

Rīgas pilsētas kvaziģeoīda modeļa aprēķināšanas pārskats

Kvaziģeoīda modeļa izveidošanas pamatojumus

Rīgas domes Pilsētas attīstības departamenta (turpmāk – Departaments) uzdevumos atbilstoši Departamenta 2012. gada 17. aprīļa nolikuma Nr. 217 “Rīgas domes Pilsētas attīstības departamenta nolikums” 9.5.2. punktam ietilpst pienākums nodrošināt aktuālas Rīgas ģeotelpiskās informācijas kopumu Rīgas pilsētas administratīvajā teritorijā.

Lai nodrošinātu iepriekš minētā uzdevuma izpildi un ņemot vērā to, ka globālās pozicionēšanas novērošanas metode šobrīd ir visizplatītākais un ekonomiski pamatotākais mērījumu veikšanas risinājums, kas nodrošina visātrāko mērījumu rezultātu ieguvu un to, ka pilnveidot vietējo ģeodēzisku tīklu visā Rīgas administratīvajā teritorijā ir ekonomiski neizdevīgi, Departaments ir izstrādājis jaunu kvaziģeoīda modeli Rīgas pilsētas administratīvajai teritorijai.

Kvaziģeoīda modeļa izstrādes mērķis – aprēķināt kvaziģeoīda modeli Rīgas administratīvajai teritorijai, kas ļaus, izmantojot globālās pozicionēšanas metodi, iegūt labu saderību ar valsts ģeodēzisko tīklu un pilnveidotajiem vietējā ģeodēziskā tīkla punktiem, un nodrošinās administratīvās teritorijas attīstībai nepieciešamo datu ieguvu ekonomiskāk, kvalitatīvāk un ātrāk.

Izstrādāto kvaziģeoīda modeli Rīgas teritorijā izmantos vietās, kur vietējais vai valsts ģeodēziskais tīkls nepārklāj uzmērāmo teritoriju. Kvaziģeoīda modeli izmantos, veicot globālās pozicionēšanas novērojumus ģeodēziskajos un topogrāfiskajos darbos, kā arī zinātniskos darbos, kur ir nepieciešama augstumu pārejas virsma no ģeodēziskiem (elipsoidāliem) augstumiem uz normāliem augstumiem.

Rīgas pilsētas kvaziģeoīda modelis RIGA'20 kalpos kā augstumu pārejas virsma no ģeodēziskiem augstumiem uz normālo augstumu – Latvijas normālo augstumu sistēmu epochā 2000,5 (turpmāk – LAS-2000,5).

Izstrādātais kvaziģeoīda modeli būs pieejams bez maksas ikvienam lietotājam.

Kvaziġeoīda modeļa aprēķinā izmantotie dati

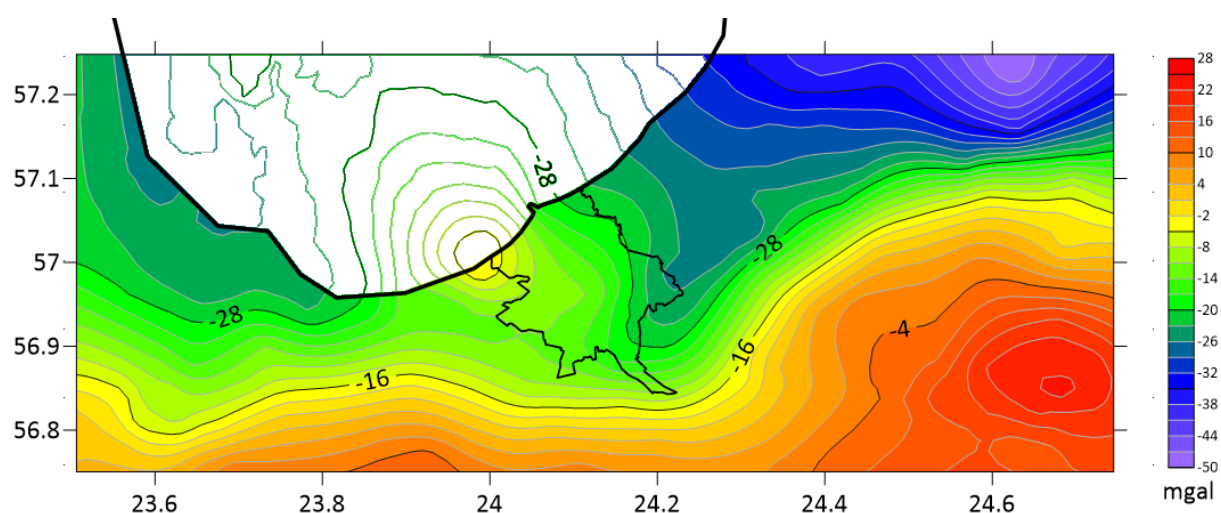
Kvaziġeoīda modeļa aprēķināšanai izmantota Dānijas Tehniskās universitāte pasniedzēju izveidota programma GRAVSOF (turpmāk – GRAVSOF) ar komandas uzvednes palaišanu. GRAVSOF sastāv no vairākām programmām, kas uzrakstītas Fortran programmēšanas valodā. Zinātniskiem un nekomerciāliem mērķiem programmatūra ir izmantojama bez maksas un tās sīkākā apraksts pieejams ftp://ftp.spacecenter.dk/pub/RF/gravsoft_manual2014.pdf.

Kvaziġeoīda aprēķinam izvēlēta noņemšanas-atjaunošanas metode (*remove-restore method*), sagatavoti un modelēti šādi dati:

- 1) Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (turpmāk – LĢIA) izsniegtās brīvā gaisa gravitācijas anomālijas.
- 2) Pasaules gravitācijas lauka modelis EGM2008.
- 3) LĢIA izstrādātais sauszemes teritorijas digitālais reljefa modelis – DTM (*Digital terrain model*).
- 4) Savietotie nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punkti Rīgas administratīvajā teritorijā un tuvākajā apkārtnē.

Latvijas teritorijas daļai brīvā gaisa gravitācijas anomālijas (skat. attēlu 1.1.):

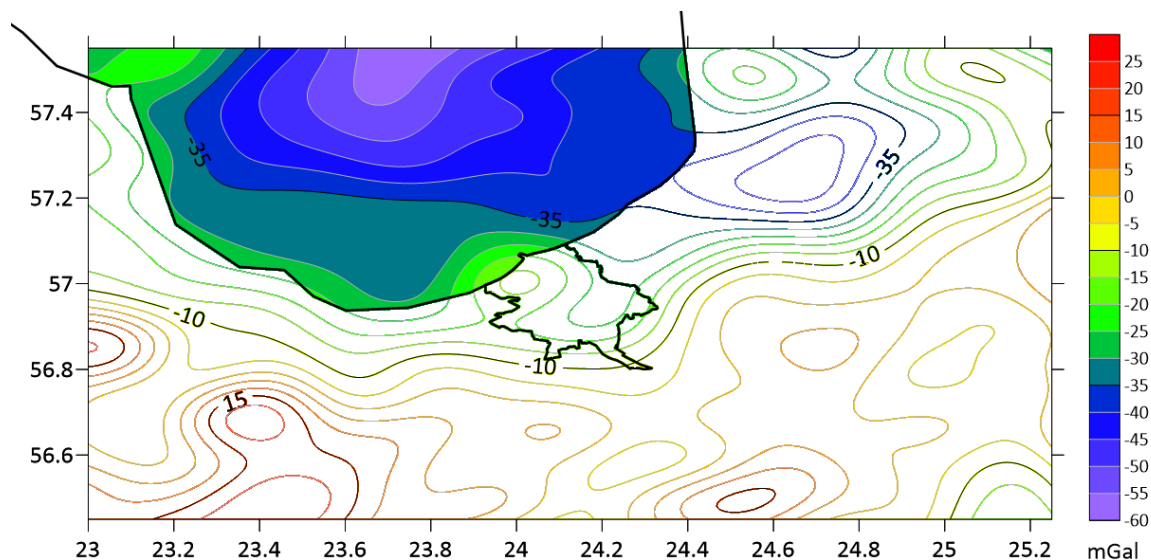
- 1) Autors: LĢIA.
- 2) Modelēšanā izmantoti – 305 punkti, kas uzmērīti ar relatīvo gravimetru.
- 3) Modelēšanas robežas – Latvijas sauszemes teritorijas daļa.



