

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**Jānis ZVIRGZDS**

**RACIONĀLA LATPOS SISTĒMA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

**Rīga 2012**

# **RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Būvniecības fakultāte  
Transportbūvju institūts  
Ģeomātikas katedra

**Jānis Zvirgzds**

Būvniecības doktora programmas doktorants

## **RACIONĀLA LATPOS SISTĒMA**

### **Promocijas darba kopsavilkums**

Darba zinātniskais vadītājs

Dr.sc ing

**J. Lazdāns**

**Rīga 2012**

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

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

## Satura rādītājs

<b>DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS</b>	5
Tēmas aktualitāte	5
Darba mērķis	7
Darba zinātniskā novitāte	7
Darba praktiskā vērtība	8
Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes	8
Darba sastāvs un apjoms	9
Darba aprobācija un publikācijas	9
<b>DARBA SATURS</b>	10
Pirmā nodaļa	10
Otrā nodaļa	14
Trešā nodaļa	18
Ceturtnodaļa	25
<b>SECINĀJUMI</b>	29
<b>PUBLIKĀCIJU SARAKSTS</b>	30

## DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

### Tēmas aktualitāte

Informācijas, objektu koordinēšana vienotā telpā ir viens no aktuālākajiem procesiem sakarā ar dažādu informācijas sistēmu izveidošanu. Īpaši aktuāli tas ir vides un cilvēku radītu objektu dabā koordinēšana un attēlošana kartēs. Tam nepieciešama vienota koordinātu atskaites sistēma. To nosaka arī Eiropas direktīvas par telpas globalizāciju, vienotas atskaites telpas izveide – INSPIRE direktīva, (14.03.2007. direktīva 2007/2/EK) I pielikuma datu tēmas „Koordinātu atskaites sistēmas” datu nodrošināšana.

Koordinātu atskaites sistēmu dabā nodrošina ģeodēziskie tīkli, kas sastāv no ģeodēziskām zīmēm apvidū. Ģeodēziskās zīmes ir informācijas nesēji ilgām laika posmam. Latvijā ir saglabājušās ģeodēziskās zīmes no 19. gadsimta. Tās nodrošina vēsturisko sasaisti starp mūsdienām un agrākiem laikiem.

Tehnoloģiski ģeodēziskie tīkli tika veidoti no visaptverošiem, augstākas klases uz vietējiem, zemākas klases tīkliem. Tas rada situāciju, ka ne vienmēr zemākās klases tīkli savstarpēji ir savietoti un saskaņoti.

Divdesmitā gadsimta beigās – sešdesmito gadu beigās tika izveidota globāla sistēma, ar kuru iespējams noteikt koordinātas jebkurā zemeslodes vietā – globālā pozicionēšanas sistēma.

Latvijā globālo pozicionēšanu izmantoja ģeodēzisko tīklu atjaunošanai un Latvijas koordinātu sistēmas izveidei Latvijā – divdesmitā gadsimta deviņdesmitajos gados. Pielietojot šo tehnoloģiju tika ierīkots jauns ģeodēziskais tīkls, kas nodrošināja augstāku koordinātu precizitāti kā mantojumā no Padomju Savienības pārņemtie tīkli. Tika izveidots Valsts ģeodēziskais tīkls ar 4 klasēm – 0., 1., 2., 3.

Līdz šim mērījumi tika veikti ar tahimetriem un vismaz diviem globālas pozicionēšanas uztvērējiem, no kuriem vismaz viens atrodas uz ģeodēziskā punkta ar zināmām koordinātām. Katru instrumentu apkalpo ģeodēzists. Tahimetriskie mērījumi līdz objektam un objektā aizņem daudz laika resursu. Arī koordinātu noteikšana ar diviem globālās pozicionēšanas uztvērējiem nav pietiekoši operatīvi, lai, piemēram, veiktu zemes robežu momentānu izspraušanu dabā.

Attīstoties globālās pozicionēšanas sistēmas pielietojumiem un lietotāju skaitam pieaugot, lai nodrošinātu ātrāku un precīzāku darbu veikšanu radās

nepieciešamība izvietot bāzes stacijas visā Valsts teritorijā, kas nodrošinātu ātrāku koordinātu noteikšanu visā Latvijas teritorijā. Līdz ar to tika meklēts risinājums, lai Latvijā būtu iespējams izmantot globālās pozicionēšanas sistēmas, kas momentāni dod pāris centimetru koordinātu noteikšanu.

Promocijas darba autors veica pētījumi par GPS pielietošanu precīzajā ģeodēzijā – pasaulē un nacionālajā līmenī. Veikta izpēte par tehnoloģijām, kas dod iespēju veikt mērījumus ar centimetru precizitāti lielā teritorijā, piemēram, Latvijas Valsts teritorijā. Veicot literatūras izpēti, pieejamo informāciju, nolemts veidot nacionālo GPS bāzes staciju sistēmu ar datu apstrādes un izplatīšanas serveriem, kas nodrošina koordinātu noteikšanu ar centimetru precizitāti visā Latvijā, nodrošinot homogēnu koordinātu noteikšanu ar pēcapstrādi – klasiski un arī reālajā laikā, iegūstot momentānu rezultātu.

Izstrādājot GPS bāzes staciju sistēmu nacionālā līmenī, visai Latvijas Valsts teritorijai, nepieciešams izvērtēt:

- sistēmas tipa izvēle Latvijas apstākļiem, teritorijas īpatnībām;
- izstrādāt sistēmas analītisko modeli;
- Latvijas apstākļu izvērtēšana un optimālākās sistēmas izveide atbilstoši Latvijas teritorijai, pieejamiem resursiem.

GPS bāzes staciju sistēma ir uztvērēju kopums un datu apstrādes centrs, kas nodrošina datu apstrādi, uzkrāšanu un piegādi lietotājam. Datu piegāde notiek momentāni, izmantojot bezvadu tehnoloģijas.

Ātri un kvalitatīvi tiek iegūti mērniecības rezultāti, kas nepieciešami kadastrā, būvniecībā, kartogrāfijā. Attīstoties šīm tehnoloģijām, iespējams iegūt arvien augstākas precizitātes mērījumus jebkurā vietā. It īpaši tas nepieciešams vietās, kur ģeodēziskie tīkli nenodrošina pietiekošu pārklājumu.

Ļoti svarīgs process zinātnei ir veikt datu uzkrāšanu ilgā laika periodā un veikt zemes garozas kustību izpēti un radīt iespēju veikt prognozēšanu par zemes garozas kustību.

## **Darba mērķis**

Izveidot racionālu jaunākās paaudzes ģeodēzisko atbalsta, informācijas un komunikācijas sistēmu, izmantojot mūsdienu Globālās pozicionēšanas, informācijas un komunikācijas tehnoloģiju iespējas – GPS bāzes staciju sistēmu, to optimizējot Latvijas teritoriālajām īpatnībām, realizējot ekonomiski izdevīgāko sistēmas konfigurāciju, lai ar to varētu veikt mērījumus reālajā laikā, nodrošinot visā Latvijas teritorijā homogēnus ģeodēziskos mērījumus ar precizitāti 4 cm horizontālajā plaknē.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai noteikti šādi **uzdevumi**:

- apzināt GPS bāzes staciju tīklu attīstības tendences Eiropā un pasaulē;
- izstrādāt GPS bāzes staciju analītisko modeli
- optimizēt analītisko GPS bāzes staciju modeli Latvijas apstākļiem – staciju skaits, izvietojuma konfigurācija un citi parametri, ņemot vērā ģeogrāfiskās īpatnības un ekonomiskos aspektus;
- ierīkot optimizēto GPS bāzes staciju tīklu Latvijā;
- izpētīt uzstādītā GPS bāzes staciju tīkla darbības rezultātus - pārklājumu, darbības stabilitāti un precizitāti gan tīkla iekšpusē, gan ārpusē. Noskaidrot Latvijas ģeodēzisko tīklu un GPS bāzes staciju tīkla datus. Rast priekšlikumus par GPS bāzes staciju tīkla turpmāko attīstību un pilnveidošanu.

## **Darba zinātniskā novitāte**

- Izstrādāts Latvijas GPS bāzes staciju tīkla analītiskais modelis.
- Rasts optimālais GPS bāzes staciju tīkla ierīkošanas risinājums.
- Pamatojoties uz veiktajiem pētījumiem ierīkots GPS bāzes staciju tīkls „LatPos”.
- Veikti GPS bāzes staciju tīkla darbības pētījumi: tīkla darbības nepārtrauktība, ārējo apstākļu ietekme.
- Izstrādāti normatīvo aktu priekšlikumi LatPos iekļaušanai Valsts ģeodēziskajā tīklā, izmantošanas noteikumi un ieteikumi.

## **Darba praktiskā vērtība**

- Izstrādāta optimāla LatPos sistēma GPS mērīšanai, nodrošinot ģeodēzisko mērījumu veikšanu visā Latvijas teritorijā, it īpaši vietās, kur nav pieejams klasiskais ģeodēziskais tīkls.
- Radīta efektīva GPS iekārtu pielietošana Ģeodēzisko mērījumu veikšanai, samazinot darbu ilgumu vidēji četras reizes.
- Veikts pētījums par ģeodēziskās sistēmas uzturēšanas izmaksu samazinājumu.
- Izstrādāta un ieviesta ģeodēzisko mērījumu metodika, izmantojot LatPos tīklu. Veiktas lietotāju apmācības globālās pozicionēšanas sistēmas lietošanā un LatPos sistēmas lietošanā.

## **Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes**

1. LatPos sistēma visā Latvijas teritorijā uzlabo Ģeodēzisko mērījumu homogenitāti un precizitāti līdz 4 cm.
2. Ar racionālu LatPos sistēmu ģeodēzisko mērījumu vidējā ražība paaugstinās četras reizes.
3. Sasniegts ģeodēziskās atbalsta sistēmas uzturēšanas izmaksu pieckārtīgs samazinājums
4. LatPos sistēma ir plaša tautsaimniecības spektra darbu efektivitātes un ekonomijas paaugstināšanas instruments

## **Darba sastāvs un apjoms**

Promocijas darbs ir patstāvīgs zinātnisks pētījums un tas sastāv no ievada, 4 nodaļām, secinājumiem un bibliogrāfijas. Darba apjoms ir 169 lappuses, 118 attēli, 9 tabulas, 6 pielikumi un literatūras saraksts, kas satur 91 nosaukumus.

