfriča B., Kronbergs M. (2002) First order Levelling in Latvia in 2000 and 2001. **In:** *BALTIC SURVEYING '02: International Scientific-Methodical Conference of Agricultural Universities in the Baltic States: Proceedings*. Jelgava, 9–10 May, 2002. Jelgava: LUA, p. 125–130. ISBN9984–596–46–X

Ziņojumi starptautiskās un zinātniski praktiskās konferencēs (28)

1. Celms A., Bimane I., Reke I. European Vertical Reference System in Baltic Countries. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying'14”*, 2014. gada 7.–9. maijs, Jelgava.
2. Celms A., Ratkevics A., Rusins J. Research of National Geodetic Network Elevations at Eastern Part of Latvia. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying'14”*, 2014. gada 7.–9. maijs, Jelgava.
3. Celms A., Ratkevičs A., Brants A., Vallis A., J. Silabriedis G. GNSS nivelējumi valsts ģeodēziskajā tīklā. *Latvijas Universitātes 72. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2014. gada 05. februāris, Rīga.
4. Bīmane I. Celms A. Ūdens līmeņa novērojumu vēsturisks apskats. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes pārvaldība un mērniecība”*, 2013.gada 6. decembris, Jelgava.
5. Celms A. Precision of Latvia Leveling Network Nodal Point Height. *Starptautiskā zinātniskā konferencē „Civil Engineering'13”*, 2013. gada maijs, Jelgava.

6. Celms A. General Procedure of National Height System's Replacement. *Starptautiskā zinātniskā konferencē „Baltic Surveying'13”*, 2013. gada maijs, Kauņa.
7. Celms A. Accuracy of Height Measurements for Leveling Across Wide Water Bodies. *Starptautiskā zinātniski tehniskā konferencē „Geoforum 2013”*, 2013. gada aprīlis, Ļvova.
8. Celms A. Paaugstinājumu pētījumi valsts ģeodēziskajā tīklā. *Latvijas Universitātes 71. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2013. gada 14. februāris, Rīga.
9. Celms A., Ratkevičs A. Valsts ģeodēziskās atbalsta sistēmas vai tās elementu nomaiņas kārtība. *LLU Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes pārvaldība un mērniecība”* 2013.gada 18. janvāris, Jelgava.
10. Celms A. Use of Various Methods for Leveling Across Water Bodies, *Riga Technical University 53rd International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute*, 2012. gada oktobris, Rīga.
11. Celms A. Accuracy Estimation of the Latvia First Order Leveling Network. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes doktorantu starptautiskā zinātniskā konference „Research for Rural Development 2012”*, 2012. gada maijs, Jelgava.
12. Celms A. Accuracy Estimation of the Latvia First Order Leveling Network. *Starptautiskā zinātniski tehniskā konference „Geoforum 2012”*, 2012. gada aprīlis, Ļvova.
13. Celms A.; Kronbergs M.; Brants A. Globālās pozicionēšanas bāzes stacijas “Jelgava” augstuma noteikšana. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2012. gada 9. februāris, Rīga.
14. Celms A. Ģeodēziskie mērījumi jonosfēras aktivitātes laikā. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2012. gada 9. februāris, Rīga.
15. Celms A. Reālā laika korekciju pētījumi. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālzipētes) sekcija*, 2012. gada 03. februāris, Rīga.
16. Celms A., Kronbergs M. Salaspils kodolpētniecības centra būvju vertikālo deformāciju mērījumi. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes pārvaldība un mērniecība”*, 2011. gada 2. decembris, Jelgava.
17. Celms A.; Kronbergs M.; Brants A. Nivelējumi pāri lielākajām Latvijas upēm. *Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku 3. kongress. Lauksaimniecības un meža zinātnes sekcija*, 2011. gada 25. novembris, Jelgava.

18. Celms A. Precise Leveling Across Lielupe and Daugava, *Latvijas Lauksaimniecības universitātes doktorantu starptautiskā zinātniskā konference „Research for Rural Development 2011”*, 2011. gada maijā, Jelgava.
19. Celms A., Precise Leveling in Vidzeme Region. *Starptautiskā zinātniskā konference „Baltic Surveying '11”*, 2011. gada maijs, Rīga.
20. Celms A. Ģeodēzisko instrumentu un tehnoloģiju kalibrācijas poligoni un bāzes komparatori. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskajā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālīzpētes) sekcija*, 2011. gada februāris, Rīga.
21. Celms A. Valsts I klases nivelējumi Vidzemē. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes ierīcības un mērniecības problēmas un risinājumi”*, 2009. gada 4. decembris, Jelgavā.
22. Celms A. Valsts I klases nivelēšanas darbi Latvijas – Igaunijas pierobežā. *Latvijas Universitātes 67. zinātniskā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālīzpētes) sekcijā*, 2009. gada janvāris, Rīga.
23. Celms A. Valsts I klases nivelēšanas darbi, to aktualitāte. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes ierīcības un mērniecības problēmas un risinājumi”*, 2008. gada 5. decembris, Jelgava.
24. Celms A. Results of Leveling of First Order Lines in the Eastern Part of Latvia. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying '08”*, 2008. gada maijs, Jelgava.
25. Celms A. Augstuma vērtību izmaiņu analīze pēc aktuālākajiem mērījumiem valsts nivelēšanas tīklā. *Latvijas Universitātes 66. zinātniskā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālīzpētes) sekcija*, 2008. gada janvāris, Rīga.
26. Celms A. Assessment of Elevation Differences of Precise Levelling Between Different Epochs of Measurements. *The International Conference „Cadastré, Photogrametry, Geoinformatics – Modern Technologies and Development Perspectives”*, 2005. gada septembris, Kalwaria Zebrydowska (Polija).
27. Celms A. The Analysis of the X Polygon of the First Order Levelling Network. *International Conference „Modern Progress of Geodetic Sciences and Industry”*, 2005. gada aprīlis, Ļvova (Ukraina).
28. Celms A., Helfriča B., Kronbergs M. First order Levelling in Latvia in 2000 and 2001. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying '02”*, 2002. gada maijs, Jelgava.

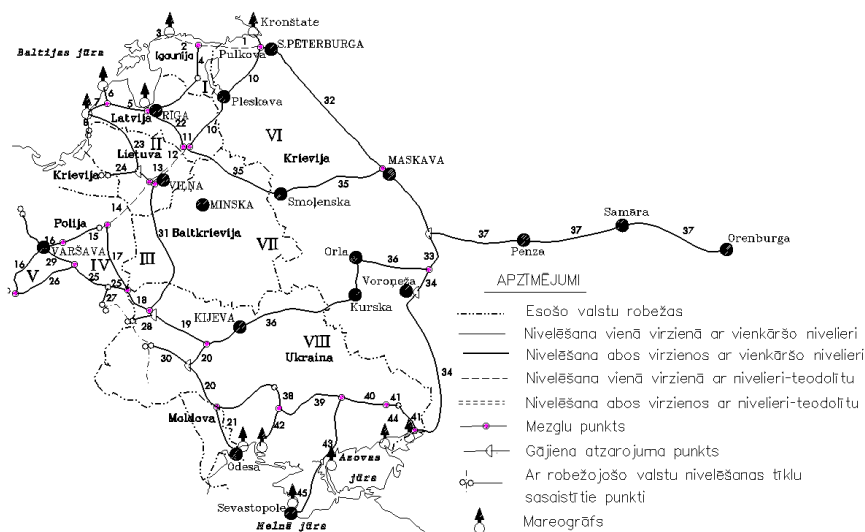
Izgudrojumi (1)

Latvijas Republikas Patentu valdē apstiprināts patents Nr. 14529 par “Palīgierīce un paņēmieni precīzās nivelēšanas svītru latus nolasīšanai lielā attālumā”. Izgudrotāji Armands Celms, Maigonis Kronbergs. 2012.

1. PRECĪZĀ NIVELĒŠANA LATVIJĀ LĪDZ 1990. GADAM

Nodaļā aprakstīti iepriekš izpildītie nivelēšanas darbi, veidojot nivelēšanas tīklu sistēmas, sniegtas veikto nivelējumu iegūtās precizitātes vērtības.

Latvijas teritorijā nivelējumi, kas izpildīti regulāra nivelēšanas tīkla veidošanai, datējami ar 19. gadsimta otro pusi. Tie lielā mērā saistījās ar kopējām teritorijas un īpaši vertikālās uzmērīšanas tendencēm Prūsijā, Austroungārijā, Holandē un citviet Eiropā. Krievijā šie darbi tika izpildīti ar mērķi savienot jūru ūdens līmeņu novērošanas posteņus Baltijas, Melnajā un Azovas jūrās, kā arī sasaistot nivelēšanas tīklus ar kaimiņvalstīm, gūt piesaisti jūras līmeņa novērojumiem Ziemeļjūrā un Vidusjūrā (1.1.attēls).



Avots: autora izstrādāts pēc (Рыльке, 1894)

1.1. att. Krievijas 1894. gada nivelēšanas tīkla pārskata shēma.

Darbus Krievijas, kā arī Latvijas teritorijā veica Krievijas kara topogrāfu korpus. Ņemot vērā Latvijas ģeogrāfisko novietojumu, tās teritorijā tika veikta virkne nivelējumu, kas iekļāvās kopējā nivelēšanas tīklā. Nivelēšanas tīkls sastāvēja no sienas zīmēm, kas tika ierīkotas ik pēc 20 – 25 km. Tomēr, kā atzīmēts pagājušā gadsimta beigās (Кашин..., 1979), attālums starp ierīkotajām sienas zīmēm radīja papildus sarežģījumus nivelēšanas tīklu sabiezīšanai, kā arī topogrāfiskai uzmērīšanai.

Šīs kampaņas rezultātā Latvijas teritorijā esošās jūras līmeņa novērojumu stacijas Daugavgrīvā, Ventspilī un Liepājā tika saistītas ar Kronštates „pāli” un Melnās jūras līmeņa novērojuma stacijām, tādējādi dodot

iespēju veikt analīzi un meklēt sakarības par ūdens līmeņa „nulli” dažādās jūras krasta vietās. Šie pētījumi sniedza sākotnējo pamatoto situācijas izpratni par sauszemes reljefu plašā vienlaidus teritorijā.

1.1. Vispārēja nivelēšana Livonijas teritorijā

Laika periodā no 1874. gada līdz 1882. gadam Latvijas Ziemeļu daļā, kā arī Igaunijas Dienvidu daļā pēc Livonijas vispārējās labklājības un ekonomiskās apvienības pasūtījuma tika realizēta vispārēja nivelēšana. Instrukciju izstrādāja Tartu observatorijas direktors Ludvigs Švarcs (Ludwig Schwarz), kas bija iemantojis atzinību, pateicoties Austrumsibīrijā izpildītajiem trigonometriskajiem nivelējumiem. Nivelējumus izpildīja inženieris A. Broks un astronomijas students Karls Ernests Helmans (Seidlitz-Meyers, 1887).

Nivelēšanas līnijas punktus nostiprināja ar reperiem – iekaltu horizontālu svītru mūra ēku akmeņos vai atsevišķi atrodošos lielos laukakmeņos. Virs svītras iekala repera numuru ar aptuveni 8 cm augstiem arābu cipariem. Augstumu vērtības tika noteiktas svītras ģeometriskai viduslīnijai (1.2.attēls).

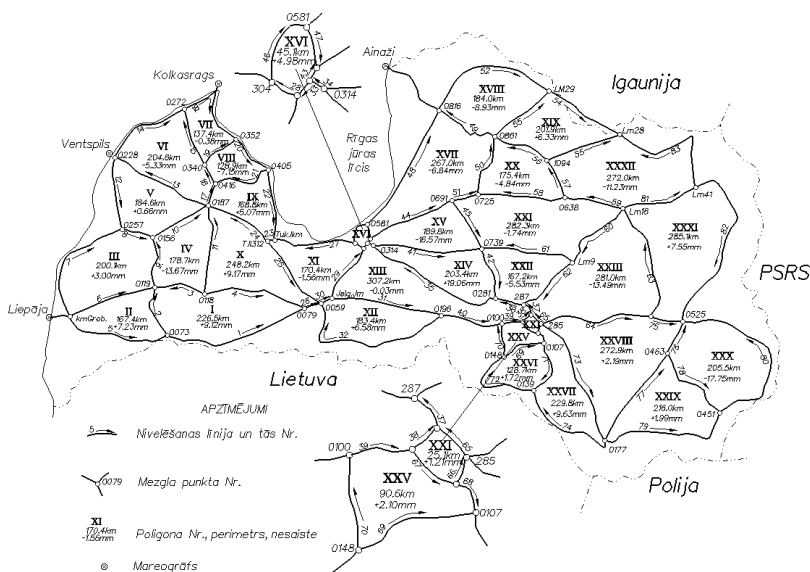


Avots: (Purvenieks, 1964).

1.2. att. Vilhelma Strūves trigonometriskās nivelēšanas zīme.

1.2. Latvijas precīzās nivelēšanas izveide no 1929. līdz 1939. gadam

20. gadsimtā laikā no 1929. gada līdz 1939. gadam tika izpildīti precīzās nivelēšanas darbi, tādējādi izveidojot Valsts precīzās nivelēšanas tīklu. Izveidotais nivelēšanas tīkls vienmērīgi pārklāja visu valsts teritoriju un sastāvēja no 32 poligoniem, ar vidējo perimetru 200 km un tos veidoja 123 nivelēšanas līnijas (Jakubovskis u.c., 1994 (a)). Kopējais nivelēto līniju kopgarums sastādīja 4422 km. Nivelēšanas procesā tika ietvertas 1262 ģeodēziskās zīmes (Latvijas PSR precīzā..., 1941). Nivelēšanas tīkls tika sasaistīts ar Igaunijas, Polijas un Lietuvas nivelēšanas tīkliem. Tajā tika iesaistītas arī jūras līmeņa novērojumu stacijas Ainažos, Daugavgrīvā, Mērsragā, Kolkā, Ventpilī, Pāvilostā, Liepājā (1.3. att.).



Avots: autora veidots pēc (Озол, 1960)

1.3. att. Latvijas Republikas precīzās nivelēšanas tīkls (1929. – 1939.).

Šajā laika periodā nivelēšanas līnijas tika virzītas, pirmkārt, pa dzelzceļa līnijām, otrkārt, pa šosejām. Nivelēšanas markas tika nostiprinātas ik pēc katriem 6 – 7 km. Par ģeodēzisko zīmju nostiprinājuma vietām kalpoja mūra ēkas, kā arī tiltu balsti un caurtekas. Tomēr tajos nivelēšanas līniju posmos, kur nivelēšanas zīmes bija nostiprinātas pie dzelzceļa, 20. gadsimta otrajā pusē, pieaugot smagsvara vilcienu kustības intensitātei, radīto vibrāciju ietekmē izmainījās to augstumi. Šis process arī mūsdienās vēl joprojām turpinās. Kā piemērs minama situācija Priekules dzelzceļa stacijā. Šīs stacijas galvenajā ēkā pagājušā gadsimtā, izpildot precīzo nivelēšanu, tika ierīkota

sienas marka Nr. 0719. Šī ģeodēziskā zīme laikā no 1935. līdz 1937. gadam tika sanivelēta ar fundamentālu grunts reperi (slepeno reperi) Sr.5. 1997. gadā, izpildot nivelējumus starp šīm zīmēm, autors konstatēja, ka laika periodā kopš pirmskara nivelējumiem paaugstinājumiem starp abām zīmēm izmainījies par 4 mm (Celms, 2000).

Promocijas darba autors, 1997. gadā izstrādājot maģistra darbu, organizēja Priekules fundamentālo (slepeno) reperu grupas atrašanas darbus (Celms, 2000). Tas bija liels izaicinājums, jo oficiālā informācija, kas tika iegūta, pētot nivelēšanas katalogus, liecināja, ka šie punkti ir iznīcināti. Tomēr, neuzticoties šai informācijai, tika nolemts organizēt kādas no septiņu fundamentālo (slepeno) reperu grupām atrašanu. Tika izvēlēta Priekules grupa, jo tās repers ar kārtas Nr. 6 bija pirmskara augstuma sistēmas izejas punkts. Veicot gan kamerālo izpēti, kā arī organizējot vairākkārtējas apsekošanas un instrumentālas mērīšanas darbus, meklējumi vainagojās ar panākumiem.

1.3. Precīzie nivelējumi Latvijas teritorijā no 1947. līdz 1990. gadam

Pēc II Pasaules kara Latvijas nivelēšanas tīkls tika iekļauts PSRS nivelēšanas tīklā un atbilstoši rekonstruēts. Latvijā esošās nivelēšanas līnijas, par pamatu lietojot pirmskara mērījumu datus, izlīdzināja no jauna un aprēķināja jaunus ortometriskos augstumus, šoreiz tos sasaistot ar vidējiem jūras līmeņa novērojumiem Kronštatē (nulles līmeni) – tagad Krievijas Federācijas teritorijā.

1947.-1948. gados Galvenās ģeodēzijas un kartogrāfijas pārvaldes aeroģeodēzijas uzņēmumi veica I klases nivelējumus. Latvijas teritoriju šķērsoja I klases līnijas Lomanosova – Rīga un Rīga – Baranoviči, kā arī līnijas Jelgava – Liepāja. I klases līniju kopējais garums ir aptuveni 420 km. Šo nivelējumu precizitāte pētīta V. Zvonova darbā (Звонов, 1952). Saskaņā ar šiem pētījumiem I klases nivelējumus raksturo šādas nejaušās un sistemātiskās standartnovirzes:

$$\eta = 0.39 \text{ mm/km},$$

$$\sigma = 0.05 \text{ mm/km}.$$

1967.-1974. gados, kā arī laikā līdz 1990. gadam Latvijā atkārtoja 1947. - 1948. gadu I klases nivelējumus pa līnijām Ainaži-Rīga-Jelgava-Meitene, kā arī pa līniju Jelgava-Liepāja. Laika periodā pēc 1967. gada, veicot I un II klases nivelēšanas darbus, tika ierīkota virkne jaunu reperu. Līniju mezglu punktos tika ierīkoti galvenokārt fundamentālie reperi, bet pa līnijām, kur tas izrādījās nepieciešams (vecie reperi gājuši bojā), ierīkoti arī grunts un sienas reperi un markas (Программа построения государственной..., 1977). Dažos gadījumos nivelēšanas zīmes netika pietiekami rūpīgi meklētas, to vietās veco zīmju tiešā tuvumā ierīkotas jaunas zīmes, kā arī izmainīta nivelēšanas līniju trase.

Iegūtās kilometriskās standartnovirzes

I klases nivelējumos: II klases nivelējumos:

$\eta = 0.8 \text{ mm/km}$,

$\eta = 2.0 \text{ mm/km}$,

$\sigma = 0.08 \text{ mm/km}$,

$\sigma = 0.20 \text{ mm/km}$.

Pēc 1967. gada veiktie I un II klases nivelējumi kalpoja par bāzi jaunas augstumu sistēmas izveidei PSRS un arī Latvijā. Nivelēšanas rezultāti no jauna tika apstrādāti un katalogos publicētie normālie augstumi, tika aprēķināti, tāpat kā iepriekš, no Kronšates nulles. Pēdējā izlīdzināšanas variantā iegūtos rezultātus sāka dēvēt par augstumiem 1977. gada Baltijas normālo augstumu sistēmā (Silabriedis, 2010).

1.4. LLA Ģeodēzijas katedras nivelējumi Pļaviņu ģeodinamiskajā poligonā

Zemes virsmas mūsdienu vertikālo kustību aktivitātes pētījumiem pagājušā gadsimta 60-to gadu sākumā Baltijas republikās tika izraudzīti ģeoloģiskā ziņā raksturīgi Zemes virsas apgabali, kuros izveidoja ģeodinamiskos poligonus.

Latvijā šāds ģeodinamiskais poligons tika izveidots teritorijā apkārt nākamās Pļaviņu HES ūdenskrātuvei uz Daugavas, aptuveni 100 km uz austrumiem no Rīgas. 1962. gadā poligonā izveidoja nivelēšanas tīklu, kas sastāvēja no vairākiem noslēgtiem un karājošiem gājieniem.

Nivelēšanai izmantoja precīzo nivelieri ar līmeņrādi Ni004, nivelieri ar kompensatoru Koni007, kā arī nivelēšanas sākuma periodā nivelieri ar līmeņrādi NA-1. Nivelēšanas precizitātes raksturošanai aprēķinātas kilometriskā nejaušā standartnovirze η un sistēmātiskā standartnovirze σ , kuras dotas 1.1. tabulā.

1.1. tabula

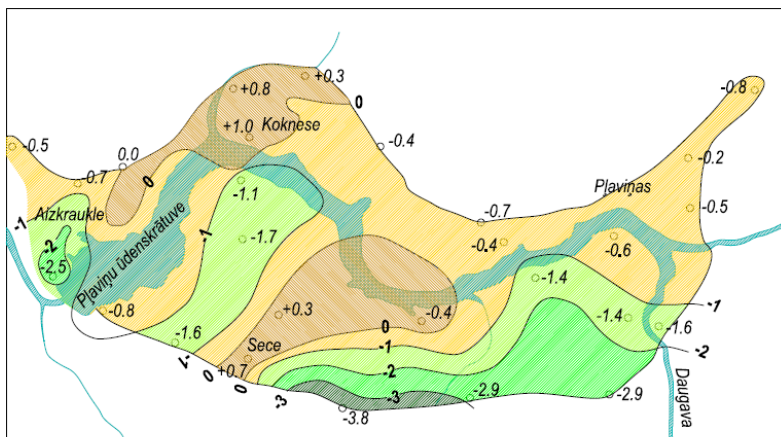
Pļaviņu ģeodinamiskā poligona izpildīto nivelējumu precizitāte

Nivelēšanas gads	Gājiena kopgarums (km)	η (mm/km)	σ (mm/km)
1963	195	0.37	0.11
1964	143	0.47	0.09
1965	161	0.47	0.17
1966	61	1.12	0.14
1967	68	0.52	0.10
1968	150	0.45	0.07
1970	178	0.48	0.14

Avots: autora veidota pēc (Фреїс, 1981)

Zemes virsmas vertikālo kustību ātrumu shēma, kas sastādīta pēc atkārtotas nivelēšanas rezultātiem, no 1963. līdz 1970. gadam Pļaviņu HES ūdenskrātuves apkārtnē parādīta 1.4. attēlā. Pēc rezultātu analīzes tika secināts,

ka ūdenskrātuves piepildīšana nav izsaukusi apkārtējās teritorijas virsmas deformācijas.