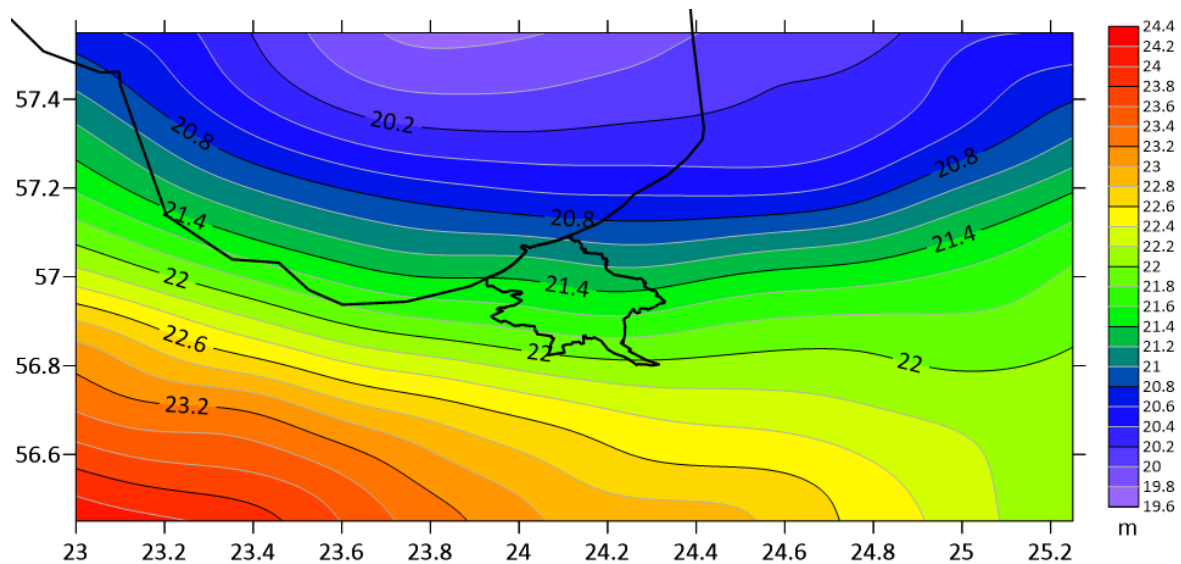
1.1.attēls. Brīvā gaisa gravitācijas anomālijas sauszemes teritorijas daļai no $56^{\circ} 45' 00''$ līdz $57^{\circ} 15' 00''$ Z.p. un no $23^{\circ} 30' 00''$ līdz $24^{\circ} 45' 00''$ A.g

Pasaules gravitācijas lauka modelis EGM2008:

- 1) Autors: ASV Nacionālās Ģeotelpiskās – izlūkošanas aģentūra (U.S. *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)*), aprēķināts 2008. gadā.
- 2) Avots: http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime.
- 3) Modelēšanai izmantots robežās – no 56° 27' 00" līdz 57° 33' 09" Z.p. un no 23°00' 00" līdz 25° 15' 00" A.g..
- 4) Dati ieguves veids – satelīt misija (A, G, S (Grace)).
- 5) Izšķirtspēja – 5 loka minūtes.
- 6) Eiropā, EGM2008 modeļa standartnovirze GPS/nivelēšanas punktos – 0.125m.
- 7) Izmantojot EGM2008 modeli iegūts:
 - 7.1) Gravitācijas anomālijas Rīgas līča akvatorijas daļai, kārta un pakāpe – 2160. (skat. attēlu 1.2.)
 - 7.2) Ģeoīda modelis, kārta un pakāpe – 2160 (skat. attēlu 1.3.).
- 8) Faila formāts *.gfc.



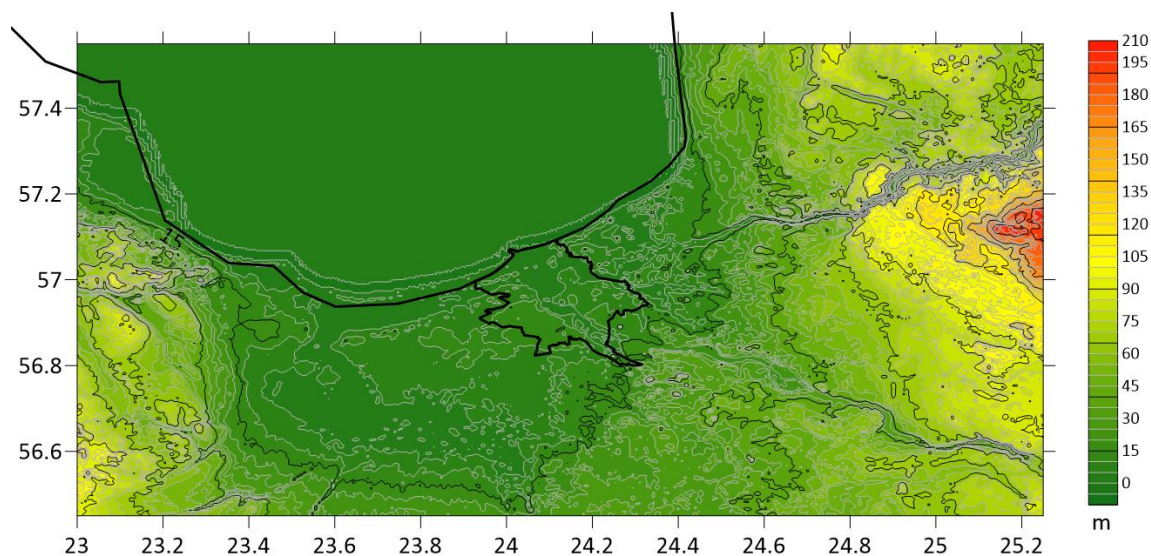
1.2.attēls. Gravitācijas anomālijas Rīgas līča akvatorijas daļai no 56° 27' 00" līdz 57° 33' 09" Z.p. un no 23°00' 00" līdz 25° 15' 00" A.g..



1.3.attēls. Ģeoīda modelis robežās no 56° 27' 00'' līdz 57° 33' 09'' Z.p. un no 23°00' 00'' līdz 25° 15' 00'' A.g..

Latvijas sauszemes teritorijas digitālais reljefa modelis (skat. attēlu 1.4.):

- 1) Autors: LĢIA.
- 2) Avots: <https://www.lgia.gov.lv/lv/Digit%C4%81lais%20reljefa%20modelis>
- 3) Modelēšanai izmantots robežās no 56° 27' 00" līdz 57° 33' 09" Z.p. un no 23°00' 00" līdz 25° 15' 00" A.g..
- 4) Izšķirtspēja – ar soli starp punktiem 20 metri.
- 5) Datu ieguves veids – veicot lāzerskenēšanu.
- 6) Faila formāts *.adf.