## Darba aprobācija un publikācijas

Promocijas darba rezultāti ziņoti un apspriesti starptautiskajās konferencēs:

- 2002.gada 4., 5. marts, 1. Starptautiskā konference Daudzfunkcionālas GNSS bāzes stacijas Eiropai, Berlīne,
- 2003. gada 10., 11. jūnijs, EUPOS ISC konference, Rīga,
- 2004. gada 23. janvāris, Baltijas ministru Ģeodēzijas, kartogrāfijas un zemes reformas komitejas konference, Carnikava,
- 2006.gada 10.februāris LU 64.konference, Rīga;
- 2007. gada 17., 21. septembris, EUPOS ISC konference, Viļņa,
- 2007. gads, 12.oktobrī, RTU 48.konference Rīga,
- 2007. gada oktobris, Viļņas tehniskās universitātes 6. starptautiskā konference, Viļņa,
- 2007.gads 31. oktobris, Starptautiskā Militāra konference, Rīga
- 2008. gada 10. februāris, LU 66. zinātniskā konference, Rīga,
- 2008. gada 22., 23. maijs, Viļņas tehniskās universitātes 7. starptautiskā zinātniskā konference, Viļņa,
- 2008. gads 10. - 12. septembris, Baltijas – Šveices ģeodēzijas zinātnes konference, Tallina,
- 2008. gada 24.- 26. septembris, EUPOS ISC konference, Berlīne,
- 2008. gada 13. oktobris, RTU 49. zinātniskā konference, Rīga,
- 2009. gads 12. februāris, LU 67. zinātniskā konference, Rīga,
- 2009. gada 28., 29. aprīlis EUPOS ISC konference, Tallina,
- 2009. gads maijs, Apvienoto nāciju konference, Baku,
- 2009.gada 1. decembris, GNSS starptautiskā konference, Berlīne;
- 2010. gada 19. februāris LU 68. zinātniskā konference, Rīga,
- 2010. gada 16. – 22.maijs Apvienoto Nāciju konference, Kišiņevā,
- 2010.gada 26. – 30. maijs EUPOS ISC konference, Novi Sad,
- 2010.gada 2.-5.jūnijs EUREF starptautiskā konference, Gavle,
- 2010. gada 25. – 28. oktobris, EUPOS ISC konference, Varšava,
- 2010. gada 23. septembris – 2. oktobris Apvienoto Nāciju konference „GNSS pielietojumu cilvēka atbalstam un attīstībai,, un 61. Starptautiskais Astronautikas Kongress, Prāga.

- 2011.gada 15. – 21.janvāris, Apvienotās Nācijas/Apvienotie Arābu Emirāti/ASV/Eiropas Kosmosa Aģentūra darba sanāksme „Globālās Navigācijas Satelītu Sistēmu pielietojumi”,
- 2011.gada 13. – 16. aprīlis, EUPOS ISC konference, Budapešta,
- 2011.gada 10.-11. oktobris Starptautiskā GNSS, kosmosā un zemes atbalsta sistēmas un pielietojumi, Berlīne,
- 2011. gada 12. – 13. oktobris EUPOS ISC konference, Berlīne,

Galvenie darba rezultāti sniegti 8 publikācijās.

Darbs veikts Rīgas Tehniskās universitātes Ģeomātikas katedrā, Latvijas Valsts Zemes Dienestā, Latvijas Ģeotelpiskajā informācijas aģentūra no 2001. gada līdz 2010. gadam.

## **DARBA SATURS**

**Ievads.** Promocijas darba ievadā ir apskatīti ģeodēziskās mērīšanas tradicionālās metodes un tehnoloģiju attīstības virzieni. Ņemot vērā tehnoloģiju attīstību un nepieciešamību pielietot ģeodēziskajos mērījumos jaunākās tehnoloģijas, paaugstinot darba ražīgumu un mērījumu precizitāti ir formulēts promocijas darba mērķis un sasniedzamie uzdevumi, zinātniskā un praktiskā nozīme.

**Pirmā nodaļā** apskatīti globālās pozicionēšanas darbības principi un ģeodēzisko mērījumu precizitātes ietekmējošie faktori:

- Satelītu sistēmas uzbūves signāla aizkavēšanās,
- Satelītu pulksteņu neprecizitāte,
- Satelīta orbītas neprecizitātes,
- Satelīta antenas pieļautās kļūdas un nepareiza noraidīšana,
- Zemeslodes atmosfēras daļa – Jonosfēra,
- Zemes atmosfēras daļa – Troposfēra,
- Atstarotie GPS signāli no apkārtējiem objektiem antenas tuvumā – „multipath”,
- GPS uztverošās antenas radītās kļūdas,
- Uztvērēja pulksteņa precizitāte,
- Uztvērēja sistēmas daļu aizture.

Galvenās problēmas ir šo visu nenoteikto kļūdu novēršana vai samazināšana, iegūstot maksimāli nekropļotu signālu. Latvijā pielieto globālās pozicionēšanas metodi – novietojot izejas bāzes staciju uz ģeodēziskā punkta un samazinot iepriekšminētās kļūdas. Šāda veida mērīšana tiek veikta Latvijā jau kopš deviņdesmito gadu sākuma, kad uzsākta globālās pozicionēšanas sistēmas pielietošana Latvijas teritorijā, gan ģeodēziskā tīkla izveidei, gan pielietojot pašu objektu uzmērīšanai.

1. tabula

Kļūdu avotu lielumi

Kļūdas avots	Absolūtā ietekme
Satelītu orbītas	2 līdz 50 metri
Satelīta pulkstenis	2 līdz 100 metri
Jonosfēras ietekme	0,5 līdz un vairāk par 100 metriem
Troposfēras ietekme	0,01 līdz 0,5 metriem
Signāla koda atstarošanās efekts	Ietekme metros
Signāla fāzes atstarošanās efekts	Ietekme milimetros, centimetros
Antenas uztveršanas kļūdas	Ietekme milimetros, centimetros

Kopumā visas kļūdas rada no 5 līdz 20 metriem. Tātad labākajos apstākļos, mērījuma precizitāte vienam uztvērējam var būt no 5 metriem līdz 20 metriem.

Pielietojot vismaz divu globālās pozicionēšanas sistēmu uztvērējus, samazinot kļūdu ietekmes paliek šādas problēmas, kas pielietojot šo moderno tehnoloģiju nav iespējams izslēgt:

- Darbam nepieciešami vismaz divi globālās pozicionēšanas uztvērēji, kas izmaksā salīdzinoši dārgi,
- Darbu jāveic vismaz diviem cilvēkiem, viens pie uzmērāmā punkta, otrs pie bāzes stacijas uz valsts ģeodēziskā punkta,
- Nepieciešams uzkrāt mērījumu datus un datu apstrādi iespējams veikt tikai birojā – tikai ar pēcapstrādi,
- Mērījumi no ģeodēziskā punkta ir ierobežoti – attālinoties tālāk par 10 kilometriem no bāzes punkta pasliktinās mērījuma precizitāte un netiek nodrošināta nepieciešamā datu kvalitāte,
- Mērījuma sesija ir atkarīga no sasniedzamās precizitātes.

Pozīcijas aprēķināšana no labotajiem mērījumiem var būt šāda:

- 1) kodu labošana (DGNSS)
- 2) nesējfāzes labošana (RTK) – nezināmo noteikšana.

Precīzajiem pēcapstrādes aprēķiniem vēl papildus pielieto dažādus papildus datus. Tie var saturēt jonosfēras modeļus, precīzās orbītas satelītiem, virsmas modeļus un citus.

Kļūdu avoti veicot aprēķinus:

Satelīta pulksteņa kļūda  $\epsilon_S$

Satelīta orbītas kļūda  $\epsilon_B$

Jonosfēras kļūda  $\epsilon_I$

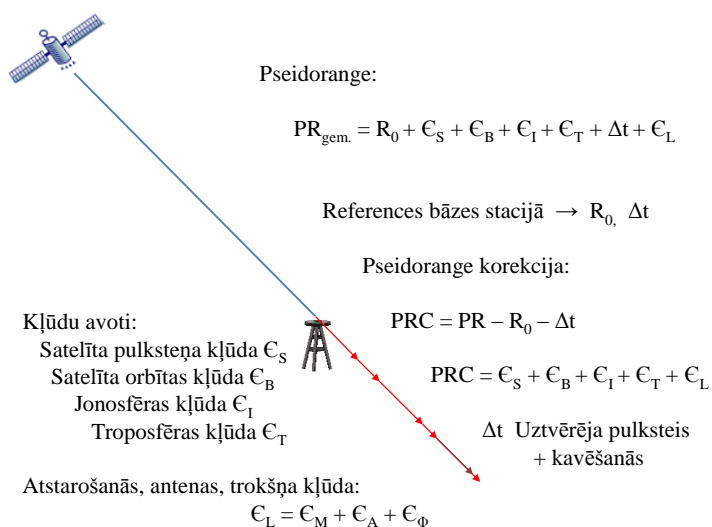
Troposfēras kļūda  $\epsilon_T$

Atstarošanās, antenas un trokšņa kļūda  $\epsilon_L = \epsilon_M + \epsilon_A + \epsilon_\Phi$

Uztvērēja pulksteņa kļūda  $\Delta t$

Kopējo kļūdu aprakstīs šāda formula:

$$PR_{gem} = R_0 + \epsilon_S + \epsilon_B + \epsilon_I + \epsilon_T + \Delta t + \epsilon_L \quad (1.)$$



### 1. att. Kopējās kļūdas formēšanās

Pozicionēšana ar vienu vai vairākiem uztvērējiem var tikt veikta ar vairākos veidos:

- korekciju pielietošana (koda un nesējfāzes) uztvērējā uz vietas laukā, kas noteiktas references bāzes stacijā un pa datu pārraides kanālu noraidītas uz uztvērēju, kas atrodas uzmērāmajamā punktā;

- bāzes līnijas procesēšana ar izejas datiem (kodu un nesējfāzes) lietojot datu apstrādes programmatūru.

Visas procesēšanas stratēģijas dod līdzīgus rezultātus, veicot zināmo kļūdu izslēgšanu no mērījumu datiem.

Summējot visas ietekmes un aplūkojot 2. tabulā, atkarībā no attāluma līdz bāzes stacijai.

