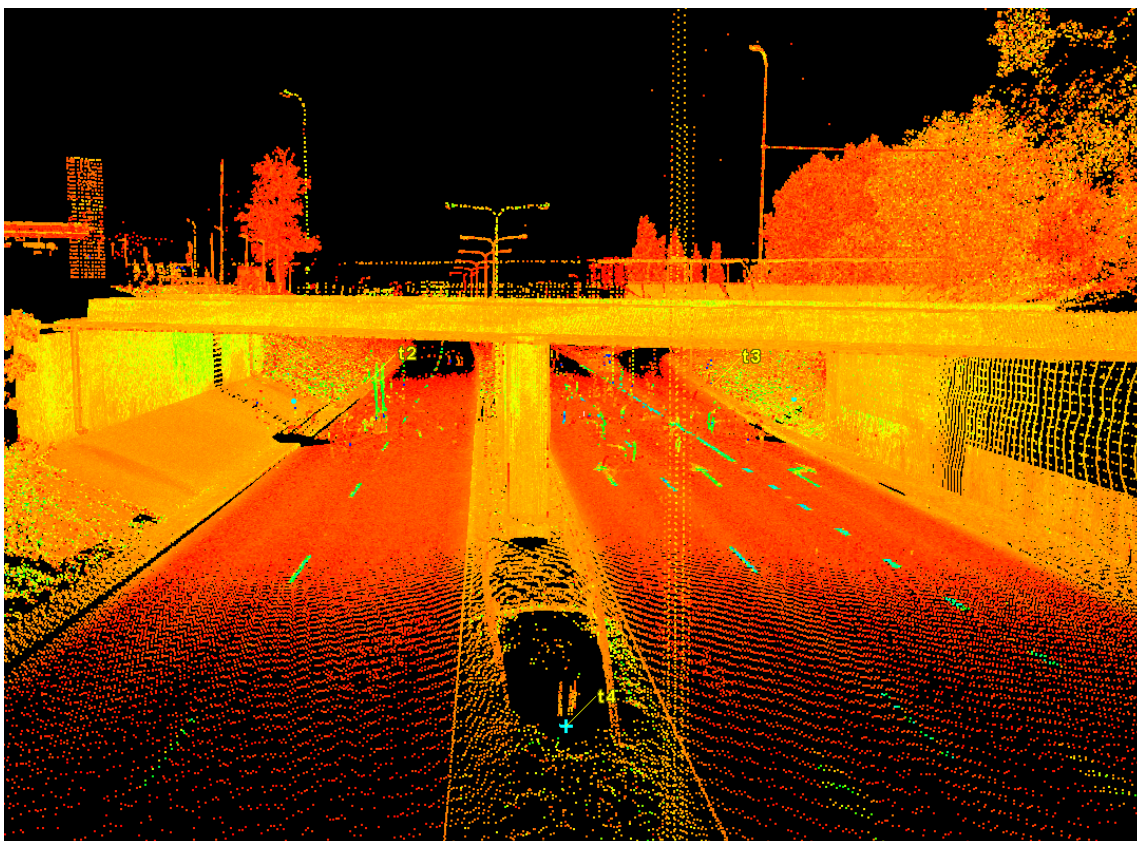


Lisa 11

Terrestriline laserskanneerimine (Suur-Sõjamäe;
Tammsaare tee; Akadeemia tee)

TALLINNAS 3 RISTMIKU DEFORMATSIOONIDE UURINGU 0-TSÜKLI LASERSKANEERIMINE, AUGUST-SEPTEMBER 2015

ARUANNE



Tallinn 2015

Sisukord

1. Sissejuhatus ja lühikokkuvõte.....	3
2. Kasutatud instrumendidjatöövahendid.....	5
2.1. LeicaScanStation C10 terrestriline laserskanner	5
2.2. Trimble S6 robot-tahhümeeter.....	6
2.3. Trimble R8 GNSS vastuvõtja	7
2.4. Trimble DiNi 03 digitaalnivelliir	9
3. Mõõdistamismeetodid	10
3.1. Mõõdistamine Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristmiku alumisel tasandil	12
3.2. Mõõdistamine Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmikul.....	13
3.3. Mõõdistamine Vilde tee ja Akadeemia tee ristmikul	14
4. Andmetöötlus.....	15
5. Üleantavad materjalid.....	16
LISAD	17
Lisa 1. Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumise alumise tasandi pildimaterjal.....	18
Lisa 2. Suur-Sõjamäe pildimaterjal	21
Lisa 3. Vilde tee pildimaterjal	25
Lisa 4. Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumise alumise tasandi lähteandmed ja statistika	26
Lisa 5. Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmiku veahinnang ja statistika	28
Lisa 6. Nivelleerimine	30
1. Mõõtelati materjali joonpaisumisteguri mõju mõõtmistulemustele.....	30
2. Nivelliiri vaatekiire horisontaalsuse kontroll	31
3. Mõõtmiste metoodika.....	32
4. Kindelpunktide kõrguste määramine	32
5. Nivelleerimiskäikude tulemused	33

Käesoleva aruande illustratsioonideks on töötäitjate pildimaterjal ja väljavõtted Maa-ameti Geoportaalist.

1. Sissejuhatus ja lühikokkuvõte

Käesolev aruanne käsitleb Tallinna linna ja lähiümbruse 2015.a. värskest remonditud ristmiketerrestrilise laserskaneerimise null-tsükliga seonduvaid töid. Mõõdistatud ristmikud (3) olid järgnevad:

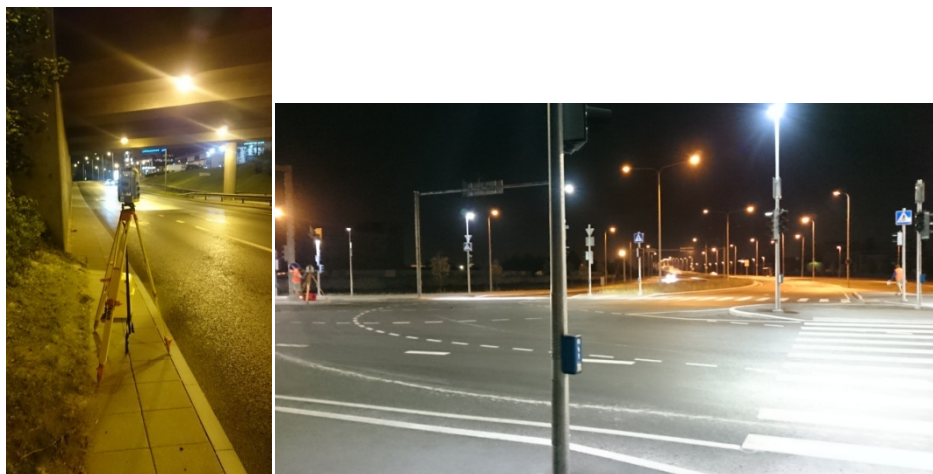
- Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmik
- Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumise alumine tasand
- Akadeemia tee ja Vilde tn. ristmik

Uuringute üldeesmärgiks oli katendi esialgse asendi punkt pilvena koordineerimine uuritavatel ristmikel, et järgnevate kordusmõõtmistega hinnata deformatsioonide (näit. piki- ja ristsuurt) teket, suurust ja ulatust. Ristmikel piirduvad teekatendi uuringud 30...40 meetrini mõlemasse suunda.

Eeldatavalt on tegemist pikaajalise monitooringu nõ. null-tsükliga, seega valiti hoolikalt sobivad referentspunktid, need kindlustati ja koordineeriti. Erilist tähelepanu pöörati mõõdistusandmete kõrgusliku sidumise usaldusväärsusele. Et mõõdistusandmete kõrgused oleksid kõikides tsüklites võrreldavad ja seotavad uue kõrgussüsteemiga¹, siis on käesolevas töös kõrgusmäärangu lähteks võetud sellised reeperid, mis on lülitatud täppisnivelleerimise või linna geodeetilisse võrku. Käesoleva aruande detailsusaste peaks võimaldama deformatsioonide uuringuid tulevikus jätkata vajadusel ka uue põlvkonna mõõdistajatel. Käesolev aruanne keskendub enam mõõdistamisaluse rajamisele ning nn. 0-tsükli mõõdistustulemustele, samas kui järgnevate mõõdistustsüklite aruanded mõõdistustulemuste omavahelisel võrdlusele ja saadud erinevuste analüüsile.

Mõõdistamiseks kasutati terrestrilise laserskaneerimise tehnoloogiat kombineerituna elektron-tahhümeetria, kõrgtäpse nivelleerimise ja GNSS (*Global Navigation Satellite System*) mõõtmistega. Terrestrilise laserskaneerimise ning punktide koordineerimise välitööd viidi läbi augustis-septembris 2015. Terrestrilise laserskaneerimise eesmärgiks oli ristmike jäädvustamine punkt pilvena. Kõrgtäpne nivelleerimine viidi läbi vahemikus 09.-15. september 2015.

25 augusti öösel mõõdistati Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumine ning osa Suur-Sõjamäe ning Smuuli tn. ristmikust, vt joonis 1. 11.09.2015 tehti laserskaneerimine Akadeemia tee ja Vilde tee ristmikul ning järeljäänud osal Suur-Sõjamäe ning Smuuli tn. ristmikust.



Joonis 1. Mõõdistused Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumine (vasakul) ning osa Suur-Sõjamäe ning Smuuli tn. ristmikul (paremal) terrestrilise laserskaneerimise

¹ Mõne aasta pärast toimub Eestis üleminek uuele kõrgussüsteemile. Selle tulemusena määratakse Eesti kõrgusvõrgu reeperitele uued kõrgusväärtused Amsterdamis nulli suhtes. Näiteks Tallinna piirkonnas oleksid seniste reeperite uued kõrgusväärtused 22...23 cm kõrgemad praegustest kataloogiväärtustest (Balti 1977. aasta kõrgussüsteemi Kroonlinna nulli suhtes).

Tööde läbiviimisel lähtuti spetsiaalselt selleks tööks väljatöötatud metoodikast, mõõtmiste ja andmetöötluse põhimõtetest, mida on üksikasjalikult käsitletud käesoleva aruande vastavates jaotistes. Väljatöötatud mõõdistamismetoodika tagas 5 mm mõõtmistäpsuse skaneerimispunktide plaanilisele asendile ja 3 mm täpsuse kõrguslikule asendile. Skaneerimise mõõdistuspunktide ruumiline lahusus seadistati nii, et skaneerimispunktide omavaheline vahemaa ei ületaks mõõdistuspiirkonnas 5 cm, kuid oli enamasti ~1 cm piires (skaneerimisjaamade lähiümbruses ning naaberjaamade ülekattuvuse aladel).

Töös kasutatud laserskanner Leica ScanStation C10, robot-tahhümeeter Trimble S6, GNSS seade Trimble R8, ja litsentseeritud tarkvara Leica Cyclone on soetatud Eesti teaduse infrastruktuuride teekaardi objekti „Eesti Keskkonnaobservatoorium“ (finantseerimisallikas 3.2.0304.11-0395, projekt AR12019) poolt eraldatud vahenditest.

Tähiste ning skaneerimisjaamade kõrguste määramiseks kõrgtäpse nivelleerimisega kasutati digitaalnivelliiri Trimble DiNi03 ja 2 m pikkuseid invarribaga kalibreeritud triipkoodlatte LD12 (edasises tekstis on kasutatud ka lühendit – invarlatt).

Geodeetilised mõõtmised korraldasid TTÜ teedeinstituudi geodeesia õppetooli juhataja professor Artu Ellmann ja nooremteadur Kalev Julge, kes koostasid ka käesoleva aruande. Mõõtmistel osalesid lisaks eelnimetatutele veel Innar Metsala, Nelli Ustinova, Kertu Kisel, Taavi Ermel, Martti Putnik, ja Taavi Limperk. Mõõtmisandmete töötlus viidi läbi 3D punktipilve töötlustarkvaraga Leica Cyclone 9.0 Kalev Julge poolt.