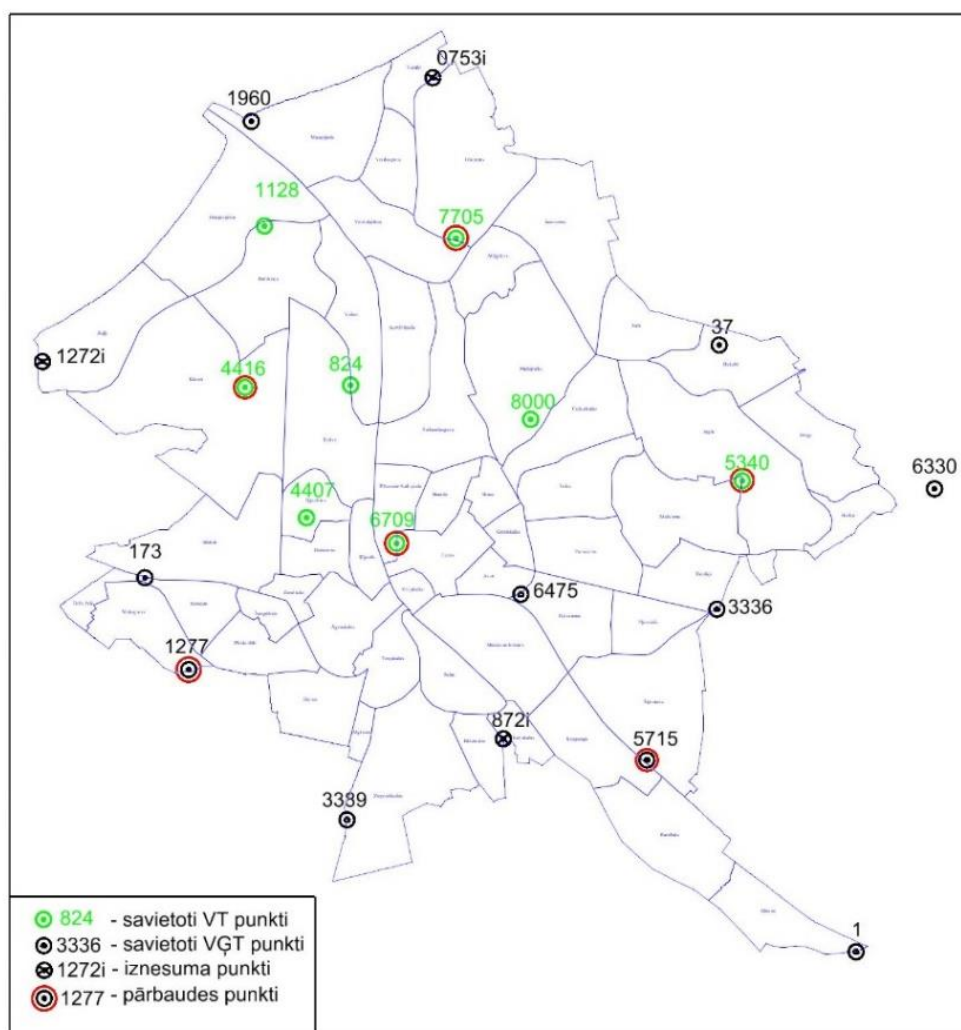
1.4.attēls. Digitālais reljefa modelis no 56° 27' 00" līdz 57° 33' 09" Z.p. un no 23°00' 00" līdz 25° 15' 00" A.g..

Savietotie nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punkti (skat. attēlu 1.5.):

- 1) Globālo pozicionēšanu veica Rīgas Domes Pilsētas attīstības departaments. GP novērojumi veikti laika periodā no 2019. gada līdz 2020. gadam uz nivelēšanas tīkla N1 klases un VT punktiem. Veiktas neatkarīgas sesijas 4 stundu garumā. Globālās pozicionēšanas aprēķiniem izmantota *Bernese Software 5.2* programma ar precīzām satelītu efemerīdām un ievērojot neatkarīgo vektoru principu.
- 2) Globālās pozicionēšanu laikā iegūtas augstuma standartnovirzes (1σ) – līdz 3mm.
- 3) Avots – Rīgas Domes Pilsētas attīstības departaments.
- 4) Kvaziģeoīda modeļa izstrādei izmantoti valsts ģeodēziskā tīkla (turpmāk – VĢT) nivelēšanas 1. klases punkti un VT tīkla punkti, kuru standartnovirzes vienas sigmas robežās pret VĢT nepārsniedz 2mm. Modelēšanā izmantotie punkti, to

nosaukumi un klases, kā arī datu avots un veiktā darba sadalījums apkopots 1.tabulā.

- 5) Vietās, kur apstākļi neļāva veikts GP novērojumu uz savietotiem punktiem, Rīgas Domes Pilsētas attīstības departaments ar ģeometrisko nivelēšanu atbilstoši 2.klases noteiktībai veica iznesumus. Ģeometriskās nivelēšanas laikā iegūti normālie augstumi, kuru standartnovirzes vienas sigmas robežās pret valsts ģeodēzisko tīklu nepārsniedz 2mm.
- 6) Modeļa aprēķināšanā izmantoti – 15 punkti, pārbaudē – 6 punkti.



1.5.attēls. **Savietotie un pārbaudes nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punkti**

1.tabula

N.p.k	Nosaukums	Punkta klase	Punkta veids	Zīmes tips	Ģeodēzisko darba veicējs	Datu avots vai darba rajons	RDPAD veikti darbi
1	37a	N1; G2	gr	gr-019	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
2	1d	N1	gr	gr-019	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
3	173a	N1	gr	gr-002	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
4	0753	N1	sm	sm-001	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	Ģeom. niv. (iznesums)
5	6475	N1	gr	gr-002	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
6	6330	N1	gr	gr-002	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
7	5715	N1	fr	fr-001	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
8	3389	N1	fr	fr-003	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
9	3336	N1	fr	fr-002	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
10	1960	N1	gr	gr-025	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
11	1277	N1	gr	gr-019	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	"_"
12	1272	N1	gr	gr-019	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	Ģeom. niv. (iznesums)
13	872	N1	sr	sr-011	LĢIA	LĢIA valsts ģeodēziskā tīkla datubāze: https://geodezija.lgia.gov.lv/start.php	Ģeom. niv. (iznesums)
14	1128b	VT	gr	gr-026	LĢIA	LĢIA 2020. gada 7. janvāra vēstule Nr.12/7/1-14 "Par normālo augstumu LAS-2000,5 noteikšanu Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla punktiem"	"_"
15	8000	VT	gr	g1-095	Mērniecības uzņēmums	Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla pamatgājienu pilnveidošanas pārskats Darba rajons "Mežaparks"	"_"
16	7705	VT	gr	gr-028	Mērniecības uzņēmums	Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla pamatgājienu pilnveidošanas pārskats Darba rajons "Mežaparks"	"_"
17	6709	VT	gz	g1-087av	Mērniecības uzņēmums	Darba rajoni: Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla pilnveidošanas pārskats. Paaugstinātas precizitātes nivelēšana Darba rajoni „IMANTA”, „SARKANDAUGAVA”, „CENTRS”, „PURVCIEMS” un „JUGLA”.	"_"
18	5340	VT	gz	g1-095	Mērniecības uzņēmums	Darba rajoni: Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla pilnveidošanas pārskats. Paaugstinātas precizitātes nivelēšana Darba rajoni „IMANTA”, „SARKANDAUGAVA”, „CENTRS”, „PURVCIEMS” un „JUGLA”.	"_"
19	4416	VT	gr	gr-030	Mērniecības uzņēmums	Darba rajoni: Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla pilnveidošanas pārskats. Paaugstinātas precizitātes nivelēšana Darba rajoni „IMANTA”, „SARKANDAUGAVA”, „CENTRS”, „PURVCIEMS” un „JUGLA”.	"_"
20	4407	VT	gr	gr-030	LĢIA	LĢIA 2020. gada 7. janvāra vēstule Nr.12/7/1-14 "Par normālo augstumu LAS-2000,5 noteikšanu Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla punktiem"	"_"
21	824	VT	gr	gr-026	LĢIA	LĢIA 2020. gada 7. janvāra vēstule Nr.12/7/1-14 "Par normālo augstumu LAS-2000,5 noteikšanu Rīgas pilsētas vietējā ģeodēziskā tīkla punktiem"	"_"