2. tabula

#### Kļūdu lielumi

Kļūdas avots	Absolūtā ietekme	Relatīvā ietekme
Satelīta orbīta	2 līdz 50 metri	0,1 līdz 2 ppm
Satelīta pulksteņa kļūda	2 līdz 100 metri	0 ppm
Jonosfēras ietekme	0,5 līdz 100 metriem un vairāk	1 līdz 50 ppm
Troposfēra	0,001 līdz 0,5 metriem	0 līdz 3 ppm
Atstarošanās ietekme kods	metros	Metros
Atstarošanās fāzes ieteme	Milimetri, centimetri	Milimetri, centimetri
Antenas kļūdas	Milimetri, centimetri	Milimetri, centimetri

Kopējā kļūdu summa, kas paliek neatrisināta ir 1 līdz 2 centimetri + 1...20 ppm. Kļūdu novēršanas uzlabošana panākama ar GPS bāzes staciju tīkliem.

Attīstoties tehnoloģijām, jau deviņdesmito gadu vidū tiek pielietotas satelītu tehnoloģijas – Globālās pozicionēšanas sistēmas. Latvijā 1992.gadā tiek veikti mērījumi ar pēcapstrādi, lai koordinētu nultās klases punktus. Pēcapstrādes mērījumos nepieciešams uzkrāt datus divdesmit minūšu garumā un ofisā veikt datu pēcapstrādi. Tas aizņem daudz laika, nav iespējams iegūt koordinātu mērījumu precizitāti.

ASV jau 1992.gadā tiek veidots GPS bāzes staciju tīkls, kas nodrošina mērījumus reālajā laikā. Lielākais pieprasījums ir lauksaimniecības mašīnu vadība, jo lauki ir lieli un šoferis nevar veikt vienmērīgu traktora vadību. Līdz ar to sākas GPS bāzes staciju sistēmas veidošanas, kas nodrošina korekciju noraidīšanu tieši lietotājam.

Korekciju nosūtīšana notiek, izmantojot noteikta veida ziņojumu – RTCM 3.1. Real Time Correction Message.

GPS bāzes staciju sistēma datus uzkrāj un apstrādā. Lai lietotājs varētu izmantot apstrādātos datus, nepieciešams tos piegādāt lietotājam uz lauka. Datu pārraide var notikt pa radioviļņiem, no raidītāja vai datu pārraide pa internetu un mobilo telefonu tīklu

Pēc apstrādes datu saņemšana iespējama pa internetu. Tas nodrošina datu pieejamību jebkurā laikā.

Dažādu veida datu pārraides:

- Jūras bākas – pārraide pa radioviļņiem. Bāzes stacijas gar jūras krastiem,
- EGNOS sistēma – pārraide caur satelītu sistēmām, bāzes visā Eiropā,
- Lokālu bāzes staciju sistēma – caur mobilajiem sakariem.

Dažādu veidu kļūdu interpolācijas un aprēķinu metodes:

- FKP – lineāras kļūdas parēķināšana noteiktam apgabalam,
- VRS – virtuālas bāzes stacijas datu ģenerēšana tuvu pie uzmērāmā punkta,
- MAC – galvenā bāzes stacija un palīgstacijas,
- SPR – vispatverošas korekcijas parametrs.

Aplūkojot citu valstu pieredzi precīzajā ģeodēzijā, tiek secināts, ka visizdevīgākais ir bāzes staciju izvietošana Latvijas teritorijā.

**Otrā nodaļā** tiek aplūkotas izveidojamās sistēmas prasības un iespējas tās nodrošināt. Šajā nodaļā aplūkotas prasības, kādas jānodrošina izveidojamai sistēmai pamatojoties uz jomām, kur tā tiks pielietota.

Uzstādot nākošās paaudzes sistēmai tādus pašus uzdevumus kā klasiskajam ģeodēziskajam tīklam, var definēt šo sistēmu.

Nākošās paaudzes sistēmai jānodrošina 24 stundu darbība visā Latvijas teritorijā, jābūt ar augstu drošības pakāpi – precīzai un ar jaunāko ģeodēzisko informāciju, pieejamai visā Latvijas teritorijā. Tā kā plānots, ka sistēma aizstās visus ģeodēziskos tīklus un nodrošinās mērījumus jebkurā Latvijas teritorijā, tad jāņem vērā ģeodēzisko tīklu nodrošinātās precizitātes. Uzstādījumi jāņem vērā arī no spēkā esošajiem normatīvajiem aktiem. Viens no tiem ir Ministru kabineta 2007.gada 20.marta noteikumi Nr.182 „Noteikumi par nekustamā īpašuma objekta noteikšanu”. Šo noteikumu 3.pielikumā noteiktas precizitātes, ar kurām ir jāveic objektu un robežu uzmērīšana. Ievērosim tikai augstākās prasības, kas jānodrošina sistēmai. Jāņem vērā,

ka mērīšanas precizitāte noteikta pret kādu noteiktu ģeodēziskā tīkla punktu vai arī uzmērīšanas tīkla punktu. Tas nozīmē, ka precizitātes rādītājs vispārējā telpā ir daudz sliktāks. Pielietojot GPS bāzes staciju sistēmu, mērījuma precizitāte var jau tik skaitīta attiecībā pret augstākas klases ģeodēzisko tīklu. Bāzes staciju sistēma tiks uzskatīta par 1. klases ģeodēzisko tīklu.

3.tabula

Precizitātes kategorijas

Precizitātes kategorija	Zemes īpašuma atrašanās vieta	Pieļaujamās vid. kv. kļūdas pa koordinātu asīm (m)		
		uzmērīšanas tīkla punkti	robežpunkti	asi izteikti dabīgo robežu pagriezieni
1	Pilsēta	0.05	0.03	0.2
2	Ciems, vasarnīcu un dārzkopības apbūves teritorija	0.07	0.05	0.3
3	Lauku apvidus	0.15	0.10	0.5

Saskaņā ar tabulu 3. augstākā precizitāte ir trīs centimetri. Tas nozīmē, ka GPS sistēma, vietās, kur ir laba satelītu redzamība, nepieciešams nodrošināt vietējo tīklu un poligonometrijas funkcijas - dot iespēju noteikti koordinātas ar divu centimetru mērījumu precizitāti jebkurā Latvijas vietā.

Sistēmas darbība jānodrošina vismaz 99% no visa laika. Var ņemt vērā, ka sistēmas pielietošana diennakts tumšajā laikā ir daudz mazāka, sakarā ar apgrūtināto mērījumu veikšanu laukā.

Pēcapstrādes dati jānodrošina 100% apjomā. Sistēma jānodrošina ar nepārtrauktiem barošanas avotiem, kas nodrošina bāzes staciju nepārtrauktu darbību.

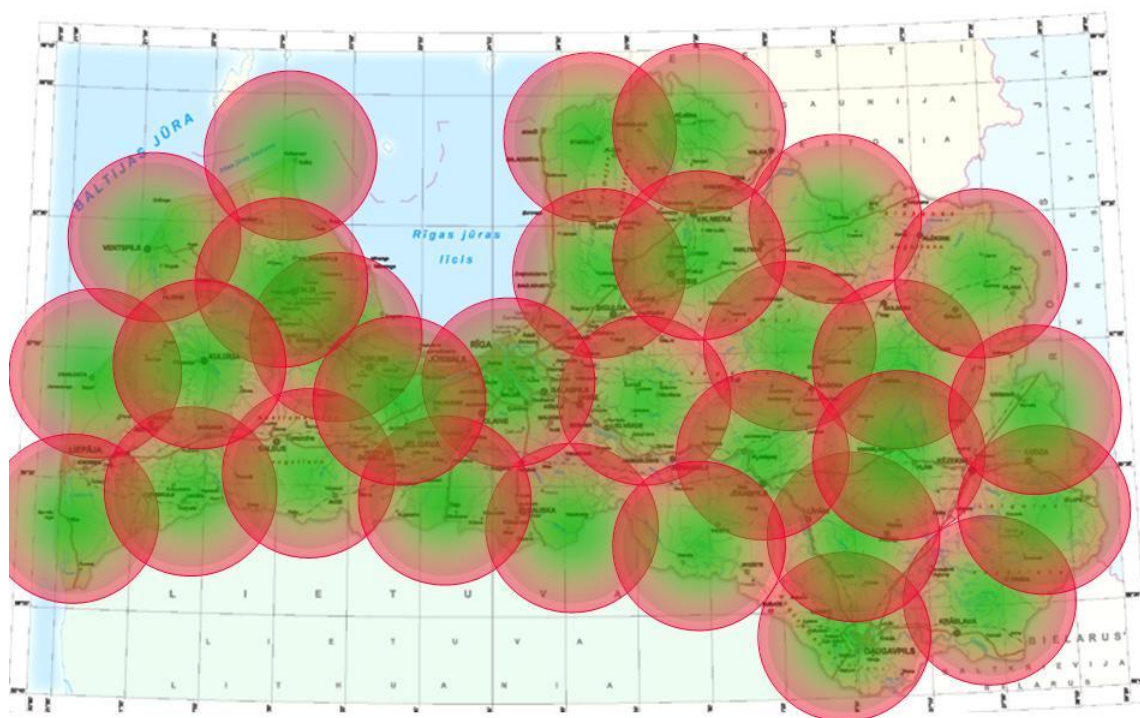
Papildus, uzkrājot datus par ilgāku laika periodu, iespējams veikt izpēti par koordinātu izmaiņām laikā, kas nav iespējams klasiskajam ģeodēziskajam tīklam. Lai noteikti koordinātu izmaiņas laikā klasiskajam ģeodēziskajam tīklam, nepieciešams veikt to koordinātu pārmērīšanu. Jaunās paaudzes sistēmai tas iespējams uzreiz, jo dati tiek uzkrāti nepārtraukti un par visu periodu, kas arī dod iespēju veikt aprēķinus par ilgāku laika periodu un veikt salīdzināšanu

Ievērojot iepriekš veikto izpēti par GPS bāzes stacijām un to sistēmām, tās atbilst mūsdienu ģeodēziskās sistēmas prasībām, nodrošinot visas uzstādītās prasības.

Bāzes staciju izvietojums.

Korekcijas precīzai aprēķināšanai ir attālums starp bāzes stacijām ne lielāks kā 70 kilometri, izvietojums vienmērīgs un bāzes staciju atrašanās pie robežas. Šāds izvietojums nodrošinātu mērījumu veikšanu ar precizitāti līdz 5 centimetri. Arī mērījumi uz robežas tiktu veikti ar augstu precizitāti, jo bāzes stacijas atrodas ne tālāk kā 30 kilometri no robežas, kas nodrošina, ka bāzes līnija nav lielāka par 30 kilometriem un tiek sasniegta maksimāli iespējamā precizitāte arī ārpus tīkla robežām.