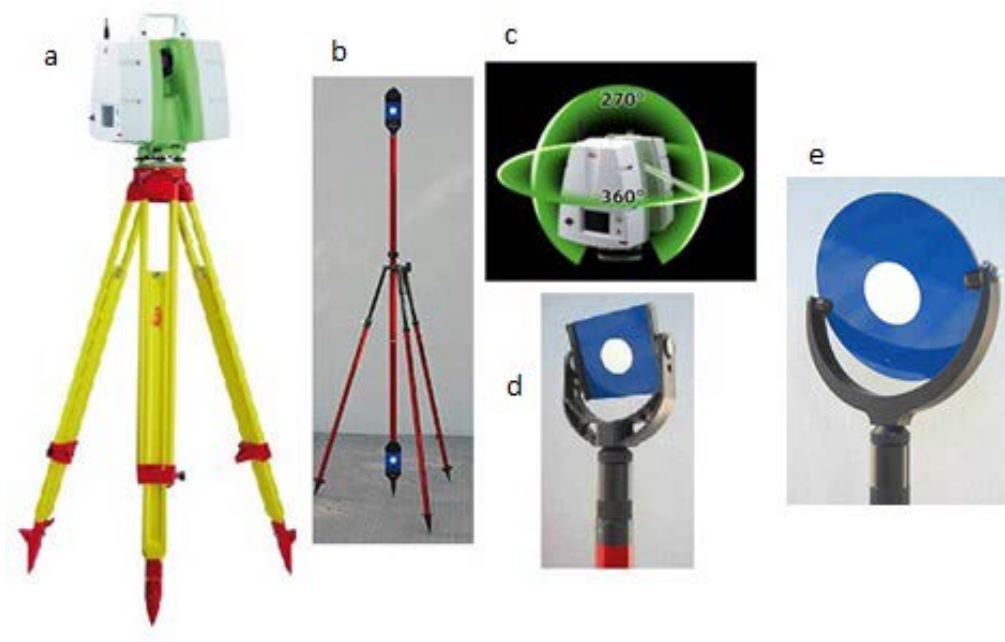
2. Kasutatud instrumendid ja töövahendid

2.1. LeicaScanStation C10 terestiline laserskanner

Mõõtmine sooritati terestilise laserskanneriga (TLS) LeicaScanStation C10 (joonis2a). Kasutatud instrumendi peamised tehnilised spetsifikatsioonid on järgnevad:

- Skaneerimiseulatus alates 0.5-300 m (90% peegeldumiskoefitsiendiga pinnalt)
- Skaneerimise tööpiirkond horisontaalsuunaliselt 360 kraadi, vertikaalsuunaliselt vähemalt 270 kraadi (joonis2c)
- Skaneerimise sagedus vähemalt 50000 Hz (50 000 punktisekundis)
- Lasertäpi läbimõõt mitte suurem kui 7 mm 50 m kaugusel
- Individuaalse skaneerimispunkti kaugusetäpsus 4 mm vähemalt 50 m kaugusel
- Individuaalse punkti 3D asukohamääramise täpsus 6 mm vähemalt 50 m kaugusel
- Punktipilvest statistiline modelleerimise täpsus 2 mm
- Kaheteljelise 2" täpsusega kompensatori olemasolu
- Punktipilve resolutsioon kuni 2x2 cm 100 meetri peale
- Sisseehitatud digitaalne foto- ja videokaamera mõõdistusobjektide välisilme salvestamiseks (zoomi võimalusega), fotokujutise resolutsioon kuni 4 megapiksli, iga pildi ulatus on 17x17 kraadi. Kaamera on kaugusmõõtjaga ko-aksiaalne.
- Tähiste mõõtmise täpsus vähemalt 2 mm 50 m vahemaale

Erinevate skaneeringute ühendamiseks kasutati spetsiaalsed tähiseid (joonis 2b, 2d ja 2e), mille keskpunkt määrati spetsiaalsest tihedast skaneeringust automaatselt. Kahe tähisega „twin target“ (joonis 2b) alumise tähise kõrgus maapinnast on 0,2 m ja ülemise tähise kõrgus 1,9 m. Andmetöötluseks kasutati peamiselt tarkvarapaketti Cyclone.



Joonis2. Laserskanner(a), „twin-target“ tähis (b), 3 tolline tähis (d), 6 tolline tähis (e) ning laserskanneri mõõtmisulatus (c)

2.2. Trimble S6 robot-tahhümeeter

Kindelpunktide koordineerimiseks kasutati elektrontahhümeetrit Trimble S6 koos vajalike mõõtetarvikutega (joonis 3a). Tahhümeetri tehnilised näitajad on järgmised:

- Vertikaal- ja horisontaalnurga mõõtmise täpsus (standardhälve vastavalt DIN 18723) 2"
- Kaheteljeline automaatne horisontaalsuse kompenseerimine täpsusega 0,5" ning ulatusega 5,4'.
- Kauguse mõõtmise täpsus (ruutkeskmise viga) prismaga mõõtes 2 mm + 2 ppm ning laserkiirega mõõtes samuti 2 mm + 2 ppm
- Mõõteaeg prismale (joonis 5b, 5c ja 5d) mõõtes 1,2 s ning laserkiirega mõõtes 1-5 s
- Mõõteulatus prismale mõõtes kuni 2500 m, laserkiirega mõõtes kuni 1300 m (peegelduvusel 90 %), kiirega betoonile mõõtes 600-800 m
- Laserkiire hajumine horisontaalsuunas 4 cm/100 m ning vertikaalsuunas 8cm/100 m
- Optiline suurendus 30 kordne
- Fookuskauguse vahemik: 1,5 m kuni lõpmatuseni
- Servomootoriga, automaatse pööramisega
- Kaal: 5,25 kg
- Töötemperatuuride vahemik: -20 °C kuni +50 °C
- Tolmu- ja veekindlus: IP66



Joonis 3. Elektrontahhümeeter Trimble S6 (a) koos prismadega: 360° prisma (b), miniprisma (c), käiguprisma (d)

2.3. Trimble R8 GNSS vastuvõtja

Plaaniliste koordinaatide määramiseks kasutati GNSS (Global Navigation Satellite System) vastuvõtjaga Trimble R8 (joonis 4) mõõdistatud baaspunkte. GNSS seadme tehnilised näitajad on järgmised:



Joonis 4. Trimble R8 GNSS vastuvõtja ja TSC3 kontrollerr

Mõõtmistäpsus:

- Kõrge täpsusega Static tüüpi GNSS maamõõtmine
Horisontaalne.....3 mm + 0,1 ppm RMS
Vertikaalne.....3,5 mm + 0,4 ppm RMS
- Static and FastStatic tüüpi maamõõtmine
Horisontaalne.....3 mm + 0,5 ppm RMS
Vertikaalne.....5 mm + 0,5 ppm RMS
- RTK (reaalajas kinemaatiline) maamõõtmine (üks baasjoon <30 km)
Horisontaalne.....8 mm + 1 ppm RMS
Vertikaalne.....15 mm + 1 ppm RMS
- Võrgupõhine RTK maamõõtmine
Horisontaalne.....8 mm + 0,5 ppm RMS
Vertikaalne.....15 mm + 0,5 ppm RMS
- Samaaegselt jälgitavad satelliidisignaaliid:
 - GPS: L1C/A, L2C, L2E (Trimble meetod L2P jälgimiseks), L5
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A (ainult GLONASS M), L2P
 - SBAS: L1C/A, L5
 - Galileo GIOVE-A ja GIOVE-B
- Initsialiseerimise aeg - tavaliselt <8 sekundit
- Initsialiseerimise usaldusväärsus - tavaliselt >99,9%
- Mõõtmed (laius × kõrgus) - 19 cm × 11,2 cm (koos ühendustega)
- Kaal - 1,34 kg (koos sisemise akuga, sisemise raadioga, standardse UHF antenniga)
3,70 kg (kogu RTK liikurseade koos akudega, mõõtemastiga ja kontrollerriga)
- Töötemperatuur: –40°C kuni +65°C
- Hoiutemperatuur: –40°C kuni +75°C
- Vee/tolmukindlus: IP67 tolmuindel, kannatab ajutist veesviibimist kuni 1minut
- Välise mobiiltelefoni ühendamise võimalus GSM/GPRS/CDPD modemite kasutamiseks RTK ja VRS toimingutes

Reaalajaliseks RTK-GNSS mõõtmisteks kasutati Trimble VRS Now püsijaamade võrgu teenust (joonis 5). Mõõdistusaladele lähim püsijaam asub Nõmmel, umbes 14 km kaugusel kaugeimast ristmikust. 1 PPM-le vastab seega teoreetiliselt umbes 14 mm, millest tulenevalt on RTK arvestuslik mõõtmistäpsus ainult ühe baasjoone puhul horisontaalsuunas 22 mm ja vertikaalsuunas 29 mm ning VRS Now võrgupõhisel mõõtmisel vastavalt 15 mm ja 22 mm. Tegelikuses osutus kontrollpunktidega võrdlemisel GNSS mõõtmistulemuste kokkulangevus arvestuslikust paremaks.



Joonis 5. Trimble VRS Now püsijaamad võrk Eestis (allikas: www.vrsnow.ee)

GNSS seadmega määrati igal mõõdistatud ristmikul ühe baasjoone mõlema otspunkti koordinaadid 60 epohhi (60 sec) väldanud RTK vaatlustest. Seejärel tsentreeriti tahhümeeter ühele baasi otspunktile ja orienteeriti baasi teise otspunktile, sisendväärtusena kasutades selle arvutuslikku direktsiooninurka. Tahhümeetriga mõõdistati ühe täisvõttega (ring vasakul ja ring paremal) kõikide ülejäänud kindelpunktide plaanilised koordinaadid, s.h. mõõdeti uued koordinaadid ka baasi teisele otspunktile. Kuna tahhümeetrilised mõõtmised on lühikeste vahemaade puhul täpsemad kui GNSS mõõtmised, siis tagas selline lähenemine suurema suhtelise täpsuse kindelpunktide koordinaatide määramisel.

2.4. Trimble DiNi 03 digitaalnivelliir

Nivelleerimisel kasutati digitaalnivelliiri Trimble DiNi03 (seerianumber 730171), mis on kujutatud joonisel 6.

Nivelleerimiskomplekti kuulus:

- Trimble nivelliir DiNi03 ja 1 statiiv
- 2 invarlatti LD12 (2 m pikkused)
- 2 latituge Seco



Joonis 6. Nivelleerimisel kasutatud digitaalnivelliir Trimble DiNi03 (esiplaanil) koos kasutatud invarlatiga (tagaplaanil)

Digitaalnivelliiri Trimble DiNi03 peamised tehnilised spetsifikatsioonid on järgnevad:

- Täpsus (DIN 18723 kohaselt):
 - 1 km edasi-tagasisuunalise nivelleerimiskäigu kõrguskasv ± 0.3 mm
 - Vahemaade mõõtmise ca' ± 2 cm
- Väikseim mõõtetühik:
 - kõrguskasvud 0.01 mm
 - vahemaad 1 mm
- Pikksilma suurendus: 30×
- Kompensaator (vaatekiire horisontaalsuse tagamiseks):
 - horisonteerimistäpsus $\pm 0.2''$
 - tööpiirkond ca $\pm 15'$ kaareminutit
- Vajalik latikujutise vahemik latilugemi võtmisel: 30 cm

Komplektis Trimble DiNi03 nivelliiriga kasutati täppisnivelleerimiseks kahte 2 m pikkust invarribaga koodlatti LD12 (vt. joonis 6) seerianumbritega 037800 ja 037648.

Invarlattice tootjafirmaks on NEDO GmbH ning valmistatud on need Trimble standardi kohaselt. Latilugemite võtmisel tagati latitugede (mark Seco) ning latile kinnitatud kahe ümarvesiloodi (skaalajaotis 12' kaareminutit) abiga invarlattice vertikaalsus.

Iga invarlati ümarvesiloodi telje paralleelsust latiga kontrolliti ja justeeriti kahe teodoliidi abil enne välitööde algust. Invarlattice transportimisel tööobjektile kasutati spetsiaalset transporditaarat, mis kaitseb raputuste ja löökide eest, vt. joonis 7.