Kvaziġeoīda modeļa aprēķināšana

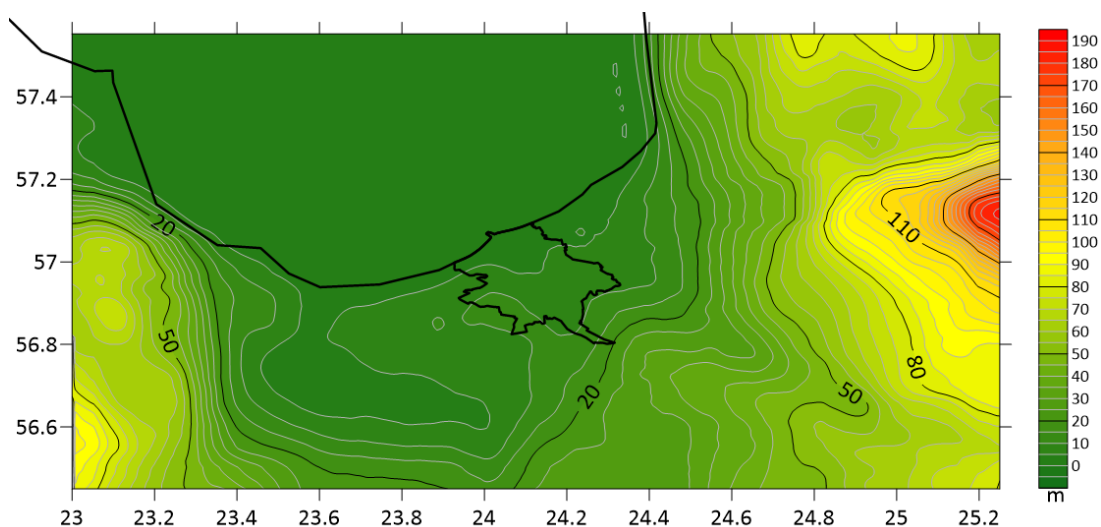
Kvaziġeoīda modeļa aprēķināšana notiek secīgi, sākotnēji sagatavojot piecas izejas datnes:

- 1) Digitālais reljefa modelis tīklu veidā datu formātā (*grid*), – robežā no $56^{\circ} 27' 00''$ līdz $57^{\circ} 33' 09''$ Z.p. un no $23^{\circ} 00' 00''$ līdz $25^{\circ} 15' 00''$ A.g.. ar 10" soli. Digitālais reljefa modelis *.dat* paplašinājumā iegūts ar *ArcGIS Pro* programmas ģeoapstrādes rīkiem, apstrādājot LGIA izstrādāto digitālo reljefa modeli. Izveidotā datnē *.dat* paplašinājumā satur sarakstu ar punktiem, kam noteikts – platums, garums un normālais augstums. Iegūtā datne *.dat* formātā importēta *Surfer 16* vidē, izveidojot digitālo reljefa modeli tīklu veidā datu formātā *.grd* paplašinājumā. (skat. 1.4 attēlu) Ar *Surfer 16* programma palīdzību, datne *.grd* sakārtota, lai tā atbilstu programmas GRAVSOFTE atbalstāmajam *.gri* datu formātam.
- 2) Brīvā gaisa gravitācijas anomālijas 305 gb., robežā no $56^{\circ} 45' 00''$ līdz $57^{\circ} 15' 00''$ Z.p. un no $23^{\circ} 30' 00''$ līdz $24^{\circ} 45' 00''$ A.g..
- 3) 15 savietotie nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punkti.
- 4) Ar *GEOCOL17* programmas palīdzību no Pasaules gravitācijas lauka modeļa EGM2008 atvasinātais ģeoīda modeli tīklu veidā datu formātā, robežā no $56^{\circ} 27' 00''$ līdz $57^{\circ} 33' 09''$ Z.p. un no $23^{\circ} 00' 00''$ līdz $25^{\circ} 15' 00''$ A.g. ar 27" soli – 2160 kārtā un pakāpe.
- 5) Ar *GEOCOL17* programmas palīdzību no Pasaules gravitācijas lauka modeļa EGM2008 atvasinātais gravitācijas anomālijas tīklu veidā datu formātā, robežā no $56^{\circ} 27' 00''$ līdz $57^{\circ} 33' 09''$ Z.p. un no $23^{\circ} 00' 00''$ līdz $25^{\circ} 15' 00''$ A.g. ar 27" soli – 2160 kārtā un pakāpe.

Visas izejas datnes novietotas vienā mapē. Blakus novietotiem datiem izveidota cita mapē, kurā ievietoja palaišanas datne (*runjob.bat*) un GRAVSOFTE programmas *GEOCOL17*, *SELECT*, *TCGRID*, *TC*, *TCFOUR*, *GEOIP*, *GEOGRID*, *SPFOUR* un *GCOMB* ar sagatavotām palaišanas komandām. Kad visas izejas datnes ir sagatavotas aprēķinam, izmantojot GRAVSOFTE programmatūras kopumu, uzsākta kvaziġeoīda modeļa aprēķināšana:

- 1) Ar *SELECT* programmas palīdzību digitālo reljefa modeli ar soli 10" pārveido GRAVSOFTE regulārā tīklu datu veidā, iegūstot DTM (*digital terrain model*) tīklu veidā datu formātā ar soli 27". Digitālo reljefa modeli veido ar citu soli, jo RTM efektu aprēķinam nepieciešami divi digitāli augstuma modeļi – “detalizēts” un “rets”, kurus attiecīgi izmanto iekšējā un ārējā zonā.

- 2) Ar *TCGRID* programmas palīdzību DTM tīklu veidā datu formātā ar soli 27" – retušē ar soli ~100km (skat. attēlu 1.6). Apstrādē izmantoti sekojoši ievadparametri: *itype* – 0, *fimin* – 0, *fimax* – 0, *lamin* – 0, *lamax* – 0, *idfi* – 1, *idla* – 1, *iffi* – 15, *ifla* – 15.



1.6.attēls. Retušēta DTM virsma

- 3) Ar *SELECT* programmas palīdzību no sauszemes relatīviem gravimetriskiem punktiem veidojas datne *.dat* datu formātā, robežā no 56° 27' 00" līdz 57° 33' 09" Z.p. un no 23°00' 00" līdz 25° 15' 00" A.g. ar 27" soli, izveidojot datni reducēšanai. Atmosfēras korekcija nevar pārsniegt 0,87 mGal. Korekcija ir salīdzinoši maza - tā būtiski neietekmē reducēšanu un tādēļ aprēķinā nav izmantota.
- 4) Ar *TC* programmas palīdzību saskaita RTM (*residual terrain model*) gravitācijas lauka reducētās vērtības, aprēķina gravitācijas lauka traucējumus un pārveido iekšējo zonu (*innerzone*), lai tā atbilstu topogrāfiskai virsmai. Aprēķins ir balstīts uz diviem DTM – detalizēto ar 10" un reto ar 27". Tiek pieņemts, ka abām tīkla (*grid*) datnēm ir kopīgas robežas. Aprēķins tiek veikts noteiktā attāluma no aprēķināmā punkta vai visām masām noteiktā apgabalā. Aprēķinā detalizēta DTM tīkla (*grid*) datne tiek izmantota noteiktā rādiusā. Detalizēta DTM tīkla (*grid*) datnes solim jābūt vismaz 2 reizes biežākam par skraja DTM tīkla (*grid*) datnes soli. Apkārtējo reljefa virsmu ap aprēķināmo punktu sablīvē, izmantojot divkubisko līklīniju interpolāciju. Ja aprēķināmais punkts atrodas topogrāfiskā virsmā, reljefa modelis tiek vienmērīgi pārveidots iekšējā zonā, lai punktam iegūtu pareizu augstumu. Apstrādē izmantoti sekojoši ievadparametri: *itype* – 1, *ikind* – 4, *izcode* – 4, *istyp* – 3, *rho* – 2.43, *fi1* – 56.45, *fi2* – 57.5525, *la1* – 23.00, *la2* – 25.25, *r1* – 12, *r2* – 9999. Apstrādē ir izmantots Latvijas vidējais augšējā Zemes slāņa blīvums – 2,43g/cm³.