Bāzes staciju izvietojums ir būtisks, lai sistēma būtu homogēna un ģenerētu korekcijas ar vienmērīgi visā sistēmas darbības pārklātajā laukumā, tas ir visā Latvijas teritorijā. Vienmērīgs izvietojums nodrošina vienmērīgu interpolāciju starp dažādām bāzes stacijām. Izmantojot interpolāciju un citu kļūdas avotu radīto mērījumu neprecizitāšu izslēgšanu, tiek sasniegts nepieciešamais rezultāts.



## 2. att. Bāzes staciju analītiskais izvietojums

Lietotājam atrodies tuvāk bāzes stacijai, iespējams iegūt precīzākus mērījumus. Toties tas nav ekonomiski izdevīgi, izvietot bezgalīgi lielu daudzumu valstī ar bāzes stacijām. Nepieciešams izvēlēties maksimālo attālumu starp bāzēm tā, lai mērījumi

būtu ar nepieciešamo precizitāti. Tas nozīmē, ka pilsētās būtu nepieciešams lielāks bāzu skaits uz laukuma vienību ne kā lauku rajonos.

Saskaņā ar GPS bāzes staciju izvietojuma nosacījumiem starp bāzes stacijām nepieciešams attālums ir līdz 70 kilometriem. Pieļaujams atsevišķās vietās līdz 100 kilometriem.

Ņemot vērā Latvijas teritorijas īpatnības, attālumu starp bāzes stacijām 70 km, iegūst sekojošu analītisko izvietojumu 2. attēlā. Tomēr jāņem vērā citi aspekti, kas ietekmē bāzes staciju izvietojumu. Tātad jāņem vērā vēl šādi nosacījumi, lai atrisinātu un izveidotu sistēmu, kas:

- ekonomiski izdevīgākā;

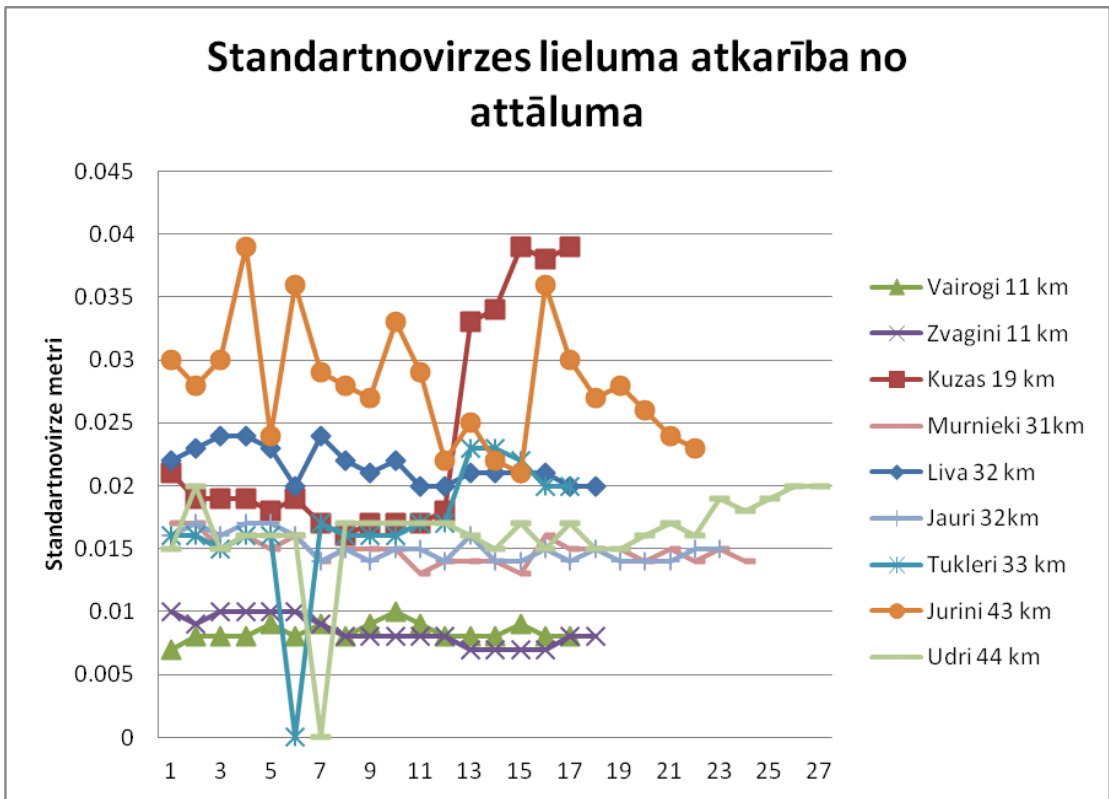
- bāzes staciju skaits minimālais, ar ko var iegūt nepieciešamo precizitāti;

Globālās pozicionēšanas mērījumi ir atkarīgi no apkārtējās vides. Tas nozīmē, ka ņemot vērā globālās pozicionēšanas mērījumu veikšanas pieredzi citās valstīs un pasaulē, kas minēta iepriekšējā nodaļā, nepieciešams veikt mērījumus Latvijas apstākļos un rast nosacījumus precīzāko mērījumu veikšanai.

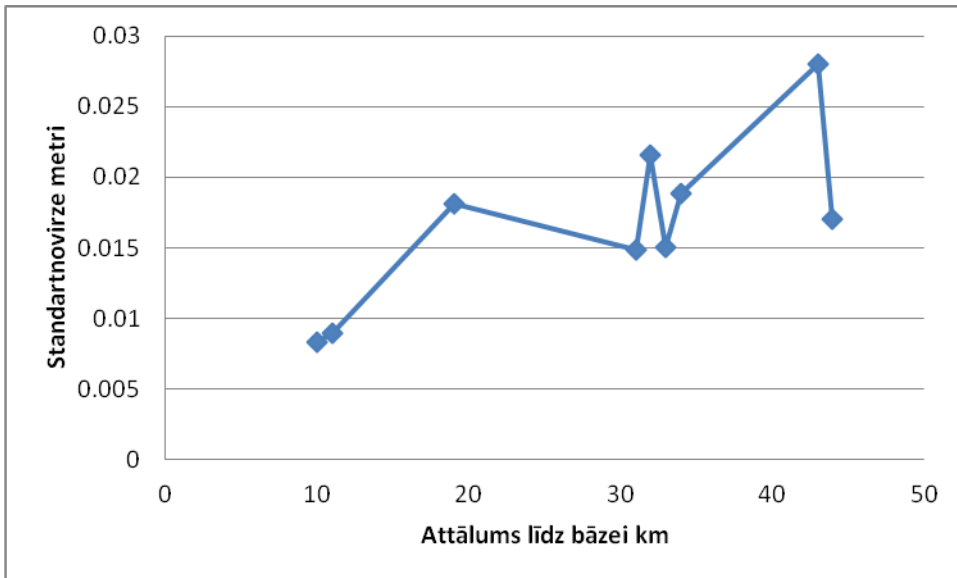
Kā iepriekš minēts, globālās pozicionēšanas mērījumu precizitāte atkarīga no attāluma līdz bāzes stacijai, kas uzkrāj datus jau zināmā punktā. Attēlā 1.19. uzskatāmi parādīts, ka attālinoties no bāzes stacijas mainās atmosfēras un troposfēras slāņu sastāvs. Tā kā Latvija atrodas uz ziemeļiem no ekvatora, precīzai šai izmaiņas noteikšanai, nepieciešams veikt globālās pozicionēšanas mērījumus. Latvijas teritorijas maksimālie attālumi, kas var tikt sasniegti ir no Austrumiem līdz Rietumu krastam ir apmēram 420 km un no Ziemeļiem līdz Dienvidiem ir 280 kilometri. Attēlā 3. uzskatāmi parādīts, ka jau pie attāluma no bāzes 28 kilometri aprēķināmo datu svārstības sasniedz līdz pat 60 centimetru novizi.

Pārbaudīšanai Latvijas apstākļos tika veikti eksperimentāli mērījumi, lai noskaidrotu, kāda ir precizitāte Latvijas apstākļos. Mērījumi veikti uz Valsts ģeodēziskajiem punktiem ar noteiktām koordinātām.

Attēlojot grafikā 3. standartnovirzes lieluma atkarību no attāluma līdz bāzes stacijai var novērot, ka tā palielinās proporcionāli attālumam. Atsevišķs punkts tomēr ir sasniedzis augstāku precizitāti, neskatoties uz attāluma pieaugumu. Lai veiktu analīzi par šo gadījumu nepieciešams veikt pētījumu par atšķirību satelītu situāciju un stāvokli. Analizējot standartnovirzes pieaugumu, iespējams secināt, ka pēc trīsdesmit pieciem kilometriem tā pieaug strauji. Tas arī pierāda, ka attālinoties no bāzes stacijas atmosfēras, troposfēras un jonosfēras izmaiņas nav iespējams nomodelēt.