Apzīmējumi:



- ūdenskrātuves kontūra



- zemes virsas vertikālo kustību ātruma izolīnijas



- pacēluma sektors

- sēšanās sektors

Avots: autora veidots pēc (Фреїс, 1981)

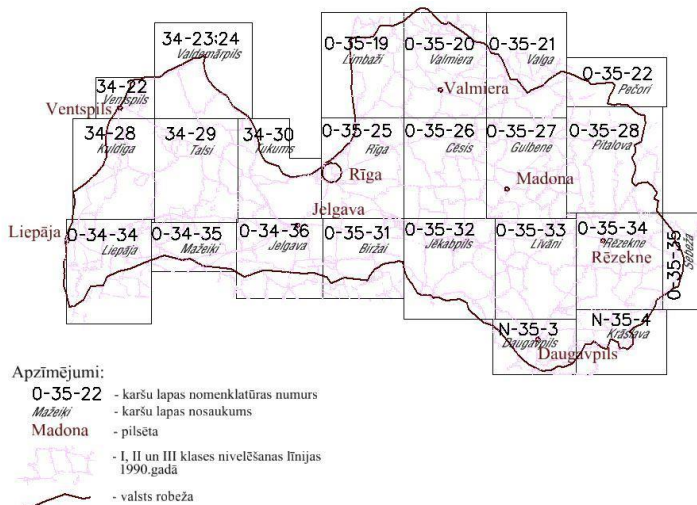
1.4. att. Zemes virsas vertikālo kustību ātrums Pļaviņu HES ūdenskrātuves apkārtnē laika periodā no 1963. līdz 1970. gadam.

2. LATVIJAS NIVELĒŠANAS TĪKLA REKONSTRUKCIJA NO 1990. GADA

Nodaļā dots skaidrojums par pastāvošās situācijas apzināšanu un dots novērtējumu, izklāstīts Dānijas valdības atbalsts precīzās nivelēšanas jomā. Aprakstīta nivelēšanas instrukcijas izstrāde un ar to saistītie nivelējumi Priekules poligonā, izklāstīta Valsts nivelēšanas pamattīkla rekonstrukcijas darbu plānošana un realizācijas gaita. Aplūkotas I klases nivelējumos iekļautās ģeodēziskās zīmes, ģeodēzisko zīmju pielietojuma nākotnes izaicinājumi.

2.1. Situācijas apzināšana un nivelēšanas instrukcijas izstrāde

Līdz ar neatkarības atjaunošanu Latvijā izveidojās situācija, kurā bija nepieciešams pārņemt informāciju par pastāvošajiem ģeodēziskajiem tīkliem, tai skaitā nivelēšanas tīkliem. Pārņemtā informācija – dažāda veida katalogi kalpoja pastāvošās situācijas apzināšanai un turpmāko mērķu izvirzīšanai pie nivelēšanas tīklu pilnveidošanas. Informācija par nivelēšanas punktiem Latvijas teritorijā galvenokārt bija sakopota nivelēšanas pārskatu katalogos. Nivelēšanas zīmes tika apkopotas pēc karšu daļjuma pa lapām mērogā 1:200 000. Pastāvošā informācija katalogos tika attēlota uz 23 karšu lapām (2.1. att.).



Avots: autora veidots

2.1. att. Latvijas teritorijas daļjums pa 200000 lapām ar nivelēšanas līniju shematisku izvietojumu.

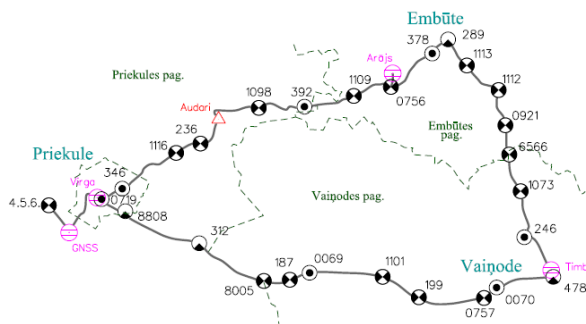
Karšu lapās ar noteiktiem apzīmējumiem tika parādītas I, II, III un IV klases nivelēšanas zīmes. Dotais apzīmējums parādīja, vai tā ir sienas marka, sienas repers vai cita veida nivelēšanas zīme. Nivelēšanas zīmes ir savienotas ar līnijām, kuras ilustrē dotās nivelēšanas līnijas klasi. Gan jābilst, ka nivelēšanas zīmju vietas attēlošanas precizitāte ir samērā zema, jo pēc šīs kartoshēmas savietošanas ar pilnvērtīgu kartogrāfisko materiālu un zīmes atrašanās dabā nesakritība dažkārt bija līdz 2 km.

Valsts zemes dienesta Nacionālais mērniecības centrs 1994. gadā pasūtīja pastāvošā nivelēšanas tīkla padziļinātu teorētisku izpēti. Šo darbu izpildīja Latvijas Lauksaimniecības universitātes Ģeodēzijas katedras kolektīvs (Jakubovskis u.c., 1994 (c)). Šis zinātniskais darbs lielā mērā kalpoja par pamatu nivelēšanas instrukcijas izstrādei un I klases nivelēšanas tīkla rekonstrukcijas darbu izpildes plānojumam.

Nozīmīgu ieguldījumu Latvijas un Baltijas nivelēšanas tīklu jautājumu sakārtošanā deva Dānijas valdība. Laika periodā no 1996. gada līdz 1998. gadam Dānijas Būvniecības un Mājokļa ministrija (The Danish Ministry of Housing and Building) realizēja tehniski administratīvu sektorprogrammu ģeodēzijā Lietuvā, Latvijā un Igaunijā. Viens no šās programmas atbalsta virzieniem Latvijā bija precīzie kontrolnivelējumi pastāvošajā I klases nivelēšanas tīklā (Precise Levelling in..., 1998). Realizētās apakšprogrammas ietvaros 1998. gada pavasarī tika izpildīti precīzie nivelējumi pa līniju Jelgava – Auce – Jaunauce. Darbus no Dānijas puses pārraudzīja un izpildīja mērniecības uzņēmums Kampsax Geoplan, savukārt no Latvijas puses darbus organizēja SIA Geoplāns speciālisti. Šī darba rezultātā tika aprakstīti izpildītie nivelējumi, iegūtie rezultāti un to precizitāte, raksturotas pastāvošās nivelēšanas zīmes, to izmantošanas iespējas precīzos nivelējumos. Kā viens no secinājumiem - Latvijā šobrīd nenotiek darbības, lai realizētu iesaistīšanos EUVN (European Vertical Vertical Network) sistēmā. Tieši šis aizrādījums bija par iemeslu speciālistu aizsāktām diskusijām nivelēšanas jomā.

Lai iegūtu un nostiprinātu pieredzi, kā arī pārliecinātos par izstrādāto metodiku pareizību I klases nivelēšanā, tika nolemts veikt lauka mērījumus Priekules poligonā. Šos darbus realizēja Valsts zemes dienesta Nacionālā mērniecības centra speciālisti 1999. gadā. Šo darbu izpilde notika ciešā sadarbībā ar Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauku inženieru fakultātes Ģeodēzijas katedras kolektīvu. Nivelēšanai tika izvēlēts noslēgts poligons Priekule – Embūte – Vaiņode – Priekule (2.2. att.).

Sagatavojot nivelēšanas trasi darbam, tika ierīkota virkne jaunu grunts un sienas nivelēšanas zīmju. Nivelēšanas trase ar jaunajām nostiprinājuma zīmēm tika papildināta ar tādu aprēķinu, lai attālums starp tām būtu ap 2 km. Grunts reperu ierīkošanas vietas tika izvēlētas ar tādu apsvērumu, lai repers netiktu iznīcināts saimnieciskās darbības rezultātā (lauksaimniecība, ceļu remonts, kabeļu tranšeju rakšana), bet tajā pašā laikā punktā varētu veikt kvalitatīvus GNSS mērījumus.



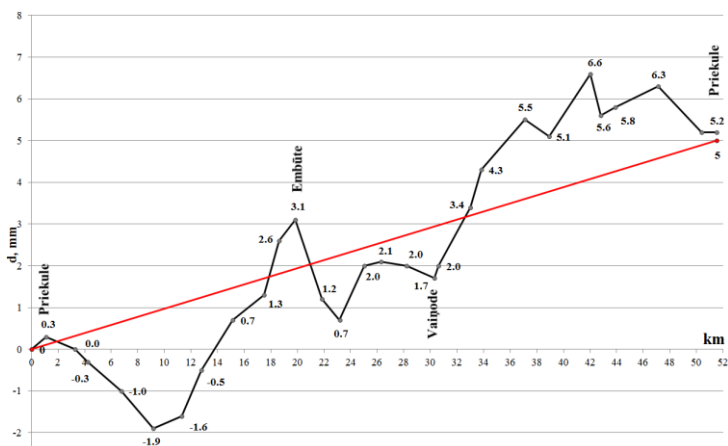
Apzīmējumi:

- 1073 - grunts repers
- 312 - sienas repers
- 00069 - sienas marka
- ⊕ Arāja - globālās pozicionēšanas punkts
- △ Audari - triangulācijas punkts
- Priekule - apdzīvotas vietas nosaukums
- - - - - administratīvās robežas
- Embūte pag. - pagasta nosaukums

Avots: autora vidots

2.2. att. Nivelēšanas zīmju shematisks izvietojums poligonā.

Nivelēto gājienu kopgarums sastādīja 54.8 km, no kuriem slēgtā poligonā tika ietverti 51.5 km. Turp un atpakaļvirzienā noteikto paaugstinājumu starpību gājiena sekcijās uzkrāšanās d visā poligonā sastādīja +5.2 mm. Iegūtais lielums uzskatāmi parādīts 2.3. attēlā. Iegūtie rezultāti attaisnoja izvīrītās prasības, lai sasniegtu vajadzīgo precizitāti I klases nivelēšanā.



Avots: autora veidots

2.3. att. Paaugstinājumu starpību uzkrāšanās nivelēšanas poligonā.

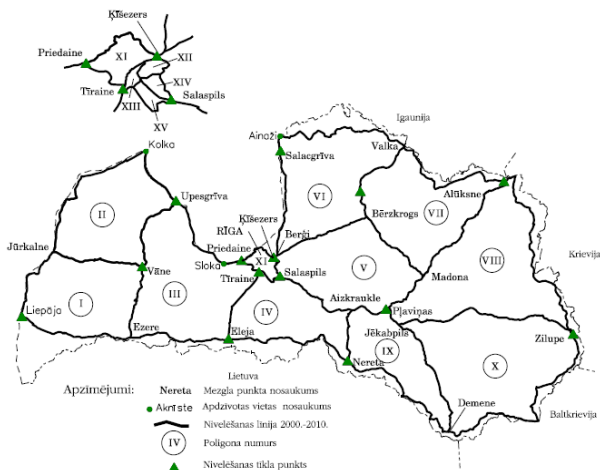
Sākot darbu pie nivelēšanas pamattīkla rekonstrukcijas, pamatoti izvirzījās prasība par izpildāmo nivelēšanas darbu metodisko regulējumu. Valsts zemes dienesta Nacionālajā mērniecības centrā tika pieņemts lēmums izstrādāt I, II un III klases nivelēšanas instrukciju. Saistībā ar veikto ieguldījumu precīzo nivelējumu pētniecībā, šī darba izpilde tika piedāvāta LLU Ģeodēzijas katedras kolektīvam, kas arī tika pieņemta.

Instrukcijas prasību precizēšana tika balstīta uz balansu starp mērījumu precizitāti un nivelēšanas izmaksām. Izvērtējot pieļaujamo attālumu no niveliera līdz latai stacijā, tika apkopota gan pašmāju, gan ārzemju pieredze. Piemēram, laikā no 1929. gada līdz 1939. gadam izpildītajiem I klases nivelējumiem attālums no niveliera līdz latai stacijā bija 50 m (Крыпен, 1973) un sasniegtais gala rezultāts ir atbilstošs mūsdienu prasībām. Savukārt Igaunijā, izpildot I klases nivelējumus, šis attālums ir ierobežots līdz 30 m (I, II, ja..., 1994). Pie instrukcijas izstrādes tās autoru kolektīvs ņēma vērā R. Krūpēna, M. Kronberga veiktos pētījumus un atziņas par I klases nivelējumiem Latvijas apstākļos, tādējādi maksimālais vizūras garums no instrumenta līdz latai tika noteikts 40 m (Кронберг, 1976) (Крыпен, 1978).

2.2. Valsts nivelēšanas pamattīkla rekonstrukcijas darbi

Laika periodā no 2000. līdz 2010. gadam Latvijā tika izpildīti nivelēšanas pamattīkla rekonstrukcijas darbi (Pēdējā laikā I klases nivelēšanas tīkls tiek saukts arī par nivelēšanas pamattīklu). Nivelēšanas līnijas galvenokārt tika virzītas pa iepriekšējām līnijām, tomēr bija arī būtiskas atšķirības to kopējā tīkla konfigurācijā. Šī perioda nivelēšanas tīkls tika projektēts, veidojot lielākus poligonus, ne kā tas bija iepriekš. Projektā tika paredzēts, ka nivelēšanas tīkls sastāvēs no 10 lieliem un viena maza poligona ap Rīgu. Realizējot nivelēšanas tīkla rekonstrukciju minētajā laika periodā, 2000.gadā tika uzsākta nivelēšanas pamattīkla atjaunošana. Nivelēšanas līnijas pārsvarā tika virzītas pa iepriekšējo precīzo nivelējumu līnijām. Tomēr atsevišķās vietās I klases nivelēšanas līnijas tika virzītas pa citu vietu. Piemēram, jaunas nivelēšanas līnijas posms tika ierīkots gar valsts dienvidaustrumu robežu no Indras līdz Demenei saistībā ar augstuma pamatojuma nodrošinājumu valsts austrumu robežai. Nivelēšanas lauka mērījumi tika pabeigti 2010.gadā. Atjaunotais tīkls sastāv no 10 lieliem poligoniem un 5 mazāku poligonu sistēmu ap Rīgu, kas ar kopējo līniju garumu 3166 km (2.4. att). Kopumā tika noteikti augstumi 2379 punktiem.

Nivelēšanas darbus katru gadu izpildīja no aprīļa beigām līdz novembrim – decembrim. Nivelējumus izpildīja pamatbrigāde, kurā ietilpa iestādes darbinieki – speciālisti. Nivelēšanas apjoma kāpināšanai tika organizēta otra nivelēšanas brigāde, kuras sastāvā ietilpa Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras speciālisti.



Avots: autora veidota shēma

2.4. att. Realizētā nivelēšanas pamattīkla shēma.

Nivelēšana tika izpildīta pēc iepriekš izstrādāta projekta dotai līnijai, ievērojot I, II un III klases nivelēšanas instrukcijas prasības un Priekules poligonā uzkrāto pieredzi. Izpildīto nivelējumu precizitātes raksturojumam tika aprēķinātas kopējās, sezonā veikto nivelējumu kilometriskās nejaušās un sistematiskās standartnovirzes (2.1. tabula).

2.1. tabula

I klases nivelējumu precizitātes novērtējums

Nivelēšanas gads	Kilometriskā nejaušā standartnovirze η mm/km	Kilometriskā sistematiskā standartnovirze σ mm/km
2000	0.34	0.13
2001	0.28	0.12
2002	0.31	0.13
2003	0.25	0.07
2004	0.33	0.07
2005	0.29	0.07
2006	0.24	0.08
2007	0.30	0.09
2008	0.27	0.07
2009	0.23	0.10
2010	*	*

*- nebija iespējams saņemt nivelēšanas rezultātus par 2010. gadu.

Avots: autora veidota

Kā redzams no 2.1. tabulas, mērījumu precizitātes rādītāji – kilometriskās nejaušās un sistematiskās standartnovirzes pirmajos trīs nivelēšanas gados ir noturīgi vidējas. Turpmākos gados mērījumu precizitāte

paaugstinās, izteikti samazinās kilometriskās sistemātiskās standartnovirzes. Iespējams, tam skaidrojums meklējams saistībā ar pielietoto instrumentu modeļiem periodā 2000. – 2002. un sarežģītajiem nivelēšanas apstākļiem, saistībā ar ceļa remontu, paaugstinātu auto intensitāti un izteikti paugurainu reljefu atsevišķās līnijās turpmākajos gados.

2.3. Ģeodēziskās zīmes nivelēšanas tīkla punktu nostiprināšana

Ģeodēziskie punkti realizē koordinātu un augstuma sistēmas pastāvēšanu valsts teorijā. Ģeodēziskā punkta jēdziens ietver sevī datu un fiziskās realizācijas kopumu: koordinātas un koordinātu sistēmu, koordinātu noteikšanas metodi un precizitāti, uzmērīšanas laiku un izpildītāju, saistību ar blakus ģeodēziskajiem punktiem, ziņas par punkta atrašanās vietu un aizsardzību, apvidū nostiprināto konstrukciju un tās noformējumu.

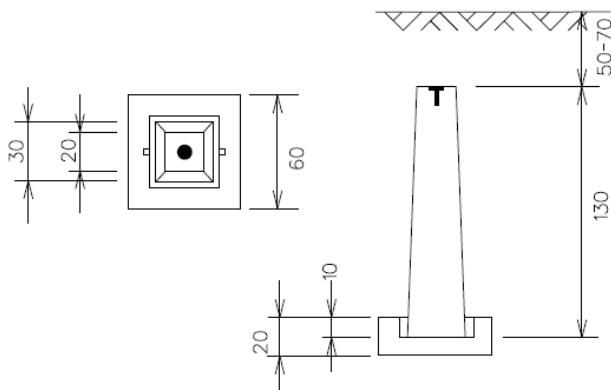
Svarīga ir zīmju stabilitāte un ilgstoša saglabāšanās. Stabilitāte un aizsardzība, kā arī koordinātu noteikšanas un izmantošanas iespēja lielā mērā nosaka zīmju vietas izvēli. Pareiza vietas izvēle kopā ar aizsardzības pasākumiem nodrošina zīmju saglabāšanos gadu desmitiem (Торим, 1972) (Успенский, 1968) (Столбов, 1975). Vecākās saglabājušās un atrastās ģeodēziskās zīmes Latvijas teritorijā ir no XIX gs. pirmās puses, piemēram, Strūves triangulācijas punkts Jēkabpilī un citviet. Rīgā saglabājušās dažas nivelēšanas sienas zīmes no XIX gs. astoņdesmitajiem gadiem (Ведомость реперов, расположенных..., 1909). Ievērojams zīmju skaita pieaugums sākās Latvijas pirmās brīvvalsts laikā. Ar nelieliem pārtraukumiem kara un valstisko pārvērtību laikā tas turpinās vēl joprojām. Līdztekus notiek arī pretējs process – zīmju bojāšana, iznīcināšana un neatrašana.

Nivelēšanas tīkls, kura punkti apvidū tiek nostiprināti ar nivelēšanas zīmēm – reperiem un markām var pildīt savu uzdevumu tik ilgi, kamēr šīs zīmes saglabājas nemainīgā stāvoklī (Jakubovskis u.c. (b), 1994) (Центры геодезических пунктов..., 1972). Nivelēšanas zīmes iedalās grunts un sienas zīmēs.

Nivelēšanas grunts zīmēm tiek uzstādītas paaugstinātas prasības stabilitātei vertikālajā plaknē. Tādēļ to konstrukcijā ir obligāts enkurs. Ierakšanas dziļums tiek noteikts tāds, lai pēc iespējas mazāk to stabilitāti ietekmētu grunts sasāļšana. Nivelēšanas grunts zīmes pēc konstrukcijas iedalās ierindas grunts reперos un fundamentālos reперos (Latvijas ģeodēzisko zīmju..., 2002). Pēdējie atšķiras no ierindas grunts reperiem ar lielāku masu, lielāku ierakšanas dziļumu un ar otru marku – kontroles marku, kas iebetonēta repera enkurā.

Īpašu vietu fundamentālo reперu grupā ieņem gadsimta reperi, kuru uzdevums ir kalpot par valsts augstuma sistēmas pamatu. Šīs ģeodēziskās zīmes tika ierīkotas tā, lai enkurs balstītos uz cietā ieža (Инструкция по нивелированию..., 2003).

Rekonstruējot nivelēšanas pamattīklu, katrā nivelēšanas līnijā bija nepieciešams ierīkot jaunas grunts zīmes. Nodrošināt nivelēšanas zīmju stāvokļa nemainību nav viegli, jo zemes virsmas augšējie grunts slāņi ir pakļauti dažāda virziena deformācijām, kas izsauc to pārvietošanos. Tādēļ nivelēšanas tīkla kalpošanas laika pagarināšana galvenokārt ir atkarīga no tā, kā tiek nodrošināts nemainīgs ģeodēzisko zīmju stāvoklis. Nivelēšanas grunts zīmes tika izstrādātas, ņemot vērā iepriekš minētās augstās stabilitātes prasības (2.5. att.).



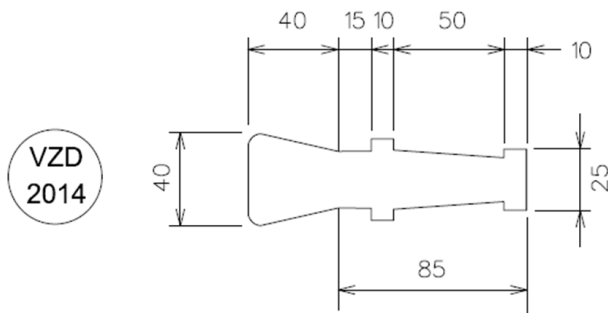
Izmēri centimetros

Avots: autora veidots pēc (Latvijas ģeodēzisko zīmju..., 2002)

2.5. att. Jaunizveidotā grunts repera izmēri.

Jauna veida sienas reperu ierīkošana lielā mērā bija saistīta ar fundamentālu būvju atrašanos tiešā projektētās nivelēšanas līnijas tuvumā. Jo senāk būve savas funkcijas sākusi pildīt, jo mazāki riski tās vertikālajām kustībām. Līdz ar to ticamāka ir sienas reperam noteiktā augstuma vērtība. Jaunizveidotā sienas repera uzbūve būtiski neatšķīrās no jau pastāvošajiem sienas reperiem (2.6. att.).

Jāuzsver arī nivelēšanas zīmes ārējais noformējums. Ja sienas zīmēm īpaši tas nav aktuāli, kā vien uzturēt zīmi nebojātu un nodrošināt tai piekļuvi, tad ar grunts zīmēm ir sarežģītāk. Jaunizveidotajām grunts zīmēm pēc to ierīkošanas tika izveidoti šādi ārējā noformējuma elementi: aprakumgrāvis, kupica un norādītājstabs.



Izmēri milimetros

Avots: autora veidots

2.6. att. Jaunizveidotais sienas repers precīzajiem nivelējumiem no 2000. līdz 2010. gadam.