Joonis 7. Plastikust transporditaara, millesse sisestamisel invarlatid ka polsterdati.

Nivelliiri alusena (sarnaselt TLS seadmele ning elektron-tahhümeetrile) kasutati puidust standardstatiivi, mille jalgade pikkust saab kruvikinnitustega reguleerida.

Nivelleerimise meetodikat on detailsemalt kirjeldatud lisas 11.

3. Mõõdistamismeetodid

Terrestriline laserskaneerimine sooritati laserskanneriga Leica ScanStation C10. Mõõtmisteks valiti TLS seisupunktid (jaamad) nii, et neist oleks näha võimalikult suur osa mõõdistatavast bussipeatusest. Instrument seadistati maapinnast u. 1.8 m kõrgusele. Erinevatest jaamadest (ja järgnevates mõõtetsüklites) mõõdistatavate punktipilvede ühendamiseks kasutati spetsiaalseid tähiseid (joonis 8), mis mõõdistati tiheskaneerimisega. Nii TLS jaamade kui ka tähiste asukohad kindlustati 3 cm pikkuste asfaldinaeltega (edaspidi nimetatud kindelpunktid) ja ümbritseti neonroosa sõõriga, vt joonis 8. Kindelpunktid nummerdati järgmise põhimõtte alusel: Kesklinnast eemalduval liiklusuunal kaugeima tähise kindelpunktile omistati tähistus t1, järgnevad tähised nummerdati kellaosuti liikumise suunas (t2, t3 jne), TLS-jaamade asukohad (s1, s2 jne) on tähistatud üldreeglina vastavalt skaneerimise läbiviimise järjekorrale.



Joonis 8. „Twin Target“ tähis paigutatuna koordineeritud asfaldinaelale kõnnitees.

Naaberpunktipilvede ühendamiseks (aga ka võrdlemaks järgnevate mõõdistustsükli andmetega) on vaja, et igas jaamas paistaks vähemalt kaks tähist, mis on skaneeritud veel mõnest teisest jaamast või mõnel muul meetodil koordineeritud. Robot-tahhümeetri ja GNSS seadme abil määrati kindelpunktide plaanilised koordinaadid, kõrgused määrati täppisnivelleerimisega.

Kindelpunktide koordineerimine toimus järgmiselt:

- GNSS seadmega 2 m pikkuse sauva otsas sooritati kahel kindelpunktil 60 epohhi (60 sec) väldanud RTK vaatlused. Need punktid on GNSS baasjoone otspunktid.
- Tahhümeetrise sisestati GNSS mõõtmistest saadud punktide koordinaadid.
- Tahhümeeter tsentreeriti ühele GNSS baasjoone otspunktile ja orienteeriti kasutades punkti GNSS-põhist direktsioonnurka teisele baasi otspunktile.
- Tahhümeetriga mõõdistati ülejäänud kindelpunktide plaanilised koordinaadid. Kusjuures uued koordinaadid mõõdeti ka orienteerimiseks kasutatud baasi otspunktile (erinevused on toodud lisades statistika tabelites märkuse „GNSS“ järel, vt lisad 4, 5). Punktile, mille kohale oli tsentreeritud tahhümeeter jäid kasutusele GNSS seadmega määratud koordinaadid. Viseerimisel kasutati AutoLock funktsiooni ehk automaatset prisma tuvastamist. Kasutati miniprismat (const -18mm), loodiseatud prisma kõrgus kindelpunktile asetatavast teravikust oli reeglina 10 cm.
- Kõikide kindelpunktide kõrgused leiti vahevaadetena nivelleerimise teel lähtudes läheduses paiknevatest reeperitest või nivelleerimiskäigu sidepunktidest.
- Järgnevate mõõtmistsükli ajal paigutatakse skaneerimisjaam täpselt samasse asukohta (tsentreerides asfaldis oleva kindelpunkti kohale).

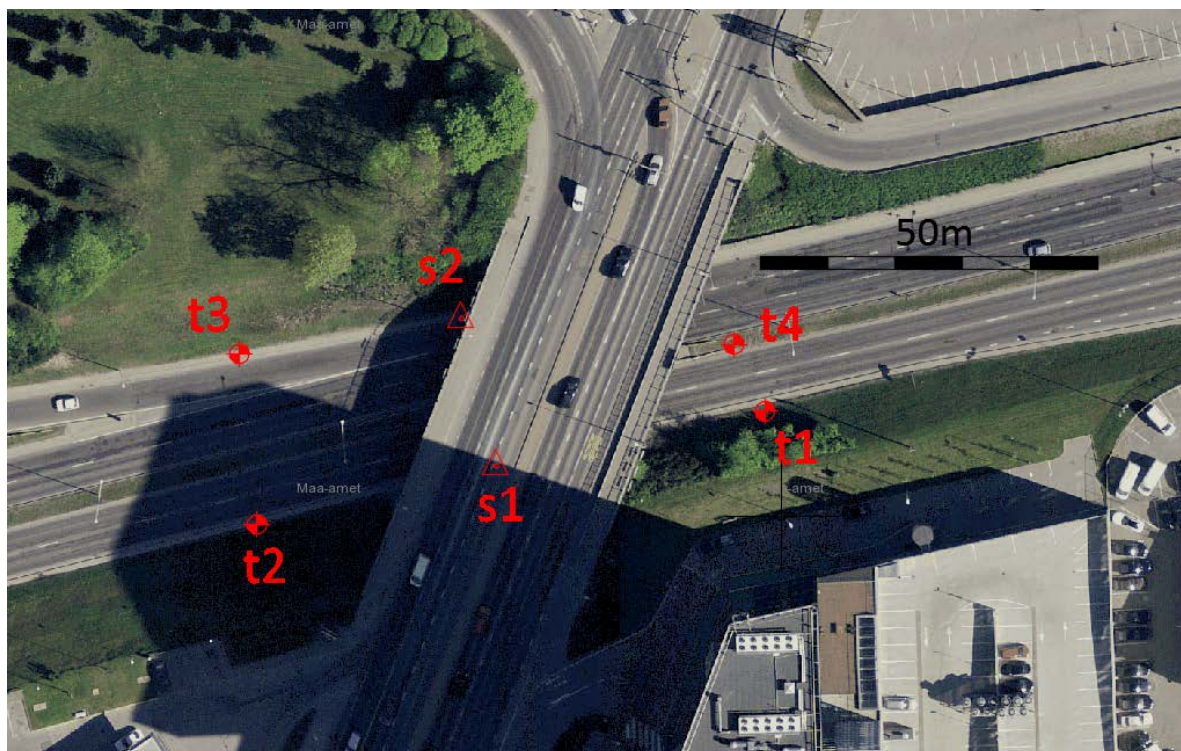
Erinevad jaamad seoti omavahel kasutades koordineeritud skaneerimistähiste süsteemi. Skaneerimisjaamade orienteerimine ja koordinaatide määramine toimus neljaparametrilise transformatsiooniga vastulõike meetodil kasutades vähemalt nelja tähist paigaldatuna tuntud koordinaatidega/kõrgustega punktile.

Et ruumiandmete kõrguslik täpsus on antud töö puhul ülioluline, siis kirjeldatakse detailsemalt kõrgtäpse nivelleerimise käiguna (edasi-tagasi) rajamisel järgitud põhimõtteid lisas 6.

3.1. Mõõdistamine Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristmiku alumisel tasandil

Tallinnas Mustamäe LO-s paiknev Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumise alumine tasand skaneeriti 25.08.2015 öötundidel. Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristmiku laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisas 1.

Mõõtmine sooritati kahest jaamast (s1, s2), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Mõõdistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 60 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku Tammsaare tee põhisuundadel u. 40-50 meetri ulatuses. Jaama ja tähiste paiknemise skeem on toodud joonisel 9. Kindelpunktide ja jaama koordinaadid on toodud tabelis 1.



Joonis 9. Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristmiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht (viadukti all), ringid – kindelpunktid. GNSS baasjoone otspunktid on t1 ja t2. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 1. Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristmiku tähiste ja jaamade koordinaatide/kõrguste tabel

Nr	Ristkoordinaadid L-EST97		Kõrgused BK77
	E	N	H
t1	541487.584	6585238.415	28.871
t2	541412.149	6585221.622	27.983
t3	541409.560	6585246.931	27.852
t4	541482.962	6585248.340	28.717
s1	541447.690	6585230.330	28.127
s2	541442.520	6585252.200	28.049

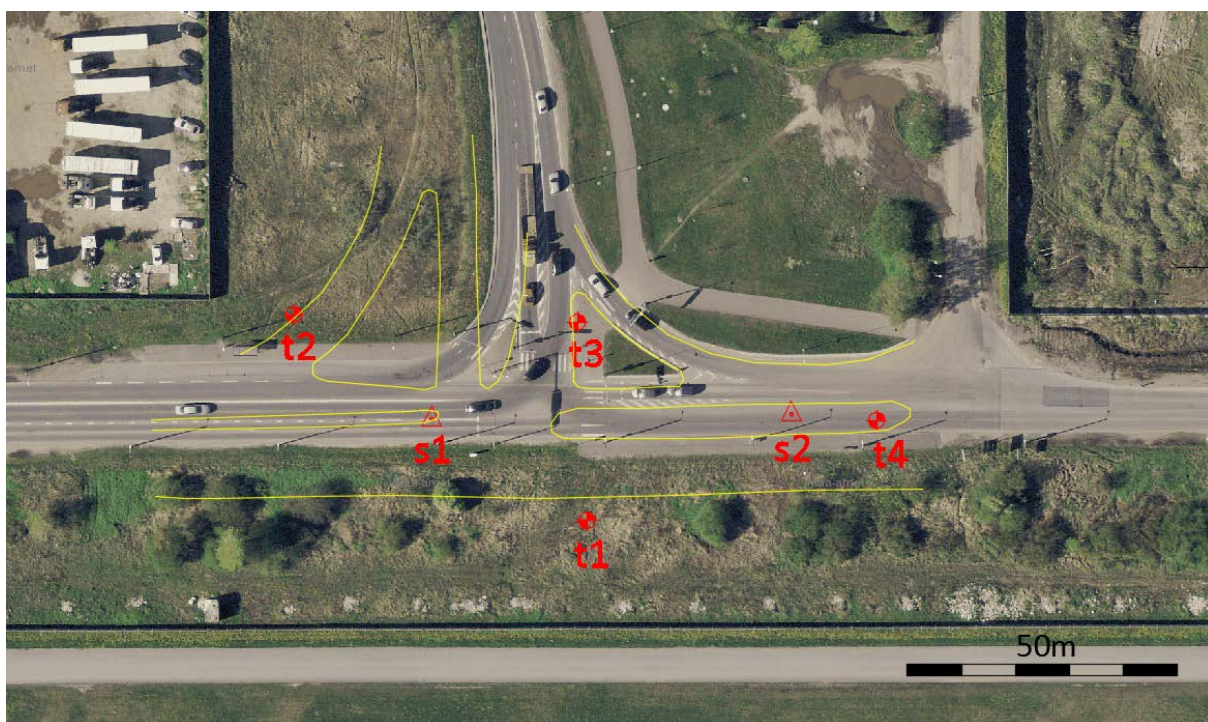
Mõõdistuse sidumiseks L-EST97 plaanilise koordinaatsüsteemiga kasutati GNSS seadmega mõõdetud baaspunkte. Kõrgussüsteemi BK77 absoluutkõrguste määramiseks kasutati lähtena reeperit SR8735 (kuulub Tallinna 1. klassi nivelleerimisvõrku, lisas 4 esitatud kõrgusväärtus pärineb Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasist, seisuga 09.09.2015). Tahhümeetriga Trimble S6-ga määrati (statiivilt) tähisepunkti t2 kõrguskasv kahe täisvõttega nivelleeritud punkti T065 suhtes.

3.2. Mõõdistamine Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmikul

Tallinnas Lasnamäe LO-s paiknev Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmikust osa skaneeriti 25. augusti öötundidel peale fooride välja lülitamist. Järelejäänud osa ristmikust skaneeriti 11.09.2015 Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmiku laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisa 2.