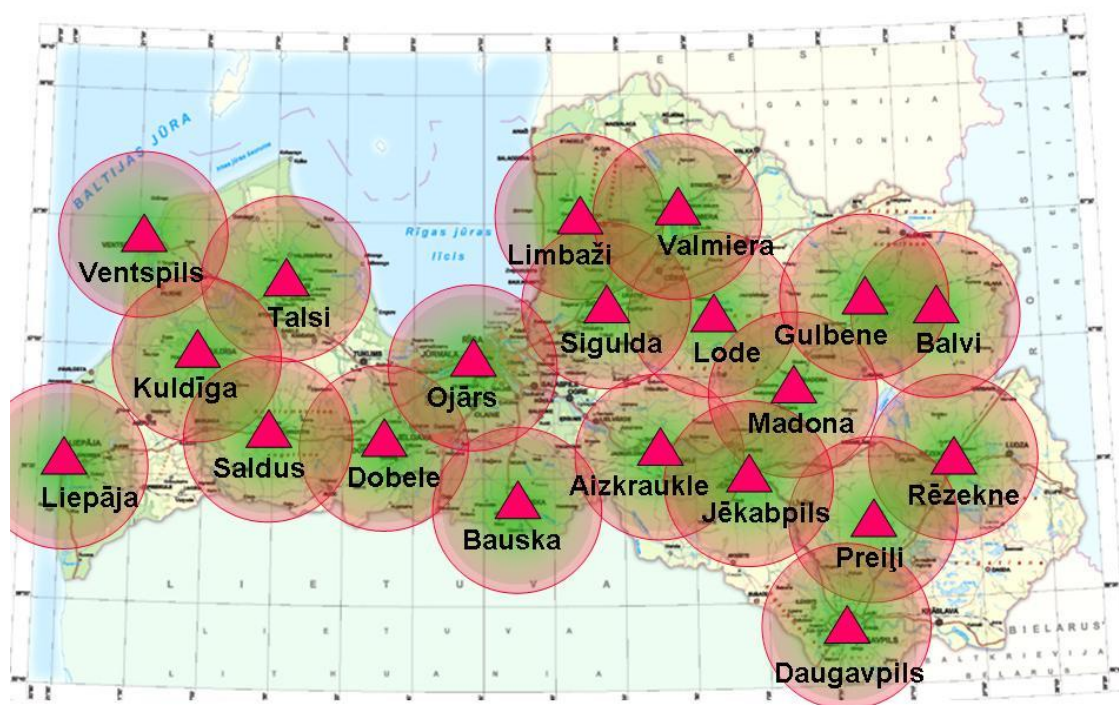
3. att. Standartnovirzes lielums atkarībā no attāluma līdz bāzei



4. att. Standartnovirzes atkarība no vektora garuma

Ņemot vērā izteiktos aspektus, tika pieņemts risinājums uzstādīt GPS bāzes stacijas Valsts zemes dienesta reģionālajās nodaļās, kur datu pārraides tīkls jau ir

uzstādīts un pieejams.



5. att. Racionāls bāzes staciju izvietojums

Rezultātā:

1. Bāzes staciju izvietojums tuvs vienmērīgam pārklājumam visai Latvijas teritorijai;
2. Uzstādīšanas ēkas ir pārraugošās iestādes pārvaldībā, apsargātas un drošas – nav papildus izdevumi par telpu, servvertelpu un jumtu īri;
3. Tiek izmantota esošā infrastruktūra: elektrība, datu pārraides tīkls, interneta pieslēgums esošais;
4. Tā kā sistēmas uzstādīšana tiek veikta pašu spēkiem, tad uzstādīšanas maksas tiek ietaupītas.

**Trešā nodaļa** atspoguļota LatPos sistēmas uzstādīšana un ar to saistītās problēmas un rastie risinājumi.

Izvērtējot bāzes staciju izvietošanas nosacījumus un pieejamos resursus, izvēlēts risinājums:

-izmantot VZD rīcībā esošās reģionālās nodaļas – Tiek iegūti sekojoši priekšnosacījumi:

- nav telpu īres. Iekārtas iespējams uzstādīt jau esošās telpās;
- nav nepieciešams ierīkot datu pārraides līnijas. Iespējams izmantot un pārbaudīt iekārtu darbību jau praktiski uzreiz.’
- nav saskaņošanas ar ēku īpašniekiem par antenas uzstādīšanu uz jumta. Iespējams veikt uzstādīšanu iespējami īsā laikā;

Tomēr izmantojot šo risinājumu, ir arī trūkumi:

- izmantojot reģionālos birojus bāzes staciju izvietojums nav ideāls;
- nav informācijas, cik neprecīzi būs mērījumi ārpus sistēmas, jo vietām var būt bāzes līnijas līdz pat 73 km garām. Pārklājums netiek nodrošināts pie Latvijas robežjoslām. Tas rada virkni jautājumu, par sistēmas iespējamo precizitātes nodrošinājumu pierobežas joslās. Tomēr varam ņemt vērā, ka pierobežas joslās nav apdzīvotu vietu pilsētu, kur mērījumu precizitāte ir nepieciešama līdz 5 centimetri. Pieņemot, ka sistēma nodrošina 2 centimetri bāzes staciju izvietojuma iekšpusē un līdz 4 centimetri sistēmas pārklājuma ārpusē, tad šāds uzstādījuma veids nodrošinās mērījumu veikšanas prasības visā Latvijas teritorijā.

Antenu uzstādīšana

Tika izvēlēti stiprinājumi no metāla caurulēm ar diametru 60 mm un krāsotas baltas, lai nebūtu ietekme no saules stariem. Attēls 6. Bāzes stacija antena Madonā.



6. att. Antenas stiprinājums Madonas bāzes stacijā

Metāla skapī tiek ievietots GPS uztvērējs un barošanas bloks. Barošanas bloks nodrošina strāvas pārveidošanu no 220V uz 12V un nodrošina spriegumu arī pēc tīkla sprieguma pazušanas vēl divas diennaktis.

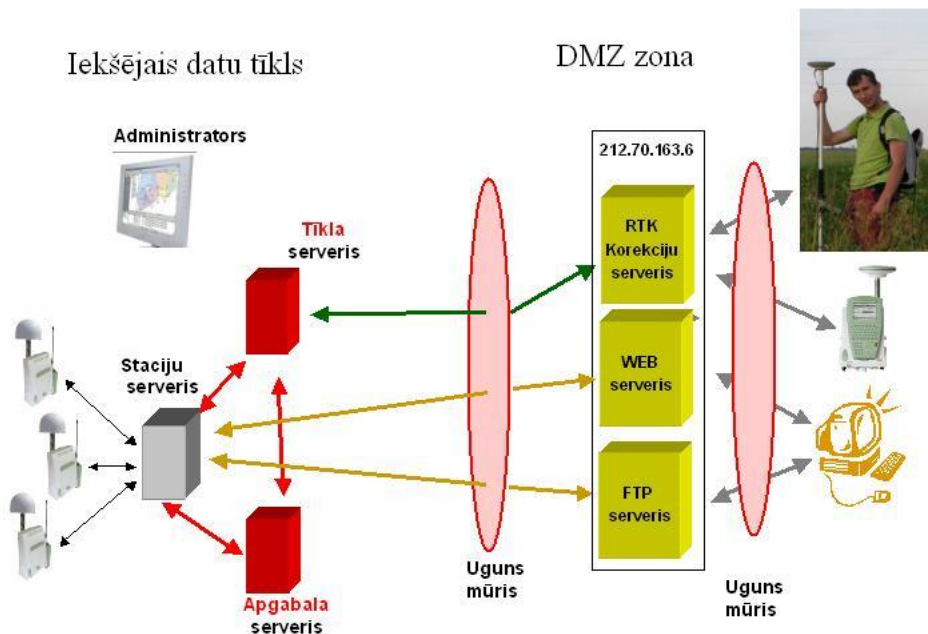


7. att. Bāzes stacijas aprīkojums.

Skapis tiek izgatavots pietiekoši liels, lai tajā brīvi ievietotu GPS uztvērēju un UPS. Vietās, kur netiek izmantots kabelis pilnā garumā, tas tiek ievietots skapī. Liels skapis atļauj viegli apkalpot iekārtas, kas ievietotas. Antenas kabelis ir īpaši resns un nelokās, līdz ar to jābūt pietiekošai vietai, lai izvietotu rulli. Kabeļa garumu nav ieteicams mainīt, lai tas būtu vienāds visās GPS bāzes stacijās. No tā atkarīgs ir korekcijas aprēķins.

#### Serveru sistēma

Datu izplatīšanas serveris nodrošina trīs funkciju izpildi – WEB serveris, kas ar interneta pārlūku programmatūru pieejams un lietotājiem ērti izmantojams, FTP serveris, ko izmanto automatizētās sistēmās, kas var automātiski meklēt un saņemt datus, lai tos izmantotu aprēķinos. Klientam pašam nemaz nav jāveic datu meklēšana un lejupielāde, programmatūra var to veikt automātiski, tikai tajā ielādējot mērnieka lauku datus. Un RTK serveris, kas izplata reālā laika datus instrumentiem, kas atrodas uz lauka un ir pieslēgti serverim, izmantojot bezvadu datu pārraides tehnoloģijas.



8. att. GPS bāzes staciju sistēmas shēma

Sistēma sastāv no 19 bāzes stacijām, serveriem, datu pārraides tīkla. Tālāk tiek aplūkotas katras komponentes atsevišķi. 2011. gadā sistēmā jau kopumā darbojas 23 bāzes stacijas, ir uzlabota izvietojuma ģeometrija.

Datu iegūšana no GPS uztvērējiem – sensoriem.

Dati ir satelīta signāla mērījumi GPS antenā. Katru sekundi tiek mērīts, cik ilgā laikā kods ir atnācis no satelīta. To veic GPS uztvērējs. Mērījumi tiek aprēķināti un rezultāti sagatavoti digitālā veidā. Visi dati tiek krāti uz iekšējās GPS atmiņas. Strāvas padeves iztrūkuma gadījumā, UPS nodrošina divu diennakšu nepārtrauktu darbību. Datu līnijas pārtraukuma gadījumā, iekšējā GPS uztvērēja atmiņa nodrošina septiņu diennakšu datu uzkrāšanu. Dati tiek nosūtīti staciju serverim, kas saņem datus no visām bāzes stacijām.

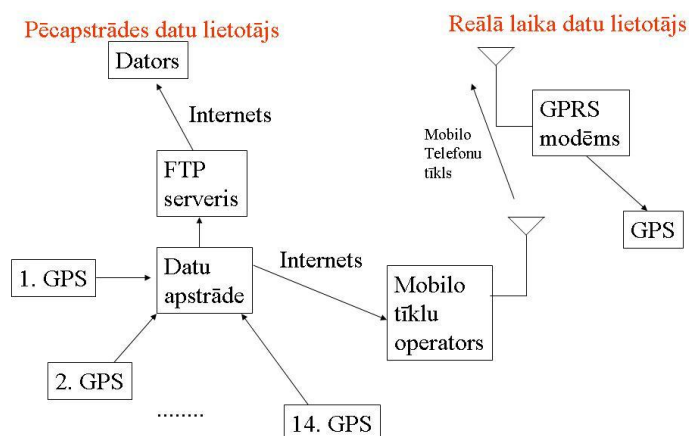
Datu sakārtošana

Pirmreizēji visi dati no GPS bāzes stacijām tiek uzkrāti vienā mapē. Tālāk dati tiek sadalīti apstrādei reālā laika plūsmā un izplatīšanai pēcapstrādei. Pēcapstrādes dati tiek nosūtīti uz izplatīšanas serveri. Uz izplatīšanas serveri tiek nosūtīti divu veidu dati: Leica MDB datu formātā un RINEX formātā. MDB formāts tiek lietots WEB saskarnes programmatūrai un ar to tiek ģenerēti RINEX dati lietotāja izvēlētā laikā. RINEX datu formāts tiek novietots uz FTP datu izplatīšanas servera.