Kupica un norādītājstabs ļoti atvieglo atkārtotu zīmes identificēšanu pēc gada vai ilgāka laika perioda. Īpaša uzmanība tika veltīta ģeodēziskās zīmes norādītājstaba formai. Sākotnēji tas bija kā 150 cm garš 15cm×15cm kvadrātveida stabs. Tomēr, raisoties diskusijām par norādītājstaba funkcijām, šī forma nebija veiksmīgākā. Tas saistīts ar to, ka pie kupicas nopostīšanas vai dziļa sniega apstākļos nav viennozīmīgi noteikt ģeodēziskās zīmes atrašanās vietu attiecībā pret norādītājstabu. Pēc intensīviem iespējamo labāko risinājumu meklējumiem, promocijas darba autors 2000. gadā sniedza inovatīvu priekšlikumu izveidojot norādītājstaba virszemes gala šķautni aizmugurē pusapaļu, bet priekšpusē taisnu, šī problēma tiek atrisināta.

Vērtējot ģeodēzisko zīmju pielietojuma daudzpusību tuvākā nākotnē, secināms, ka to izmantošanas varianti tikai palielināsies. Tas saistīts ar to, ka uz vienas un tās pašas ģeodēziskās zīmes iespējams realizēt dažāda veida ģeodēziskos mērījumus (horizontālos, vertikālos, gravimetriskos u.c.). Kā uzskatāms vēsturisks piemērs, šeit minams, agrāk ierīkote triangulācijas tīkla punkti. Uz šo punktu zīmēm tika veikti mērījumi un noteikti rezultāti to stāvoklis horizontālā plaknē ar attiecīgu precizitātes klasi. Turklāt, triangulācijas tīkla punkti tika nivelēti un tiem noteikta augstuma vērtība.

Ģeodēzisko tīklu uzturēšanā svarīga ir ģeodēzisko zīmju turpmākā saglabāšanās jeb to ilglaicība. Ņemot vērā plašās GNSS pielietojuma iespējas mūsdienās, var rasties iespaids par ģeodēzisko zīmju mazsvarīgumu. Tomēr jāņem vērā, ka Zemes garoza nemītīgi pārvietojas. Līdz ar to organizācijām, kuras uztur ģeodēzisko telpu valstī, jāspēj korekti un ātri noteikt šo kustību parametrus. Tas ir iespējams, izmantojot kvalitatīvi ierīktus un uzturētus ģeodēziskos punktus, tādējādi iegūstot ticamu informāciju par ģeodinamiskajiem procesiem laikā un telpā. Tāpat arīdzan ir noteiktas minimālās prasības ģeodēzisko punktu blīvumam valstu teritorijās (Engineering and Design..., 1994).

3. LATVIJAS NIVELĒŠANAS PAMATTĪKLA REKONSTRUKCIJA NO 2000. GADA LĪDZ 2010. GADAM

Nodaļā aprakstīts precīzās nivelēšanas darbu process, apskatīti izpildītie nivelējumi pāri Lielupei un Daugavai, iegūto rezultātu precizitāte. Dots izklāsts par promocijas darba autora izgudrojumu - par palīgierīci precīzās nivelēšanas svītru latas nolasīšanai lielā attālumā. Sniegta nivelēšanas dažādu metožu pāri platām ūdenstilpēm metožu raksturojums. Dots Latvijas rekonstruētā nivelēšanas tīkla precizitātes novērtējums.

3.1. Precīzās nivelēšanas darbu process

I klases nivelēšanas lauku mērījumi jāizpilda rūpīgi un precīzi, ievērojot uzstādītās tehnoloģiskās prasības, lai tādējādi iegūtu iespējami precīzākus rezultātus. Tie tika izpildīti saskaņā ar I, II un III klases nivelēšanas instrukciju (I, II un III..., 2000).

Nivelēšanas darbu izpilde, ņemot vērā brigādes skaitlisko sastāvu, tika organizēta ar pastāvīgiem speciālistiem pie niveliera un latām. Nivelēšanas trases sagatavošanu tika veikta kopīgi. Nivelēšanas darbu izpildei, personāla un tehniskā aprīkojuma pārvietošanai, brigāde tika nodrošināta ar mikroautobusu. Mikroautobusi tika īpaši pielāgoti, lai pārvadātu 3 m garās nivelēšanas latas kastē.

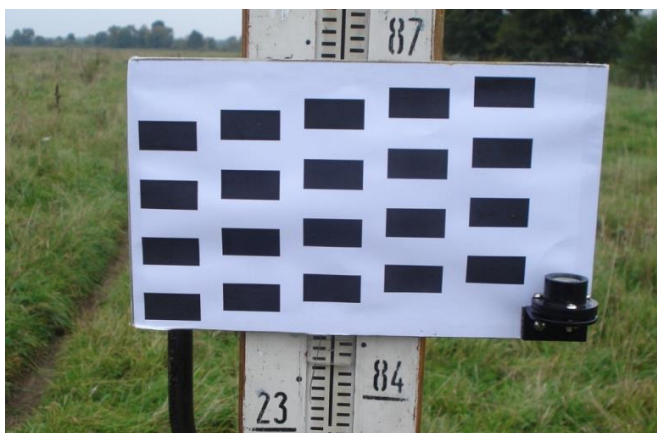
3.2. Precīzie nivelējumi pāri ūdenstilpēm

Veicot I klases nivelēšanu, nācās izpildīt precīzos nivelējumus arī pāri platām ūdenstilpēm, piemēram, Lielupei un Daugavai. Ne vienmēr plānotajā nivelēšanas darbu vietas tuvumā bija tilti, lai veiktu mērījumus no vienas ģeodēziskas zīmes līdz nākamai, kas atrodas upes pretējā krastā. Bet nivelēšana līdz tuvākajiem tiltiem saistīta ar papildus resursu izlietojumu un kopējā nivelēšanas tīkla precizitātes pazemināšanos. Līdz ar to nācās veikt paaugstinājuma noteikšanu no viena upes krasta uz otru. Vietās, kur attālums starp ūdenstilpju krastiem nepārsniedza 100m nivelējumi tika izpildīti, pielietojot digitālo nivelieri DiNi 12. Metode ar digitālo nivelieri tika pielietota, nivelējot pār Karaostas kanālam Liepājā. Platāku ūdenstilpju pārnivelēšanai tika izmantots Zeiss optiskais nivelieris Ni 002 komplektā ar svītru latām. Tomēr attālumos, kas lielāki par 200 m, pastāvošā mērījumu metode nedeva pietiekoši precīzus rezultātus, tādēļ tika izvēlēta cita.

Tā kā Daugavas platums pie grīvas ir ap 700 m, parastā veidā latu pāri upei nav iespējams nolasīt. Šādos gadījumos uz latas nostiprina pārbīdāmu marku, kuru pēc novērotāja pretējā krastā norādījuma pārbīda uz augšu vai leju, kamēr niveliera tālskata tīkliņa svītra ieņem simetrisku stāvokli attiecībā pret markas attēlu (Видуев, Ракитов, 1961). Latas skalu nolasa pret markas

indeksu, kas sakrīt ar markas simetrijas asi. Tā kā šāda lates nolasīšana saistīta ar ievērojamu laika patēriņu un nav sevišķi precīza, jo lates skalas nolasīšanas precizitāte ir ap 0.5 mm, tad promocijas darba autoram un LLU Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras mācībspēkam M. Kronbergam radās ideja izgatavot tādu marku lates nolasīšanai, kas mērījumu laikā nebūtu jāpārbīda pa latu, bet lates nolasījumu varētu iegūt ar savietošanas paņēmieni, izmantojot instrumenta mikrometru.

Ņemot vērā uzkrāto pieredzi, tika strādāts pie palīgierīces, kas nodrošinātu paaugstinājuma noteikšanu lielā attālumā ar augstāku precizitāti. Pēc gana apjomīgu eksperimentālo mērījumu veikšanas darbs vainagojās ar panākumiem, un tika iesniegts pieteikums izgudrojuma patentēšanai. Tā Latvijas Republikas Patentu valdē 2012. gadā tika apstiprināts patents Nr. 14529 par “Palīgierīce un paņēmieni precīzās nivelēšanas svītru lates nolasīšanai lielā attālumā” (Latvijas Republikas Patentu..., 2012). Minētā ierīce (3.1. att.) pielietota, izpildot I klases nivelējumus ļoti simboliskā vietā - Daugavas grīvā. Izgudrotāji ir promocijas darba autors Armands Celms un Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras lektors Maigonis Kronbergs.



Avots: autora foto

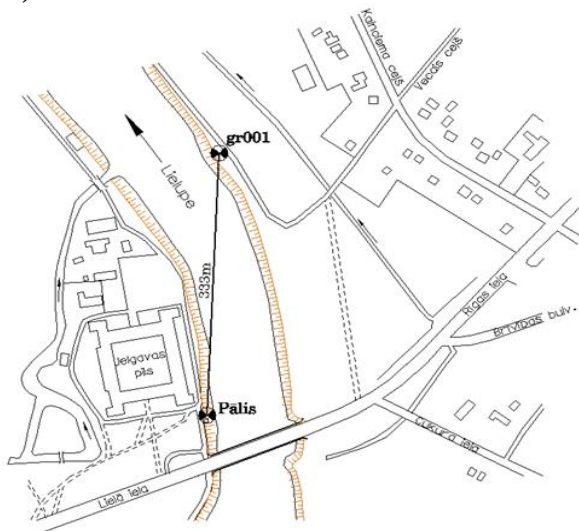
3.1. att. Palīgierīce precīzās nivelēšanas svītru lates nolasīšanai lielā attālumā.

Salīdzinot ar zināmiem precīzās nivelēšanas svītru lates nolasīšanas paņēmieniem lielos attāļumos, izgudrojums nodrošina ērtāku, ātrāku un precīzāku mērījumu izpildi.

Lai pētītu paaugstinājumu noteikšanas metodes, tika nolemts starp divām nostiprinātām grunts zīmēm paaugstinājumu noteikt ar dažādām nivelēšanas metodēm - ģeometrisko nivelēšanu, izmantojot optisko nivelieri Ni002 un palīgierīci precīzai nivelēšanas svītru lates nolasīšanai lielā attāļumā

(turpmāk – marka), ģeometrisko nivelēšanu, izmantojot digitālo nivelieri DiNi 12, trigonometrisko nivelēšanu un nivelēšanu, pielietojot globālo pozicionēšanu.

Pētījuma vieta atradās Jelgavā tieši pretī Pilij. Kā grunts repers tika izvēlēts punkts „Pālis”, kas iekļauts I klases nivelēšanas tīklā un grunts repers 001, kas ir ierīkots Lielupes labajā krastā. Attālums starp abiem punktiem ir 333 m (3.2. att.).



Avots: autora veidots

3.2. att. Grunts reperu novietojums.

Paaugstinājumu noteikšana starp grunts zīmēm, pielietojot iepriekšminētās metodes, tika izpildīta ar vislielāko rūpību un precizitāti. Ar katru metodi noteiktajiem paaugstinājumiem tika aprēķinātas standartnovirzes (3.1. tab.), lai raksturotu mērījumu precizitāti, kas nepieciešama, lai izvēlētos optimālāko paaugstinājuma noteikšanas metodi, nivelējot pāri platām ūdenstilpēm.

Paaugstinājumi noteikti ar optisko nivelieri Ni002, izmantojot marku, kas nostiprināta uz nivelēšanas lātas, trigonometrisko nivelēšanu ar 2” elektronisko tahimetru, I klases nivelēšanu ar DiNi 12 un ar diviem GNSS instrumentiem.

Tomēr, ņemot vērā aprēķināto mērījumu standartnovirzes, secināms, ka visprecīzāk mērījumi izpildīti, nivelējot ģeometriski ar optisko nivelieri Ni 002 un izmantojot jauno lātas nolasīšanas marku. Tas sasniegts, pateicoties iespējai nivelēšanas procesā markas indeksu precīzi savietot ar lātas svītru (atšķirībā no agrāk lietotām markām) un tīkliņa bisektoru ar kādu no pietiekami

platām markas svītrām. Tas vēlreiz pierāda patentētā izgudrojuma praktisko nozīmi.

Tas, ka standartnovirzes lielums nivelējumos ar DiNi 12 ir lielāks, kā ar Ni 002 izpildītajos mērījumos, izskaidrojams, ka nivelējot bija jāšķērso tilts. Kaut arī pāri tiltam nivelēja „turp” un „atpakaļ” virzienos, attiecīgi no rīta un vakarā, tomēr, ņemot vērā notiekošās mikrokustības, uz kopējo precizitāti tas deva negatīvu iespaidu. Šā situācija uzskatāmi raksturo nivelēšanas tīkla kopējās precizitātes samazināšanās riskus, ja upju šķērsošanai jāveic papildus I klases nivelējumi, lai sasniegtu tiltu un nonāktu līdz ģeodēziskai zīmei, kura atrodas pretējā upes krastā. Papildus nivelējumu izpilde sadārdzina kopējās projekta izpildes izmaksas.

3.1. tabula

Nivelēšanas rezultātu salīdzinājums

Paaugst. noteikšanas metode Pālis – gr 001	Nivelēšanas virziens	Izmērītais paaugst., m	Paaugst. starpība, mm	Aprēķinātais paaugst., m	Paaugst. izlīdzinātās vērtības standartnov., mm
Ģeometriskā nivelēšana (Zeiss Ni 002)	“turp” Pālis – gr 001	– 0.19205	1.68	– 0.19289	0.04
	“atpakaļ” gr 001 – Pālis	+ 0.19373			
Trigonometriskā nivelēšana (Trimble M3)	“turp” Pālis – gr 001	– 0.1880	8.6	– 0.1923	1.1
	“atpakaļ” gr 001 – Pālis	+ 0.1966			
Ģeometriskā nivelēšana (Trimble DiNi 12)	“turp” Pālis – gr 001	– 0.19264	0.54	– 0.19291	0.13
	“atpakaļ” gr 001 – Pālis	+ 0.19318			
Globālā pozic. (Trimble R8)	Pālis – gr 001	–	–	– 0.1956	3.0

Avots: autora veidota

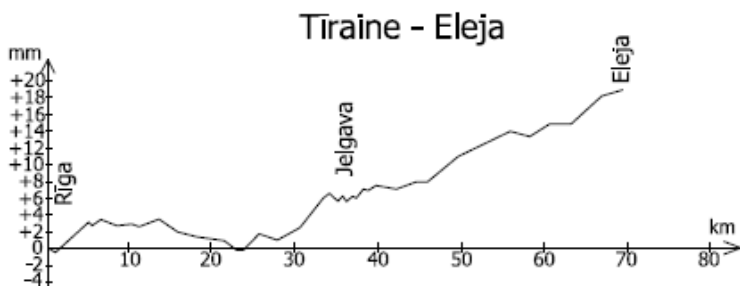
Kā redzams, augstuma pārvešanā labus rezultātus iespējams sasniegt, pielietojot trigonometrisku nivelēšanu. Aprēķinātā standartnovirze parāda, ka, pielietojot trigonometrisku nivelēšanu, iespējams nodrošināt III klases ģeometriskās nivelēšanas prasības. Latvijā III klases nivelēšanā paaugstinājumu standartnovirze ir noteikta 3.0 mm/km. Tas liecina, ka izpildot mazāk precīzus nivelējumus, mērījumus pāri platām ūdenstilpēm iespējams realizēt ar 2” teodolītiem. Šāda nivelēšanas metožu kombinēšana iespējama, piemēram, veicot valsts nivelēšanas tīkla sabiezināšanu.

Izvērtējot iegūto mērījumu precizitāti, pielietojot globālo pozicionēšanu, secināms, ka augstumu pārvešanā ar šo metodi iespējams nodrošināt tikai tehniskās nivelēšanas prasības. Tomēr šīs metodes pielietojums augstumu pārvešanā pāri platām ūdenstilpēm prasa papildus izpēti.

3.3. Latvijas rekonstruētā nivelēšanas tīkla precizitātes novērtējums

Lai novērtētu I klases nivelējumu precizitāti, katrai nivelēšanas līnijai tika sastādīti paaugstinājumu starpību uzkrāšanās grafiki, kas vizuāli raksturo dotās līnijas nivelēšanas precizitāti, dod iespēju aprēķināt nivelēšanas kilometrisko nejaušo un sistēmātisko standartnovirzi.

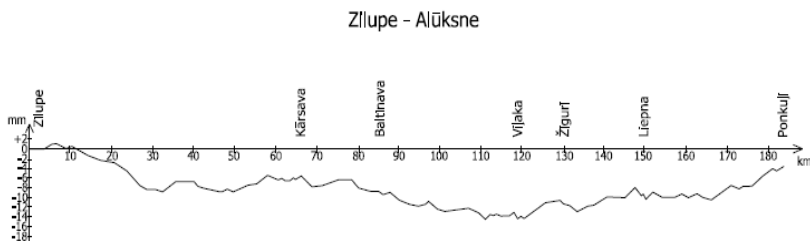
No sastādītajiem grafikiem redzams, ka vairumā gadījumu paaugstinājumu starpību uzkrāšanās ir ar pozitīvu tendenci (3.3. att.).



Avots: autora veidots

3.3. att. Paaugstinājumu starpību uzkrāšanās līnijā Tīraine – Eleja.

Tomēr analizējot izpildītos I klases nivelējumus, redzams, ka atsevišķās līnijās paaugstinājumu starpību uzkrāšanās ir ar negatīvu tendenci. Kā izteikti piemēri minamas nivelēšanas līnijas Zilupe – Alūksne (3.4. att.).



Avots: autora veidots

3.4. att. Paaugstinājumu starpību uzkrāšanās līnijā Zilupe - Alūksne.

Lai raksturotu nivelēšanas kvalitāti, tika aprēķināta kilometriskā standartnovirze (Звонов, 1952) (Celms et al., 2002) (1. formula), ņemot vērā augstumu starpību mērot “uz priekšu” un “atpakaļ”:

$$s^2 = \frac{1}{4n} \left[\frac{d^2}{r} \right], \quad (1)$$

kur n - sekciju skaits gājienā;
 r - sekcijas garums, km.

Tāpat visās līnijās, tika aprēķināta turp- un atpakaļgājienos izmērītā vidējā paaugstinājuma kilometriskā nejaušā standartnovirze η , izslēdzot sistemātisko, pēc formulas (2.formula).

$$\eta^2 = \frac{1}{4(n-N)} \left\{ \left[\frac{d^2}{r} \right] - \left[\frac{S^2}{L} \right] \right\}, \quad (2)$$

kur n - sekciju skaits gājienā;
 N - posmu skaits ar vienāda rakstura sistemātisko kļūdu uzkrāšanos;
 d - turp- un atpakaļgājiena paaugstinājumu starpība sekcijā, mm;
 r - sekcijas garums, km;

S - taisnes, kura novilkta grafikā simetriski attiecībā pret starpību d sistemātiskās uzkrāšanās līniju attiecīgajā gājiena posmā, galapunktu ordinātu starpība, mm;

L - posma garums, km ar sistemātisku paaugstinājumu starpību uzkrāšanos.

Kilometriskā sistemātiskā standartnovirze, izslēdzot nejaušo kļūdu, tika aprēķināta pēc formulas

$$\sigma^2 = \frac{1}{[L]} \left\{ \frac{1}{n} \left[\frac{S^2}{L} \right] - N \cdot \eta^2 \right\}, \quad (3)$$

Piemēram lielākās nivelēšanas sistemātiskās kļūdas tika novērotas līnijā Tīraine – Jelgava – Meitene (3.2. tab.).

3.2. tabula

Nivelēšanas līnijas Tīraine – Jelgava Meitene precizitātes rādītāji

Nivelēšanas līnija	Nivelēšanas gads	Nivelieris	Garums, km	Nivelēšanas mērījumu kļūdas		
				s mm	η mm	σ mm
Tīraine –Jelgava – Meitene	2000	WILD3003	78	0.48	0.44	0.18

Avots: autora veidota

Kopumā par I klases nivelējumu precizitāti pēc kļūdu analīzes secināms.

1. Kilometriskās standartnovirzes iegūtie lielumi ir apmierinoši. Šīs kļūdas ietekmējošais faktors pamatā minama refrakcija un paugurains apvidus atsevišķos nivelēšanas līniju posmos;
2. Kilometriskās sistematiskās standartnovirzes lielumi ir tieši saistīti ar iegūtajām paaugstinājumu starpību vērtībām sekcijās pa visu nivelēšanas līniju;
3. Sistematiskās kļūdas ietekmi uz mērījumu kopējo precizitāti apstiprina arī paaugstinājuma sistematiskās standartnovirzes lielums, kas ir 0.08 mm. Šī vērtība ir paaugstināta, jo ņemot vērā nejausās standartnovirzes lielumu, kas ir 0.24 mm, tai jābūt robežās no 0.02 līdz 0.05 mm.
4. Kā nejausās kļūdas ietekmējošie faktori minama nejausa refrakcijas ietekme, kas novērojama paugurainā reljefā, termiskā iedarbība uz nivelieri, vējš, gaisa slāņu pārvietošanās autotransporta ietekmē.
5. Jāatzīmē niveliera vizūras slīpuma izmaiņa nivelēšanas sezonas laikā. Tas tamdēļ, ka nivelieros ievērojama labojumu par latus nolasījumu atbilstoši kalibrēšanas procesā noteiktajam. Šī iemesla dēļ niveliera kalibrēšana veicama divreiz sezonā, pirms un pēc uzsākšanas.
6. Kopumā, lai pēc iespējas samazinātu mērījumu kļūdu lielumu, tomēr kā galvenais faktors jāmin stabili mērīšanas apstākļi.

Lai veiktu izpildīto nivelējumu precizitātes novērtējumu, tika aprēķināta nivelēšanas kilometriskā standartnovirze pēc *korelatu* un *parametru* metodēm (Freijs, 1958) (Celms et al. 2013 (a)), kas ir **$s=0.785$ mm/km**.

Nozīmīgs nivelēšanas tīkla precizitātes raksturlielums ir tā mezglu punktu augstuma precizitātes rādītājs. Mezglu punktu augstumu precizitātes noteikšanai tika izmantoti jaunākie nivelēšanas tīkla dati. Neapstrādāti dati tika iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras. Šie dati ir sakārtoti pa līnijām, no kurām tiek veidoti poligoni. Katrā līnijā nivelēšanas dati ir sakārtoti noteiktā secībā parādot nivelēšanas zīmes, paaugstinājumu starp tām un attālumu starp zīmēm.

Darbā izvirzīto uzdevumu sasniegšanai tika veikta Latvijas I klases nivelēšanas tīkla izlīdzināšana pēc parametriskās metodes. Pēc šīs metodes veiktos aprēķinos par mērījumu rezultātiem pieņemti gājienos starp mezgliem izmērītie paaugstinājumi, bet par nosakāmajiem parametriem (nezināmajiem) – mezglu izlīdzinātie augstumi. Tika aprēķinātas augstuma standartnovirzes visiem nivelēšanas tīkla mezgla punktiem. Kā izejas punkts tika izvēlēts gadsimta repers fr 002 Slokā (Celms et al., 2013 (a)). Aprēķinātās standartnovirzes raksturo atjaunotā nivelēšanas tīkla precizitāti mezgla punktus, un to var attiecināt uz tīklu kopumā.

