



TALLINNA
TEHNIKAKÕRGKOO

Rait Leppik

**EHITUSTEGEVUSE TSOONI
JÄÄNUD KOHALIKU
GEODEETILISE VÕRGU JA
KÕRGUSVÕRGU MÄRKIDE
TEISALDAMISE JA
KONTROLLMÕÕTMISTE
PROJEKTEERIMINE**

LÕPUTÖÖ

Rait Leppik

**EHITUSTE GEVUSE TSOONI JÄÄNUD
KOHALIKU GEODEETILISE VÕRGU JA
KÕRGUSVÕRGU MÄRKIDE
TEISALDAMISE JA KONTROLL-
MÕÕTMISTE PROJEKTEERIMINE**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond

Rakendusgeodeesia õppekava

Juhendaja: Katrin Uueküla

Tallinn 2023

Mina Rait Leppik, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Katrin Uueküla */allkirjastatud digitaalselt/*

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina,

Rait Leppik

sünnikuupäev: 11/05/1981

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Ehitustegevuse tsooni jäänud kohaliku geodeetilise võrgu ja kõrgusvõrgu märkide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste projekteerimine“

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas,

/allkirjastatud digitaalselt/

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: **Rait Leppik**
Õpperühm: **KRG2019**
Eriala: **Rakendusgeodeesia (1824)**
Lõputöö teema: **Ehitustegevuse tsooni jäänud kohaliku geodeetilise võrgu ja kõrgusvõrgu märkide teisaldamise ja kontroll-mõõtmiste projekteerimine**

Lähteandmed töö koostamiseks:

- Maa-ameti geodeetiliste punktide andmekogu
- Tallinna geomõõdistuste infosüsteem
- Geodeetiline süsteem
- Geodeetiliste tööde tegemise ja geodeetilise märgi tähistamise kord, geodeetilise märgi kaitsevööndi ulatus ning kaitsevööndis tegutsemiseks loa taotlemise kord.
- Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend
- Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja rajamise juhend

Töö sisu, ülesehitus ja lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- töö eesmärgiks on anda ülevaade ehitustegevuse tõttu hävitatud või liikunud geodeetiliste märkide taastamisest ning kontrollmõõtmistest ja nende tööde planeerimiseks vajaliku projekti koostamisest Vao liiklussõlme näitel.
- töö sissejuhatavas osas antakse ülevaade Eesti geodeetilisest süsteemist sh. geodeetilisest referentssüsteemidest, tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemist, kõrgussüsteemist ning riiklikust ja kohalikust geodeetilisest võrgust.
- töö põhiosa on ülesehitatud vastavalt projekti koostamise käigus läbitud etappidele, kus alustatakse lähtematerjalide kogumisega geodeetilisest andmebaasidest ja geodeetiliste punktide ülevaatusega, uute märkide asukohtade ja tüüpide valiku ja kooskõlastamisega ning sidumisvõrkude ja -käikude planeerimisega.
- töö käigus kirjeldatakse vajalike mõõtmismetoodikaid vastavalt märkide täpsus-klassi ja järku kuulumise järgi ja mõõteseadmetele ning rajatavatele mõõtmiskäikudele ja võrkudele kehtestatud täpsusnõudeid.
- lisaks teostatakse esialgsete koordinaatidega staatilise GNSS mõõtmiste planeerimine vabavaralise tarkvaraga kasutades selleks mõõdetud ringpanoraame.

Lahendamisele kuuluvad küsimused:

- geodeetiliste märkide teisaldamiseks ja kontrollmõõtmisteks koostatava projekti kui juhendi vajadus ja tähtsus tööde läbiviimisel.
- kohalikus ja riiklikus geodeetilisest andmebaasides leiduva informatsiooni kattuvus ja ajakohasus.
- GNSS staatiliste mõõtmiste ajalise planeerimise vajalikus enne välitööd, arvestades GNSS seadmete parameetreid, geodeetiliste punktide panoraame, vektorite geomeetriat ja kaugusi ja ühiselt nähtavate satelliitide arvu kellaajaliselt.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Seletuskirja maht on ca 50-70 lk (koos lisadega 80 lk). Töö graafilise materjali moodustavad joonised, skeemid ja fotod.

Lõputöö juhendaja:

Katrin Uueküla
(nimi)


(allkiri)

27.02.2023
(kuupäev)

Lõpetaja:

Rait Leppik
(nimi)


(allkiri)

27.02.2023
(kuupäev)

Kinnitaja:

Aivars Alt
ehitusinstituudi direktor


(allkiri)

27.02.2023
(kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud: 27.02.2023

Lõputöö esitamise tähtaeg: 05.05.2023

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	8
1 EESTI GEODEETILINE SÜSTEEM JA VÕRGUD	10
1.1 Eesti geodeetiline süsteem.....	10
1.2 Geodeetilised võrgud.....	11
1.2.1 Riiklik plaaniline põhivõrk.....	12
1.2.2 Riiklik kõrgusvõrk.....	13
1.2.3 Kohalik geodeetiline võrk	14
1.3 Tallinna linna kohaliku geodeetilise võrgu ülevaade ja kujunemine	16
2 KOHALIKU GEODEETILISE VÕRGU RAJAMISE JA REKONSTRUEERIMISE METOODIKA.....	18
2.1 Juhendid ja seadusandlus.....	18
2.2 Kohaliku võrgu ülesehitus ja täpsus	18
2.3 Kohaliku võrgu rajamise projekt	19
3 KOHALIKU GEODEETILISE VÕRGU REKONSTRU-EERIMINE JA KONTROLLMÕÕTMINE VÄO LIIKLUS-SÕLME RAJAMISEL	22
3.1 Lähteülesanne	22
3.2 Geodeetiliste punktide andmekogud ja lähteandmed	25
3.2.1 Geodeetiliste punktide andmekogud	25
3.2.2 Geodeetiliste punktide lähteandmed	26
3.3 Punktide lähteolukorra ülevaatus.....	31
3.4 Uute märkide ja reeperite asukohavalik	36
3.5 Uute märkide ja reeperite tüübid	38
3.6 Asukoha kirjelduste ja panoraamide koostamine	42
3.6.1 Punktide asukohakirjeldused.....	42
3.6.2 Planeeritavate GNSS punktide panoraamid	42
4 MÕÕTMISTE METOODIKA JA KAVANDAMINE	46
4.1 Lähteülesanne mõõtmiste kavandamiseks.....	46
4.2 Nõuded kasutatavatele instrumentidele, lisaseadmetele ja metoodikale	47
4.2.1 Nõuded staatilistele GNSS mõõtmistele ja seadmetele.....	47
4.2.2 Nõuded polügonomeetrilistele ja trigonomeetrilisele mõõtmistele ja seadmetele	50
4.2.3 Nõuded II klassi geomeetrilisele nivelleerimisele ja seadmetele.....	52
4.3 Kohaliku geodeetilise võrgu mõõtmiste planeerimine GNSS staatilisel meetodil (1. järk)	53

4.3.1	GNSS mõõtmiste ajaline planeerimine tarkvaraga Trimble planning	58
4.3.2	Eelseadistus	58
4.3.3	Lähteparameetrid.....	59
4.3.4	GNSS mõõtesessioonide ülevaade	61
5	TULEMUSED JA ANALÜÜS	70
5.1	Kohaliku geodeetilise 1. järgu punktide GNSS-mõõtmiste planeerimise tulemused ja analüüs.....	70
5.2	Tehnilise projekti koostamise tulemused ja analüüs	73
5.2.1	Kohaliku geodeetilise võrgu tööde juhendite analüüs.....	73
5.2.2	Kohaliku geodeetiliste punktide andmebaaside analüüs	73
5.2.3	Kohaliku geodeetiliste võrgu 2. järgu punktide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste tehnilise projekti koostamise tulemused ja analüüs	74
5.2.4	Kohaliku kõrgusvõrgu punktide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste tehnilise projekti koostamise tulemused ja analüüs	76
	KOKKUVÕTE.....	78
	SUMMARY	81
	VIIDATUD ALLIKAD.....	84
	LISAD	88
	Lisa 1. Ülevaatusse koondtabel [18].....	89
	Lisa 2. Geodeetilise võrgu skeem [18].....	91
	Lisa 3. Mõõdistuskäikude skeem [18].....	92
	Lisa 4. GPSS/GNSS staatilise mõõdistusvõrgu skeem [18]	93
	Lisa 5. Uue märgi PP 11001 asukoha projektskeem [18]	94
	Lisa 6. Uue märgi PP 11002 asukoha projektskeem [18]	95
	Lisa 7. Uue märgi PP 11003 asukoha projektskeem [18]	96
	Lisa 8. Uue märgi PP 11004 asukoha projektskeem [18]	97
	Lisa 9. Uue märgi PP 11005 asukoha projektskeem [18]	98
	Lisa 10. Uue märgi PP 11006 asukoha projektskeem [18]	99
	Lisa 11. Uue märgi PP 11007 asukoha projektskeem [18]	100
	Lisa 12. Uue märgi PRP 1718 asukoha projektskeem [18].....	101
	Lisa 13. Uue märgi PRP 1719 asukoha projektskeem [18].....	102
	Lisa 14. Uue märgi PP 1101 panoraam.....	103
	Lisa 15. Uue märgi PP 1103 panoraam.....	104

SISSEJUHATUS

Eesti linnad ja suuremad ning väiksemad asulad on geodeetiliste tööde läbiviimiseks kaetud erineva täpsusklassiga geodeetiliste märkidega. Nimetatud märgid jagunevad kohalikuks geodeetilise põhivõrguks ja kõrgusvõrguks. Kohalikud võrgud oma madalaima täpsusklassiga on alati seotud kõrgema täpsusklassi riiklike võrgupunktidega, mis on rajatud üle riigi territooriumi ja seotud omakorda naaberriikide geodeetiliste märkidega, mis tagab ühtlase ja sidusa geodeetilise referentssüsteemi vastavas piirkonnas.

Tänapäeval üha enam kasvava ehitusmahtude juures on linnade ja asulate territooriumil paiknevate kohaliku geodeetilise põhivõrgu ja kõrgusvõrgu märkide hävimine ja sellest tuleneva teisaldamise või kontrollmõõtmiste vajadus tavapärane. Käesolevas lõputöös on lähema uurimise alla võetud Tallinnas, Lasnamäe Linnaosas paikneva Vao mitmetasandilise ristmiku ehitustööde käigus hävinenud punktide taastamise ja kontrollmõõtmiste protsessi esimene etapp – tehnilise projekti koostamine. Valik lõputöös käsitletud projekti kasuks langes asjaolul, et projekteerimisele kuulusid eritüübilised ja erineva täpsusklassiga geodeetilised märgid, mille mõõtmiseks tuleb kasutada enamuses klassikalises geodeesias levinud meetodeid nagu GNSS-staatilised mõõtmised, plaaniline ja trigonomeetriline polügonomeetria mõõdistamine ja kõrgtäpne geomeetriline nivelleerimine. Käesolevas lõputöös antakse üksikasjalik ülevaade tehnilise projekti koostamise etappidest alates eeltöödest kuni töö kooskõlastamiseni KOV-iga ja Maa-ametiga. Lisaks tehnilise projekti koostamise ja selle käigus tekkinud küsimuste lahendamisele, koostatakse ka GNSS-mõõtmiste ajaline planeerimine uute kohaliku võrgu 1. järgu punktide mõõtmisteks väljavalitud kuupäeval 11. mai 2023 aastal. Nimetatud planeerimise käigus tehakse võrdlused kahe erineva tüübi GNSS-seadmetele, sõltuvalt nende signaalisüsteemide vastuvõtmise võimekusest.

Lõputöös tulevad lahendamisele järgnevad küsimused:

- geodeetiliste märkide teisaldamiseks ja kontrollmõõtmisteks koostatava projekti kui juhendi vajadus ja tähtsus tööde läbiviimisel;
- kohalikus ja riiklikus geodeetilistes andmebaasides leiduva informatsiooni kattuvus ja ajakohasus;
- GNSS-staatiliste mõõtmiste ajalise planeerimise vajalikus enne välitöid, arvestades GNSS seadmete parameetreid, geodeetiliste punktide panoraame, vektorite geomeetriat ja kaugusi ja ühiselt nähtavate satelliitide arvu kellaajaliselt.

Alljärgnev lõputöö koosneb viiest peatükist. Esimeses peatükis antakse ülevaade Eesti geodeetilistest süsteemist ja geodeetilisest võrkudest. Lisaks lühiülevaade Tallinna linna kohaliku geodeetilise võrgu kujunemisest ja tähtsamatest suurematest projektidest. Teises peatükis antakse ülevaade kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise metoodikast, asjakohastest juhenditest ja seadusandlusest. Lisaks kohaliku võrgu ülesehitusest, nõutud täpsustest ja tehnilise projekti ülesehitusest ja etappidest. Kolmandas etapis kirjeldatakse lähteülesannet ja alustatakse praktiliste töödega: lähteandmete kogumine geodeetiliste punktide andmekogudest ning analüüsitakse andmekogudes oleva info kokkulangevust. Lisaks analüüsitakse geodeetiliste märkide ülevaatuse tulemusi ning esitatakse geodeetiliste märkide soovituslikud uued asukohad ja konstruktiivsed tüübid. Kolmanda peatüki lõpetab ülevaade uute geodeetiliste punktide asukohakirjelduste ja panoraamide koostamisest, millest viimane koostatakse GNSS-mõõtmiste planeerimise läbiviimiseks. Neljandas peatükis kajastatakse nõudeid nii seadmetele kui metoodikatele ja teostatakse GNSS-mõõtmiste ajaline planeerimine tarkvaraga *Trimble planning*, Lõputööle seatud eesmärgid ja tõstatatud küsimustele leitud vastused võetakse kokku viimases viiendas peatükis. Töö lõpeb kokkuvõtetega nii eesti- kui inglisekeeles, viidetega kasutatud allikatele ja graafilistest materjalidest ning vektorjoonistest lisadega.

Lõputöö teemaks olnud projektis osalemine 2021-2022.a sai teoks tänu OÜ Geo S.T.-le, kes oli nimetatud perioodil lõputöö autori tööandja. Lõputöö kirjutamise jaoks vajaliku õppepuhkuse aja tagas praegune tööandja RB RAIL AS. Täiendavate arhiivimaterjalide ja aruannetega Tallinna linna kohaliku geodeetilise võrgu kohta aitasid lõputöö valmimisele kaasa Hr. Andres Rüdja Maa-ametist ja Hr Jaanis Lill Tallinna Linnaplaneerimise Ametist ning vajalike erialaste õpikutega varustas Hr. Margus Sarapik OÜ Geo S.T.-st. Suur tänu kõigile toetuse eest!

1 EESTI GEODEETILINE SÜSTEEM JA VÕRGUD

1.1 Eesti geodeetiline süsteem

Geodeetiline süsteem on kehtestatud Keskkonnaministri 26.10.2011 määrusega nr 64 "Geodeetiline süsteem". Geodeetiline süsteem tagab ühtses koordinaat-, kõrgus- ja gravimeetrilises süsteemis reaalmaailma nähtuste asukoha ja raskuskiirenduse määramise ning nende järjepideva monitooringu. Lisaks on geodeetiline süsteem ruumiandmete infrastruktuuri alus, mis kindlustab andmekogude pidamist. Määrusega kehtestatakse geodeetiline süsteem, selle koosseis ning geodeetiliste võrkude parameetrid ja nende koosseis. [1]

Geodeetiline süsteem koosneb [1]:

- geodeetilisest referentssüsteemist – ETRS89;
- tasapinnalisest ristkoordinaatide süsteemist – L-EST97;
- kõrgussüsteemist – EH2000;
- gravimeetrilisest süsteemist – EG2000;
- nimetatud süsteemidele vastavatest võrkudest.

ETRS89 ehk Euroopa Terrestriline Referentssüsteem 89 on aluseks Eesti geodeetilisele referentssüsteemile. ETRS89 ühtib Rahvusvahelise Maa Rotatsiooniteenistuse ehk IERS Rahvusvahelise Terrestrilise Referentssüsteemiga ehk ITRS epohhil 1989.0 ning see on fikseeritud Euraasia laama stabiilses osas. Geodeetiliste koordinaatide arvutamisel kasutatakse rahvusvahelise referentsellipsoidi GRS80 parameetreid. Eestis loetakse ETRS89 koordinaadid ja Ülemaailmse Geodeetilise Süsteemi 1984 ehk WGS84 koordinaadid identseteks. Eestis tähistatakse ETRS89 realisatsiooni ruumilisi ristkoordinaate ja geodeetilisi koordinaate lühendiga EUREF-EST97. ETRS89 realisatsiooniks Eestis on I klassi geodeetilise võrgu punktid ja nende koordinaadid. I klassi võrku täiendavad ja tihendavad II klassi võrk ja tihendusvõrk. [1]

Eesti tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteem on L-EST97, mille koordinaadid arvutatakse EUREF-EST97 geodeetilistest koordinaatidest kasutades Lamberti kahe lõikeparalleeliga koonilisest konformsest kaardiprojektsiooni LAMBERT-EST ja rahvusvahelist referentsellipsoidi GRS80. Eesti on valinud koonilise lõikava projektsiooni oma kaardisüsteemi aluseks kuna asub keskmistel laiusel ja on ida-lääne suunas rohkem välja venitatud ning kogu riik mahub projektsiooni ühele pinnale. Riigi tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemi X-teljeks võetakse GRS80 ellipsoidi 24° meridiaani

projektsioon Lamberti konformse koonilise projektsiooni tasandile ja Y-teljeks on ristuv suund koordinaatide algpunktis. Riigi tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemi L-EST97 alguspunktiks on valitud Riia lahes asuv punkt, geodeetilise pikkusega $L_C = 24^\circ$ ning Eesti lõunapiirist lõunapoole jääv paralleeli lõikepunkt geodeetilise laiusaga $B_0 = 57^\circ 31' 03,19415''$, mille kaugus GRS80 ellipsoidi ekvaatorist mööda meridiaani on $x_0 = 6\,375\,000$ m. Vältimaks negatiivseid ordinaate geodeetilistel punktidel, mis jäävad telgmeridiaanist lääne poole, on algpunkti ordinaadiks võetud $y_0 = 500\,000$ m. [2]

LAMBERT-EST kaardiprojektsiooni parameetrid on kokkuvõtlikult esitatud järgnevas tabelis (vt. Tabel 1):

Tabel 1. Kaardiprojektsiooni LAMBERT-EST parameetrid [1]

Telgmeridiaan	$L_C = 24^\circ 00' E$
Esimene standardparalleel	$B_S = 58^\circ 00' N$
Teine standardparalleel	$B_N = 59^\circ 20'$
Koordinaatide algpunkti geodeetilised koordinaadid	$B_0 = 57^\circ 31' 03''.19415 N$
	$L_0 = 24^\circ 00' E$
Koordinaatide algpunkti ristkoordinaadid	$x_0 = 6\,375\,000$ m
	$y_0 = 500\,000$ m

Eesti kõrgussüsteemiks on Euroopa Vertikaalne Referentssüsteem (edaspidi EVRS). Eestis tähistatakse EVRS kõrgusi lühendiga EH2000. EH2000 normaalkõrgused epohhil 2000 tuginevad riiklikul kõrgusvõrgul, mille kõrgusväärtused lähtuvad EVRS realisatsioonist EVRF2007. [1]

Gravimeetriliseks süsteemiks on Rahvusvaheliste Gravimeetriliste Absoluutpunktide Võrgu (edaspidi IAGBN) 1988. a andmetöötuse standarditel põhinev süsteem. Gravimeetrilise süsteemi realisatsiooniks on I klassi gravimeetrilise võrgu punktide raskuskiirenduste väärtuste kogum EG2000. [3]

1.2 Geodeetilised võrgud

Geodeetiliseks võrguks nimetatakse maastikul kindlustatud ja ühtses koordinaatide süsteemis olevat geodeetiliste punktide kogumit, millest lähtutakse geodeetilistel mõõtmistel ja topograafilistel mõõdistamistel. Eristatakse plaanilist (2D), kõrguselist (1D) ja plaanilis-kõrguslikku (3D) geodeetilist võrku. 4D-võrkude puhul on lisaks plaanilisele ja kõrguslikule asendile määratud ka

epohh¹. Kõrgema geodeesia töödel rajatud 3D ja 4D võrkudele lisaks on rajatud veel gravimeetriliste punktide võrk, kus punktidele on mõõdetud raskuskiirenduse väärtused. [4]

Geodeetiliste võrkude rajamisel lähtutakse põhimõttest "üldisest üksikasjadesse", mille kohaselt rajatakse alguses suurema täpsusega, kuid hõredam võrk, mida seejärel järk-järgult tihendatakse väiksema täpsusega võrguga. [5]

Geodeetiline võrk jaguneb hierarhiliselt [4]:

- globaalne ehk ülemaailmne võrk;
- maailmajagude või riikide grupi võrgud;
- üksikute riikide geodeetilised võrgud (RGP);
- kohalikud geodeetilised võrgud (KGV);
- geodeetilised mõõdistamisevõrgud (GMV).

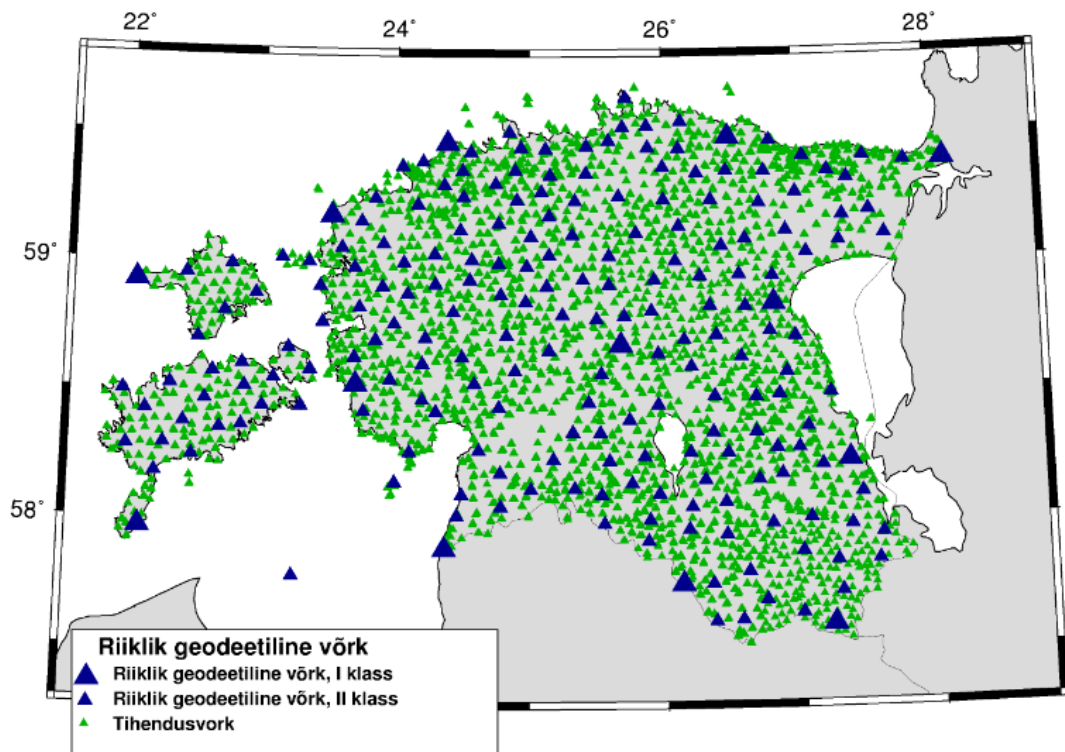
1.2.1 Riiklik plaaniline põhivõrk

1995. aastal töötati välja riigi geodeetilise põhivõrgu üldkontseptsioon, mille kohaselt rajati 1996-1997. aastal ühtlase võrguna 212 GPS-iga koordineeritud punkti, kus I klassi võrk koosnes 13-st punktist, omavahelise kaugusega ca 70-110 km ja II klassi võrk 199-st punktist, keskmise vahekaugusega 15 km (1 punkt 225 km² kohta). Mõõtmised teostati GPS-vastuvõtjatega, mis kombineeriti *Choke* ring tüüpi antennidega. [4]

Riikliku võrgu I ja II klass on olnud aluseks tihendusvõrgu rajamisel, mis koosneb 3922 punktist (põhiliselt paarispunktid). Punktide tiheduseks on üks punktipaar 16-25 km² kohta, ehk vahekaugusega ca 5 km ja paarispunktide omavaheline kagus ca 500 m. [6]

Järgnevalt on esitatud ülevaatlik joonis Riikliku plaanilise põhivõrgu punktide paiknemisest Eesti Vabariigi territooriumil (vt. Joonis 1).

¹ Epohh - ajamoment, millal koordinaatide alguspunkt ja telgede orientatsioon on määratud [49].



Joonis 1. Eesti riigi geodeetiline võrk (I ja II klass ning tihendusvõrk) [5]

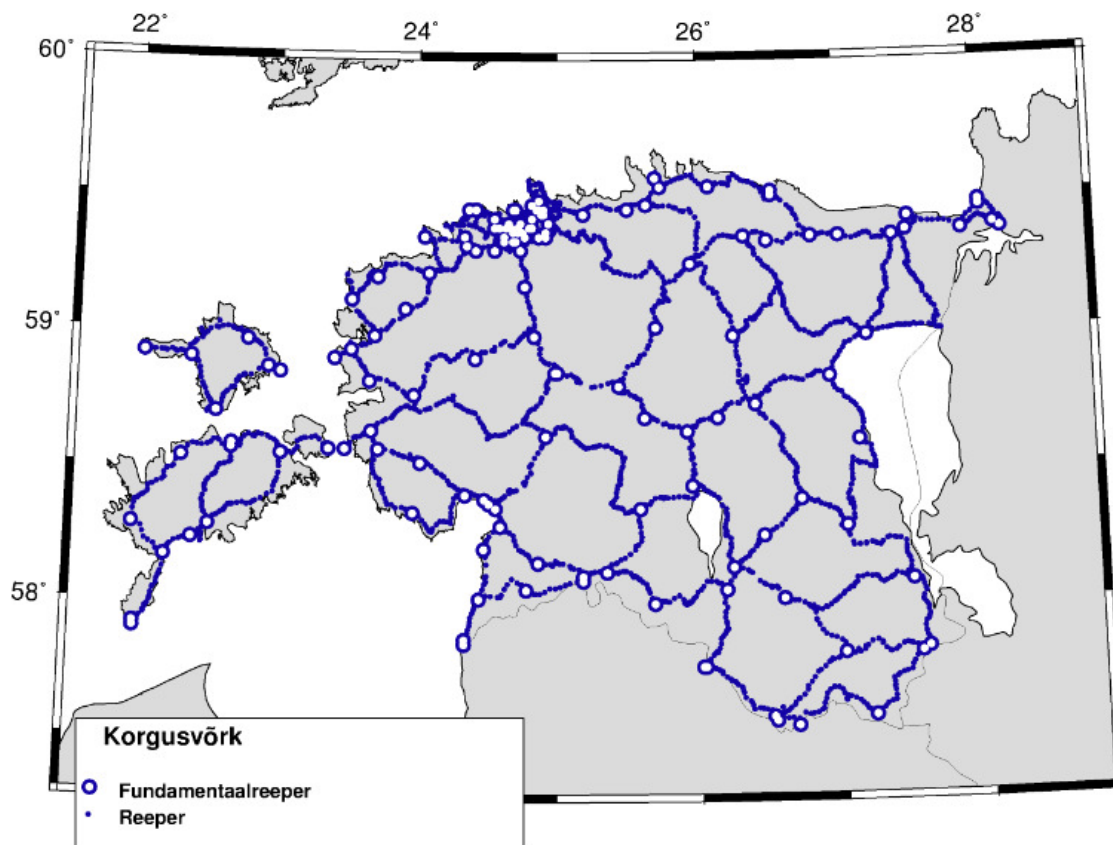
I klassi võrgu punktide määramise keskmine ruutviga on ± 1 cm ja suhteline viga 1 : 7 000 000. II klassi võrgu punktide määramise keskmine ruutviga on ± 1 cm ja suhteline viga 1 : 500 000. Tihendusvõrgupunktide määramise keskmine ruutviga on $\pm 1 \dots 3$ cm ja suhteline viga 1 : 250 000, paarispunktide omavahelise määramise suhteline täpsus on 1 : 50 000. [5]

1.2.2 Riiklik kõrgusvõrk

Riiklik kõrgusvõrk on täpne kõrguste süsteem kogu Eesti riigi territooriumil ning on aluseks kõikidele geodeetilistele mõõtmistele. Eesti kõrgusvõrk on seotud Euroopa Vertikaalse referentssüsteemiga (EVRS – *European Vertical Reference System*), mille nullpunktiks on NAP (*Normaal Amsterdam Peil*). Eestis tähistatakse riikliku kõrgussüsteemi (EVRS) kõrguseid lühendiga EH2000.

Eesti kõrgusvõrgu rekonstrueerimine toimus aastatel 2003-2016. Nivelleerimiskäikude kogupikkus oli 4238 km ja kaasati ca 3144 reeperit. Riigi kõrgusvõrgu tasandamise lähtepunktiks on valitud Põltsamaa fundamentaalreeper „Põltsamaa1“ nr 91000 (H=55,21140 m). Riigi kõrgusvõrgu kõrguste tasanduse täpsushinnanguks saadi ± 1.7 mm.

Järgnevalt on esitatud ülevaatlik joonis Riikliku kõrgusvõrgu reeperite paiknemisest Eesti Vabariigi territooriumil (vt. Joonis 2).



Joonis 2. Eesti riigi kõrgusvõrk [5]

Riigi kõrgusvõrgu reeperid jaotatakse [7]:

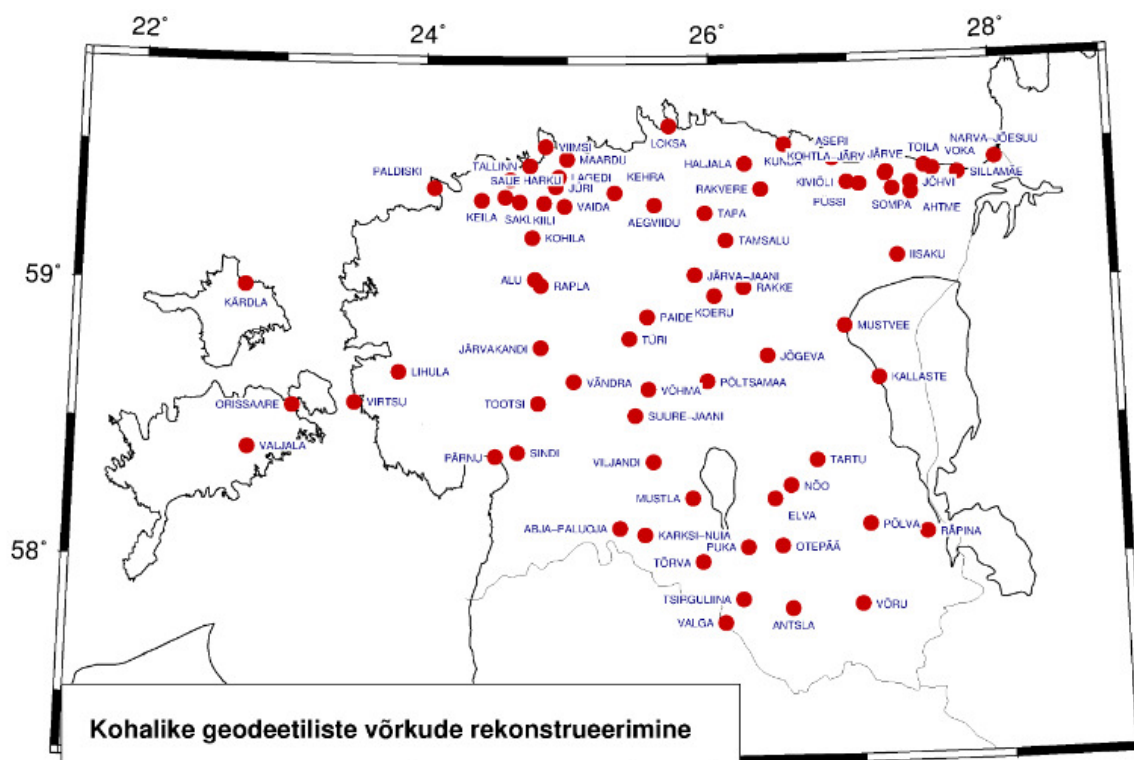
- põhjareeperiteks;
- fundamentaalseeriteks;
- pinnasreeperiteks;
- seinareeperiteks ja märkideks.

Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise tehnilised põhinõuded on määratud 21. juunil 2006.a Maa-ameti direktori käskkirjaga nr 286 ja kannab nime „Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja nivelleerimise juhend“ [5], [8].

1.2.3 Kohalik geodeetiline võrk

Kohalik geodeetiline alusvõrk lähtub riiklikust geodeetilisest alusvõrgust ja sisaldab endas kahte tüüpi geodeetilisi võrke. Eristatakse plaanilist koos kõrgusega kohaliku geodeetilist võrku ja eraldi kohaliku kõrgusvõrku.

Taasiseseisvumise järgselt on võrke laialdaselt tihendatud ja rekonstrueeritud. Samuti on varasemastest süsteemidest koordinaadid ümber arvutatud ühtsesse riiklikusse L-EST koordinaatide süsteemi. Vahemikus 1996-2019 rekonstrueeriti kohalik geodeetiline alusvõrk 65 linnas või muus asustatud keskuses (vt. Joonis 3). Viimaseks taoliseks suuremaks tööks oli Viimsi valla kohaliku geodeetilise võrgu rekonstrueerimine, kus lõputöö autor ka ise aktiivselt Geo S.T. OÜ ridades kaasa lõi. [5]



Joonis 3. Kohalike geodeetiliste võrkude rekonstrueerimine 1996-2019.a [5]

Koos riikliku kõrgusvõrgu rekonstrueerimisega teostati 2014-2016.a kõrgusvõrgu rekonstrueerimine 10 linnas. Viimaseks suuremaks taoliseks tööks oli 2017-2018. a teostatud Tartu linna kohaliku kõrgusvõrgu rekonstrueerimine. [5]

Kohaliku kõrgusvõrgu rekonstrueerimisel lähtuti sarnaselt riigi kõrgusvõrgu rekonstrueerimisele „Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja nivelleerimise juhendist“ [8]. Kohaliku kõrgusvõrgu kõrguste tasanduse täpsushinnanguks saadi $\pm 0.21 \dots 0.71$ mm. [5]

Kohaliku geodeetilise võrgu rajamist ja rekonstrueerimist linnades ja asulates, reguleerib Maa-ameti 30.04.2018.a. „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“. [7]

1.3 Tallinna linna kohaliku geodeetilise võrgu ülevaade ja kujunemine

Tallinna linna esimesed geodeetilised mõõtmised ja plaanide koostamine jääb 17. saj teise poolde. Sellel ajal tekkis vajadus Tallinna linna piiride määramiseks. Esimene teadaolev plaan Tallinna kohta pärineb 1661 aastast. Tallinna kohaliku geodeetilise võrgu ajaloost ja kujunemisest annab põhjaliku ülevaate eelmise sajandi kaskpaigas (1952.a) koostatud „Geodeetiliste põhivõrkude uurimine Tallinna linnas aastatel 1911–1951.“ [9]

Järgmised suuremad geodeetilise võrgu tööd teostati 1961-1963. aastal, mis oli vajalik korraliku topogeodeetilise alusplaani koostamiseks. Ülevaate tehtud töödest annab aruanne „Geodeetilise põhise (polügonomeetria- ja nivelleerimisvõrgud) rajamise kohta Suure-Tallinna territooriumil aastatel 1961-1963.“ [10]

Kaasaegsemad geodeetilised mõõtmised ja geodeetiliste võrgupunktide rajamised said alguse 1996.a. Märkimisväärse projektiga alustati 2005.a, kus TLPA initsiatiivil algatati Tallinna kohalikust koordinaatsüsteemist TK64 üleminekut Riikliku koordinaatsüsteemi L-EST97. [11]

Järgnevalt on kronoloogiliselt esitatud valik tähtsamatest Tallinna kohaliku geodeetilise põhivõrgu ja kõrgusvõrgu rajamise- ning rekonstrueerimistöödest:

- Tallinna 2. järgu geodeetilise võrgu andmete süstematiseerimine 2008.a. Tehniline aruanne sisaldab 1998-2001.a ja 2005-2007.a võrgu osade (vt. Joonis 4, Joonis 3) süstematiseerimist ja koostasandamist [12];
- Tallinna kõrgussüsteemi ajakohastamine 2009.a. Tehniline aruanne sisaldab aastatel 2003-2004 ja 2007-2008 rekonstrueeritud kõrgusvõrgu nivelleerimisandmete ajakohastamist linna territooriumil [13];
- Tallinna 2. järgu geodeetilise võrgu koostasandus 2016.a. Tehniline aruanne sisaldab andmete kogu ja süstematiseerimist neljast, aastatel 2007-2014 mõõdetud Tallinna geodeetilise võrgu piirkonnast. Lisaks on kaasatud ajavahemikus 2008-2015.a koostatud geodeetiliste märkide teisaldustööde andmed viietestkümnest (15) eraldiseisvast aruandest.

2 KOHALIKU GEODEETILISE VÕRGU RAJAMISE JA REKONSTRUEERIMISE METOODIKA

2.1 Juhendid ja seadusandlus

Kohaliku geodeetilise võrgu rajamist ja rekonstrueerimist kirjeldab mitu seadust ja juhendit. Järgnevalt on ära toodud põhilised neist, mis on aluseks olnud ka käesoleva lõputöö koostamisel.