Mõõtmine sooritati kahest jaamast (s1, s2), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Mõõdistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 60 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku Suur-Sõjamäe tee põhisuundadel u. 30-40 meetri ulatuses. Mõõdistusalasse jäi ka erikonstruktsiooniga kaev, mille ümbruse sektor mõõdeti tihedusega 5x5cm, kaugusel 25m (vt lisa 2).

Jaama ja tähiste paiknemise skeem on toodud joonisel 10. Kindelpunktide ja jaama koordinaadid on toodud tabelis 2.



Joonis 10. Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht, ringid – kindelpunktid. GNSS baasjoone otspunktid on t1 ja t2. Ortofoto on tehtud enne ristmiku ümberehitust. Kollaste joontega on peale kantud tee kontuurid peale ümberehitust. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 2. Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmiku tähiste ja jaamade koordinaatide/kõrguste tabel

Nr	Ristkoordinaadid L-EST97		Kõrgused BK77
	E	N	H
t1 Ühtlasi P3	547986.470	6586715.743	40.694
t2	547932.174	6586753.854	40.587
t3	547984.702	6586752.459	40.972
t4	548040.089	6586734.301	40.848
s1	547957.773	6586734.478	40.957
s2	548024.416	6586735.383	40.952

Skaneerimistähisena t1 oli valitud olemasolev asfaldinael (ilmselt ristmiku ehitamise ajal

kasutusel olnud geodeetiline punkt), mille markeering asfaldil oli p3, vt joonis 11. See punkt oli kasutusel ka kõrgusmäärangu ajutise reeperina, vt jaotis 6.



Joonis 11. Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmiku laserskaneerimise tähis t1 (olemasolev asfaldinael).

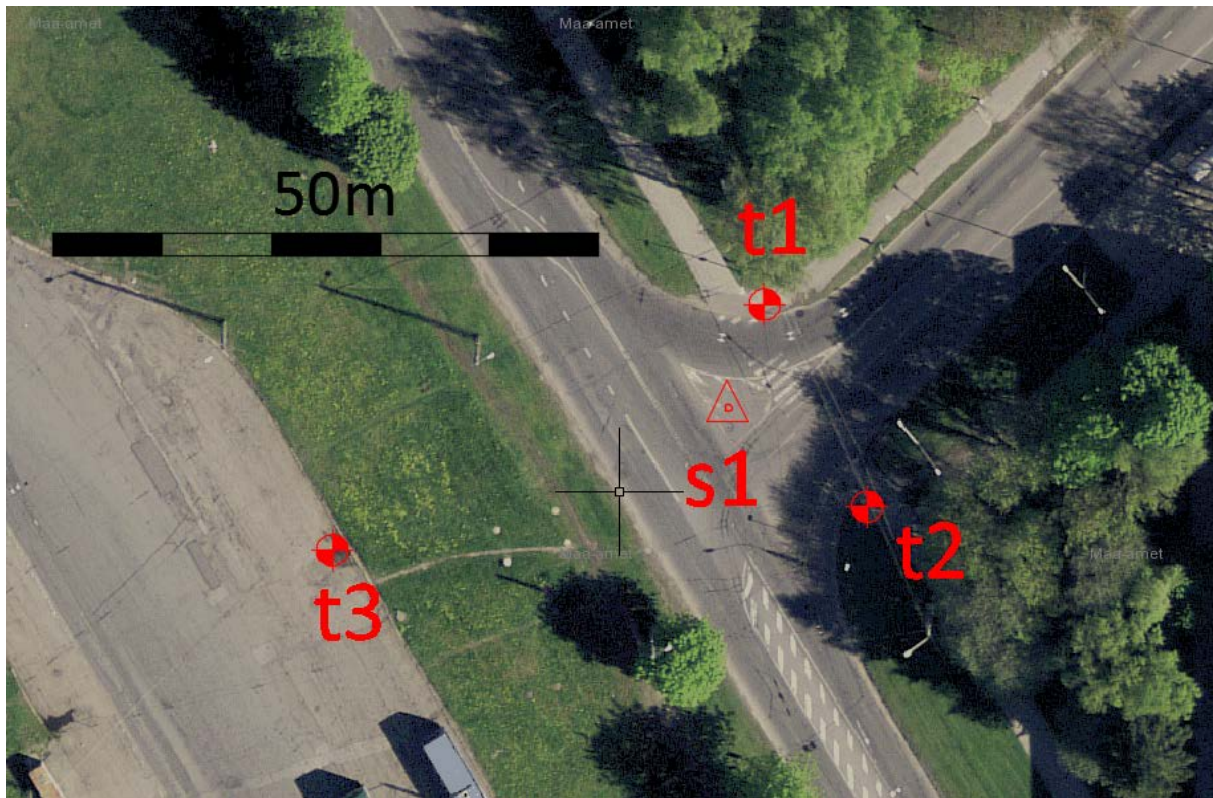
Mõõdistuse sidumiseks L-EST97 plaanilise koordinaatsüsteemiga kasutati GNSS seadmega mõõdetud baaspunkte. Kõrgussüsteemi BK77 absoluutkõrguste määramiseks kasutati lähtena reeperit PR8038 (kuulub Tallinna 1. klassi nivelleerimisvõrku, lisas 5 esitatud kõrgusväärtus pärineb Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasist, seisuga 09.09.2015).

3.3. Mõõdistamine Vilde tee ja Akadeemia tee ristmikul

Tallinnas Mustamäe LO-s paiknev Vilde tee ja Akadeemia tee ristmik skaneeriti 11. septembri 2015keskpäeval. Vilde tee ja Akadeemia tee ristmiku laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisas 3.

Mõõtmine sooritati ühest jaamast (s1), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Mõõdistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 50 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku põhisuundadel u. 40-50 meetri ulatuses.

Jaama ja tähiste paiknemise skeem on toodud joonisel 12. Kindelpunktide ja ainukese skaneerimisjaama koordinaadid on toodud tabelis 3. Antud juhul on määratud ainult (mõõdistussensori keskme) lokaalsed koordinaadid.



Joonis 12. Vilde tee ja Akadeemia tee ristmiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht, ringid – kindelpunktid. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 3. Vilde tee ja Akadeemia tee ristmiku kindelpunktide ja jaamade koordinaatide ja kõrguste tabel

Nr	Lokaalsed koordinaadid		
	x	y	z
t1	-12.145	-3.057	-1.969
t2	-6.801	18.668	-1.748
t3	35.739	-3.988	0.294
s1	0	0	0

4. Andmetöötlus

Andmetöötluse tööjärjekord oli kokkuvõtvalt järgmine:

- Andmesiire instrumentidest töötlusprogrammidesse
- Kindelpunktide koordinaatide leidmine ja süstematiseerimine
- Andmete transformeerimine L-EST koordinaatsüsteemi ja BK77 kõrgussüsteemi
- Skaneerimisandmete liitmine ühtseks punktipilveks
- Punktipilve puhastamine kõrvalistest andmetest
- Näidisristprofiilide moodustamine

Skaneerimisandmete esialgseks töötluseks kasutati 3D punktipilve töötlustarkvara Cyclone 9.0. Kindelpunktide koordinaate kasutades registreeriti punktipilv ühtseks tervikuks ja transformeeriti esialgsed skanneri koordinaadid (koordinaatide alguspunkt skanneri peegli tsentris) ümber L-EST koordinaatsüsteemi ja BK77 kõrgussüsteemi ning leiti registreerimise veahinnangud. Pilvede ühendamise keskmised vead olid enamasti alla 5 mm.

Seejärel puhastati punktipilv ebavajalikest punktidest (möödistusalast väljapoole jäävad punktid, liikuvatest autodest ja inimestest peegeldunud punktid). Tellijale üleandmiseks hõrendati punktipilve keskmise ruumilise lahutuse 5 cm ja 10 cm ja salvestati ASCII formaati. ASCII formaat sisaldab punktide x, y, z koordinaati ja intensiivsust (veergude järjestus xyzi). See on vajalik andmete kuvamiseks joonestus- ja GIS-programmides, mis ei ole mõeldud spetsiaalselt punktipilvede töötlemiseks (näiteks AutoCad Civil, ArcMap jne). TTÜ teedeinstituudis kasutatavad litsentseeritud programmid Cyclone ja 3DReshaper ei nõua olulist hõrendamist, kuna suudavad töödelda ka suuri punktipilvi.

Toorandmete ja andmetöötluse käigus puhastatud punktipilvede joonised on toodud lisas 1-3. Andmetöötluse statistika ja veahinnangud on toodud lisades 4, 5. Tabelis 4 on toodud mõõdetud punktide arvud ja registreerimise veahinnangud.

Tabel 4. Kasulike* skaneerimispunktide arvud ja registreerimise veahinnangud

Objekt	Skaneerimis-punktide arv	Registreerimise veahinnang	
		Keskmine viga (mm)	Max. viga (mm)
Tammsaare	9 298 546	2	3
Suur-Sõjamäe	15 367 278	2	4
Vilde tee	6 429 086	-	-

* Katendile mõõdetud punktid.

5. Üleantavad materjalid

Tellijale edastatakse:

- Tööde teostamise aruanne, mis sisaldab tööde teostamise kirjeldust ja saavutatud tulemuste täpsushinnanguid.
- Punktipilved hõrendatuna keskmise ruumilise lahutuse 10 cm ja 5 cm ASCII formaadis (faililaiend .txt, sisaldab punktide x, y, z koordinaate ja intensiivsust) ning võrgustatud pinnad LandXML formaadis (faililaiend .xml) CD-plaadil kahes eksemplaris. Faili sisu kajastub üle antavate failide nimedes.
 - Ristmik_Tammsaare_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Tammsaare_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Tammsaare.xml
 - Ristmik_Sojamae_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Sojamae_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Sojamae.xml
 - Ristmik_Vilde_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Vilde_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Vilde.xml

Möödistusandmed säilitatakse süstematiseerituna TTÜ teedeinstituudi geodeesia õppetooli arvutites, osapooltel võimaldatakse nendele ligipääs.

Möötmiste tsükkel	Möötmiste aeg	Toorandmete failinimetused	Faili suurus
0-tsükkel	August 2015	Tammsaare_S15	1136 MB
	August 2015	Sojamae_S15	1435 MB
	September 2015	Vildetee_S15	598 MB

LISAD

Lisa 1. Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumise alumise tasandi pildimaterjal

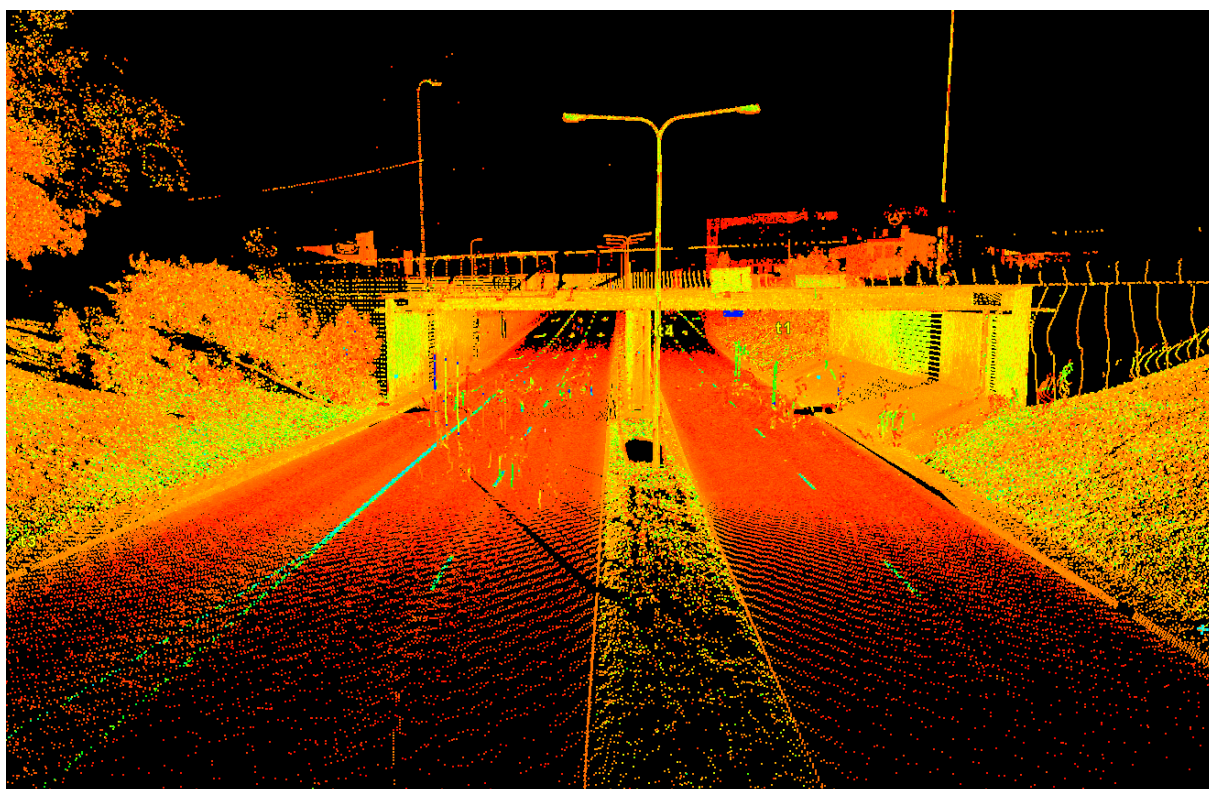
Vaade Mustamäe poolt (enne viadukti)