## Datu apstrāde RTK izplatīšanai

Staciju serveris nosūta datus reālā laikā serverim. Visu bāzes staciju datus, MDB datu formātā. Reālā laika serveris, izmantojot lietotāju iesūtīto informāciju par atrašanās vietu, sagatavo korekcijas plūsmu, aprēķinot individuālu korekciju. Lai to izdarītu ir noteikts apgabals, kurā tiek aprēķināta vispārējā korekcija, ko izmanto par pamatu individuālās korekcijas aprēķināšanai.

## Bāzes staciju tīkla shēma



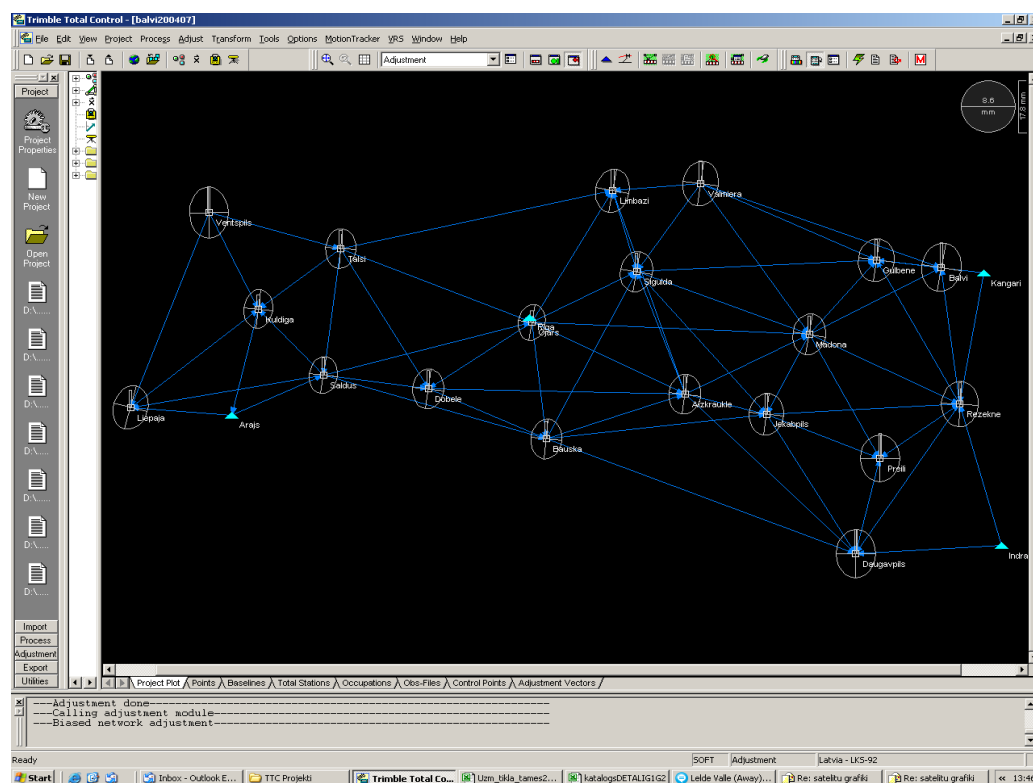
9. att. Datu pārraide lietotājam

Sistēmas darbības nodrošināšanai Latvijas valsts teritorijā un tā sniegtu tādus pašus ģeodēzisko mērījumu rezultātus, kā veicot mērījumus no valsts tīkla, nepieciešams sistēmu piesaistīt Latvijas Valsts ģeodēziskajam tīklam, aprēķinot koordinātas bāzes stacijām.

Lai koordinātas bāzes staciju sistēmai aprēķinātu homogēni, atbalsta punktus jāizvēlas izvietotus visā Valsts teritorijā. Nultās klases ģeodēziskie punkti Rīga, Kangari, Indra un Arājs. Tie izvietoti Latvijas teritorijā un iespējams veikt 19 bāzes staciju koordinēšanu. Mērīšanā izmantoti vektori – no katra izejas punkta uz tuvāko bāzes staciju. Savstarpēji starp bāzēm arī pa vienam vektoram, veidojot homogēnus trijstūrus

Veikt koordinātu noteikšanu no 0. klases punktiem, kas izvietoti visā Latvijā. Koordinātu noteikšana no zemākas klases, bet tuvākiem ģeodēziskajiem punktiem neveidos homogēnu aprēķinu. Ņemot tuvākus atsevišķus punktus, netiks panākta visa tīkla homogenitāte, jo jau 1. un zemākas klases punkti uzmērīti pa apgabaliem un

veikta to izlīdzināšana. Mērīšana no tuvākiem ģeodēziskajiem tīkliem labāk iekļautu katru GPS bāzes staciju vietējos tīklos – mazos apgabalos. Būtu iespējams izmantot īsākas sesijas, bet tās nepieciešams veikt tad katrai no 19 bāzes stacijām. Bāzes staciju sistēma veidotos nehomogēna un nenodrošinātu vienādas precizitātes mērījumus visā Latvijas teritorijā.



10. att. Vektoru shēma bāzes staciju aprēķinos.

Sesijas garumu noteikt sešas stundas. Lai iegūtu koordinātu noteikšanas precizitāti zem 1 centimetra, nepieciešams minimums ir trīs stundas. Lai radītu iespēju atlasīt kvalitatīvākos signālus un precīzākos mērījumus, sesijas garums tiek noteikts sešas stundas. Sesijas garuma un precizitātes attiecību pētījumus veica Atis Vallis.

Starp uzmērāmiem punktiem netiek veidotas dubultas bāzes līnijas. Tas nozīmē, ka tīklā bāzes līnijas veido tā, lai veidotos regulāri trijstūri un visas bāzes stacijas savstarpēji tiktu savienotas.

4. tabula

Koordinātu aprēķinu rezultāti

Point	Northing	$\sigma$	Eastng	$\sigma$	Height	Elevation	$\sigma$
<a href="#">Aizkraukle</a>	273457.1265m	6.7mm	576759.4890m	5.2mm	117.5483m	95.9563m	12.5mm
<a href="#">Arais</a>	263208.7690m	0.0mm	363511.1810m	0.0mm	208.6030m	184.1449m	0.0mm

Balvi	336401.4863m	8.0mm	697627.2696m	6.3mm	145.7069m	125.6213m	17.2mm
Bauska	251271.2262m	6.6mm	511487.3134m	4.9mm	69.3985m	46.9068m	12.2mm
Daugavpils	194449.9228m	8.1mm	657323.5202m	6.3mm	132.9071m	110.9864m	16.8mm
Dobele	276183.1479m	6.6mm	455883.7608m	5.0mm	85.0888m	62.1123m	12.9mm
Gulbene	339945.4965m	7.2mm	666868.7838m	5.7mm	162.4557m	141.9610m	14.3mm
Indra	198519.9470m	0.0mm	725865.8500m	0.0mm	213.6250m	192.7628m	0.0mm
Jekabpils	263562.7602m	7.0mm	615239.6088m	5.5mm	117.2090m	95.8896m	14.0mm
Kangari	333650.3330m	0.0mm	717694.6970m	0.0mm	163.8540m	144.1525m	0.0mm
Kuldīga	315769.9635m	6.4mm	375951.7161m	4.6mm	70.8313m	48.3396m	9.9mm
Liepāja	266927.7606m	7.3mm	315796.8324m	5.6mm	51.3565m	27.1156m	12.2mm
Limbazi	374452.0675m	7.2mm	542746.1623m	5.4mm	115.3948m	95.7979m	14.8mm
Madona	303239.9304m	6.8mm	635457.4344m	5.4mm	174.2183m	152.8118m	12.9mm
Ojars	309093.6011m	6.0mm	504631.3138m	4.4mm	41.9308m	20.8775m	8.2mm
Preiļi	241689.6296m	8.0mm	668648.8307m	6.2mm	159.2105m	138.0503m	17.2mm
Rezekne	268589.7334m	7.6mm	706252.0780m	5.9mm	170.5142m	150.3126m	14.6mm
Rīga	311650.4800m	0.0mm	503564.5890m	0.0mm	29.3370m	8.3554m	0.0mm
Saldus	282873.4865m	6.2mm	406505.0873m	4.6mm	144.7918m	121.4166m	12.0mm
Sigulda	334306.0144m	6.8mm	554012.1597m	5.2mm	133.9112m	113.4122m	12.7mm
Talsi	345708.1728m	6.7mm	414728.4504m	4.8mm	115.0609m	93.5890m	12.6mm
Valmiera	377914.4982m	7.5mm	584166.3671m	5.7mm	75.6571m	55.6146m	15.6mm
Ventspils	363589.6645m	8.6mm	352632.0117m	6.2mm	39.3560m	18.0017m	17.8mm

Izmantojot visu četru ģeodēzisko punktu piesaistes, salīdzinoši ar aprēķiniem no viena ģeodēziskā punkta piesaistes, bāzes staciju koordinātas var atšķirties pat par trīs centimetriem. Tas skaidrojams ar to, ka veicot piesaisti tikai vienam ģeodēziskajam punktam, tālāko punktu koordinātas tiek aprēķinātas summāri no ļoti garām bāzes līnijām. Veiksmīgākais risinājums ir izmantot visu nultās klases ģeodēziskos punktus. Veicot LatPos sistēmas bāzes staciju piesaisti ģeodēziskajam tīklam, aprēķinos tika izmatoti visi četri nultās klases ģeodēziskie punkti.

Augstas precizitātes aprēķiniem nepieciešams izmantot kvalitatīvus datus. „Kvalitatīvs” GPS izpratnē ir nepārtraukti dati. Līdz ar to, veicot bāzes līniju aprēķinus, tiek izvēlēti nepārtraukti dati. Datu nepārtrauktību attēlo zīmējums 14.