- 5) Ar *TCFOUR* programmas palīdzību – izmantojot Furjē metodi aprēķina RTM reljefa efektu, kas satur RTM efektus 1 km rādiusā no aprēķināma punkta. RTM reljefa efektu aprēķina ar *TCFOUR* programmu, palaižot to 4. režīmā. Iegūtus RTM efektus jāizskaita no novērojumiem.
- 6) Ar *GEIOP* programmas palīdzību – jāizskaita RTM efekti: 1) No EGM2008 modeļa atvasinātiem gravitācijas anomālijām, kas sakārtoti *.gri* paplašinājumā, jāatņem sauszemes teritorijas daļai iegūtie brīvā gaisa gravitācijas anomālijas *.dat* paplašinājumā; 2) Iegūto starpību jāizskaita no RTM virsmas efekta, iegūstot reducētos gravitācijas virsmas datus *.dat* paplašinājumā.
- 7) Ar *TCFOUR* programmas palīdzību – atjauno ģeoīda modeļa efektus, izmantojot ātro Furjē transformācijas algoritmu (*Fast Fourier Transform*).
- 8) Ar programmu *GEOGRID*, *SPFOUR*, *GCOMB* un *GEOIP* palīdzību – aprēķina gravimetrisko ģeoīda modeli, kas piesaistīts pie globālas atskaites sistēmas un kuru nepieciešamas piesaistīt pie savietotiem nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punktiem. Aprēķinā izmantots 25km garš korelācijas garums.
- 9) Ar programmu *GEOIP*, *GEOGRID* un *GCOMB*, palīdzību – gravimetrisko ģeoīda modeli piesaista (*fitting*) pie savietotiem nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punktiem. Vispirms no aprēķinātā gravimetriskā ģeoīda modeļa atņem savietotos nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punktus, iegūstot ģeoīda viļņa vērtības starpību. Tad iegūto starpību transformē regulārā tīklu datu formātā un pieskaita pie gravimetriskā ģeoīda modeļa.

Aprēķinātajam gravimetriskam ģeoīda modelim GRAVSOFTE programma *GEOIP* noteica precizitātes novērtējumu, kas atspoguļots 2. tabulā.

2. tabula

Gravimetriskā ģeoīda modeļa precizitātes novērtējums

vidēja novirze (mean) m	standartnovirze (std.dev) m	novirzes intervāls	
		(min) m	(max) m
-0.591	0.012	-0.614	-0.575

Aprēķinā iegūts augstuma anomāliju modelis – kvaziģeoīds ar definēto soli 0.0075 decimālgrādiem, robežā no 56° 27' 00" līdz 57° 33' 09" Z.p. un no 23°00' 00" līdz 25° 15' 00" A.g.. Aprēķinātajam kvaziģeoīda modelim GRAVSOFTE programma *GEOIP* noteica precizitātes novērtējumu, kas atspoguļots 3. tabulā.

Kvaziģeoīda modeļa precizitātes novērtējums

vidēja novirze (mean) m	standartnovirze (std.dev) m	novirzes intervāls	
		(min) m	(max) m
0.000	0.006	-0.010	0.010

Kvaziģeoīda modeļa standartnovirze aprēķināta atbilstoši Beseļa formulai:

$$\sigma_{RIGA'20} = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}}$$

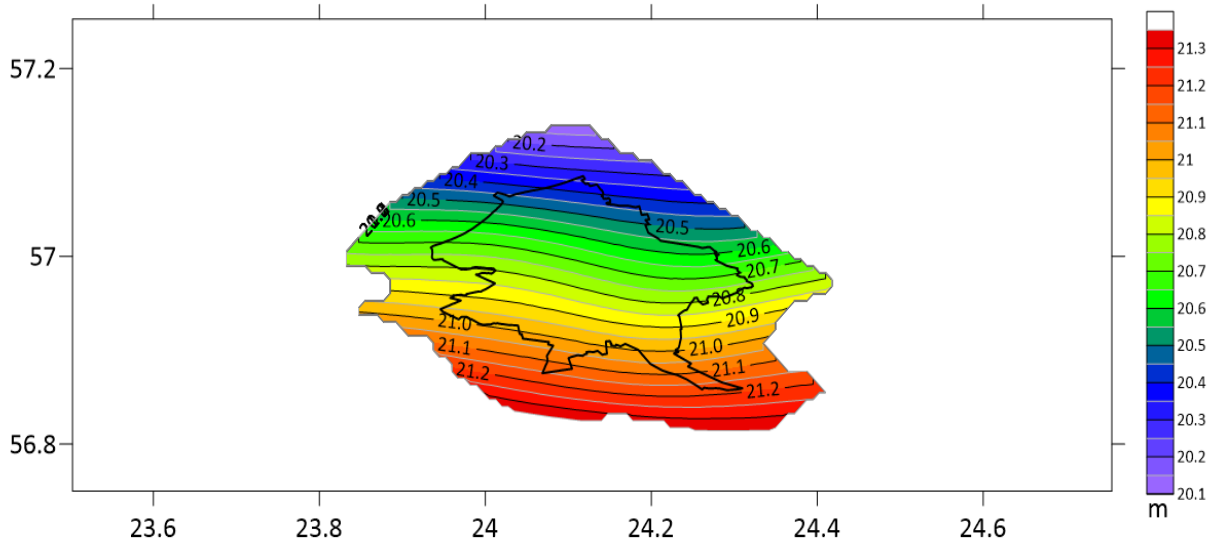
Savietošanas procesā (*fitting*) *GRAVSOFT* programma *GEOIP* nosaka arī dispersiju starp savietotiem punktiem un aprēķināmo kvaziģeoīda modeli, kas atspoguļota 4. tabulā.

Savietotu punktu dispersija

Punkta nosaukums	Platums (lat)	Garums (lon)	Starpība (m)
1272i	57.000900	23.936603	-0.004
1128	57.037944	24.038196	0.005
824	56.998528	24.077245	0.010
4407	56.965741	24.057205	-0.006
173	56.950905	23.984015	-0.010
3389	56.890998	24.075385	0.010
872i	56.910526	24.145836	0.001
1960	57.063804	24.032318	0.002
37	57.008249	24.244453	-0.007
8000	56.989996	24.158836	0.001
753i	57.075404	24.117050	0.003
6330	56.972419	24.341700	-0.003
6475	56.946674	24.154288	-0.004
3336	56.942872	24.242953	0.002
1	56.857982	24.305301	0.000

Kvaziģeoīda modelis RIGA'20 izstrādāts Rīgas administratīvai teritorijai, tādējādi kvaziģeoīda modeļa robeža samazināta līdz 56° 45' 00" līdz 57° 15' 09" Z.p. un no 23° 30' 09" līdz 24° 45' 18" A.g. un visas vērtības, kas atrodas tālāk par ~6km no Rīgas pilsētas administratīvas teritorijas robežas, aizstātas ar vērtību 9999.000.

Gala aprēķinā iegūts augstuma anomāliju modelis – kvaziģeoīds ar definēto soli 0.0075 decimālgrādi, robežā no 56° 45' 00" līdz 57° 15' 09" Z.p. un no 23° 30' 09" līdz 24° 45' 18" A.g. (skat. attēlu 1.7).