Maa-ameti juhend 30.04.2018.a. „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“, sisaldab kohaliku geodeetilise võrgu rekonstrueerimise ja/või rajamise põhinõudeid asulates ja linnades. Nimetatud tööde eesmärgiks on kindlustada asulate territooriumil geodeetiliste tööde tegemine Eesti geodeetilisest süsteemis. [15]

Maa-ameti juhend 21.06.2006.a. „Kõrgusvõrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“, sisaldab üldiseid tehnilisi põhinõudeid Eesti kõrgusvõrgu rekonstrueerimiseks. Kõrgusvõrgu peamiseks eesmärgiks on kindlustada Eesti Vabariigi territooriumil geodeetiliste tööde tegemine ühtses geodeetilisest süsteemis ning lülitada see naaberriikide (Baltimaade ja Euroopa) kõrgusvõrkude koosseisu. [8]

Keskkonnaministri 26. oktoobri 2011.a määrusega nr 64 vastu võetud „Geodeetiline süsteem“, millega kehtestatakse geodeetiline süsteem ja selle koosseis ning geodeetiliste võrkude parameetrid ja nende koosseis. Geodeetiline süsteem on ruumiandmete infrastruktuuri alus, mis kindlustab andmekogude pidamist. Nimetatud süsteem tagab ühtses koordinaat-, kõrgus- ja gravimeetrisest süsteemis asukoha ja raskuskiirenduse määramise koos järjepidava monitooringuga. [3]

Keskkonnaministri 28. juuni 2013.a määrusega nr 50 vastu võetud „Geodeetiliste tööde tegemise ja geodeetilise märgi tähistamise kord, geodeetilise märgi kaitsevööndi ulatus ning kaitsevööndis tegutsemiseks loa taotlemise kord“, millega reguleeritakse geodeetilisi töid nagu geodeetiliste punktide ja võrkude rajamine, rekonstrueerimine ning mõõtmine ja hooldamine ja andmetöötlus. [16]

2.2 Kohaliku võrgu ülesehitus ja täpsus

Kohalik geodeetiline võrk rajatakse linnadesse ja teistesse asustatud keskustesse ning taoliste võrkude lähtepunktideks võivad olla riigi geodeetilise võrgu I ja II klassi ning tihendusvõrgu punktid ja kõrgusvõrgu lähtereeperiteks riikliku kõrgusvõrgu lähtereeperid, mis loetakse veatuteks. [15]

KGV punktide minimaalseks tiheduseks on 8 punkti/km² kohta ja igalt punktilt peab olema nähtavus vähemalt ühele naaberpunktile. Rajatavad lähtepunktid (1. järk) rajatakse GNSS-meetodil arvestusega 1 aluspunkt /1.2 km² kohta, kuid mitte vähem kui kolm (3) punktipaari (6 punkti) ühe objekti kohta. KGV edasine tihendamine toimub polügonomeetria (ja trigonomeetria) meetodil. [7]

Kohalik geodeetiline võrk jaguneb järkudesse vastavalt täpsusklassi järgi [15]:

- 1. järk – KGV lähtepunktid, mille plaaniline asendi keskmine ruutviga (KRV) võib olla riikliku geodeetilise võrgu või tihendusvõrgu punkti suhtes ± 1 cm;
- 2. järk – KGV punkt, mille plaaniline asendi KRV võib olla kohaliku võrgu lähtepunktide suhtes ± 2 cm;
- 3. järk – olemasoleva KGV säilinud punktid, mis on transformeeritud L-EST97 koordinaatide süsteemi ja mis peavad tagama graafilise täpsuse (koos mõõdistusvigadega) ± 0.2 mm;
- 4. järk – geodeetilise mõõdistusvõrgu (GMV) punktid, mis peavad tagama graafilise täpsuse (koos mõõdistusvigadega) ± 0.2 mm (3. ja 4. järgu punkte järgnev lõputöö ei sisalda).

Olemasoleva võrgu rekonstrueerimisel või ka üksikpunktide teisaldamisel tuleb mõõdistuskäigud projekteerida ja mõõta selliselt, et oleks kaasatud võimalikult palju sama rekonstrueeritava võrgu säilinud punkte. [15]

Kasutatavate instrumentide täpsusnõuded on esitatud peatükis 4. Nõuded GNSS-seadmetele punktis 4.2.1, elektrontahhümeetritele punktis 4.2.2 ja kõrgtäpsetele digitaalnivelliiridele punktis 4.2.3.

Elektrontahhümeetritele seatud täpsusnõudeid võiks Maa-ameti loal lõdvendada, sest 2. järgu punkti plaanilise asendi KRV ± 2 cm kohaliku 1. järgu lähtepunktide suhtes on rohkemate täisvõtete (4 ja rohkem) korral saavutatav, kasutades instrumente, mille nurgamõõtmise nominaalne KRV on 2" või 3" ja valguskaugusmõõduri KRV ± 3 mm + 2 ppm. [7]

2.3 Kohaliku võrgu rajamise projekt

Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise, rekonstrueerimise ja üksikpunktide teisaldamise esimeseks etapiks on geodeetiliste tööde tehnilise projekti koostamine.

Tehnilise projekti koostamise võib omakorda jagada kolmeks etapiks [4]:

1. ettevalmistustööd;
2. eskiisprojekti koostamine;

3. koostatud eskiisprojekti rekognostseerimine² maastikul ja tehnilise projekti koostamine.

Ettevalmistööde käigus tuleb hankida vajalikud lähteandmed peamiselt Maa-ameti GPA-st, kuid ka kohalikes arhiivides ning andmekogudest. Tuleb anda ülevaade vajalikest tehnilistest nõuetest koos instrumentide täpsusnõuetega. [4]

Teise etapina koostatakse rajatava mõõdistusvõrgu eskiisprojekt plaaniliselt, kuhu kantakse võimalikud lähtepunktid, rajatavad uued punktid ja kontrollitavad punktid kui neid on. Skeemil näidatakse ära geodeetilise sidumise ehk käikude ja võrkude lahendus. Võimalusel tuleks järgida teisaldamise projektis ka varasemat käikude süsteemi. [4]

Kolmandas etapis teostatakse eskiisprojekti lahenduse sobivuse rekognostseerimine ja täpsustamine maastikul ning koostatakse lõplik tehniline projekt. Võimalikud uued asukohad mõõdetakse RTK-GNSS seadmega ja märgitakse looduses ajutiste puuvaiadega. Ülevaatus käigus kontrollitakse ka lähtepunktide olemasolu ja märgi ning tähistuse seisukorda ja täidetakse ülevaatus tabel (vt. Lisa 1). [4]

Ülevaatus on hea teha mitmekesi, kuna kohaliku 1. ja 2. järgu punktide vahel peab olema nähtavus ja seda on hea kontrollida vastastiku punktil seistes, kinnitades nähtavust käemärkide, raadio- või telefonisidet kasutades. Kriitilistes kohtades on soovitatav kontrollida nähtavust binokliga või elektrontahhümeetriga. Samuti hinnatakse kohaliku 1. järgu punktide ümbrust ja taevaalaotuse avatust GNSS-mõõtmisteks ning kontrollitakse lähtepunktide panoraamid. Kui punktide ümbrus on liiga võsastunud või kinni kasvanud, tuleb ümbrus vajalikul määral puhastada. Ülevaatus tabelis tehakse märke ka kaitseaia ja tunnusposti olemasolu või parandustööde kohta.

Kohaliku võrgu rekonstrueerimise tehnilise projekti koosseisus esitatakse [15]:

- objekti üldiseloostus;
- ülevaade varasemast tehtud töödest koos asjakohaste käiguskeemidega;
- märkide ülevaatus tulemused;
- lähtepunktide ja uute ja/või kontrollitavate märkide koordinaadid, abrissid ja panoraamid;
- rajatavate käikude või võrkude skeemid, kus näidatud lähtepunktid, uued ja/või teisaldatavad punktid ning hävinenud punktid;
- kohaliku võrgu mõõtmise metoodika kirjeldus ja instrumentide nõutud täpsusparameetrid;

² Rekognostseerimine – lad.k. „recognoscere“ ehk üle vaatama [4]

- paigaldatavate geodeetiliste märkide tüübid koos jooniste ja kirjeldustega.

Koostatud tehniline kohaliku geodeetilise võrgu projekt tuleb kooskõlastada kohaliku omavalitusega ja Maa-ameti Geodeesia osakonnaga. [15]

Käesoleva lõputöö aluseks olnud projektis abrisse ei koostatud, kuna geodeetiliste punktide asukohtade kooskõlastuste ja ehituse faasis võivad asukohad siiski muutuda, kuid abrissidel antakse täpsed joonsidemed iseloomulikest objektidest. Samuti ei kogutud lõplike kooskõlastusi trassivaldajatelt, kalle hallatavate trasside lähedusse geodeetilised punktid võivad lõplikult paikneda. Nimetatud tööd ja tegevused teostatakse geodeetiliste märkide ehitustööde etapis.

3 KOHALIKU GEODEETILISE VÕRGU REKONSTRUEERIMINE JA KONTROLLMÕÕTMINE VÄO LIIKLUS-SÕLME RAJAMISEL

3.1 Lähteülesanne

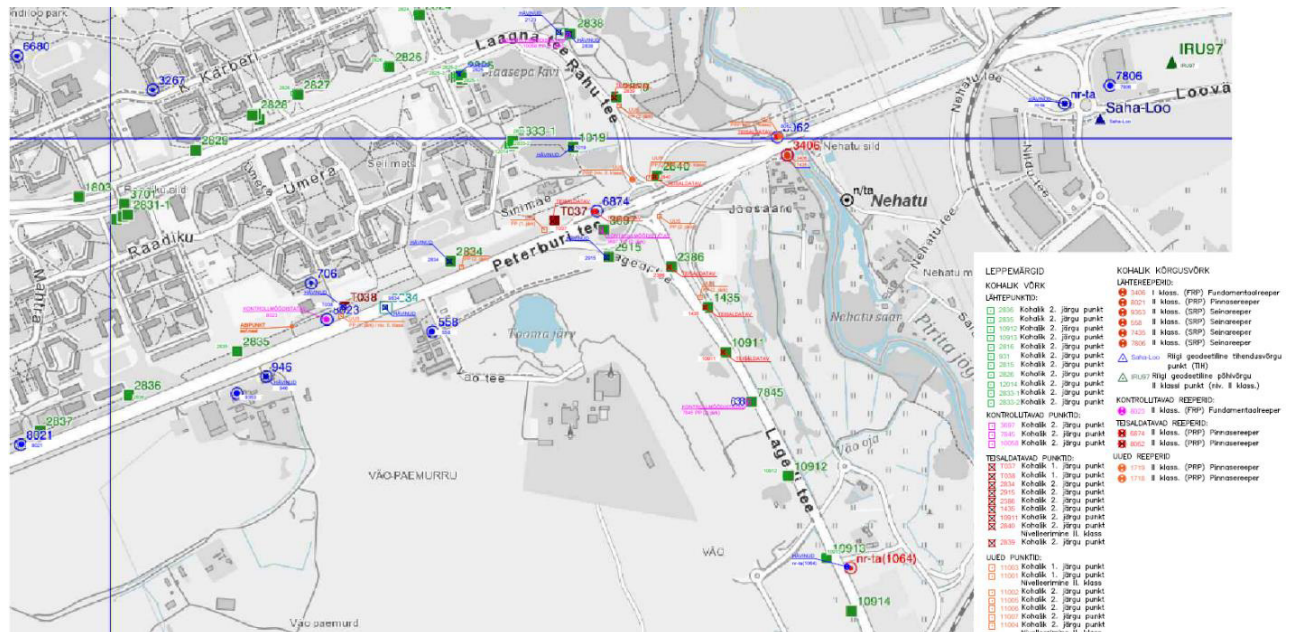
Käesolev lõputöö käsitleb üheteistkümne (11) geodeetilise märgi teisaldamise ja nelja märgi kontrollmõõtmiste (vt. Joonis 5, Tabel 2, Tabel 3) kavandamise projekti koostamist. Uute märkide ehitus, mõõtmis- ja arvutustööd jäid järgmisesse etappi ja neid tegevusi käesolevas lõputöös ei kajastata. Lisaks tavapärasele tööprojekti koostamise põhietappide kirjeldamisele teostatakse lõputöö raames kohaliku ja riikliku geodeetilistes andmebaasides sisaldunud Väo (Tallinn, Lasnamäe LO) ristmiku ala lähtepunktide koordinaatide võrdlus ja analüüsitakse GNSS-mõõtmise eelplaneerimise vajalikkust sõltuvalt GNSS seadmete võimekusest.

Geodeetiliste punktide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste teostamise aluseks oli Nordecon AS poolt esitatud tellimiskiri 20.10.2021. a. Märkide teisaldamise ning kontrollmõõtmiste vajaduse tingis punktide jäämine Tallinnas, Lasnamäe linnaosas Peterburi tee ja Lagedi tee ristumisel rekonstrueeritava Väo eritasandiliste ringristmiku ehitustegevuse tsooni (vt. Joonis 6).



Joonis 6. Väo liiklussõlme ehitustsooni asukoha skeem [17]

Teisaldatavate märkide (11 märki) asemele tuli paigaldada 9 (üheksa) uut geodeetilist märki (Tabel 2) ja 4 (neljale) geodeetilisele märgile tuli teostada kontrollmõõtmine (Tabel 3). Väljavõtte geodeetiliste tööde mahtude joonisest „Geodeetilise võrgu skeem“ on esitatud alljärgnevalt (vt. Joonis 7) ning vormistatud joonisena ka tööde lisas (vt. Lisa 2).



Joonis 7. Geodeetiline võrgu skeem ja tööde maht Vao ristmiku piirkonnas [18]

Tabel 2. Teisaldatavad olid järgmised punktid ja reeperid

Jrk.nr.	Punkti nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	Uus nr	Uus GPA ID	Uus koodnumber
1	T038	PP	1 järk	11001	292775	63-853-11001
2	2834	PP	2 järk	11002	292776	63-853-11002
3	T037	PP	1 järk	11003	292777	63-853-11003
4	6874	PRP	II klass	1718	292778	63-853-91718
5	2840	PP	2 järk	11004	292779	63-853-11004
6	2839	PP	2 järk	11005	292780	63-951-11005
7	8062	PRP	II klass	1719	292781	63-951-91719
8	2915	PP	2 järk	11006	292782	63-853-11006
	2836	PP	2 järk			
9	1435	PP	2 järk	11007	292783	63-853-11007
	10911	PP	2 järk			

Uusi märke tuli paigaldada esialgselt arvust vähem, kuna uuest situatsioonist tingituna tuli märkide asukohti oluliselt muuta ja lõplik märkide arv kujunes optimaalseid joonepikkuseid ja punktide omavahelist nähtavust arvesse võttes. Lisaks tuleb märkide rajamisel arvesse võtta nende

ligipääsetavust ja kasutusmugavust geodeetide poolt. GNSS³ meetodil mõõdetavad kohaliku võrgu 1. järgu punktid peavad paiknema piisava taevalaotuse avatusega alal, mis tiheasustusega aladel on tihti suureks väljakutseks.

Kuna kõik varasemad geodeetilised märgid töötsoonis ei seganud otseselt ehitustegevust, kuid olid piisavalt lähedal, et saada füüsiliselt mõjutatud kas horisontaal- või vertikaalsuunas, siis neljale (4) geodeetilisele märgile (Tabel 3) tuli teostada kontrollmõõtmised.

Tabel 3. Kontrollmõõtmisele kuuluvad punktid ja reeperid

Jrk.nr.	Punkti nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	GPA ID	Koodnumber
1	10058	PP	2. järk	223520	63-951-10058
2	3697	PP	2. järk	49510	63-853-3697
3	7845	PP	2. järk	49614	63-853-7845
4	8023	FRP	II klass	216281	63-853-98023

Kui tasandatud mõõtmistulemused jäävad lubatud vea piiridesse (plaaniline KRV ± 2 cm kohaliku võrgu lähtepunktide suhtes), siis plaanilisi koordinaate või kõrgust ei muudeta kui aga ületavad lubatud vea piirid, siis tuleb märkidele anda uued koordinaadid [15]. Käesolevas lõputöös olid kontrollmõõdetavad punktid kolm kohaliku võrgu 2. järgu punkti ja üks riiklik kõrgusvõrgu II klassi fundamentaalreeper.

Tasapinnalised ristkoordinaadid riiklikus L-EST97 süsteemis tuli määrata uutele kohaliku võrgu 2 järgu punktidele nr 11002, 11004, 11005, 11006, 11007 ja kontrollitavatele kohaliku võrgu 2 järgu punktidele nr 10058, 3697, 7845 polügonomeetria meetodil ja uutele kohaliku võrgu 1 järgu punktidele nr 11001 ja 11003 staatilisel GNSS mõõtmiste meetodil (vt. Joonis 8, vt. Lisa 3). [18]

Kõrgused riiklikus EH2000 kõrgussüsteemis trigonomeetrilisel meetodil tuli määrata uutele kohaliku võrgu 2 järgu punktidele nr 11005, 11006 ja 11007 ning kontrollitavatele kohaliku võrgu 2 järgu punktidele nr 10058, 3697, 7845 (vt. Joonis 8, vt. Lisa 3). [18]

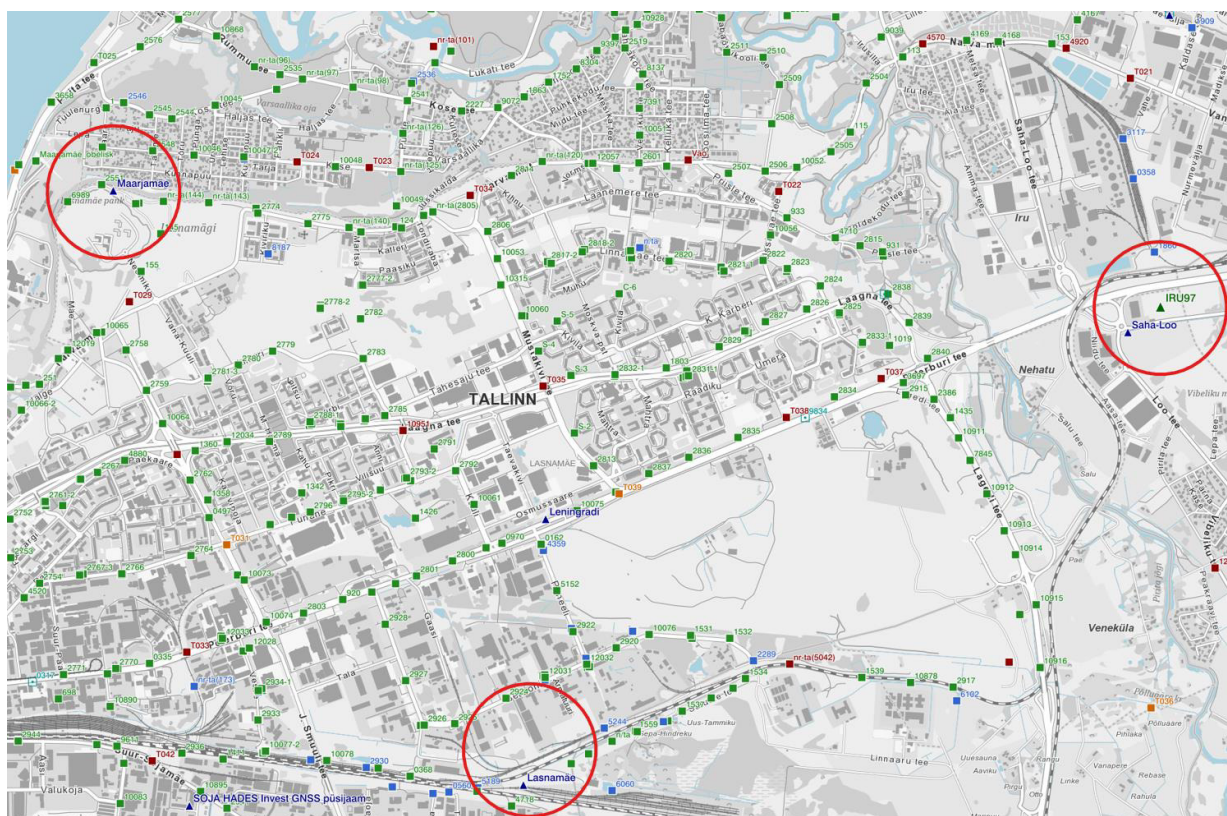
³ GNSS - Global Navigation Satellite System ehk Globaalse navigatsiooni satelliitsüsteem

koordinaatides, täpsusklassis ja seisukorra andmetes. Andmete erisuste tuvastamisel võeti projekti koostamisel aluseks siiski Maa-ameti geodeetiliste punktide andmekogus olevad väärtused. Järgnevas peatükis on esitatud ülevahtlikult kahe andmekogu erinevused Vão projekti osas statistiliselt.

3.2.2 Geodeetiliste punktide lähteandmed

Geodeetiliste mõõtmiste planeerimisel kasutati kokku 21 lähtepunkti, mis kattusid erinevate meetodikatele tuginevatele mõõtmistöödes. Loendatud geodeetilistest punktidest kaks kohaliku võrgu 1. järgu punkti, on nii uute punktide kui ka GNSS mõõtmistele järgnenud plaanilise ja kõrgusliku mõõtmiste lähtepunktide koosseisus. Kõik lähtepunktide koordinaadid järgnevas tabelites (Tabel 4, Tabel 6, Tabel 8 ja Tabel 10) on esitatud plaaniliselt riiklikus ristkoordinaatide süsteemis L-EST97 ja kõrguslikult riiklikus kõrgussüsteemis EH2000.

GNSS staatilistel mõõtmistel planeeriti lähtepunktideks 2 (kaks) Riikliku tihendusvõrgu punkti ja üks (1) Riiklik geodeetilise võrgu II klassi punkt (vt. Joonis 9, vt. Tabel 4).



Joonis 9. Planeeritavate GNSS-mõõtmiste lähtepunktid [17]

Lähtepunktide andmed on saadud Maa-ameti geodeetiliste punktide andmekogust ja võrdlus on tehtud TLPA geoveebist saadud andmetega.

Tabel 4. Planeeritava GNSS mõõtmiste lähteandmed GPA-st [19]

Jrk.nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	GPA ID	Koodnumber	X, m	Y, m	H, m
1	Lasnamäe	RGPP	Tihendusvõrk	48910	63-844-537	6587245.964	549024.693	40.799
2	Maarjamäe	RGPP	Tihendusvõrk	51976	63-942-535	6590937.073	546475.891	47.364
3	IRU97	RGPP	II klass	52743	63-951-6395	6590215.231	552983.838	36.2418

TLPA geoveebis võrreldud kolmes GNSS mõõtmiste lähtepunkti koordinaatides erines punktis Lasnamäe kõrgusväärtus (ΔH) -1 mm võrra ja punktid „Lasnamäe“ ja „Maarjamäe“ on esitatud kohaliku võrgu 1. järgu punktidenä. Koordinaatide hälbed on leitud GPA andmetest lahutades TLPA geoveebi andmed (vt. Tabel 5). (Geodeetiline punkt IRU97 jäi väljapoole TLPA haldusala ja võrdluse võimalus puudus.

Tabel 5. Planeeritava GNSS mõõtmiste lähteandmed TLPA geoveebist ja võrdlus GPA-ga [20]

Jrk.nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	X(m)	Y(m)	H(m)	GPA - TLPA ΔX , m	GPA - TLPA ΔY , m	GPA - TLPA ΔH , m
1	Lasnamäe	PP	1. järk	6587245.964	549024.693	40.798	0	0	-0.001
2	Maarjamäe	PP	1. järk	6590937.073	546475.891	47.364	0	0	0
3	IRU97	Jääb väljapoole TLPA haldusala							

Järgnevalt on esitatud lähteandmed geodeetilistele punktidele Maa-ameti GPA-st, mis on valitud polügonomeetria mõõtmiste ja trigonomeetrilise nivelleerimise lähtepunktideks (vt. Joonis 8, vt. Tabel 6).

Tabel 6. Planeeritava polügonomeetria mõõtmiste ja trigonomeetrilise nivelleerimise lähteandmed GPA-st [19]

Jrk.nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	GPA ID	Koodnumber	X, m	Y, m	H, m
1	12014	PP	2. järk	49493	63-853-2833	6589979.539	551123.695	36.757
2	2833-1,	PP	2. järk	49494	63-853-28331	6589994.370	551132.013	37.674
3	2833-2,	PP	2. järk	49495	63-853-28332	6589986.464	551133.686	37.646
4	2836	PP	2. järk	49498	63-853-2836	6589280.749	550052.483	41.772
5	2835	PP	2. järk	49497	63-853-2835	6589404.016	550358.010	39.316
6	10912	PP	2. järk	229056	63-853-10912	6589053.681	551905.172	31.592
7	10913	PP	2. järk	229057	63-853-10913	6588824.231	552012.819	32.520
8	2816	PP	2. järk	52661	63-951-2816	6590531.363	551261.132	32.695

Jrk.nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	GPA ID	Koodnumber	X, m	Y, m	H, m
9	931	PP	2. järk	52790	63-951-931	6590557.165	551256.314	33.301
10	2815	PP	2. järk	52660	63-951-2815	6590594.951	551117.149	32.100
11	2826	PP	2. järk	52674	63-951-2826	6590201.524	550785.390	41.155
12	11001	PP	1. järk	292775	63-853-11001	-	-	-
13	11003	PP	1. järk	292776	63-853-11002	-	-	-

Lähtepunktideks planeeriti lisaks olemasolevatele punktidele ka kaks uut GNSS meetodil määratavat kohaliku 1. järgu punkti nr 11001 ja nr 11003, mille tasandatud koordinaadid saadakse mõõtmistööde etapis (vt. Tabel 2 ja Tabel 6).

TLPA geoveebis võrreldud üheteistkümnes polügonomeetria mõõtmiste ja trigonomeetrilise nivelleerimise mõõtmiste lähtepunktides erines kaheksas punktis kõrgusväärtus (ΔH) -1 mm võrra ja punktis nr 12014 (ΔH) -9 mm võrra. Koordinaatide hälbed on leitud GPA andmetest lahutades TLPA geoveebi andmed (vt. Tabel 7). Kohaliku võrgu 2. järgu punktides nr 10912 ja 10913 erinevused puudusid. Nimetatud kaks punkti olid rajatud ja mõõdetud lõputöö autori poolt 2018.a. Tallinna ringtee rekonstrueerimise raames. Töö nimi „Kohaliku geodeetilise põhivõrgu II järgu punktide nr 2916, 5538, 7936, T043, 2305 ümberpaigaldamine ja Tallinna linna piiripunktide PP393, PP394 taastamine“. [21]

Tabel 7. Planeeritava polügonomeetria mõõtmiste ja trigonomeetrilise nivelleerimise lähteandmed TLPA geoveebist ja võrdlus GPA-ga [20]

Jrk. nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	X(m)	Y(m)	H(m)	GPA - TLPA ΔX , m	GPA - TLPA ΔY , m	GPA - TLPA ΔH , m
1	12014	PP	2. järk	6589979.539	551123.695	36.757	0	0	-0.009
2	2833-1,	PP	2. järk	6589994.370	551132.013	37.673	0	0	-0.001
3	2833-2,	PP	2. järk	6589986.464	551133.686	37.645	0	0	-0.001
4	2836	PP	2. järk	6589280.749	550052.483	41.771	0	0	-0.001
5	2835	PP	2. järk	6589404.016	550358.010	39.315	0	0	-0.001
6	10912	PP	2. järk	6589053.681	551905.172	31.592	0	0	0
7	10913	PP	2. järk	6588824.231	552012.819	32.520	0	0	0
8	2816	PP	2. järk	6590531.363	551261.132	32.694	0	0	-0.001
9	931	PP	2. järk	6590557.165	551256.314	33.300	0	0	-0.001
10	2815	PP	2. järk	6590594.951	551117.149	32.099	0	0	-0.001
11	2826	PP	2. järk	6590201.524	550785.390	41.154	0	0	-0.001

Järgnevalt on esitatud reeperite lähteandmed, mis on valitud geomeetrilise nivelleerimise lähtepunktideks (Tabel 8). Andmed on kombineeritud kahest allikast, plaanilised koordinaadid GPA-st ja täpsemad kõrgused eraldi tasandusaruandest, mille Maa-amet edastas e-kirjaga.

Tabel 8. Planeeritava geomeetrilise nivelleerimise lähteandmed GPA-st ja Maa-ameti aruandest [19]

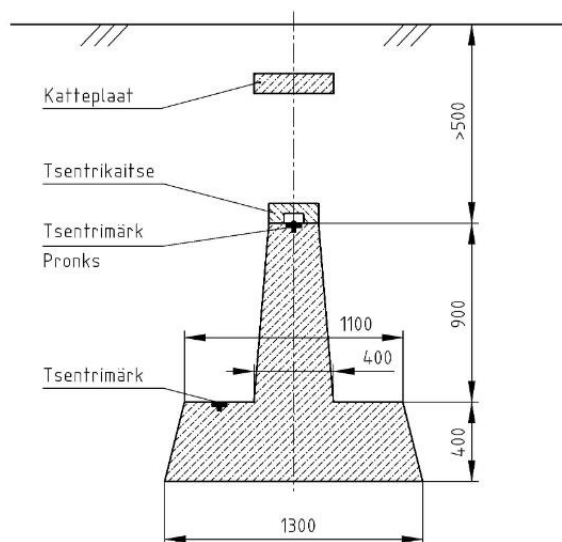
Jrk.nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	GPA ID	Koodnumber	X, m	Y, m	H, m
1	3406*	FRP	I klass	49654	63-853-93406	6589954	551902	27.684
2	8021	PRP	II klass	216282	63-844-98021	6589142	549749	39.80192
3	9353	SRP	II klass	49667	63-853-99353	6589285	550357	39.0262
4	558	SRP	II klass	49668	63-853-90558	6589459	550907	38.47459
5	7806	SR	II klass	226094	63-951-97806	6590149	552809	37.28402
6	IRU97	RGPP	II klass	52743	63-951-6395	6590215.231	552983.838	36.2418

Projekti koostamise käigus edastati Maa-ameti poolt reeperitele täpsemad tasandatud väärtused, mida kumbki andmekogu sellises ulatuses ei kajasta. TLPA geoveebis võrreldud lähtereeperite andmed erinesid seetõttu kõrguslikult, kuid ongi seletatav ümardamisega ainult millimeetri suuruseni. Ümardamise järelduse saab teha plaaniliste koordinaatide osas va SR 7806, kus hälve kahe andmekogu vahel X-koordinaadis ulatub (ΔX) - 1.4 meetrini. Kuna lõputöö käigus reeperite plaanilisi asendeid üle ei mõõdetud, siis võib vaid eeldada, et TLPA geoveebis esitatud detsimeetri täpsusega koordinaadid on täpsemad. Koordinaatide hälbed on leitud GPA andmetest lahutades TLPA geoveebi andmed (vt. Tabel 9). Geodeetiline punkt IRU97 jäi väljapoole TLPA haldusala ja võrdluse võimalus puudus.

Tabel 9. Planeeritava geomeetrilise nivelleerimise lähteandmed TLPA geoveebist ja võrdlus GPA-ga [20]

Jrk. nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	X(m)	Y(m)	H(m)	GPA - TLPA ΔX , m	GPA - TLPA ΔY , m	GPA - TLPA ΔH , m
1	3406	FRP	II klass	6589954.150	551902.960	27.684	0.150	0.960	0
2	8021	PRP	II klass	6589142	549749.3	39.802	0	0.300	0.00007
3	9353	SRP	II klass	6589285.3	550357.2	39.026	0.300	0.200	-0.0002
4	558	SRP	II klass	6589459	550907	38.475	0	0	0.00041
5	7806	SR	II klass	6590147.600	552808.100	37.284	-1.400	-0.900	-0.0002
6	IRU97	Jääb väljapoole TLPA haldusala							

Projekti kooskõlastamisel Maa-ameti Geodeesia osakonnaga täpsustati, et fundamentaalreeperi nr 3406* vundamendi jalamil olevat kontrollreeperit nr 7435 (vt. Joonis 10) lahti ei kaevata. Lisaks tuleb fundamentaalreeperi nr 3406 kasutamiseks eelnevalt luba küsida Maa-ametist [22].



Joonis 10. Fundamentaalseeperi nr 3406 ja kontrollreeperi nr 7435 tüüp [19]

Varasemates projekti versioonides oli geomeetriline II klassi nivelleerimiskäik planeeritud kuni linnapiiril olevale fundamentaalreeperini nr 3406, kuid seoses punkti paiknemisega ehitustegevuse piiril, pikendati Maa-ameti poolt nivelleerimiskäiku kuni riikliku II klassi põhivõrgu punktini IRU97. Lisaks tuli nivelleerimiskäiku kaasata lähtereeperina riikliku kõrgusvõrgu seinareeper nr 7806 ja üle mõõta riikliku tihendusvõrgu punkti Saha-Loo, millel oli vaid GNSS mõõtmistest arvatud absoluutkõrgus EH2000 süsteemis.

Täpne soovitus Maa-ameti poolt edastati e-kirja teel 10.02.2022 „Kuna liiklussõlme ehitustööde käigus on teostatud pinnasetõid fundamentaalreeperi 3406 (lähtereeper) läheduses, siis soovitame nivelleerida ka ida-poolse käigu kuni punktini IRU97. Ühtlasi kaasata mõõtmistesse nivelleerimise käigu trassi lähedale jääv geodeetiline märk Saha-Loo (GPA ID 227318)“ [23].

Nimetatud nõue pikendas nivelleerimiskäiku ca 1.4km, mis nivelleeritakse edasi-tagasi suunas vastavalt käigu planeerimise aluseks olnud II klassi nivelleerimisnõuetele (vt. Joonis 8, Lisa 3).

Viimasena on esitatud lähteandmed geodeetilisele tihendusvõrgu punktile GPA-st, mis tuli Maa-ameti soovitusel üle mõõta.

Tabel 10. Mõõdetav riiklik tihendusvõrgu punkt Saha-Loo geomeetrilisel nivelleerimisel

Jrk.nr.	Punkti nimi/nr	Märgi tüüp	Märgi klass/järk	GPA ID	Koodnumber	X, m	Y, m	Harvut, m
1	Saha-Loo	RGPP	Tihendusvõrk	227318	63-951-5431	6590057.396	552781.464	35.189

Kuna punkt jäi Tallinna linna piiridest välja, siis andmete võrdlust lõputöö raames TLPA geoveebi andmekoguga ei teostatud.

3.3 Punktide lähteolukorra ülevaatus

Enne projekti koostamist tuleb teha asula olemasoleva kohaliku võrgu täielik ülevaatus [15].

Kohaliku võrgu rajamise või rekonstrueerimise projektis peavad saadud andmed olema esitatud järgmiselt [15]:

- seletuskiri (märkide hävimise protsent, remondi maht, märkide tüübid, jms);
- ülevaatus koondtabel (vt, Lisa 1) digitaalselt tabelarvutusformaadis (näiteks *.xls) või tekstiformaadis (ASCII) ja tardkandjal (paber) ülevaatus koondskeem, millel peavad olema kujutatud polügonomeetria ja/või teodoliitkäigud ja nivelleerimiskäigud ning kohaliku võrgu punktid, sh kohaliku võrgu lähtepunktid (GNSS punktid ja lähtereeperid). Skeem tuleb koostada digitaalselt vektorformaadis (näiteks *.dgn, *.dxf, *.tab) ja esitada digitaalselt vektorformaadis (näiteks *.dgn, *.dxf, *.tab) ja *.PDF formaadis tihedusega vähmalt 600 dpi ning tardkandjal (paber);
- ülevaatus tulemused tuleb tähistada järgmiste leppemärkidega (Joonis 11, [15]):

	GNSS mõõtmisteks sobiv punkt
	riikliku kõrgusvõrgu reeper
	säilinud kohaliku võrgu punkt
	rikutud kohaliku võrgu punkt
	hävinenud kohaliku võrgu punkt
	leidmata kohaliku võrgu punkt

Joonis 11. Ülevaatus tulemuste leppemärgid [15]

Geodeetiliste märkide ülevaatus teostati oktoobris 2021. a. ja täiendavalt jaanuaris 2022.a. Kuna enamus punkte asus tiheasustusega alal, siis ei paigaldatud üldjuhul punktide juurde tunnusposte ja kaitseaedasid. Punktide kiiremaks leidmiseks oli lõputöö autoril kasutada RTK-GNSS seade Trimble

R10 (Foto 1) koos väliarvutiga Trimble TSC7 (Foto 2), mis said parandid Geosoft OÜ opereeritavast Trimble VRSNow püsijaamde võrgust.



Foto 1. RTK-GNSS seade Trimble R10 [24]

Trimble R10 RTK-GNSS seadme täpsusparameetrid püsijaamade võrgus reaalkinemaatilisel (RTK) mõõtmisel [24]:

- hor $\pm 8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm (RMS)}$;
- vert $\pm 15 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm (RMS)}$;
- RTK initsialiseerimise saavutamine 2-8 sek, Sõltub atmosfääri tingimustest, signaali mitmeteelisusest, takistustest ja satelliitide geomeetriast taevaalaotuses.