Datu nepārtrauktība tiek izvēlēta vizuāli, atslēdzot datu laikus, kad pārraidītais signāls no satelīta ir bijis aizsegts, vai satelīts bijis zemu un aiz šķēršļiem. Praktiski bāzes stacijās šāda signālu nepārtrauktība netika novērota. Punkts ar augstākajiem kokiem apkārt ir Arājs. Tādēļ, izmantojot šo punktu ir rūpīgi jāizvēlas izmantotie dati. Praktiski, satelītu redzamība ierobežota līdz pat 15 grādu leņķim.

Lai atsijātu uzkrāto informāciju, datus, iespējams ar manuāli atslēgt nevajadzīgos datus. Tas nodrošina izmantot aprēķinos nepārtrauktas datu plūsmas.



Attēls 12. parāda ne tikai slikto datu kvalitāti – liela izkliede ap pieņemto iespējamo aprēķināmo vērtību, bet norāda, ka satelītu signāli nav izverti visā sesijas laikā. Datu izkliede sasniedz pat divus centimetrus. Šādas kvalitātes datus nav ieteicams izmantot augstas precizitātes aprēķinos.

**Ceturtnā nodaļā** attēloti sistēmas darbības pārbaudes rezultāti un nodrošinātā darbība.

Sistēmas darbības rezultātu pārbaudei tika veikti ģeodēziskie mērījumi ar GPS uztvērējiem. Galvenie principi rezultātu sasniegšanai tika izvēlēti saskaņā ar ģeodēzijas pamatlikumiem un GPS mērīšanas pamatprincipiem.

Veicot sistēmas darbības pārbaudi nepieciešams konstatēt:

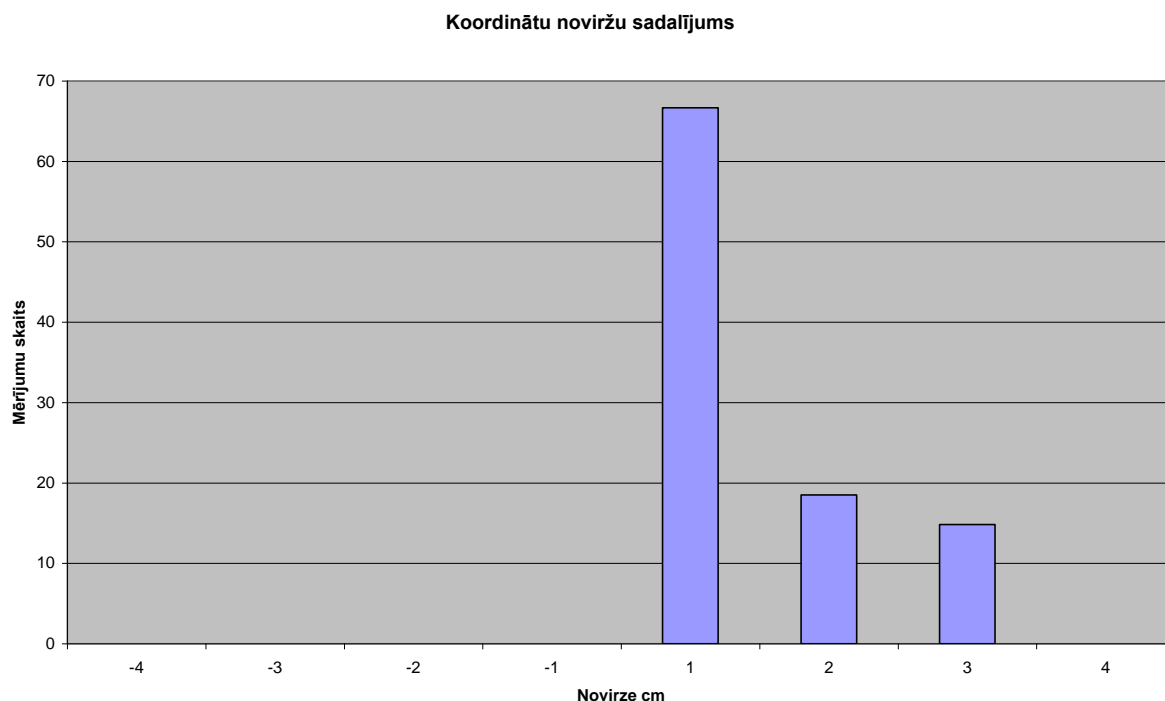
- Sistēmas dotos rezultātus, mērījumu standartnovirzes, ja izmanto klasisko ģeodēzisko tīklu, veicot mērījumus uz Valsts ģeodēziskajiem tīkliem;
- Koordinātu atšķirības no Valsts ģeodēziskā tīkla punktu koordinātām, cik tās ir konsekventas, noviržu vienveidību un orientētību;
- Mērījumu precizitātes stabilitāti, par cik GPS bāzes staciju sistēma ir elektroniska sistēma un veic aprēķinus un tā arī atkarīga no satelītu izvietojuma un saņemtajiem datiem;
- Veicot mērījumus, aplūkot papildus apstākļus, kas ietekmē mērījumu precizitāti – apgrūtināti apstākļi, saules ietekme, mērījumi ilgā laika periodā.
- Rezultātu salīdzinājums starp divām sistēmām, LatPos un EUPOS-Rīga.

Sistēmas darbības pārbaude pielietoti dažādu izgatavotāju instrumenti, lai izslēgtu viena ražotāja tendenci, pierādot, ka jebkura ražotāja pielietotie instrumenti sniedz vienādus rezultātus.

Stabiliem mērījumiem tika pielietoti Leica, Trimble un Topcon instrumenti. Eksperimentos netika pārbaudīta Sokkia instrumentu darbība, jo instruments nebija pieejams.

Aplūkojot mērījumus, kas veikti LatPos sistēmā var novērot atšķirību. LatPos mērījumu sadalījums ir 70% mērījumu iekļaujas viena centimetra robežās. Šāda informācija norāda uz sistēmas augstāku precizitāti. Un ja ņem vērā 2 centimetru robežas, tad statistiski var apgalvot, ka veicot mērījumus LatPos tīklā, 90% gadījumos

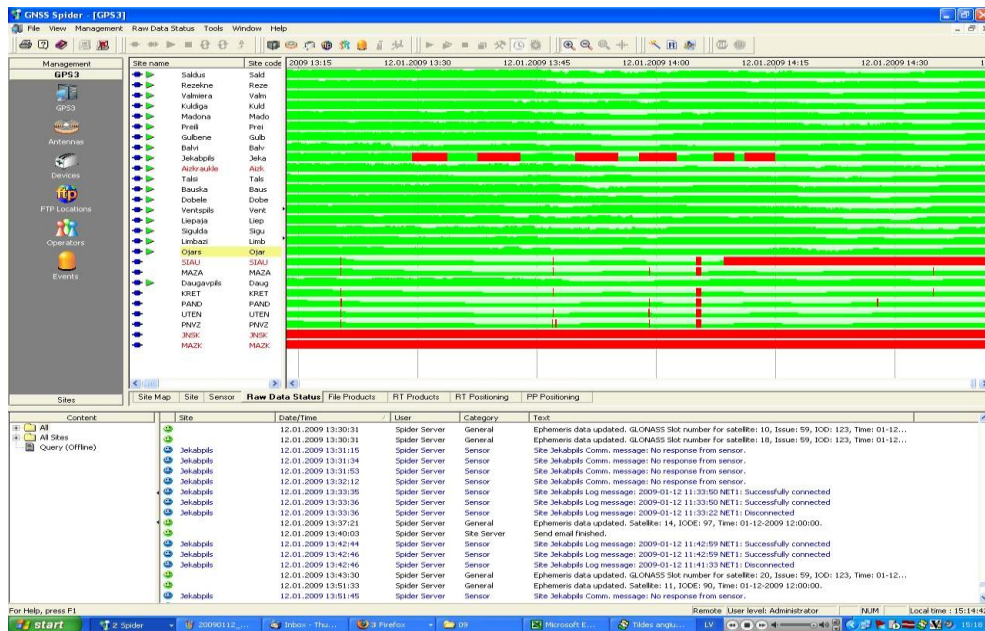
mērījuma kļūda nepārsniegs divus centimetrus. Tas parāda mērījumu ticamības pakāpi katrā sistēmā.



13. att. Sadalījums pa noviržu lielumu LatPos tīklā

Reālā laika nodrošināšanai datu plūsma no visiem GPS uztvērējiem – bāzes stacijām, tiek pārraidīta ik sekundi. Datu plūsmai jābūt nepārtrauktai un tā nedrīkst kavēties, jo jau apstrādāti dati jāpiegādā lietotājam ne vēlāk kā vienu sekundi pēc datu uztveršanas. Tādēļ, datu kavējums no bāzes stacijām nav pieļaujams lielāks par pussekundi, jeb 500 milisekundēm. Datu apjoms, kas tiek sūtīts vienā sekundē nav lielāks par 3 kilobitiem. Programmatūra Spider Site Server seko līdz datu plūsmas nepārtrauktībai un signāla kavēšanos.

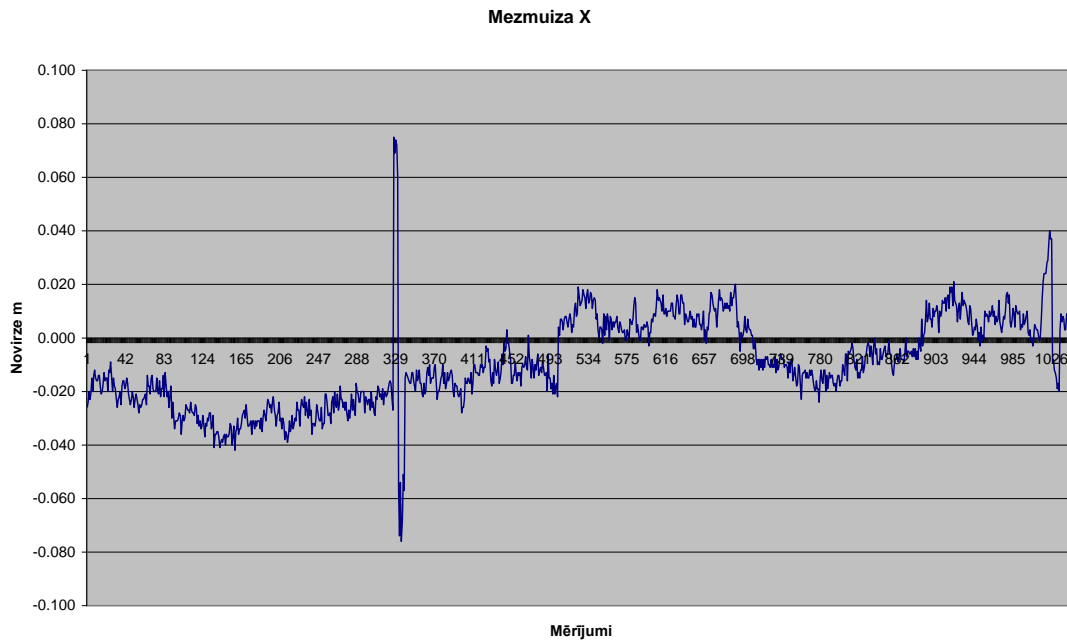
Leica programmatūra Spider Site Server par datu plūsmas pārtraukumu uzskata pārrāvumu lielāku par 500 milisekundēm un to attēlo darbības grafikā Attēls 14. Sistēmas administrators var vizuāli novērot datu plūsmas pārtraukumu un attiecīgi reaģēt, lai novērstu kļūmi datu pārraidē.