Apkopojot iegūtos rezultātus, iegūstam sekojošus secinājumus.

1. Vistālāk no gadsimta repera fr 002 ir novietots fundamentālais repers fr1174 Zilupē (Latvijas Austrumu daļā), kura augstuma standartnovirze ir 9.7 mm, un fundamentālais repers fr1463 Jūrkalnē (Latvijas Rietumu daļā), kura augstuma standartnovirze ir 8.2 mm.
2. Ņemot vērā šī brīža nivelēšanas tīkla standartnovirzi $S=0.785$ mm/km, kas ietekmē mezgla punktu precizitāti, lai noteiktu cēloņus, turpmāk ir nepieciešamas noteikt nivelēšanas sistematisko kļūdu un izpētīt to ietekmējošos faktorus.
3. Nivelēšanas tīkla punktu augstuma precizitāte var tieši ietekmēt zemāku klašu nivelēšanas precizitāti.

4. VALSTS AUGSTUMA SISTĒMA

Nodaļā raksturota Valsts Ģeodēziskās atbalsta sistēmas funkcionalitāte un Valsts augstuma sistēmas vieta tajā, tās veidošana un uzturēšana. Aprakstīti ietekmes faktori uz augstuma sistēmas funkcionalitāti un stabilitāti, dots augstuma sistēmas maiņas struktūras un metodikas pamatojums.

4.1. Augstuma sistēma – Valsts ģeodēziskās telpas sastāvdaļa

Par Valsts augstuma sistēmu uzskata valstī pieņemtu un realizētu sistēmu, kura nodrošina vienotu zemes virsmas punktu atrašanās vietas vertikālās (zenīta vai trešās dimensijas) komponentes viennozīmīgu un ticamu noteikšanas (uzmērīšanas) iespēju.

Jebkuras Ģeodēziskās atbalsta sistēmas izveides mērķis ir panākt un nodrošināt konkrētajā teritorijā vienotu zemes telpiskās uzskaites un atskaites sistēmu (matemātisko pamatu) lietošanu ģeotelpisko datu un informācijas ieguvei, atlasei, uzskaitēi, kā arī to turpmākai apstrādei un lietošanai šajā vienotajā sistēmā (Adam et al., 2000).

Par Valsts ģeodēziskās atbalsta sistēmas galveno produktu jāuzskata aktuāls Valsts ģeodēzisko sākumdatu (koordinātu katalogi, saraksti, to kustību parametri un kvalitātes rādītāji) kopums (ieskaitot apvidū nostiprinātos punktus, centrus un to tīklus) un to pieejamības/ lietošanas nodrošinājums.

4.2. Valsts augstuma sistēmas funkcionālā nozīme, veidošana un uzturēšana

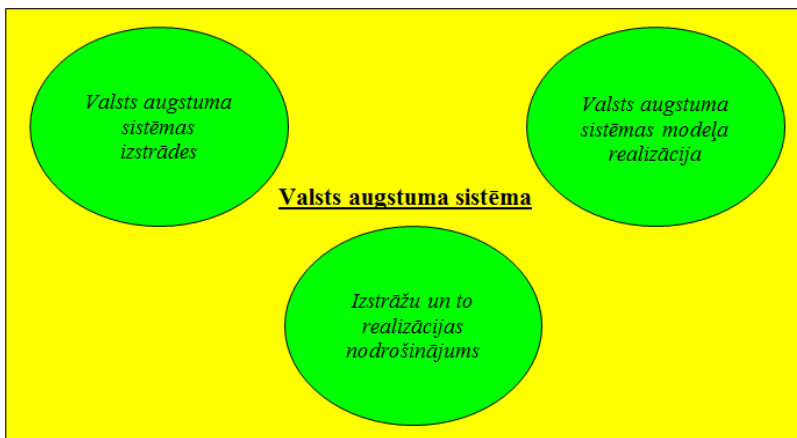
Līdzīgi kā kopējai ģeodēziskai sistēmai, arī augstuma sistēmai valstiskā nozīmē jānodrošina tie paši uzdevumi, kuri attiecināmi uz visu sistēmu, bet atbildība koncentrējas tieši uz vertikālās koordinātu komponentes prasību un kvalitātes nodrošinājumu.

Valsts augstuma sistēmas pamatzdevumi ir:

- valsts teritorijas ģeodēziskās augstumu atskaites sistēmas matemātiskā modeļa definēšana (izstrāde) un tā uzturēšana;
- valsts teritorijas ģeodēziskās augstumu atskaites sistēmas modeļa piesaiste (sasaiste) ar reālo valsts teritorijas virsmu, sasaistes parametru noteikšana un uzturēšana;
- valstī noteiktās un izveidotās augstumu atskaites sistēmas saiknes un integrācijas nodrošināšana, uzturēšana ar starptautiskā lietošanā pieņemtām koordinātu un augstumu atskaites sistēmām (pirmkārt ES un NATO pielietotajām ES telpā;
- nodrošināt valsts ģeodēzisko atskaites sistēmu (tās veidotājus un uzturētājus) ar informāciju un datiem esošās ģeodēziskās atskaites

sistēmas izejas parametru precizitātes un kvalitātes uzturēšanai, attīstībai (uzlabošanai), kā arī tās lietošanas parametru paaugstināšanai.

Valsts augstuma sistēmas sastāvdaļas ir sekojošas (4.1. att).



Avots: autora veidots

4.1. att. Valsts augstuma sistēmas sastāvdaļas

Izstrādājot sistēmu, vienmēr jāņem vērā, ka tās izveides un uzturēšanas izdevumi pieaug tieši proporcionāli (un pat straujāk) tās precizitātes rādītāju paaugstināšanai, tāpēc sistēmas attīstītāju nepamatota vai pārprasta vēlme veidot pēc iespējas precīzāku sistēmu parasti noved pie nepamatoti augstiem valsts budžeta izdevumiem gan īstermiņā, gan ilgtermiņā.

4.3. Ietekmes faktori uz valsts augstumu sistēmas funkcionalitāti un stabilitāti

Vertikālās Zemes garozas svārstību kustības ir viens no izplatītākajiem tektonisko kustību veidiem (Инданс и. др., 1960). Tās ir notikušas senajā ģeoloģiskajā pagātnē un notiek arī tagad, aptverot lielas kontinentu un okeāna dibenu daļas. Šīs kustības izpaužas kā lēnas Zemes garozas pulsācijas, kurām piemīt zināms cikliskums. Vertikālām Zemes garozas kustībām ir lieli svārstību cikli, kuri ilgst veseliem ģeoloģiskiem periodiem (desmitiem miljonu gadu). Uz šo lielo svārstību ciklu fona izdalāmi īsāku periodu cikli (Maldavs u.c., 1981) (Изучение современных движений..., 1981).

Ilgstošu vertikālo Zemes garozas kustību gaitā (epeirogēnās kustības) atsevišķi Zemes virsas apgabali lēni ceļas, bet citi – grimst. Izdarot ļoti precīzus līmetpošanas darbus, šādas kustības iespējams izmērīt (Maldavs u.c., 1981).

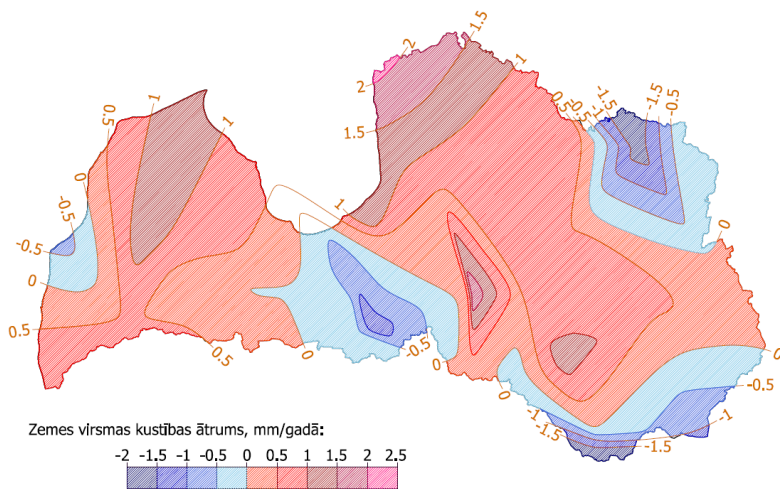
Zemes garozas vertikālās kustības iespaido arī klimata izmaiņas (Kļaviņš u.c., 2009).

Skandināvijas un Baltijas valstīs ietekmē pēc Ledus laikmeta izraisītās Zemes garozas celšanās efekts jeb Fenoskandijas efekts. Fenoskandijas zemes virsmas pacelšanās zināma jau vairākos gadsimtos (Kowalczyk, 2006) (Пробокс, Ходченков, 1989).

Latvijā pirmais Zemes garozas vertikālo kustību un tās ietekmi uz nivelēšanas rezultātu precizitāti sāka pētīt Prof. Dr. Jānis Biķis. Viņš izstrādāja darbu "Zemes garozas kustību ietekme vertikālās uzmērīšanas darbos Latvijā un pārējā Baltijas jūras piekrastē" (Biķis, 1940) (Freijs, Jakubovskis, 1976).

Par notiekošajām Zemes garozas vertikālajām kustībām Latvijas teritorijā pētījumus veica I. Lesis, G. Želnins, Ē. Indriksons (Индриксон, Фрейс, 1976), O. Jakubovskis, M. Kronbergs (Кронберг, Якубовский, 1972) un citi. Lielu uzmanību Zemes garozas vertikālo kustību izpētei veltījis J. Randjarvs (Jūri Randjārv), pētot notiekošās kustības Baltijas reģionā kopumā (Randjarv, 1993). Pētījumuspar notiekošajām Zemes vertikālajām kustībām veikuši J. Agrens un citi zinātnieki (Agren, Svensson, 2007) (Puziene, 2011) (Lidberg et al., 2009).

Zemes vertikālās kustības pēta arī promocijas darba autors (Целмс и др., 2007). Izmantojot precīzās nivelēšanas materiālus par laika periodiem 1929. – 1939.; 1967 – 1974; 2000 – 2010, Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras maģistrante Sanita Brahmane A. Celma vadībā izstrādāja pašreiz aktuālāko Zemes garozas vertikālo kustību modeli Latvijas teritorijai (Brahmane, 2013) (4.2. att.).



Avots: autora veidots

4.2. att. Zemes garozas vertikālās kustības viena gada periodā.

Zemes garozas vertikālo kustību modeļa precizēšanai, ticamības palielināšanai un dinamikas novērtēšanai promocijasdarba autors piedāvā sākot ar 2020. gadu realizēt nākošo I klases nivelēšanas kampaņu Latvijā.

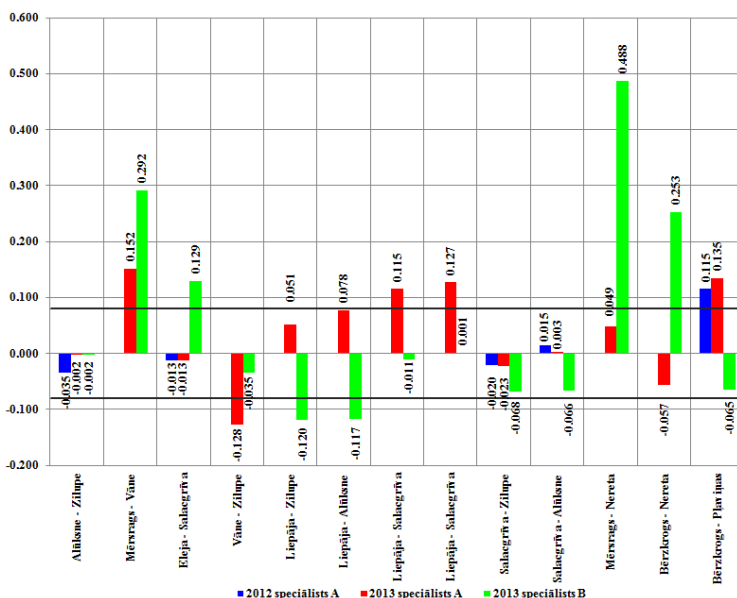
Promocijas darba izstrādes gaitā tika plānoti un realizēti **GNSS mērījumi valsts ģeodēziskajā tīklā**. Šo mērījumu galvenais mērķi bija analizēt zemes garozas vertikālo kustību ietekmi uz pastāvošās augstumu sistēmās stabilitāti. GNSS mērījumiem tika izvēlētas nivelēšanas grunts zīmes, kuras atrodas nivelēšanas tīkla mezglu punktos.

GNSS mērījumi tika izpildīti divas reizes – 2012. gada 14. decembrī un 2013. gada 22. novembrī. Visos izvēlētajos punktos mērījumi notika vienlaicīgi vienā sesijā no plkst. 10-iem līdz plkst. 14-iem.

Aprēķinos I klases nivelēšanā iegūtie paaugstinājumi tika pieņemti par pamata lielumiem (etalonu), un GNSS mērījumos iegūto paaugstinājumu vērtības ar tām tika salīdzinātas. GNSS mērījumu apstrādei sadarbībā ar RTU un LU pārstāvjiem tika izmantota programmu BERNEESE 5.0. GNSS punktu mērījumi tika izlīdzināti vienotā sistēmā, tos saistot ar LatPos bāzes staciju tīkla punktiem un to uzkrātiem novērojamiem par to pašu mērījumu periodu. Rezultātu pārbaudei punktu augstumus (līdz ar to arī paaugstinājumus) 2013. gadā, izmantojot vienu un to pašu programmnodrošinājumu un vienādus izejas datus, rēķināja divi neatkarīgi speciālisti (A un B).

Aprēķinātās paaugstinājumu starpības iegūtas no GNSS mērījumu rezultātā iegūtā paaugstinājuma atņemot paaugstinājumu, noteiktu ar ģeometriskās nivelēšanas metodi, parādītas 4.3. attēlā. Speciālista A aprēķinos divas paaugstinājumu vērtības atšķiras vairāk par 8 cm no I klases nivelējumu paaugstinājumiem. Savukārt Speciālista B aprēķinos sešas paaugstinājumu vērtības pārsniedza 8 cm robežu. Pārējie paaugstinājumi atsevišķi iekļaujas ģeoīda modeļa precizitātes robežās. Tomēr kā redzams 4.3. attēlā, to atšķirības pret I klases nivelējumu paaugstinājumiem ir ar pretējām zīmēm un nav viennozīmīgas. Tikai paaugstinājumos Alūksne – Zilupe; Vāne – Zilupe; Salacgrīva – Alūksne un Salacgrīva – Zilupe to vērtības iekļaujas ģeoīda modeļa precizitātes robežās.

Mērījumu salīdzināšanā par etalonu pieņemtie I klases nivelēšanā iegūtie paaugstinājumi arī jāuztver kā nosacīti. Tāpēc, lai turpmāk iegūtu precīzāku salīdzināšanas un izvērtēšanas bāzi, nepieciešama gan jaunu nivelēšanas darbu cikla izpilde, gan atkārtotas GNSS kampaņas, kuru rezultātiem jāuzrāda reālais iegūto paaugstinājumu un to izmaiņu ikgadējās dinamikas stāvoklis, kā arī sasniegtie precizitāšu kritēriji.



Avots: autora veidots

4.3. att. GNSS mērījumu salīdzinājums ar I klases nivelēšanas rezultātiem.

4.4. Augstumu sistēmas maiņas struktūras un metodikas pamatojums

No iepriekš apskatītā izriet, ka augstuma sistēmas izveides process saistīts ar ilgstošu laika periodu. Šajā laikā jāveic ievērojams informācijas ieguves un darbu izpildes apjoms. Pasaules praksē zināms, ka kvalitatīvu un ticamu datu ieguvei, kuri var tikt izmantoti jaunas, vai esošās augstuma sistēmas modernizācijai, kā minimums nepieciešami 10 gadi (Грушин и. др., 1972). Šādi pieminētie termiņi prasa lielu resursu patēriņu. Jebkuri mēģinājumi organizēt augstuma sistēmas maiņas pasākumus bez atbilstoša apjoma informācijas uzkrāšanas var tikt uzskatīti par izmaiņu imitāciju, kura nav saistāma ar pašas sistēmas kvalitātes uzlabošanu.

Atkarībā no izmaiņu iniciatīvu izcelsmes avotiem var tikt lietoti dažādi rīcības modeļi, lai tos realizētu. Tie var būt dažādi gan saistībā ar izmaiņu iniciatīvas realizācijai atvēlēto vai atvēlamo realizācijas termiņu, gan iniciatīvas aktualitāti, gan politisko situāciju valstī, gan pieejamiem vai atvēlētajiem resursiem. Bet, neskatoties uz iespējamo dažādību, visiem rīcības modeļiem parasti izvirza vienu galveno prasību – realizācijas drošību (paredzot, ka zem tās saprot gan pašas iniciatīvas nepieciešamības pārliecinošu pamatotību, gan pareizu un atbalstītu realizācijas modeļa piedāvājumu, gan paša procesa

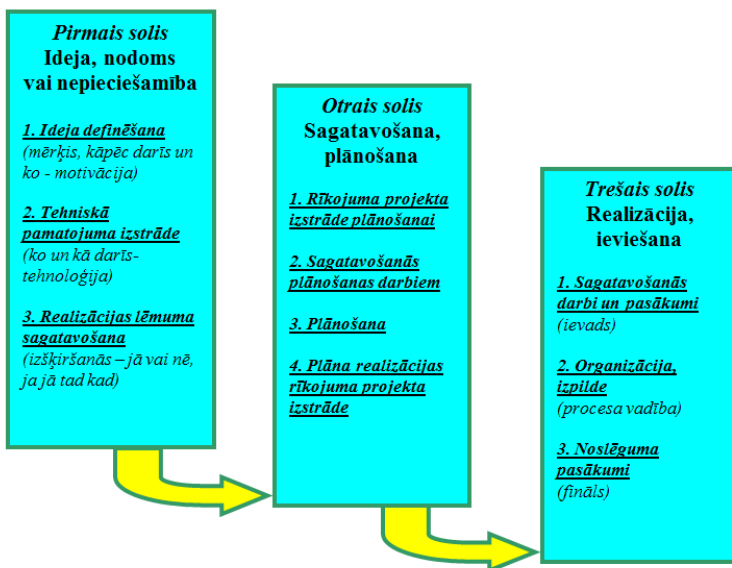
realizācijas pilnvērtīgu plānošanu un izpildi), valsts resursu izlietošanas lietderības kontekstā un tās iedzīvotāju interesēs.

Lai šādas garantijas radītu, var balstīties uz klasisku rīcības modeli, aprobētu lielās rūpnieciskās ražošanas sistēmās. Atkarībā no izmaiņu iniciatīvu avotiem un citiem faktoriem rīcības modelis var tikt atbilstoši pielāgots, adaptēts konkrētām vajadzībām, bet pamatos pie tā ievērošanas vajadzētu pieturēties – cik tas nu loģiski ir pamatojams un nepieciešams katrā konkrētā gadījumā, neaizmirstot par tajā iekļauto pamatnostādņu, pozīciju obligātu izpildi.

Klasiskais rīcības modelis pamatā sastāv no sekojošām trīs pozīcijām (4.4.att.).

1. Ideja/nodoms/nepieciešamība.
2. Sagatavošana/plānošana.
3. Realizācija/ieviešana.

Katram šim rīcības posmam, tā kvalitatīvai izpildei ir nozīmīga loma galvenā uzdevuma sasniegšanā – nepieļaut nepamatotu un nekvalitatīvu pasākumu realizāciju, savlaicīgi novērst potenciālo zaudējumu/ problēmu iespējamību pašā sistēmas izmaiņu realizācijas pasākumā un tā rezultātos.



Avots: autora veidots

4.4. att. Rīcības modelis un tā pozīciju saturs.

SECINĀJUMI

1. Iepriekš Latvijā veikto precīzo nivelējumu rezultātu analīze norāda, ka tie izpildīti atbilstoši izstrādes laika perioda precizitātes un funkcionalitātes prasībām un mūsdienās saglabā lielu nozīmi Zemes garozas ģeodinamisko procesu pētījumos.
2. Pēc korektu un parametru metodes noteikta rekonstruētā nivelēšanas pamattīkla kilometriskā standartnovirze $S=0.785$ mm/km, kas pilnībā atbilst Valsts nivelēšanas I klases veidošanas prasībām.
3. Noteikta rekonstruētā nivelēšanas tīkla mezglu punktu precizitāte attiecībā pret fundamentālo gadsimta reperu fr 002 Slokā. Virzienā līdz tālākajiem punktiem rietumu virzienā tā ir 8.4 mm, austrumu virzienā 9.2 mm, kura norāda uz patreizējiem precizitātes ierobežojumiem ģeoida modeļa izstrādei Latvijas teritorijā.
4. Darba rezultātā izstrādāts jauns Latvijas teritorijas Zemes garozas vertikālo kustību modelis, kura precizitāte balstās uz līdz šim izpildītiem nivelēšanas rezultātiem un rada pamatojumu turpmākam nivelēšanas darbu precizitātes paaugstinājumam.
5. Nivelēšanas tehnoloģijas uzlabošanai radīts ģeodēzisks izgudrojums – palīgierīce un ar to saistīta metode precīzās nivelēšanas svītru latus nolasīšanai lielā attālumā, kas nostiprināta ar patentu Nr.14529.
6. Nivelēšanas tehnoloģiju uzlabošanai veikti izpētes cikli GNSS mērījumiem Valsts nivelēšanas tīklā, ar mērķi pētīt augstas precizitātes paaugstinājuma iegūšanas iespējas lielos attālumos, pielietošanai Valsts augstuma sistēmas monitoringam.
7. Turpmākai nivelēšanas metožu uzlabošanai veiktas dažādu nivelēšanas metožu precizitātes analīzes paaugstinājumu noteikšanai pāri platām ūdenstilpēm. Iegūts pielietoto metožu precizitāšu novērtējums un sagatavoti priekšlikumi pielietojumam.
8. Izstrādāti tehniski un organizatoriski priekšlikumi valsts augstuma sistēmas tālākai attīstībai un dažādu izmaiņu realizācijai.

PRIEKŠLIKUMI

1. Lai paaugstinātu nivelēšanas precizitāti pāri platiem ūdensšķēršļiem, promocijas darba autors iesaka izmantot palīgierīci un ar tās lietošanu saistītu metodi, precīzās nivelēšanas svītru latus nolasīšanai lielā attālumā.
2. Sistemātisku ietekmju mazināšanai nivelēšanas procesā, laikā starp staciju nolasījumiem, kad aizmugurējā lata tiek pārnesta uz nākamo tapu, priekšējā lata jānoceļ no tapas, to novietojot atpakaļ pirms mērījumu izpildes.
3. Lai uzturētu un būtu iespējams kontrolēt fundamentālā gadsimta repera fr 002 stabilitāti, vēlams tā tiešā tuvumā ierīkot papildus fundamentālas grunts zīmes, tādējādi izveidojot regulāri uzturētu un ticamu kontroles sistēmu, kas radīs pārliecību par Latvijas augstuma sistēmas izejas punkta stabilitāti.