Foto 2. RTK-GNSS väliarvuti Trimble TSC7 [25]

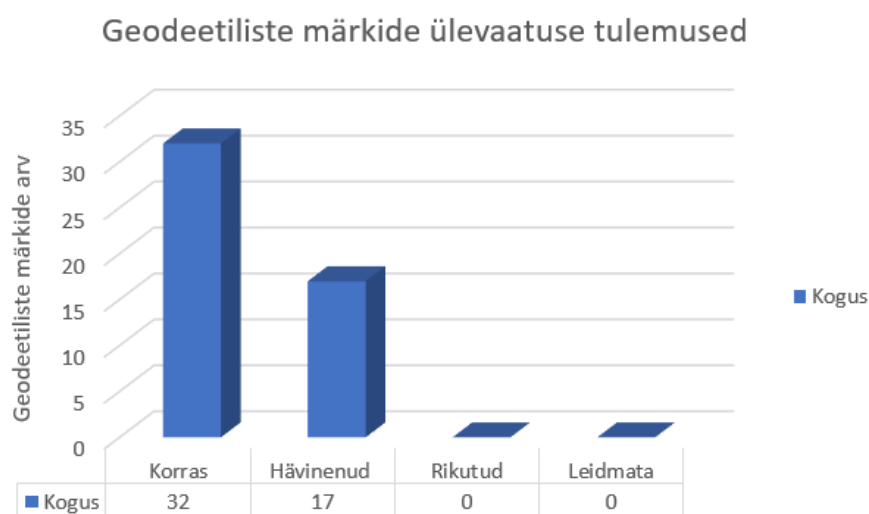
Trimble TSC7 väliarvuti parameetrid [25]:

- operatsioonisüsteem Windows 10 Pro;
- ekraani diagonaal 7 tolli;
- protsessor 1,1 GHz (2,5 GHz turbo);
- mälumaht 8 GB RAM;
- salvestusmaht 64 GB;
- geodeesia tarkvara Trimble Access.

Lisaks RTK-GNSS seadmetele tasub punktide ülevaatusesse kaasata ka muid abivahendeid nagu: vasar, labidas, metalliotsija, metallist sondeerimisvarras, suurem kang jms.

Juhul kui ülevaadatav punkt asub kohas, kus RTK-GNSS seade ei toimi, siis tuleb joonsidemed võtta pikema mõõdulindiga andmekogust saadud abrissidel tähistatud objektidest. Kui ka abriiss on vananenud, siis võib punkti leidmine osutuda keeruliseks. Lõputöö kirjutaja on kasutanud varasemates projektides ka tahhümeetrilist otsimist naaberpunktilt väljamärkides ehk suuna ja joonepikkuse abil. Nimetatud toiming on aga aeganõudev ja võsastunud alal küllaltki tülikas ettevõtmine. Käesolevas lõputöös oldi nimetatud metoodikale väga lähedal kui teostati kohaliku 2. järgu punktide nr 2816, 931 ja 2815 ülevaatus. Siiski õnnestus pikemal ootamisel RTK-GNSS seadmel saada fikseeritud algtundmatute lahendus ka nendes keerulistes tingimustes ja punktid leiti üles ilma elektrontahhümeetrit kasutamata.

Ülevaatus teostati kokku neljakümne üheksale (49) geodeetilisele märgile ning seisukorra kokkuvõte on esitatud järgnevalt (vt. Joonis 12):

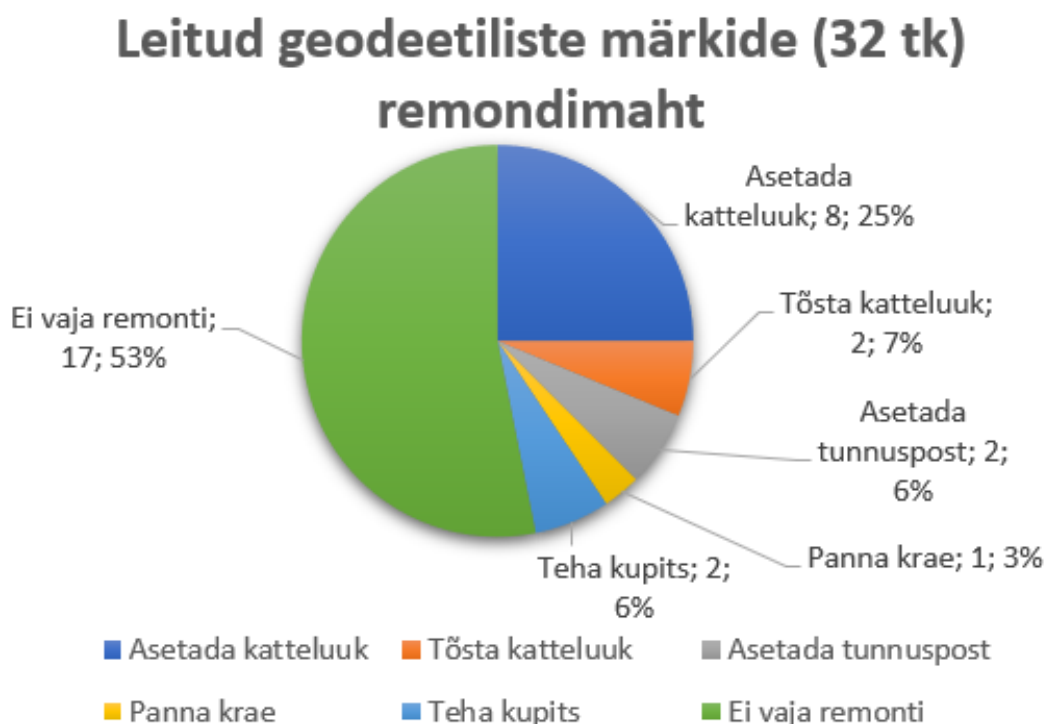


Joonis 12. Geodeetiliste märkide ülevaatus tulemused

Lisaks seisukorrale ja remonttööde vajadusele hinnati olemasolevate märkide sobivust ka GNSS mõõtmisteks. Selleks tuli visuaalselt hinnata ümbritsevat situatsiooni, võimalike takistusi ja avatu taevaalaotuse ulatust. Sarnane hinnang tuli anda ka uutele kohaliku võrgu 1. järgu punktidele, mis planeeriti GNSS mõõtmisteks. Uute punktide kohta koostati ka elektrontahhümeetriga ringpanoraamid, millest on täpsemalt kirjutatud peatükis. 3.6.

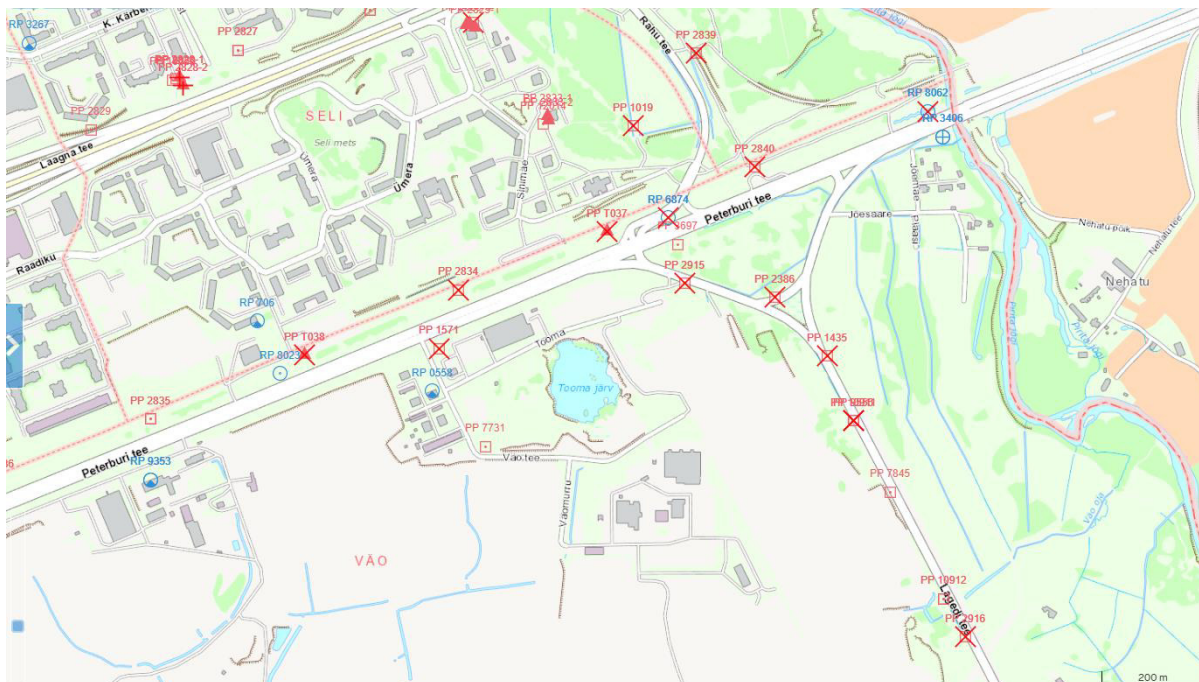
Ülevaatus käigus kogutud informatsiooni põhjal koostati geodeetilise põhivõrgu skeem, kuhu märgiti hävinud, taastatavad ja olemasolevad geodeetilised punktid (vt. Lisa 2).

Leitud ja korras märkide (32tk) remondimahu kokkuvõte on esitatud järgnevalt (vt. Joonis 13):



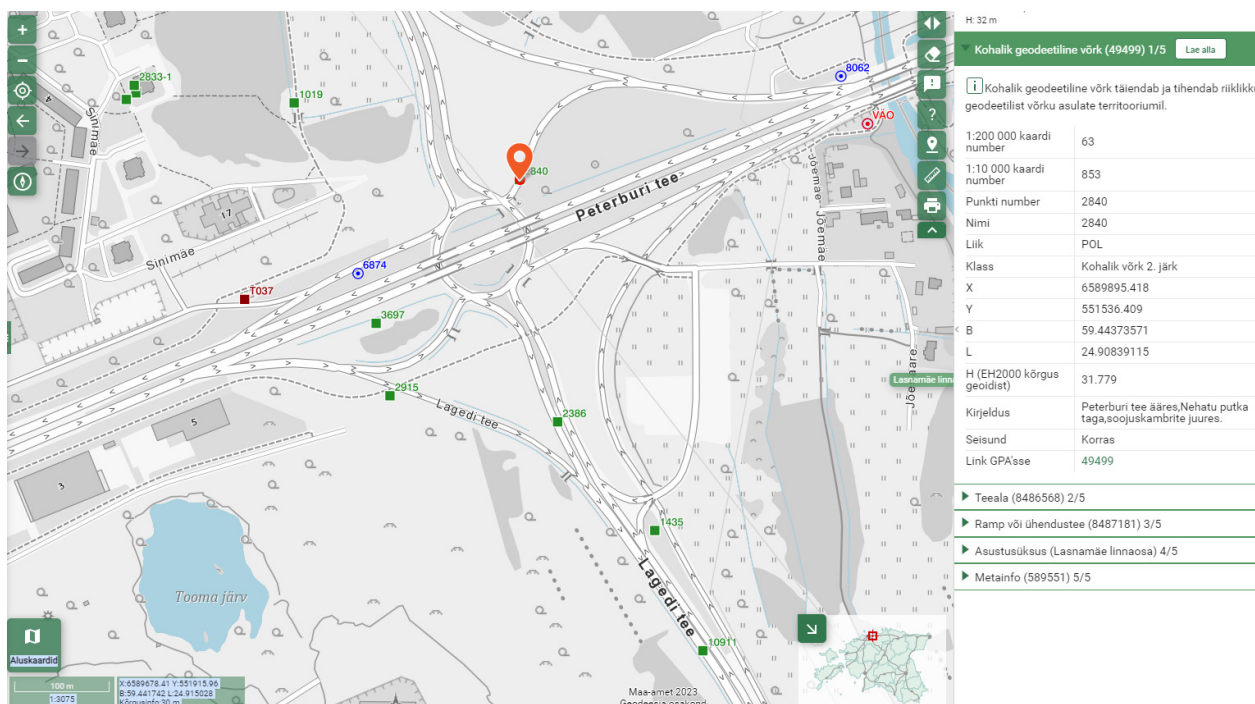
Joonis 13. Leitud geodeetiliste märkide (32 tk) remondimaht

Peale projektaruande esitamist TLPA-le registreerib kohalik omavalitsus töö oma arhiivis ja info edastatakse Maa-ametile. Maa-amet kontrollib omalt poolt töö üle ja kooskõlastab või puuduste ilmnemisel saadab tagasi koos kommentaaridega parandamiseks. Peale töö vastuvõtmist kantakse ülevaatus tulemused andmebaasi ja mõne aja möödudes on info avalikult kättesaadav kõigile andmebaaside kasutajatele. Käesolev projekt võeti Maa-ameti poolt vastu aprillis 2022.a. Lõputöö kirjutamise ajal jaanuar-aprill 2023.a. andmebaasides infot kogudes, selgus, et TLPA geoveebis olid ülevaatus tulemused operatiivselt ka sisse viidud (Joonis 14).



Joonis 14. Väljavõte TLPA geoveebi andmebaasist 17.02.2023.a. (ristiga tähistatud geodeetilised punktid on hävinenud)

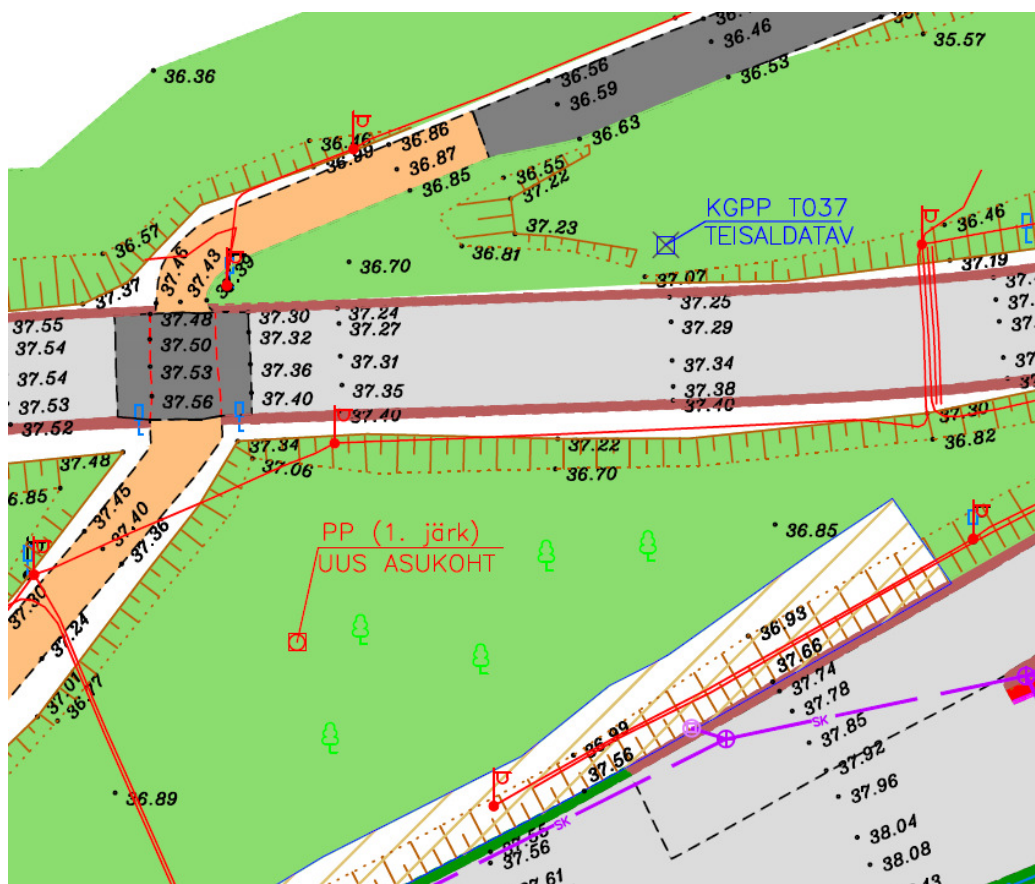
Maa-ameti geodeetiliste punktide andmekogus muudatusi veebruaris 2023.a veel sisse ei olnud kantud. Kaardirakenduses olid olemas kõik hävinenud punktid seisundiga „Korras“. Detailvaates olid viimase ülevaatusse andmed aastast 2007 (Joonis 15).



Joonis 15. Väljavõte Maa-ameti GPA-st 17.02.2023.a.

3.4 Uute märkide ja reeperite asukohavalik

Hävinud geodeetiliste märkide asemele valiti esialgsed uued asukohad, mis tähistati looduses hilisemase leidmise hõlbustamiseks puuvaiaga. Uute märkide asukoha valikul arvestati asjaoluga, et oleks tagatud märgi võimalikult pikaajaline säilivus ja kasutusmugavus geodeetidele. Mõõtmismetoodikast lähtuvalt tuli GNSS punktidel jälgida ka ümbritsevat situatsiooni ja taevaalaotuse avatust. Ideaaltingimustes on satelliitide äralõike nurk 10° - 15° . Arvestada tuleb siiski asjaoluga, et asukohtade valiku hetkel 01.2022.a ei olnud ehitusobjekt täielikult valminud ja lõplikud asukohad tuleb vajadusel uuesti paika rihtida ja kooskõlastada enne märkide paigaldustöid. Uute märkide projektjooniste alustena kasutati ehitusprojekti ja teostusmõõdistuste kombinatsiooni. Kõikide teisaldavate punktide projektskeemid on esitatud lõputöö lisas (vt. projektskeemid Lisa 5-13) ja alljärgnevalt väljavõtte kohaliku geodeetilise 1. järgu punkti projektskeemist (vt. Joonis 16).



Joonis 16. Kohaliku geodeetilise 1. järgu punkti nr T037 (uus nr 11001) projektskeem [18]

Uute märkide asukoha valikul osalesid minimaalselt 2 geodeeti, sest omavahelise suuna nähtavuses oli vajalik veenduda. Pikema distantssi puhul oli erksavärviline ohutusvest või käega viipamine heaks visuaalseks orientiiriks. Ajutised geodeetiliste märkide asukohad märgiti puuvaiadega, vaiale kirjutati märke „Uus PP“ ja tähistati lisaks aerosoolvärviga. Ajutiste asukohtade koordinaadid salvestati RTK-

GNSS seadmega, et puuvaia hävides oleks asukoht siiski teada. Samuti olid esialgsed koordinaadid vajalikud võrgu geomeetria ja analüüsi teostamisel. Kuna viibiti tiheda liiklusega magistraalil, siis punktide vahel liikumiseks kasutati ohutusvilkuriga varustatud sõidukit. Sõiduki peatamine 2 või 3 realise tee ääres, mis oli piiritletu pörketaraga, oli kitsa eraldusriba tõttu päris problemaatiline. Lisaks vilkurile lülitati sisse ka ohutuled, et mööduvatele sõidukitele piisavalt nähtav olla.

Nagu varasemalt mainitud, siis uute punktide lõplike asukohtade kooskõlastamine käesoleva projekti töömahtudes ei sisaldunud. Kuna kooskõlastuste etapis võivad esile kerkida täiendavad piirangud kaevetöödele, ei olnud punktipõhist märgitüüpide määratlust anda võimalik. Vajadused kaitseaia, tunnusposti ja tunnussildi paigaldamiseks on uute ja kontrollitavate punktide puhul kajastatud Tabelis 11.

Tabel 11. Uute ja kontrollitavate märkide koordinaadid ja tähistused

Jrk.nr.	Punkti nimi/nr	Märgi klass/järk	X, m	Y, m	Tunnuspost, tunnussilt	Kaitseaed	Märkus
1	11001	1. järk	6589502.57	550651.35	*		uus
2	11002	2. järk	6589641.48	550992.11	*		uus
3	11003	1. järk	6589745.84	551225.70	*		uus
4	11004	2. järk	6589891.03	551520.51	*		uus
5	11005	2. järk	6590093.96	551437.59	*		uus
6	11006	2. järk	6589783.58	551550.46	*		uus
7	11007	2. järk	6589554.82	551664.13			uus
8	1718	II klass	6589887.3	551473.5	*	*	uus
9	1719	II klass	6590008.9	551891.3	*		uus
10	10058	2. järk	6590294.796	551290.797			kontrollitav
11	3697	2. järk	6589744.634	551385.975			kontrollitav
12	7845	2. järk	6589261.647	551800.715			kontrollitav
13	8023	II klass	6589493.0	550610.0			kontrollitav

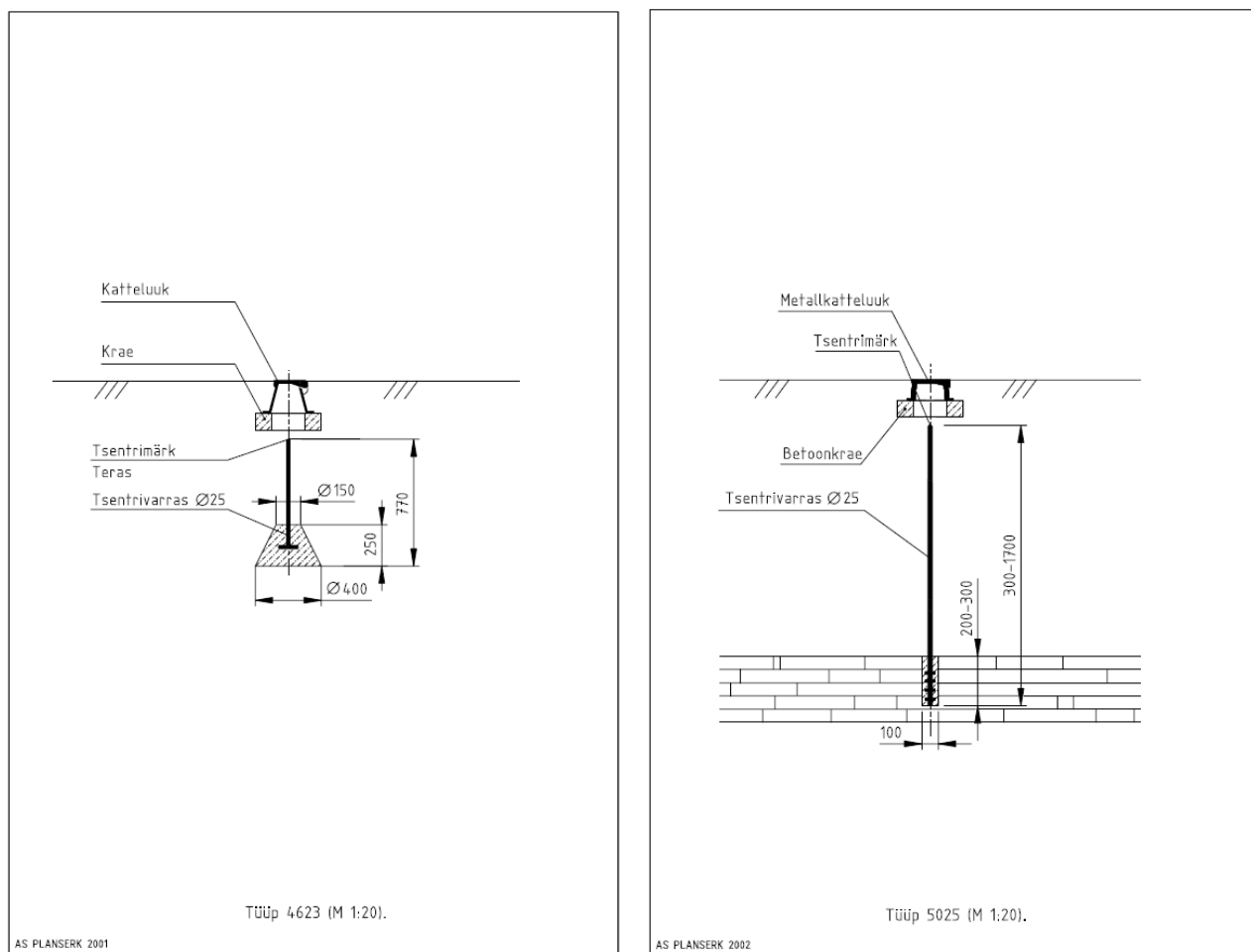
Geodeetiliste märkide paigaldamisele eelnevalt tuleb maapõue asetatavate märkide asukohad kooskõlastada maaomanikega või nende volitatud esindajaga, tehniliste kommunikatsioonide valdajatega ja teiste asjasse puutuvatega (nt muinsus- ja looduskaitsega jt) ning taotleda vajalikud load vastavalt kehtivatele õigusaktidele, sh omavalitsusüksuste poolt kehtestatud. Mõõtmisaruandele tuleb lisada kirjalikud kooskõlastused paber kandjal, elektroonilises vormis või kirjalikku taasesitamist võimaldavas vormingus.

3.5 Uute märkide ja reeperite tüübid

Geodeetilise märgi konstruktsioon ja kasutatavad materjalid sõltuvad geodeetilise võrgu liigist ning pinnase omadustest geodeetilise märgi asukohas, mis määratakse kindlaks geodeetilise töö projektis [16].

Stabiilsete, allpool pinnase külmumispiiri paikneva ankru või kõvadesse settekivimitesse betoneeritud tsentritega, vajavad kohalikus võrgus kindlustamist eelkõige 1. järgu punktid ja kõrguslikud punktid. Geodeetiline märk pinnases, tuleb paigaldada arvestusega, et enne mõõtmist oleks see läbinud vajumisperioodi sügis–talv–kevad ja loodusliku kivisse paigaldatud märk 2 nädalat enne mõõtmistoid. Kohaliku võrgu 2. järgu punktidele külmumistsükli nõuet ei kohaldata [16].

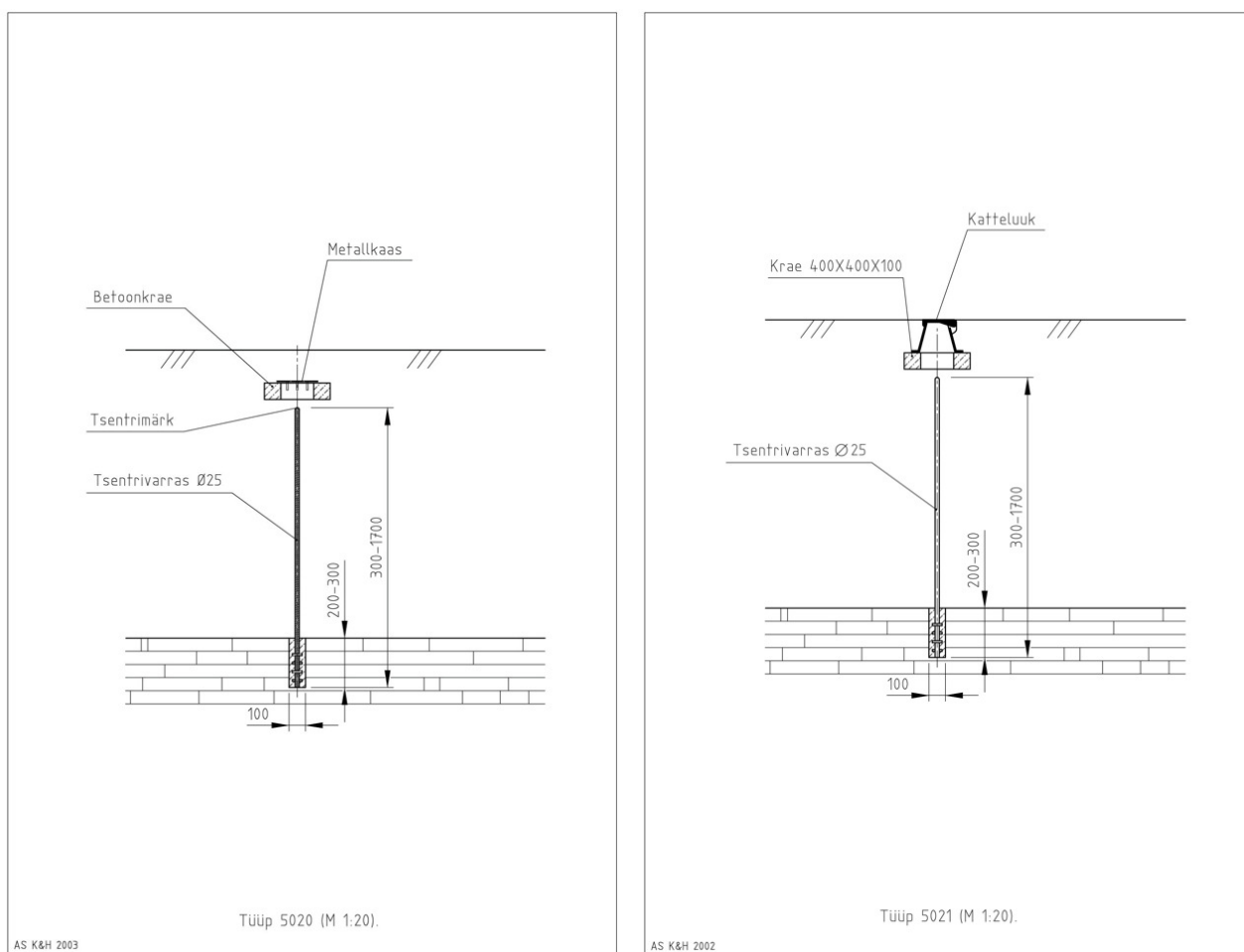
Kohaliku 2. järgu polügonomeetriapunktide rajamisel on linnades või asulates soovituslik kasutada märgi tüüpi 4623 või paastel pinnastel tüüpi 5025 (vt. Joonis 17).



Joonis 17. Geodeetiliste märkide tüübid 4623 ja 5025 [26] [27]

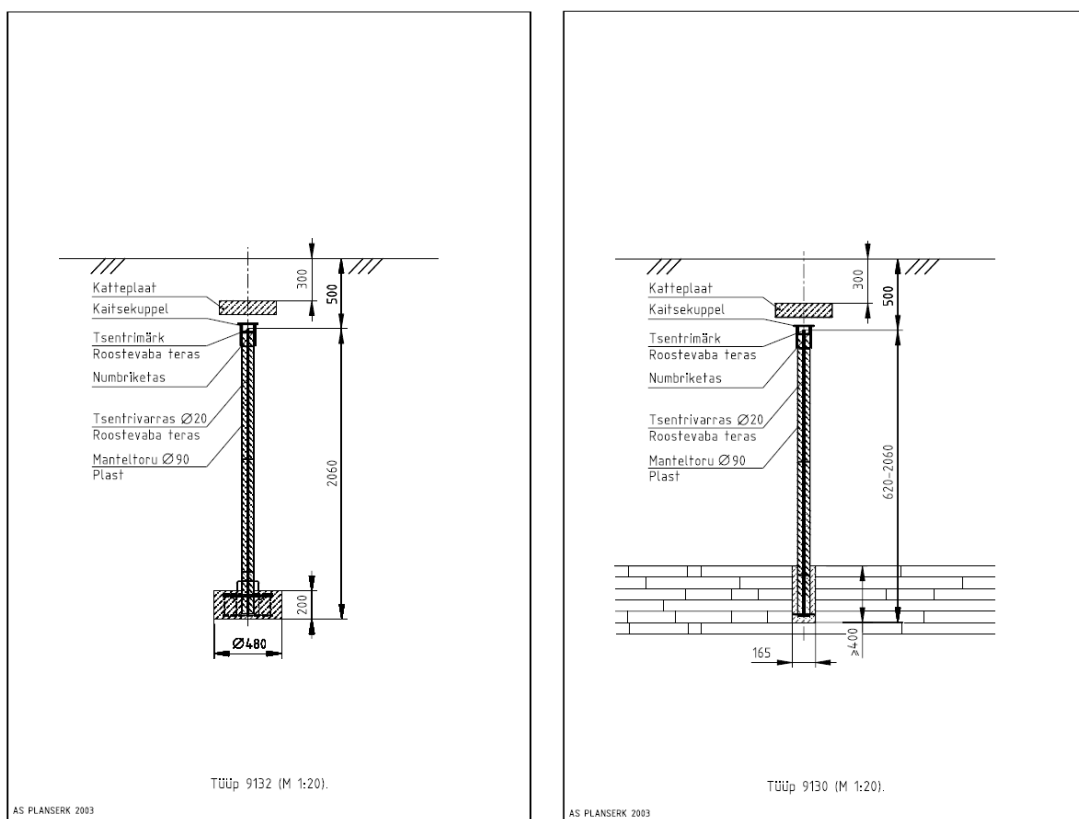
Kohaliku 1. järgu punktidenä on soovituslik kasutada aga külmumispiirist allpool (tsentrivarda pikkus ≥ 1500 mm), näiteks tüüp 5001 ja 5030, mille mõlema alusehituseks on plasthülssi sisse valatud betoonankur, kuid põhiline erinevus seisneb pealisosa ehitusel, vastavalt katteluugi ja katteplaadi näol.

Sõltuvalt pae pinnase ja maapinna vahelisest sügavusest võib polügonomeetriapunktide rajamisel kasutada alternatiivina märgi tüüpe nr 5020 ja nr 5021 (Joonis 18). Punktide välivormistusel on võimalik vastavalt olukorrale valida jällegi katteluukide või katteplaadi vahel.



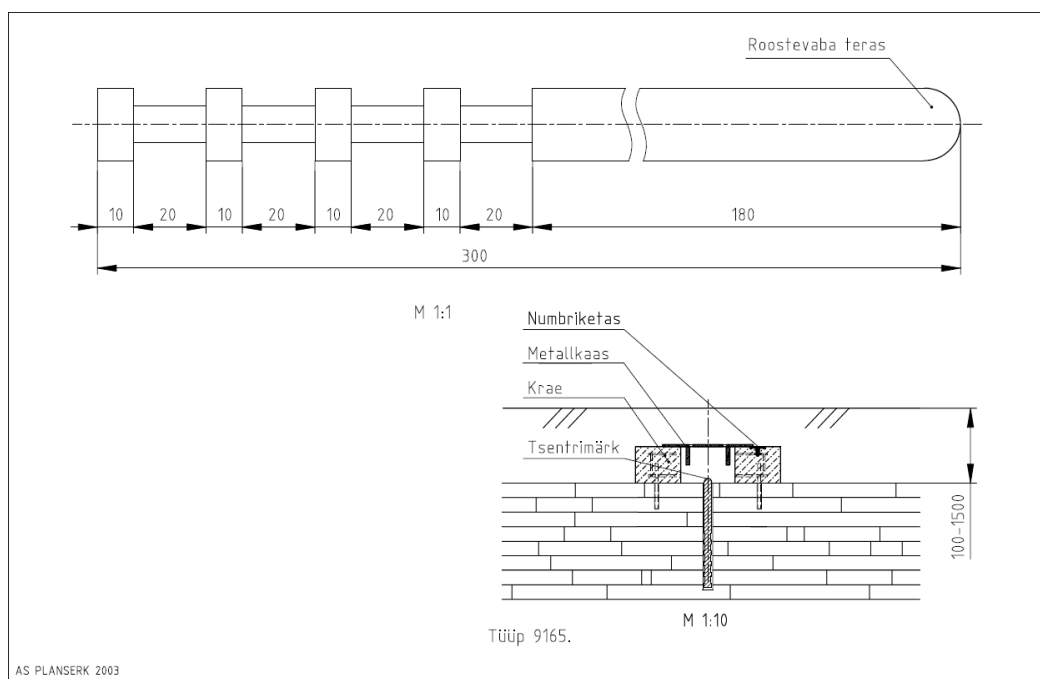
Joonis 18. Geodeetiliste märkide tüübid 5020 ja 5021 [28] [29]

Pinnasereeperite rajamisel tuleks esmajärjekorras kasutada märgi tüüpi 9132 või sarnast paesse ankurdatavat 9130 (Joonis 19).

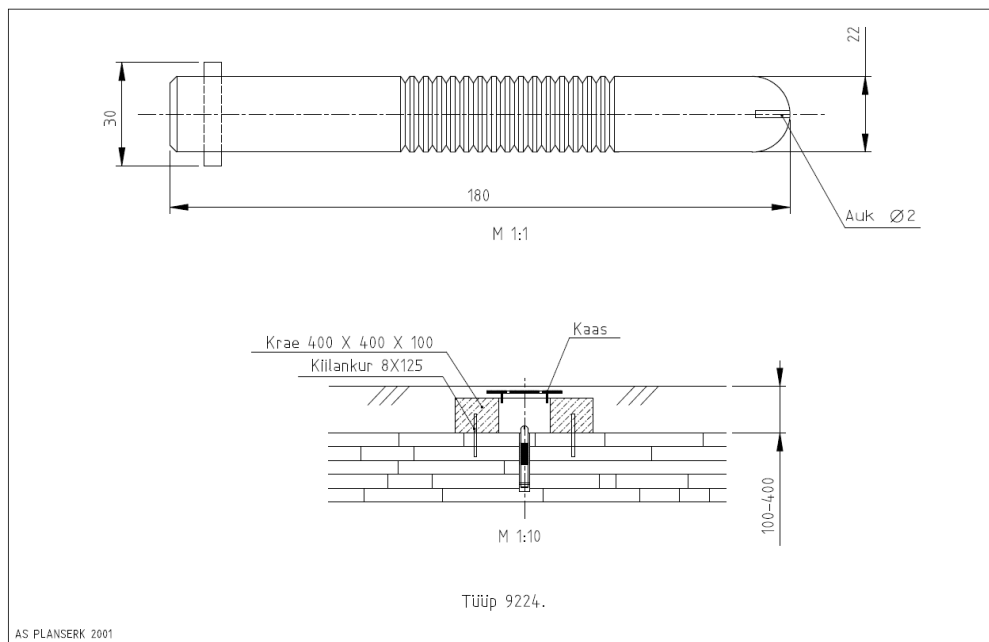


Joonis 19. Geodeetilise märkide tüübid 9132 ja 9130 [30] [31]

Sõltuvalt pinnasekihi paksusest võib kasutada ka lühemaid pasesse ankurdatavaid märgi tüüpe 9165 ja 9224 (Joonis 20, Joonis 21).



Joonis 20. Geodeetilise märgi tüüp 9165 [32]



Joonis 21. Geodeetilise märgi tüüp 9224 [33]

Märkide koosseisus paigaldatakse veel konstruktsioonid nagu kaitseaed, katteluugid, metallkaaned, kandilised või ümmargused betoonkraed, raudbetoonist katteplaadid, kaitsekuplid, numbrikettad, tunnuspostid ja tunnussildid. Nimetatud konstruktsioonide kirjeldused ja joonised on leitavad Maa-ameti „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“-is ja „Kõrgusvõrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“-is. [15] [8]

Katteluugi või katteplaadi paigaldus sõltub igast konkreetsest punkti asukohast, paigaldatud märgi tüübist ja pinnase omadustest. Tunnuspost, tunnussilt ja katteluuk tuleb valmistada vastavalt keskkonnaministri 28.06.2013.a. määrusele nr 50 „Geodeetiliste tööde tegemise ja geodeetilise märgi tähistamise kord, geodeetilise märgi kaitsevööndi ulatus ning kaitsevööndis tegutsemiseks loa andmise kord” [16].