14. att. Programmatūras Spider Site Server saskarne. Datu plūsmas nepārtrauktība.

Datu pārraides pārtraukumi var tikt izraisīti bojājot kabeli, bojājot datu pārraides iekārtu – switch vai router. GPS bāzes stacija ir nodrošināta ar nepārtrauktas barošanas avotu UPS. Ne visas datu pārraides iekārtas ir nodrošinātas ar nepārtrauktu barošanas avotu un netiek apkalpotas no LatPos administratoru puses, līdz ar ko nav iespējams novērst šāda veida pārtraukumus.

Ģeodēziskā punkta apaugums tieši ietekmē mērījumu precizitāti, līdz ar to nav pieļaujama mērīšana ar GPS arī retos kokos, jo iegūstamais rezultāts var būt apšaubāms.



15. att. Koordinātas X svārstības uz punkta Mežmuiža

Veicot mērījumus uz ģeodēziskā punkta, kas atrodas klajā laukā un nav satelītu redzamības traucējumi, iespējams iegūt reālo LatPos sistēmas nosūtīto korekciju svārstības, bez apkārtējās vides ietekmes. Svārstības, kas tiek novērotas 5.38. attēlā ir kopējās mērījumu kļūdas rezultāts, ko nosūta sistēma. Svārstības četru centimetru robežās, pašlaik var tikt uzskatītas par absolūtām un tuvām sistēmas labākajiem rādītājiem.



16. att. Ģeodēziskais punkts Mežmuiža

## SECINĀJUMI

Promocijas darbā ir izpētīta un izstrādāta efektīva ģeodēziskā mērīšana ar globālo pozicionēšanu.

1. Izvērtējot globālās pozicionēšanas mērīšanas mūsdienu metodes, apzinātas GPS bāzes staciju tīklu attīstības tendences Eiropā un pasaulē. Bāzes staciju sistēmas nodrošina globālās pozicionēšanas mērījumu veikšanu īsā laikā (mērīšanas laiks viena minūte) un dod homogēnus mērījumus visā bāzes staciju pārklājuma teritorijā. Izveidojot bāzes staciju tīklu, tiek pielietota RTK metode, lai aprēķinātu mērījumu. Galvenā priekšrocība, ka lietotājam nav nepieciešama pašam sava bāzes stacija un cilvēks, kas to apsargā. Pieaug datu drošība, jo aprēķinus var veikt no vairākām bāzes stacijām.
2. Eksperimentālā veidā, veicot globālās pozicionēšanas mērījumus, noteikts optimālais attālums starp bāzes stacijām (ap 70km) Latvijas ģeogrāfiskajiem apstākļiem. Veikti mērījumi uz ģeodēziskajiem punktiem, kuriem koordinātas noteiktas veicot aprēķinus tīklā. Attālinoties no bāzes stacijas RTK režīmā risinājums tiek sasniegts ilgā laikā, jo signālu ietekmējošie faktori – jonosfēra, troposfēra un kopīgi redzamie satelīti atšķiras. Rasts optimālais attālums 35 km, kad instrumenta inicializācija tiek sasniegta vienas minūtes laikā un uzmērāmā precizitāte ir 4 cm.
3. Optimizēts analītiski izstrādāts GPS bāzes staciju modelis, ievērojot ietekmējošos faktorus: debesu redzamību, antenas nostiprināšanas iespējas, datu pārraides tīkla pieejamība un nodrošinājums pret vandālismu. Izvēlētas mūra ēkas ar datu pārraides tīkla pieejamību visā Latvijas teritorijā. Pielietots esošs datu pārraides tīkls, kurā eksperimentālā veidā pārbaudīta GPS datu pārraide un secināts, ka tā nodrošina (?nepieciešamo) datu pārraides ātrumu un nepārtrauktību.
4. Veikts optimizētās LatPos sistēmas darbības pētījums par mērījumu precizitāti un homogenitāti visā Latvijas teritorijā. Īpaši pievēršot uzmanību stratēģiskās vietās – Rīga un LatPos bāzes staciju pārklājuma ārpusē. Ar RTK metodi veiktie mērījumi pierādīja, ka Rīgas teritorijā 90% gadījumu mērījumu standartnovirze nav lielāka par 2 cm. Ārpus LatPos pārklājuma mērījuma kļūda nepārsniedz 4 cm.
5. Salīdzināts ģeodēzisko mērījumu veikšanas ātrums un sasniedzamā precizitāte veicot mērījumus no klasiskā ģeodēziskā tīkla un no LatPos sistēmas. Pētījums

pierāda, ka, mērot no klasiskā ģeodēziskā tīkla, iespējamās nesaistes līdz 15 centimetriem, turpretim LatPos sistēma nodrošina homogēnus mērījumus visā Latvijas teritorijā, ar nesaistēm līdz 4 cm. Mērījuma veikšanas ātrums pieaug četras reizes, izmantojot LatPos sistēmu, jo nav nepieciešams meklēt ģeodēzisko punktu, nav nepieciešams veikt gājieni līdz objektam. Mērījumus var veikt viens mērnieks. Lai sasniegtu divu centimetru precizitāti nepieciešams desmit sekunžu mērījums, atšķirībā no klasiskā mērījuma divdesmit minūtes.

6. Aprēķināts, ka LatPos sistēmas uzturēšana ir piecas reizes mazāka, nekā vietējo tīklu uzturēšana. LatPos sistēma tiek monitorēta reālā laikā un darbības problēmas tiek noteiktas momentāni. Uzturēšanu veic divi darbinieki. Ģeodēzisko tīklu uzturēšanu veic vairākas iestādes, jo nepieciešama ģeodēzisko punktu regulāra apsekošana dabā un datubāzes atjaunošana ar informāciju.
7. Parādīts, ka LatPos sistēma nav tikai ģeodēziskā atbalsta sistēma. Tā ir pamats visai ĢIS informācijai, kas tiek koordinēta. Koordinātu noteikšana nepieciešama lauksaimniecības mašīnu vadīšanai, mežu apsaimniekošanai, pielietojot rokas GPS, lauksaimniecībā izmantojamo zemju apsekošanai, izmantojot rokas GPS. Uzlabojot LatPos sistēmu, tā tiks izmantota arī aviācijas vajadzībām.

## PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

1. Zvirgzds J. Stacionārās GPS bāzes stacijas Rīgā. Žurnāls "Mērnieks", 2002.gads Nr.2 , 9.lpp.
2. Zvirgzds J. Globālās pozicionēšanas sistēmas pastāvīgo bāzes staciju izveide Latvijā. RTU zinātnisko rakstu krājums Ģeomātika I, 2005.gads. 51.lpp-57.lpp.
3. Zvirgzds J. Ģeodēziskie mērījumi, izmantojot GPS bāzes staciju sistēmu LATPOS, Geodetic Measurements in GPS Base Station Network LATPOS of Latvia. RTU zinātnisko rakstu krājums Ģeomātika, 11. sēj. 2007.gads 81. – 89lpp.
4. Zvirgzds J. GPS reālā laika mērījumu precizitāte LatPos sistēmā. RTU zinātnisko rakstu krājums Ģeomātika, sērija 11, sējums 3, 2008.gads 29. – 36.lpp.
5. Zvirgzds J. Bāzes staciju sistēmas LatPos koordinātu izmaiņa laikā. RTU zinātniskie raksti Ģeomātika, sērija 11, sējums 4, 2008. 7 – 12lpp.
6. Zvirgzds J. Bāzes staciju sistēmas latpos darbības stabilitāte. RTU zinātniskie raksti Ģeomātika, 11. sērija, sējums 5, 2009. 21.-31. lpp.
7. Balodis J., Silabriedis G., Caunīte M., Janpaule I., Balodis K., Rubans A., Aleksejenko I., Otto R., Reiniks M., Mitrofanovs I., Plotņikovs S., Zvirgzds J. EUPOS®-RIGA Network Elevation Analyses. Proceedings of the International Symposium on Global Navigation Satellite. - Rīga, Latvija: Berlin, Germany, 2009. pp. 68.-72
8. Balodis J., Caunīte M., Janpaule I., Kenyeres A., Rubans A., Silabriedis G., Rosenthal G., Zariņš A., Zvirgzds J., Ābele M. EUPOS and SLR Contribution to GOCE Mission // ESA Living Planet Symposium 2010 Proceedings, Norvēģija, Bergena, 28.jūnijs-2. jūlijs, 2010. pp. 1.-7

## Promocijas darbs

Izvirzīts Rīgas Tehniskā Universitātē  
Inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012. gada \_\_\_\_\_ plkst. \_\_\_\_\_ Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātē, Āzenes ielā 16, sēžu zālē.

### Oficiālie recenzenti

1) Dr. sc. ing. Modris Dobelis  
Rīgas Tehniskā universitāte

2) Dr. sc. ing. Eimuntas Paršeliūnas  
Viļņas Tehniskā universitāte

3) Dr. sc. ing. Ansis Klūga  
Rīgas Tehniskā universitāte

### Apstiprinājums

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai.  
Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Jānis Zvirgzds .....(Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 6 pielikumus, 118 attēlus, 9 tabulas, kopā 169 lappuses. Literatūras sarakstā ir 91 nosaukumi.

UDK 528.02:629.056.84(043.2)  
Zv 586 r

Zvirgzds J. Racionāla LatPos sistēma.  
Promocijas darba kopsavilkums.  
-R.:RTU, 2011.-35 lpp.

ISBN