INTRODUCTION

The precise levelling works, in accordance with contemporary understanding, have been carried out relatively regularly in the territory of Latvia. It may be considered that in a way this territory has served as a historical testing ground for the organization of many levelling or the land surface high surveying works, and here similar works were started and developed almost alongside with the researches of geodetic measurements and large amount works, being started in various places in the world, and in Europe particularly. When mentioning such an event as the surveyance of Struve meridian circle, the components of which crossed the territory of the present Latvia, it must be admitted that many serious origins of geodetic works were concentrated and started in this particular territory of European region.

In the territory of Latvia the levelling works have been carried out since the 70ies of the 19th century and with short intervals continued up to nowadays. For example, in the territory of Latvia during the 20th century three class I (high precision) levelling campaigns were carried out. The first campaign was carried out during the period of the year 1929-1939, the second campaign-from 1967 to 1974, and the last one, being prepared in the last years of the mentioned century, was carried out in real time from the year 2000to the year 2010, it means, already at the beginning of the 21st century.

The levelling works, carried out in the soviet period, served as the basis for the implementation of a new high system in the territory of the USSR, including the territory of Latvia. The acquired results were called the regular height system of the Baltic in the year 1977, still being used up to date when the issue about the change of the state system of heights-further on being attached to the high of Amsterdam or EVRS.

Regaining the national independance in the year 1991, Latvia had to start again the restoration of the state geodetic system, practically it meant complete renovation. The renovation of the state high system as a part of the united state geodesic system was started. Initially as the basis of high system formation all the information about the high systems used in the state territory and nearby places, available at the time of regaining the independance, was evaluated and used, as well as the data of high survey or the processing results, used to form and support them. The detailed investigation of the existing information and designing of a new system set requirements for serious argumentation, related with important, time consuming works of research and analysis. At the same time the services of high systems had to be immediately provided to realize various state and local municipality functions and the public needs, thus at first the decision was made to take over and continue to use the high system, being used at that time in the state after regaining the independence, the starting point of the system being located in the territory of another state-in Kronstate, Russia. The documents, being taken over

about the high system and its quality indicated a number of problems the founders and providers of the system had to face.

The analysis of field data of the first class levelling results, acquired in the previous periods, was not possible to realize neither in first nor the second campaign (epoha) since the data of field survey are not in Latvia and are not available for the research. The catalogues with the processed data-the calculated values of the highs of geodetic points and the leveled elevations were available. That situation neither made it possible to evaluate the quality indicators of the information nor provided high quality transformation on the current condition of the earth surface, considering the impact of the movements of the Earth crust during long periods of time. The model of vertical movements of the state territory also was based only on the previously made conclusions but not on the processed results of real surveying. The situation highlighted those problems of the formation of the new state high system and the quality of its maintainance which by the time would increase. In order to solve the problems the planning of the development of state high system was created within which systematic obtaining of high surveying data and piling of them was started – state levelling works were set up.

The new renovation works of the state levelling network which included the renovation of the former levelling lines and the reconstruction, and the 1st class (high precision) field surveying were carried out from the year 2000 to 2010. The obtained field survey data created the basis of a complete evaluation of the currently used system and the assesment of the quality and precision of the previously used information, and the assesment of the compliance of the model of the vertical movements of the earth surface and its updating and finally the assesment of the compliance of the existing highs system to modern standarts.

The Doctoral thesis deal with the proposals and the justifications of the development of the above mentioned highs system. The results of the new surveyworks were used to form the justification. The thesis contains the identification and the evaluation of the showings and the values of performed 1 class levelling, by analyzing the field data. In order to achieve the most complete result, the analysis of the field survey data has been carried out in different sections, stating the amount of different mistakes. They allow to identify the impact of different factors on the survey processes, the applied tools and their sets, the obtained results and the levelling works in general, for instance-refraction, stability of pins, the impact of temperature, the choice of tools and technical solutions etc. Presently such an evaluation of levelling field survey results has not been done. The performance of it allows to check the methodology of the presently carried out surveyworks, provides the possibilities of analysis to decrease the impact of different factors in order to increase the indexes of levelling precision. All the above mentioned has given the possibility to compare the results with precision indexes of the neighbour

countries. The opportunity to receive consultations and to familiarize with the experience of the Scandinavian experts who have carried out these works in larger amounts. The author of the work, investigating the methodology of data processing has concluded that the experts in this country and foreign colleagues hold the same opinion about the main indexes of survey errors and the size of allowance.

The final part of the research concludes that on the basis of the analysis and processing of the obtained materials, it was possible to form and justify the technical and organizing proposals for the formation of the model of the further development of state high systems and to make proposals for the prototype of the model.

The object of the study: the research of the levelling network of Latvia.

The subject of the study: the reconstruction of the levelling network of Latvia.

The objective of the study: to evaluate the levelling network of Latvia on the basis of 1 class levelling results, to make and justify technical and organizing proposals for the formation of the model of the development of state high system.

The hypothesis of the study: Latvian levelling network performs the functions necessary for the economy on the following conditions:

1. it has been reconstructed in compliance with the requirements of precise levelling;
2. vertical movements of Earth crust in Latvia are taken into consideration;
3. it functions according to the model of the development of high systems, which has been worked out in the promotion work.

Tasks of the study:

1. to analyze the results of previously made levelling works in Latvia;
2. to analyze the precision of the renovated (2000-2010) class I levelling network, including the main sources of errors, the quality of the reconstructed network and to give recommendations to increase the precision of levelling works;
3. to create the model of the dynamics of vertical movements of the Earth crust, to predict its impact on the precision of the levelling network;
4. to make proposals to improve the levelling technologies;
5. to create and justify the technical and organising proposals for the formation of the model of the development of the state high system.

Methodology used in the study: the following research methods have been used in the process of carrying out the doctoral Thesis:

1. monographic or descriptive research method-used to describe and research the problem of the study, by compiling the information and on the basis of literature sources the present condition of the study problem has been characterized;
2. mathematical statistic method of data-applied to state the difference of 1 class levelling line elevations by comparing point elevations in several levelling campaigns;
3. method of analysis and synthesis-applied to characterize the differences of the 1class levelling lines elevations and their points;
4. method of correlate and parametres-precisions of levelling results and levelling network;
5. graphical method-used to give visual presentation the described and analyzed processes in general.

Theoretical importance and novelty of the study:

1. the history of precise levelling in Latvia has been researched;
2. the results of latest precise levelling in Latvia have been evaluated;
3. the model of the dynamics of the vertical movements of the Earth crust has been created;
4. the model of the development of the state height system has been created and justified.

Practical significance of the study:

1. patent Nr.14529 "Device and a Method for Precise Levelling Rod Reading in Long Distances";
2. improvements of the design of geodetic ground signs have been implemented;
3. Priekule fundamental (secret) benchmark group location works have been organized;
4. a method to connect LatPos base antennae with the precise levelling network with the geometric levelling has been approbated;
5. GNSS levelling works in the points of Latvian levelling network have been performed.

Theses for defence:

1. scientifically researched and classified previous precise levelling works in the territory of Latvia is the basis of the reconstruction of the state levelling network after regaining the state independance;
2. Latvian levelling network fulfills the functions needed for economy if it has been reconstructed according to the requirements of the precise levelling;
3. the created model of the vertical movements of the Earth crust in the territory of Latvia proves the necessity of regular maintainance of the levelling network;

4. the present phase of improving the levelling network states the necessity to create a new model of the development of state heights system.

APROBATION OF THE RESEARCH RESULTS

Publications (16)

1. Celms A., Bimane I., Reke I. (2014) European Vertical Reference System in Baltic Countries. **In:** *International Scientific Journal BALTIC SURVEYING*, Vol.1, p. 49–55. ISSN 2255–999X
2. Celms A., Ratkevics A., Rusins J. (2014) Research of National Geodetic Network Elevations at Eastern Part of Latvia. **In:** *International Scientific Journal BALTIC SURVEYING*, Vol. 1, p. 84–91. ISSN 2255-999X
3. Celms A., Ratkevičs A., Brants A., Kauranens E. (2013) Accuracy of Height Measurements for Leveling Across Wide Water Bodies. **In:** *Proceeding of the Intenational Scientific Methodical Conference „Geoforum 2013”*. Lviv: National University of Politehnics, p. 97-101. ISSN 1819-339
4. Celms A., Kronbergs M., Cintina V., Baumanė V. (2013) Precision of Latvia Leveling Network nodal point Height. **In:** *Proceedings of 4th International Scientific Conference „Civil Engineering’13”*, 16–17 May, 2013, Jelgava, Latvia. Vol. 4., Part 1, Jelgava: LLU, p. 310–317. ISSN 2255–7776
5. Brants A., Kronbergs M., Celms A., Ancikēvičs Z. (2013) Dispersion of Global Positioning Measurements in Real–time Correction Networks. **In:** *International Scientific–Methodical Conference „Baltic Surveying’13”: proceedings*. Kaunas, Lithuania, May 8–10, 2013. Kaunas, p. 47–51. ISSN2243–5999
6. Celms A., Ratkevičs A., Reke I. (2013) General procedure of national height system’s replacement. **In:** *International Scientific–Methodical Conference „Baltic Surveying’13”: proceedings*. Kaunas, Lithuania, May 8-10, 2013. Kaunas, p. 40–46. ISSN2243-5999
7. Celms A., Kronbergs M., Cintina V. (2012) Accuracy Estimation of the Latvia First Order Leveling Network. **In:** *International Scientific and Technical Conference „Geoforum 2012”*. Lvivska Politehnika, p.44–47. ISSN 1819–1339
8. Celms A., Kronbergs M. (2011) Precise Leveling across Lielupe and Daugava. **In:** *Research for Rural Development 2011: Annual 17th International Scientific Conference Proceedings*. Jelgava, 18-20 May 2011. Jelgava: LLU. Vol. 2, p. 170–174. ISSN 1691–4031

9. Celms A., Kronbergs M., Cintina V. (2011) Precise Leveling in Vidzeme. **In:** *Proceedings of the International Scientific Conference of Agriculture Universities of Baltic States „Baltic Surveying`11”*, Jelgava, Latvia, 11th – 13th of May, 2011. Jelgava: LLU, p. 59–66.
10. Celms A., Kronbergs M. (2008) Results of Leveling of First Order Lines in the Eastern Part of Latvia. **In:** *BALTIC SURVEYING `08. International Scientific-Methodical Conference of Agricultural Universities in the Baltic States and Other Countries: Proceedings*. Jelgava, Latvia, the 7th and 9th May, 2008 Jelgava: LUA, p. 22-27. ISBN – 978–9984–784–70–0
11. Целмс А., Хелфрича Б., Кронбергс М. (2007) Результаты нивелирования I класса в западной части Латвии. **In:** *BALTIC SURVEYING `07 International Scientific-Methodical Conference: Proceedings*. Kaunas, p.14–18. ISBN 978–9955–448–85–3
12. Celms A. (2005) Assessment of elevation Differences of Precise Levelling Between Different Epochs of Measurements. **In:** *The International Conference „Cadastrre, Photogrametry, Geoinformatics – Modern Technologies and Development Perspectives”*: *Proceedings*, Vol. 66. Lviv, p. 113-117. ISSN – 0130-1039
13. Celms A. (2005) The Analysis of the X Polygon of the First Order Levelling Network. **In:** *International Conference „Modern Progress of Geodetic Sciences and Industry”*: *Proceedings*. Lviv, p. 117–122.
14. Celms A., Kaminskis J. (2005) Comparison of the Leveling Results in Line Kolka – Rucava. **In:** *The 6th International Conference „Environmental Engineering”*: *Proceedings*. Vilnius, May 26-27, 2005. Vilnius Gediminas Technical University. Vol. 2, p. 831–835. ISBN 9986–05–851–1. Pieejams: WEB of Science datu bāzē.
15. Celms A., Kaminskis J. (2005) Leveling results of first order line Kolka – Rucava. **In:** *„BALTIC SURVEYING `05” International Scientific-Methodical Conference of Agricultural Universities in the Baltic States and Other Countries: Proceedings*. Jelgava, 12th and 13th May, 2005, Jelgava: LUA, p. 165–170. ISBN9984–596–94–X
16. Celms A., Helfriča B., Kronbergs M. (2002) First order Levelling in Latvia in 2000 and 2001. **In:** *BALTIC SURVEYING `02: International Scientific-Methodical Conference of Agricultural Universities in the Baltic States: Proceedings*. Jelgava, 9–10 May, 2002. Jelgava: LUA, p. 125–130. ISBN9984–596–46–X

Rapports at scientific confereces (28)

1. Celms A., Bimane I., Reke I. European Vertical Reference System in Baltic Countries. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying`14”*, 2014. gada 7.–9. maijs, Jelgava.

2. Celms A., Ratkevics A., Rusins J. Research of National Geodetic Network Elevations at Eastern Part of Latvia. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying '14”*, 2014. gada 7.–9. maijs, Jelgava.
3. Celms A., Ratkevičs A., Brants A., Vallis A., J. Silabriedis G. GNSS nivelējumi valsts ģeodēziskajā tīklā. *Latvijas Universitātes 72. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2014. gada 05. februāris, Rīga.
4. Bīmane I. Celms A. Ūdens līmeņa novērojumu vēsturisks apskats. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes pārvaldība un mērniecība”*, 2013.gada 6. decembris, Jelgava.
5. Celms A. Precision of Latvia Leveling Network Nodal Point Height. *Starptautiskā zinātniskā konference „Civil Engineering '13”*, 2013. gada maijs, Jelgava.
6. Celms A. General Procedure of National Height System's Replacement. *Starptautiskā zinātniskā konference „Baltic Surveying '13”*, 2013. gada maijs, Kauņa.
7. Celms A. Accuracy of Height Measurements for Leveling Across Wide Water Bodies. *Starptautiskā zinātniski tehniskā konference „Geoforum 2013”*, 2013. gada aprīlis, Ļvova.
8. Celms A. Paaugstinājumu pētījumi valsts ģeodēziskajā tīklā. *Latvijas Universitātes 71. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2013. gada 14. februāris, Rīga.
9. Celms A., Ratkevičs A. Valsts ģeodēziskās atbalsta sistēmas vai tās elementu nomaiņas kārtība. *LLU Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes pārvaldība un mērniecība”* 2013.gada 18. janvāris, Jelgava.
10. Celms A. Use of Various Methods for Leveling Across Water Bodies, *Riga Technical University 53rd International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute*, 2012. gada oktobris, Rīga.
11. Celms A. Accuracy Estimation of the Latvia First Order Leveling Network. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes doktorantu starptautiskā zinātniskā konference „Research for Rural Development 2012”*, 2012. gada maijs, Jelgava.
12. Celms A. Accuracy Estimation of the Latvia First Order Leveling Network. *Starptautiskā zinātniski tehniskā konference „Geoforum 2012”*, 2012. gada aprīlis, Ļvova.
13. Celms A.; Kronbergs M.; Brants A. Globālās pozicionēšanas bāzes stacijas “Jelgava” augstuma noteikšana. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2012. gada 9. februāris, Rīga.

14. Celms A. Ģeodēziskie mērījumi jonosfēras aktivitātes laikā. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference. Astronomijas un ģeodēzijas sekcija*, 2012. gada 9. februāris, Rīga.
15. Celms A. Reālā laika korekciju pētījumi. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālīzpētes) sekcija*, 2012. gada 03. februāris, Rīga.
16. Celms A., Kronbergs M. Salaspils kodolpētniecības centra būvju vertikālo deformāciju mērījumi. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes pārvaldība un mērniecība”*, 2011. gada 2. decembris, Jelgava.
17. Celms A.; Kronbergs M.; Brants A. Nivelējumi pāri lielākajām Latvijas upēm. *Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku 3. kongress. Lauksaimniecības un meža zinātnes sekcija*, 2011. gada 25. novembris, Jelgava.
18. Celms A. Precise Leveling Across Lielupe and Daugava, *Latvijas Lauksaimniecības universitātes doktorantu starptautiskā zinātniskā konference „Research for Rural Development 2011”*, 2011. gada maijā, Jelgava.
19. Celms A., Precise Leveling in Vidzeme Region. *Starptautiskā zinātniskā konference „Baltic Surveying '11”*, 2011. gada maijs, Rīga.
20. Celms A. Ģeodēzisko instrumentu un tehnoloģiju kalibrācijas poligoni un bāzes komparatori. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskajā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālīzpētes) sekcija*, 2011. gada februāris, Rīga.
21. Celms A. Valsts I klases nivelējumi Vidzemē. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes ierīcības un mērniecības problēmas un risinājumi”*, 2009. gada 4. decembris, Jelgavā.
22. Celms A. Valsts I klases nivelēšanas darbi Latvijas – Igaunijas pierobežā. *Latvijas Universitātes 67. zinātniskā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālīzpētes) sekcijā*, 2009. gada janvāris, Rīga.
23. Celms A. Valsts I klases nivelēšanas darbi, to aktualitāte. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes Zemes ierīcības un ģeodēzijas katedras organizēta zinātniski praktiskā konference „Zemes ierīcības un mērniecības problēmas un risinājumi”*, 2008. gada 5. decembris, Jelgava.
24. Celms A. Results of Leveling of First Order Lines in the Eastern Part of Latvia. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying '08”*, 2008. gada maijs, Jelgava.
25. Celms A. Augstuma vērtību izmaiņu analīze pēc aktuālākajiem mērījumiem valsts nivelēšanas tīklā. *Latvijas Universitātes 66. zinātniskā konference. Ģeomātikas (ĢIS un tālīzpētes) sekcija*, 2008. gada janvāris, Rīga.

26. Celms A. Assessment of Elevation Differences of Precise Levelling Between Different Epochs of Measurements. *The International Conference „Cadastre, Photogrametry, Geoinformatics – Modern Technologies and Development Perspectives”*, 2005. gada septembris, Kalwaria Zebrydowska (Polija).
27. Celms A. The Analysis of the X Polygon of the First Order Levelling Network. *International Conference „Modern Progress of Geodetic Sciences and Industry”*, 2005. gada aprīlis, Ļvova (Ukraina).
28. Celms A., Helfriča B., Kronbergs M. First order Levelling in Latvia in 2000 and 2001. *Starptautiskā zinātniski metodiskā konference „Baltic Surveying’02”*, 2002. gada maijs, Jelgava.

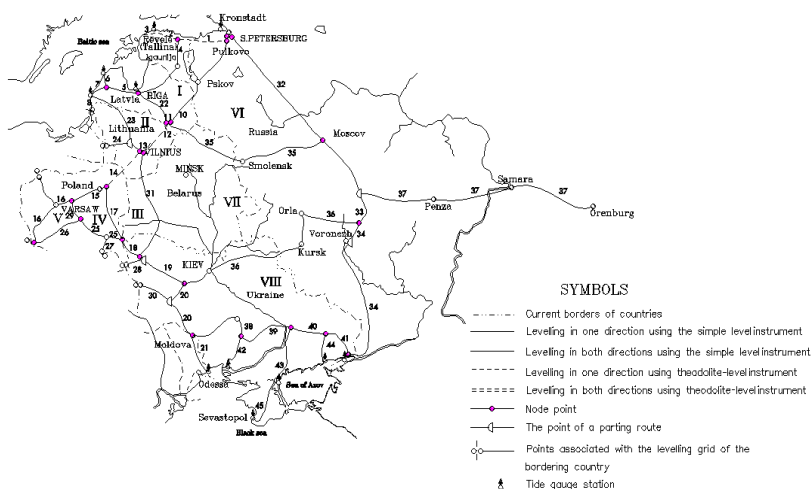
Invention

In Patent Office of the Republic of Latvia approved patent No.14529 „Device and a Method for Precise Levelling Rod Reading in Long Distances”. Inventors Armands Celms, Maigonis Kronbergs. 2012.

1. PRECISE LEVELLING IN LATVIA UP TO THE YEAR 1990

This part of the Thesis deals with the description of the previously performed levelling works when making the systems of levelling networks, and presents the obtained precision values of the performed levelling.

Levelling in the territory of Latvia, being carried out to for a regular levelling network, dates back to the second part of the 19th century. They were greatly related with the common territories and particularly with the trends of vertical surveying in Prussia, East Hungary, Holand and other places in Europe. In Russia these works were performed with the aim to connect the observation posts of sea water level in the Baltic Sea, the Black sea and the sea of Azov, as well as by connecting levelling networks with neighbour countries to have access to the observations of the sea level in the North sea and the Mediterrian (Figure1).



The source-created by the author

Fig. 1.1. The scheme of Russian levelling network in 1894.

The works in the territory of Russia and Latvia were carried out by the Russian corps of war topographers. Considering the geographical location of Latvia, a number of levelling works were performed in its territory, and were included in the common levelling network. The levelling network consisted of wall signs which were installed in every 20-25 km. However, as shown at the end of the last century (Кашин..., 1979), the distance between the installed wall signs caused additional problems to thicken the levelling networks and for topographic survey.

As the result of the campaign the sea level observation stadions in the territory of Latvia, located in Daugavgrīva, Ventspils and Liepāja, were connected with Kronstat pile and the Black sea observation stadions of the sea level, thus enabling to analyze and search for the coherence about the “zero” of the sea level in different coastal parts. These researches provided an initial, justified comprehension of the situation about the inland relief in synchronized territory.

1.1. General levelling in the territory of Livonija

During the period of the year 1874-1882 in northern part of Latvia and the south part of Estonia on the request of Livonia union of welfare and economy general levelling was performed. The instruction was prepared by Ludwig Schwarz, the director of Tartu observation, and who had gained approval owing to trigonometric levelling performed in East Siberia. Levelling was carried out by the engineer A. Broks and the astronomy student Karl Ernest Helman (Seidlitz-Meyers, 1887).

The threshold of the building of Tartu University was taken as the reference point, the height of which was estimated by the astronomer Wilhelm Struve with trigonometric levelling from the benchmarks of the Baltic Sea in Daugavgrīva and Tallin. The points of levelling line were stabilized with benchmarks- carved horizontal line in the stones of brick buildings or in separate big boulders. The reper number was carved above the line with approximately 8 cm high Arabic digits. The height values were estimated for the geometric middle line of the specific line. The levelling benchmark, shown in Figure 1.2., was located between Ergļi and Pļaviņas-in Sausnēja area, the photograph was taken in the year 1964 (Purvenieks, 1964). Nowadays the information about such type of geodetic benchmarks in nature does not exist, accordingly there does not exist material to research.