Vastavalt Maa-ameti poolt saadud tagasisides tööde kooskõlastamisel, lisati järgnevad soovitusel projektaruandesse [18]:

- täiendava info saamiseks või küsimuste tekkimisel tuleb pöörduda kohaliku omavalitsuse spetsialistide poole, kuna kohalike geodeetiliste tööde korraldajaks on kohalik omavalitsus;
- aruandes tuleb esitada fotod tsentrite valmistamisest, valmis märgist ja erinevatest märgi paigaldamise etappidest;
- soovituslik on lõplik märgi tüüp enne paigaldust kooskõlastada Maa-ameti Geodeesia osakonnaga.

3.6 Asukoha kirjelduste ja panoraamide koostamine

3.6.1 Punktide asukohakirjeldused

Asukohakirjelduste koostamisel tuleb lähtuda Keskkonnaministri määrusest nr 50, 28.06.2013 „Geodeetiliste tööde tegemise ja geodeetilise märgi tähistamise kord, geodeetilise märgi kaitsevööndi ulatus ning kaitsevööndis tegutsemiseks loa taotlemise kord“. Asukoha kirjeldused ja abrissid⁶ tuleb koostada digitaalselt, kasutades linnade ja/või asulate digitaalseid alusplaane. [16]

Käesolevas lõputöös koostatud asukohakirjeldused koosnesid:

- punktide asukoha projektskeemist M 1:5000, mille aluseks kasutati Maa-ameti aluskaarti;
- planeeritud GNSS punktide panoraamidest.

Projekti koosseisus ei esitatud abrisse ega fotosid, mis tehti ülesandeks esitada mõõtmistööde aruandes järgnevalt:

- abrissid – uutest ja kontrollitavatest märkidest;
- fotod (igast märgist 3tk, lähi-, -kaug- ja tsentrifoto).

Punkti abrisil kajastatakse punkti lähiümbruse situatsioon kuni 40 m raadiuses ümber punkti, joonsidemed kindlatest situatsioonielementidest märgi tsentrile, andmed punkti kohta – punkti number, koodnumber, märgi tüüp, asukoha kirjeldus. Abriss vormistatakse digitaalselt, joonestamisel kasutatakse graafikaprogrammi näit. AutoCAD vms. Abrissile kantakse samuti noolsuunad nähtavatele naaberpunktidele ja fotokaamera asukoht ja suund kaugfoto tegemisest, mis on lisatud aruandele.

Teisaldatavate ja kontrollitavate punktide abrissid koos asukohakirjeldustega ja fotod tuleb esitada mõõtmiste tehnilises aruandes väljatrükina ja digitaalsel kujul andmekandjal.

3.6.2 Planeeritavate GNSS punktide panoraamid

Kuigi satelliitide arv taevas ja satelliitide süsteemide haldavate organisatsioonide arv on pidevalt tõusnud on siiski problemaatiline teostada GNSS-mõõtmisi tiheda situatsiooni või asustatud alade piirkonnas, kus taevalaotust varjavad puud, kõrged mastid ja korstnad ning hooned. Sellest tulenevalt on vajalik GNSS-mõõtmiste planeerimisel arvestada ümberkaudse maastiku horisondi avatusega ja

⁶ Abriss – (saksa k. Abriß ehk joonistus, visand, kavand) on geograafias ja geodeesias ümbritsevast tehtud maastiku skemaatiline joonis, millel on kujutatud maastiku püsiobjektid nagu hooned, teed ja ristmikud, postid ning kraavid ja üksikud puud [50].

seetõttu koostatakse geodeetilise punkti ümbritsevast situatsioonist ringpanoraam. See tähendab takistuse asimuudi, tõusunurga ja kauguse mõõtmist ning vastavale kartogrammile kandmist [32].

Käesoleva lõputöö raames käsitletava Vao ristmiku geodeetiliste punktide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste ühe osana, koostati kahele uuele kohaliku 1. järgu punktile nr. 11001 ja 11003 ringpanoraamid ning kolme lähtepunkti RGPP (II. klass) IRU97 ja RGPP (TIH) Maarjamäe, Lasnamäe panoraame kontrolliti visuaalselt kohapeal.

Ringpanoraami kandmine kartogrammile teostati Geo S.T. OÜ omanduses oleva vanema elektrontahhümeetriga Leica TCRP703Auto (vt. Foto 3).



Foto 3. Leica elektrontahhümeeter TCRP703Auto kompassiga (erakogu)

Leica elektrontahhümeetri TCRP703Auto omadused ja täpsusparameetrid [33]:

- nurga mõõtmise täpsus 3" (0,9 mgon) vastavalt DIN 18723;
- kauguse mõõtmise täpsus $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}$.

Nimetatud instrumendi kasutamise tingis asjaolu, et panoraami koostamisel ei ole vaja aega raisata Windows jms tarkvarade käivitamistele, mis kaasaegsetel elektrontahhümeetritel tarkvaradena juba standardina kasutusel on. Paari-kolme nupuvajutusega on instrument mõõtevalmis ja tavalise kompassi abiga (vt. Foto 3) saab määrata kompassi magnetilise põhjasuuna järgi instrumendile asimuudi $H_z=0^{\circ}00'00''$, mis panoraamil on tähistatud $0^{\circ}/360^{\circ}$ ja lisaks tähistatud põhjasuuna tingmärgiga.

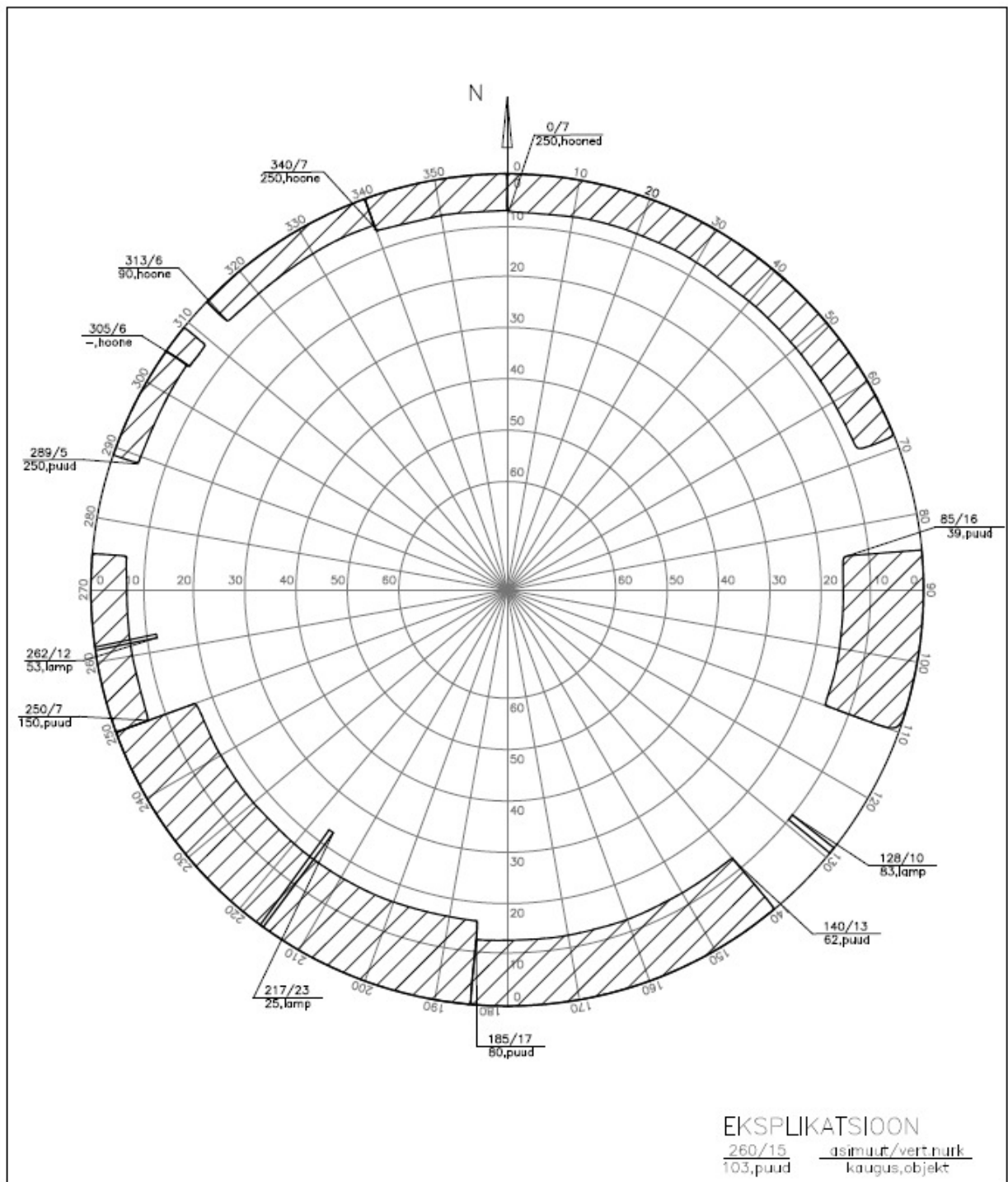
Enne seda toimingut tuleb instrument punktile tsentreerida ja loodida. Tsentreerimine ei pea olema täpne sest asukohaline hälve paarikümne sentimeetri ulatuses on ringpanoraami mõistes tühine. Instrumendi vaatekiire kõrgus, millest mõõdetakse seniitkaugus (V_z), jääb maapinnast üldjuhul 1.5 – 1.7 m kõrgusele, on tavapärane GNSS-vastuvõtjate kõrgus maapinnast. Ringpanoraami mõõtmist teostatakse suunaga päripäeva ja laseriga mõõdetakse horisontaalkaugus objektini (HD) ning liigutatakse pikksilm vertikaalsuunas takistuse kõige kõrgemasse tippu ja saadakse vertikaalnurk (V_z). Panoraamile kantav vertikaalnurk tuleb instrumendiga mõõdetud seniitkaugusest arvutada, sest elektrontahhümeetritel on Z telg orienteeritud otse üles aga panoraamidel loodjoone suunaliselt. Lõpliku nurga väärtuse panoraamile leiab järgneva valemiga (Valem 1)

$$V_{z_panoraam} = 90^{\circ} - V_{z_instrument}, \quad (1)$$

kus $V_{z_panoraam}$ - panoraami vertikaalnurk horisontaalsest loodjoonest suunaga seniiti;
 $V_{z_instrument}$ - instrumendiga mõõdetav seniitkaugus.

Ringpanoraami võib täita otse tühjale blanketile või kirjutada üles horisontaalnurkade vahemikud sarnaste seniitkauguste juures ja täita ringpanoraam hilisemas faasis. Panoraamid vormistati programmiga AutoCAD. Selgitustena on panoraamil võimalik viiteriuliga edasi anda järgnev info (vt. Joonis 22):

- takistuse asimuut / takistuse vertikaalnurk loodjoonest;
- takistuse keskmine kaugus, takistuse tüüp.



Joonis 22. Väljavõte kohaliku geodeetilise 1. järgu punkti nr 11001 ringpanoraamist [18]

Sarnaselt abrissile on ka panoraamid kirjeldatud geodeetilise punkti kohta käiva infoga, kus lisaks märgi numbrile on info ka tsentri kõrgusele maapinnast, koordinaadid ja asukoha kirjeldus. Teisaldatavate kohaliku geodeetilise võrgu 1.järgu punktide PP 11001 ja PP 11003 panoraamid on esitatud lõputöö lisas (vt. Lisa 14, Lisa 15).

4 MÕÕTMISTE METOODIKA JA KAVANDAMINE

4.1 Lähteülesanne mõõtmiste kavandamiseks

Käesolevas projektis on mõõtmismetoodikana kasutusel enamuse klassikalistest mõõtmismetoodikatest nagu:

- GNSS staatilised mõõtmised, mis on vajalikud kohaliku geodeetilise võrgu 1. järgu punktide koordinaatide määramiseks riikliku võrgu punktidelt;
- polügonomeetrilised ja trigonomeetrilised mõõtmised elektrontahhümeetriga, mis on vajalikud kohaliku geodeetilise võrgu 2. järgu punktide sidumiseks olemasolevatest 2. järgu punktidest ja taastatud 1. järgu punktidest;
- geomeetiline nivelleerimine, mis on vajalik kõrgusvõrgu punktide mõõtmiseks järgides II klassi metoodikat.

Kõik erinevad metoodikad tuli koostatud rekonstrueerimise ja kontrollmöödistamise projektis määratleda, milliste punktide osas neid kasutada tuleb, millised on kohaldatavad nõuded, täpsusklassid ja vajalik instrumendid ning nende parameetrid.

Mõõtmiste planeerimisel tuleb arvestada varasemaid mõõtmisi, selleks on oluline lähtuda varasematest käikude ja võrkude skeemidest, mis on aluseks hävinenud punktide taastamisel ja mõõtmistel. Uues projektis tuleb esitada olemasoleva geodeetilise võrgu skeem M1:5000, kus näidatakse lähtepunktid ja taastatavad ning kontroll-möödetavad punktid (vt. Lisa 2). Rekonstrueeritava võrgu või selle osa uus konfiguratsioon esitatakse samuti skeemina või skeemidena, millele on märgitud uute märkide sidumised vastavalt metoodikale nii plaaniliselt kui kõrguslikult. Üldjuhul on skeemid jagatud vastavalt mõõtmismetoodikatele, kuid nii polügonomeetria mõõtmised kui ka trigonomeetiline ja geomeetiline nivelleerimine on üksikute punktide taastamisel võimalik näidata ühel skeemil (vt. Lisa 3), sõltuvalt kaastatud geodeetiliste punktide arvust ja punktide tihedusest, lähtereeperite kaugusest ning selle alla kuuluvast maa-ala suuruselt. GNSS staatiliste mõõtmiste skeem näidatakse alati eraldi, sest vektorite pikkusest tulenev skeemi üldine mõõtkava ei võimalda detailselt muid mõõtmisi kajastada (vt. Lisa 4).

Lähtedokumendiks kohaliku võrgu ülesehitusel ja mõõtmistel on Maa-ameti poolt koostatud „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“, mis on kinnitatud Maa-ameti peadirektori käskkirjaga 30.04.2018 nr 1-1/18/795 [15]. Üldised nõuded kohaliku võrgu

planeerimisel on kirjeldatud peatükis 2. „Kohaliku võrgu ülesehitus ja täpsus“, millest käesoleva töö teostamisel väärivad äramärkimist järgmised [15]:

- lähtuvalt geodeetiliste võrkude hierarhilise ülesehituse põhimõttest võetakse uute lähtepunktide määramisel aluseks riigi geodeetilise võrgu I ja II klassi ning tihendusvõrgu punktide koordinaadid, mis loetakse veatuteks (Pt. 2.8);
- lähtuvalt geodeetiliste võrkude hierarhilise ülesehituse põhimõttest võetakse kohaliku võrgu madalamate järkude koordinaatide määramisel aluseks lähtepunktide koordinaadid, mis loetakse veatuteks (Pt. 2.10);
- olemasoleva võrgu rekonstrueerimisel tuleb polügonomeetriakäigud projekteerida ja mõõta selliselt, et võrku saaks kaasatud võimalikult palju rekonstrueeritava võrgu säilinud punkte (Pt. 2.12).

Nõuetes on ära toodud ka punktide arvud keskmiselt ruutkilomeetri kohta, kuid käesolevas lõputöös on tegemist osalise võrgu rekonstrueerimisega ehk hävinenud punktide asemel paigaldatakse tühjaks jäänud alale uued märgid ja seetõttu nimetatud nõudeid otseselt järgida pole võimalik.

4.2 Nõuded kasutatavatele instrumentidele, lisaseadmetele ja metoodikale

Kohaliku võrgu mõõtmistel kasutatavate instrumentide tüüpidele ja nende täpsusele esitatavad nõuded on kirjeldatud Maa-ameti poolt koostatud „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“-is, peatükis 6. Kohaliku võrgu mõõtmised ja Maa-ameti poolt koostatud dokumendist „Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja nivelleerimise juhend“-is peatükis 8. Nivelleerimise metoodika [15], [8]. Kuna esialgne lähteülesanne sisaldas kohaliku võrgu ja kõrgusvõrgu projekteerimist, ehitamist, mõõtmist ja tasandustulemustega lõpparuannet, sai projekti koostamisel ja võrkude planeerimisel lähtutud nõuetele vastavatest Geo S.T. OÜ-l olevatest seadmetest ja nende arvust ning täpsusparameetritest. Hilisemalt lähteülesanne küll muutus ja jagati kaheks eraldi pakkumise ja tööde teostamise etapiks. Järgnevates peatükkides on esitatud seadmete kirjeldused ja täpsusparameetrid ning geodeetilised tööd, milleks kirjeldatud seadmed olid planeeritud.

4.2.1 Nõuded staatilistele GNSS mõõtmistele ja seadmetele

Staatilistel GNSS mõõtmistel määratakse maastikul tundmatu punkti asend tuntud punkti suhtes ehk koordinaatide erinevused (ruumivektorid) ΔX , ΔY ja ΔZ , ECEF-süsteemis. GNSS vastuvõtjad peavad olema paiksed ehk staatilised kogu mõõdistussessiooni vältel. [6]

Kohaliku võrgu 1. järgu punktide (2tk.) mõõtmisel kasutatavad GNSS seadmed peavad tagama punkti plaanilise asendi keskmise ruutvea ± 1 cm riikliku geodeetilise võrgu või tihendusvõrgu punktide suhtes, sellest lähtuvalt tuleb kohaldada järgmiseid minimaalseid nõudeid [15]:

- vähendamaks GNSS signaalide peegeldumist ümbritsevast keskkonnast (*multipath, scattering*) tuleb GNSS mõõtmisel kasutada *Choke* ring tüüpi põhjaplaadiga (*ground plane*) GNSS antennid või teisi vähemalt samasuguste peegeldumist vähendavate omadustega antennid. Mõõtmisel kasutatavad GNSS antennid peavad olema samatüübilised, s.o antennide faasisentrite muutus peab olema identne;
- GNSS mõõtmisel tuleb kasutada kaheageduslikke GNSS vastuvõtjaid. GNSS vastuvõtjad peavad võimaldama mõlemal sagedusel (L1 ja L2) täistsüklite (*whole cycles*) kasutamist;
- GNSS mõõtmisessioonide pikkuseks peab olema minimaalselt 90 minutit, kasutada tuleb eranditult staatilist mõõtmismeetodit;
- GNSS mõõtmised tuleb projekteerida selliselt, et võrku kuuluksid vaid nn mittetriviaalsed e. sõltumatud vektorid⁷. Mittetriviaalsetest vektoritest võrk peab moodustama lausvõrgu (vektoritest moodustatud kujundiks on kolmnurk);
- mõõdetud vektoritest koosnev võrk tuleb tasandada vähimruutude meetodil. Kasutatav tarkvara peab võimaldama tulemuste täpsushinnangu otsest võrdlust nõuetega (peab olema antud koordinaatide täpsushinnang).

Mõõtmiste teostamiseks planeeriti projektis minimaalselt kolm (3) GNSS vastuvõtjat, milleks olid valitud Trimble Zephyr 2 Geodetic tüüpi antennid (Foto 4, Tabel 12) ja Trimble NetR9 vastuvõtjad (Foto 5).



Foto 4. Trimble Zephyr 2 Geodetic antenn [34]

⁷ Sõltumatu vektor – vektor, mis moodustub üheselt määratud punktide vahele. Andmete lõpptasandus sisaldab üldjuhul ainult sõltumatuid vektoreid [6].

Tabel 12. Trimble Zephyr 2 Geodetic antenni parameetrid [35]:

Trimble Zephyr 2 Geodetic antenni parameetrid	
Satelliitide signaalide vastuvõtmine	Füüsilised parameetrid
GPS: L1, L2, L5 GLONASS: L1, L2, L3 BeiDou: B1, B2, B3 Galileo: E1, E2, E5, E6 SBAS: WAAS, EGNOS, QZSS, Gagan, MSAS ja OmniSTAR	Diameeter 34,3 cm ja kõrgus 7,9 cm Kaal 1,36 kg Väiksem kui 1 mm suurune faasitsentri nihe



Foto 5. Trimble NetR9 vastuvõtja [36]

Tabel 13. Trimble NetR9 vastuvõtja omadused ja täpsusparameetrid [37]:

Trimble NetR9 vastuvõtja omadused ja täpsusparameetrid		
Satelliitide signaalide vastuvõtmine	Füüsilised parameetrid	Täpsusparameetrid kõrgtäpse GNSS staatilise mõõtmiste puhul
GPS: L1 C/A, L2C, L2E, L5 GLONASS: L1 C/A ja krüpteerimata P kood, L2 C/A ja krüpteerimata P kood, L3 CDMA Galileo: L1 CBOC, E5A, E5B & E5AltBOC Beidou QZSS: L1 C/A, L1C, L1 SAIF, L2C, L5, LEX SBAS: L1 C/A (EGNOS/MSAS), L1 C/A ja L5 (WAAS/GAGAN); L-Band: OmniSTAR VBS, HP ja XP Trimble RTX World Wide Corrections (Trimble ülemaailme reaalaaja parandi teenus)	Pikkus 26,5 cm, laius 13,0 cm ja kõrgus 5,5 cm Kaal 1,75 kg; Töötemperatuur -40 °C kuni +65 °C	Hor $\pm 3 \text{ mm} + 0,1 \text{ ppm (RMS)}$ Vert $\pm 3,5 \text{ mm} + 0,4 \text{ ppm (RMS)}$

Detailsemalt projektis esitatud nõetest GNSS mõõtmiste metoodikale on kirjutatud järgmises peatükis 4.3.

4.2.2 Nõuded polügonomeetrilistele ja trigonomeetrilisele mõõtmistele ja seadmetele

Polügonomeetria ja trigonomeetriline nivelleerimine teostatakse ühe mõõtmisena. Polügonomeetria mõõtmistel ja andmetöötluses tuleb järgida „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“-is sätestatud nõudeid. Lisaks tuleks lähtuda alljärgnevast [15]:

- suunad mõõdetakse ringvõtete meetodil kolme kuni kuue täisvõttega ja vahemaad mõõdetakse iga poolvõtte mõõtmise käigus koos suuna lugemi salvestamisega;
- rippuvaid suundi (ka seinamärke) tuleb suunad mõõta kuue täisvõttega;
- igas mõõtejaamas tuleb mõõta õhurõhk ja temperatuur ning lisada väärtused instrumenti või hilisemalt tasandustarkvarasse;
- elektrontahhümeeter ja prismad tsentreerida täpsusega ± 1 mm. Instrumendi horisondi kõrgus tsentri märgist mõõdetakse ruletiga ± 2 mm täpsusega.

Teisaldatud punktidele tuleb teostada vähimruutude meetodil plaanilise võrgu tasandamine ja esitada täpsushinnang.

Polügonomeetriakäikude mõõtmiseks on elektrontahhümeetritele esitatud järgmised täpsusnõuded, mis peavad tagama kohaliku 2. järgu punkti plaanilise asendi keskmine ruutviga ± 2 cm kohaliku võrgu lähtepunktide suhtes [15]:

- nurga mõõtmise täpsus $\geq \pm 1,5''$;
- kauguse mõõtmise täpsus $\geq \pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D \text{ km})$ (Pt. 6.2.2).

Kohaliku võrgu punktide kõrguste määramiseks trigonomeetrilise või geomeetrilise nivelleerimise teel ei tohi nivelleerimiskäigu või polügooni sulgemisviga ületada (Valem 2) [15]

$$\pm 5\sqrt{n} \text{ mm}, \quad (2)$$

kus n - seisupunktide arv käigus.

Või vähemate jaamade arvu korral (Valem 3) [15]

$$\pm 20\sqrt{L} \text{ mm}, \quad (3)$$

kus L - käigu pikkus kilomeetrites.

Kontrollitavate punktide puhul tuleb võrrelda saadud tulemusi punktide ametlike koordinaatidega ja arvutada plaanilised keskmised ruutvead. Keskmise ruutvea arvutamiseks on aruandes soovitatud kasutada Gaussi valemit (Valem 4) [40]

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Sigma \Delta^2]}{n}}, \quad (4)$$

kus $[\Sigma \Delta^2]$ – juhuslike vigade ruutude summa;
n – mõõtmiste arv.

Mõõtmiste teostamiseks vastavalt nõuetele oli ettevõttel kasutada elektrontahhümeeter Trimble S9 1" DR HP (Foto 6), koos lisatarvikutega (statiivid, treegerid, ringprismad, mõõdulindid jms).

Trimble elektrontahhümeetri Trimble S9 1" DR High Precision omadused ja täpsusparameetrid [38]:

- nurga mõõtmise täpsus 1" (0,3 mgon) vastavalt DIN 18723;
- kauguse mõõtmise täpsus $\pm (0,8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}$.



Foto 6. Trimble elektrontahhümeeter S9 1" DR HP Vääna polügoonil (erakogu)

Mõõdistuskomplekti kuulusid veel täpsed käiguprismade komplektid Leica GPR121 (4tk), puitstatiivid Leica GST-20-9 (5 tk), mõõduruletid (2 tk) ja kombineeritud mõõtevahend DeltaOHM temperatuuri ja õhurõhu mõõtmiseks. Kuna nimetatud seadmeid oleks kasutatud hilisemate

mõõtmistööde läbiviimisel, siis kõik kalibreerimistõendid oleks tulnud esitada mõõtmisaruan-
des. Sellest lähtuvalt ei ole kalibreerimistõendeid ka lõputöös otstarbekas lisades välja tuua, kuna seadmeid
reaalselt ei kasutatud.

4.2.3 Nõuded II klassi geomeetrilisele nivelleerimisele ja seadmetele

Geomeetrilisele II klassi nivelleerimiskäikudele on projektis esitatud järgmised täpsusnõuded, mis
peavad vastama Maa-ameti poolt koostatud dokumendile „Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja
nivelleerimise juhend“ punkt 8.3. Täpsusnõuded, lisaks erinõetele vastavalt Maa-ameti tagasisidele
01.04.2022 nr 8 1/22/1721-5 [8]:

- pärast sektsiooni⁸ mõlemasuunalist nivelleerimist ei tohi saadud kõrguskasvude summad
erineda üle 1.0 mm/km, sõltumata sektsioonis olevate jaamade arvust kilomeetri kohta.
Lubatust suuremate erinevuste puhul tuleb sektsiooni nivelleerimist korrata (Maa-amet
01.04.2022 nr 8 1/22/1721 5);
- kogu käigu edasi- ja tagasisuunalisest nivelleerimisest saadud kõrgus- kasvude lubatav
erinevus on 2.0 mm/km;
- nivelleerimise lubatavad juhuslikud ja süstemaatilised ruutkeskvead ning polügoonide
sulgemisvead on järgmised:
juhuslik viga $\eta = 0.4$ mm/km;
süstemaatiline viga $\sigma = 0.04$ mm/km;
sulgemisviga $f = 2.0$ mm/km.
- reeperite PRP 1718 ja PRP 1719 plaaniline asend tuleb määrata keskmise ruutveaga, mis ei
ületa suurst ± 0.1 m (1σ) (Maa-amet 01.04.2022 nr 8 1/22/1721 5).

Samas dokumendis punkt 8.1 Instrumendid, esitatud tehniliste nõuete kohaselt tuleb nivelleerimisel
kasutada digitaalnivelliire, mille peamised tehnilised näitajad pole halvemad allpool toodutest [8]:

- täpsus (DIN 18723)
 - 1 km edasi-tagasi ruutkeskviga - ± 0.3 mm;
- vahemaade mõõtmise täpsus
 - viseerimiskaugus 20 m - ± 20 mm;
- vaigseim ühik
 - Kõrguskasvud - 0.01 mm;
 - Vahemaad - 1 mm;

⁸ Sektsioon – vahemik käigu kahe naaberreeperi vahel [7].

- pikksilm
 - suurendus - $30\times$;
- kompensaator
 - horisonteerimise täpsus - $\pm 0.2''$;
- vajalik maksimaalne lati kujutise
 - pikkus nivelleerimisel - ≤ 30 cm.

Nimetatud täpsusnõuete tagamiseks oli ettevõttel kasutada kõrgtäpne digitaalnivelliir Trimble DiNi 0.3, koos 2 meetriste Zeiss LD12/13 invarlattide komplektiga.



Foto 7. Trimble digitaalnivelliir DiNi 0.3 [39]

Trimble digitaalnivelliiri DiNi 0.3 omadused ja täpsusparameetrid [40]:

- koodribaga invarlattidega 0,3 mm/km edasi-tagasi nivelleerituna, vastavalt DIN 18723;
- mõõdistuskomplekti kuulusid veel 2 invarlatti Zeiss LD12/13 (2m), puitstatiivid Leica GST-20-9 (1 tk) ja temperatuuri lugejad COMET OU0141 nivelleerimislattide invarskaala temperatuuri määramiseks.

4.3 Kohaliku geodeetilise võrgu mõõtmiste planeerimine GNSS staatilisel meetodil (1. järk)

GNSS staatilisel meetodil tuli plaanilised koordinaadid määrata kahele planeeritud kohaliku geodeetilise võrgu 1. järgu punktidele nr 11003 (end. T037) ja 11001 (end. T038) (vt. Joonis 15). Mõõtmiste teostamiseks planeeriti projektis minimaalselt kolm (3) GNSS vastuvõtjat, milleks olid valitud Trimble Zephyr 2 tüüpi antennid ja Trimble NetR9 vastuvõtjad. Kolme vastuvõtja puhul tuleb teostada minimaalselt neli (4) mõõtesessiooni (Joonis 23).

$$VDOP = \sigma_U^2 * \left(\frac{1}{\sigma_R}\right),$$

$$HDOP = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} * \left(\frac{1}{\sigma_R}\right), \quad (5)$$

$$PDOP = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_U^2} * \left(\frac{1}{\sigma_R}\right),$$

kus σ_E - lääne-idasuunaline asukohta viga;
 σ_N - põhja-lõunasuunaline asukohta viga;
 σ_U - kõrguse viga;
 σ_R - pseudokauguste viga 68% tõenäosusega.

Üldine täpsushinnangu GDOP¹⁰ väärtus järeldootlusele arvutatakse kolmemõõtmelise PDOP ja satelliitide kella vea TDOP väärtuste kombineerimisel järgneva valemiga (Valem 6) [6]

$$GDOP = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_U^2 + (c * \delta_T)^2} * \left(\frac{1}{\sigma_R}\right), \quad (6)$$

kus c - valguse levimise kiirus;
 δ_T - ajamääramise viga.

Mõõtmisessioonide planeerimisel tuleb lähtuda alljärgnevast [6]:

- kasutatakse staatilist suhtelist GNSS-mõõtmismeetodit, mille puhul tundmatu punkti asukoht määratakse tuntud punkti suhtes ning GNSS-vastuvõtjad on kogu mõõtmisessiooni jooksul paiksed;
- punktide paiknemise geomeetriast tööpiirkonnas;
- GNSS-satelliitide geomeetriast ja punktide avatusest. Kasutatakse ajavahemikke, mille puhul on horisondist üle 10°-15° nähtavad > 5 satelliiti ja PDOP on soovitatavalt < 6;
- signaali salvestamise intervall (epohh) 5-15 sekundit (intervall võiks jaguda viiega ja mahtuma minutisse täisarv kordi);
- kasutada sama tüüpi antenne koos vastuvõtjatega;
- vältida punktide asukohti, kus läheduses asuvad suured mastid või kõrgepingeliinid, samuti peegelduvad pinnad ja suured veekogud.

¹⁰ GDOP –geomeetrilise täpsuse hinnang, mis saadakse PDOP (kolmemõõtmeline täpsuse hinnang) ja TDOP (satelliidi kellavea hinnang) kombineerimisel (eng. Geometrical Dilution of Precision).

Tabel 14. Planeeritud GNSS vektorid ja mõõtesessioonid

Jrk.nr.	Vektor	Kaugus, km	Mõõtesessioonid, 90min	Mõõdetavad kolmnurgad
1	Lasnamäe-Maarjamäe	4,5	Sessioon I	Lasnamäe-11001-Maarjamäe
2	Maarjamäe-IRU97	6,5	Sessioon II	Maarjamäe-11001-11002
3	IRU97-Uus Lasnamäe	4,9	Sessioon III	Maarjamäe-11002-IRU97
4	IRU97-Uus 11001	2,4	Sessioon IV	Lasnamäe-11002-IRU97
5	IRU97-Uus 11003	1,8		
6	Maarjamäe-Uus 11001	4,4		
7	Maarjamäe-Uus 11003	4,9		
8	Lasnamäe-Uus 11001	2,8		
9	Lasnamäe-Uus 11003	3,3		

Mõõtmisvigade vähendamiseks tuleb teostada vähemalt kaks 90 minutilist mõõtesessiooni igale uuele punktile (PP 11001 ja PP 11003) salvestades satelliitidelt tulevat signaali samal ajal nii uuel punktil kui ka teistel olemasolevatel punktidel, mis asetsevad ümber mõõdetava punkti. Juba sellest nõudest tulenevalt võiks sessioonide arvuks määrata minimaalselt neli. Kontrollides selle paikapidavust on GNSS-mõõtmiste planeerimise lihtsustamiseks olemas valemid sessioonide arvu leidmiseks.

Vajalik sessioonide arv arvutatakse järgneva valemiga (Valem 7) [6]

$$s = \frac{2 * (p - \sqrt{p})}{r - 1}, \quad (7)$$

kus s - on sessioonide arv, mis on ümardatud lähima täisarvuni;

p - on punktide arv võrgus;

r - on GNSS vastuvõtjate arv.

Asendades tähised Vajalik sessioonide arv arvutatakse järgneva valemiga (Valem 7) numbritega, saame vastuseks ca 2,8, mis ümardatuna on 3. Kuid lähtudes nõudest, et uutele punktidel tuleb teha vähemalt kaks 90 minutilist sessiooni, saame rakendada järgmist valemit (Valem 8) [6]

$$s = \frac{n * p}{r}, \quad (8)$$

kus s - on sessioonide arv, mis on ümardatud lähima täisarvuni;

p - on punktide arv võrgus;

r - on GNSS vastuvõtjate arv;

n - on punkti korduvmõõtmiste arv.

Asendades nüüd kirjeldatud valemis tähised väärtustega, saame vajalikeks sessioonide arvuks ca 3,33 ehk ümardades lähima täisarvuni teistkordselt 3. Samas on viimane väärtus tugevalt üle 3 ja planeerimisel lähtuti võrgu geomeetriast ja soovitud tulemusest, et 4 sessiooni on turvalisem valik ja annab ka suurema kontrollivõimaluse.

Lisaks sessioonide arvule saab valemitega leida ka sõltumatute vektorite arvu ühes sessioonis ja kogu võrgus kokku, kuid käesolev lõputöö projekt sisaldas endas vaid kahe uue punkti rajamist, kolme lähtepunkti vahele ja seetõttu nende leidmine prognoositavalt ei oma selles töös väga suurt kaalu. Liiatigi sai valitud sessioonide arvuks 4 arvutatud 3 asemel. Kindlasti on oluline optimaalsetel GNSS-mõõtmiste planeerimisel ajakava koostamine, millest sõltub ka välitööde maht ja maksumus võrgu planeerimisel.

Optimaalse GNSS võrgu planeerimisel on kolm põhilist kriteeriumit, et täita püstitatud ülesande lahendamist nõuetekohase kvaliteedi ja täpsusega. Nendeks on [41]:

1. täpsuse kriteerium;
2. usaldusväärsuse kriteerium;
3. kulukuse kriteerium.

Nimetatud kriteeriumite täitmiseks jagatakse geodeetilise võrgu projekteerimine protseduuriliselt neljaks tasemeks, millised on alljärgnevalt kirjeldatud [41]:

- ZOD – *Zero Order Design* ehk projekteerimise null tase, kus määratakse geodeetiline daatum ja parameetrid, millega viia mõõtmistulemused tuntud punktide koordinaatide süsteemi;
- FOD – *First Order Design* ehk projekteerimise esimene tase, milles määratakse uutele punktidele ligikaudsed asukohad ja koordinaadid;
- SOD – *Second Order Design* ehk projekteerimise teine tase, mis määratleb mõõtmiste kaalu, arvu ja täpsuse kriteeriumid. Selles tasemes arvestatakse varasemalt nimetatud täpsuse, usaldusväärsuse ja kulukuse kriteeriumit;
- THOD – *Third order Design* ehk kolmas tase, kus vajadusel eelplaneeritud geodeetilist võrku saab täiustada lisades uusi punkte, täiustades võrgu geomeetriat, lisades või ka eemaldades mõõtejaamasid ja observatsioone või muutes metoodikat.

Nimetatud teoreetilised projekteerimise tasemed on võimalik täielikult arvesse võtta vaid juhul kui kaastakse planeerimisse ka vastavad arvutused. Tänapäeval on võimalik sellised ülesanded lahendada erinevates geodeesia programmides. Käesolevas lõputöös on kaasatud GNSS staatiliste mõõtmiste ajaplaneerimiseks kasutatav *Trimble GNSS planning* tarkvara. Kuigi esialgses lõputöös

kontseptsioonis oli kavandatud teostada ka polügonomeetria ja nivelleerimiskäikude planeerimine ja geomeetria ning täpsuse analüüs tarkvaraga *Leica ICON Office*, oleks see tõstnud lõputöö mahtu märgatavalt ja käesoleva töö raames seda ei tehtud.