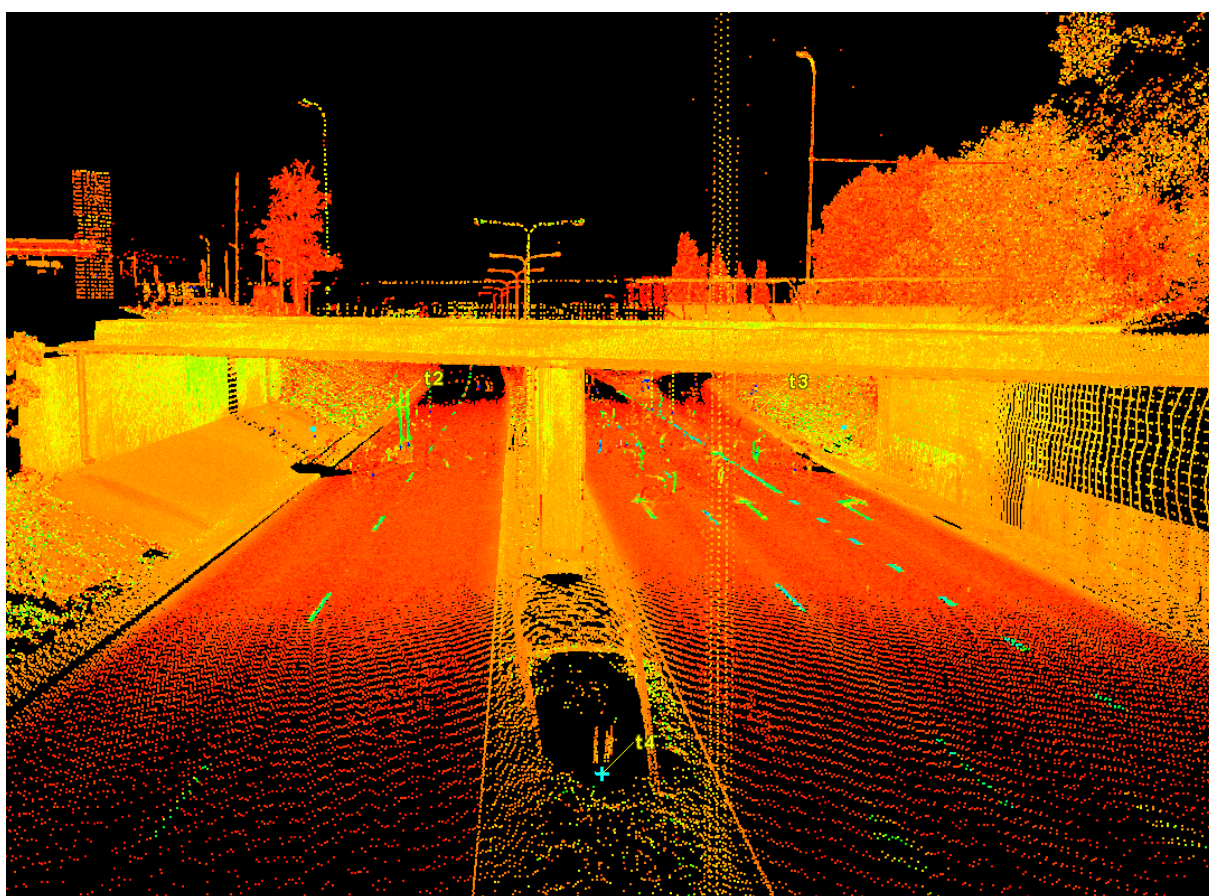
Vaade Mustamäe poolt (viadukti alt)