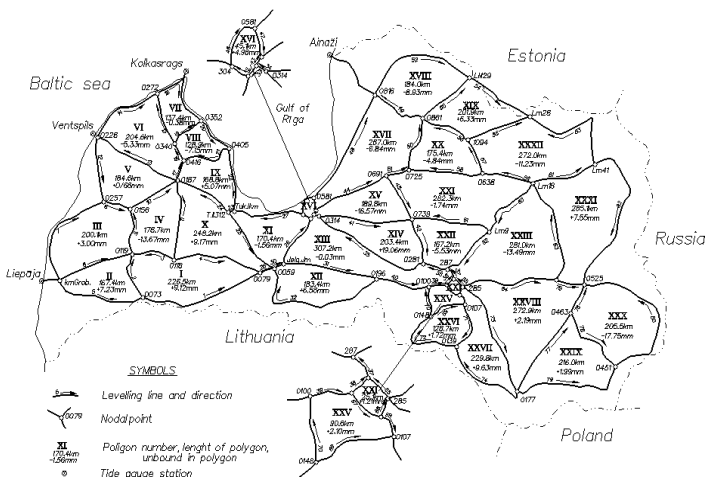


Source: (Purvenieks,1964)

Fig. 1.2. Trigonometric benchmark of Wihelm Struve.

1.2. The formation of Latvian precise levelling from the year 1929 to the year 1939

During the 20th century from the year 1929 to 1939 precise levelling works were performed thus creating State precise levelling network. The created network covered evenly all the territory of the state and it consisted of 32 grounds with average perimeter 200 km and they were formed by the 123 levelling lines (Jakubovskis and others, 1994 (a)). The total length of the levelling lines consisted of 4422 km. 1262 geodetic signs were involved in the levelling process (Latvijas PSR precīzā..., 1941). The levelling network was connected with the levelling networks of Estonia, Poland and Lithuania. They also involved sea level observation stations in Ainaži, Daugavgrīva, Mērsrags, Kolka, Ventspils, Pāvilosta, Liepāja (Figure 1.3.).



Source-created by the author

Fig. 1.3. The precise levelling network of the Republic of Latvia.

During that period the levelling lines were directed firstly along the railway lines, secondly-along the high roads. Levelling benchmarks were fixed at every 6-7 km. Stone buildings, piers and culverts served as the places of fixation of the geodetic signs. However, in the parts of the levelling lines where the benchmarks were fixed at the railway in the second part of the 20th century, cargo train intensity being increased, their heights changed under the influence of vibration. The process continues still up to these days. Priekule railway station may be mentioned as an example. In the last century in the main building of the station, performing precise levelling, wall benchmark Nr.0719 was installed. This benchmark during the years 1935-1937 was levelled with the fundamental ground benchmark Sr5. In the year 1997, performing levelling between these two benchmarks, the author stated that during the time period since prewar levelling, the height difference between the both benchmarks had changed by 4 mm (Celms, 2000).

The author of the doctoral Thesis, working on the Master's degree in the year 1997, organized the search works of the Priekule fundamental benchmark group (Celms, 2000). It was a big challenge as the official information obtained after the studies of the levelling catalogues suggested that these points have been destroyed, not relying on the information, the decision was made to organize the search works to find some of the seven fundamental benchmark groups. Priekule group was chosen because its benchmark Nr.6 was the reference point of the pre-war height system. By cameral examination and by organizing repeated inspection and survey works with tools, the search was successful.

1.3. Precise levelling in the territory of Latvia from the year 1947 to 1990

After the Second World War Latvian levelling network was included in the levelling network of the USSR and reconstructed. The levelling lines, existing in Latvia, using the pre-war survey data as the basis, equalized and calculated new orthometric heights, relating them with the average sea level observations in Kronstat (zero level) - now being in the territory of Russian Federation.

During the years 1947-1948 first class levelling was carried out by the aerogeodetic companies of the Supreme department of geodesy and cartography. 1 class lines Lomanosova - Riga and Riga - Baranovici and the line Jelgava-Liepāja crossed the territory of Latvia. The total length of the 1 class lines is approximately 420 km. The precision of this levelling has been studied in the work by V.Zvonov (Звонов, 1952). According to the studies 1 class levelling is characterized by the following accidental and systematic regular deviations:

$$\eta = 0.39 \text{ mm/km},$$

$$\sigma = 0.05 \text{ mm/km}.$$

In the years 1967-1974 as well as in the period up to the year 1990 in Latvia 1 class levelling of the years 1947-1948 was repeated on the lines Ainaži-Riga-Jelgava-Meitene and the line Jelgava-Liepāja. During the period after the year 1967, performing 1 and 2 class levelling works, several new benchmarks were placed. In the focal points of the lines were placed mainly fundamental benchmarks, but on the lines where it was needed (old benchmarks were destroyed) the ground and wall benchmarks were installed (Программа построения государственной..., 1977). In some cases the benchmarks were not properly searched, new benchmarks were installed directly nearby the old benchmarks; the levelling line was changed as well.

The obtained kilometre regular deviations:

class 1 levelling

class 2 levelling

$$\eta = 0.8 \text{ mm/km},$$

$$\eta = 2.0 \text{ mm/km},$$

$$\sigma = 0.08 \text{ mm/km},$$

$$\sigma = 0.20 \text{ mm/km}.$$

The 1 and 2 class levellings carried out after the year 1967, served as the basis to form new height system in the USSR and Latvia. The levelling results were processed repeatedly and the standard heights, published in catalogues, were calculated as previously from Kronstat zero. The results obtained in the last variant of equalization were called the heights in the system of the Baltic standard heights of the year 1977 (Silabriedis, 2010).

1.4. Levelling of the Geodesy department of Latvia University of Agriculture at the Pļaviņi geodynamic polygin

For the reaserch of the activity of the present vertical movements of the Earth surface in the early 60ies of the last century in the Baltic republics were chosen the areas of the Earth surface, geologic similar, were the geodynamic grounds were formed.

In Latvia such a geodynamic ground was created in the territory around the Pļaviņi Hydroelectric power station reservoir on the river Daugava, about 100 km east from Riga. In 1962 on the ground levelling network was formed which consisted of several closed and hanging courses.

For the levelling a precise spirit level Ni004, level with compensator Koni007 and at the initial period-spirit level NA-1. To characterize levelling precision kilometric regular deviation and systematic regular deviation, shown in the table1.1.

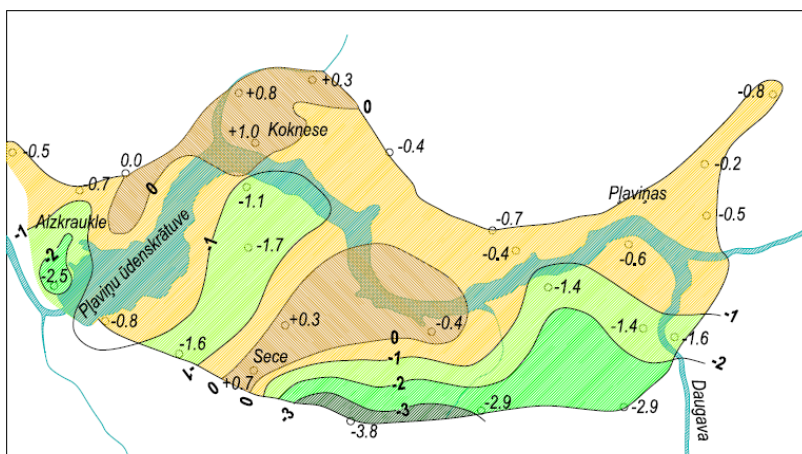
Table 1.1.

The precision of levelling carried out in Pļaviņi geodynamic ground

Levelling year	Total lengh of lines (km)	η (mm/km)	σ (mm/km)
1963	195	0.37	0.11
1964	143	0.47	0.09
1965	161	0.47	0.17
1966	61	1.12	0.14
1967	68	0.52	0.10
1968	150	0.45	0.07
1970	178	0.48	0.14

The source-craeted by the author (Фреїс, 1981)

The speed scheme of the vertical movements of the Earth surface, made according to the results of the repeated levelling the year 1963-1970 in the nearby area of the reservoir of Pļaviņi hydroelectric power station is shown in the Figure 1.4. After the analysis of the results it was concluded that filling the reservoirs has not caused the deformations of the surface of the surrounding areas.



Legend:



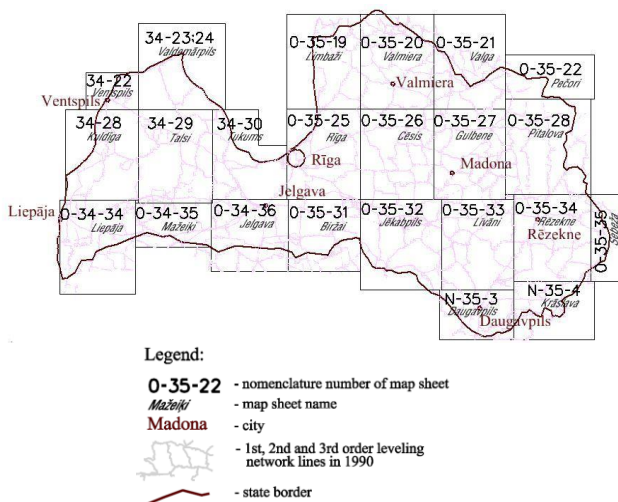
Fig. 1.4. The speed of the vertical movements of the Earth surface in the area of the reservoir of Pļaviņi HPS during the period of the year 1963-1970.

2. THE RECONSTRUCTION OF THE LEVELLING NETWORK SINCE THE YEAR 1990

This part contains the explanation about the exploration of the present situation and assessment, the support of the government of Denmark in the field of precise levelling. It deals with the description of creating the instructions of levelling and the related levelling works in Priekule ground, the explanation of the planning of the reconstruction of the state levelling network and its performance. It also contains geodetic signs, included in 1 class levelling, the future challenges of the use of geodetic signs.

2.1. The exploration of the situation and creation of levelling instructions

Since regaining the independence Latvia faced the situation when it had to take over the information about the existing geodetic networks, including levelling networks. The information which was taken over-different types of catalogues-provided the awareness of the situation and setting the objectives of the improvement of the levelling networks. The information about the levelling points in the territory of Latvia was mainly compiled in levelling catalogues. Levelling signs were summarised according to the mapping on lists, scale 1:200 000. The information of the catalogues was presented on 23 map lists (Figure 2.1.).



Source-created by the author

Fig. 2.1. The division of the territory of Latvia on 200 000 lists with schematic location of levelling lines.

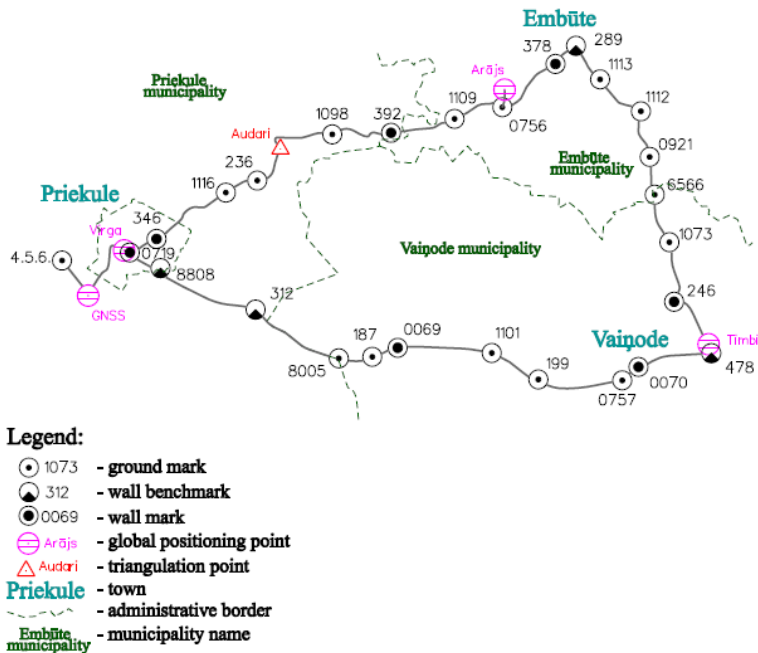
The benchmarks of 1, 2, 3, and 4 class levelling have been presented on map lists. The given symbol indicated whether it is wall mark, wall benchmarks or some other type of levelling sign. Levelling signs are connected with lines which represent the class of the levelling line. It must be admitted that the precision of the location of levelling signs is quite low because after matching the map scheme with complete cartographic material and the real location of the signs the discrepancy was even up to 2 km.

In the year 1994 The National survey centre of the state land cadastre ordered a detailed theoretical investigation of the existing levelling network. The work was carried out by Geodesy department of Latvia University of agriculture (Jakubovskis u.c., 1994 (c)). This research served as the basis of creating levelling instructions and the planning of performing the reconstruction works of 1 class levelling network.

The government of Denmark gave a significant contribution in the adjustment of the matters of the levelling networks. During the period of the year 1996 to 1998 the Danish Ministry of Housing and Building realized technical administrative sector program in geodesy in Lithuania, Latvia and Estonia. One of the support branches of the program in Latvia was the precise test levelling in the existing 1 class levelling network (Precise levelling in..., 1998). Within the realized subprogram in the spring of 1998 precise levelling was carried out on the line Jelgava-Auce-Jaunauce. The works on the side of the Danish were monitored and carried out by the survey company Kampsax Geoplan, while on the side of Latvia the works were organized by professionals of the Geoplāns Ltd. In the result of the work the performed levellings, the obtained results and their precision were described, the existing benchmarks were characterized, and their potential application in precise levelling. One of the conclusions was the following - in Latvia there are no activities to realize involvement in EUVN (European Vertical Network). This reprimand was the cause of the discussions initiated by the professionals in the levelling field.

In order to gain and strengthen experience and to make certain of the correctness of the created methods in 1 class levelling, the decision was made to perform field survey in Priekule ground. The works were realized by the professionals of National survey centre of State land cadastre in the year 1999. The works were carried out in close cooperation with the Geodesy department of Rural engineering of Latvia University of agriculture. The closed ground Priekule-Embūte-Vaiņode-Priekule was selected for the levelling (Figure 2.2.).

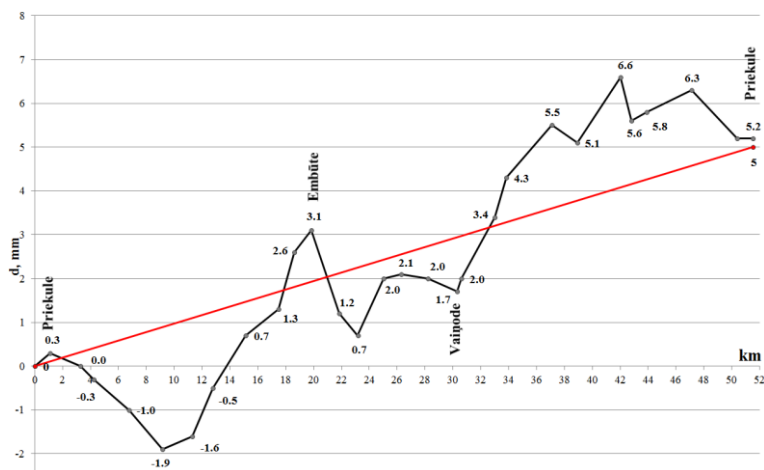
To prepare the levelling line for the work several new ground and wall benchmarks were installed. The levelling line was completed with the new benchmarks, considering that the distance between them would be about 2 km. The location of ground benchmarks was chosen with consideration that the benchmark would not be destroyed in the result of business activities (farming, road repairs, cable trench digging), but at the same time high quality GNSS surveying is possible to be performed at that point.



Source-created by the author

Fig. 2.2. Schematic location of benchmarks in the testing ground.

The total length of levelling walks was 54.8 km, from which 51.5 km were in the closed testing ground. In forward and backward direction the accumulation of obtained height difference in walk sections in all the testing ground made +5.2 mm. The obtained value is clearly shown in Figure 2.3. The obtained results justified the set requirements to achieve the necessary precision in class 1 levelling.



Source-created by the author

Fig. 2.3. The accumulation of height differences in the levelling testing ground.

When starting the work to reconstruct levelling network, reasonably the requirement of methodological regulation of the performed levelling work was set. In the National survey centre of State land cadastre the decision was made to work out 1, 2 and 3 class levelling instruction. Due to the contribution in precise levelling survey the task was commissioned to the department of Geodesy, Latvia University of Agriculture, and the task was accepted.

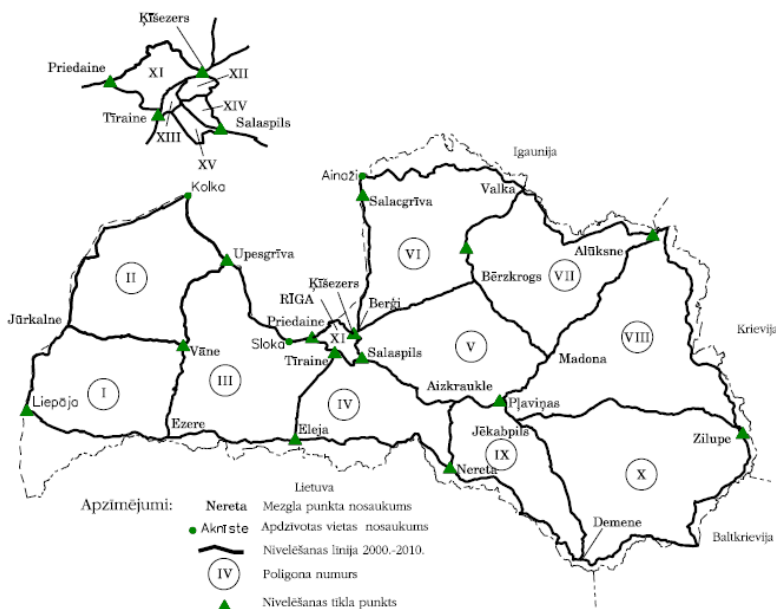
Specification of the requirements of the instruction was based on the balance between the precision of survey and the costs of levelling. Evaluating the allowed distance from level to the bar station, domestic as well as foreign experience was considered. For example, 1 class levelling, carried out in the period of the year 1929 to the year 1939, the distance from level to bar station was 50 m (Крупен, 1973) and the achieved result meets the modern requirements. However, in Estonia this distance is limited to 30m (I, II, ja..., 1994). When creating the instruction the authors of it took into consideration the researches of R.Krūpēns, M.Kronbergs and conclusions about 1 class levelling in Latvian circumstances, thus the maximum length of visor from the tool to the bar was stated to be 40 m (Кронберг, 1976) (Крупен, 1978).

2.2. The reconstruction works of state levelling network

During the period of the year 2000 to 2010 in Latvia reconstruction works of levelling network were carried out. (Lately 1class levelling network is also called as first order levelling network) Levelling lines basically were directed along the previous lines, however there were significant differences in

their common network configuration. The levelling network of this period was designed by creating larger testing grounds than they were previously. The Project envisaged that the levelling network consists of 10 large and 1 small testing ground around Riga. When realising the reconstruction of levelling network in the mentioned period, the renovation of first order levelling network was started in Latvia. Levelling lines mostly were directed along the previous precise levelling lines. However, in several places 1 class levelling lines were directed in other places. For example, a part of a new levelling line was made along the southeast border of the state from Indra to Demene in accordance with the provision of high justification for the east border of the state. Levelling survey works were completed in the year 2010. The reconstructed network consisted of 10 large testing grounds and a system of 5 smaller testing grounds around Riga, the total length of the lines 3166 km (Figure 2.4.). Totally heights of 2379 points were stated.

Every year levelling works were carried out from the end of April to November-December. Levelling was done by the team which included professionals-the employees of the institution. To increase the amount of levelling the second levelling team was organized which included the experts of department of land management and geodesy of Latvia University of Agriculture.



Source-created by the author

Fig. 2.4. The scheme of the realized levelling network.

Levelling was carried out according to the previously designed Project for the mentioned line, considering the requirements of the instruction of 1, 2, 3 class levelling and the experience gained at the Priekuļi testing ground. For the characterization of the precision of the performed levelling the common, kilometre accidental and systematic regular deviations of the levelling, performed in one season (Table 2.1.).

Table 2.1.

The assessment of the precision of class I levelling

Year of levelling	Kilometric random standart deviation η mm/km	Kilometric systematic standart deviation σ mm/km
2000	0.34	0.13
2001	0.28	0.12
2002	0.31	0.13
2003	0.25	0.07
2004	0.33	0.07
2005	0.29	0.07
2006	0.24	0.08
2007	0.30	0.09
2008	0.27	0.07
2009	0.23	0.10
2010	*	*

*levelling results of the year 2010 were not available

Souce-created by the author

2.3. Geodetic signs in the fixation of the points of levelling network

Geodetic points realize the existance of hight and coordinate system in the state territory. The notion of geodetic point involve the wholeness of data and physical realization: coordinates and coordinate system, the method of stating coordinates and precision, the time of the survey works and the surveyor, connection with nearby geodetic points, information about the location of the point and protection, the construction fixed in the area and its design.

The stability and long preservation of signs is important. The choice of the sign location is largely determined by stability and protection as well as stating coordinates and the possibility of the use. Correct choice of location alongside with protection measures ensures the preservation for decades (Торим, 1972) (Успенский, 1968) (Столбов, 1975). The oldest preserved and found geodetic signs in the territory of Latvia date back to the first part of the 19th century, for example Strūve triangular point in Jēkabpils and elsewhere. In Riga there are some preserved levelling wall signs from the 1800s of the 19th century (Ведомость реперов, расположенных..., 1909).

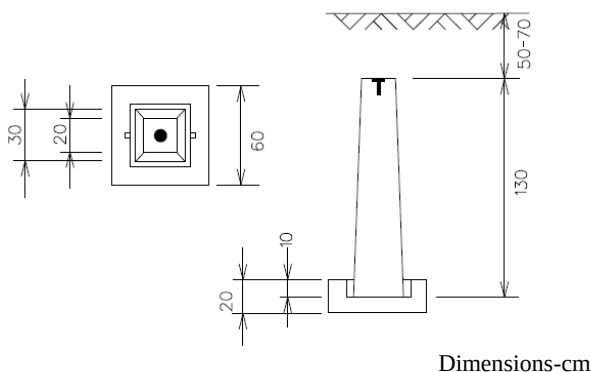
A significant increase of the number of signs started in the time when Latvia was an independent state for the first time. It still continues with short interruptions during the war and changes of state system. The contrary process-damage, destruction and failure to find signs takes place alongside.

The levelling network, the points of which are fixed with levelling signs - benchmarks and marks, may function as long as these signs are preserved in the same condition (Jakubovskis u.c. (b), 1994) (Центры геодезических пунктов..., 1972). Levelling signs are divided in ground and wall signs.