4.3.1 GNSS mõõtmiste ajaline planeerimine tarkvaraga Trimble planning

GNSS mõõtmiste planeerimine erineb oluliselt teistest klassikalistest geodeetiliste mõõtmiste planeerimisest, kuna GNSS mõõtmisi saab viia läbi praktiliselt 24 tunni vältel ööpäevas, lisaks on ilmastiku tingimused vähemmõjuvad ja puudub vajadus otsenähtavuseks punktide vahel mõõtmiste ajal. Põhiliseks piiranguks GNSS mõõtmiste planeerimisel on täpsuskriteerium, mis sõltub punktide kohal olevast satelliitide nähtavusest ja geomeetriast (DOP väärtus). Planeerimisel tuleb arvesse võtta punktide mõõdistusjärjekorda ja andmete salvestustihedust.

Lõputöö projektiks valitud Vao ristmiku kohaliku 1. järgu geodeetiliste punktide taastamisel tehtavad GNSS mõõtmised tuleks teostada võimalusel päevasel ajal, et statiivide püstitamisel oleks piisavalt valgust punktile tsentreerimiseks, antenni kõrguse mõõtmiseks ja muudeks vajalikeks toiminguteks. Käesolevas peatükis on antud ülevaade GNSS mõõtmiste ajalisest planeerimisest, eesmärgiga teostada kõik neli mõõtesessiooni samal päeval (11.05.2023) nii nagu oleks sama mõõtmine teostatud ilma planeerimiseta ja summeeritud lihtsalt ajakulu mõõtmistele ja vastuvõtjate transportimisele ühelt punktilt teisele. Kasutades planeerimistarkvara *Trimble planning* versioon 2.9, satelliitide almanahhi ja punktide panoraame on vastav eelplaneerimine võimalik eelnevalt ära teha ja veenduda, kas ilmastikust ja satelliitide geomeetriast tingitud piirangud kõiki mõõtmisi samal päeval üldse võimaldavad. Kuna ühe sessiooni pikkuseks on 90 minutit ja vastuvõtjate arv on 3, siis tuleb arvestada minimaalselt 3 inimesega ja 3 transpordivahendiga ja ca 40 minutiga sessioonide vahel, mis kulub vastuvõtja kokku pakkimiseks ja uuesti püstitamiseks järgmisel punktil.

Teise püstitatud ülesandena vaadeldakse erinevate vastuvõtjate puhul, ühed mis toetavad vaid GPS signaale ja teised, mis toetavad nii GPS, GLONASS kui ka GALILEO satelliitide süsteemide signaale, kuidas mõjutab eelplaneerimine mõõtmiste läbiviimist ajaliselt jälgides täpsuskriteeriumiks seatud soovitusliku PDOP < 6 väärtust.

4.3.2 Elseadistus

GNSS mõõtmiste planeerimise tarkvara *Trimble Planning* versioon 2.9 on internetist tasuta allalaetav [42]. Lisaks tuleb allalaadida satelliitide almanahhi fail ja seda internetist väga lihtsalt leida ei õnnestunud. Kuna Geo S.T. OÜ-l on kasutada ka Trimble geodeesia tarkvara *Trimble Business Center*

(TBC) versioon 5.81, millega lõputöö autor on teostanud varasemalt GNSS andmete arvutustöid, siis oli võimalik värskem almanahh sealt allalaadida. Kõikide geodeetiliste punktide kohta tuli koostada infofailid nn „multijaama“ põhimõttel ning punktide juurde lisati ringpanoraami info. Ringpanoraamid riiklikel lähtepunktidel olid olemas ja need kontrolliti ülevaatuse käigus, et situatsioon ei oleks väga muutunud. Uutele punktidele nr. 11001 ja nr 11003 koostati uued ringpanoraamid.

4.3.3 Lähteparameetrid

GNSS mõõtmiste aluseks olevad lähteandmed:

- valitud mõõdistuse kuupäev – 11.05.2023;
- sessioone kokku – 4 tk;
- mõõtesessiooni pikkus – 90 min;
- ülekatte aeg enne ja pärast sessiooni - ± 5 min;
- vastuvõtjate transpordi aeg – 40 min;
- vastuvõetava signaali äralõikenurk - 15° ;
- salvestatavad GNSS signaalid GPS, GLONASS ja GALILEO;
- võrdluseks on vastuvõtja, mis salvestab ainult GPS signaale;
- kosmose ilmateade aadressilt www.spaceweather.com, millelt leiab infot magnetormide ja päikese 11 aastase tsükli kohta, viimane on oluline ka päikeselaikude arvu määramiseks, mis ei tohiks oluliselt ületada 100 ühikut [32].

Järgnevalt on lisatud ajaplaneerimise tabel kõigile neljale sessioonile ühe päeva jooksul (Tabel 15):

Tabel 15. Mõõtesessioonid kuupäeval 11.05.2023

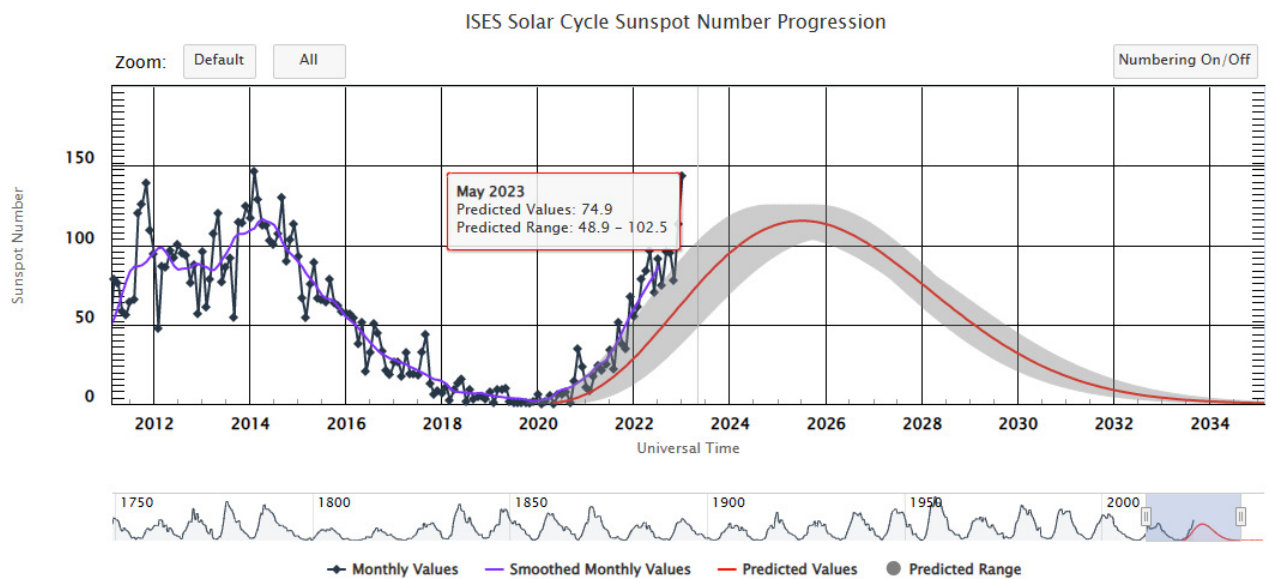
Sessioon	Kp	Pt.nr.	Vastuvõtja nr	algus	lõpp
1	11.05.2023	Lasnamäe	VV1 ↔ ¹¹	07:25:00	09:05:00
		11001	VV2	07:25:00	09:05:00
		Maarjamäe	VV3	07:25:00	09:05:00
Sessioon	Kp	Pt.nr.	Vastuvõtja nr	algus	lõpp
2	11.05.2023	11003	VV1	09:45:00	11:25:00
		11001	VV2 ↔	09:45:00	11:25:00
		Maarjamäe	VV3	09:45:00	11:25:00
Sessioon	Kp	Pt.nr.	Vastuvõtja nr	algus	lõpp
3	11.05.2023	11003	VV1	12:05:00	13:45:00
		IRU97	VV2	12:05:00	13:45:00
		Maarjamäe	VV3 ↔	12:05:00	13:45:00
Sessioon	Kp	Pt.nr.	Vastuvõtja nr	algus	lõpp
4	11.05.2023	11003	VV1	14:25:00	16:05:00
		IRU97	VV2	14:25:00	16:05:00
		Lasnamäe	VV3	14:25:00	16:05:00

Järgmise etapina said sisestatud GNSS mõõtesessioonide parameetrid programmi *Trimble Planning*, lisaks lähtepunktide ja uute punktide ligikaudsed geodeetilised koordinaadid EUREF-EST97 (B, L) süsteemis ja kõrgus (h) ellipsoidist ning punktide ringpanoraamid ja salvestusintervall. Koordinaatide transformeerimiseks kasutati Maa-ameti geodeesia kalkulaatoreid [43].

Kosmose ilmatee tulemused olid järgmised:

- päikeselaikude arv jääks vahemiku 48.9-102.5 ühikut (Joonis 24);
- magnetismi tõenäosust kuupäeval 11.05.2023, saab ennustada maksimaalselt 3 päeva ette ehk varasemalt 09.05.2023. Informatsiooni on võimalik hankida lehelt www.swpc.noaa.gov [44]. Seetõttu jäeti GNSS mõõtmiste planeerimisel magnetismi tõenäosus arvestamata.

¹¹ VV1 ↔ - Vastuvõtja nr 1 liigub peale mõõtesessiooni järgmisele punktile.

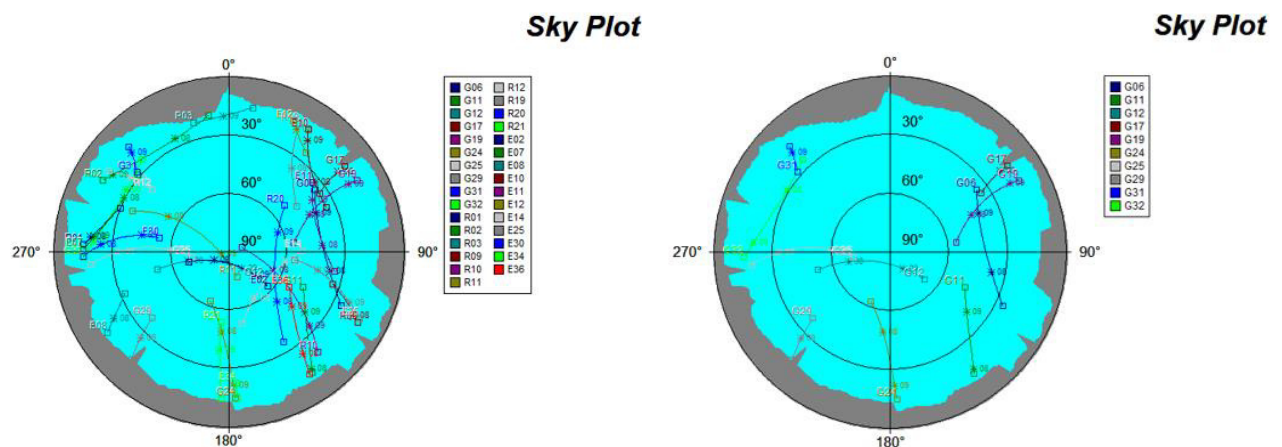


Joonis 24. Päikeselaikude arvu graafik [45]

4.3.4 GNSS mõõtesessioonide ülevaade

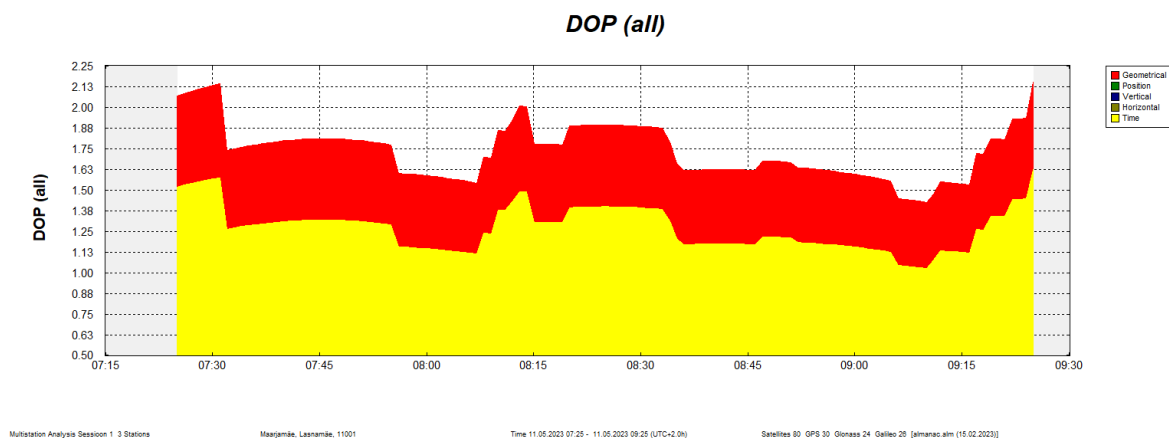
Järgnevalt on esitaud planeeritava GNSS mõõtesessiooni DOP väärtused, nähtavusgraafikud ja võrdlused mitme satelliidisüsteemi GNSS vastuvõtja ja ainult GPS signaali vastuvõtja vahel.

Session 1 - 11.05.2023 (Lasnamäe – Uus 11001 – Maarjamäe) Valitud periood mõõdistuse läbiviimiseks on ajaliselt 07:30-09:00 ehk 90 minutit, lisandus ülekatte aeg enne ja pärast sessiooni - ± 5 min ja lõplik sessiooni aeg oli 07:25-09:05 ehk 100 minutit. Selle sessiooni ajalist sobivust vaadeldi PDOP väärtusi ja satelliitide arvu graafikuid hinnates.

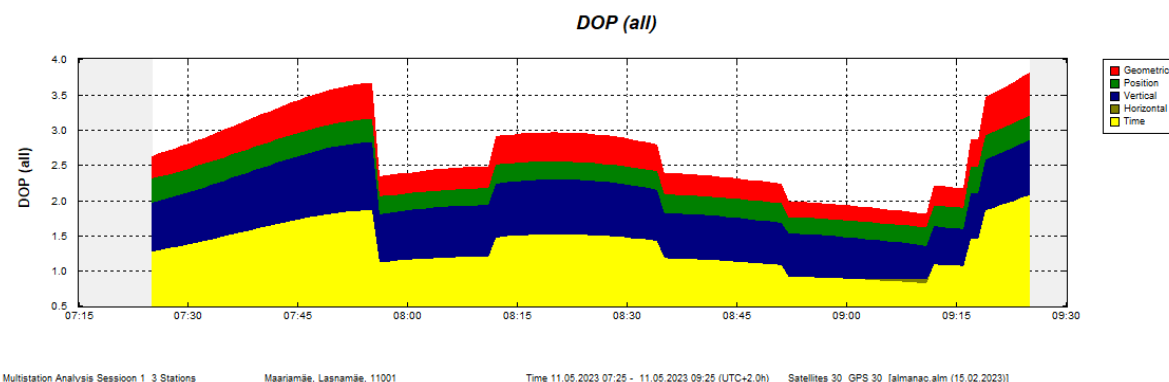


Joonis 25. Session – 1. Satelliitide nähtavusgraafik kombineeritud ringpanoraamil. Vasakul GPS, GLONASS, GALILEO ja paremal ainult GPS süsteemi satelliidid

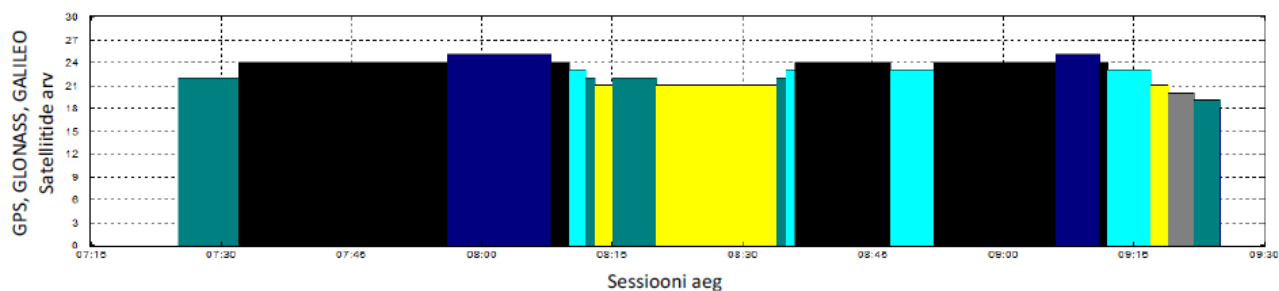
Esimese sessiooni planeerimisel selgub, et DOP väärtused suurenevad sessiooni alguses ja lõpus, kuid jäävad mõlema tehnoloogia puhul lubatud piiridesse ($PDOP < 6$). Ainult GPS-vastuvõtjate puhul (vt. Joonis 27) on suurim GDOP (punane) hinnanguline väärtus 3,8 ühikut ja suurim PDOP (roheline) 3,4 ühikut. Kui graafikut terasemalt vaadata, siis selgub ka, et HDOP (hall) väärtus jääb aja määramise veaga TDOP (kollane) samadesse piiridesse, saavutades maksimaalselt ca 2,1 ühikut. Mitme satelliidisüsteemi vastuvõtja puhul (vt. Joonis 26) jääb suurim GDOP väärtus 2,15 ühiku juurde ja VDOP (sinine), HDOP ning kombineeritud PDOP on aga väikesed ja jäävad aja määramise veaga TDOP samasse suurusjärku, ulatudes maksimaalselt ca 1,63 ühikut. Seepärast ei paista neid ka graafikutelt kollase värvi tagant välja. Mõõtmiste ajal ühiselt nähtavate GPS-süsteemi satelliitide arv oli minimaalselt 7 (vt. Joonis 29) ja GPS, GLONASS ja GALILEO satelliitide arv kombineerituna minimaalselt 21 (vt. Joonis 28).



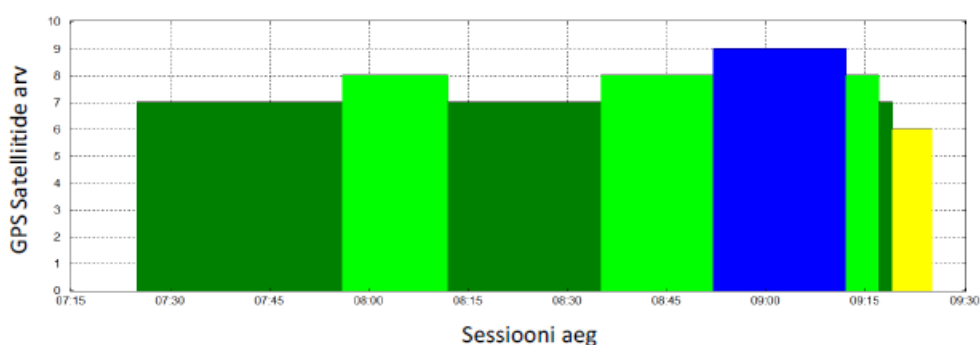
Joonis 26. Sessioon – 1. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide nähtavusest ja geometriast sõltuv DOP väärtusgraafik



Joonis 27. Sessioon – 1. GPS satelliitide nähtavusest ja geometriast sõltuv DOP väärtusgraafik

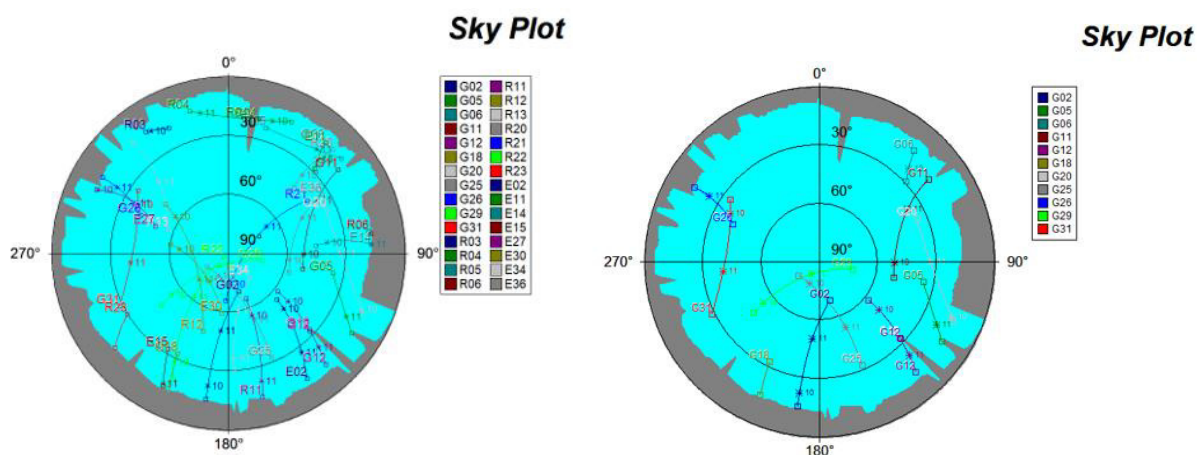


Joonis 28. Sessioon – 1. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide arvuline nähtavusgraafik



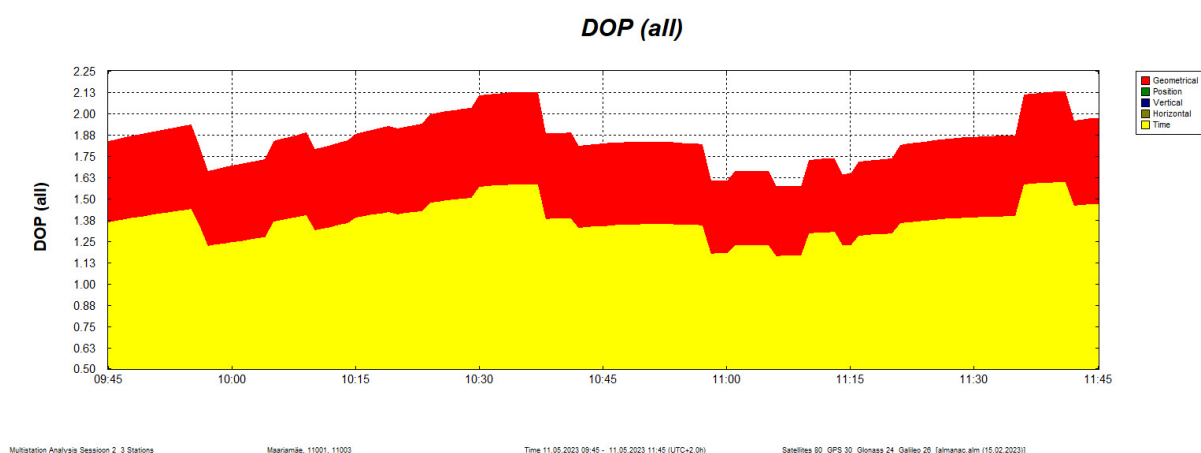
Joonis 29. Sessioon – 1. GPS satelliitide arvuline nähtavusgraafik

Sessioon 2 - 11.05.2023 (Uus 11003 – Uus 11001 – Maarjamäe) Valitud periood mõõdistuse läbiviimiseks on ajaliselt 09:50-11:20 ehk 90 minutit, lisandus ülekatte aeg enne ja pärast sessiooni - ± 5 min ja lõplik sessiooni aeg oli 09:45-11:25 ehk 100 minutit. Selle sessiooni ajalist sobivust vaadeldi DOP väärtusi ja satelliitide arvu graafikuid hinnates.

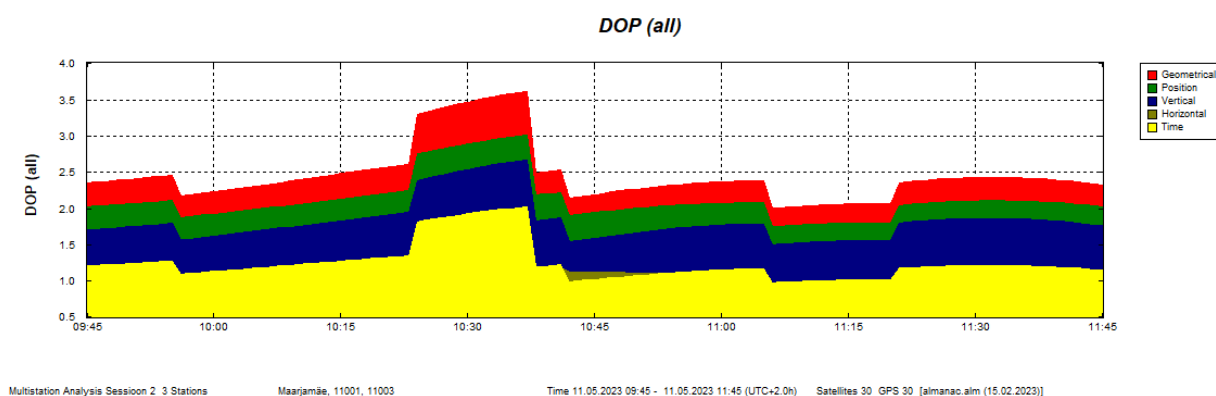


Joonis 30. Sessioon – 2. Satelliitide nähtavusgraafik kombineeritud ringpanoraamil. Vasakul GPS, GLONASS, GALILEO ja paremal ainult GPS süsteemi satelliidid

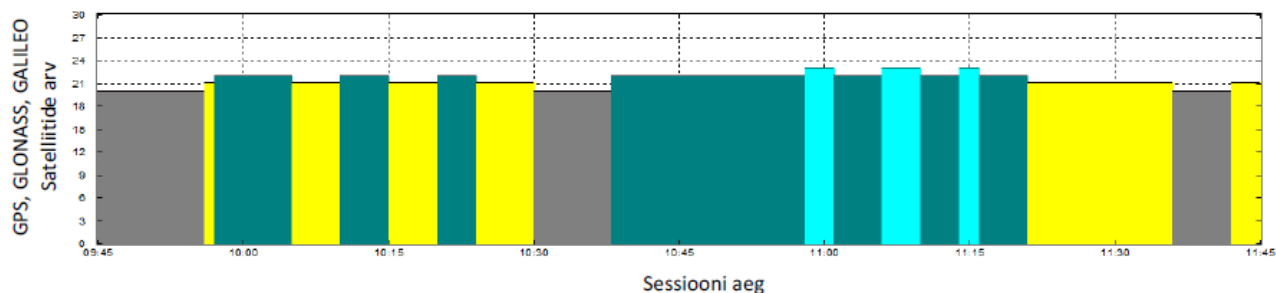
Teise sessiooni planeerimisel selgub, et DOP väärtused suurenevad mitme satelliidisüsteemi vastuvõtja puhul (vt. Joonis 31) sessiooni alguses, kuid lõpus ning GPS-vastuvõtjate puhul (vt. Joonis 32) sessiooni keskel. Siiski jäävad ka seekord mõlema tehnoloogia puhul lubatud piiridesse. Ainult GPS-vastuvõtjate puhul on suurim GDOP hinnanguline väärtus 3,6 ühikut ja suurim PDOP 3,0 ühikut. HDOP väärtus jääb aja määramise veaga TDOP samadesse piiridesse, ulatudes ca 2,1 ühikuni. Mitme satelliidisüsteemi vastuvõtja puhul jääb suurim GDOP väärtus 2,13 ühiku juurde ja VDOP, HDOP, PDOP ning TDOP samasse suurusjärku, ulatudes ca 1,55 ühikuni. Mõõtmiste ajal ühiselt nähtavate GPS-süsteemi satelliitide arv oli minimaalselt 7 (vt. Joonis 34) ja GPS, GLONASS ja GALILEO satelliitide arv kombineerituna minimaalselt 20 (vt. Joonis 33).



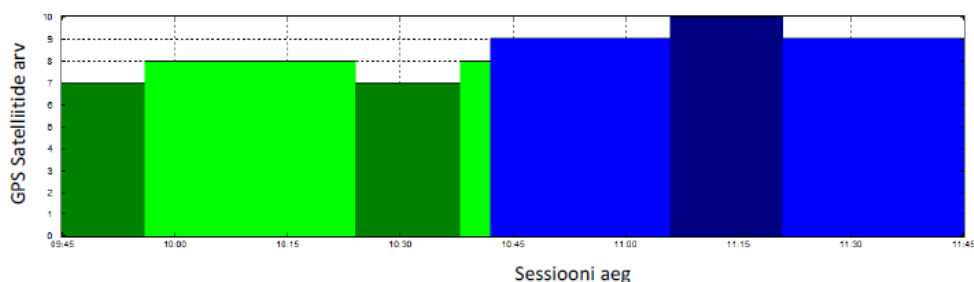
Joonis 31. Sessioon – 2. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide nähtavusest ja geometriast sõltuv DOP väärtusgraafik



Joonis 32. Sessioon – 2. GPS satelliitide nähtavusest ja geometriast sõltuv DOP väärtusgraafik

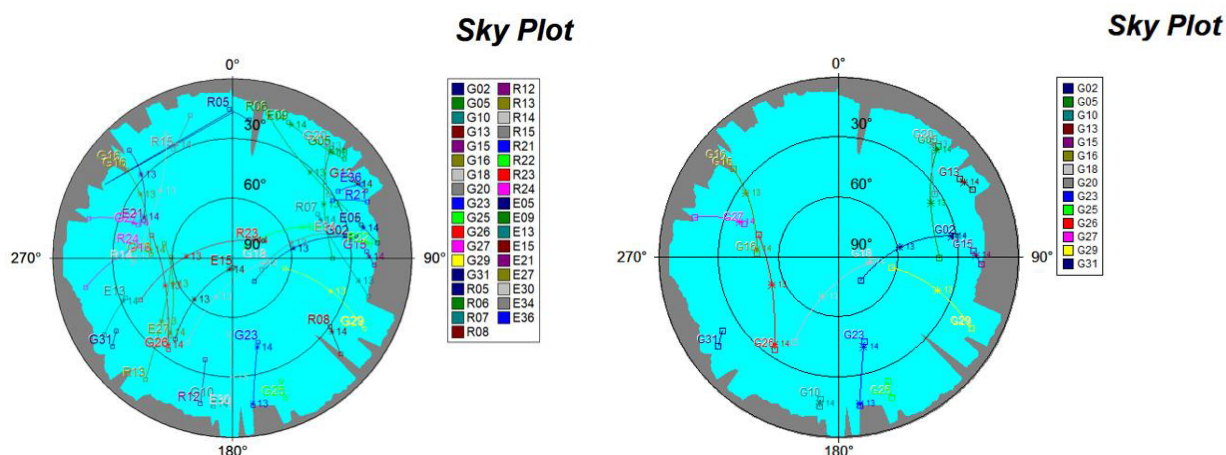


Joonis 33. Sessioon -2. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide arvuline nähtavusgraafik



Joonis 34. Sessioon -2. GPS satelliitide arvuline nähtavusgraafik

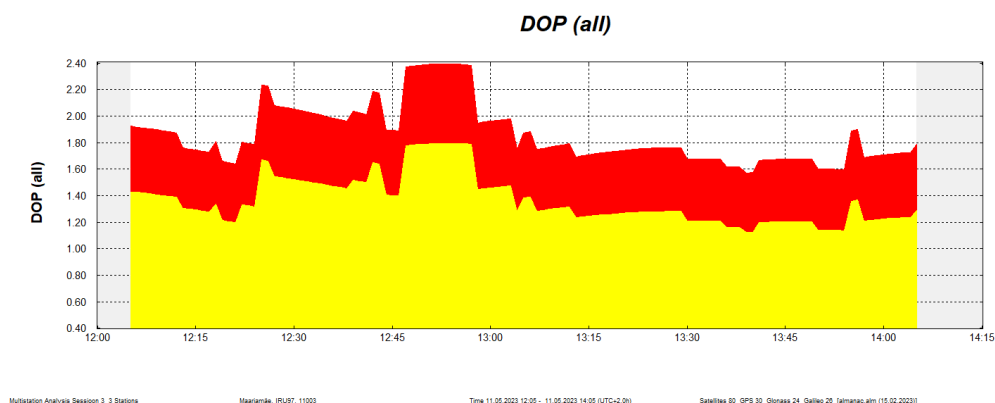
Sessioon 3 - 11.05.2023 (Uus 11003 – IRU97 – Maarjamäe) Valitud periood mõõdistuse läbiviimiseks on ajaliselt 12:10-13:40 ehk 90 minutit, lisandus ülekatte aeg enne ja pärast sessiooni - ± 5 min ja lõplik sessiooni aeg oli 12:05-13:45 ehk 100 minutit. Selle sessiooni ajalist sobivust vaadeldi DOP väärtusi ja satelliitide arvu graafikuid hinnates.



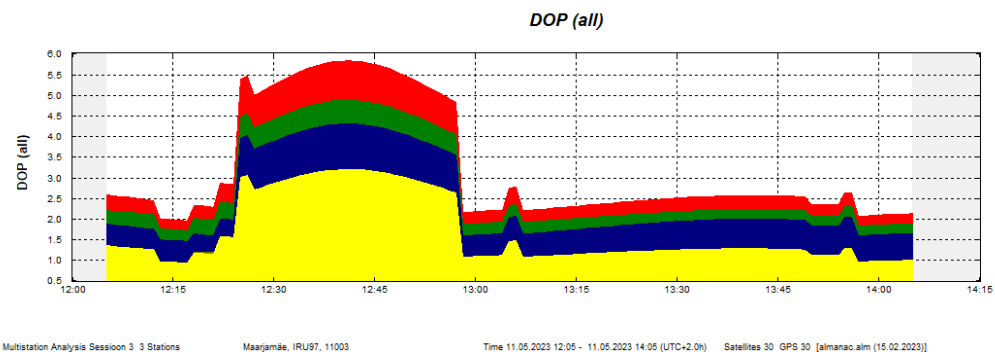
Joonis 35. Sessioon - 3. Satelliitide nähtavusgraafik kombineeritud ringpanoraamil. Vasakul GPS, GLONASS, GALILEO ja paremal ainult GPS süsteemi satelliidid

Kolmanda sessiooni planeerimisel selgub, et DOP väärtused suurenevad mõlema süsteemi puhul sessiooni esimese kolmandikus. Mitme satelliidisüsteemi vastuvõtja puhul (vt. Joonis 36) jäävad

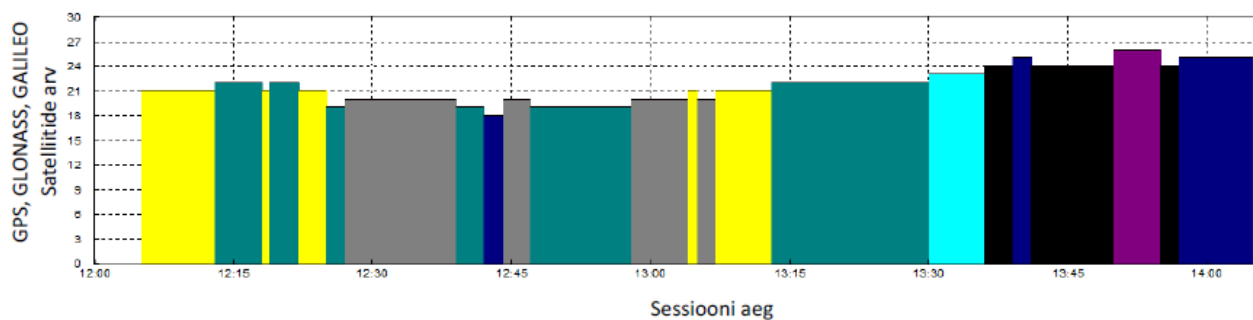
DOP väärtused lubatud piiridesse, kuid GPS-signaali vastuvõtjate puhul (vt. Joonis 37) on alates kella 12:20-st kuni 12:55-ni näha tugevat täpsuse langust, mis on tingitud vähestest, ühiselt nähtavatest satelliitide arvust (vt. Joonis 39) ja ebaühtlasest satelliitide paiknemise geomeetriast taevalaotuses (vt. Joonis 35). GPS satelliitide ringpanoraamil on näha, et alates kella 12:20-st järgneva poole tunni jooksul on satelliidid koondunud vaid idaserva või on seniidis ja lääneserva satelliidid on vajunud alla 30° . Kuigi GDOP väärtus jääb maksimaalselt püsima 5,9 ühiku juures ja PDOP väärtus 4,9 ühiku juures, ei oleks soovitatav seda sessiooni vaid GPS-süsteemi vastuvõtjatega mõõta. Vaadates 24 tunni graafikut (vt. Joonis 47), oleks mõistlik see sessioon edasi lükata ca 1 tunni jagu ja lõpetada mõõtmised enne kella 15:00. Uus soovitatav aeg oleks 13:10 – 14:40 $\pm$ 5 min. Mitme satelliidisüsteemi vastuvõtja puhul jääb suurim GDOP väärtus 2,39 ühiku juurde ja VDOP, HDOP, PDOP ning TDOP ulatuvad ca 1,80 ühikuni. Mõõtmiste ajal ühiselt nähtavate GPS-süsteemi satelliitide arv (vt. Joonis 39) oli minimaalselt 6 (12:20), mis nagu eelpool mainituna, tingis täpsuse olulise languse ja GPS, GLONASS ja GALILEO satelliitide arv kombineerituna minimaalselt 18 (vt. Joonis 38).