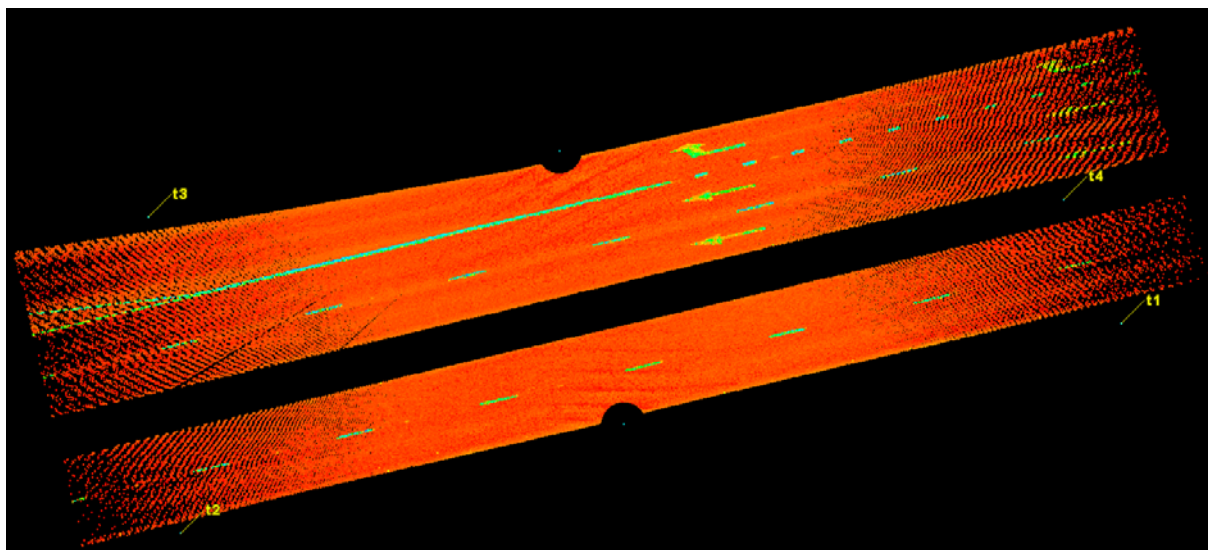
Toorandmed, vaade Mustamäe poolt



Toorandmed, vaade Mustamäe poole



Puhastatud punktipilv, Mustamäe on vasakul



Lisa 2. Suur-Sõjamäe pildimaterjal

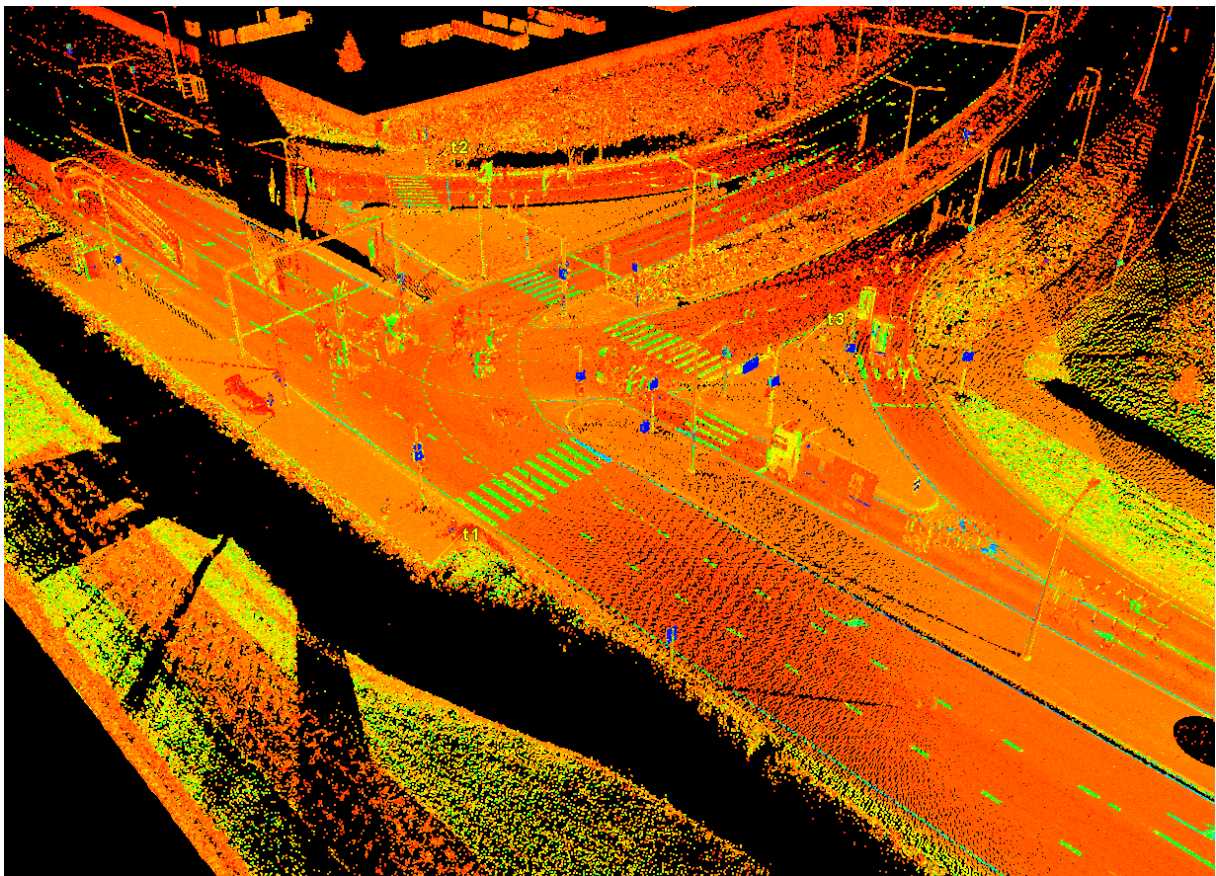
Vaade Ülemiste poole



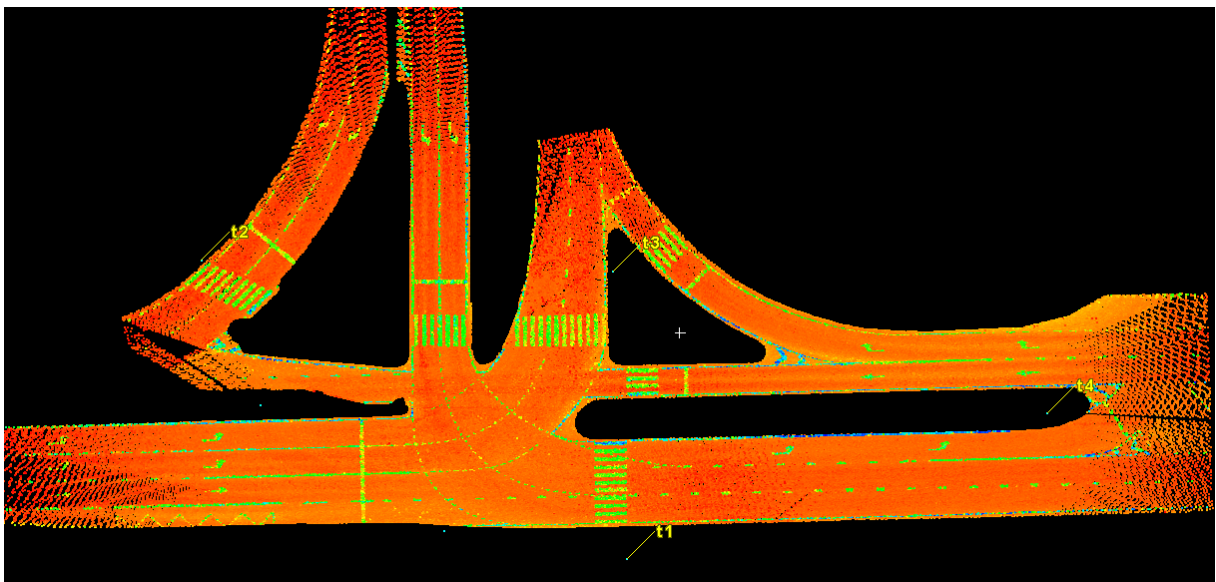
Vaade ristmikule



Toorandmed, vaade Smuuli tn poole



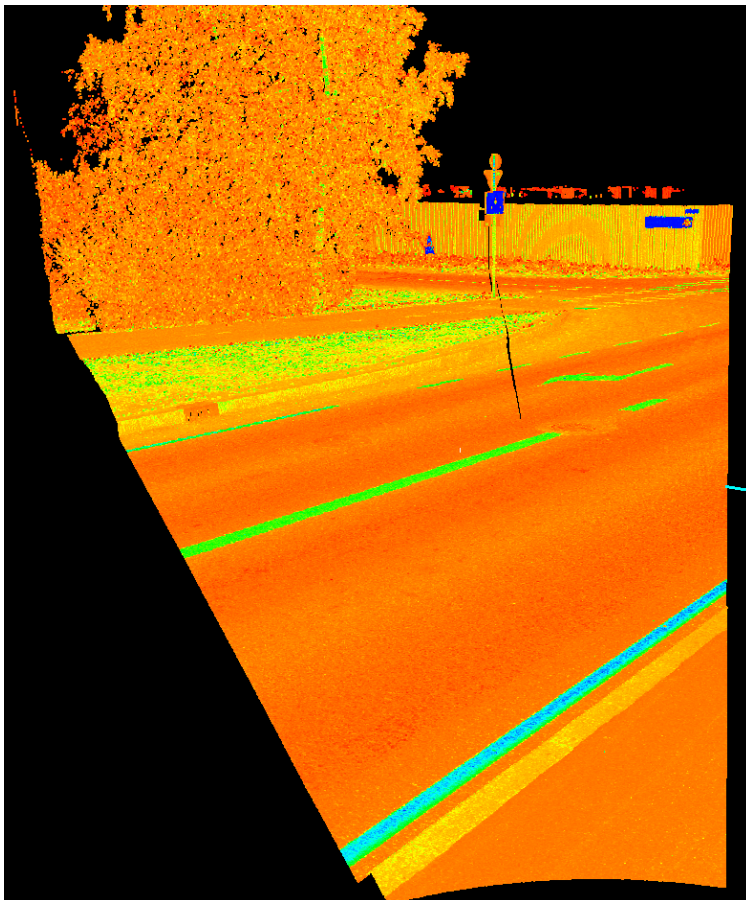
Puhastatud punktipilv, vaade Smuuli tee poole



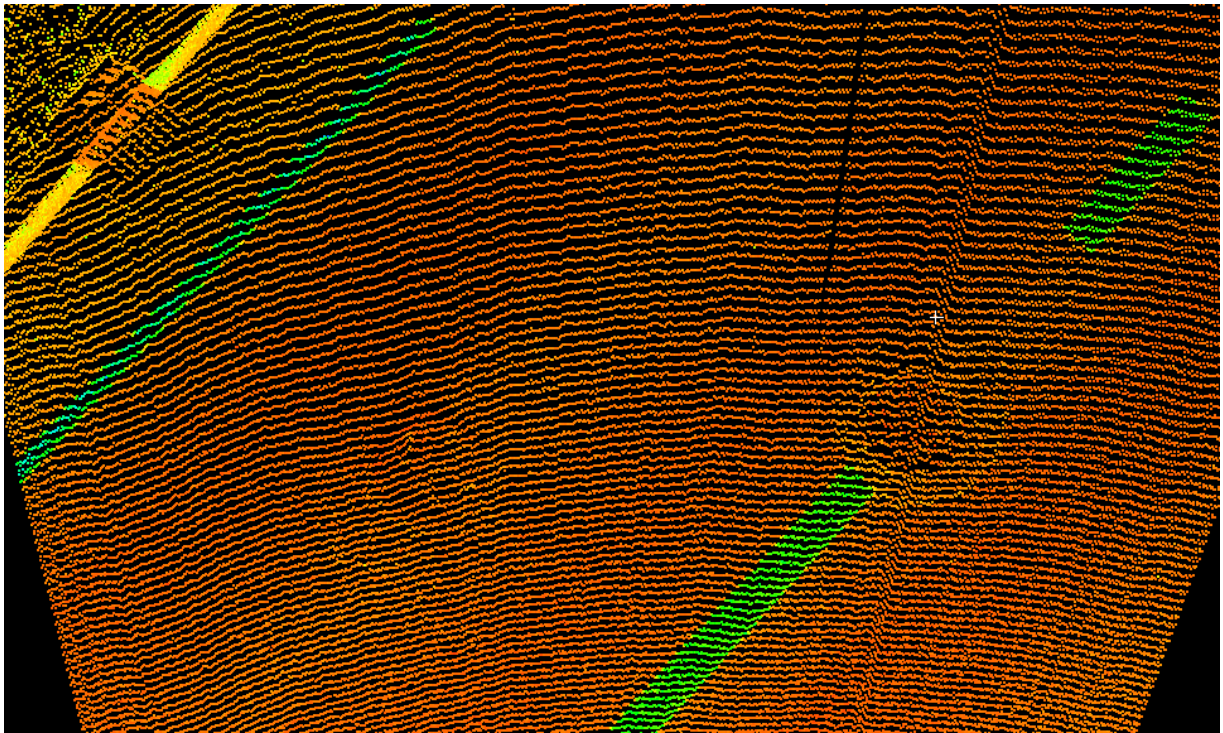
Erikonstruksiooniga kaev Suur-Sõjamäe tänava Ülemiste poole suunduvate sõiduradade keskel