Ground signs of levelling have increased requirements of the stability in vertical plane, because of that an anchor is a must in their construction. The depth of digging is calculated to minimize the impact of frozen ground on their stability. By construction levelling ground signs are divided in file ground benchmarks and fundamental benchmarks (Latvijas ģeodēzisko zīmju..., 2002). The fundamental benchmarks differ from file ground benchmarks with bigger weight, bigger depth of digging and with second mark-test mark which is embedded in concrete in the anchor of a benchmark.

The century benchmarks take a special place in the group of fundamental benchmarks the task of which is to serve as the basis of the state height system. These geodetic signs are placed in such a way that an anchor is based on hard rock (Инструкция по нивелированию..., 2003).

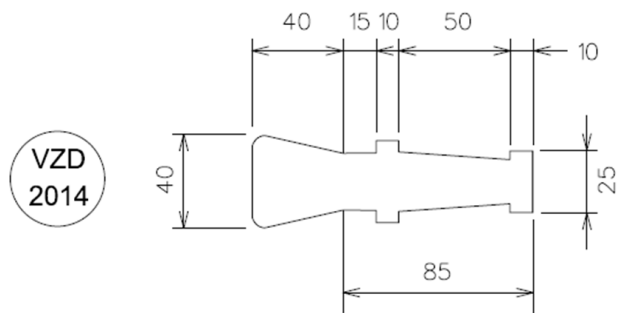
When reconstructing the levelling network, new ground benchmarks had to be established in each levelling line. It is not easy to provide the stability of the condition of levelling signs as the upper ground layers of the earth surface are under the influence of deformations of different direction, what causes their movement. Thus the prolongation of the time of functioning of levelling network mainly depends on the fact how the stability of the geodetic signs is preserved. The ground levelling signs were created considering the high requirements of the stability mentioned above (Figure 2.5.).



Source-created by the author (Latvijas ģeodēzisko zīmju..., 2002)

Fig. 2.5. The dimensions of the created ground benchmark.

The establishment of wall benchmarks of a new type was greatly related with the location of fundamental buildings in the direct closeness of the designed levelling line. The longer the building functions, the smaller are the risks to their vertical movements. Accordingly the stated high value of a wall benchmark is more believable. The construction of the newly created wall benchmark does not considerably differ from the existing wall benchmarks (Figure 2.6.).



Dimensions-mm

Source: created by the author.

Fig. 2.6. The newly created wall benchmark for precise levelling from the year 2000 to 2010.

The visual design of the benchmark is also of importance. For the wall benchmarks it is important to keep the sign undamaged and accessible, in case of the benchmarks the situation is more complicated. The newly created ground benchmarks after the establishment had the following visual design elements- circle ditch, kupica and index pole.

Kupica and index pole facilitate the identification of the benchmark after a year or a longer period of time. A special attention is paid to the shape of the index pole. Originally it was like a 150 cm long square shape 15+15 cm pole. However, debating the functions of the index pole, that shape was not successful. It is explained by the fact that in case kupica is destroyed or because of deep snow, it is not possible to find precisely the location of the geodetic sign in reference to index pole. After intense search for better solutions, in the year 2000 the author made an innovative proposal-by making the upper end edge of the index pole semicircular but in the front part straight-the problem is solved.

Assessing the diversity of the application of geodetic signs in the nearest future it can be concluded that the ways of their application will increase. It is due to the fact that different types of geodesic survey (horizontal, vertical, gravimetric) can be carried out on the same geodetic sign. Previously established points of triangular network may be mentioned as a historical

example. Surveying was performed and the position in the horizontal plane with relevant precision class was stated in the signs of these points. In addition, points of triangular network were levelled their height values were stated.

The further preservation of geodetic signs is an important factor in the maintenance of the geodetic networks. Because of the wide range of GNSS application nowadays, impression about the insignificance of geodetic signs may appear. However, it must be considered that the Earth crust has continuous movements. Accordingly, the organizations, maintaining geodetic space in the state, must be able to predict correctly and fast the parameters of the movements. It is possible by using well established and maintained geodetic points, thus obtaining credible information about the geodynamic processes in time and space. Besides, there are set minimum requirements for the density of geodetic points in state territories (Engineering and Design..., 1994).

3. THE RECONSTRUCTION OF THE LEVELLING BASE NETWORK OF LATVIA, THE YEAR 2000. - 2010.

This part of the doctoral thesis describes the process of precise levelling works, examines the performed levellings over the rivers Lielupe and Daugava, the precision of the obtained results. The invention of the author of the doctoral Thesis of the device of reading digital levelling staff from long distance. The description of levelling methods over large reservoirs. It presents the evaluation of the precision of the reconstructed levelling network in Latvia.

3.1. The process of precise levelling

The 1class levelling fiels works have to be carried out accurately and precisely, taking into consideration the technological requirements to achieve the most precise results (I, II un III...., 2000).

The performance of levelling, considering the size of a team, was organized with permanent eksperts ar the level and the bars. The preparation of the levelling line was done commonly. The team was provided with a minibus to perform levelling works, to transport the staff and the equipment. Minibuses were adjusted to carry 3m long levelling bars in the basket.

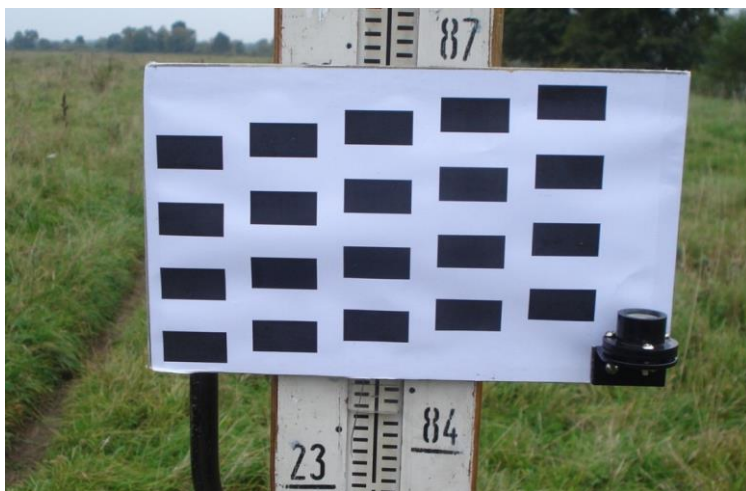
3.2. Precise levelling over reservoirs

When performing class 1 levelling, precise levelling had to be performed also over large water reservoirs, for example, the rivers Lielupe and Daugava. Not always there were bridges in the vicinity of the location of the levelling works to measure from one geodetic sign to another one which is located in the side of the river. Levelling to the nearest bridges requires additional resources and causes the decline of the precision of the total levelling network. Thus the hight difrence from one bank of the river to another one had to be measured. In the places whith the distance between the coasts of the reservoirs not exceeding 100 m, levelling was carried out with digital level DiNi12. The method of digital level was applied when levelling over the canal of Karaosta in Liepāja. When levelling over larger reservoirs, Zeiss optical leveller Ni002 together with digital levelling staff were used. However, in the distances larger than 200m, the existing levelling method did not provide precise results that is why another method was chosen.

As the width of the river Daugava at the estuary is approximately 700 m, it is not possible to read the staff over the river in the traditional way. In such cases a sliding mark is fixed on the staff which is slid upwards or downwards according to the instructions of the observer on the opposite coast, while the line of telescope reticule takes a symmetrical position in reference to the picture of the mark (Видуев, Ракитов, 1961). The staff scale is

read off to the index of the mark which match the symmetry axle of the mark. Since such reading is time consuming and not very accurate because the precision of reading the staff scale is about 0.5 mm, the author of the doctoral thesis and M. Kronbergs, the member of the teaching staff of the department of Land management and Geodesy of Latvia University of Agriculture, had the idea to create such a mark for reading the staff which would not have to be slid over the staff during the measuring, but the reading of the staff would be obtained with the method of matching, using the micrometer of the tool.

Considering the gained experience, an auxiliary device was made which provides stating the height difference in long distance with high precision. Serious work of performing experimental surveying resulted in success and the application for the patenting of the invention. In the year 2012 the Patent Board of the Republic of Latvia confirmed the patent Nr.14529 „Device and a Method for Precise Levelling Rod Reading in Long Distances” (Latvijas Republikas Patentu..., 2012). The device, mentioned above, (Figure 3.1.) has been applied to perform 1 class levelling in a symbolic place-the Daugava estuary. The inventors are Armands Celms, the author of the doctoral thesis, and Maigonis Kronbergs, a lecturer of the department of Land management and Geodesy.



Source-foto by the author

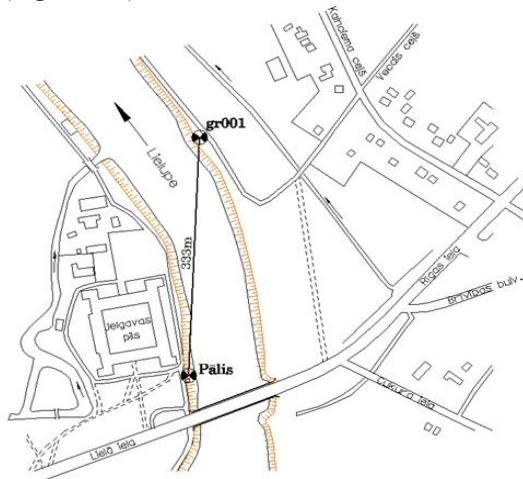
Fig. 3.1. Device and a Method for Precise Levelling Rod Reading in Long Distances.

In comparison with the other known methods of reading the levelling staff of precise levelling in long distances, the invention provides more convenient, faster and more accurate performance of surveying.

To research the methods of measuring the height difference, the decision was made to measure the height difference between two fixed ground benchmarks with different levelling methods-geometric levelling with the optical level Ni002 and the auxiliary device for precise reading of the 1 levelling staff in long distance (further called a mark); geometric levelling with

Digital level Dini12, trigonometric levelling and the levelling with the application of global positioning.

The location of the research was in Jelgava, directly opposite the Palace. The point "Pālis" was chosen to be the ground benchmark, which is included in the 1 class levelling network and the ground benchmark 001, established on the right bank of the river Lielupe. The distance between both points is 333 m (Figure 3.2.).



Source-created by the author

Fig. 3.2. The location of the ground benchmarks.

The measurement of height difference between two ground benchmarks, applying the above mentioned methods, was carried out with high accuracy and precision. For the height differences, measured by each method, standard deviations were calculated (Table 3.1.) to characterize the precision of measurements, necessary for the choice of the optimal method of measuring the height difference when levelling over large reservoirs.

The height differences were measured with the optical level Ni002, using the mark, fixed on the levelling staff, trigonometric levelling with 2'' electronic tacheometer, 1 class levelling with DiNi12 and with two GNSS tools.

However, considering the calculated standard deviations, it may be concluded that the most precise measurements are made when levelling geometrically with the optical level Ni002 and using the new mark of reading the levelling staff. It was achieved owing to the possibility in the levelling

process to coincide precisely the mark index with the staff line (unlike the previously used methods), and the bisector of the reticule with a mark line of adequate width. It is another proof of the practical significance of the invention.

The fact that the value of standard deviations in levellings with DiNi is bigger than the measured with Ni002 may be explained because of the need to cross the bridge during the levelling. Although levelling "forward" and "backward" direction were performed, in the morning and evening, considering the micro movements, it had negative impact on the total precision. This situation clearly characterizes the risks of the decline of the total precision of the levelling network, if for crossing the rivers additional 1 class levellings must be performed to reach the bridge and get to the geodetic sign, located on the opposite bank of the river. The performance of additional levelling increases the total costs of the realization of the Project.

Table 3.1.

Comparison of Levelling results

Method of Calculated high difference Pālis – gr 001	Levelling direction	Measured high difference m	Difference, mm	Calculated high difference, m	Standart deviation of adjusted high diff., mm
Geometric levelling (Zeiss Ni 002)	"forward" Pālis – gr 001	– 0.19205	1.68	– 0.19289	0.04
	"backward" gr 001 – Pālis	+ 0.19373			
Trigonometric levelling (Trimble M3)	"forward" Pālis – gr 001	– 0.1880	8.6	– 0.1923	1.1
	"backward" gr 001 – Pālis	+ 0.1966			
Geometric levelling (Trimble DiNi 12)	"forward" Pālis – gr 001	– 0.19264	0.54	– 0.19291	0.13
	"backward" gr 001 – Pālis	+ 0.19318			
GNSS levelling (Trimble R8)	Pālis – gr 001	–	–	– 0.1956	3.0

The source: created by the author

As it may be seen good results in height transfer can be achieved by using trigonometric levelling, the calculated standard deviation proves that by using trigonometric levelling, the requirements of 3 class geometric levelling can be fulfilled. In Latvia the standard deviation of 3 class height difference levelling is stated to be 3.0 mm/km. It proves that the performance of less precise levellings over large reservoirs may be realized with 2" theodolites.

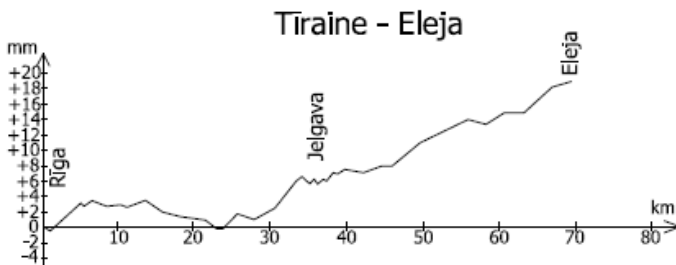
Such a combination of levelling methods is possible as for instance, to densify the state levelling network.

Evaluating the precision of the obtained measurements, using global positioning, it may be concluded that in high transfer only the needs of technical levelling can be provided with that method. However, the application of that method in high transfer asks for additional research.

3.3. The evaluation of the precision of the reconstructed levelling network of Latvia

To evaluate the precision of 1 class levelling, for each levelling line the charts of accumulation of height differences were made which characterizes visually the levelling precision of a certain line and enable to calculate the kilometric accidental and systematic deviation of levelling.

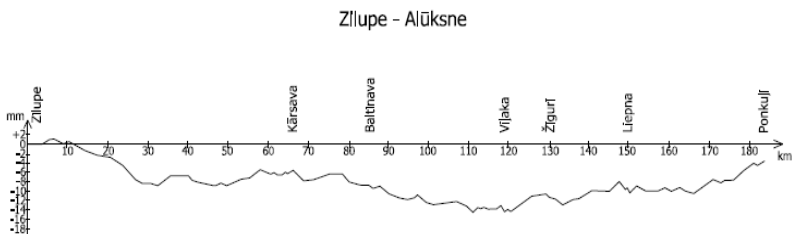
The charts show that in most cases the accumulation of height differences has positive tendency (Figure 3.3.).



Source: created by the author

Fig. 3.3. The accumulation of height differences on the line Tīraine-Eleja.

The analysis of the results of the performed 1 class levelling indicate that on certain lines the accumulation of height differences has negative tendency. The levelling lines Zilupe-Alūksne may be mentioned as bright examples (Figure 3.4.).



Source: created by the author

Fig. 3.4. The accumulation of height difference on the line Zilupe-Alūksne.

To characterize the quality of levelling kilometric standart deviation (ЗВОНОВ, 1952) (Celms et al., 2002) was calculated, taking into account the hight diffarence by measuring "forward" and "backward" (Formula 1).

$$s^2 = \frac{1}{4n} \left[\frac{d^2}{r} \right] \quad (1)$$

where: n- number of sections in a walk
r-the length of a section, km.

The kilometric accidental standart deviation of the average hight diffarence, measured in forward and backward walks, was calculated, excluding the systematic one (Formula 2)

$$\eta^2 = \frac{1}{4(n-N)} \left\{ \left[\frac{d^2}{r} \right] - \left[\frac{S^2}{L} \right] \right\} \quad (2)$$

where: n – number of sections in a walk
N – number of sections with the same type of accumulation of systematic errors
d – the difference of hights difference of forward and backward walk in asection,mm
r – the length of a section, km
S – stright line, drawn in the chart symetrically to the difference d systematic accumulation lines of a certain section of a walk, the difference of ordinates of final points, mm
L – the length of a section, km with systematic accumulation of hight difference.

Kilometric systematic standart deviation,excluding accidental error, was calculated according to the formula 3.

$$\sigma^2 = \frac{1}{[L]} \left\{ \frac{1}{n} \left[\frac{S^2}{L} \right] - N \cdot \eta^2 \right\} \quad (3)$$

For example, the biggest systematic errors of levelling were observed on the line Tiraine-Jelgava-Meitene (Table 3.2.).

Table 3.2.

**The indexes of the precision of levelling line
Tiraine-Jelgava-Meitene**

Levelling line	Year of levelling	Leveler	Lengh of line, km	Errors of levelling measurments		
				s mm	η mm	σ mm
Tiraine –Jelgava - Meitene	2000	WILD3003	78	0.48	0.44	0.18

Source:created by the author

After analyzing the errors the following conclusions may be made about the precision of 1 class levelling.

1. The obtained values of kilometric standart deviation are satisfactory.The refraction and hilly region in certain sections of levelling lines must be mentioned as an affecting factor of the error.
2. The values of kilometric standart deviation relate directly with the values of the obtained hight differences in sections of all the levelling line.
3. The impact of systematic error on the total precision of measurements is also confirmed by the value of systematic standart deviation of hight difference,which is 0.08 mm. The value is increased because, considering the value of accidental standart deviation 0.24 mm, it must be from 0.02 to 0.05 mm.
4. The impact of accidental refraction,observed in a hilly relief, thermic influence on a level,the wind,the movement of the air layers under the influence of transport may be mentioned as the affecting factors of accidental error.
5. The change of pitch of the the level visor during the levelling season must be cosidered. It is because corrections in levels are made about the reading of the levelling staff accorcingly as it is stated in the process of calibration.Because of this reason the calibration of a level must be done two times in a season,before and after it.
6. Generally, to minimize the size of the measurement errors stable conditions of measuring must be mentioned as the main factor.

To evaluate the precision of the performed levelling kilometric standart deviation of levelling was calculated according to the corelate and parameter methods (Freijs, 1958) (Celms et al. 2013 (a)), which is **s=0.785mm/km.**

A significant indicator of the precision of the levelling network is the index of hight precision of focal points. The latest data of levelling network were used to state the precision of the hights of focal points. Unprocessed data were obtained from the agency of Geospace information of Latvia. Tha data are

arranged according to the lines where the testing grounds are established. On each line levelling data are arranged in a certain order, indicating benchmarks, height difference between them and the distance between the signs.

To fulfill the tasks set out in the Thesis, equalization of 1 class levelling network of Latvia was carried out according to the parametric method. According to this method in the calculations the measured height difference between the focal points of walks were taken as results but the equalized heights of focal points as the definable parameters. Standard deviations of height of all the focal points were calculated. The century benchmark fr 002 in Sloka (Celms et al., 2013 (a)) was chosen as a reference point. The calculated standard deviations characterize the precision of the reconstructed levelling network in focal points and it may be referred to all the network.

Summarising the obtained results the following conclusions can be made:

1. The furthest from the century benchmark fr 002 is located fundamental benchmark fr 1463 in Jūrkalne (the west part of Latvia), the height standard deviation 8.2 mm and in Zilupe (the east part of Latvia) the height standard deviation 9.7 mm.
2. Considering the current standard deviation of levelling network $S=0.785$ mm/km, which affects the precision of focal points, to state the causes it is necessary to calculate systematic error of levelling and to investigate the affecting factors.
3. The precision of the heights of points of levelling network may directly affect the precision of the levelling of lower classes.

4. THE STATE HIGHT SYSTEM

This part of the Doctoral Thesis characterizes the functionality of the State system of Geodesic maintainance and the position of State hight system in it, its formation and maintainance. The affecting factors on the functionality and stability have been described, the argumentation of the structure of the hight system change and methodology has been presented.

4.1. The hight system - a component of State geodetic space

The state hight system is considered to be the system accepted and realized by the state, which provides the possibility of credible and unambiguous survey of vertical (zenith or third dimension) component of the location of earth surface points.

The aim of the formation of any system of Geodetic maintainance is to create and maintain a common use of reference system (mathematical foundation) and spatial registration of land in a specific territory in order to provide, select and register geospatial data and information, as well as for the future processing and using of them in the common system (Adam et al..., 2000).

The main product of the State geodetic maintainance system must be considered the topical totality of State geodetic reference data (coordinate catalogues, lists, the parameters of their movements and the indexes of the quality) (including the fixed points in the area, the centres and their networks) and the provision of their availability/uasage.

4.2. The functional importance, creation and maintainance of the State hight system.

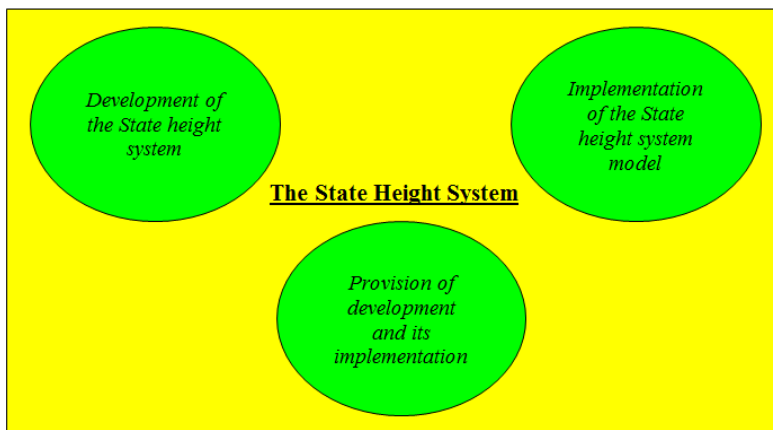
Like the common geodetic system, the hight system in the sense of national importance also have to fulfill the same tasks which relate to all the system, but the responsibility mainly lies on the requirements of components of vertical coordinates and the provision of the quality.

The main tasks of the State hight system are the following:

- defining the mathematical model of the reference system of hights systems of the state territoryand the maintainance of it;
- the attachment (connection) of the reference system of the geodetic hights of the state territory with the real surface of the state territory, defining the connetion parameters and their maintainance;
- the provision of the link and integration of the hight reference system, being stated and created in the state, the maitainance with internationally accepted coordinate and hight reference systems (firstly-applied by EU and Nato in EU space);

- provide the state geodetic reference system (its creators and providers) with the information and data to maintain and develop the precision and quality of reference parameters of the current geodetic reference system, as well as to increase the parameters of its usage.

The components of the State height system are the following (Fig. 4.1.).



Source: created by the author

Fig. 4.1. The components of the state height system.

Creating the system it must be taken into account that the costs of its creation and maintenance increase in proportion (and even faster) with the increase of the precision indexes, thus unjustified or misunderstood wish to create as precise systems as possible in most cases lead to unreasonably high expenses of the state budget both in short term and long term.