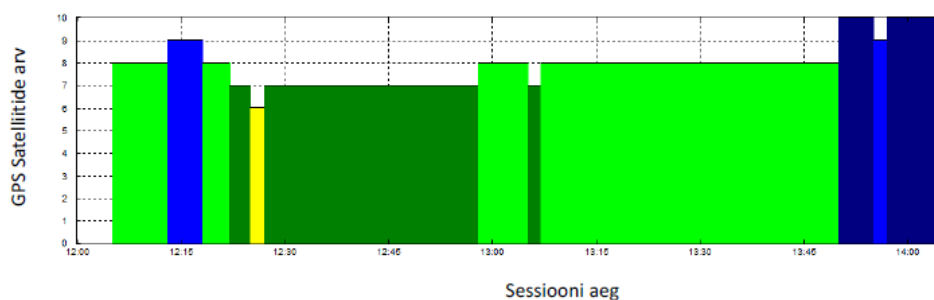
Joonis 36. Sessioon – 3. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide nähtavusest ja geomeetriast sõltuv DOP väärtusgraafik



Joonis 37. Sessioon – 3. GPS satelliitide nähtavusest ja geomeetriast sõltuv DOP väärtusgraafik

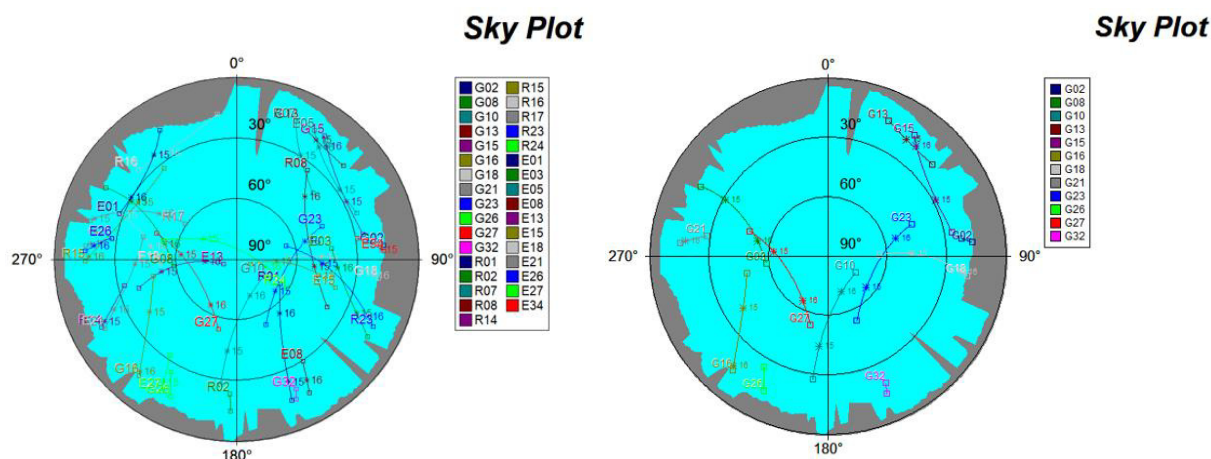


Joonis 38. Sessioon – 3. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide arvuline nähtavusgraafik



Joonis 39. Sessioon – 3. GPS satelliitide arvuline nähtavusgraafik

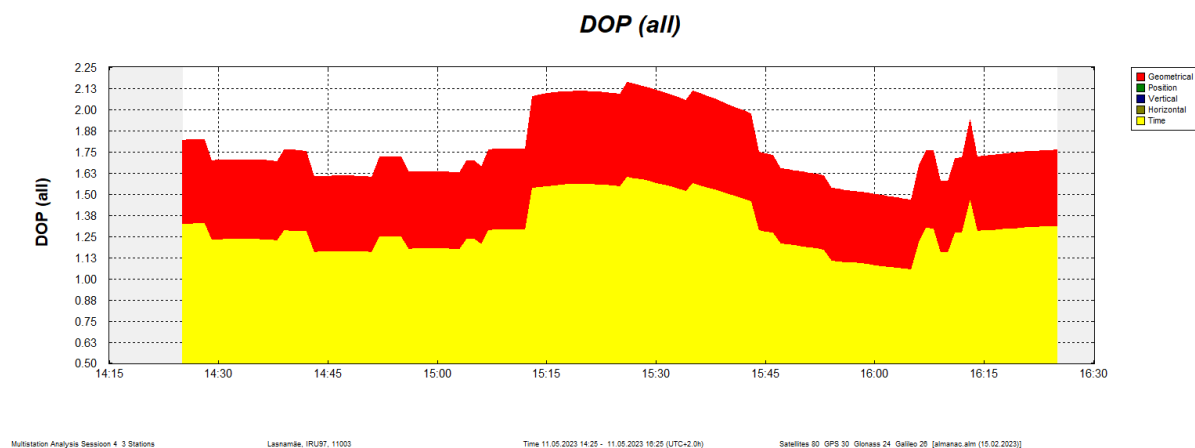
Sessioon 4 - 11.05.2023 (Uus 11003 – IRU97 – Lasnamäe) Valitud periood mõõdistuse läbiviimiseks on ajaliselt 14:30-16:00 ehk 90 minutit, lisandus ülekatte aeg enne ja pärast sessiooni - ± 5 min ja lõplik sessiooni aeg oli 14:25-16:05 ehk 100 minutit. Selle sessiooni ajalist sobivust vaadeldi DOP väärtusi ja satelliitide arvu graafikuid hinnates.



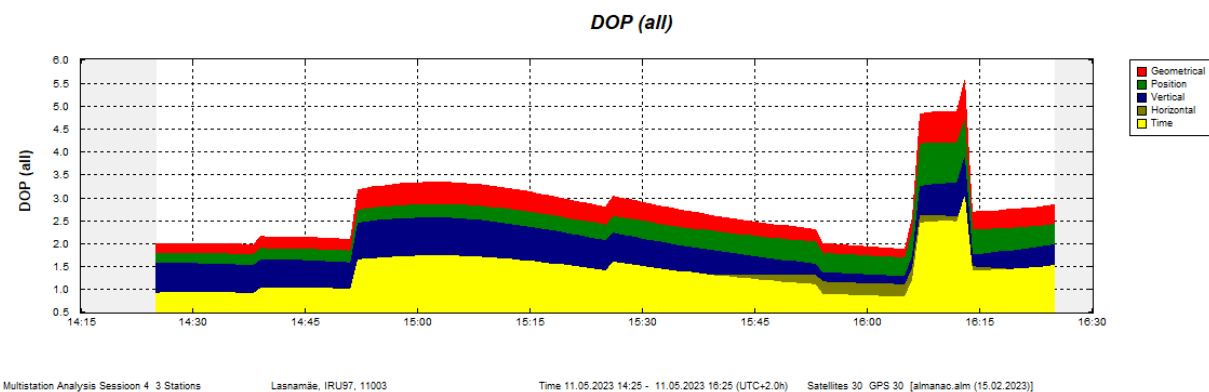
Joonis 40. Sessioon – 4. Satelliitide nähtavusgraafik kombineeritud ringpanoraamil. Vasakul GPS, GLONASS, GALILEO ja paremal ainult GPS süsteemi satelliidid

Neljandas sessioonis sarnaselt kolmandale sessioonile ilmneb GPS-signaali vastuvõtjatel suur, kuid seekord lühiajaline täpsuse langus sessiooni lõpus (vt. Joonis 42). DOP väärtused suurenevad

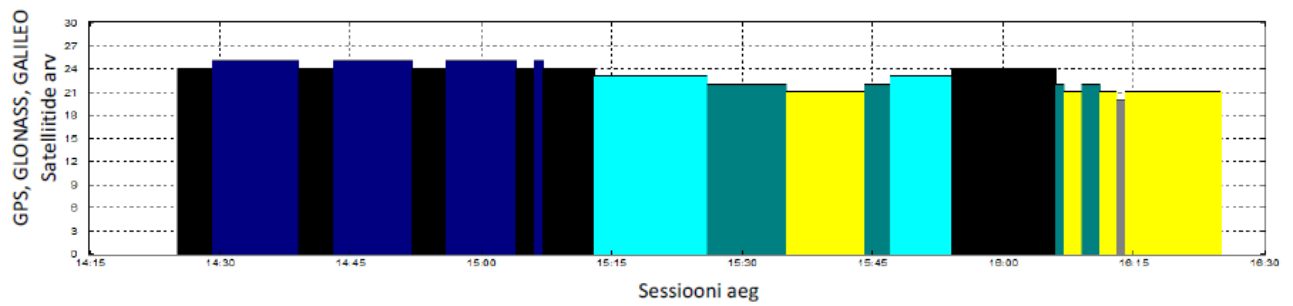
hüppeliselt kell 16:05 ehk samal ajal kui lõpeb koos viie lisaminutiga sessiooni aeg. GDOP väärtus küündib 5,6 ühikuni ja PDOP 4,7 ühikuni. Võttes arvesse, et eelmine sessioon GPS-vastuvõtjatele sai edasi lükatud 1 tunni jagu, ei saakski seda sessiooni õigeaegselt mõõta. Vaadates 24 tunni graafikut (vt. Joonis 47), oleks mõistlik neljas sessioon viia järgmisele päevale, sest võimalik mõõtmiste vahemik oleks sellel päeval alles 20:00-22:00 vahel. Päikese loojumine kuupäeval 11.05.2023 Tallinna piirkonnas oleks kell 21:39, millest järeldub, et mõõtmised lõpeksid pimeduses ning tsentreerimise ja antenni kõrguste kontrollimine oleksid raskendatud [46]. Mitme satelliidisüsteemi vastuvõtja puhul (vt. Joonis 41) jääb viimase sessiooni suurim GDOP väärtus sessiooni keskele 2,15 ühiku juurde ja VDOP, HDOP, PDOP ning TDOP ulatub ca 1,50 ühikuni. Mõõtmiste ajal ühiselt nähtavate GPS-süsteemi satelliitide arv (vt. Joonis 44) oli minimaalselt 6 (16:05) ja GPS, GLONASS ja GALILEO satelliitide arv kombineerituna minimaalselt 20 (vt. Joonis 43).



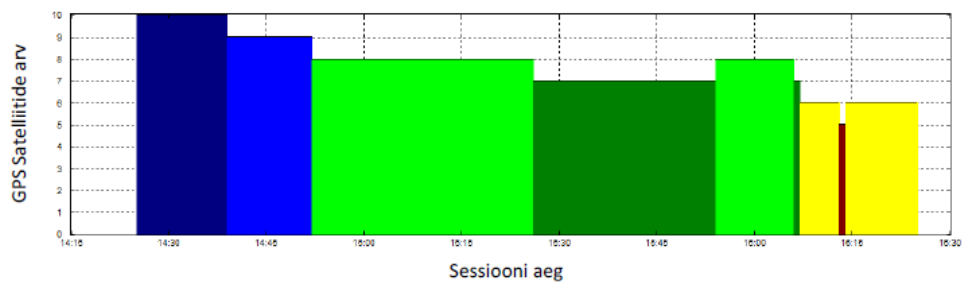
Joonis 41. Sessioon – 4. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide nähtavusest ja geomeetriast sõltuv DOP väärtusgraafik



Joonis 42. Sessioon – 4. GPS satelliitide nähtavusest ja geomeetriast sõltuv DOP väärtusgraafik



Joonis 43. Sessioon – 4. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide arvuline nähtavusgraafik



Joonis 44. Sessioon – 4. GPS satelliitide arvuline nähtavusgraafik

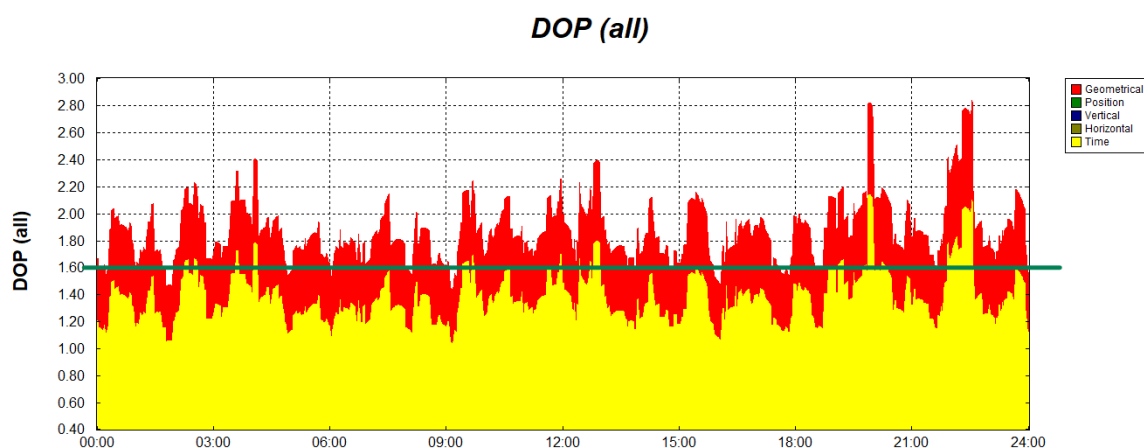
Eelnevalt lisatud nähtavusgraafikute lugemisel on oluline jälgida vertikaalset DOP väärtuste skaalat ehk satelliitide arvu, mis igal graafikul on erinev sõltuvalt kuvatavatest väärtuste suurusest. Graafiku horisontaalne skaala koos kellaaegadega on võrdluste osas muutumatud.

5 TULEMUSED JA ANALÜÜS

5.1 Kohaliku geodeetilise 1. järgu punktide GNSS-mõõtmiste planeerimise tulemused ja analüüs

Lähtuvalt eelmises peatükis väljatoodud satelliitide arvudele, DOP väärtustele (vt. Tabel 16) ja kombineeritud taevaalaotuse (multijaama) panoraamidele, saab teha GPS-GNSS mõõtmiste ajalisele planeerimisele tuginedes vajalikke analüüse ja hinnanguid.

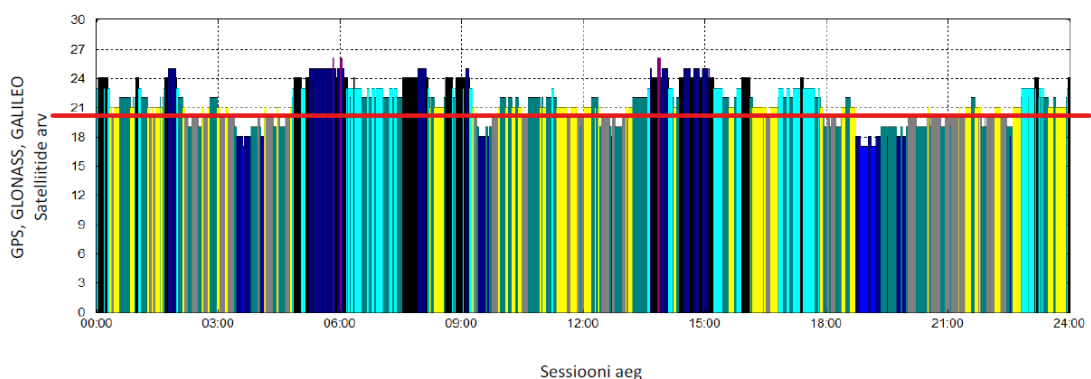
Valitud mõõdistuse kuupäev – 11.05.2023 on sobilik nelja sessiooni mõõtmiseks GPS, GLONASS, Galileo signaali vastuvõtvate GNSS seadmetega. Selle järeltuse kinnituseks jäi eeldatav maksimaalne keskmine PDOP väärtus 1,6 ühiku juurde võrdlusena lähteülesandes lubatud väärtuse < 6 ühikut (vt. Joonis 45, roheline joon).



Joonis 45. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide 24 tunni DOP graafik 11.05.2023.

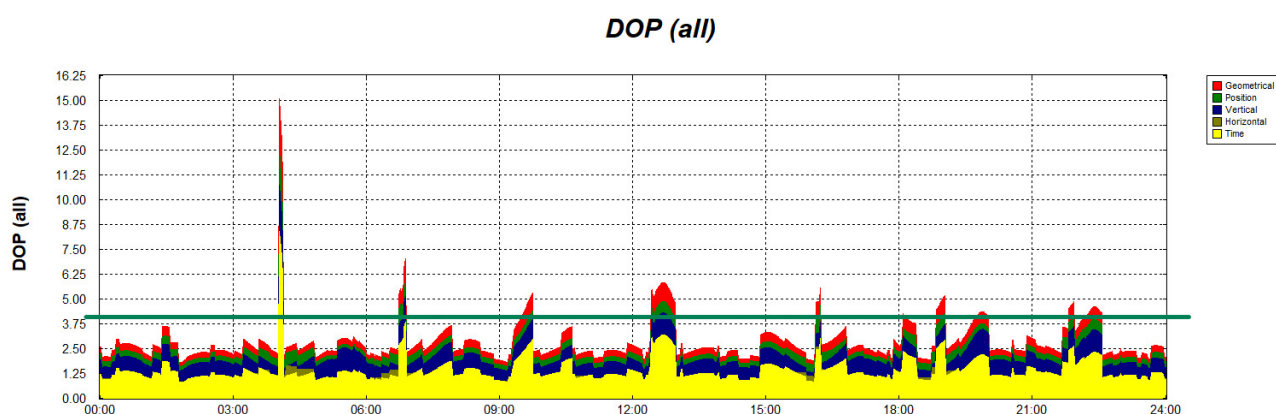
Roheline (*Position*) joon tähistab keskmist PDOP väärtust 1,6 ühikut

Samuti ületas minimaalselt nähtavate satelliitide keskmine arv 19,8 mõõtmiste ajal neljakordselt nõutud väärtuse > 5 (vt. Joonis 46, punane joon).



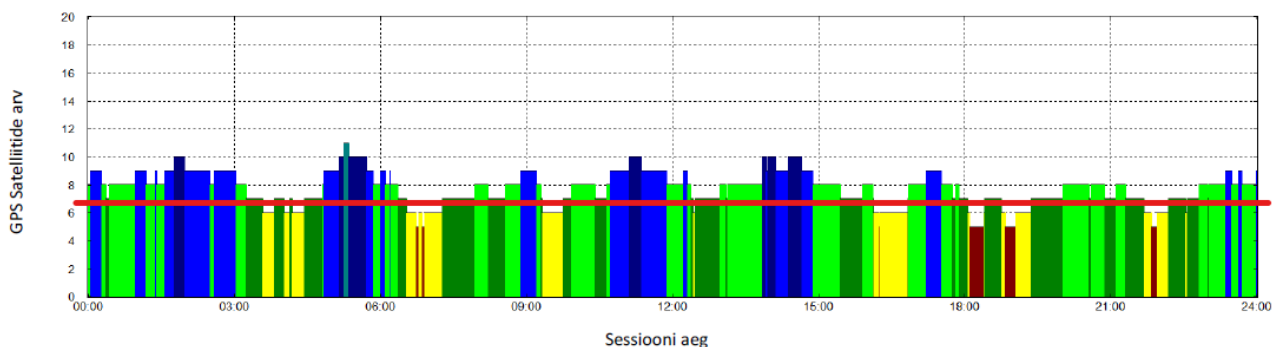
Joonis 46. GPS, GLONASS, GALILEO satelliitide 24 tunni arvuline nähtavusgraafik
11.05.2023. Punane joon tähistab keskmist väärtust 19,8 ühikut

Ainult GPS signaali vastuvõtivate seadmetega kõiki nelja sessiooni ühele päevale mahutada vastavalt planeeritud ajagraafikule ei õnnestunud. Ilma sessioonide aegasid muutmata oli kolmanda ja neljanda sessiooni PDOP väärtused ca 5 ühiku juures ja minimaalne satelliitide arv 6. Keskmised minimaalsed väärtused PDOP väärtused olid vastavalt 4,0 ühikut (vt. Joonis 47) ja minimaalselt nähtavaid ühiseid satelliite keskmiselt 6,5 (vt. Joonis 48, punane joon).



Joonis 47. GPS-satelliitide 24 tunni DOP graafik 11.05.2023. Roheline (*Position*) joon tähistab keskmist PDOP väärtust 4,0 ühikut

Kuigi nimetatud väärtused kolmanda ja neljanda sessiooni ajal oli lubatud väärtustele väga lähedal, siis teoreetiliselt neid ei ületatud. Täpsete mõõtmiste puhul aga ei ole otstarbekas võtta riske ja kulutada töötunde kui saadav tulemus on küsitav juba eelplaneerimise faasis.



Joonis 48. GPS satelliitide 24 tunni arvuline nähtavusgraafik 11.05.2023. Punane joon tähistab keskmist väärtust 6,5 ühikut

Kasutades GPS, GLONASS, Galileo kahe- või enamasageduslike GNSS vastuvõtvaide võiks mõõtmised teostada ka lühemal perioodil, näiteks 60 minutiliste sessioonidena, sest keskmised PDOP väärtused ja ühiselt nähtavate satelliitide arv on kordades paremad kui staatilistele GNSS mõõtmistele määratud minimaalsed nõuded. GPS-signaali vastuvõtjate puhul mõõtesessiooni aega 90 minutilt lühendada ei oleks mõistlik, kuna PDOP väärtused ja nähtavad satelliidid on küll saavutatavad, kuid arvestades signaali ärälõikenurka 15° ja taevaalaotuse panoraamidele kantud nähtavuse diagrammi võiks sessiooni kestvust tõsta 120 minutini (2 tundi). Seda toetab ka DOP väärtuste graafikute põhjal tehtud analüüs, mis ei võimalda kõigi nelja sessiooni planeerimist ühele ja samale päevale. GPS-signaali vastuvõtjatega oleks optimaalseim sessioonide arv päevas kaks (2) kuni kolm (3).

Tabel 16. Satelliitide arv ja PDOP väärtused

Sessiooni nr	GPS		GPS+GLONASS+Galileo	
	Satelliitide arv	PDOP	Satelliitide arv	PDOP
1	7	3,4	21	1,6
2	7	3,0	20	1,6
3	6	4,9	18	1,8
4	6	4,7	20	1,5
Keskmine:	6,5	4,0	19,8	1,6

Kuna käesolevate GNSS-mõõtmiste planeerimisel oli eesmärk leida optimaalseim lahendus, siis GNSS-mõõtmiste planeerimisel tuleks võimalusel eelistada erinevaid signaale toetavaid kahe- või enamasageduslike *Choke* ring tüüpi või samaväärseid GNSS vastuvõtvaide, mis võimaldavat vajaliku täpsust praktiliselt ilma ajaplaneerimiseta. Lõputöö koostamisel planeerimise aluseks olnud kolme Trimble Zephyr 2 Geodetic tüüpi antennide Trimble NetR9 vastuvõtjatega oleks GNSS mõõtmiste teostamine kohaliku võrgu 1. järgu punktidel võimalik ühe (1) päeva jooksul. Mõõtesessioonide

pikkus 90 minutit, mis on nõutud 30.04.2018.a. „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhendis“, on piisav, et saavutada nimetatud tüüpi vastuvõtjatega nõutud täpsus [15]. Samuti on oluline panoraamide koostamine, kus selgitatakse välja taevaalaotuse avatus ja satelliitide nähtavus. Kasutades kogutud informatsiooni GNSS-mõõtmiste ajaplaneerimise tarkvarades, saab edukalt planeerida kõige optimaalsemaid mõõtesessioone, et ka ainult GPS-signaale vastuvõtivate seadmetega saavutada eeskirjades nõutud täpsused.

5.2 Tehnilise projekti koostamise tulemused ja analüüs

Vastavalt lähteülesandele koostati üheteistkümnele (11) kohaliku geodeetilise võrgu punktidele teisaldamise ja kontrollmõõtmiste projekt, milles antakse ülevaade:

- kohaliku geodeetilise võrgu rekonstrueerimise kehtivast juhenditest, teistest asjakohastest juhenditest, metoodikatest, nõutud täpsustest ja tehnilise projekti koostamise etappidest;
- Vao liiklussõlme ehitustegevuse tsooni jäänud kohaliku geodeetilise võrgu ja kõrgusvõrgu märkide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste projekti koostamisest koos kõikide vajalike eluuringute ja töötappidega.

5.2.1 Kohaliku geodeetilise võrgu tööde juhendite analüüs

Maa-ameti poolt koostatud „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“ on täna ainuke kehtiv juhend, mis reguleerib linnade ja asulate geodeetiliste võrkude rajamist ja rekonstrueerimist [15]. Kohaliku kõrgusvõrgu märkide rajamist või rekonstrueerimist tuleb teostada Maa-ameti „Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja nivelleerimise juhend“-i järgi, mis on mõeldud küll rohkem riiklike kõrgusvõrgu töödeks, kuid on võetud aluseks ka kohaliku kõrgusvõrgu töödel (vt. Pt. 1.2.3 Kohalik geodeetiline võrk) [5]. Sellest tulenevalt oleks soovituslik täiustada kohaliku võrgu nõuetes ka geomeetrilist nivelleerimist reguleerivad nõuded, sest juba täpsusnõuded (käigu sulgematus) riigi I ja II klassi kõrgusvõrgu töödel ja kohaliku kõrgusvõrgu töödel erineb kümne kordselt, 2 mm vs 20 mm $\sqrt{L}$ km kohta (vt. Pt. 4.2.2) [15], [8]. Lisaks täpsusnõuetele oleks soovituslik täiustada ka nõudeid kasutatavatele instrumentidele ja mõõtmismetoodikatele.

5.2.2 Kohaliku geodeetiliste punktide andmebaaside analüüs

Kohaliku geodeetilise võrgu töödel Tallinna linna piires, tuleb arvestada sellega, et töid reguleerib KOV (TLPA). Kuna TLPA-l on olemas ka veebi rakendus geodeetiliste punktide andmebaasiga, siis tuleb lähteandmete kogumisel arvestada nii Maa-ameti geodeetiliste punktide andmekogu kui ka

TLPA hallatava Geoveebi andmetega. Käesoleva lõputöö raames Vao ristmiku alal ja selle läheduses olevate geodeetiliste punktide andmeid võrreldi mõlemas andmebaasis kajastuva info põhjal:

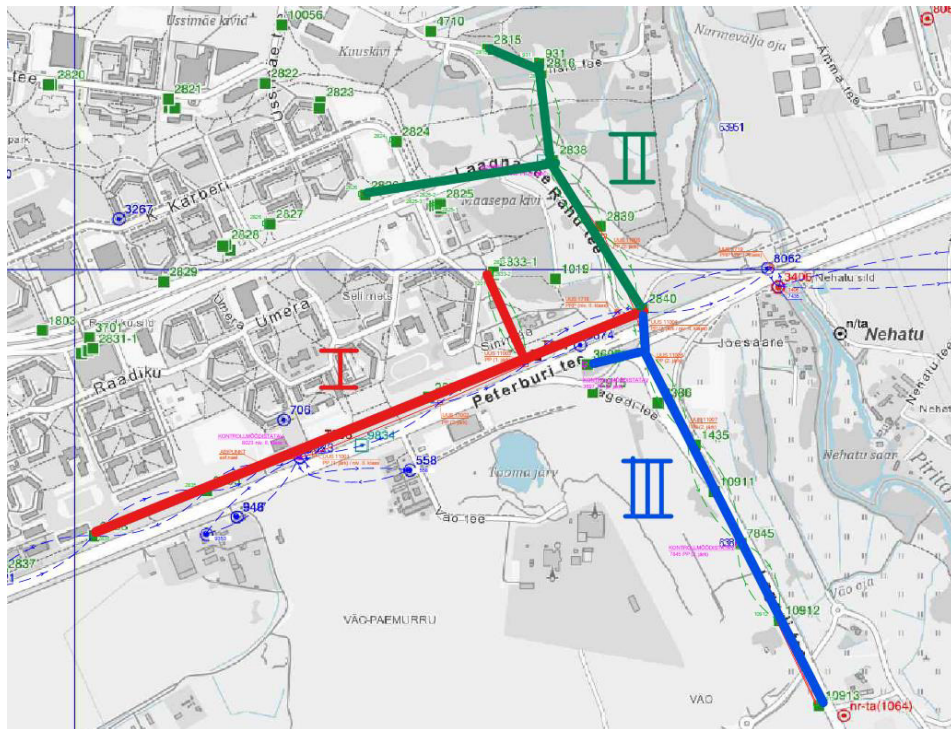
- kohaliku 1. järgu mõõtmiste lähtepunktide andmed erinesid 50% ulatuses (RGPP IRU97 jäi väljaspoole TLPA haldusala) (vt. Tabel 5);
- kohaliku 2. järgu mõõtmiste lähtepunktide andmed erinesid 82% ulatuses (vt. Tabel 7);
- kohaliku kõrgusvõrgu lähtereeperite andmed erinesid 100% ulatuses (RGPP IRU97 jäi väljaspoole TLPA haldusala) (vt. Tabel 9).

Üldistavalt võib erinevusi enamus juhtudel pidada väikesteks ja kõrgusvõrgu reeperite puhul on tegemist pigem andmete esitamise täpsusastmete erinevustega. Kuid täpsemate tööde puhul on geodeetiliste tööde teostajal oluline ka 1 mm, mis erinevusena andmebaasides võib olla tingitud ümardamisest. Lõputöö aluseks olnud Vao ehitustegevuse tsooni jäänud kohaliku geodeetilise võrgu ja kõrgusvõrgu märkide teisaldamisel ja kontrollmõõtmistel kasutati projekti koostamisel ainult Maa-ameti GPA-s olevad andmeid.

5.2.3 Kohaliku geodeetiliste võrgu 2. järgu punktide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste tehnilise projekti koostamise tulemused ja analüüs

Kohaliku geodeetilise võrgu 2. järgu punktide mõõtmised plaaniliselt polügonomeetria meetodil, tuli vastavalt lähteülesandele teostada viiele (5) uuele märgile ja kolmele (3) kontrollitavale märgile (vt. Tabel 11).

Punktide 2834 PP 2 järk (uus nr 11002), 2840 PP 2 järk (uus nr 11004), 2839 PP 2 järk (uus nr 11005), 2915 ja 2386 PP 2 järk (uus nr 11006), 1435 ja 10911 PP 2 järk (uus nr 11007) ning kontrollitavate punktide 3697, 7845 ja 10058 lähtepunktideks valiti kohaliku geodeetilise võrgu 2 järgu punktid nr 12014, 2833-1, 2833-2, 2836, 2835, 10912, 10913, 2816, 931, 2815 ja 2826 ja võrk lahendati kolme (3) omavahel sõlmpunktiga seotud polügonomeetriakäiguga (vt. Joonis 49).



Joonis 49. Vao piirkonda projekteeritud käikude süsteem (punane – käik nr 1, roheline – käik nr 2 ja sinine – käik nr 3)

Kõrgused trigonomeetrilise nivelleerimisega tuleb määrata punktidele sama polügonomeetriakäigu raames, kuid lõplikuks kõrguseks tuleb võtta kahel (2) uuel 1. järgu märgil (nt. 11001 ja 11003) hoopis geomeetriliselt nivelleeritud kõrgus, kuna need märgid on planeeritud nivelleerimiskäiku sisse (vt. Joonis 7). Detailsemalt on mõõdistusvõrgu skeem esitatud töö lisa (vt. Lisa 3. Mõõdistuskäikude skeem).

Lõputöö projektis esitatud polügonomeetriavõrk koosneb kolmest polügonomeetriakäigust ja neid ühendavast ühest sõlmpunktist järgnevalt:

1. mööda Peterburi teed kulgeva polügonomeetria- ja trigonomeetrilise nivelleerimise käik;
2. mööda Rahu teed kulgeva polügonomeetria- ja trigonomeetrilise nivelleerimise käik;
3. Lagedi tee äärde jääv polügonomeetria- ja trigonomeetrilise nivelleerimise käik.

Kõigi kolme polügonomeetriakäigu ja trigonomeetrilise nivelleerimiskäigu ühiseks sõlmpunktiks oli sõlmpunkt nr. Uus 11004 (2. järk). Kõigi kolme käigu kogupikkuseks oli ca 2900 m ehk 2,9 km ja on eraldi lõikudena esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 17).

Tabel 17. Polügonomeetria ja trigonomeetrilise nivelleerimise käikude pikkused:

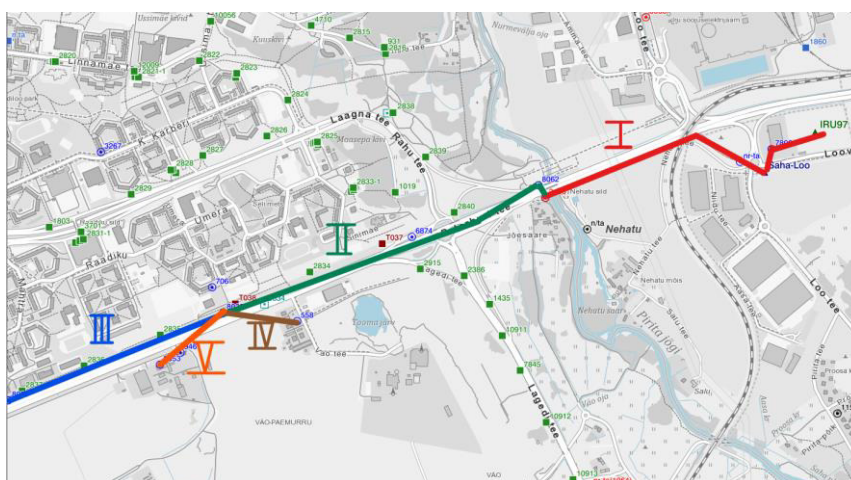
Käigu nr.	Algus ja lõpp-punkt	pikkus, m
1	2835-11004	1263,6
2	2816-11004	717,5
3	1912-11004	923,1

5.2.4 Kohaliku kõrgusvõrgu punktide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste tehnilise projekti koostamise tulemused ja analüüs

Kõrgused geomeetrilise nivelleerimise II klassi meetodil planeeriti uutele kohaliku võrgu 1 järgu punktidele nr 11001 ja 11003, uutele kohaliku võrgu 2 järgu punktidele nr 11002 ja 11004, uutele kõrgusvõrgu II klassi punktidele nr 1718, 1719, ja kontrollitavale kõrgusvõrgu II klassi punktile nr 8023 (vt. Joonis 7). Detailsemalt on mõõdistusvõrgu skeem esitatud töö lisas (vt. Lisa 3. Mõõdistuskäikude skeem).

Teisaldatavate reeperite 6874 (uus 1718), 8062 (uus 1719) ja kontrollitava reeperi 8023 lähtepunktideks valiti riikliku geodeetilise põhivõrgu II klassi punkt IRU97, kõrgusvõrgu I klassi reeper 3406, kõrgusvõrgu II klassi reeperid 8021, 9353, 558 ja 7806 ja kontrolliks tuleb mõõta tihendusvõrgu punkt Saha-Loo.

Planeeritud viie geomeetrilise nivelleerimiskäigu (vt. Joonis 50) orienteeruvaks kogupikkuseks oli 4,6 km (ühes suunas) ja on eraldi lõikudena esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 18, Tabel 17). Nivelleerimiskäigud tuleb mõõta edasi-tagasi ning esitatud käikude pikkused läbitakse kaks korda.



Joonis 50. Vao piirkonda projekteeritud geomeetriliste nivelleerimiskäikude süsteem (punane – käik nr 1, roheline – käik nr 2, sinine – käik nr 3, pruun – käik nr 4 ja oranž – käik nr 5)

Tabel 18. Geomeetrilise nivelleerimise käikude pikkused

Käigu nr.	Algus ja lõpp-reeper	pikkus, km
1	FRP 3406 – RGPP IRU97	1,3
2	FRP 3406 – PRP 8023	1,6
3	PRP 8023– PRP 8021	0,9
4	PRP 8023– SRP 558	0,4
5	PRP 8023– SRP 9353	0,4

Esiialgses lõputöö kavas oli planeeritud ka rekonstrueeritava kohaliku geodeetilise polügonomeetriavõrgu ja kõrgusvõrgu mõõtmiste simulatsioon koos eeldatava täpsushinnanguga, kasutades selleks geodeesia tarkvara Leica ICON Office. Käesoleva lõputöö liigse mahukuse tõttu jäi see kahjuks teostamata ja võiks jääda soovituslikult järgmise taseme diplomitöö koosseisu.

KOKKUVÕTE

Linnades ja asulates toimuv ehitustegevus toob endaga kaasa kohaliku geodeetilise võrgu ja kõrgusvõrgu punktide hävimise või asukohalise muutuse aktiivses või sellega piirnevas töötsoonis. Sõltuvalt ehitustegevuse asukohast ja projektide suurusest on geodeetiliste punktide töötsooni jäämise maht erinev, ulatudes ühest märgist kuni kümnete märkideni, jättes tühjaks terve piirkonna. Põhilisemaks on taristuehituse projektid nagu teede (raudteede) ehitus või rekonstrueerimine. Käesolev lõputöö keskendub Tallinna linnas, Lasnamäe LO, Vao mitmetasandilise ristmiku ehitustegevuse tsooni jäänud geodeetiliste märkide teisaldamise ja kontrollmõõtmiste tehnilise projekti koostamisele. Tavapäraselt koostatakse geodeetiliste punktide teisaldamis- ja kontrollimistööd ühtse tervikuna, ehk peale tehnilise projekti koostamist teostatakse märkide ehitus ja seejärel geodeetilised mõõtmised. Kuna Vao ristmiku ehitustsooni jäi arvukalt väga erineva tüübi ja täpsusklassiga punkte, oli nimetatud tööd mõttekas jagada kahte ossa – 1) tehniline projekt, milles peale olukorra ülevaatusel selgub tegelik tööde maht ja 2) geodeetiliste märkide ehitus ning mõõtmistööd koos lõpliku aruandega.

Lõputöö esimeses osas antakse ülevaade Eestis kehtivatest ametlikest koordinaatsüsteemidest ja erinevatest geodeetilisest võrkudest. Viimases alapeatükis keskendutakse Tallinna linna kohaliku geodeetilise võrgu kujunemisele ja viimastel kümnenditel tehtud olulisematele projektidele, näiteks üleminek Tallinna kohalikus koordinaatsüsteemist TK64 Riiklusse koordinaatsüsteemi L-EST97. Samuti erinevate linnaosade võrgusüsteemide kokku tasandamine 2016.a.

Teises peatükis antakse ülevaade kohaliku geodeetilise võrgu rekonstrueerimisprojekti koostamist reguleerivatest seadustest, millest olulisemad on kolm (3) järgmist:

1. Maa-ameti juhend 30.04.2018.a. „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“;
2. Maa-ameti juhend 21.06.2006.a. „Kõrgusvõrgu rajamise ja rekonstrueerimise juhend“;
3. Keskkonnaministri 28. juuni 2013.a määrus nr 50 „Geodeetiliste tööde tegemise ja geodeetilise märgi tähistamise kord, geodeetilise märgi kaitsevööndi ulatus ning kaitsevööndis tegutsemiseks loa taotlemise kord“.