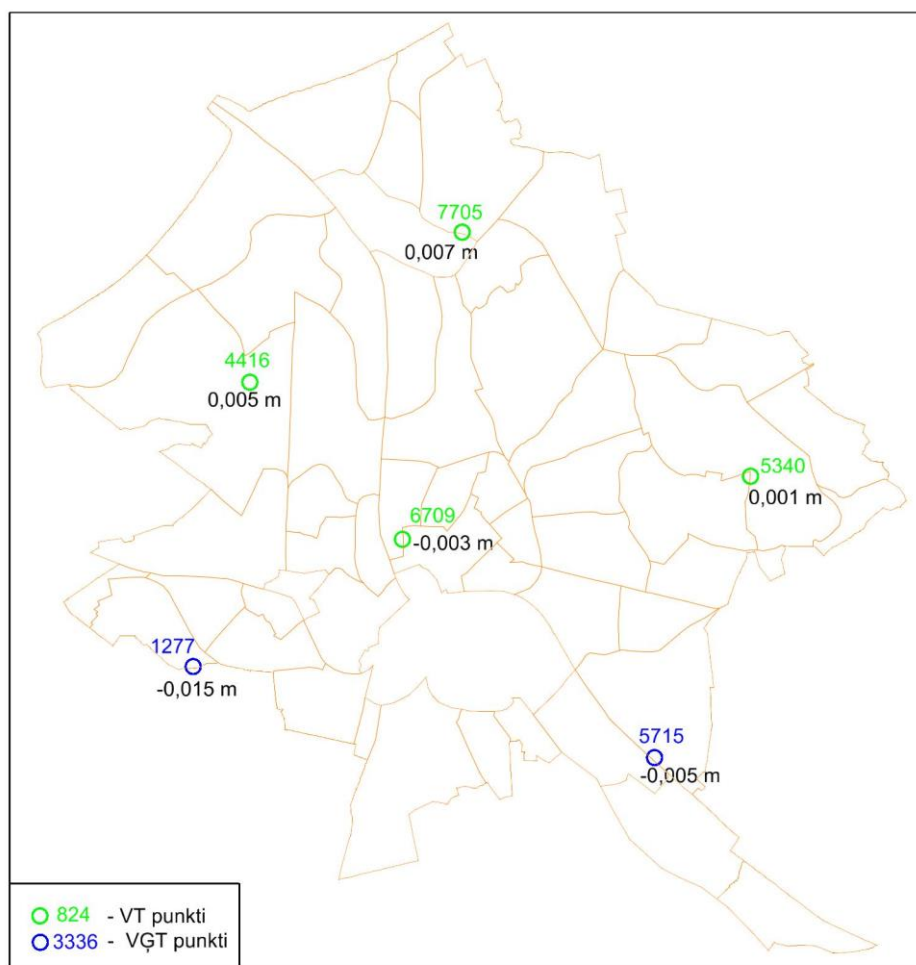


1.7.attēls. Kvaziģeoīda modelis RIGA'20

Kvaziġeoīda modeļa pārbaude pēcapstrādes režīmā

Kvaziġeoīda modeļa pārbaude veikta laika posmā no 01.09.2020. līdz 10.03.2021. gan pēcapstrādes, gan reālā laika režīmā (*Real time cinematic*) (turpmāk – RTK), lai salīdzinātu modeļa aprēķinātās augstuma anomālijas ar apvidū iegūtajiem GNSS (*Global Navigation Satellite System*) mērījumiem. Augstuma anomālija ir vērtība, kuru ģeodēziskās programmas izmanto kā pāreju no ģeodēziskā (elipsoidālā) augstuma uz normālo augstumu gan globālās pozicionēšanas instrumentos, gan ģeodēziskās apstrādes programmās.

Pārbaudei izmantoti seši punkti – nivelēšanas tīkla N1 klases un VT punkti, kuru standartnovirzes vienas sigmas robežās pret VĢT nepārsniedz 2mm. Globālā pozicionēšana veikta pēcapstrādēs režīmā, augstuma standartnovirze pret VĢT vienas sigmas robežās ir līdz 3 mm. Attiecīgi izmantojot aprēķināto augstuma anomāliju modeli, iegūtas normālo augstumu starpības, kur maksimālās vērtības pēcapstrādes punktos ir intervālā no - 15 mm līdz 7 mm (skat. attēlu 1.7).

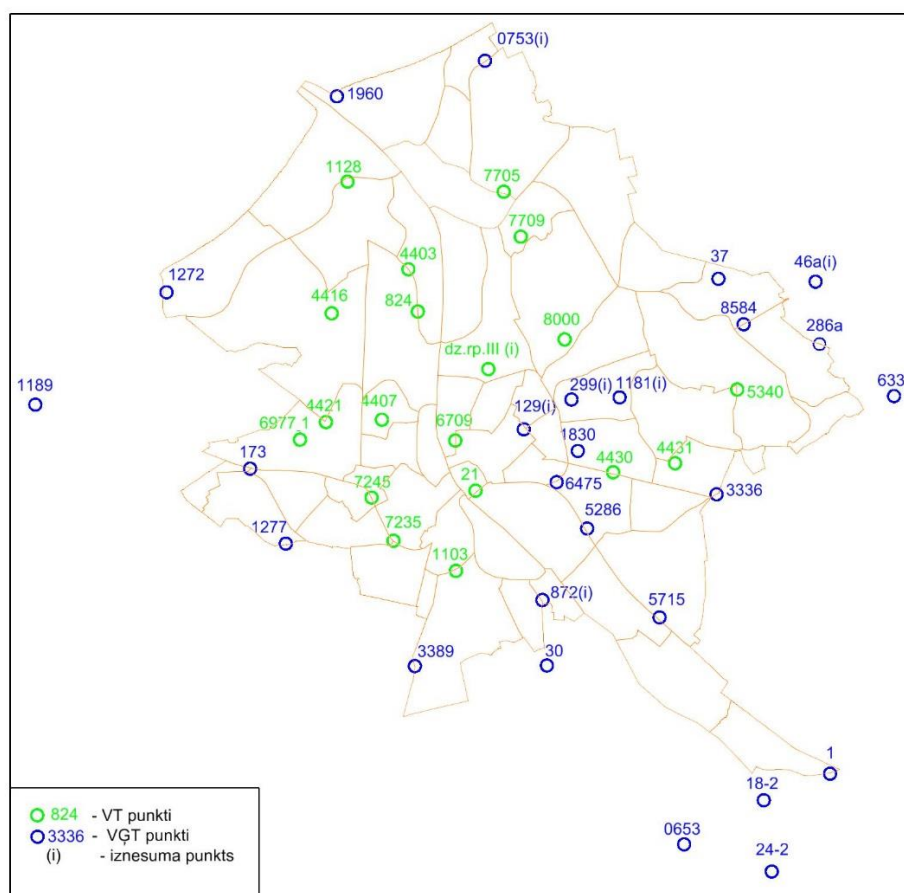


1.7.attēls. Normālo augstumu starpība kontrolpunktos

Kvaziġeoīda modeļa pārbaude reālā laika režīmā

Globālās pozicionēšanas novērojumi RTK režīmā EUPOS-RĪGA sistēmā veikti atbilstoši Departamenta izdotajiem “Ieteikumiem RTK mērījumiem EUPOS-RĪGA tīklā” <https://www.rdpad.lv/geotelpiska-informacija/eupos-riga/> un LatPos tīklā atbilstoši LĢIA apstiprinātiem Pastāvīgās globālās pozicionēšanas bāzes staciju sistēmas „Latvijas Pozicionēšanas sistēma” lietošanas noteikumi https://www.lgia.gov.lv/sites/lgia/files/document/LatPos_sist%C4%93mas_lieto%C5%A1anas_noteikumi.pdf.

Pārbaudes laikā ir veiktas 2 neatkarīgas novērošanas sesijas ar laika atstarpi minimums viena stunda – 10 īsas sesijas, katrā sesijā 10 mērījumi ar reģistrēšanas intervālu 1 sekunde. Katrā novērošanas sesijā novērojumus veica cits operators. Globālās pozicionēšanas novērojumiem izvēlēts tuvākās stacijas risinājumus, ģeodēziskais augstums noteikts kā vidējais. Veicot globālās pozicionēšanas mērījumus reālā laika režīmā, īpaša uzmanība pievērsta mērījumu precizitātei, novērojumu izkliedei, rupju kļūdu izslēgšanai, lēcieniem novērojumu virknē, kā arī kontroles novērojumiem.