4.3. The affecting factors on the functionality and stability of the State height system

The vertical movements of the fluctuations of the Earth crust is one of the most widespread types of tectonic movements (Инданс и. др., 1960). They occurred in the distant geologic past and still occur, including large parts of the continents and the bottoms of the oceans. These movements are apparent as slow pulsations of the Earth crust and which have a certain cycle. The vertical movements of the Earth crust have big fluctuation cycles which last for whole geologic periods (ten million of years). On the background of these big cycles of fluctuations cycles of shorter periods can be divided (Maldavs u.c., 1981) (Изучение современных движений....., 1981).

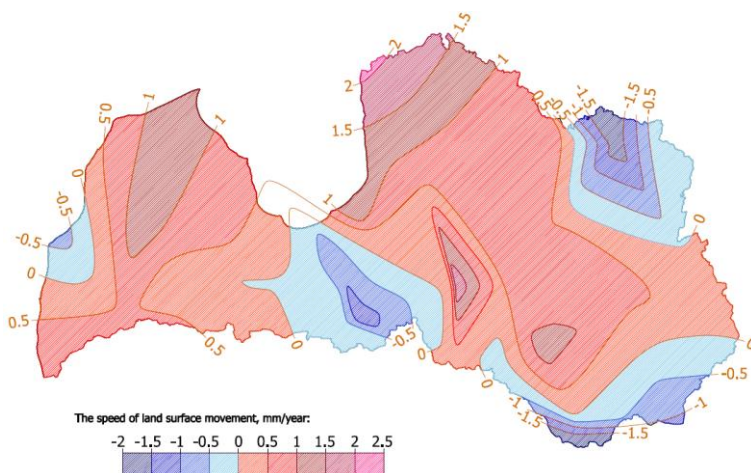
In the course of lengthy vertical movements of the Earth crust (epeirogenic movements) certain parts of the Earth surface are rising, while others are lowering. By very precise levelling such movements are possible to measure (Maldavs u.c., 1981). The vertical movements of the Earth crust affect the climate change as well (Kļaviņš u.c.2009).

Scandinavian and the Baltic countries are influenced by the the effect of the rising of the Earth crust or Fenoscandia effect, caused by the Ice age. The Fenoscandia rising of the earth surface has been known for several centuries (Kowalczyk, 2006) (Пробокс, Ходченков, 1989).

In Latvia the vertical movements of the Earth crust and their impact on the precision of the levelling results for the first time were researched by Dr.Jānis Bīķis. He wrote the work "The impact of the Earth crust movements on surveying in Latvia and the rest of the Baltic coast" (Bīķis, 1940) (Freijs, Jakubovskis, 1976).

The research of the vertical movements of the Earth crust in the territory of Latvia were carried out by I.Lesis, G. Želnins, Ē. Indriksons (Индриксон и. др., 1976), O. Jakubovskis, M. Kronbergs (Кронберг, Якубовский, 1972), J.Randjarvs (Jūri Jandjarv) has paid great attention to the research of the vertical movements of the Earth crust by reserching the existing movements in the Baltic region in general (Randjarv, 1993). Researches of the vertical movements of the Earth have been carried out by J Agrens and other scientists (Agren,Svensson, 2007) (Puziene, 2011) (Lidberg et al., 2009).

The vertical movements of the Earth have also been carried out by the author (Целмс и. др., 2007) of the Doctoral Thesis. Using the materials of the precise levelling during the time periods 1929. - 1939; 1967 - 1974; 2000 - 2010 S.Brahmane, the Master of Science of the department of Land management and geodesy, under the supervision of A.Celms, created the model of the vertical movements of the Earth crust in, the territory of Latvia, which is highly important at present (Brahmane, 2013) (Figure 4.2.).



Source; created by the author

Fig. 4.2. The vertical movements of the Earth crust over a period of one year.

To make the model of the vertical movements of the Earth crust more precise, to increase the credibility and to evaluate the dynamics, the author of the Doctoral Thesis proposes to realize the 1class levelling campaign in Latvia, starting from the year 2020.

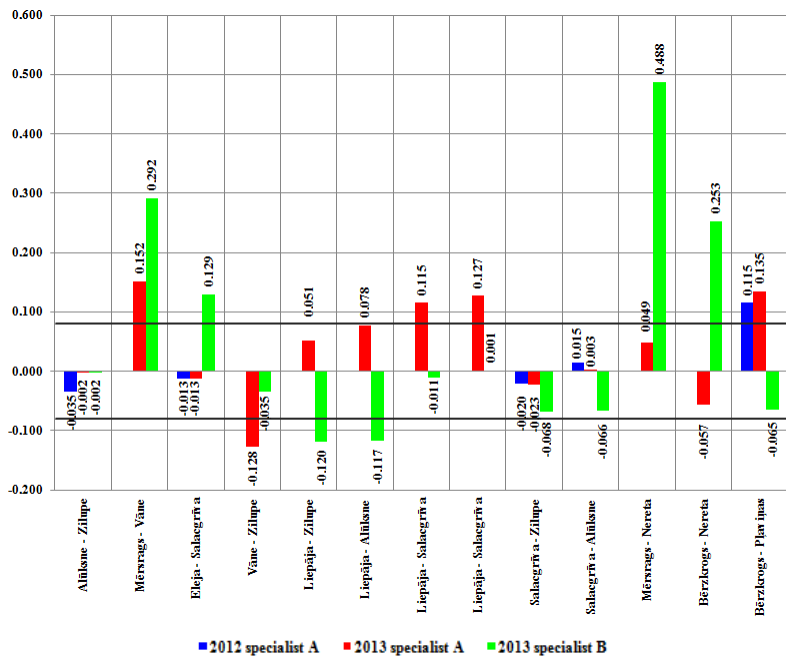
In the course of the preparation of the Doctoral Thesis **GNSS measurements were planned and carried out in the state geodetic network.** The main aim of the measures was to analyze the impact of the vertical movements of the Earth crust on the stability of the existing height system. Two ground benchmarks, located in the focal points of the levelling network, were chosen for the GNSS measurements.

GNSS measurements were performed two times a year-on December 14, 2012 and November 22, 201. In all the selected points the measurements were performed at the same time in one session at the time from 10-14.

The height differences, obtained in the GNSS measurements, were taken as the base values (standart) and the height difference values, obtained in GNSS measurements, were compared to them. The programme BERNESE 5.0 in cooperation with the representatives of RTU and LU was used to process the GNSS measurements. The GNSS measurements of the points were equalized in a common system, linking them with the points of the LatPos first order levelling network and with their observations over the same measurement period.

In the year 2013 to check the results the heights of the points (it means-also height difference) were calculated by two independent experts (A and B), using the same software and the same reference data.

The calculated height differences have been obtained by subtracting the height differences, calculated by a certain method of geometrical levelling, from the height difference, obtained in the result of GNSS measurements, presented in the Figure 4.3. In the calculations of expert A two values of the height difference differ from the height differences of 1 class levelling by 8 cm. While in the calculations of expert B six values of the height difference exceeded 8 cm. The other height differences separately fit in the limits of the precision of geoid model. However, as presented in the Figure 18, their differences to the 1 class levelling height differences are with opposite signs and are not equipollent. Only in the height differences on Alūksne-Zilupe; Vāne-Zilupe; Salacgrīva – Alūksne and Salacgrīva – Zilupe their values fit in the limits of the precision of the geoid model.



Source: created by the author

Fig. 4.3. The comparison of GNSS measurements with the results of the class 1 levelling.

In the comparison of the measurements the accepted standards of the height differences of the 1 class levelling have to be considered to be relative. Thus, to obtain more precise basis of comparison and evaluation, a performance of a new cycle of levelling and repeated GNSS campaigns are needed the

results of which would show the real situation of the hight difference and the dynamics of the changes as well as the achieved criteria of precision.

4.4. The justification of the structure and methodology of the change of the hight system

According to the ideas discussed above, the process of creating the hight system take a long period of time. During that time a large amount of information must be obtained and big amount of works must be carried out. The world experience shows that to obtain high quality and credible data which may be used to update the new or the existing hight system it takes at least 10 years (Грушин и. др., 1972). The mentioned time periods demand big use of resources. Any attempts to arrange the hight system change without acquiring adequate amount of information may be considered as the imitations of the changes, having no relation to the improvement of the system itself.

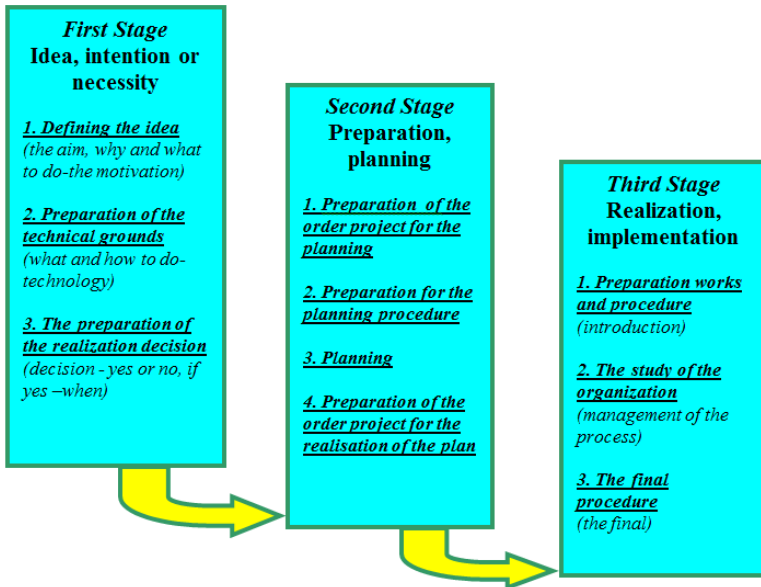
According to the origins of the initiatives of the changes different models of activities may be used to realize them. They may be various, related to the time of the realisation of the initiative of the changes, the topicality of the initiative, the political situation in the state and the resources available or allocated. Regardless the potential variety, for all the models of activities one requirement is set – the safety of the realisation (in a sense of convincing argumentation of the initiative, the adequate offer of the model of the activities and the planning and performance of the realisation process) in the context of the adequate use of state resources and the interests of the citizens.

To provide such guarentees, it is possible to rely on a classic model of performance, approbated in the big industrial systems. Depending on the sources of the initiatives and other factors, the performance model may be adjusted, adapted to specific needs, however, it is advised to keep to the model, as much it is possible in a specific case, not forgetting about the basic regulations and positions it involves.

The classic model of performance basically consists of the following three positions (Figure 4.4.).

1. The idea, the necessity.
2. The preparation, the planning.
3. The realisation, implementation.

Each stage of the performance, its high quality performance is of high importance to achieve the main task-not to allow unadequate and bad quality realisation of the activities. To avoid timely the potential losses/the possibility of problems arising in the realisation process of the system change and its results.



Source: created by the author

Fig. 4.4. The model of performance and the content of its positions.

CONCLUSIONS

1. The analysis of the results of the precise levelling, previously performed in Latvia, indicate that they have been performed according to the requirements of the functionality and precision of the preparation time period and nowadays they are still important in the research of the geodynamic processes of the Earth crust.
2. Kilometric standart deviation $S=0.785$ mm/km of the reconstructed levelling first order network has been calculated with corelate and parametric method which completely complies with the requirements of the formation of the state 1 class levelling.
3. The precision of the focal points of the reconstructed levelling network has been calculated in reference to the fundamental century benchmark fr 002 in Sloka. It is 8.4 mm in west direction 9.2 mm in east direction to the most distant points, which indicate the present precision restrictions of the preparation of the geodic modeli n the territory of Latvia.
4. A new model of vertical movements of the Earth crust in the territory of Latvia has been created, the precision of which is based on the performed levelling results and provides the ground for the further improvement of the precision of levelling works.
5. To improve the levelling technology a new geodetic invention-an auxiliary device and related method of reading the precise levelling rod in long distance has been created and registered with the patent Nr.14529.
6. To improve the levelling technology research cycles have been done for GNSS measurements in state levelling network with the aim to research the possibilities to obtain precise hight difference in long distances to apply them in the monitoring of State hight system.
7. For the further improvements of levelling methods the analysis of precision of different levelling methods over large reservoirs has been carried out. The evaluation of the precision of the applied methods has been obtained and the proposals for the application have been prepared.
8. Technical and managerial proposals for the future development of the state hight system and the realisation of different changes have been prepared.

PROPOSALS

1. To increase the precision of levelling over large water obstacles the author of the doctoral thesis proposes to use an auxiliary device and the method related to its application when reading the precise levelling staff in long distance.
2. To minimize systematic impacts in the levelling process in the time period between the station readings when the back bar is transferred to the next pin, the front bar has to be removed from the pin, placing it back before the measurements.
3. To maintain and enable monitoring of the stability of the fundamental century benchmark fr 002 it is advisable to establish additional fundamental ground signs in its direct vicinity thus creating a regularly maintained and credible control system which gives confidence about the stability of the reference point of height system of Latvia.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA/BIBLIOGRAPHY

1. Adam J., Augath F., Brouwer A. A. (2000) Status and Development of the European Height Systems. **In:** *IAG Symposia, 2000*, Vol. 121, Geodesy beyond year 2000. Springer: Berlin Heidelberg, p. 55-60
2. Agren J., Svensson R. (2007) *Postglacial Land Uplift Model and System Definition for the New Swedish Height System RH 2000*. Reports in Geodesy and Geographical Information Systems 2007:4. Gavle. 122 p.
3. Biķis J. (1940) Zemes garozas kustību ietekme precīzās līmetņošanas darbos Baltijas jūras piekrastē. **No:** *Latvijas Universitātes Raksti*, sēr. II, Nr. 6, p. 201.
4. Brahmane S. (2013) *Zemes garozas vertikālo kustību noteikšana*. Jelgava. 68 lpp.
5. Celms A. (2000) *Precīzās nivelēšanas darbi Dienvidkurzemē*. Jelgava. 81 lpp.
6. Celms A., Helfriča B., Kronbergs M. (2002) First order Levelling in Latvia in 2000 and 2001. **In:** *BALTIC SURVEYING '02. International Scientific-Methodical Conference: Proceedings*. 9-10 May, 2002. Jelgava: LUA, p. 125-130.
7. Celms A., Kronbergs M., Cintina V., Baumanė V. (2013) (a) Precision of Latvia Leveling Network nodal point Height. **In:** *Civil Engineering '13: Proceedings of 4 th International Scientific Conference*. Jelgava, Latvia, 16-17 May, 2013. Volume 4, Part I, Jelgava, LLU, p. 310-317. ISSN 2255-7776
8. Dr. Seidlitz-Meyers hof. *Das General – Nivellement Livlands 1887*.
9. *Engineering and Design. Topographic Surveying* (1994). Departament of the Army. U.S. Army Corps of Engineers. Washington. 90 p.
10. Freijs V. (1958) *Novērojumu izlīdzināšana pēc vismazāko kvadrātu metodes*. Rīga. 110 lpp.
11. Freijs V., Jakubovskis O. (1976) Jāņa Biķa dzīve un darbība. **No:** *Latvijas Lauksaimniecības Akadēmijas raksti*, 98. sēj., 15.-27. lpp.
12. *I, II un III klases nivelēšanas instrukcija*. (2000). Rīga. 93 lpp.
13. *I, II, ja III klassi nivelleerimise eeskiri* (1994). Toravere. (Igaunijas nivelēšanas instrukcija).
14. Jakubovskis O., Kronbergs M., Helfriča B. (1994a) *Latvijas ģeodēziskā augstumu atbalsttīkla rekonstrukcijas projekts*. 1. nodalījums. Pastāvošā precīzā augstumu atbalsttīkla analīze un novērtējums. Jelgava.

15. Jakubovskis O., Kronbergs M., Helfriča B. (1994b) *Latvijas ģeodēziskā augstumu atbalstītāja rekonstrukcijas projekts*. 2. nodaļums. Nivelēšanas zīmju konstrukcijas. Jelgava
16. Jakubovskis O., Kronbergs M., Helfriča B. (1994c) *Latvijas ģeodēziskā augstumu atbalstītāja rekonstrukcijas projekts*. 3. nodaļums. Precīzās nivelēšanas metodika. Jelgava.
17. Kļaviņš M., Aigars J., Apsīte E., Bethers U., Bruņeniece I., Eberharts G., Ikaunieca A., Jansons V., Lapinskis J., Seņņikovs J., Sprinģe G. (2009) *Klimata mainība Latvijā: aktualitātes un piemērošanās pasākumi*. KALME. Valsts pētījumu programma Klimata izmaiņas ietekme uz Latvijas ūdeņu vidi. Rīga.
18. Kowalczyk K. (2006) New Model of the Vertical Crustal Movements in the Area of Poland. *Geodesy and Cartography*, 2006, Vol. 32, No. 4, p. 83-87.
19. *Latvijas ģeodēzisko zīmju albums* (2002) Latvijas Republikas Valsts zemes dienests. Rīga. 48 lpp.
20. *Latvijas PSR precīzā nivelēšana* (1941). Sastādītājs V. Salnājs. ZTK Zemes ierīcības un meliorācijas pārvaldes Zemes ierīcības daļas izdevums. Rīga.
21. Latvijas Republikas Patentu valdē apstiprināts Patents Nr. 14529 “*Palīgierīce un paņēmieni precīzās nivelēšanas svītru latus nolaišanai lielā attālumā*” (2012). A.Celms. M.Kronbergs. 20.05.2012. Patenti un Preču Zīmes, Nr. 12, 2012 [tiešsaiste] [skatīts 2014.gada 18. marts]. Pieejams:
<http://www.lrpv.gov.lv/sites/default/files/media/vestnesis/20120520.pdf>
22. Lidberg M., Johansson J. M., Scherneck H. G. (2009) The search for the true crustal deformations in Fennoscandia from BIFROST. Workshop: *DynaQlim/GGOSU Understanding Glacial Isostatic Adjustment*. Espoo, Finland, June 23-26, 2009.
23. Maldavs Z., Melluma A., Seile A. (1981) *Ģeomorfoloģijas pamati*. Rīga: Zvaigzne. 207 lpp.
24. *Precise Levelling in Latvia. National Height System of Latvia*. (1998) Control and Evaluation of Existing Height Systems. Final Report. Prepared by Kampsax Geoplan Denmark and Geoplan Ltd. Latvia. Riga 39 p.
25. Purvnieks A. A. (1964) *III un IV klases nivelēšana meliorācijas vajadzībām Sausnējas apvidū*. Jelgava, 119 lpp.

26. Puziene R. (2011) Impact of Vertical Ground Movements on Accuracy of Reference Geodetic Leveling Network. **In:** *8th International Conference Environmental Engineering*, May 19-20, 2011. Vilnius, p. 1440-1447.
27. Randjarv J. (1993) *Vertical Movements of the Earth's Crust in the Baltic Region*. Reports of the Finnish Geodetic Institute 93:2. Helsinki. 33 p.
28. Silabriedis G. (2010) Rīgas ģeodēziskā vertikālā tīkla vēsture un nākotne. **In:** *Scientific Journal of Riga Technical University Geomatics*, Vol. 7, p. 14-26.
29. *Ведомость реперов, расположенных в проектированных границах города Риги по нивелировкам, произведенной в 1904–1906 годах* (1909). Рига. 20 с.
30. Видуев Н. Г., Ракитов Д. И. (1961) *Специальные нивелирные работы*. Киев Гос. Издат. литературы по строительству и архитектуре уССР. 310 с.
31. Грушин А. С., Платов И. И., Литвинов Б. А. (1972) *Общие сведения о геодезических сетях*. Военно – Инженерная Академия имени В. В. Куйбышева. Москва. 264 с.
32. Звонов В. И. (1952) О точности нивелиров I класса. *Труды ЦНИИГАиК*, вып. 87, Москва.
33. Звонов В. И. (1952) О точности нивелиров I класса. *Труды ЦНИИГАиК*, вып. 87, Москва.
34. *Изучение современных движений Прибалтики* (1981). Академия наук Эстонской ССР. 101 с.
35. Инданс А. П., Ковалевский М. И., Спрингис Е. Н. (1960) Неотектонические движения на примере Латвийской ССР. **В кн.:** *Материалы совещания по вопросам неотектонических движений прибалтике*. Таллин, 24-26 марта. Тарту, с. 96-105.
36. Индриксон Э. К., Фрейс В. Э. (1976) *Исследование вертикальных движений земной поверхности в Латвии*. Елгава. 27 с.
37. *Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов* (2003). Федеральная служба геодезии и картографии России. Москва. 134 с.
38. Кашин Л. А. (1979) Нивелирная сеть СССР. **В кн.:** *О нивелирной сети СССР*. Москва, с. 4-48.
39. Кронберг М. (1976) Исследование влияния длины визирного луча на точность нивелирования. **В кн.:** *Труды Латвийской сельскохозяйственной академии*, вып. 98.

40. Кронберг М. А., Якубовский О. В. (1972) Нивелирование опытной трассы Плявинского геодинимического полигона. **В кн.: Труды по геодезии VI.** Вильнюс, с. 66-74.
41. Крупен Р. (1973) Анализ влияния сокращения визирного луча на точность нивелирования. **В кн.: Вопросы проектирования и эксплуатации зданий и сооружений**, Вып. I, Рига, с. 24-31.
42. Крупен Р. (1978) Корреляция разностей превышений секций нивелировок I класса. **В кн.: Геодезия и аерофотосъемка**, Вып. 6, с. 156-182.
43. Пробокс Я., Ходченков В. (1989) Вертикальные движения поверхности земли в городе Риге по данным геодезических наблюдений. Труды Латвийской сельскохозяйственной академии, вып. 264.
44. Программа построения государственной нивелирной сети СССР I и II классов на 1976-1990 гг. (1977). Главное Управление Геодезии и Картографии при Совете Министров СССР. Москва. 26 с.
45. Столбов Ю. (1975) К вопросу о повышении устойчивости геодезических центров в районах распространения сезонной и вечной мерзлоты. *Научные труды ОмСХИ*, т. 132.
46. Торим А. А. (1972) Об устойчивости высотных знаков в условиях Эстонии. **В кн.: Труды по геодезии VI.** Вильнюс, с. 84-90.
47. Успенский М. С. (1968) Закрепление пунктов нивелирных сетей в зоне смыкания областей сезонного и многолетнего промерзания грунтов. **В кн.: Современные движения земной коры 3.** Москва, с. 129-136.
48. Целмс А., Хелфрича Б., Кронбергс М. (2007) Результаты нивелирования I класса в западной части Латвии. **In: BALTIC SURVEYING '07 International Scientific-methodical Conference: proceedings.** Kaunas, p.14-18.
49. Центры геодезических пунктов для территорий городов, поселков и промышленных площадок (1972). Главное управление геодезии и картографии., Москва: Изд-во "Недра". 20 с.