Detailsed juhendid on geodeetiliste tööde läbi viimisel väga olulised alusdokumendid. Kuna kohaliku kõrgusvõrgu rekonstrueerimist on esimeses juhendis väga üldsõnaliselt kirjeldatud, oleks seda juhendit just kõrgusvõrgu mõõtmiste metoodika ja seadmete täpsusklasside osas vajalik täiendada.

Peatüki lõpus antakse ülevaade kohaliku geodeetilise võrgu struktuurist ja täpsuklassidest ning rekonstrueerimisprojekti koostamise põhipunktidest.

Kolmandas peatükis selgitatakse projekti lähteülesannet ja teostatakse praktiliste ettevalmistustööde ülevaatus Väo ristmiku ehitustegevuse tsooni jäänud geodeetiliste märkide rekognostseerimisel. Esimeses osas analüüsitakse kahe erineva andmekogu TLPA Geoveebi ja Maa-ameti GPA kogudes olevaid lähtepunktide andmeid ja koordinaate. Tulemustest selgub, et andmed ei ole alati identsed kuigi erinevused jäävad üldiselt millimeetri piiridesse, mis lõputöö koostaja hinnangul tuleneb koordinaatide erinevatest ümardustest ja esitlemise täpsusastmest. Tegemist on siiski geodeetidele küsimusi tekitava probleemiga ja soovitatav oleks andmekogud sünkroniseerida segaduste vältimiseks. Tehnilise projekti koostamisel lähtuti lõpuks siiski Maa-ameti GPA andmekogus olevatest koordinaatidest. Peatüki teises osas teostatakse lähteolukorra ülevaatus ja uute märkida asukohtade valik. Selle tulemusena selgus, et lähteülesandes sisaldunud teisaldatavate geodeetiliste märkide (11 märki) asemele oli võimalik paigaldada vaid üheksa uut geodeetilist märki ja neljale geodeetilisele märgile tuli teostada kontrollmõõtmine. Peatüki viimases osas keskendutakse uute võimalike märgitüüpidele ning antakse ülevaade punktide asukohakirjelduste koostamisest ja mõõdetakse uutele kohaliku 1. järgu punktidele (2 tk) ka ringpanoraamid, mis on vajalikud GNSS-mõõtmiste eelplaneerimiseks.

Neljas peatükk on jagatud kolmeks väiksemaks alapeatükiks, millest esimene keskendub mõõtmiste kavandamise lähteülesandele, ning selgitatakse välja kõik vajalikud geodeetiliste mõõtmiste liigid, nagu polügonomeetiline ja trigonomeetiline käik kohaliku võrgu 2. järgu punktide mõõtmiseks, GNSS-staatilised mõõtmised kohaliku 1. järgu punktide mõõtmiseks ja geomeetiline nivelleerimine II klassi kõrgusvõrgu punktide mõõtmiseks. Teises osas antakse ülevaade mõõtmistele kohalduvatest nõuetest ja samuti nõutud täpsusklassiga instrumentidest, mida planeeriti mõõtmistel kasutada. Peatüki viimases osas teostatakse praktiline ja vajalik GNSS-mõõtmiste ajaline planeerimine programmiga *Trimble planning*, arvestades tööde läbiviimist kolme (3) mitme satelliitsüsteemi vastuvõtva Trimble GNSS-vastuvõtja komplektiga. Oluline GNSS-mõõtmiste planeerimise juures on kasutada punktide ringpanoraame, millest selgub ühiselt nähtavate satelliitide arv. Teise peamise tegurina tuleb arvesse võtta, kas mõõtmistesse kaastavad GNSS-seadmed võtavad vastu vaid GPS signaale või lõputöös võrdlusena toodud GPS, GLONASS ja lisaks ka Galileo signaale ning kellajaline mõõtmiste planeerimine on vaid GPS signaali vastuvõtvatel seadmetel väga oluline.

Viimane viies peatükk võtab kokku eelnevad peatükid tulemuste ja analüüsidenä. Esimene analüüs teostatakse GNSS-mõõtmiste ajalisele planeerimisele, ning kokkuvõtteks sai kinnitust ka püstitatud

eesmärk, et mõõtmiste ajaline planeerimine on kindlasti oluline vaid GPS signaale vastuvõtivate GNSS-seadmetega, kus mõõtmisteks valitud kuupäeval 11.05.2023 oli keskmiselt nähtaval 6,5 satelliiti (nõutud > 5) ja keskmine 3D positsiooni geomeetria täpsushinnang PDOP 4,0 (nõutud PDOP < 6). Mitme satelliitsüsteemi signaali vastuvõtjatega oli olukord parem ja pidevalt oli nähtaval üle kolme korra rohkem satelliite (24 h keskmine 19,8 ühikut) ja 3D positsiooni geomeetria täpsushinnang (24 h keskmine PDOP 1,6) oli kolm korda parem kui nõutud. Järgides eelplaneeritud DOP graafikuid ja ühiselt nähtavate satelliitide arvu ning geomeetriat, tuli GPS-seadmetega mõõtmised planeerida minimaalselt kahele päevale. Järgnenud peatüki alapunktides analüüsiti veelkord kohaliku geodeetilise võrgu rekonstrueerimiseks vajaliku tehnilise projekti koostamist, reguleerivaid nõudeid, andmebaaside kattuvust ning anti ülevaade ka kohaliku 2. järgu ja kõrgusvõrgu projekti koostamise mahtudest. Kohaliku geodeetilise 2. järgu rekonstrueeritavad käigud planeeriti 3 käiguna kogusummas 2,9 km ja II klassi kõrgusvõrgu käigud viie käiguna kogusummas 4,9 km.

Kohaliku geodeetilise võrgu rekonstrueerimisel üksikpunktide osas ei praktiseerita võrgu täpsuse ja geomeetria eelhindangu saamiseks simulatsiooni esialgsete koordinaatidega, sest punktid teisaldatakse üldjuhul samasse piirkonda. Küll tehakse seda aga suuremate võrkude puhul, mis katavad kogu või suuremat osa asulast ja uusi punkte on palju. Kuna Vao ristmikul jäi ehitustegevuse alla üle kümne punkti ja piirkond asus Tallinna linna ja Jõelähtme valla piiril, võiks sarnaste olukordade puhul teostada ka geodeetilise võrgu rekonstrueerimise simulatsioonlahendusi ja leida võrkudele eeldatavad täpsushinnangud. Lõputöö autor soovib kasutada selleks turul olevaid tarkvarasid näiteks SBGGeo-d või samale platvormile tehtud Leica ICON Office-t.

SUMMARY

The objective of this bachelor's thesis *Replacement and Control Measurement Design of the Local Geodetic Network Points and Benchmarks Left in the Construction Zone* is to give an detail overview of content of local geodetic network detail technical design and the necessity of GNSS-measurements pre-planning using special softwares. Named activity are necessary when mainly infrastructure constructions are designed with clashes of local geodetic network points locations. Generally the replacement and Control measurement jobs is performed in one project i.e. after preparation of the technical design, the installation of the geodetic points, measurements, adjustments and final report are carried out. The current project in Vão (Tallinn) crossroad construction zone includes geodetic points with very different types and accuracy classes. In total eleven (11) geodetic points needs to relocate and four (4) geodetic points to control. There fore it was sense to devide the geodetic works in two main phases already in price offering stage – 1) detail technical design, where actual amount of work will be revealed after the investigations of existing geodetic networks, and 2) installation and measurement measurement works with final report. Current bachelor's thesis deals only with the first part – detail technical design. Additionally, GNSS-measurement preplanning will be carried out of randomly selected date of 11.05.2023 to proove the necessity for such kind of pre-planning in advance, when using only GPS signal recievers and antennas.

In first part of thesis author provide an overview of the official reference and coordinate systems and various geodetic networks valid in Estonia. The last sub-chapter focuses on the formation of the local geodetic network of the city of Tallinn and the most important projects carried out in recent decades, for example the transformation from Tallinn's local coordinate system TK64 to the national coordinate system L-EST97. Also adjusting different parts of height networks in to one unified height network in 2016.

Second chapter are focusing to the three (3) main guidelines and procedures, which are regulating the local geodetic network reconstruction. Named procedures are very important basic documents for carrying out local geodetic network works. Since the reconstruction of the local height network is described in very general terms in the „Reconstruction of local geodetic networks“ manual, it would be necessary to improve this manual with regard to the methodology of measuring the height network and the accuracy classes of the devices.

In the third chapter the practical pre-works are explained starting the investigations in official Databases to collect the information, like point descriptions, accuracy classes, point types and coordinates. As current local geodetic network are located in the city area of Tallinn, the owner of those network points are also Tallinn City (Tallinn Urban Planning Department). Taking into account the information from primary geodetic network database managed by Estonian Land Board, comparison has performed with Tallinn Geoveeb database, owned and managed by TUPD. The comparison results show that the data are not always identical, although the differences are generally within a millimeter, which, according to the author of the thesis, is due to the different rounding of the coordinates and the degree of accuracy of present decimals. However, it is a problem that raises questions for surveyors, and it would be advisable to synchronize the data sets to avoid confusion. In the current technical project only the coordinates in the Estonian Land Board database (GPA) were used. The second part of the chapter gives an overview of physical site investigations, to select new locations for the geodetic points. The last part of the chapter focuses on the new possible point types and describe the procedure to create sky plot drawings for new local 1st order points (2 pcs), which are necessary for pre-planning of GNSS-measurements.

The fourth chapter is divided into three smaller sub-chapters, where first is focusing to the initial task of reconstruction technical design, and explains all the types of geodetic measurements required, such as polygon and trigonometric traverses for measuring local grid 2nd order points, GNSS-static surveys for local 1st order point measurements and geometric leveling traverses for measuring II class height network points. The second part provides an overview of the measurement requirements as well as the required accuracy for geodetic devices, that were planned to be used in this project. In the last part of the chapter, the timely pre-planning of GNSS measurements is carried out with the program Trimble planning, taking into account the execution of work with three (3) sets of Trimble GNSS devices receiving multiple satellite systems. Main factor to consider if GNSS-devices receive only GPS signals or the GPS, GLONASS and also Galileo signals like presented in the thesis, timely GNSS-measurement pre-planning are absolutely necessary in first case.

The last fifth chapter summarizes the all previous chapters as results and analyses. The first analysis is carried out on the timely pre-planning of GNSS-measurements and it is certainly important only with GPS devices, where on the date chosen for measurements 11.05.2023, on average 6.5 satellites were visible (required > 5) and an average 3D position geometry accuracy estimate of PDOP 4.0 (required PDOP < 6). With multi-satellite signal GNSS-devices, the situation was better and more than three times more satellites continuously visible (24 h average 19.8 units) and the 3D position geometry accuracy estimate (24 h average PDOP 1.6) was three times better than required. Following

the pre-planned DOP schedules and the number of jointly visible satellites and the geometry, measurements with GPS devices had to be planned for a minimum of two days. Overview and analyze was also given of the amount of the preparation of the local 2nd order network and elevation network detail technical project. The reconstructed local geodetic 2nd order network were planned joining 3 traverses totaling 2.9 km, and the geometrical leveling traverses of the II class elevation network were planned joining five leveling traverses totaling 4.9 km.

When reconstructing a local geodetic network in terms of individual points, simulation with estimated coordinates is not practiced to obtain a preliminary estimate of the accuracy and geometry of the network, because the relocated single points are generally moved approximately to the same area. As at the Vão construction area were more than ten points to relocate and four to control and also the construction area was located on the border of Tallinn City and Jõelähtme municipality, the author of the thesis recommends geodetic network simulations using available software on the market, for example SBGGeo or Leica ICON Office.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Riigi Teataja, „Geodeetiline süsteem,“ 2018.
- [2] J. Randjärv, Geodeesia IV osa, Tartu, 2002.
- [3] Maa-amet, „Geoportaal, Eesti Geodeetiline Süsteem,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Geodeetilised-andmed/Eesti-geodeetiline-susteem-p223.html>. [Kasutatud 23 01 2023].
- [4] J. Randjärv, Geodeesia, I osa 2. raamat, Tartu, 2006.
- [5] Maa-amet, „Geodeetilised võrgud,“ Tallinn.
- [6] A. Ellmann, T. Kall, K. Kollo ja A. Liibus, GNSS-Globaalne satelliitnavigatsioonisüsteem geodeetilise täpsusega asukoha määranguks, Tartu, 2022.
- [7] V. Kala, A. Ellmann ja S. Märdla, Kõrgem Geodeesia, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2015.
- [8] Maa-amet, „Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja nivelleerimise juhend,“ 2006. [Võrgumaterjal]. Available: https://geoportaal.maaamet.ee/docs/Geodeesia/Riikliku-korgusvorgu-juhend_2006.pdf?t=20180511112319. [Kasutatud 2022].
- [9] R. ". P. Tallinna TSN "Arhitektuuri valitsus", „Geodeetiliste põhivõrkude uurimine Tallinna Linnas aastatel 1911-1952.,“ Tallinn, 1952.
- [10] R. ". Projekt", „Geodeetilise põhise (polügonomeetria- ja nivelleerimisvõrgud) rajamise kohta Suure-Tallinna territooriumil aastatel 1961-1963,“ Tallinn, 1964.
- [11] TLPA, „Tallinna linna geodeetilise põhivõrgu seis ja üleminek ühtsele riiklikule koordinaatsüsteemile L-EST97.,“ Tallinn, 2005.
- [12] A. Planserk, „Tallinna 2. järgu geodeetilise võrgu andmete süstematiseerimine,“ Tallinn, 2008.
- [13] A. Planserk, „Tallinna kõrgussüsteemi ajakohastamine,“ Tallinn, 2009.
- [14] A. Planserk, „Tallinna 2. järgu geodeetilise võrgu koostasandus,“ Laagri, 2016.
- [15] Maa-Amet, „Kohaliku geodeetilise võrgu rajamise juhend,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://geoportaal.maaamet.ee/docs/Geodeesia/Kohaliku-geodeetilise-vorgu-rajamise-ja-rekonstrueerimise-juhend.pdf?t=20180511112316>.
- [16] Riigi Teataja, „Geodeetiliste tööde tegemise ja geodeetilise märgi tähistamise kord, geodeetilise märgi kaitsevööndi ulatus ning kaitsevööndis tegutsemiseks loa taotlemise kord,“ 2013.
- [17] Maa-amet, „X-GIS,“ Tallinn.

- [18] Geo S.T. OÜ, „Väo liiklussõlme ehitustegevuse tsoonis olevate kohaliku geodeetilise võrgu märkide ja kõrgusvõrgu märkide teisaldamine ja kontrollmõõtmine,“ Tallinn, 2022.
- [19] Maa-amet, „Geodeetiliste punktide andmekogu“.
- [20] „Tallinna geomöödistuste infosüsteemi geoveeb,“ Riigi Infosüsteemi Haldussüsteem, 2020.
- [21] Geo S.T. OÜ, „Kohaliku geodeetilise põhivõrgu II järgu punktide nr 2916, 5538, 7936, T043, 2305 ümberpaigaldamine ja Tallinna linna piiripunktide PP393, PP394 taastamine,“ Tallinn, 2018.
- [22] Maa-amet, „Väo liiklussõlme ehitustegevuse tsoonis olevate kohaliku geodeetilise võrgu märkide ja kõrgusvõrgu märkide teisaldamine ja kontrollmõõtmine. Projekt,“ Tallinn, 2022.
- [23] Maa-amet, „Väo liiklussõlme ehituse geodeetilise alusvõrgu punktide taastamine ja kontrollmõõtmine. Projekt,“ Tallinn, 2021.
- [24] Geosoft OÜ, „TRIMBLE R10 integreeritud RTK-GNSS süsteem“.
- [25] Geosoft OÜ, „Trimble TSC7“.
- [26] Planserk AS, „Tüüp nr. 4623,“ 2001.
- [27] Planserk AS, „Tüüp nr. 5025,“ 2002.
- [28] AS K&H, „Tüüp nr 5020,“ 2003.
- [29] AS K&H, „Tüüp nr. 5021,“ 2022.
- [30] Planserk AS, „Tüüp nr 9132,“ 2003.
- [31] A. Planserk, „Tüüp nr 9130,“ 2003.
- [32] A. Rüdja ja J. Sander, Globaalne asukoha määramine, Tallinn, 2013.
- [33] „<https://www.land.vic.gov.au/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.land.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0032/494636/Leica-EDM-Instrument-Parameters.pdf. [Kasutatud 26 03 2023].
- [34] „<https://positioningsolutions.com/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://positioningsolutions.com/products/trimble-sps852-gps-base-station-for-construction-uhf-used-gps-1300#8050695995626>. [Kasutatud 12 02 2023].
- [35] „<https://oemgnss.trimble.com/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://assets-trimble.s3.us-west-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2020/10/06230819/Zephyr_Antenna_2_DS_01_17.pdf. [Kasutatud 12 02 2023].

- [36] „<https://www.waypointtech.com/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.waypointtech.com/survey-systems/gnss-infrastructure/netr9>. [Kasutatud 12 02 2023].
- [37] „<https://static1.squarespace.com/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://static1.squarespace.com/static/55d1fa5fe4b05cbbf5def868/t/5602f582e4b0ad00939fd9a1/1443034498874/NetR9+Data+Sheet.pdf>. [Kasutatud 12 02 2022].
- [38] „<https://geospatial.trimble.com/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2020-04/022516-155H_TrimbleS9_DS_A4_0320_LRsec.pdf. [Kasutatud 12 02 2022].
- [39] „<https://geosoft.ee/>,“ Geosoft OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://geosoft.ee/trimble-dini/>. [Kasutatud 13 02 2022].
- [40] „<https://geosoft.ee/>,“ Geosoft OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://geosoft.ee/wp-content/uploads/pdf/Datasheet%20-%20Trimble%20DiNi.pdf>. [Kasutatud 13 02 2022].
- [41] M. A. Alizadeh-Khameneh, „Optimal Design in Geodetic-based Networks,“ KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2017.
- [42] T. N. Limited, „<https://software.informer.com/>,“ Informer Technologies, Inc., [Võrgumaterjal]. Available: <https://trimble-planning.software.informer.com/2.9/>. [Kasutatud 15 02 2023].
- [43] Maa-amet, „<https://geoportaal.maaamet.ee/est/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/teenused/geodeesia-kalkulaatorid-p142.html>. [Kasutatud 16 02 2023].
- [44] <https://www.swpc.noaa.gov>, 2023.
- [45] S. w. p. center, „www.swpc.noaa.gov,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>. [Kasutatud 15 02 2023].
- [46] „www.astronoomia.ee/,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.astronoomia.ee/tahistaevas/efemeriidid/?taevakeha=paike&tabel=touslooj&linn=tallinn&kuupaev=2023-05-11&ridu=10>. [Kasutatud 26 02 2022].
- [47] R. Teataja, „Geodeetiliste punktide andmekogu asutamine ja andmekogu pidamise põhimäärus,“ Riigi Teataja, 2018.
- [48] K. Karin, *Satelliitgeodeetilise asukohamäärangu loengukonspekt*, Tallinn, 2008.
- [49] J. Randjärv, *Geodeesia IV osa, kohalik geodeetiline põhivõrk*, Tartu, 2002.

- [50] Wikipedia, „<https://et.wikipedia.org>“, MTÜ Wikimedia Eesti, 30 06 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Abriss>. [Kasutatud 11 03 2022].

LISAD

Lisa 1. Ülevaatus koondtabel [18]

Lisa 2. Geodeetilise võrgu skeem [18]

Lisa 3. Mõõdistuskäikude skeem [18]

Lisa 4. GPSS/GNSS staatilise mõõdistusvõrgu skeem [18]

Lisa 5. Uue märgi PP 11001 asukoha projektskeem [18]

Lisa 6. Uue märgi PP 11002 asukoha projektskeem [18]

Lisa 7. Uue märgi PP 11003 asukoha projektskeem [18]

Lisa 8. Uue märgi PP 11004 asukoha projektskeem [18]

Lisa 9. Uue märgi PP 11005 asukoha projektskeem [18]

Lisa 10. Uue märgi PP 11006 asukoha projektskeem [18]

Lisa 11. Uue märgi PP 11007 asukoha projektskeem [18]

Lisa 12. Uue märgi PRP 1718 asukoha projektskeem [18]

Lisa 13. Uue märgi PRP 1719 asukoha projektskeem [18]

Lisa 14. Uue märgi PP 1101 panoraam

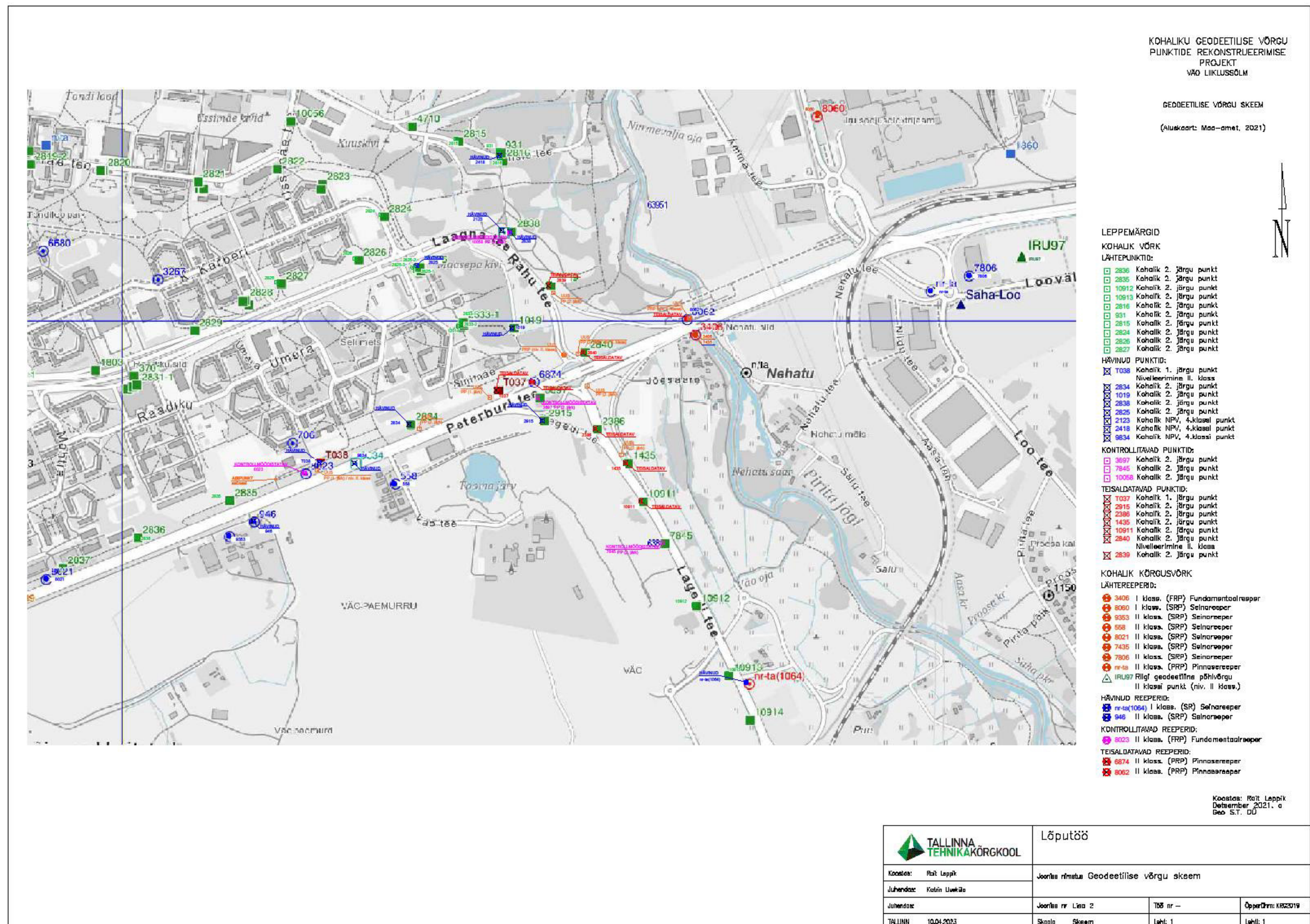
Lisa 15. Uue märgi PP 1103 panoraam

Lisa 1. Ülevaatus koondtabel [18]

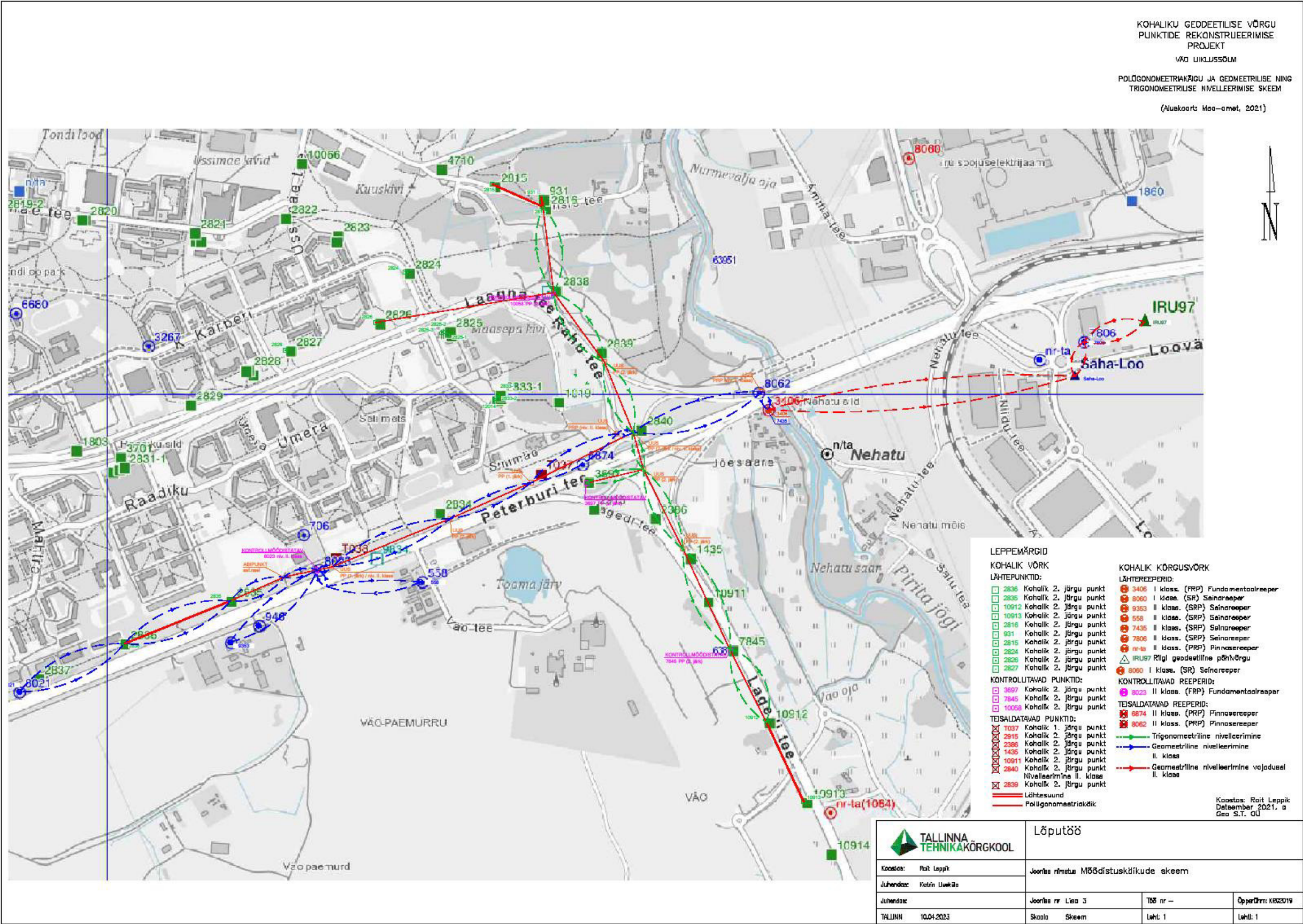
Jrk. nr	Punkti nr/ nimi	ID	Koodnr.	Märgi seisukord				Vajalikud remonditööd					Sobivus GPS mõõtmisteks	Märkused
				Korras	Rikutud	Leidmata	Hävinenud	Asetada katteluuk	Tõsta katteluuk	Asetada tunnuspost	Panna krae	Teha kupits		
1	9353	49667	63-853-99353	x										
2	946	49637	63-853-90946				x							
3	558	49668	63-853-90558	x										
4	2915	49501	63-853-2915				x							
5	3697	49510	63-853-3697	x					x	x				
6	7845	49614	63-853-7845	x									jah	
7	10912	229056	63-853-10912	x					x				jah	
8	10913	229057	63-853-10913	x									ei	
9	3406	49654	63-853-93406	x										Lahti kaevamata. Kupits korras ja puutumata.
10	7435	211479	63-853-97435	x										Kupits on olemas aga märk leidmata
11	8062	216303	63-951-98062				x							Suunad vajavad võsast puhastamist
12	2839	52680	63-951-2839				x							
13	2123	52630	63-951-2123				x							
14	2838	52679	63-951-2838				x							Suund 2816 vajab puhastamist
15	10058	223520	63-951-10058	x									ei	Suunad vajavad võsast puhastamist
16	2816	52661	63-951-2816	x				x					ei	
17	931	52790	63-951-931	x				x					ei	
18	2815	52660	63-951-2815	x				x					ei	
19	1019	49314	63-853-1019				x							Tunnuspost säilinud, märk hävinud
20	T037	49303	63-853-10037				x							
21	706	49634	63-853-90706	x										Latti ei saa asetada otse märgile. Soojustus
22	T038	49304	63-853-10038				x							
23	2835	49497	63-853-2835	x				x					jah	
24	2836	49498	63-853-2836	x									jah	Nael soojakambri betoonlaes
25	2834	49496	63-853-2834				x							

Jrk. nr	Punkti nr/ nimi	ID	Koodnr.	Märgi seisukord				Vajalikud remonditööd					Sobivus GPS mõõtmisteks	Märkused
				Korras	Rikutud	Leidmata	Hävinenud	Asetada katteluuk	Tõsta katteluuk	Asetada tunnuspost	Panna krae	Teha kupits		
26	8023	216281	63-853-98023	x										
27	8060	98244	63-951-98060	x										
28	2825/12013	223565	63-951-12013				x							Puudub nähtavus punktile nb. 12014
29	2825-1	52671	63-951-28251	x										
30	2825-2	52672	63-951-28252	x										Puhastada värvist
31	2825-3	52673	63-951-28253	x										
32	12014	223566	63-853-12014	x									ei	
33	2833-1	49494	63-853-28331	x										
34	2833-2	49495	63-853-28332	x										
35	2826	52674	63-951-2826	x				x					ei	Suunad kinni kasvanud. Puud.
36	2827	52675	63-951-2827	x				x					ei	Puudub nähtavus punktile nb. 2826
37	Rp7806	226094	63-951-97806	x										
38	IRU97	52743	63-951-6395	x									jah	
39	nr-ta	226155	63-951-94543				x							
40	Saha-Loo	227318	63-951-5431	x									jah	
41	LOO	49692	63-854-1231	x				x		x	x	x	ei	tehisvallid ja võsa
42	8021	216282	63-844-98021	x										
43	LASNAMÄE	48910	63-844-537	x									jah	
44	MAARJAMÄE	51976	63-942-535	x				x				x	jah	
45	6874	229055	63-853-10911				x							
46	2840	49499	63-853-2840				x							
47	2386	49498	63-853-2836				x							
48	1435	49399	63-853-1435				x							
49	10911	229055	63-853-10911				x							
KOKKU				32			17	8	2	2	1	2		

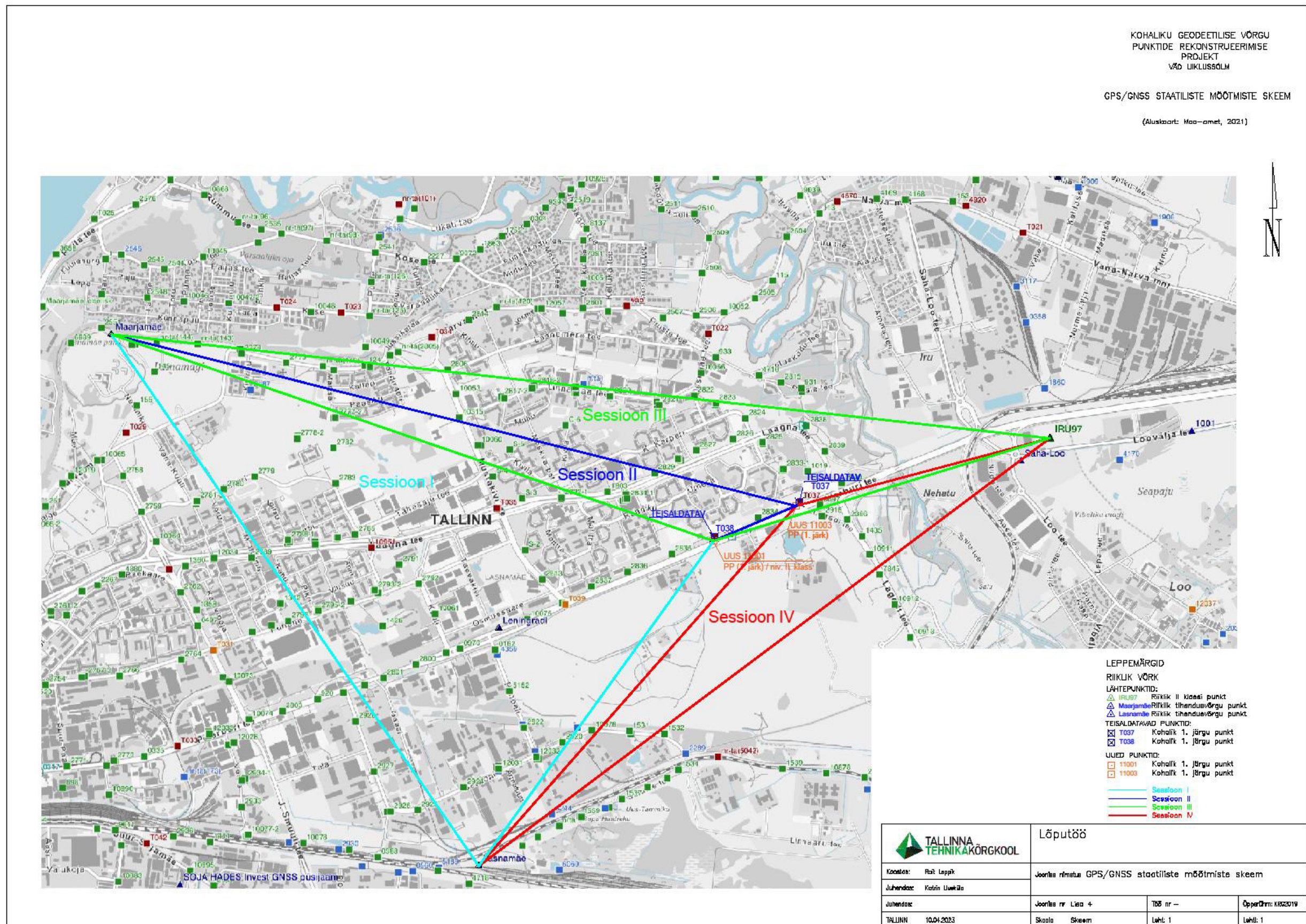
Lisa 2. Geodeetilise võrgu skeem [18]



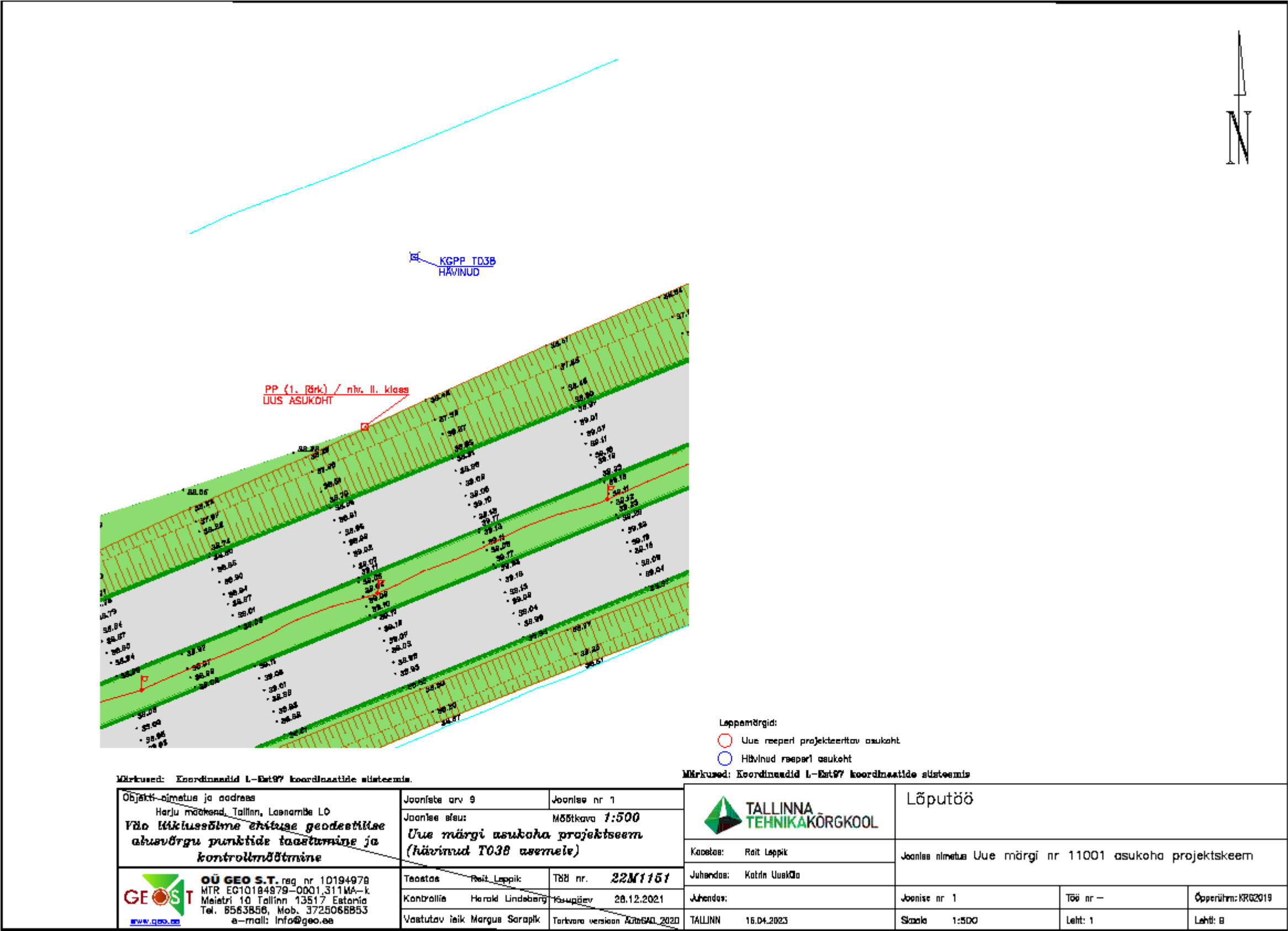
Lisa 3. Mõõdistuskäikude skeem [18]