1.8.attēls. RTK režīmā pārbaudes shēma

RTK pārbaudē izvēlēti 45 punkti (skat. attēlu 1.8), no tiem 26 Valsts ģeodēziskā tīkla punkti un 19 VT punkti. Septiņiem punktiem 0753i, 46a(i), 1181i, dz.rp.III(i), 299i, 129(i), un 872(i) veikti līdz 60 m gariem iznesumiem. Iznesumi veikt ar ģeometrisko nivelēšanu atbilstoši 2.klases noteiktībai veica iznesumus.

Globālā pozicionēšana veikta RTK režīmā, EUPOS-RĪGA un LatPos sistēmā. Analizējot iegūtos rezultātus, jāņem vērā, ka standartnovirze ģeodēziskajām (elipsoidālajām) augstumam raksturo mērījumu apstākļus neatkarīgi no izmantotā kvaziģeoīda modeļa.

Kvaziģeoīda modeļa pārbaudei LatPos sistēmā izvēlēti 37 punkti. Globālās pozicionēšanas laikā iegūtas standartnovirzes līdz 10 mm. Izmantojot aprēķināto augstuma anomāliju modeli, iegūtās normālo augstumu starpības LatPos sistēmā ir intervālā no -14 mm līdz 25 mm, vidēja vērtība 9 mm (skat. 3.diagramma).

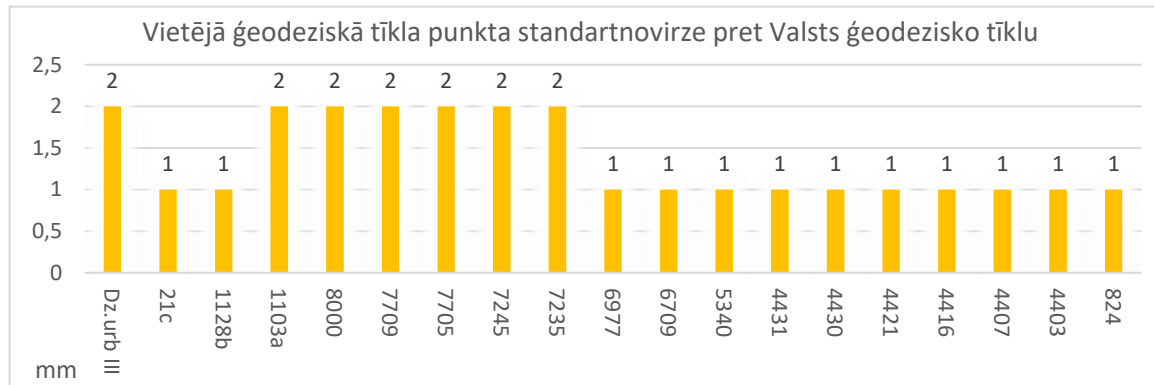
Kvaziģeoīda modeļa pārbaudei EUPOS-RĪGA sistēmā izvēlēti 45 punkti. EUPOS-RĪGA tīklā, izmantojot aprēķināto augstuma anomāliju modeli, novērojumi veikti uz VĢT punktiem, kas atbilst 2011. gada 15. novembra Ministru kabineta noteikumu Nr. 879 “Ģeodēziskās atskaites sistēmas un topogrāfisko karšu sistēmas noteikumi” 12. punktam un uz VT punktiem, kuru standartnovirzes vienas sigmas robežās pret VĢT nepārsniedz 2mm un neskatoties uz to, ka EUPOS-RĪGA bāzes stacijām piemēro standartnovirzi ģeodēziskajam (elipsoidālajam) augstumam 15mm pret VĢT, iegūtā normālo augstumu starpība ir intervālā no -17 mm līdz 26 mm, vidējā vērtība 5 mm (skat. 3.diagramma). EUPOS-RĪGA sistēmā iegūtais normālo augstumu starpību intervāls līdzīgs ar iegūto intervālu LatPos sistēmā, kas apstiprina to, ka nosākamā standartnovirze ne vienmēr nosaka mērījuma precizitāti.

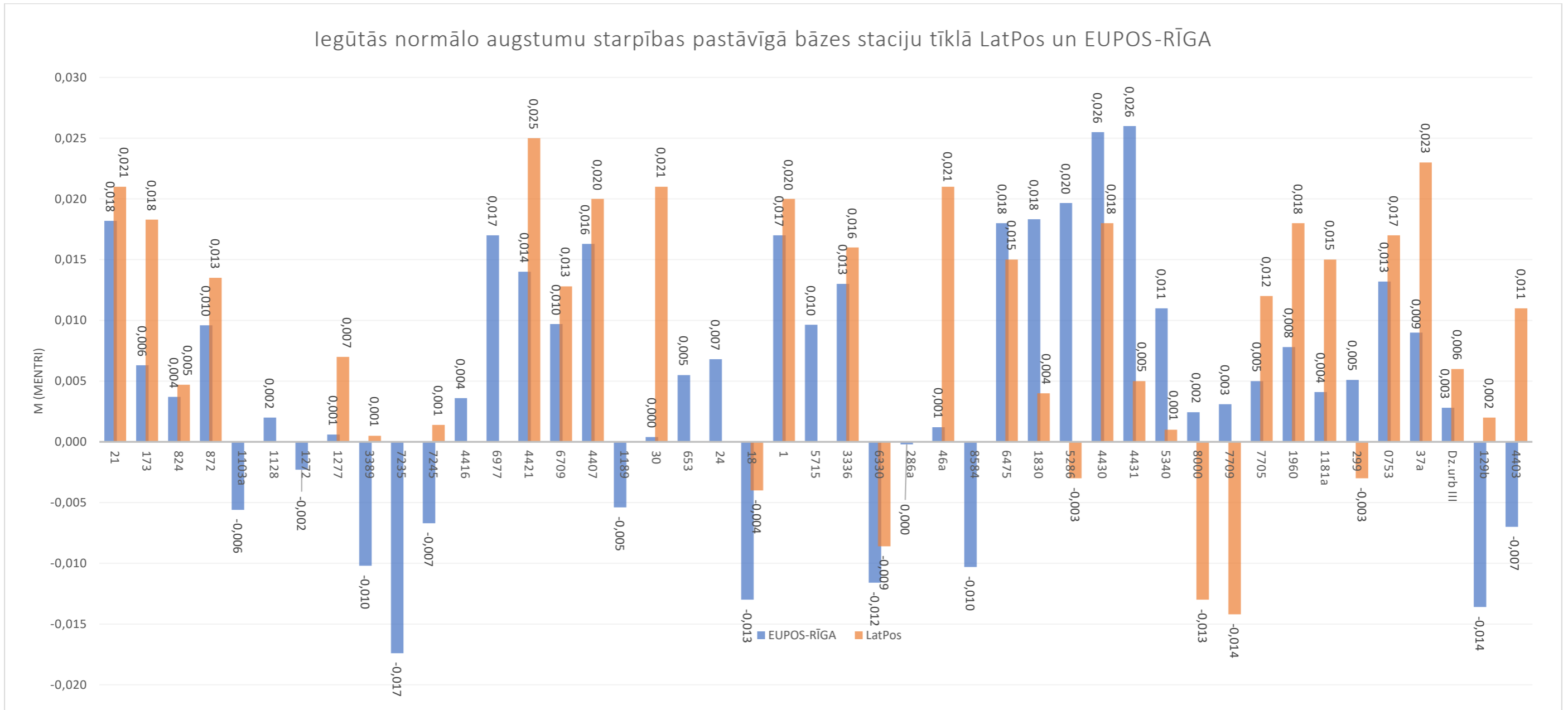
Analizējot iegūtās normālo augstumu atšķirības starp LatPos un EUPOS-RĪGA sistēmām secināms, ka atšķirības starp iegūtiem normāliem augstumiem ir intervālā no 1mm līdz 21mm, vidējā atšķirības vērtība ir -2mm. Papildus konstatējams, ka 24 no 37 gadījumos ievērojama tendence – Latpos sistēmā iegūtie normālie augstumi ir augstāk par iegūtiem normāliem augstumiem EUPOS-RĪGA sistēmā. Sistemātiskā atšķirība, iespējams, saistīta ar *GEO++ GNSMART* un *Leica SpiderWeb* sistēmas programmatūras iestatījumu vai datu apstrādes algoritmu atšķirībām.