Kaevu tiheskaneeringu sektor

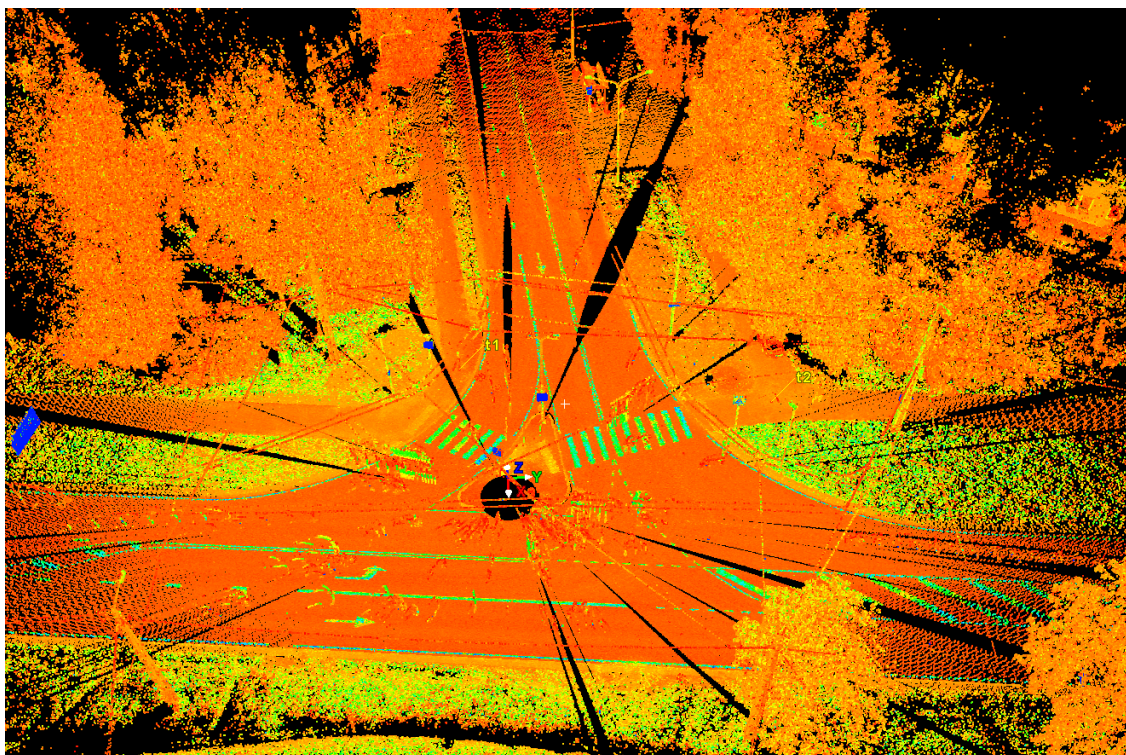


Erikonstruksioonilise kaevu puhastatud punktipilv

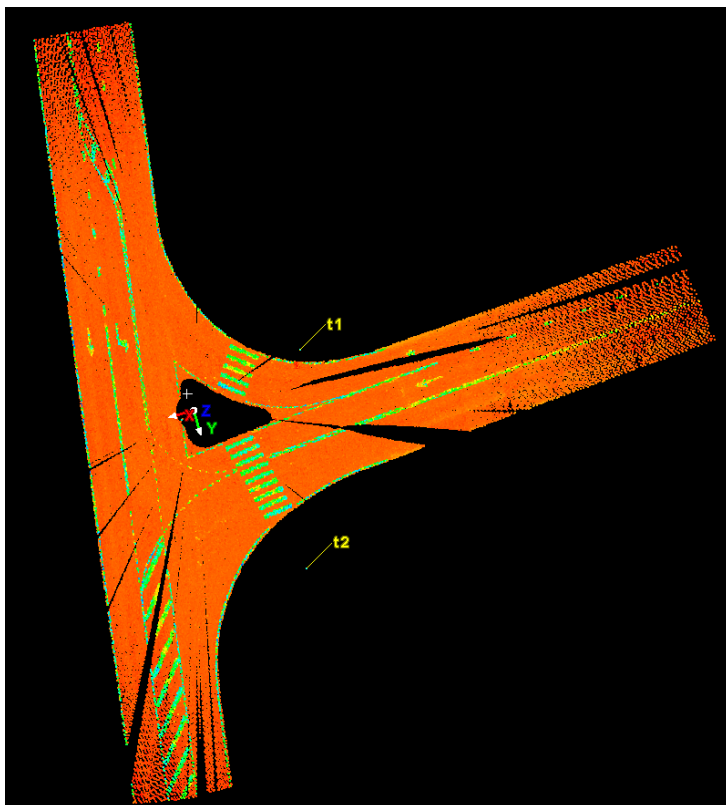


Lisa 3. Vilde teepildimaterjal

Toorandmed, vaade Vilde tee poole



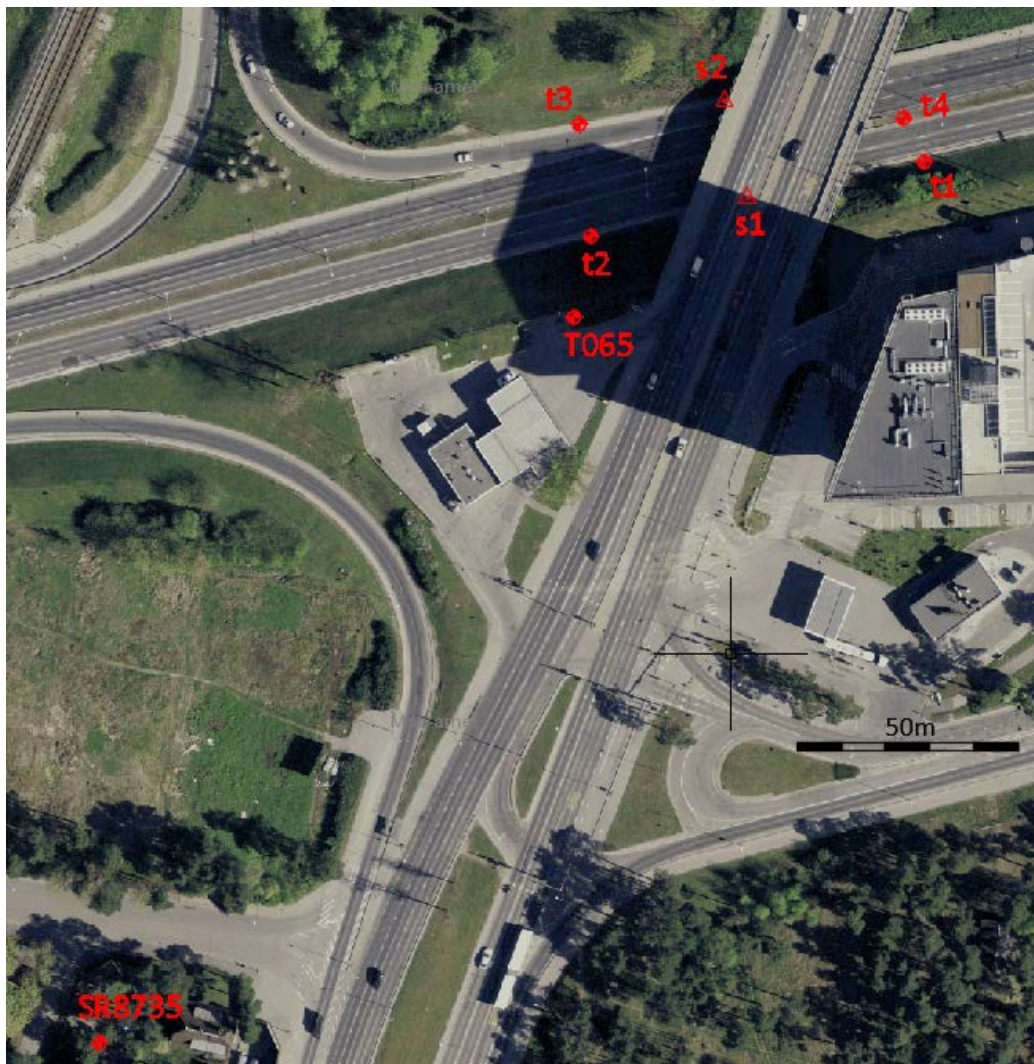
Puhastatud punktipilv



Lisa 4. Tammsaare tee ja Pärnu mnt ristumise alumise tasandi lähteandmed ja statistika

Kõrguste lähtepunkt Niv. lähtepunkt		L-EST97 (tahhümeetria)		BK77 (nivelleeritud)		Koordinaadid kataloogidest/GNSS mõõtmistest/Cyclone'is registreerimisest				Erinevused			Kõrguskasvud (kui t1=0)		
	Nr	E	N	H	Tähise/skanneri kõrgus	E	N	H	Märkus	ΔE	ΔN	ΔH	Nivelleerimisest	Tahhümeetriast	Erinevus
	t1	541487.584	6585238.415	28.871	0.20	541487.602	6585238.407	28.899	GNSS	-0.018	0.008	-0.028	0.000	0.000	0.000
	t2	541412.149	6585221.622	27.983	0.20	541412.138	6585221.611	27.994	GNSS	0.011	0.011	-0.011	-0.888	-0.892	0.004
	t3	541409.560	6585246.931	27.852	0.20	x	x	x		x	x	x	-1.019	-1.023	0.004
	t4	541482.962	6585248.340	28.717	0.20	x	x	x		x	x	x	-0.154	-0.156	0.002
	s1	541447.690	6585230.330	28.127	1.715	x	x	x		x	x	x	-0.744	-0.742	-0.002
	s2	541442.520	6585252.200	28.049	1.724	x	x	x		x	x	x	-0.822	-0.822	0.000
	T065	x	x	34.935	x	541408.391	6585203.246	34.954	Kataloog	x	x	-0.019	x	x	x
	SR8735	x	x	35.887	x	541301.000	6585039.000	35.887	Kataloog	x	x	0.000	x	x	x

Hallil taustal on GNSS mõõtmiste baasi otspunktid.

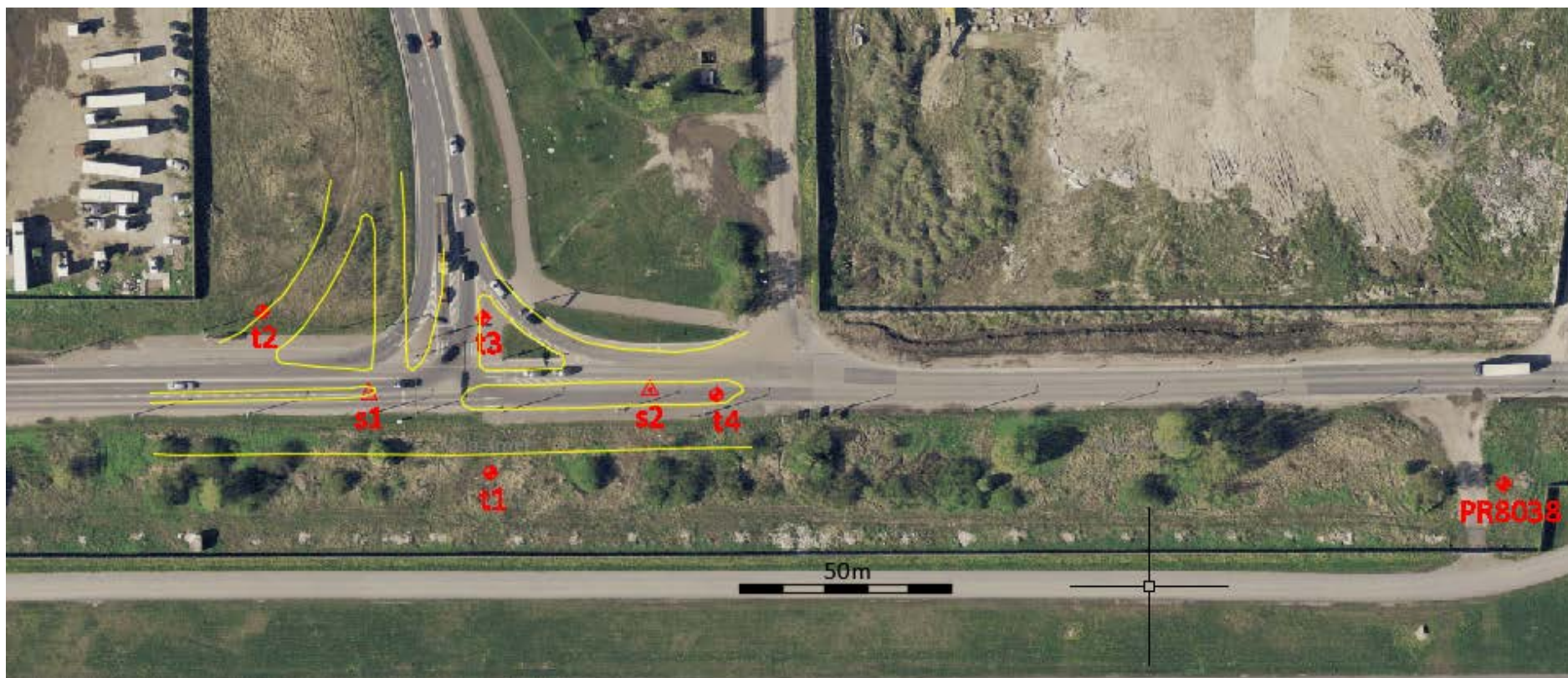


Kindelpunktide nivelleerimisel kasutatud lähtepunktide SR8735 ja T065paiknemine, abriiss ning tsentritüüp on kirjeldatud Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasis.

Lisa 5. Suur-Sõjamäe ja Smuuli tn ristmiku veahinnang ja statistika

	L-EST97 (tahhümeetria)		BK77 (nivelleeritud)		Koordinaadid kataloogidest/GNSS mõõtmistest/Cyclone'is registreerimisest				Erinevused			Kõrguskasvud (kui t1=0)		
	E	N	H	Tähise/skanneri kõrgus	E	N	H	Märkus	ΔE	ΔN	ΔH	Nivelleerimisest	Tahhümeetriast	Erinevus
t1	547986.470	6586715.743	40.694	0.20	547986.467	6586715.73	40.747	GNSS	0.003	0.009	-0.053	0	0	0
t2	547932.174	6586753.854	40.587	0.20	547932.16	6586753.86	40.644	GNSS	0.014	-0.003	-0.057	-0.107	-0.109	0.002
t3	547984.702	6586752.459	40.972	0.20	x	x	x		x	x	x	0.279	0.277	0.002
t4	548040.089	6586734.301	40.848	0.20	x	x	x		x	x	x	0.155	0.153	0.002
s1	x	x	40.957	1.815	x	x	x		x	x	x	x	x	x
s2	548024.416	6586735.383	40.952	1.787	x	x	x		x	x	x	0.259	0.257	0.002
K1	x	x	40.581	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
PR8038	x	x	39.943	x	548227	6586713	39.943	Kataloog	x	x	0.000	x	x	x
s (esialgne)	547957.773	6586734.478	41.295	1.705	x	x	x		x	x	x	0.601	0.600	0.001

Hallil taustal on GNSS mõõtmiste baasi otspunktid.



Kindelpunktide nivelleerimisel kasutatud lähtepunkti PR8038 paiknemine, selle abriss ning tsentritüüp on kirjeldatud Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasis.

Lisa 6. Nivelleerimine

1. Mõõtelati materjali joonpaisumisteguri mõju mõõtmistulemustele

Täppisnivelleerimisel tuleb arvesse võtta ka joonpaisumisest tingitud mõõtelattide pikkuse varieerumist välistemperatuuri muutudes. Teadupärast iseloomustab iga materjali vastav joonpaisumistegur, mille abil saab arvutada mõõtelati kogupikkuse muudu järgmise valemiga:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

kus L_0 on lati nominaalpikkus (tavaliselt laboritingimustes 20°C juures), ΔL on lati pikkuse muut, ΔT mõõtmistemperatuuri ning kompareerimistemperatuuri erinevus, α latimaterjali joonpaisumistegur.

Lattide valmistamiseks kasutatud invarmaterjal on terase ja nikli sulam, mille joonpaisumistegur 20° C juures on ca $1.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (NEDO veebilehe andmetel). Ilmne, et nivelleerimisel on joonpaisumisteguri mõju lisaks eelkirjeldatud asjaoludele ka sõltuvuses latilugemist. Mida väiksem lugem, seda väiksem on ka antud latiosas lati pikkuse muut. Nivelleerimiskäikudes ei ületanud invarlati lugem 1.90 m, seega siis invarriba maksimaalseks pikkuseks tuleks eeltoodud valemis arvestada $L_0 = 1.90$.

0-mõõtmistsüklis (11/09/2015) välistemperatuurid vahemikus +10...18°C, seega $\Delta T \approx \pm 5^{\circ}$, mis valemisse (1) asendatuna annab mõõtelati kogupikkuse muuduks $\Delta L = \pm 0.00002$ m. Näiteks 4 sidepunktiga käigus kumuleerub sellest summaarne viga kõrguskasvu kuni 0.05 mm. Et nivelleerimismärkide kõrgusliku asendi määramise täpsuseesmärgiks oli seatud 1...2 mm saavutamine (antud löigu lähtereeperite suhtes), siis joonpaisumisest tingitud mõju täpne arvestamine siin vajalik ei ole. On see ju mitu korda väiksem eeldatavatest mõõtmisvigadest. Nimetagem, et kuna seisupunktide vahelised kõrguskasvud olid väikesed, siis mõlema invarlati joonpaisumisteguri sarnasuse² tõttu võib eelnimetatud viga ka osaliselt elimineeruda.