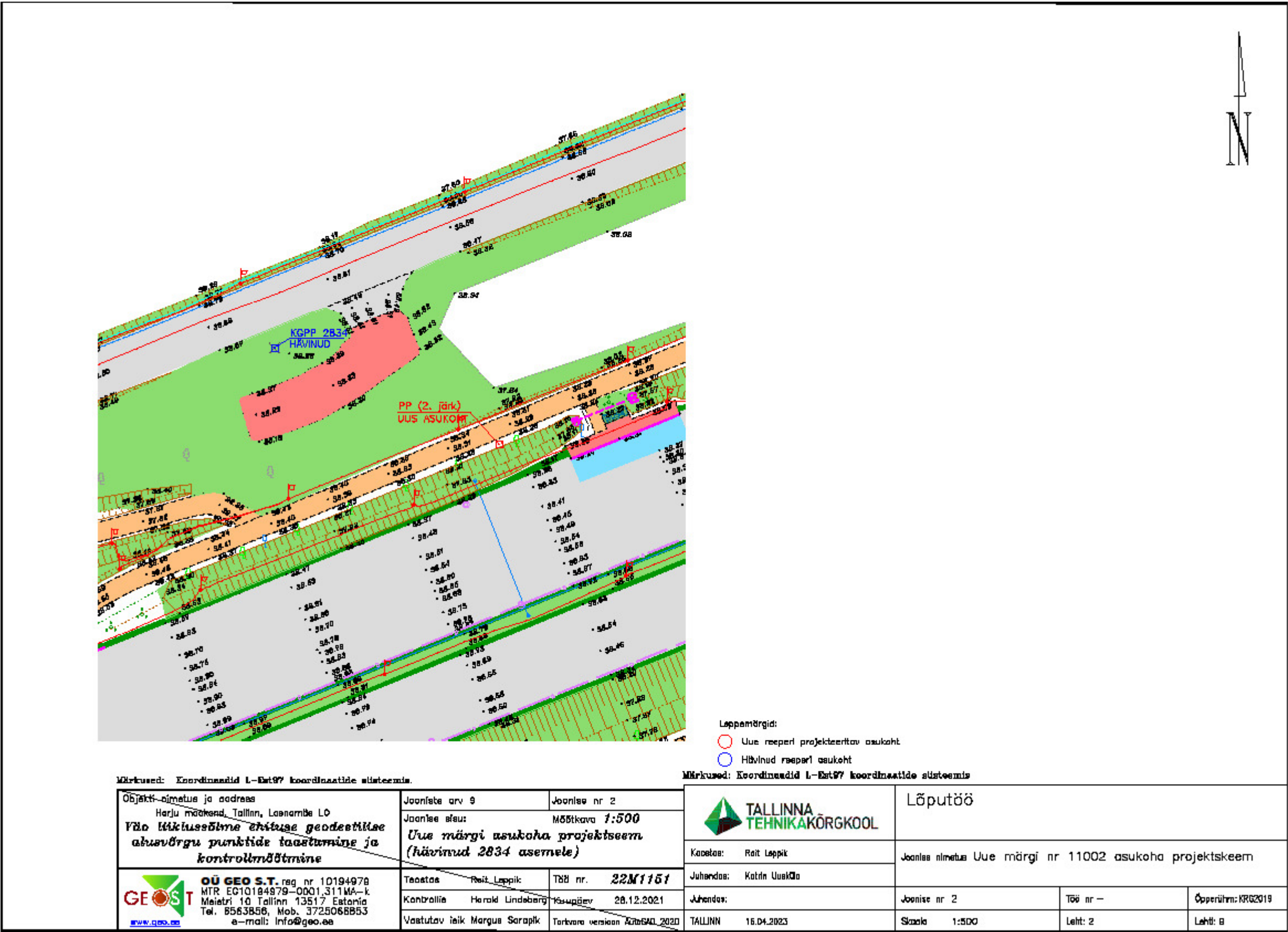
Lisa 4. GPSS/GNSS staatilise mõõdistusvõrgu skeem [18]



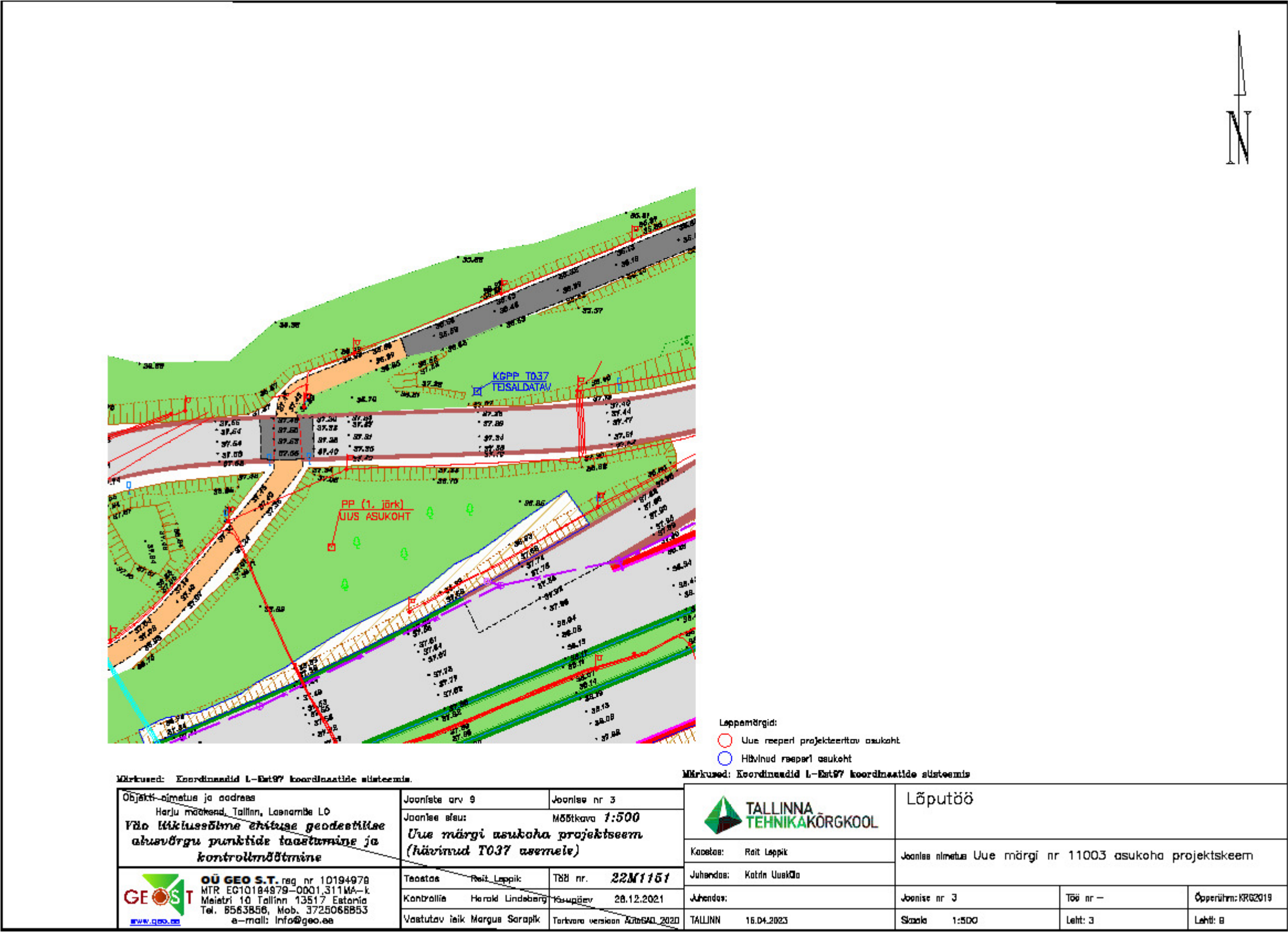
Lisa 5. Uue märgi PP 11001 asukoha projektskeem [18]



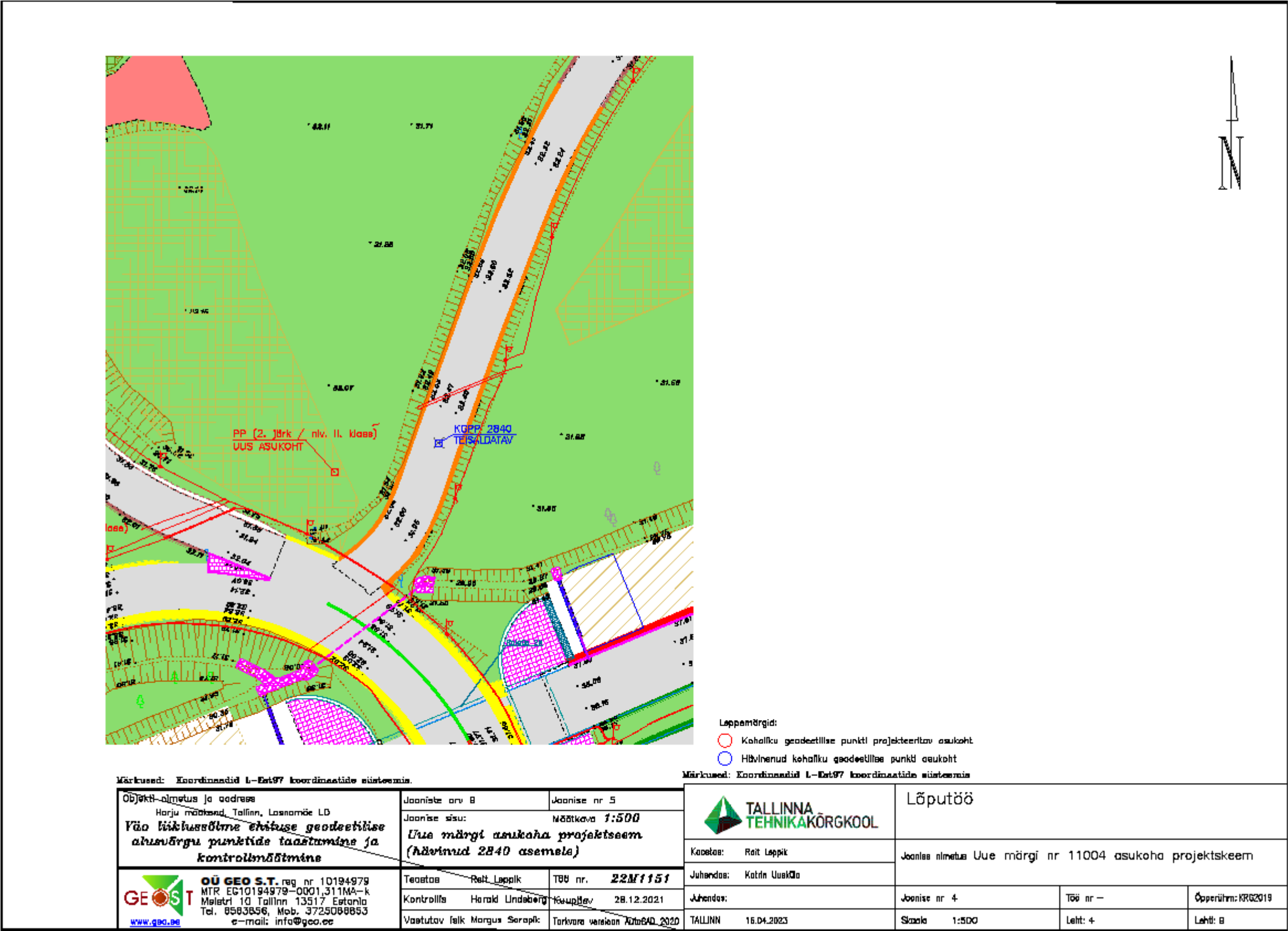
Lisa 6. Uue märgi PP 11002 asukoha projektskeem [18]



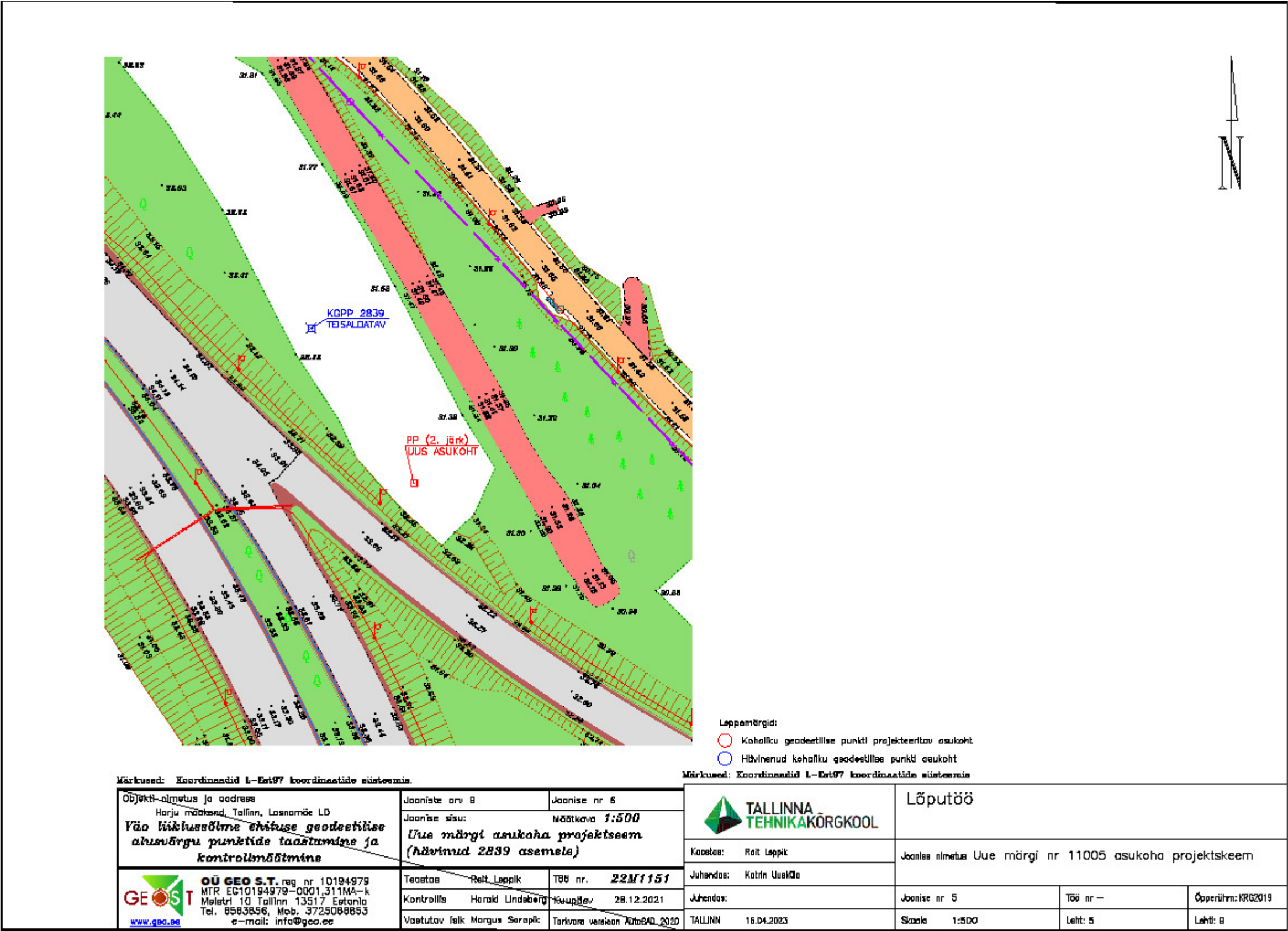
Lisa 7. Uue märgi PP 11003 asukoha projektskeem [18]



Lisa 8. Uue märgi PP 11004 asukoha projektskeem [18]



Lisa 9. Uue märgi PP 11005 asukoha projektskeem [18]



Uue märgi asukoha projektseem (Hävinud 2915 ja 2386 asukoht)

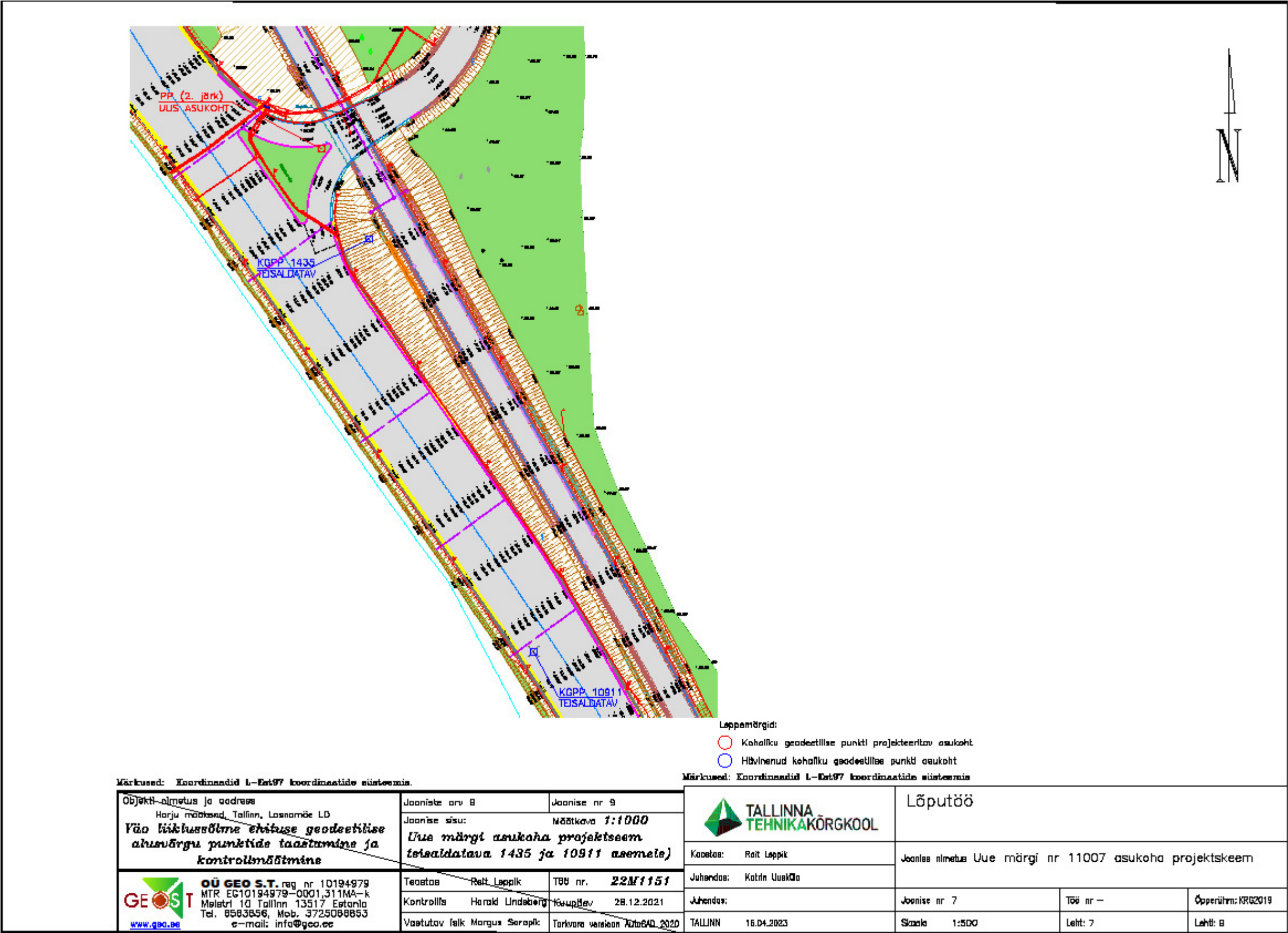
Legend:

- Uue märgi asukoht (New building location)
- Hävinud asukoht (Existing building location)

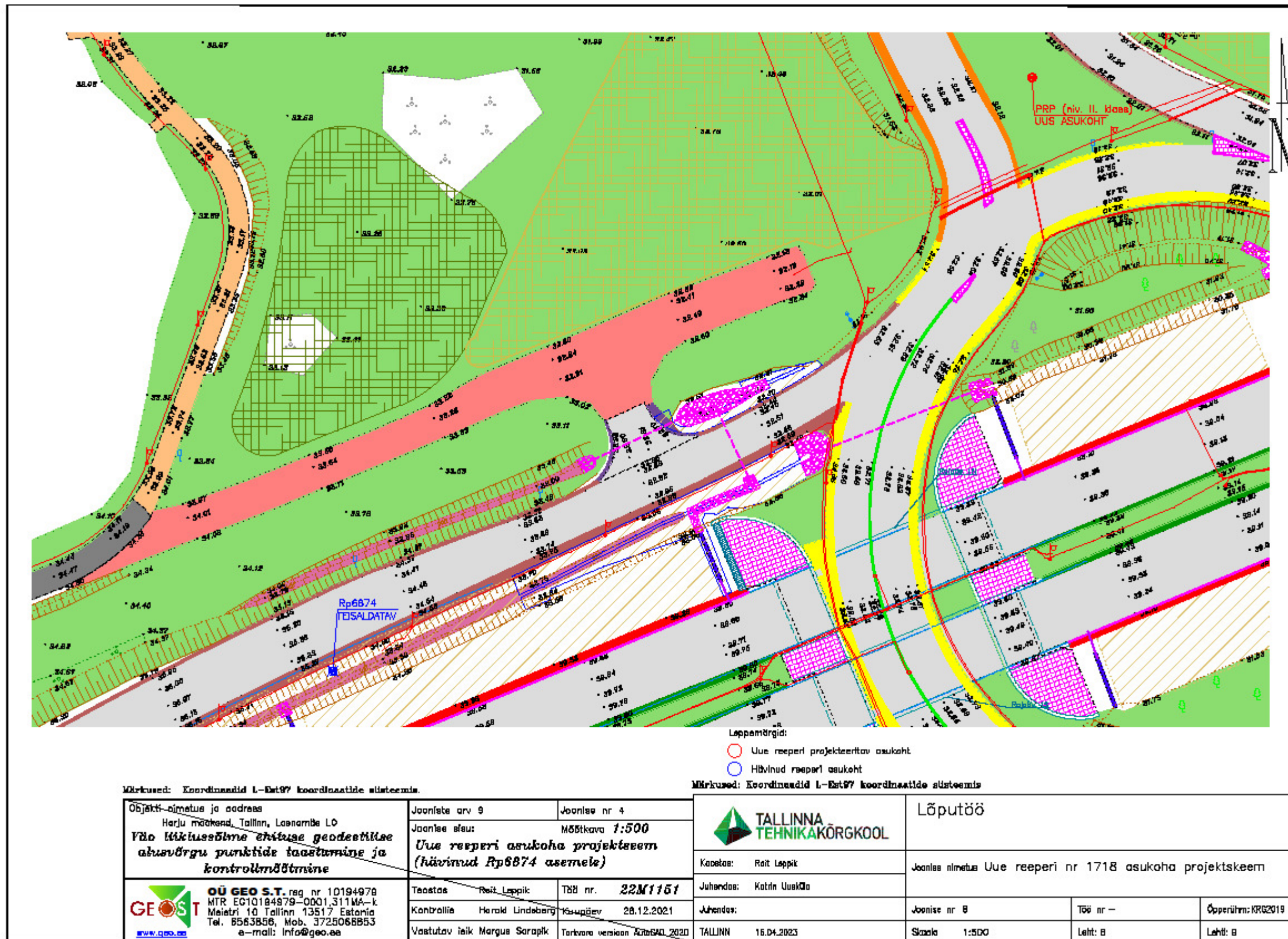
Map Details:

- Scale: 1:1000
- North Arrow: Points North
- Legend: Uue märgi asukoht (New building location), Hävinud asukoht (Existing building location)

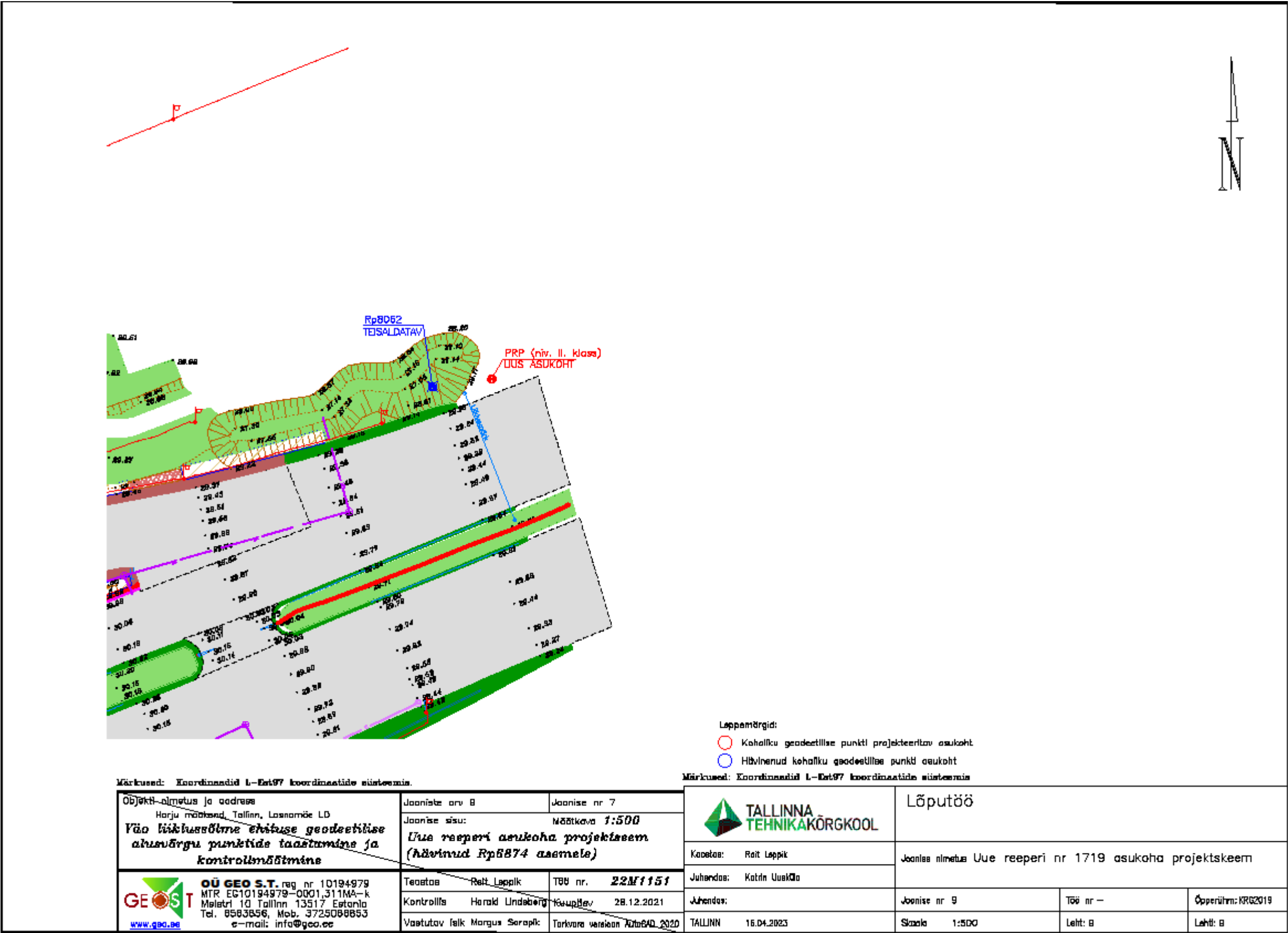
Lisa 11. Uue märgi PP 11007 asukoha projektskeem [18]



Lisa 12. Uue märgi PRP 1718 asukoha projektskeem [18]



Lisa 13. Uue märgi PRP 1719 asukoha projektskeem [18]



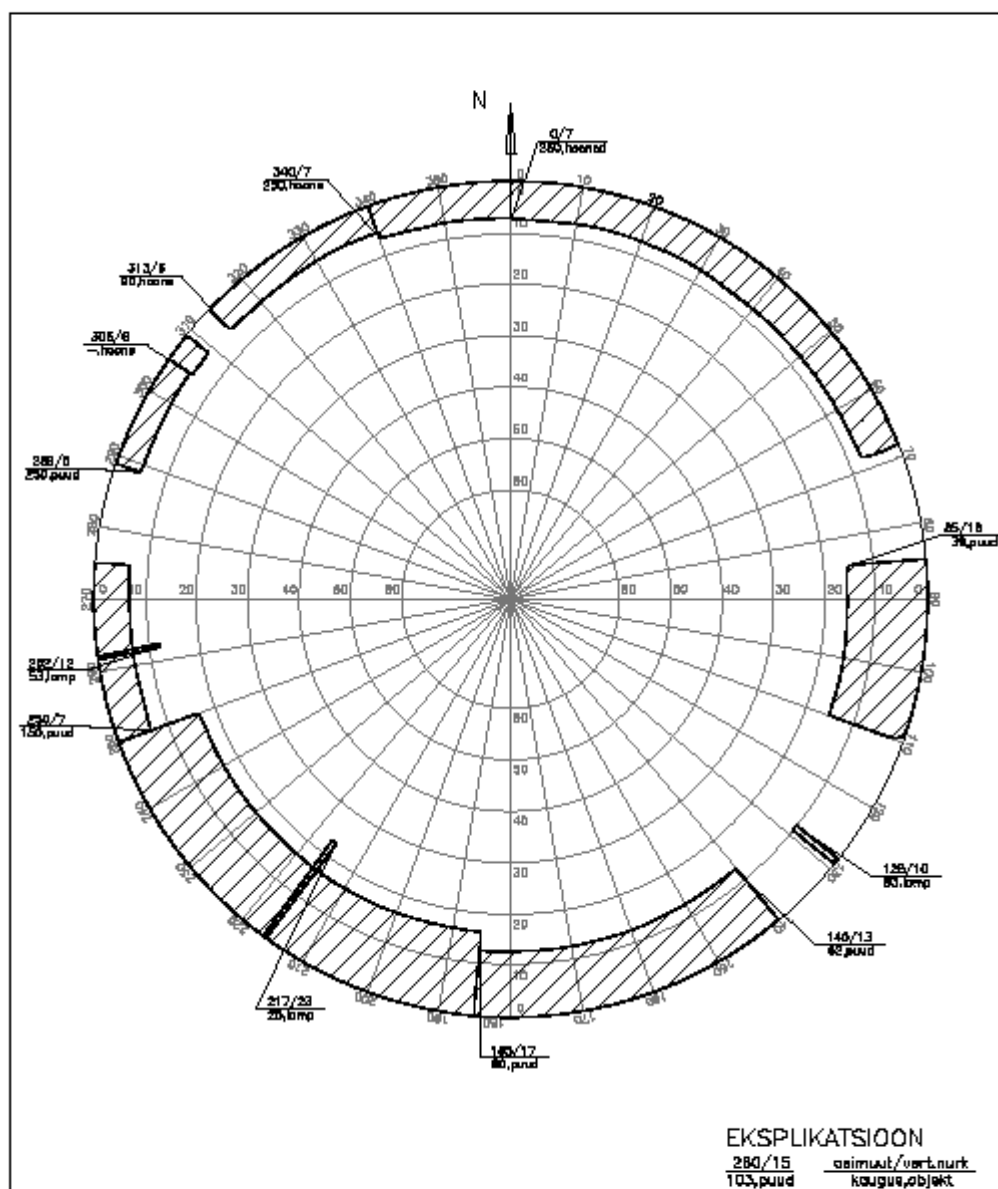
Lisa 14. Uue märgi PP 1101 panoraam

PANORAAM

ID nr: -
 Punkti nr: 11001
 Tsentri nr: -
 Märgi tüüp: -
 Välisvormistus:

Järk: Kohalik võrk, 1. järk
 Tsenter maapinnast: - 0
 Koordinaadid: X= 6589502
 Y= 550651

Asukoha kirjeldus: Harju maakond Tallinna linn Peterburi teest põhjas, soojus-magistraaltrassi juures rohumaal, Ümera tn 22 elamust kagus.



Koostas: Rait Leppik
 Koostatud: 04.2023
 TKTK

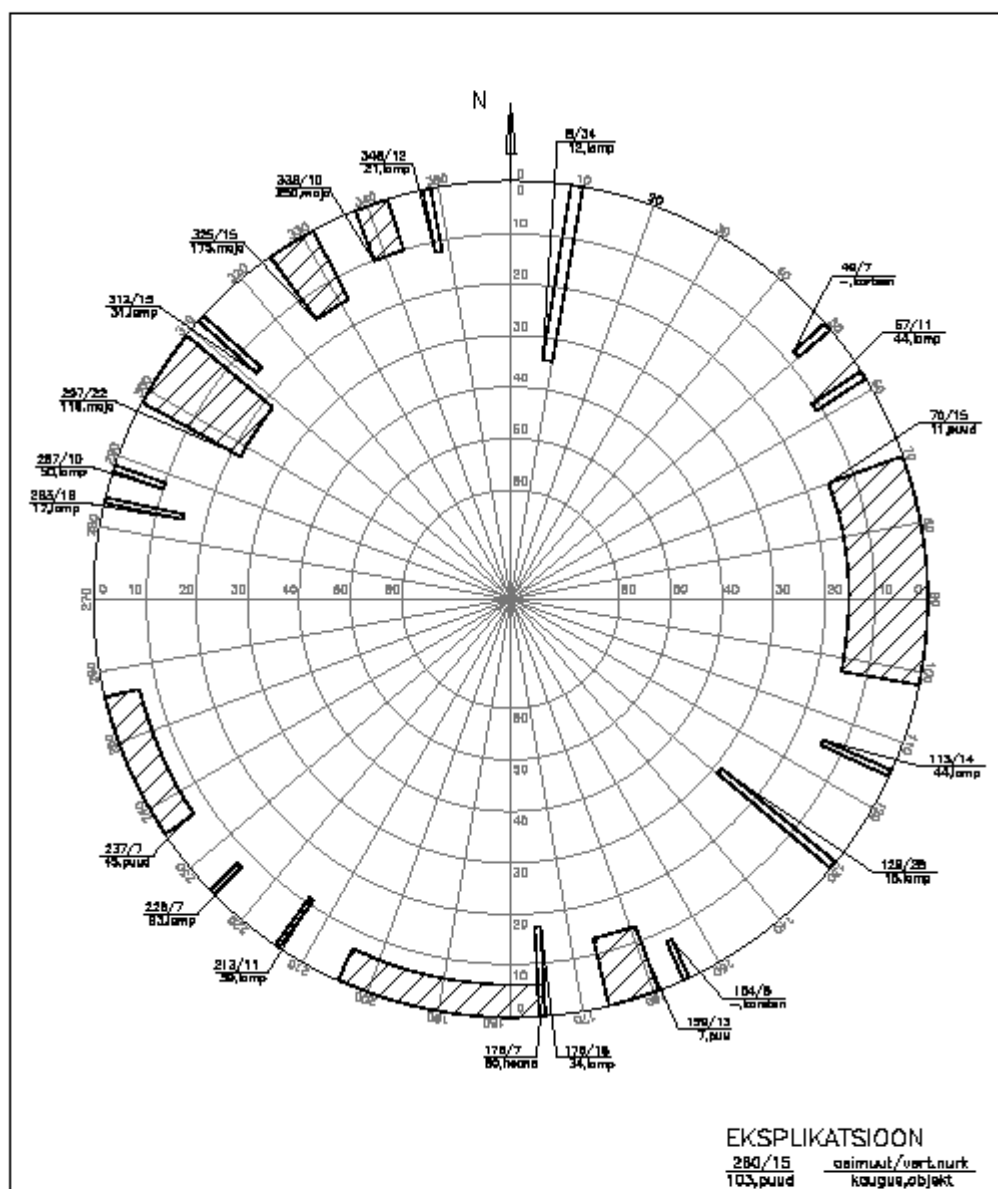
Lisa 15. Uue märgi PP 1103 panoraam

PANORAAM

ID nr: -
 Punkti nr: 11003
 Tsentri nr: -
 Märgi tüüp: -
 Välisvormistus:

Järk: Kohalik võrk, 1. järk
 Tsenter maapinnast: - 0
 Koordinaadid: X= 6589769
 Y= 551247

Asukoha kirjeldus: Harju maakond Tallinna linn Peterburi tee kõrval, Lagedi tee ristmiku vastas, haljasalal.



Koostas: Rait Leppik
 Koostatud: 04.2023
 TKTK