Pārbaudot kvaziģeoīda savietošānu ar augstumu atskaites sistēmu, jāņem vērā, ka atbilstoši 2011. gada 15. novembra Ministru kabineta noteikumu Nr. 879 “Ģeodēziskās atskaites sistēmas un topogrāfisko karšu sistēmas noteikumi” 25. punktam augstumu sistēma aprēķināta ar noteikto standartnovirzi. Noteiktie normālie augstumi savietotajiem un pārbaudes punktiem vērtējami vismaz piecas reizes labāk nekā iegūtais ģeodēziskais (elipsoidālais) augstums, tāpēc to ietekme uz gala novērtējumu ir izslēdzama.

Pārbaudē izmantoto vietējā ģeodēziskā tīkla punktu standartnovirzes ir intervālā no 1 mm līdz 2mm (skat. 2. diagramma). Ģeometriskās nivelēšanas laikā ir iegūtas standartnovirzes, kas vienas sigmas robežās nepārsniedz 1 mm. Līdz ar to secināms, ka pārbaudes laikā izmantoto VT punktu normālie augstumi arī vērtējami vismaz piecas reizes labāk nekā iegūtais ģeodēziskais augstums, tāpēc to ietekme uz gala novērtējumu arī ir izslēdzama.

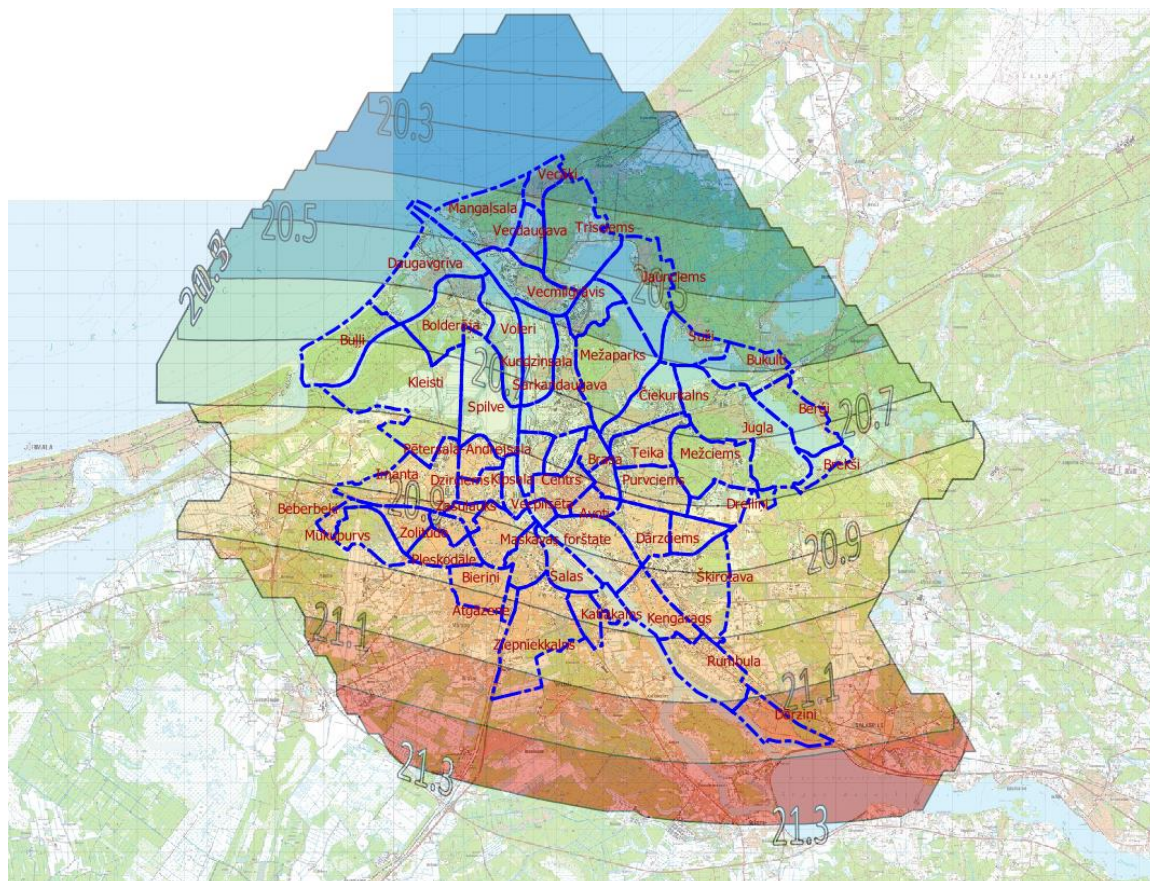
2.diagramma





Secinājumi

Izveidotais kvaziģeoīda modelis RIGA'20 ir ar definēto soli 27" sekundes jeb 0.0075 decimālgrādi robežās no 56° 45' 00" līdz 57° 15' 09" Z.p. un no 23° 30' 09" līdz 24° 45' 18" A.g. (skat. attēlu 1.9.). Augstuma anomālijas pārklāj Rīgas pilsētas administratīvo teritoriju intervālā no 20.3 m līdz 21.1 m. Kvaziģeoīda modeļa RIGA'20 pārbaudes rezultātā pret N1 klases un VT punktiem iegūtās normālo augstumu starpības gan pēcapstrādes, gan RTK režīmā atbilst Departamenta izvirzītajiem mērķiem.



1.9.attēls. Kvaziģeoīda modeļa RIGA'20 robeža

Kvaziģeoīda modelis pārklāj Rīgas pilsētas administratīvo robežu, daļēji Jūrmalas un Pierīgas pašvaldību administratīvas robežas. Modeļa izveidošanā un pārbaudē izmantoti, galvenokārt savietotie nivelēšanas un globālās pozicionēšanas punkti, kas atrodas Rīgā, Jūrmalā pilsētās un Garkalnes, Ķekavas, Stopiņu un Salaspils novados. Kvaziģeoīda modeļa izmantošana Rīgas pilsētas administratīvā teritorijā ieteicama un nepieciešama. Savukārt ārpus Rīgas pilsētas administratīvās robežas kvaziģeoīda modeļa RIGA'20 izmantošana pieļaujama tikai veicot papildus kontrolmērījumus. Departaments nav atbildīgs par kvaziģeoīda modeļa precizitāti ārpus Rīgas pilsētas administratīvās robežas.

Kvaziġeoīda modeli jāizmanto Rīgas teritorijā, ievērojot šādas rekomendācijas:

- 1) Veicot augstas detalizācijas topogrāfiskās informācijas uzmērīšanas darbus vai kontrolmērījumus pilnveidoto VT un VĢT punktu tiešā tuvumā (līdz 200 m), VT un VĢT punktu izmantošana ir obligāta.
- 2) Novērojumus ar globālās pozicionēšanas metodi veic saskaņā ar vispārpieņemtajiem globālās pozicionēšanas sistēmas mērījumu veikšanas tehnoloģijas nosacījumiem, kas nodrošina satelītu pārraidītā signāla tiešu uztveršanu.
- 3) Veicot globāls pozicionēšanas novērojumus, jāievēro LatPos un EUPOS-RĪGA patstāvīgo bāzes staciju lietošanas noteikumu prasības.