Lisaks on väliskeskkonna temperatuuri arvesse võtmine veelgi olulisem refraktsiooniparandi (arvestab erinevate õhukihtide optiliste murdumisnäitajate erinevusi) arvestamisel. Temperatuurist tingitud parandi kõrguskasvu saab arvutada valemist

$$\delta h_{TG} = 55.39 \frac{P}{T^2} s^2 (E_T - E_E) 10^{-3} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

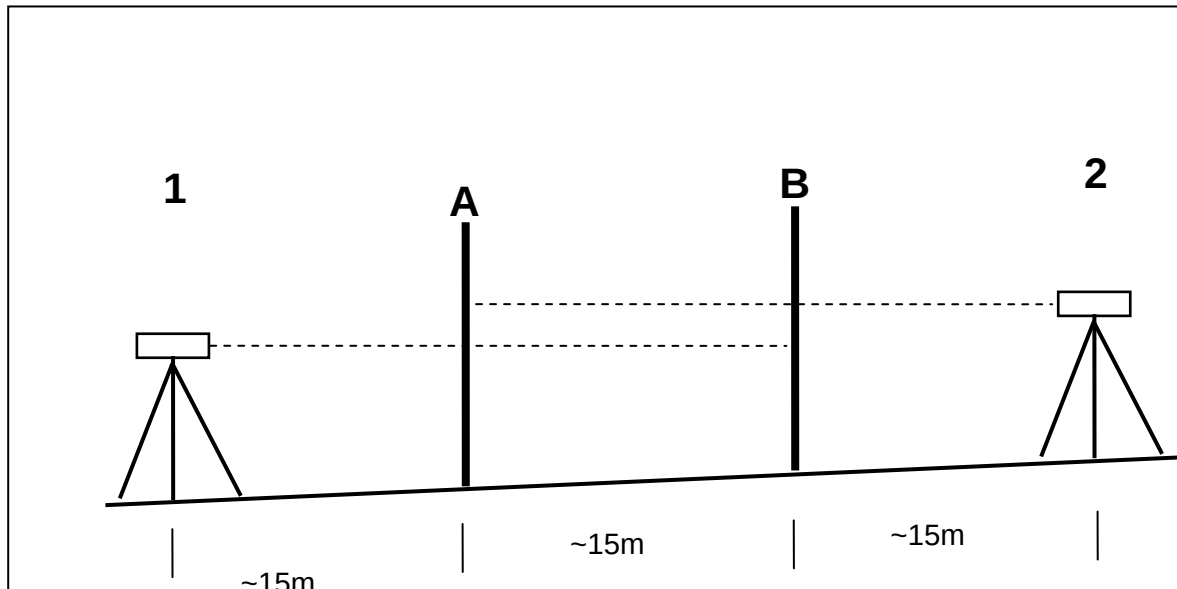
kus T on absoluutne temperatuur, s on kaugus latini, P on õhurõhk (saab näidata et liige P/T^2 on praktiliselt püsiv ning võrdne 0.009) ning eesmise ja tagumise lati lähedane refraktsioonigradient arvutatakse $E = \frac{1}{n} \sum \frac{\delta T}{\delta H} \quad [^{\circ}/\text{m}]$, kus n on seisude arv.

Vaatlustingimuste lühikokkuvõtteks, võib eeldada, et refraktsiooni lokaalne mõju nivelleerimisjaamas oli väike ja kumulatiivne mõju, arvestades suhteliselt laugjalt unduleeruvat profiili, ei ole tarvis eraldi parandiga arvesse võtta.

²Invarlattide normidele vastavust on tarnija (Trimble) korraldamisel sertifitseeritud Müncheni Tehnikaülikooli katselaboris 2008 a lõpus ning 2009 a alguses. 2011.a. alul kompareeriti terviksüsteemina nivelliir-invarlatid uuesti rahvusvaheliselt tunnustatud nivelleerimislattide kompareerimislaboris Soome Geodeesia Instituudis Helsingi lähedal Masalas. Saadud kompareerimissertifikaadist ilmneb, et süsteemiparandi väiksuse tõttu see lõpptulemusi oluliselt ei mõjuta. Invarlattide nulli asemete erinevused ning skaalaparandid on tühised ning seega võib antud töö spetsiifikat silmas pidades arvestamata jätta

2. Nivelliiri vaatekiire horisontaalsuse kontroll

Nivelliiri viseerimiskiire ja horisontaaltasapinna vahelist nurka, i , kontrolliti enne mõõtmiste algust *Nähbauer* meetodil. Selle kontrollmeetodi kohaselt paigutatakse nivelleerimislatid (A ja B) teineteisest ca 15 m kaugusele, vt joonis 13.



Joonis 13. Nivelliiri viseerimiskiire horisontaalsuse kontroll *Nähbauer*'i meetodil.

Nivelliir asetati esimesse seisupunkti (~15 m kaugusel latist A) ning võetakse lugemid mõlemalt latilt (esmalt A siis B). Seejärel pöörati latid vastassuunda ning teises seisupunktis (~15 m kaugusel latist B) võetakse lugemid vastupidises järjekorras (nüüd B, siis A). Saadud tulemused on esitatud tabelis 5.

Tabel 5. Nivelliiri viseerimiskiire horisontaalsuse kontroll tulemused

Jrk. nr	Kontroll			Vaatekiire kõrvalekalde horisontaal- asendist, c_1 ["]
	kuupäev	kellaaeg	temperatuur C	
1	2015-09-11	09:20	+21	-7.5

Tabelis on võõndiaeg (esimene mõõtmistsüklil: suveaeg GMT +3h)

Kontrolli tulemusena saadud visiirkiire kõrvalekalde väärtus salvestati nivelliiri andmekandjale. Mõõtmistel kasutati parandina kolmest määramisest saadud keskmistatud väärtust. Nivelliiri tarkvara arvestab saadud kõrvalekalde parandit latilugemi võtmisel. Seega ka koodlattice tulemused on vastavalt korrigeeritud. Ilma selle parandita tooks näiteks 15" kaaresekundit ületav vaatekiire mittehorisontaalsus kaasa 3...4 mm vea 50 m õlapikkuse juures ($\tan(i) \cdot 50 \text{ m}$).

Tuleb nimetada, et Maa kumeruse parand vahepunktide mõõtmisel oli lokaalse iseloomuga ja 50 m õlapikkuse juures ei ületa 0.2 mm. Parandi arvutusvalem on $\Delta s^2/2R$, kus R on Maa raadius $R = 6371000 \text{ m}$ ning Δs on õlapikkuste erinevus. Et see parand on vahepunktides täpselt sama ka erinevates nivelleerimistsüklites, siis taandub Maa kumeruse mõju nivelleerimismärkide kõrguste erinevuste arvutamisel täielikult. Nivelleerimiskäigu mõõtmistel on Maa kumeruse parand õlapikkuste võrdsuse tõttu tühine. Samuti eirati nivelliiri valikut

olevat refraktsiooniparandi mudelit. See on tingitud asjaolust, et tootjafirma poolt väljatöötatud mudelid pole piisavalt täpsed kohandamaks neid konkreetsetele mõõtmisoludele.

3. Mõõtmiste metoodika

Nivelleerimiskäigu mõõtmised tehti võrdõlgsetena, seega nivelliir paigutati täpselt eesmise ning tagumise lati vahele, kusjuures õlapikkuste erinevus jaamas ei ületa 1 m. Nivelleerimisõlad mõõdeti välja mõõterattaga või nivelliiri kaugusmõõtjaga. Õlapikkuste erinevuste kogusumma käigu sektsioonis ei ületanud 2 m. Käigus kasutati kuni 40 m õlapikkusi. Reeperitega sidumisel kasutati ka lühemaid (kuid samas võrdõlgstust säilitades) õlapikkusi. Esimeses nivelleerimistsüklis toimus ka nivelleerimisjaamade asukohtade märgistamine asfaldil järgnevate tsüklite jaoks. Nivelleerimisjaamade asukohad tähistati neonroosa ristiga, latipunktide asukohad ringiga (vt joonis 14). Põhikäigu sidepunktides (X-punktides) kasutati invarlati alustena reeglina 25-30 cm pikkusega armatuurrauast metallvaiu ($\varnothing$ 16 mm), mis löödi kõnnitee serva (tihendatud killustik), vt joonis 13.



Joonis 14. Rõngaga metallvai invarlati alusena

Ka oli invarlati tald kaitstud spetsiaalse plastmassist tallakaitsega, mille keskel olev avaus võimaldas latitalla vahetut kokkupuudet nivelleerimisvaiaga iga kord samas tallapunktis. Geodeetilistele punktidele asetamisel ning nivelleerimismärkide mõõtmisel eemaldati tallakaitse.

4. Kindelpunktide kõrguste määramine

Sektsiooni alg- ja lõpp-punktideks olid seinareeperid, pinnasreeperid või polügononomeetriapunktid. Käigusektsiooni edasi- ja tagasisuunaline nivelleerimine sooritati mööda eelnevalt maha löödud metallvaiu. Tagasikäik tehti koheselt peale edasikäigu lõpetamist samadel vaiadel. Pärast sektsiooni mõlemasuunalist nivelleerimist jälgiti, et saadud kõrguskasvude erinevused ei ületaks orienteeruvalt 1.0 mm/km. Lubatust suuremate erinevuste puhul oleks tulnud sektsiooni nivelleerimist korrata. Vahevaadetena määrati kindelpunktide kõrgused.

Käigu sektsioonide nivelleerimisel järgiti järgmisi nõudeid

- Pikksilma fokuseerimisega toodi lati kujutis täpselt niitristiku tasapinnale.
- Viseerimiskiire minimaalseks kõrguseks maapinnast oli 0.3 m.
- Põhikäigu mõõtmistel ei kasutatud lati ülaosa skaalat kõrgemal kui 1.9 m.

– Vaatluste järjekord igas jaamas oli alljärgnev (BFFB, *back-forth-forth-back*; s.t. TEET, tagasi-edasi-edasi-tagasi):

- a) tagumise lati lugemid (T_1)
- b) eesmise lati lugemid (E_1)
- c) eesmise lati lugemid (E_2)
- d) tagumise lati lugemid (T_2)

Samas jälgiti, et kõrguskasvude erinevused ($E_1T_1-T_2E_2$) jaamades ei ületaks reeglina suurst 0.3 mm.

Nivelleerimisel salvestati M5 RecE formaadis nivelliiri andmekandjale järgmised suurused:

- nurga i kontrolli tulemused
- Latipunkti number ($X_1, X_2, \dots$ jne) ning kood (BP, X)
- Nivelleerimisjaama number
- Käigu number (3.4 ja 4.3)
- aeg
- lati lugemid (ühik 0.00001 m) ($T_1E_1E_2T_2$)
- instrumendi ja lati vaheline kaugus (ühik 0.001 m)
- jooksev kõrguskasv

5. Nivelleerimiskäikude tulemused

Andmetöötlus viidi läbi Excel tabelarvutusprogrammidega, käigu sektsioonide nivelleerimise lõplikud tulemused on esitatud tabelis 6.

Tabel 6. Nivelleerimisreeperite kõrguste määramine

Tabel 6. Nivelleerimisreceptorite kõrguste määramine									
Punkt	Käigu pikkus [km]	jaamu	kõrguskasv [m]		erinevus [mm]	1.0 mm vkm	keskm. kõrguskasv	Kõrgus (I nivelleerimis-tsüklist)	Kõrgus riiklikust 1977 BKS kõrguste kataloogist
SR8735	TAMMSAARE							35,887	35,887
	0,21	3	-0.95179	0.95136	0,43	0,46	-0,9516		
T065								34.935	34,954
t2	Tahhümeetriga Trimble S6-ga kõrguskasv määratud kahe täisvõttega punkti T065 suhtes							27,983	
PR8038	SUUR SÕJAMÄE							39,943	39,943
	0,24	3	0.75050	-0.75050	0,00	0,49	0.75050		
t1/p3								40,694	Puudub kataloogis

Käesolevas aruandes on kolmkümmend neli (34) järjestikku
nummerdatud lehekülge.

28.10.2015